

# FACHFORUM AUTONOME SYSTEME

## CHANCEN UND RISIKEN FÜR WIRTSCHAFT, WISSENSCHAFT UND GESELLSCHAFT

**Abschlussbericht – Langversion**  
incl. Executive Summary in English



# INHALTSVERZEICHNIS

|                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>DAS HIGHTECH-FORUM</b>                                        | <b>2</b>   |
| <b>FACHFORUM AUTONOME SYSTEME</b>                                | <b>3</b>   |
| <b>ZUSAMMENFASSUNG</b>                                           | <b>4</b>   |
| <b>HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN</b>                                     | <b>20</b>  |
| <b>EXECUTIVE SUMMARY</b>                                         | <b>26</b>  |
| <b>RECOMMENDATIONS</b>                                           | <b>40</b>  |
| <b>1. VISION: VOM ALLTAG MIT AUTONOMEN SYSTEMEN</b>              | <b>46</b>  |
| <b>2. CHANCEN UND RISIKEN FÜR DEN EINSATZ AUTONOMER SYSTEME</b>  | <b>49</b>  |
| <b>3. ANWENDUNGSBEREICH PRODUKTION</b>                           | <b>54</b>  |
| <b>4. ANWENDUNGSBEREICH STRASSEN- UND SCHIENENVERKEHR</b>        | <b>65</b>  |
| <b>5. ANWENDUNGSBEREICH SMART HOME</b>                           | <b>82</b>  |
| <b>6. ANWENDUNGSBEREICH MENSCHENFEINDLICHE UMGEBUNGEN</b>        | <b>106</b> |
| <b>7. TECHNOLOGISCHE WEGBEREITER</b>                             | <b>131</b> |
| <b>8. GESELLSCHAFTLICHE HERAUSFORDERUNGEN</b>                    | <b>142</b> |
| <b>9. MARKTENTWICKLUNG IM INTERNATIONALEN VERGLEICH</b>          | <b>167</b> |
| <b>10. LITERATURVERZEICHNIS</b>                                  | <b>176</b> |
| <b>11. ANNEX - VERNETZTE AUTONOME SYSTEME AUF DER CEBIT 2017</b> | <b>180</b> |
| <b>Mitwirkende</b>                                               | <b>190</b> |
| <b>Impressum</b>                                                 | <b>192</b> |



## DAS HIGHTECH-FORUM

Als innovationspolitisches Beratungsgremium begleitet das Hightech-Forum die Umsetzung und Weiterentwicklung der Hightech-Strategie der Bundesregierung seit Anfang 2015.

Dem Gremium gehören 20 hochrangige Mitglieder aus Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft an. Ihr Wirken im Hightech-Forum ermöglicht eine integrierte Perspektive auf die deutsche Forschungs- und Innovationspolitik.

Gemeinsam legt das Hightech-Forum zentrale Empfehlungen für eine zukünftige Innovationspolitik vor. In acht Fachforen erarbeiten die Mitglieder zudem weitergehende Empfehlungen zu innovationspolitischen Querschnittsaufgaben und prioritären Zukunftsfeldern.

Die vorliegende Publikation ist die Langversion des Abschlussberichts des Fachforums Autonome Systeme. Das Papier gibt die Meinung des Fachforums wieder und stellt nicht zwangsläufig die Meinung aller Mitglieder des Hightech-Forums dar.



## FACHFORUM AUTONOME SYSTEME

Getragen von dem Engagement einer Vielzahl an Akteuren aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft beschäftigt sich das Fachforum mit den Möglichkeiten und Auswirkungen autonomer Systeme in unterschiedlichen Lebenssituationen. Die Expertinnen und Experten konzentrieren sich dabei auf die vier wichtigsten Anwendungsbereiche:

- die industrielle Produktion
- den Straßen- und Schienenverkehr
- das Smart Home sowie
- den Einsatz autonomer Systeme in menschenfeindlichen Umgebungen.

Die sich daraus ergebenden Anforderungen an die technologischen Wegbereiter für autonome Systeme und die Fragen zu den gesellschaftlichen Herausforderungen und rechtlichen Rahmenbedingungen werden ebenso erörtert.

Das Fachforum hat seine umsetzungsorientierten Empfehlungen innerhalb der Arbeitsgruppen sowie mehrerer Expertenworkshops erarbeitet. Die Empfehlungen sollen wichtige Impulse für öffentliche Fachdiskurse und Debatten zum Technologie- und Innovationsstandort Deutschland liefern unter Berücksichtigung der Möglichkeiten für mehr Wettbewerbsfähigkeit und Lebensqualität durch die Nutzung autonomer Systeme.



## ZUSAMMENFASSUNG

Wir erleben einen rasanten, von digitalen Technologien getriebenen Umbruch. Die Basis dieser digitalen Transformation bilden Sensorik, Maschinelles Lernen und Robotik. Diese Techniken und Anwendungen werden immer günstiger und sind in immer größerem Umfang verfügbar. Nützliche neue IT-basierte Systeme, zum Beispiel zur Fahrerassistenz, für Smartphones und die wachsende Gerätevernetzung, werden in unserem Alltag zunehmend wichtiger und bereiten den Weg für die Einführung autonomer Systeme. **Es ist daher an der Zeit, sich mit den Möglichkeiten und Auswirkungen des Einsatzes autonomer Systeme intensiv auseinanderzusetzen.**

Autonome Systeme sind dabei nicht nur klassische Roboter, sondern auch Produktionsanlagen, Fahrzeuge, Gebäude und Softwaresysteme. Autonom agierende Fahrzeuge beispielsweise unterstützen die Mobilität von Menschen, die körperliche oder kognitive Einschränkungen haben. Smart Homes ermöglichen es, langfristig selbstbestimmt im eigenen Zuhause zu leben. Das heißt, autonome Systeme können eine selbstbestimmte Lebensführung unterstützen, gerade auch unter erschwerten Bedingungen. **Autonome Systeme haben großes Potenzial für ein autonomes Leben und machen eine inklusive Gesellschaft möglich.**

Die Entwicklung und Einführung autonomer Systeme kann darüber hinaus viele gesellschaftliche und wirtschaftliche Bereiche grundlegend verändern. Arbeits- und Produktionsprozesse können besser auf unterschiedliche demografische Gruppen abgestimmt, flexibler und ressourcenschonender gestaltet werden; Mobilitäts- und Logistiksysteme können sicherer, leistungsfähiger und nachhaltiger werden; autonome Systeme in Gebäuden können eine erheblich effizientere Nutzung von Energie ermöglichen. Bei Einsätzen in menschengefährdenden Umgebungen kann der Mensch durch autonome Systeme tatkräftig unterstützt oder vollständig ersetzt werden. **Es besteht somit die Chance, dass autonome Systeme zur Lösung oder konstruktiven Gestaltung zahlreicher gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Herausforderungen beitragen.**

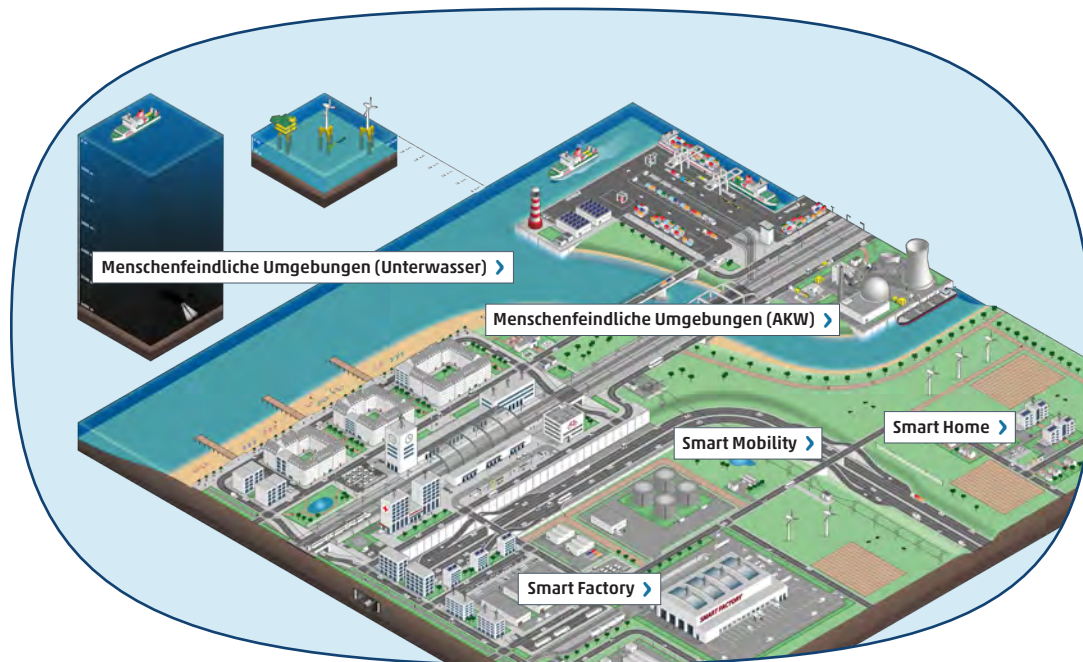
Obwohl technische Entwicklungen einerseits aus dem gesellschaftlichen Streben nach besseren Lebensbedingungen resultieren, können sie andererseits zu erhofften, aber auch unerwarteten oder gar unerwünschten Veränderungen in unterschiedlichen Bereichen der Gesellschaft führen. Diese Ambivalenz wohnt jedem substanziellen technischen Wandel inne – sie gilt auch für autonome Systeme. Die zeit- und teilweise Aufgabe der Entscheidungsautonomie, die für den Einsatz autonomer Systeme erforderlich ist, unterstreicht die Herausforderung im Umgang mit ihnen. **Autonome Systeme bieten deutliche Chancen, bergen aber auch Risiken – sowohl für den Einzelnen als auch für die Gesellschaft.**

Grundsätzlich ist für die Akzeptanz von neuen Technologien wichtig – wenngleich nicht immer ausreichend –, dass sie einen nennenswerten, individuell wahrnehmbaren und relevanten Zusatznutzen bieten. Ist dies der Fall, kann der zunehmende Einsatz autonomer Systeme beispielsweise in der Arbeitswelt als Erleichterung und qualitative Aufwertung der eigenen Tätigkeit erlebt werden. **Entscheidend für die**

**breite gesellschaftliche Akzeptanz wird sein, ob sich autonome Systeme als nützliche, sichere und verlässliche Dienstleister für unsere Gesellschaft bewähren.**

Die Gesellschaften in Deutschland, Europa und weltweit stehen vor der Herausforderung, diese Umgestaltung so vorzunehmen, dass Lebensqualität sowie wirtschaftliche und technologische Wettbewerbsfähigkeit nachhaltig gesichert werden. **Aufgrund der sich abzeichnenden Ambivalenz von Chancen und Risiken autonomer Systeme ist ein breit angelegter gesellschaftlicher Dialog erforderlich; sowohl national als auch international<sup>1</sup>.**

Das Fachforum Autonome Systeme hat es sich zur Aufgabe gemacht, mit Blick auf die einzelnen Anwendungsbereiche autonomer Systeme die übergreifenden Gemeinsamkeiten und die Anforderungen für ein übereinstimmendes Zusammenspiel zu untersuchen. Diese ergeben sich einerseits aus dem Bedarf, die notwendigen Technologien zu entwickeln, andererseits aus den Herausforderungen für die Gesellschaft und den notwendigen rechtlichen Rahmenbedingungen. **In einer zunehmend vernetzten Welt können die einzelnen Anwendungsbereiche autonomer Systeme nicht mehr isoliert betrachtet werden, denn der Mensch wird ihnen täglich und in vielen unterschiedlichen Lebenssituationen begegnen.**



**Abbildung 1:**  
Die Innovationslandkarte  
zum Fachforum Autonome  
Systeme: Systemische  
Betrachtung des Einsatzes  
autonomer Systeme in  
unterschiedlichen Anwen-  
dungsbereichen (Quelle:  
Innovationslandkarte InnoZ).

<sup>1</sup> Vgl. EP DG IPOL 2016.



## Zu Hause, bei der Arbeit und unterwegs – die Begegnung mit autonomen Systemen

Für die Untersuchung der technologischen Voraussetzungen, der Rahmenbedingungen sowie der möglichen gesellschaftlichen Veränderungen durch den Einsatz autonomer Systeme hat sich das Fachforum auf die folgenden vier wichtigsten Anwendungsbereiche bis zum Jahr 2030 konzentriert:

- **Industrielle Produktion** im Hinblick auf eine erheblich flexiblere Automatisierung und wandlungsfähige Produktion im Sinne von Industrie 4.0
- **Straßen- und Schienenverkehr** zur Sicherung einer flexiblen, kosteneffizienten, sicheren, umwelt- und klimaschonenden Mobilität und Logistik
- **Smart Home** als Antwort auf den Wunsch nach mehr Energieeffizienz und als wichtiger Baustein für mehr Sicherheit, aber auch für die Assistenz und Pflege in einer alternden Gesellschaft
- Einsatz **autonomer Systeme in menschenfeindlichen Umgebungen**, wie zum Beispiel Rettungseinsätze, Unterwasserarbeiten oder Rückbau von Kernkraftwerken

Die im Rahmen dieser Bereiche vorgestellten Anwendungsbeispiele zeigen den Weg einer möglichen Entwicklung auf und bilden Ansatzpunkte für seine Gestaltung. Viele der damit verbundenen gesellschaftlichen Herausforderungen und ethischen Fragestellungen werden sich erst nach und nach formulieren und beantworten lassen. Allerdings reicht zu Beginn dieses Lernprozesses die Einhaltung einiger wichtiger Grundregeln aus. Dazu zählt beispielsweise, dass der Schutz des Menschen Vorrang vor dem von Tieren und Sachen hat und dass im Fall von unvermeidbaren Personenschäden das Verletzungsrisiko möglichst geringgehalten werden sollte und es nach dem Gleichheitsgrundsatz zu keiner Diskriminierung einer Gruppe kommt. Zu den Grundregeln gehört auch die Möglichkeit, jederzeit die Kontrolle wieder übernehmen zu können, sowie das nachvollziehbare Dokumentieren einer möglichen Fehlfunktion<sup>2</sup>. **Basierend auf diesen Grundregeln kann die Einführung autonomer Systeme stufenweise und erfahrungsbasiert im Rahmen eines beständigen und transparenten Lernprozesses und unter Beteiligung der gesellschaftlichen Akteurinnen und Akteure stattfinden.**

Insgesamt deuten die durchgeführten Untersuchungen darauf hin, dass sich die Nachfrage nach einer immer stärkeren Individualisierung, sowohl im Produktions- und Dienstleistungsbereich als auch im Alltag durch das Zusammenspiel von Menschen und autonomen Systemen, zu vertretbaren Kosten befriedigen lässt. In einigen Branchen werden sogar Produktionsstätten, die aus Deutschland in Billiglohnländer verlagert wurden, wieder zurückverlegt. Die bisherigen Kostennachteile werden durch den Einsatz autonomer Systeme und eine effizientere Logistik in Kundennähe aufgehoben. Auf diese Weise entstehen zum Beispiel im Bereich der individualisierten Produktion von Sportbekleidung, Luxusgütern, Nahrungsmitteln und Möbeln derzeit neue Arbeitsplätze. **Durch den Einsatz kollaborativer autonomer Systeme ist es**

**möglich, eine hohe Qualität – etwa in Produktion, Logistik, Mobilität, Sicherheit, medizinischer Versorgung und Pflege – zu erhalten und Arbeitsplätze trotz der in Deutschland relativ hohen Personalkosten zu sichern.**

Allerdings wird Deutschland nur dann eine führende Rolle bei der Gestaltung autonomer Systeme einnehmen können, wenn die Gesellschaft als Ganzes diesen Weg unterstützt. **Wo die Veränderungen, die autonome Systeme mit sich bringen werden, für die Gesellschaft mehr Risiken als Chancen bergen, kann und muss die Gesellschaft ihnen auch Grenzen setzen.**

## Von digitalen Assistenzsystemen über mehrere Automatisierungsstufen zur Autonomie

Man unterscheidet **ferngesteuerte (teleoperierte) Systeme, Assistenzsysteme, automatisierte Systeme**, die Teilaufgaben selbstständig erledigen können, und **autonome Systeme**.

**Digitale Assistenzsysteme, die vom Menschen bewusst aktiviert und übersteuert werden können, sind in allen Anwendungsfeldern bereits heute weit verbreitet.** Aufbauend auf dieser Technologie sind automatisierte Systeme in der Lage, einen vorgegebenen Handlungsablauf durchzuführen, können aber weder die Konsequenz ihrer Handlungen verstehen noch den Ablauf ändern.

**Automatisierte Systeme stehen in unterschiedlichen Automatisierungsstufen je nach Anwendungsgebiet zur Verfügung.** Für Fahrzeuge existiert bereits eine normierte Einteilung in teil-, hoch- und voll-automatisiert. Die zunehmende Automatisierung erfordert in der Regel eine geringer werdende Überwachung und einen weniger häufigen Kontrolltransfer.

**Ein System wird erst dann als autonom bezeichnet, wenn es ohne menschliche Steuerung oder detaillierte Programmierung ein vorgegebenes Ziel selbstständig und an die Situation angepasst erreichen kann.** Das System ist fähig, die Umgebung über Sensoren wahrzunehmen, proaktiv und situationsgerecht einen angemessenen Handlungsplan zu generieren und über Aktoren sicher und zuverlässig auszuführen. In intensiver Abstimmung zwischen Wissenschaft und Industrie wurde ein Entwurf für eine Referenzarchitektur erarbeitet, der die drei wesentlichen Komponenten autonomer Systeme Sensorik, Selbstregulation und Aktorik fokussiert. Mit den Elementen der Wahrnehmung und Interpretation, der Planung und Planerkennung, des Lernens und Schlussfolgerns sowie der Kommunikation und Kollaboration wird die Selbstregulation eines autonomen Systems ermöglicht (siehe Abbildungen 2 und 7).

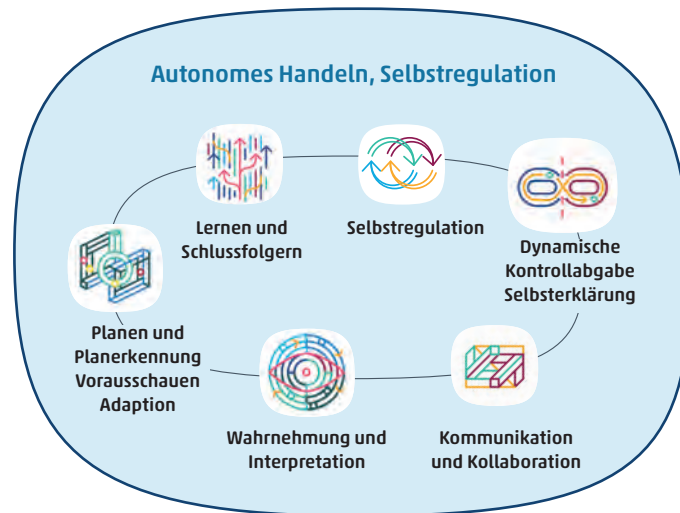
**Insbesondere die Technologien des Maschinellen Lernens sind essenzieller Bestandteil eines autonomen Systems und ermöglichen ihm eine vom Menschen unabhängige und intelligente (smarte) Vorgehensweise.** Durch das Maschinelle Lernen können autonome Systeme neues Wissen aus gesammelten



und bereitgestellten Daten generieren und ihre Wissensbasis beständig erweitern. Ohne dieses eigenständige Lernen wäre es nahezu unmöglich, sinnvolle Reaktionen auf alle prinzipiell denkbaren Situationen in einer Programmierung festzulegen. Da der aufwendige Prozess des Maschinellen Lernens im Vorfeld mithilfe von realen und simulierten Trainingsdaten durchlaufen wird, kann die Interpretation der konkreten Situation durch Anwendung des Gelernten vor Ort sehr effizient erfolgen. Variationen konkreter Situationen werden dabei in die Wissensbasis zurückgespielt und verbessern somit die Reaktion auf zukünftige Situationen.

**Eine effiziente, zuverlässige und sichere Kommunikation, Interaktion und Kollaboration zwischen Menschen, autonomen Systemen und ihrer Umgebung ist zentral.** In diesem Kontext wird auch zwischen Kurz- und Langzeitautonomie unterschieden, die gerade beim Einsatz in menschenfeindlichen Umgebungen, wie beispielsweise im Weltraum oder unter Wasser, von großer Bedeutung sind. Die Fähigkeit, sich bei der Mensch-Maschine-Interaktion an das Verhalten des Menschen anzupassen, ist ein weiteres zentrales Merkmal eines autonomen Systems.

**Abbildung 2:**  
Zentrale Elemente für das autonome Handeln und die Selbstregulation autonomer Systeme (Quelle: eigene Darstellung).



**Mehrere autonome Systeme können autonome Systeme höherer Ordnung bilden.** Beispielhaft wäre hier das Gesamtsystem eines Smart Homes zu nennen, in dem verschiedene Komponenten aus den Bereichen Energiemanagement, Sicherheit und Assistenz kooperieren. Auch beim Auftreten von Funktionsstörungen im Gesamtsystem muss grundsätzlich sichergestellt sein, dass einzelne Komponenten zentrale Aufgaben weiter intelligent ausführen können, wie beispielsweise Heizung, Türverriegelung und Beleuchtung.

## Industrielle Produktion

Bereits heute führen die Produktvielfalt, die unterschiedlichsten Produktionsprozesse und Logistikketten, die vielfältigen externen Randbedingungen und Marktunsicherheiten zu hochgradig komplexen, vernetzten Systemen in der industriellen Produktion. Bei stetig weiter steigenden Anforderungen an Flexibilität und Produktivität bilden autonome Systeme auf der Basis der vollständigen Digitalisierung der gesamten Wertschöpfungskette eine wichtige Grundlage für die hochflexible Automatisierung im Sinne von Industrie 4.0. **Zeit- und kostenintensive Prozessänderungen, die bisher noch von Ingenieuren und Programmierern umgesetzt werden, erfolgen zukünftig automatisch und ohne Eingreifen des Menschen.**

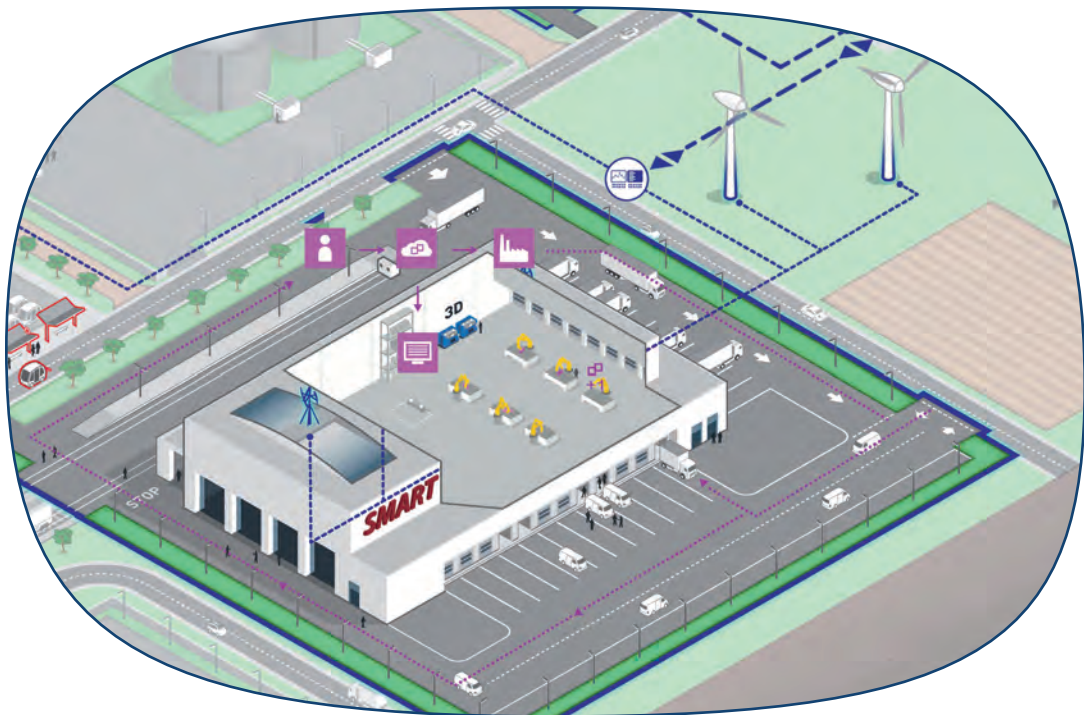
Die vollkommen auftragsgesteuerte Produktion und die dafür erforderliche autonome Wandlungsfähigkeit der Fabriken können so tatsächlich erreicht werden. Trotz aller Fortschritte bei der Automatisierung und in der Künstlichen Intelligenz steht jedoch der Mensch auch weiterhin im Mittelpunkt dieser neuen Produktionswelt. Anders als heute wird er jedoch eng mit den Maschinen zusammenarbeiten und individuell von ihnen unterstützt werden.

- **Vielfältige Chancen** ergeben sich vor allem aus der Möglichkeit einer ressourceneffizienten – da automatisierten – und gleichzeitig hochgradig wandelbaren Fertigung komplexer und variantenreicher Produkte. Die Flexibilität autonomer Systeme wird es gestatten, eine große Bandbreite unterschiedlicher Produkte ohne die bisher erforderlichen Anpassungen an den Fertigungsanlagen zu produzieren. Die heute zwingende enge Kopplung von Produkt und Produktion kann so gelöst werden. Dies wird eine Fertigung auch kleiner Chargen nach Bedarf und räumlich eng am Kunden erlauben und die Grundlage für gänzlich neue Geschäftsmodelle in der Produktionswirtschaft bilden.
- **Risiken** ergeben sich vor allem aus der Akzeptanzfrage heraus. Einerseits müssen autonome Systeme eng mit dem Menschen zusammenarbeiten und auch von ihm als Partner akzeptiert werden. Hier könnte es zu Vorbehalten in den Belegschaften kommen. Dieser möglichen Ablehnung kann nur mit Offenheit begegnet werden. Andererseits folgt aus der unmittelbaren Zusammenarbeit, dass diese für den Menschen angenehm gestaltet und auch die physische Sicherheit garantiert werden muss.
- **Die Herausforderungen in der Umsetzung** sind vielfältig und beginnen bereits beim Systementwurf, da der multidisziplinäre Charakter autonomer Systeme die Kooperation unterschiedlicher Fachdisziplinen erfordert. Darauf aufbauend ist die schrittweise Modernisierung bestehender Produktionssysteme hin zu autonomen Systemen zu gestalten. Autonome Systeme werden nach und nach eingeführt werden. Als Grundlage ist eine durchgängige Digitalisierung und Vernetzung entlang der gesamten Wertschöpfungskette wichtig. Dabei müssen neue Anforderungen an Interoperabilität und Sicherheit berücksichtigt werden.



- Trotz dieser Herausforderungen werden in den nächsten Jahren **erhebliche Wachstumspotenziale** für den Einsatz autonomer Systeme in der Produktion erwartet. Als Indikator für das zu erwartende Marktwachstum können im Produktionsbereich die Prognosen der International Federation of Robotics (IFR) für die Entwicklung bei den Robotikanwendungen dienen. In fast allen Branchen der verarbeitenden Industrie wird ein enormes Potenzial für den Ausbau von Roboterbeständen identifiziert, mit einer erwarteten jährlichen Zunahme von zwölf Prozent bis 2019. Hierbei wird aus heutiger Sicht der asiatische Markt als schnellster wachsender Markt eine entscheidende Rolle spielen.
- Die betrachteten **Anwendungsbeispiele** behandeln den Einsatz autonomer Systeme in der auftragsgesteuerten Produktion, in der wandlungsfähigen Fabrik sowie für die Anwenderunterstützung in der Produktion.

**Abbildung 3:**  
Autonome Systeme in der  
Produktion – Anwendungs-  
beispiele wandlungsfähige  
Fabrik und auftragsgesteu-  
erte Produktion (Quelle:  
Innovationslandkarte InnoZ).



## Straßen- und Schienenverkehr

Das Verkehrssystem von morgen ist ein integriertes System, in dem verschiedene Verkehrsmittel unterschiedlicher Automatisierungsgrade aufeinander abgestimmt agieren. Neben der Automatisierung im Fahrzeug<sup>3</sup> spielt vor allem die Vernetzung zwischen Verkehrsträgern, Infrastruktur und Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmern eine zentrale Rolle zur Erreichung der Autonomie auf übergeordneter, systemischer Ebene.

- Die **Chancen für die Gesellschaft** sind vielfältig: Unfälle werden vermieden, bestehende Verkehrswege besser ausgelastet und die Lärmbelastung wird verringert. Zudem werden die Verkehrsflüsse verstetigt, womit ein verbesserter Umwelt- und Klimaschutz verbunden ist. Weniger Staus bedeuten auch einen Zeit- und Komfortgewinn. Des Weiteren bietet die Automatisierung älteren oder behinderten Menschen die Möglichkeit, selbstständig mobil zu sein. Automatisiertes und vernetztes Fahren wird somit zu einem wichtigen Einflussfaktor für Innovationen, Investitionen und Wachstum. Eine gute Brücke, um Nutzerinnen und Nutzer an automatisierte Funktionen nach und nach heranzuführen, bieten bereits heute vorhandene Fahrerassistenzsysteme.
- Die **Risiken** bestehen einerseits in Bezug auf die gesellschaftliche Akzeptanz. Trotz des ausgewiesenen Sicherheits- und Komfortgewinns automatisierter Fahrsysteme werden diese Systeme bisher nur von Teilen der Bevölkerung positiv wahrgenommen. Die Akzeptanz kann durch Kommunikation und Aufklärung erhöht werden. Andererseits liegt ein Risiko in der Induktion zusätzlichen Verkehrs (Rebound-Effekt). Trotz relativer Effizienzsteigerungen kann es zu einer Erhöhung des gesamten Verkehrsaufkommens führen.
- Die **Herausforderungen in der Umsetzung** liegen zunächst in der Gestaltung neuer Systemarchitekturen, die, basierend auf einer Arbeitsteilung zwischen selbstfahrendem Fahrzeug und intelligenter Infrastruktur, definiert werden müssen. Das Ziel ist ein hochverfügbares, funktional sicheres, intermodales Mobilitätssystem unter Einbeziehung von Resilienzgesichtspunkten. Dafür sind die Integration autonomer, automatischer und nicht-automatischer Verkehrsmittel im Mischverkehr und die Erstellung entsprechender Migrationsstrategien zu gestalten sowie die Betriebs- und funktionale Sicherheit der autonomen und automatisierten Fahrzeuge sicherzustellen. In diesem Kontext ist auch auf die Anpassung der regulatorischen Rahmenbedingungen hinzuweisen, die die Fahrerinnen und Fahrer derzeit noch für die Systemüberwachung verantwortlich und daher als Rückfallebene verstehen.

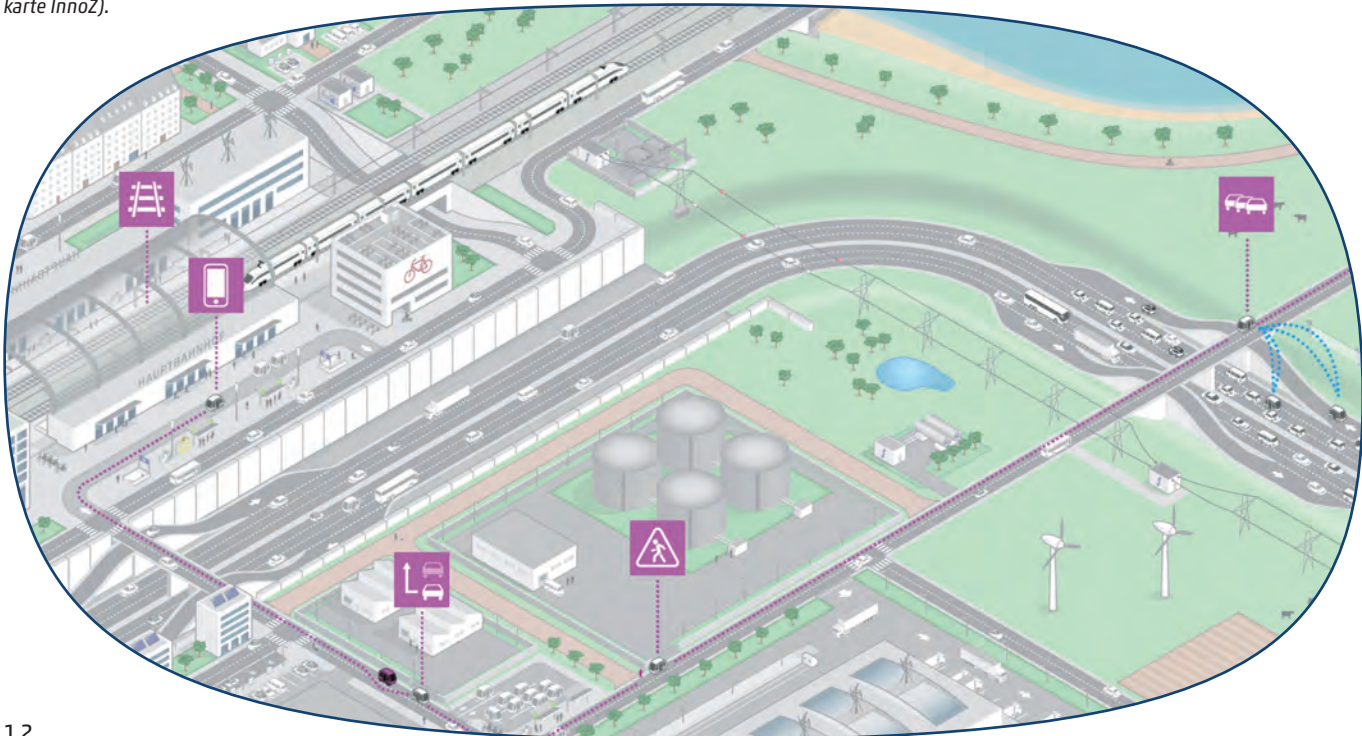
<sup>3</sup> Vgl. Lemmer 2016.



- Automatisierte Fahrsysteme werden zukünftig den **Mobilitätsmarkt revolutionieren**. Durch den hohen Digitalisierungsgrad ist der Zugang zu Fahrplänen oder Sharing-Angeboten jederzeit gegeben und bewirkt eine zunehmende Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel, von Fahrgemeinschaften oder Carsharing-Angeboten. Überwiegend in urbanen Räumen zeigt sich ein Wandel des Mobilitätsverhaltens. Noch in diesem Jahr werden teilautomatisierte und ab 2020 bereits hochautomatisierte Modelle auf dem Markt erwartet. Hierbei sind besonders deutsche Hersteller führend (58 Prozent der Patentanmeldungen zum autonomen Fahren stammen seit 2010 von deutschen Autoherstellern und Zulieferern), jedoch könnten auch asiatische und US-amerikanische Produzierende aufgrund hoher Dynamik und großer Leitmärkte künftig aufsteigen.

**Abbildung 4:**  
Autonome Systeme im Straßen- und Schienenverkehr  
– Anwendungsbeispiele  
zur Durchführung einer  
Fernreise sowie Mobilität  
im urbanen Raum und auf  
stark belasteten Straßen  
(Quelle: Innovationsland-  
karte InnoZ).

- Die betrachteten **Anwendungsbeispiele** behandeln den Einsatz autonomer Systeme im Rahmen einer privaten Fernreise, im ländlichen und urbanen Raum sowie auf stark belasteten Straßen und für den Seehafenhinterlandverkehr.



## Smart Home

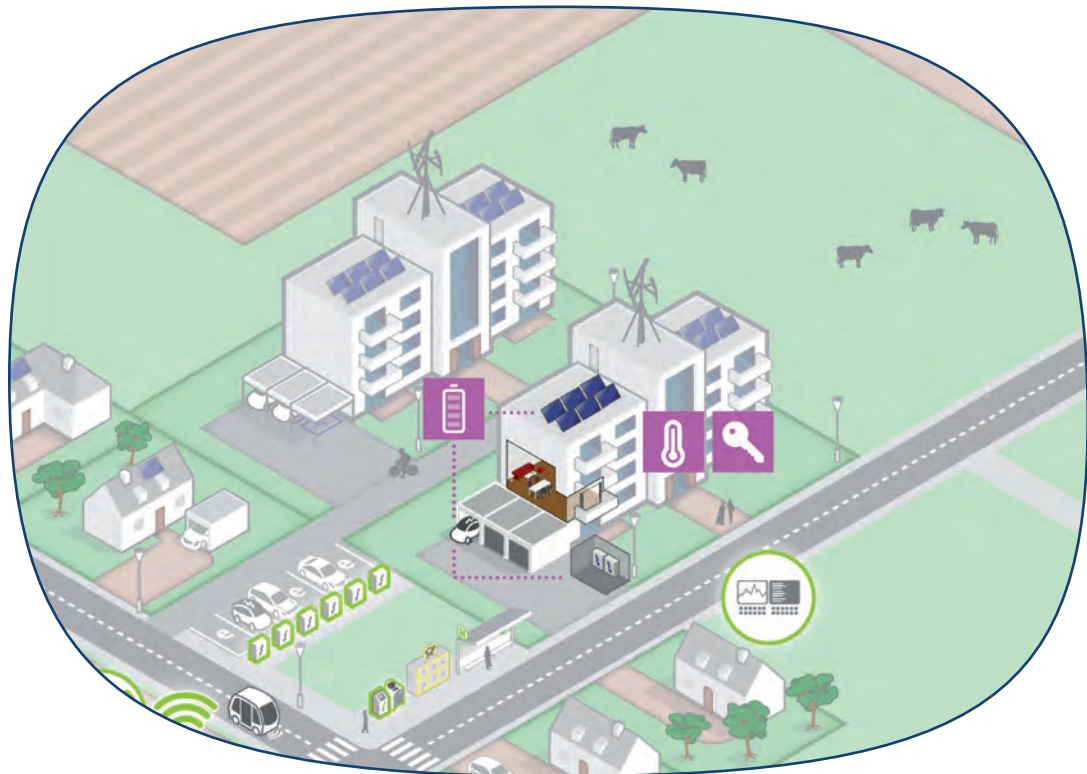
Die stetig steigenden Anforderungen an Gebäude im Hinblick auf Energieeffizienz, Komfort- und Assistenzfunktionen sowie die Sicherheit für die Bewohnerinnen und Bewohner treiben die Entwicklung von Smart-Home-Technologien voran. Bedingt durch die zunehmende Digitalisierung unseres Lebensumfeldes werden Smart Homes zu einem wichtigen Element in einer umfassend vernetzten, digitalen Welt.

- Die **Chancen** im Smart-Home-Bereich liegen in einer erheblich verbesserten Energieeffizienz sowie in der individuellen, technisch unterstützten Assistenz der Bewohnerinnen und Bewohner. Erweiterte Komfort- und Sicherheitsfunktionen sind dabei Wegbereiter und erhöhen die Akzeptanz bei den Nutzerinnen und Nutzern. Im Zusammenspiel mit erneuerbaren Energien, dezentraler Energieerzeugung und intelligenten Stromnetzkonzepten (Smart Grid) können Smart Homes zukünftig zu einer erheblich höheren Energieeffizienz im Wohnumfeld sowie zur Stabilität des Energienetzes beitragen. Im Gegensatz zu heutigen Systemen ist ein zukünftiges Smart Home ein Multinutzersystem, das einzelne Bewohnerinnen und Bewohner zuverlässig erkennt und somit auf individuelle, das heißt nutzerspezifische, vorkonfigurierte und gelernte Vorlieben, Muster und Gewohnheiten reagieren kann. Dabei passt sich ein Smart Home durch ausgeprägte Selbstlernfunktionalitäten stetig an die sich ändernden Lebensumstände der Bewohnerinnen und Bewohner an und führt viele Steuerungs-, Überwachungs- und Assistenzaufgaben selbstständig, intelligent, adaptiv und vorausschauend aus.
- Die **Risiken** liegen in der bisher mangelnden Interoperabilität der beteiligten Systemwelten sowie in der Akzeptanz seitens der Nutzerinnen und Nutzer. Hierfür spielen ein transparenter Datenschutz sowie eine an die jeweiligen Bedürfnisse angepasste, einfache Interaktion mit einem Smart Home eine entscheidende Rolle.
- Eine wesentliche **Herausforderung bei der Gestaltung eines Smart Homes** liegt aufgrund der langen Nutzungsdauer technischer Gebäudeanlagen in der Sicherstellung einer langfristigen Interoperabilität. Geräte, Komponenten und digitale Dienste müssen unabhängig von spezifischen Herstellern in jedem beliebigen Smart Home ihre Funktionen und Mehrwertdienste bereitstellen, sodass die Bewohnerinnen und Bewohner bestehende Installationen auch noch nach Jahren erweitern und gewünschte Funktionalität frei konfigurieren können. Die Multi-Nutzer-Fähigkeit stellt eine große Herausforderung dar, da den Bedürfnissen aller Bewohnerinnen und Bewohner gleichzeitig entsprochen werden muss. Die ausgeprägte Interaktionsfähigkeit des Smart Homes, die für alle Generationen gleichermaßen intuitiv bleiben muss, ist ebenso bedeutend wie die Selbsterklärungsfähigkeit, beispielsweise im Fall einer anstehenden Kontrollübergabe.



- Aufgrund der Segmentierung des Marktes für Smart-Home-Anwendungen variieren die **Prognosen zu den Marktpotenzialen** derzeit noch signifikant. Übereinstimmung besteht allerdings in den Einschätzungen zur drastischen Zunahme vernetzungsfähiger Hausgeräte innerhalb der nächsten zwei Jahre. Besonders hohe Wachstumsraten werden beispielsweise in China und Deutschland erwartet. Bedingt durch den demografischen Wandel wird in den großen Industrienationen für den Markt der Assistenztechnologien und Roboter ein enormes Wachstum in den kommenden zwanzig Jahren erwartet.
- Die betrachteten **Anwendungsbeispiele** behandeln den Einsatz autonomer Systeme für die alltägliche Unterstützung im Smart Home, als Assistenz nach einem Krankenhausaufenthalt sowie im Rahmen des intelligenten Energiemanagements.

**Abbildung 5:**  
Autonome Systeme im  
Smart Home – Anwen-  
dungsbeispiele für die  
alltägliche Unterstützung  
(Komfort und Sicherheit)  
und das intelligente Ener-  
giemanagement (Quelle:  
Innovationslandkarte InnoZ).



## Menschenfeindliche Umgebungen

Die Anwendungsfelder, Aufgaben und Einsatzarten autonomer Systeme in menschenfeindlichen Umgebungen sind sehr heterogen. Die Palette reicht von der menschenleeren Tiefsee, stark radioaktiven Bereichen und dem Weltraum, über Erkundung, Überwachung und Entschärfung bis zu Bergungsaufgaben in diversen Katastrophenbereichen. Dort müssen die Systeme sowohl mit Rettungskräften als auch mit Opfern interagieren – oft sogar in engem physischen Kontakt.

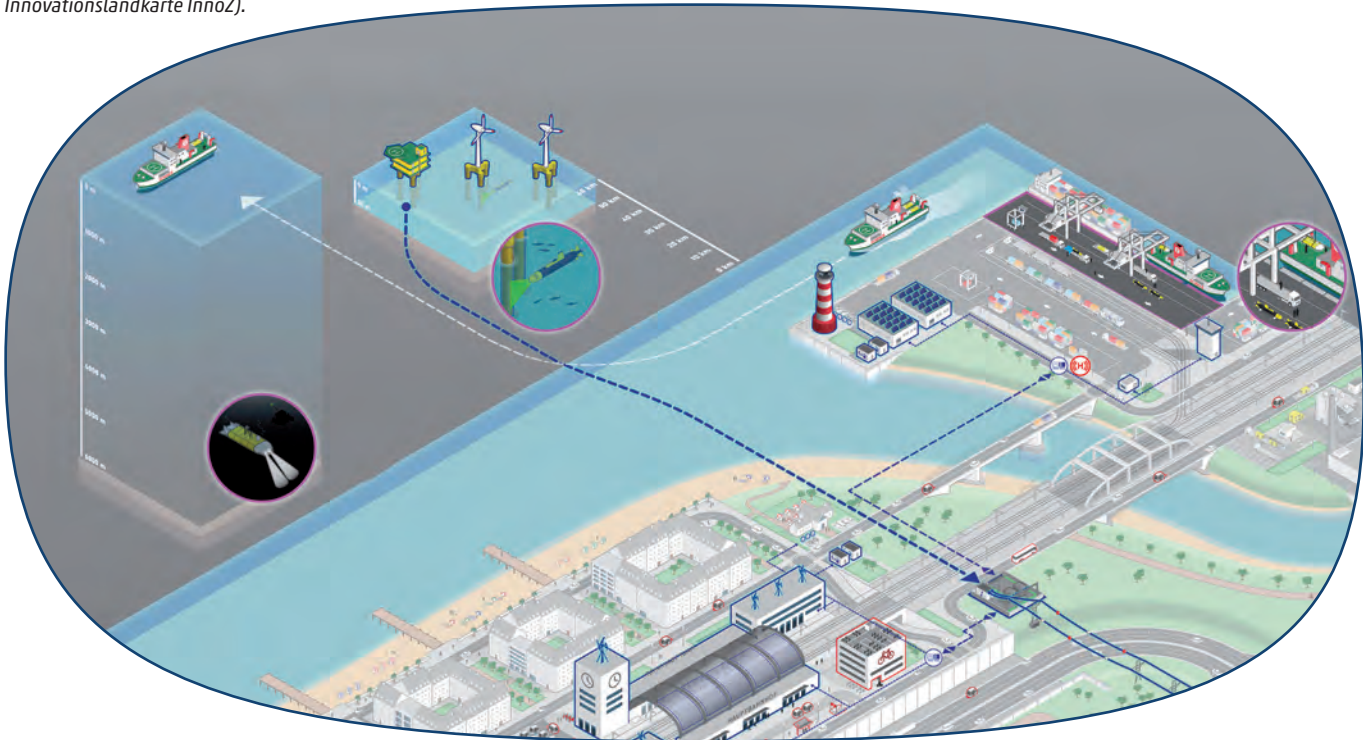
- Große **Chancen** ergeben sich in menschenfeindlichen Umgebungen, da autonome Systeme die Gefahren für den Menschen minimieren und Einsatzorte erschließen können, die für Menschen nicht dauerhaft erreichbar sind. In der Gefahrenabwehr, bei Rettungseinsätzen oder der Altlastenbeseitigung (zum Beispiel Rückbau von Kernkraftwerken) sind autonome Systeme von wachsender Bedeutung, weil sie den Einsatz von Menschen in diesen Gefahrenbereichen grundsätzlich vermeiden und sie somit schützen können. Im Weltraum oder großen Wassertiefen ist ein langfristiges effizientes Agieren für Menschen oft nicht möglich und ohne autonome Systeme können dort keine wesentlichen Fortschritte erzielt werden.
- Der Einsatz in menschenfeindlichen Umgebungen ist auch mit einigen spezifischen **Risiken** verbunden. Vor allem sind extreme Herausforderungen für die Autonomie in unstrukturierten Umgebungen mit hoher dynamischer Veränderlichkeit schwer zu handhaben. Auch die Wirtschaftlichkeit ist oft nicht leicht zu erreichen – insbesondere, weil die Nachfrage für solche Systeme im relativ sicheren Deutschland begrenzt und für ärmere Länder mit Finanzierungsproblemen eingeschränkt ist. Eine Verletzung von Menschen bei den Einsätzen im physischen Kontakt mit solchen Systemen ist nicht auszuschließen – insbesondere in dynamischen Gefahrensituationen. Bei dem Rückbau oder der Katastrophenbekämpfung können Fehlfunktionen der Systeme auch zu Umweltbeeinträchtigung führen.
- Beim Einsatz autonomer Systeme in menschenfeindlichen Umgebungen können methodische, rechtliche und ethische Fragestellungen auftauchen, die weit über den technischen Bereich hinausgehen. Diese **besonderen Herausforderungen** machen den Wechsel zwischen Autonomie und Fernsteuerung beziehungsweise situativ anpassbaren Autonomiegraden notwendig. Für die Teleoperation und die Kooperation in Mensch-Roboter-Teams bedarf es somit leistungsfähiger Mechanismen, die eine intuitive Mensch-Maschine-Interaktion und eine leistungsstarke Echtzeit-Kommunikation ermöglichen. Weitere Herausforderungen bestehen in der Entwicklung spezieller Materialien und Komponenten für den Einsatz in extremen Umgebungen, in der Energieversorgung der abgesetzten Systeme sowie der Miniaturisierung und der Kostenreduktion.



- Ein erhebliches **Marktpotenzial** ist für diverse autonome Systeme in unterschiedlichen menschenfeindlichen Umgebungen vorhanden. Vor allem Roboter für den maritimen Gebrauch in schwer zugänglichen Regionen und Tiefen bleiben trotz ihrer Kostenintensivität sehr gefragt. Mit dem Baugewerbe ist ein weiterer wachsender Markt für solche Systeme identifiziert – aufgrund gesundheitlicher Risiken für den Menschen gewinnen automatisierte Bau- und Abrissroboter zunehmend an Bedeutung. Rettungs- und Sicherheitsroboter, Systeme für die Feuer- und Katastrophenbekämpfung, aber auch für das Minenräumen sind weitere wichtige Anwendungen mit hohem Marktpotenzial. Auch die Maschinen für den menschenlosen Betrieb und Rückbau von Nuklearanlagen bleiben technologisch, ökonomisch und gesellschaftlich wichtig.

**Abbildung 6:**  
Autonome Systeme in menschenfeindlichen Umgebungen – Anwendungsbeispiele für den Einsatz unter Wasser zur Wartung und Erkundung (*Quelle: Innovationslandkarte InnoZ*).

- Die betrachteten **Anwendungsbeispiele** behandeln den Einsatz autonomer Systeme für maritime Anwendungen unter Wasser, im Weltraum, zur Gefahrenabwehr und für Sondereinsätze sowie im Rahmen des Rückbaus von Nuklearanlagen.



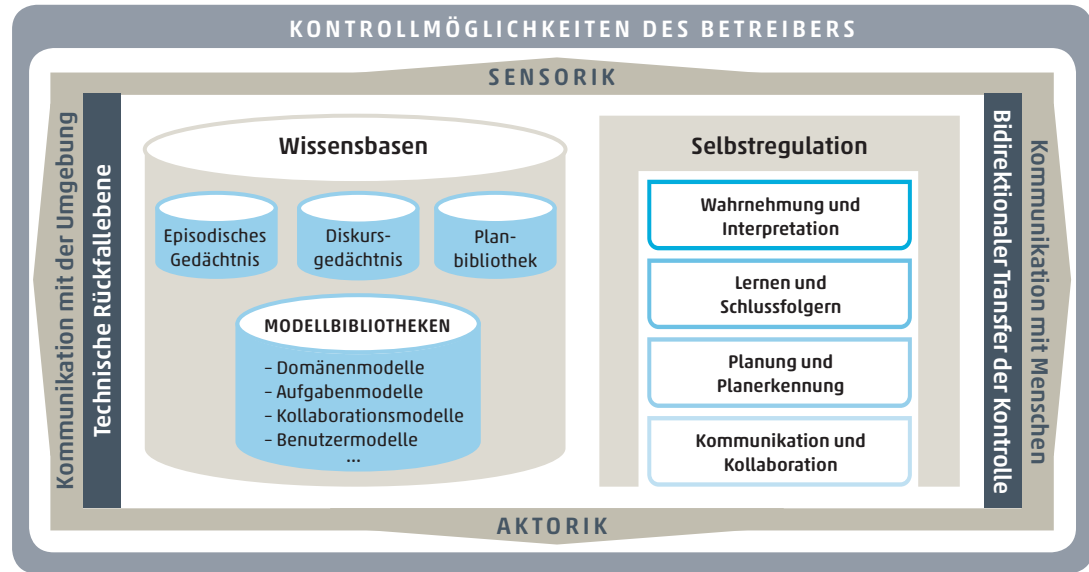
## Die technologischen Wegbereiter für den Einsatz autonomer Systeme

Die technologischen Grundlagen für (teil-)autonome Systeme entwickelten sich in den vergangenen Jahrzehnten parallel zu den Anforderungen aus den verschiedensten Bereichen. **Zentrale technologische Bausteine wie Sensorik, Lernen, das Ziehen von Schlussfolgerungen und daraus folgende Aktionen** haben in den letzten Jahren einen Stand erreicht, der in den Bereichen wie Industrie 4.0 oder digitale Assistenten bereits zu marktreifen Produkten geführt hat. Durch die Integration von Methoden der Künstlichen Intelligenz in Sensorsysteme, mechatronische Systeme, Software- und Automatisierungssysteme ergibt sich ein enormes Wertschöpfungspotenzial.

- Der in intensiver Abstimmung zwischen Wissenschaft und Industrie erarbeitete Entwurf der **Referenzarchitektur fokussiert auf die drei wesentlichen Komponenten autonomer Systeme: Sensorik, Selbstregulation und Aktorik** (siehe Abbildung 7). Der erforderliche normative Rahmen stellt die menschliche Kontrolle jederzeit sicher.
- Allen autonomen Systemen gemein ist die automatisierte Modellbildung zum **Aufbau und zur stetigen Anpassung ihrer Wissensbasen**. Diese müssen nicht nur einmalig akquiriert, sondern während der gesamten Lebensdauer eines autonomen Systems immer wieder angepasst, korrigiert und erweitert werden.
- Eine **effiziente, zuverlässige und sichere Kommunikation ermöglicht Interaktion und Kollaboration zwischen Menschen, autonomen Systemen und ihrer Umgebung**. Dabei müssen sich die autonomen Systeme deutlich stärker dem Menschen in seinem Kommunikationsverhalten anpassen als umgekehrt.
- Die **Übergabemöglichkeit der Kontrolle vom und zum Menschen ist unabdingbar** und muss berücksichtigt werden. Im Problemfall kann das System nicht aus einem einfachen Not-Aus bestehen, sondern eine Übergabe muss geregelt, transparent und situationsadäquat verlaufen (siehe technische Rückfallebene in Abbildung 7).
- **Zielorientierung, Adaptivität und Verlässlichkeit** gehören zu den **definierenden Merkmalen autonomer Systeme**, ohne die ein praktischer Einsatz nicht sinnvoll ist. Darüber hinaus weisen autonome Systeme zahlreiche Merkmale intelligenten Verhaltens auf, wie Selbsterklärungsfähigkeit, Fehler-toleranz, Resilienz, Selbstlernfähigkeit, Kooperativität und Proaktivität.



**Abbildung 7:**  
Übersicht zur Referenz-  
architektur für autonome  
Systeme (Quelle: DFKI).



## Gesellschaftliche Herausforderungen und rechtliche Rahmenbedingungen

Es ist keine Eigenheit autonomer Systeme, dass mit ihrer Einführung auch neue Risiken einhergehen, für die ein steuernder und ordnender Rechtsrahmen ausgearbeitet werden muss. Dabei sollte aber nicht vergessen werden, dass die diversen Herausforderungen, die autonome Systeme mit sich bringen, flankierende Erscheinungen der vielen Vorteile und Chancen sind, die sich durch sie wahrnehmen lassen. Je nachdem, welche Anwendungsbereiche man für autonome Systeme betrachtet, unterscheiden sich die Herausforderungen teilweise, es lassen sich aber auch übergreifende Themen herausarbeiten.

→ **Autonome Systeme werden zu Veränderungen unserer Gesellschaft führen.** Dabei besteht jedoch die Möglichkeit, dieser Veränderung dort Grenzen zu setzen, wo sie als nicht sinnvoll für die Gesamtheit betrachtet wird. Autonome Systeme sollen den Menschen unterstützen und in seiner Eigenverantwortlichkeit stärken. Die Autonomie der Technik ist mit der Autonomie der Menschen in Einklang zu bringen. Wichtig dabei ist, dass der Mensch beim Einsatz autonomer Systeme im Mittelpunkt steht. Die entsprechenden **ethischen Rahmenbedingungen** für die Verwendung autonomer Systeme **sind heute noch nicht geschaffen**.

- Eine wesentliche Herausforderung autonomer Systeme stellt die Frage der **Schadenshaftung** dar. Gerade im Zusammenspiel von Mensch und autonomem System kann es zu komplexen Fragestellungen kommen, die eine **einfache Anwendung des bestehenden Haftungsrechts erschweren**. In diesem Kontext stellt die – möglicherweise – fehlende Nachvollziehbarkeit der komplexen technischen Prozesse in autonomen Systemen im Schadensfall eine besondere Herausforderung dar.
- Die **Rolle des Datenschutzes ist in vielerlei Hinsicht klärungsbedürftig**, wenn es um den Einsatz autonomer Systeme geht. Dies gilt beispielsweise für die Nutzung von Daten im Rahmen neuer Geschäftsmodelle, aber auch im Hinblick auf Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer, deren Daten im Verbund mit autonomen Systemen gesammelt werden. Technische Lösungen zum Schutz von Daten (Privacy by Design) sollten stärker als bislang einbezogen werden. Vereinfacht werden sollte außerdem die Nutzung von anonymisierten und pseudonymisierten Daten, wie es bereits in der EU-Datenschutz-Grundverordnung verankert ist. Zur Frage der Eigentümerschaft von Daten gilt festzuhalten, dass Daten grundsätzlich dem gehören sollten, der sie erzeugt hat, außer es bestehen andere vertragliche Regelungen.
- Über das **mögliche Ausmaß der Substitutionseffekte menschlicher Arbeit** durch den Einsatz autonomer Systeme existieren keine sicheren Prognosen. Alles spricht aber dafür, dass sich mit der vierten industriellen Revolution in der Produktion erhebliche Veränderungen bei den Kernanforderungen an die Beschäftigten ergeben werden, zu denen künftig deutlich stärkere Fähigkeiten kognitiver, sozialer und persönlicher Art zählen (Fähigkeit zum Selbstlernen und zur Kreativität, grundlegende IT-Kenntnisse, Systemdenken). Über alle Branchen und Bereiche hinweg gilt: Die mit Abstand wichtigste Strategie für eine Beschäftigungssicherung der Belegschaft ist es, in mehr Weiterbildung und Qualifizierung zu investieren.
- Autonome Systeme sind in der Regel vernetzt; damit besteht grundsätzlich die **Gefahr von Cyberattacken und Sabotagen**. Die Systeme sind deshalb so zu konzipieren und zu schützen, dass solche Angriffsmöglichkeiten auf ein Minimum begrenzt werden. Das gilt auch für Fehlfunktionen, die durch Fehler im System selbst verursacht werden. Verschiedene Umfragen zeigen, dass für die gesellschaftliche Akzeptanz der sichere Betrieb autonomer Systeme einen herausragenden Stellenwert hat.

Die prinzipiell begrüßenswerte **Forderung nach einem „Not-Aus“ autonomer Systeme** zielt darauf ab, eine Form von Kontrollrückgabe an den Menschen zu veranlassen beziehungsweise selbsttätig einen sicheren Zustand herzustellen. Dies sollte aber nicht dazu führen, dass sich die Hersteller aus der Verantwortung für das System ziehen können, weil es mit einer ihm unbekannten Situation nicht umgehen kann. Demgegenüber ist eine vom System veranlasste Kontrollrückgabe an den Menschen grundsätzlich möglich, wenn sie diesem prinzipiell bekannt ist und er für die Übernahme eine ausreichende Vorbereitungszeit hat. Bei Notsituationen, im medizinischen Bereich oder in der Pflege, sind Fälle denkbar, in denen die uneingeschränkte Möglichkeit einer Kontrollrückgabe die unterstützende Funktion des Systems konterkarieren kann. Auch dieses **Spannungsfeld muss gesellschaftlich diskutiert und letztlich geregelt werden**.



## HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Aufgrund der Stärken der deutschen Wissenschaft im Forschungsgebiet Künstliche Intelligenz und der wirtschaftlichen Expertise bezüglich Industrieautomatisierung, Sensorsysteme und Mechatronik **stehen die Chancen gut, dass Deutschland zum Leitanbieter autonomer Systeme auf dem Weltmarkt wird.** Zudem bedürfen die für den Aufbau der Systeme notwendigen Komponenten einer breiten und vielfältigen Industriestruktur, weshalb Deutschland mit seinem starken Mittelstand und einer Vielzahl relevanter Anbieter gut aufgestellt ist. Allerdings müssen der Mittelstand sowie Start-ups so früh wie möglich, beispielsweise durch koordinierte regionale Aktivitäten, eingebunden und in der Breite mobilisiert werden.

Mit seiner **exzellenten universitären wie außeruniversitären Forschungslandschaft**, bestehend aus dem Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI), aus einschlägigen Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft, der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, der Max-Planck-Gesellschaft, der Leibniz-Gemeinschaft sowie herausragenden Lehrstühlen an den Universitäten **verfügt Deutschland über eine gute Basis für erfolgreiche Validierungs- und Verbundprojekte zur Realisierung autonomer Systeme – gemeinsam mit der Wirtschaft.** Allerdings gilt es, die Förderung im Bereich der Künstlichen Intelligenz – insbesondere des Maschinellen Lernens – konsequent auszubauen.

Deshalb sollte nach den nun durchgeführten Vorbereitungen das **Thema „Autonome Systeme“ in die Liste der Zukunftsprojekte aufgenommen werden.** Entsprechende Umsetzungsforen wurden auf der Hannover Messe 2016 und der CeBIT 2017 veranstaltet, jeweils begleitet mit vielen Exponaten an einem eigenen Stand. Der Zwischenbericht des Fachforums Autonome Systeme<sup>4</sup> wurde auf der Hannover Messe 2016 an die Bundesministerin für Bildung und Forschung, Prof. Dr. Johanna Wanka, übergeben.

Dieser Abschlussbericht (Langversion) wird auf der Hannover Messe 2017 vorgestellt. Die Kurzversion des Abschlussberichts wurde bereits zur CeBIT an die Bundeskanzlerin übergeben. Um mithilfe autonomer Systeme zur Gestaltung zahlreicher gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Herausforderungen beitragen zu können, **sehen die Expertinnen und Experten des Fachforums direkten Handlungsbedarf.** Dieser konkretisiert sich in acht übergreifenden Handlungsempfehlungen, die in einem Zukunftsprojekt zu autonomen Systemen weiterführend adressiert werden sollten.

Die detaillierten Handlungsempfehlungen der einzelnen Kapitel sollten in bereits aufgelegten Programmen wie „Industrie 4.0“ oder „menschenfeindliche Umgebungen“ aufgegriffen werden. Gleichzeitig sollte bei der Festlegung von Förderschwerpunkten auf maximale Transparenz und inhaltliche Kohärenz (Beispiele: Digitale Agenda und Hightech-Strategie) geachtet werden, um die gesellschaftliche Unterstützung der Forschungs- und Innovationspolitik sicherzustellen. Abschließend bleibt anzumerken, dass gezielte und vergleichende Studien zur Einschätzung des Marktpotenzials autonomer Systeme derzeit noch fehlen. Es wird daher empfohlen, eine umfassende Bewertung bestehender Analysen sowie eine Studie zu den beobachteten Marktentwicklungen und entsprechenden Prognosen für den Bereich autonome Systeme in Auftrag zu geben.

## 1. Frühzeitigen und langfristig angelegten gesellschaftlichen Dialog etablieren

Die **Akzeptanz** autonomer Systeme gilt es in einem **breit und frühzeitig angelegten gesellschaftlichen Dialog** zu fördern. Hierzu gehören auch eine Aufklärung und die öffentliche Debatte über Chancen, Grenzen und Risiken derartiger Systeme. Es sollte eine klare Darstellung angestrebt werden, ab welchem Grad der Nutzung eines solchen Systems Verbesserungen der Sicherheit, des Umweltschutzes und der Effizienz erreicht werden. In gleichem Maße gilt es, das Auftreten von Risiken entsprechend transparent darzustellen.

Gemäß den Vorschlägen des Fachforums Partizipation und Transparenz kann dieser Dialog bereits im Rahmen des forschungs- und innovationspolitischen Agenda-Setting-Prozesses, das heißt mit dem Konzeptions- und Vorbereitungsprozess größerer, langfristig angelegter Förderprogramme, beginnen.

## 2. F&E-Programm für Key Enabling Technologies und gesellschaftliche Herausforderungen aufsetzen

Für die Entwicklung und den Einsatz autonomer Systeme existieren eine Reihe **externer Schlüsseltechnologien, die den Kontext und die Infrastruktur für eine erfolgreiche Umsetzung bilden**. Dazu zählen als Basis eine Infrastruktur für die Vernetzung mit minimaler Latenz und Ultrakonnektivität gemäß 5G, sowie der Bereich des Cloud-/Edge-Computing für die verteilte Verarbeitung komplexer Berechnungen und die Bereitstellung hochauflösender Karten. Ebenso relevant ist die aktuelle Forschung zur Mensch-Maschine-Interaktion für den Bereich Kommunikation und Kollaboration sowie zum Systems Engineering. Für die Förderung der Akzeptanz und die Erhöhung der Sicherheit autonomer Systeme ist die Etablierung der Rückverfolgbarkeit von Entscheidungen der Systeme notwendig; für die Entwicklung sind aber auch Simulation sowie Zertifizierungs- und Testumgebungen erforderlich. In diesem Kontext sei auch nochmal auf die Rolle von Massendaten hingewiesen, deren Verfügbarkeit als Trainingsdaten für das Maschinelle Lernen und den Aufbau der notwendigen Wissensbasis maßgeblich relevant ist.

Neben der Förderung dieser Key Enabling Technologies gilt es, **die konkreten Chancen und Risiken, die sich aus dem Einsatz autonomer Systeme ergeben, genauer zu erforschen**. Im Mittelpunkt dieser wissenschaftlichen Auseinandersetzung sollten beispielsweise Fragen hinsichtlich des Nutzerverhaltens und der Nutzerbedürfnisse sein, die Folgen für den gesellschaftlichen Kontext (zum Beispiel Unterstützung und Autonomie des Menschen) sowie die zu erwartenden Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt oder für die Umwelt (zum Beispiel Ressourceneffizienz und Rebound-Effekte, das heißt relative Effizienzsteigerung bei gleichzeitiger Zunahme des absoluten Ressourcenverbrauchs).



### 3. Kompetenzaufbau zu maschinellen Lernverfahren fördern

Es gilt, den **Aufbau von Kompetenz bezüglich maschineller Lernverfahren** gezielt zu fördern und bestehende Institutionen zu stärken. In diesem Kontext sollten Aufträge an bereits existierende Big-Data-Zentren für die Bereitstellung von Trainingsdaten für autonome Systeme erteilt werden. Auch Behörden, Verbände und Industrieunternehmen sollten motiviert werden, anonymisierte Massendaten für das Training maschineller Lernsysteme verfügbar zu machen.

Des Weiteren wird der Forschungsförderung zur automatischen Handlungsplanung in autonomen Systemen große Wichtigkeit beigemessen. Es gilt, heutige Künstliche-Intelligenz-Ansätze im Hinblick auf Robustheit in realistischen Szenarien zu erweitern, vor allem im Kontext der Langzeitautonomie gegenüber temporärer Autonomie, des Übergangs zwischen autonomen Regelkreisen und Autonomiestufen sowie der **Shared Autonomy** (der intelligenten Kombination menschlicher und maschineller Fähigkeiten). Entscheidungsfindungsprozesse autonomer Systeme nachvollziehen zu können, ist ein wichtiges Anliegen. Dieses sollte durch den Aufbau von standardisierten Schnittstellen und Referenzarchitekturmodellen sowie von vollständigen, verlässlichen und zertifizierten Wissensdatenbasen unterstützt werden.

### 4. Normungs-Roadmap entwickeln und Zertifizierungsanforderungen überprüfen

Bei der Realisierung von autonomen Systemen werden in der Regel verschiedene Zulieferer aus unterschiedlichen Ländern Funktionsmodule beisteuern. Zur Gewährleistung der funktionalen und IT-Sicherheit, der Sicherstellung der Interoperabilität und Integrationsfähigkeit von Systemkomponenten, aber auch der Einhaltung von rechtlichen (hier zum Beispiel der Schutz persönlicher oder personenbeziehbarer Daten) und ethischen Ansprüchen sind Konformitätsbewertungen vorzusehen. Diese müssen Bestandteil eines Zertifizierungs- oder auch Zulassungsverfahrens sein.

Im Rahmen einer **Normungs-Roadmap** gilt es, die Entwicklung und Einführung einheitlicher globaler Standards und Schnittstellen zur Lösung von **Interoperabilitäts- und Kompatibilitätsfragen im nationalen und internationalen Kontext** zu unterstützen.

In Bezug auf die **Konformitätsbewertung und Zertifizierung** sind existierende Ansätze auf notwendige **Anpassungsbedarfe für die Zulassung und den Betrieb autonomer Systeme** zu überprüfen. Beispielhaft sind Sicherheitsnormen (wie die Maschinenrichtlinie) bei Systemen ohne menschlichen Bediener, aber mit menschlichem Interaktionspartner zu nennen. Gleichzeitig sind eine frühzeitige Einbindung, Begleitung und Weiterentwicklung der Standardisierungs- und Zertifizierungsentitäten notwendig.

Schließlich wird es als zielführend erachtet, eine **multimodale Simulationsumgebung** mit standardisierten Schnittstellen einzuführen, die sich zur Zertifizierung unterschiedlicher autonomer Systeme in dynamischen Umgebungen eignet. In dieser Simulationsumgebung könnten auch die Wechselwirkung mit Menschen sowie rechtliche und ethische Aspekte des Verhaltens autonomer Systeme optimiert und auf deren Konformität hierzu geprüft werden.

## 5. Internationale Rahmenbedingungen weiterentwickeln

Zur Sicherung des Wettbewerbsvorteils deutscher Schlüsselindustrien ist es wichtig, einen innovationsfördernden und verlässlichen **Rechtsrahmen** zu etablieren. In diesem Kontext sollten Zulassungs- und Haftungsfragen (Hersteller, Betreiber, Nutzer) geklärt und die Notwendigkeit von Anpassungen im vorhandenen Rechtsrahmen überprüft werden. Auch ob eine Weiterentwicklung des Gewährleistungsrechts (Sicherheits- und Funktionsupdates) notwendig ist, sollte überprüft und mit existierenden Regelungen abgeglichen werden.

Regulierung im Umfeld autonomer Systeme sollte **stets international kompatibel** sein, um eine Benachteiligung nationaler Unternehmen zu vermeiden. Die konkrete Gestaltung der Regulierung sollte daher auch in einem intensiven Austausch mit den betreffenden Industrien stattfinden. Vielfach sind bereits vorhandene Regelungen auch für neue Technologien und Anwendungsfälle relevant, zum Beispiel im Bereich der Produktsicherheit oder bei Haftungsfragen. Da autonome Systeme im Technik- und Wirtschaftsleben nicht abrupt sondern evolutionär Einzug halten, bieten sich „**Experimentierklauseln**“ innerhalb eines begrenzten (Zeit-) Rahmens und mit Zustimmung der direkt Beteiligten an.

## 6. Herausforderungen für die Arbeits-, Aus- und Weiterbildungspolitik formulieren

Wie sich die Einführung autonomer Systeme auf die Arbeit, auf Beschäftigung sowie auf Aus- und Weiterbildung auswirkt, muss detailliert untersucht werden. Konkret gilt es, Qualifikationsanforderungen zu klären und Roadmaps anhand der vorgestellten Anwendungsbeispiele für das Erreichen der erforderlichen Qualifikationen zu entwickeln.



## 7. Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Wirtschaft stärken

Um technologischen Vorsprung, dauerhafte Technologieführerschaft, eine menschengerechte Arbeitsgestaltung und eine frühzeitige Nutzung von Marktvorteilen sicherzustellen, gilt es **Innovationslabore** zum Thema autonome Systeme einzurichten, in denen Projekte zur Umsetzung und zur Technologiemigration in die Industrie gefördert werden. Beispielgebend sind hier die Mensch-Roboter-Kollaboration (zum Beispiel MRK 4.0) und menschenfeindliche Umgebungen<sup>5</sup> zu nennen. Gerade im Rahmen der Mensch-Roboter-Kollaboration ist es notwendig, eine Standardisierung des Kontrolltransfers zu unterstützen, wobei sich zunächst ein deutlicher Bedarf für den Einsatzbereich autonomer Fahrzeuge ergibt. Auch sollten **Leuchtturm- und Demonstrationsprojekte** gefördert und unter Einbindung von Politik, Wissenschaft, Industrie, Betreibern, Anwendern und weiteren gesellschaftlichen Gruppen ausgestaltet werden.

## 8. Regelungen zu Datenschutz und IT-Sicherheit an neue Herausforderungen anpassen

Im Bereich des **Datenschutzes** müssen die Regelungen zu Datenerhebung, Datenzugriffsrechten sowie zu einer sicheren Verarbeitung, Speicherung und Verteilung von Daten erneut geprüft werden. Insbesondere müssen Zielkonflikte zwischen dem Recht auf informationelle Selbstbestimmung (Schutz personenbezogener respektive -beziehbarer Daten) und den Chancen des Datenaustausches über Software- und Unternehmensgrenzen hinweg aufgelöst werden, etwa für Maschinelles Lernen in autonomen Systemen oder auch für digitale Geschäftsmodelle.

Diesbezügliche Konzepte müssen transparente und nutzerfreundliche Informationen über die Datenströme beinhalten und dem Recht auf eine souveräne Entscheidung über die Verwendung von Daten durch deren Besitzerinnen und Besitzer gerecht werden (Datensouveränität).

Mit Blick auf die **IT-Sicherheit** gilt es, die digitalisierte, smarte Infrastruktur sowie die Maschinen, Fahrzeuge und Roboter vor IT- beziehungsweise Cyber-Bedrohungen zu schützen. Obwohl dies eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe ist, muss überlegt werden, welche Handlungsoptionen dem Staat in Verbindung mit privaten Dienstleistern zur Verfügung stehen, um das notwendige Maß an IT-Sicherheit bei autonomen Systemen aufrechterhalten zu können. Die jederzeitige Verfügbarkeit und Validität der steuerungsrelevanten Daten ist eine Grundvoraussetzung für jedes autonom agierende System.

# ENGLISH VERSION

## EXECUTIVE SUMMARY

## RECOMMENDATIONS





## EXECUTIVE SUMMARY

We live in a time of rapid change driven by digital technology. This digital transformation is enabled by sensors, machine learning and robotics. These technologies and applications are becoming ever cheaper and more widely available. Convenient new IT-based systems, for example driver assistance systems, smartphones and the growing device connectivity, are becoming more and more important in our everyday lives and are paving the way for the introduction of autonomous systems. **Consequently, it is time for a detailed analysis of the opportunities and impacts associated with the use of autonomous systems.**

The term “autonomous systems” applies not only to robots in the conventional sense but also to manufacturing systems, vehicles, buildings and software systems. Autonomous vehicles, for instance, also support the mobility of people with physical or mental disabilities, while smart homes enable a longer independent life in one's own home. Autonomous systems are thus able to support independent living, especially for people in difficult circumstances. **Autonomous systems have huge potential for helping people to live independently and can act as enablers of an inclusive society.**

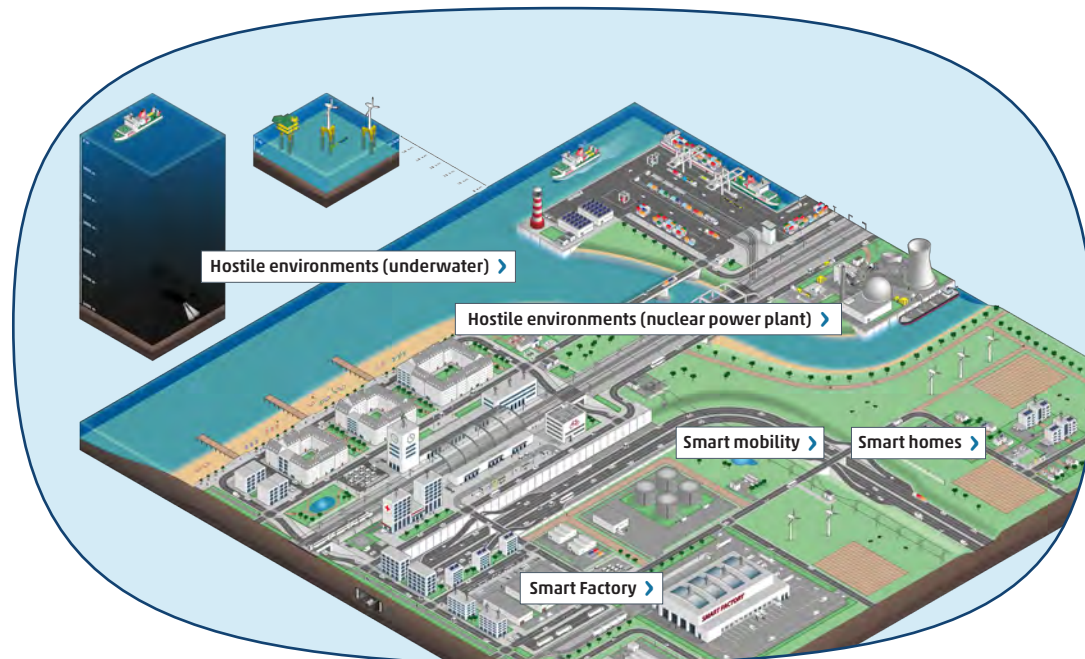
The development and introduction of autonomous systems also has the potential to bring about fundamental change in many different areas of our society and economy. They can help to reduce the resource consumption of work and production processes, make them more flexible and adapt them more successfully to different demographic groups. They can also make mobility and logistics systems safer, more efficient and more sustainable. Autonomous systems in buildings can enable significant improvements in energy efficiency. Moreover, they can be employed in hostile environments to provide people with active support or even replace them altogether. **Autonomous systems thus have the potential to help us solve or find constructive approaches towards a range of social and economic challenges.**

Although technological developments result from society's pursuit of better living standards, they can also bring about changes in different areas of society. These changes may be desired, but they may also be unexpected or even unwanted. Since this ambivalence is inherent in all major technological changes, it also applies to autonomous systems. The fact that people using autonomous systems must temporarily and partially relinquish some of their decision-making ability highlights the challenges facing their users. **While autonomous systems offer great opportunities, they also entail risks for the individual and for society as a whole.**

A key factor for the acceptance of a new technology – although not always sufficient – is that it should provide tangible and relevant added benefits that can be appreciated by the individual. As long as this is the case, people are likelier to perceive the growing use of autonomous systems, for example in the workplace, as something that makes their work easier and improves their job quality. **Widespread social acceptance of autonomous systems will depend on whether they can demonstrate that they provide a valuable, safe and reliable service to society.**

The challenge facing society in Germany, Europe and globally is to shape this transformation in a way that lastingly secures both living standards and economic and technological competitiveness. **In view of the increasingly apparent ambivalence regarding the opportunities and risks of autonomous systems, it is important to establish a broad social dialogue on the subject; both nationally and internationally<sup>1</sup>.**

The Expert Panel Autonomous Systems has studied autonomous systems' individual areas of application in order to investigate the overarching similarities and the requirements for a successful interaction. These arise both from the need to develop the necessary technologies and from the challenges for society and the necessary regulatory framework. **In an increasingly connected world, autonomous systems' individual areas of application can no longer be considered separately, since people will come across them in all kinds of different everyday situations.**



**Figure 1:**  
The Expert Panel Autonomous Systems Innovation Map: a systemic approach to the use of autonomous systems in different areas of application (Source: InnoZ Innovation Map).

<sup>1</sup> See EP DG IPOL 2016.



## At home, at work and on the move – the encounter with autonomous systems

For its analysis of the technological requirements, the framework conditions and possible social changes associated with the use of autonomous systems, the Expert Panel chose to focus on the four areas of application that are set to be the most important until at least 2030:

- **industrial production**, in the context of a much more flexible automation and adaptive production according to Industrie 4.0
- **road and rail transport**, in the context of enabling flexible, affordable, safe and environmentally- and climate-friendly mobility and logistics
- **smart homes**, in response to the desire for improved energy efficiency and also as a key enabler of enhanced security and of assistance and care in an ageing society
- use of **autonomous systems in hostile environments**, for example for rescue operations, working underwater or decommissioning nuclear power plants

The use cases presented for these areas of application outline a possible development path and provide suggestions as to how it might be achieved. Many of the associated societal challenges and ethical issues will only arise and be resolved over time. At the beginning of this learning process, however, it suffices to observe a number of important fundamental rules. For instance, the protection of people should always take precedence over the protection of animals and things. In the event of unavoidable harm to humans, the risk of injury should be minimised and, in accordance with the principle of equality, no one group should be discriminated against. These rules also include the requirement that people should be able to retrieve control at all times and that possible malfunctions should be transparently documented <sup>2</sup>. **Based on these fundamental rules, autonomous systems can be introduced in a gradual and experience-based manner as part of a continuous and transparent learning process that includes all the relevant social actors.**

Overall, results of the investigations indicate that the demand for ever greater levels of customisation both in manufacturing and the service sector, as well as in our everyday lives can be affordably met through the collaboration between people and autonomous systems. In some industries, manufacturing facilities that had been relocated from Germany to low-wage countries are being reshored, since the use of autonomous systems and the more efficient logistics through greater customer proximity compensate cost disadvantages. Consequently, new jobs are now being created, for example in the customised production of sportswear, luxury goods, foodstuffs and furniture. **The use of collaborative autonomous systems makes it possible to maintain high quality standards in areas such as production, logistics, mobility, security and healthcare whilst at the same time protecting jobs despite the relatively high labour costs in Germany.**

Nevertheless, Germany will only be able to play a leading role in shaping the future of autonomous systems if this is supported by society as a whole. **In those instances where the changes associated with autonomous systems entail more risks for society than opportunities, society can and must place limits on them.**

## From digital assistance systems to multiple automation levels and full autonomy

A distinction can be drawn between **remote-controlled (teleoperated) systems, assistance systems, automated systems** capable of independently performing certain subtasks and **autonomous systems**.

**Digital assistance systems that can be intentionally activated and overridden by people are already widespread in all the application areas.** Building on this technology, automated systems are capable of performing a predefined sequence of actions, but are unable to understand the consequences of their actions or change the sequence.

**Automated systems may possess different degrees of automation depending on the area of application.** A standard classification already exists for vehicles which distinguishes between semi-automated, highly automated and fully automated systems. As the level of automation increases, the required degree of supervision generally declines and the need for a transfer of control becomes less frequent.

**A system can be described as autonomous if it is capable of independently achieving a predefined goal in accordance with the demands of the current situation without recourse either to human control or detailed programming.** Such systems can use sensors to detect their environment, proactively formulate a suitable plan of action in line with the requirements of the situation and employ actuators to safely and reliably execute this plan. A draft reference architecture developed in close collaboration between academia and industry focuses on sensors, self-regulation and actuators as the three key elements of autonomous systems. Self-regulation of autonomous systems is enabled by the following qualities: detection and interpretation, planning and plan recognition, learning and reasoning, and communication and collaboration (see Figures 2 and 7).

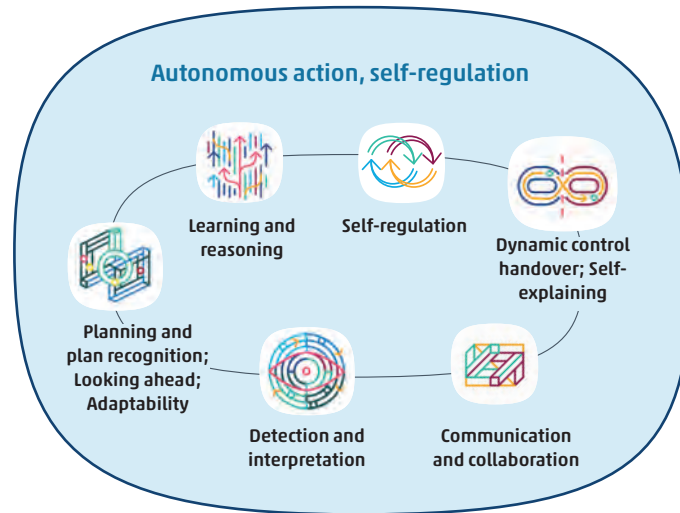
**Machine learning technologies are a particularly critical component of autonomous systems, since they enable smart behaviour that is independent of human influence.** Machine learning allows autonomous systems to generate new knowledge from the data they collect and receive and continuously expand their knowledge base. Without this self-learning capacity, it would be virtually impossible to program systems to react appropriately to all conceivable situations. The time and resource consuming process of machine learning is carried out beforehand with the aid of real and simulated training data. These trained systems enable an extremely efficient interpretation of concrete situations in the field. Variations of specific situation types are then fed back into the knowledge base, enabling an improved response to future situations.



Efficient, reliable, safe and secure communication, interaction and collaboration between people, autonomous systems and their environment is of paramount importance. In this context, a further distinction is drawn between short-term and long-term autonomy, which are especially important for systems deployed in hostile environments such as space or underwater. Another key feature of autonomous systems is the ability to adapt to a person's behaviour during human-machine interactions.

Multiple autonomous systems can combine to form higher-order autonomous systems. An example would be an overall smart home system where different components in the areas of energy management, security and assistance all work together. In the event of a failure of the overall system, it is essential to ensure that individual components can continue to intelligently perform key functions such as heating, door locking and lighting.

**Figure 2:**  
Key requirements for  
autonomous action and  
self-regulation of auton-  
omous systems (Source:  
authors' own illustration).

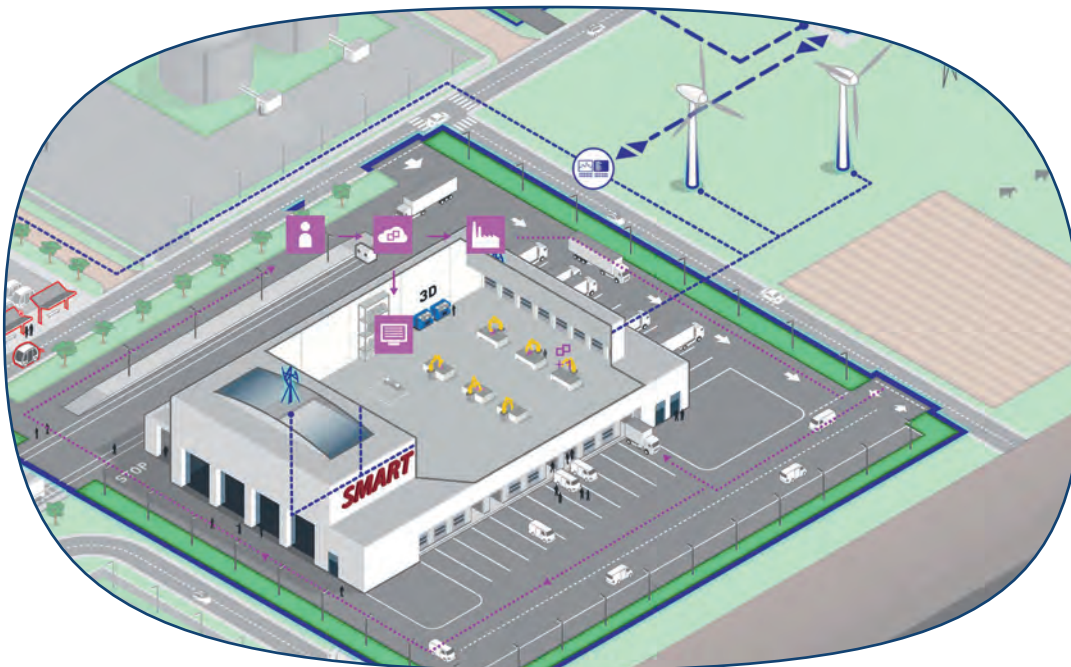


## Industrial production

Even today, highly complex, connected systems are appearing in industrial production as a result of product diversity, extremely diverse manufacturing processes and logistics chains, market uncertainty and all sorts of external parameters. As flexibility and productivity requirements continue to grow, autonomous systems enabled by the full digitalisation of the entire value chain will be key to achieving the highly flexible automation envisaged by Industrie 4.0. **Time-consuming and costly process modifications that formerly had to be carried out by engineers and programmers will now be executed automatically without human intervention.**

This will make it possible to achieve the vision of completely order-driven production enabled by factories that are capable of adapting autonomously. Nevertheless, despite all the advances in automation and artificial intelligence, **people will remain at the centre** of this new manufacturing environment. Unlike today, however, they will collaborate closely with machines and receive individual support from them.

- **Numerous opportunities** arise from the possibility of manufacturing complex and multi-variant products both in a resource-efficient - through being automated - and highly adaptive manner. The flexibility provided by autonomous systems will enable a wide range of different products without needing to make the corresponding adjustments to manufacturing equipment as was the case in the past. This will allow loosening the currently tight coupling of products and production. It will also facilitate the production of small batches on demand and in close proximity to the customer, creating the basis for completely new business models in manufacturing industry.
- **The risks** are mainly connected with the question of acceptance. Firstly, since autonomous systems must collaborate closely with people, they need to be accepted by them as partners. It is possible that there could be some resistance towards them among the workforce. It is important that this potential opposition should be countered with complete transparency. Secondly, working closely with autonomous systems should be a pleasant experience for the people involved and their physical safety must be guaranteed.



**Figure 3:**  
Autonomous systems in  
industrial production –  
use cases for the adaptive  
factory and order-driven  
production (Source InnoZ  
Innovation Map).



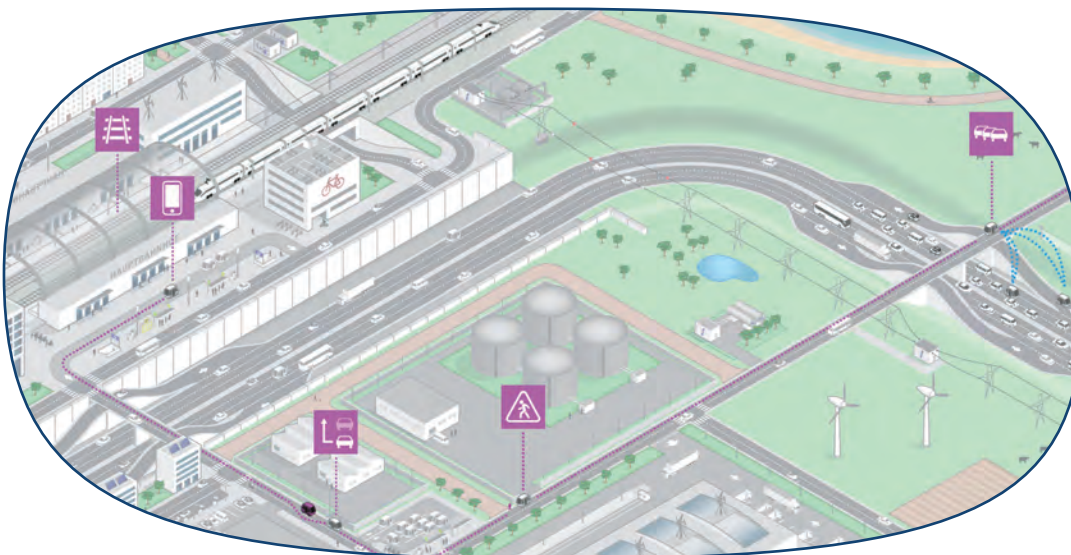
- The **challenges in terms of implementation** are numerous, beginning with the design of the systems themselves, where the multidisciplinary nature of autonomous systems calls for cooperation between several different disciplines. Following on from this, it will be necessary to progressively modernise current manufacturing systems until they are eventually transformed into autonomous systems. Autonomous systems should be introduced gradually and efforts should be made to develop networks across property and country boundaries. It will therefore be necessary to address new requirements regarding interoperability and security, as well as the independent development of manufacturing strategies and product design.
- Notwithstanding these challenges, **significant growth potential** is forecast for the use of autonomous systems in production over the coming years. An indication of the expected growth of this market in the manufacturing industry is provided by the growth forecasts for robotic applications produced by the International Federation of Robotics (IFR). These identify huge potential growth in the operational stock of robots in almost every area of the manufacturing industry, with a projected annual increase of twelve percent up to 2019. As the fastest-growing market in the world today, Asia is currently expected to be a key driver of this trend.
- The **use cases** examined address the usage of autonomous systems in order-driven production and the adaptive factory, as well as for providing user support in the production environment.

## Road and rail transport

The transport system of tomorrow will be an integrated system where different modes of transport with varying levels of automation operate in concert with each other. In addition to the automation of the vehicles themselves<sup>3</sup>, interconnectedness of transport operators, infrastructure and transport system users will be key to achieving autonomy at the level of the overall system.

- There are numerous **opportunities for society**: it will be possible to prevent accidents, make better use of existing routes' capacity and reduce noise pollution. In addition, more stable traffic flows will result in environmental and climate protection benefits. Less congestion will also make for shorter and more comfortable journeys. Moreover, automation will make independent mobility possible for the elderly and people with disabilities. As a result, autonomous, connected driving will become an important enabler of innovation, investment and growth. The driver assistance systems already on the market today provide a valuable transitional solution for gradually acquainting users with automated functionalities.

- On the one hand, **risks** relate to the issue of social acceptance. In spite of the proven safety and comfort benefits of autonomous driving systems, they are still not welcomed by all members of the public. Information and communication will be key to achieving increased levels of acceptance. On the other hand, risks concern the generation of additional traffic (i.e. through the rebound effect). Relative efficiency gains could potentially be offset by an increase in the overall traffic volume.
- The **principal challenges in terms of implementation** involve designing new system architectures that must define how the workload will be divided between self-driving vehicles and a smart infrastructure. The goal is to create a high-availability, functionally safe and resilient intermodal mobility system. This will require the integration of autonomous, automated and non-automated transport systems in order to enable mixed operation, as well as the development of the relevant migration strategies. It will also be necessary to ensure the operational and functional safety of the autonomous and automated vehicles. Moreover, the regulatory framework will need to be modified, since it currently still regards drivers as responsible for supervising the system and therefore treats them as the fallback level.
- In the future, autonomous driving systems will **revolutionise the mobility market**. The high penetration of digital technology will enable 24/7 access to timetables or car sharing opportunities, leading to increased use of public transport, car pools and car sharing services. Mobility behaviour is being transformed, primarily in urban areas. Semi-automated models are expected to go on sale this year, with highly-automated vehicles becoming available from 2020 onwards. At present, German manufacturers figure prominently among the market leaders (since 2010, 58 percent of autonomous driving



**Figure 4:** Autonomous systems in road and rail transport – use cases for long-distance travel and mobility in urban areas and on heavily congested roads (Source: InnoZ Innovation Map).



patent filings have been made by German car manufacturers and suppliers). However, manufacturers in Asia and the US could gain ground in the future thanks to their highly dynamic approach and the size of their leading markets.

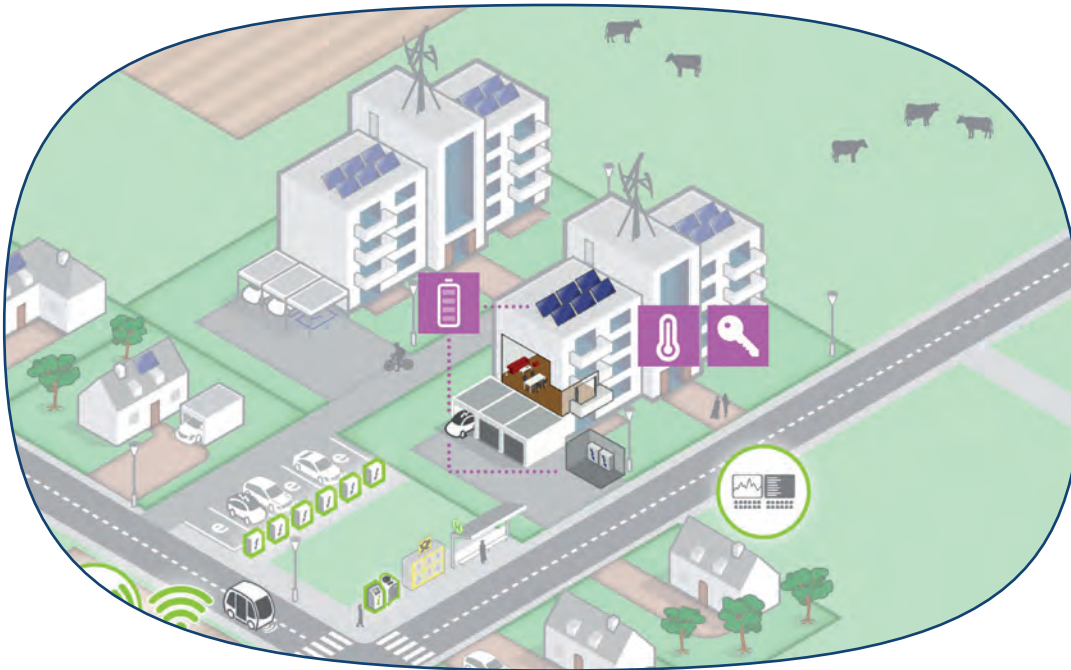
- The **use cases** examined address the usage of autonomous systems for private long-distance travel, in rural and urban areas, on heavily congested roads and for transporting goods to and from sea ports.

## Smart homes

The development of smart home technology is being driven by the ever greater demands being placed on buildings in terms of their energy efficiency and the comfort, assistance and security functions that they perform for their occupants. Thanks to the growing digitalisation of everyday life, smart homes are becoming an important part of our fully connected digital world.

- The **opportunities** in the field of smart homes lie in the significantly improved energy efficiency and the provision of personal technology-based assistance to their occupants. Enhanced comfort and security functions are leading the way and helping to increase user acceptance. In conjunction with renewable energy, decentralised power generation and smart grids, smart homes can contribute to significantly higher domestic energy efficiency and improved grid stability. Unlike current systems, future smart homes will be multi-user systems capable of reliably recognising individual occupants so that they can respond to pre-set and learned individual (i.e. user-specific) preferences, patterns and habits. In other words, a smart home's advanced self-learning functions allow it to continuously adapt to the changes in its occupants' lives and to perform many control, monitoring and assistance tasks independently, intelligently, adaptively and predictively.
- The **risks** relate to the current lack of interoperability among the component system environments and the question of user acceptance. Consequently, it will be critical to provide transparent data protection and to ensure that interactions with smart homes are both simple and adapted to the individual occupants' needs.
- Since technical installations in buildings tend to remain in use for a long time, one of the key **challenges in smart home design** is to ensure their long-term interoperability. Regardless of their particular manufacturer, devices, components and digital services must be able to perform their functions and value-added services in any smart home. The occupants should be able to upgrade existing installations even after several years and freely configure their desired functionality. Achieving multi-user capability is a major challenge, since it involves simultaneously meeting the needs of all the occupants. Key features that smart homes must possess include advanced interactivity that is equally intuitive for all generations and self-explaining functionality, which is important prior to a control handover, for example.

- **Projections of the market potential** currently vary significantly owing to the segmented nature of the smart home application market. One aspect the projections do agree on, however, is that there will be a dramatic increase in the number of networkable household appliances over the next two years. Particularly high growth rates are expected for countries such as China and Germany. Demographic change is projected to bring about huge growth in the market for assistance technology and robots in the major industrialised countries over the next twenty years.
- The **use cases** examined address the usage of autonomous systems for providing everyday support in smart homes, assisting an occupant after a stay in hospital, and enabling smart energy management.



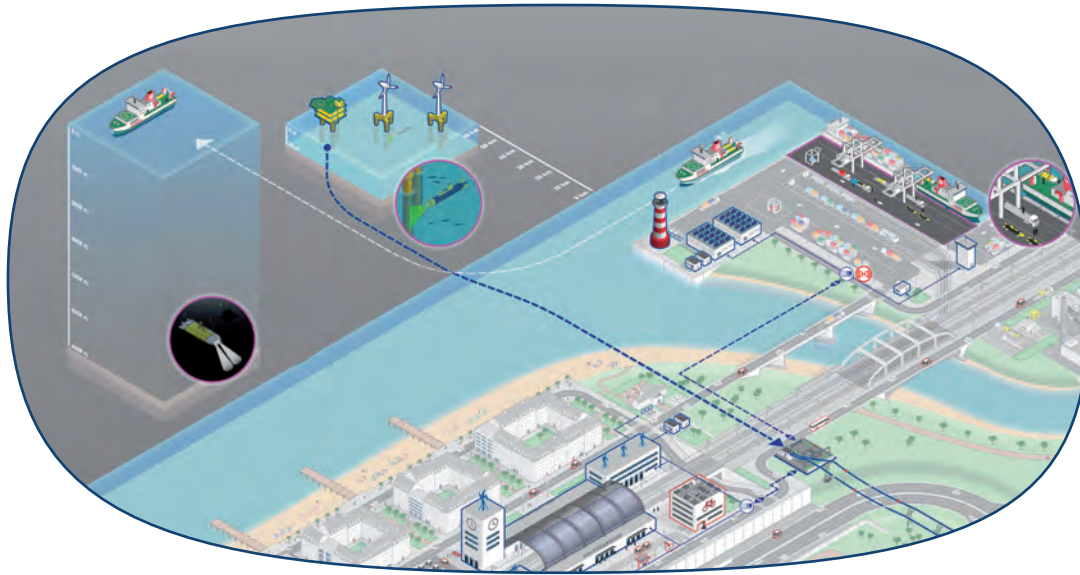
**Figure 5:**  
Autonomous systems in smart homes – use cases for everyday support (comfort and security) and smart energy management (*Source: InnoZ Innovation Map*).

## Hostile environments

The fields of application, tasks and types of deployment of autonomous systems in hostile environments are extremely diverse. They include everything from environments devoid of humans such as the deep sea, highly radioactive zones and space, to exploration, surveillance, and bomb disposal as well as rescue operations in various types of disaster zones. The systems have to interact there with both rescue workers and victims, often in close physical contact.



- There are huge **opportunities** for autonomous systems in hostile environments, since they reduce the risks to human beings and are able to access places where people cannot remain for any length of time. Autonomous systems are becoming increasingly important in the fields of hazard prevention, rescue operations and decontamination work (for example for decommissioning nuclear power plants) thanks to their ability to protect human lives by avoiding the deployment of people in these dangerous settings. Since humans are often unable to work efficiently for any length of time in environments such as space or the deep sea, it would be impossible to make any significant advances in these places without the aid of autonomous systems.
- The use of autonomous systems in hostile environments is also associated with a number of specific **risks**. Chief among them is the difficulty in surmounting the extreme challenges to autonomy posed by unstructured and dynamically changing environments. Cost-effectiveness is another frequent issue – there is only limited demand for these systems in a relatively safe country like Germany, whereas demand in poorer countries can be constrained by an inability to pay for them. Moreover, there is always a possibility that humans who come into physical contact with these systems could be injured, especially in dynamic, dangerous situations. Finally, system malfunctions during decommissioning or disaster response operations also have the potential to damage the environment.
- The deployment of autonomous systems in hostile environments can raise methodological, legal and ethical questions that go far beyond the purely technological issues. These **specific challenges** mean that it must be possible to switch between autonomous and remote operation or to adjust the level of autonomy to the current situation. Consequently, teleoperation and collaboration in human-robot teams require powerful mechanisms for enabling intuitive human-machine interaction and effective real-time communication. Other challenges include the development of special materials and components for use in extreme environments, the energy supply for remotely deployed systems, miniaturisation and bringing down the systems' cost.
- Significant **market potential** exists for various types of autonomous systems in different hostile environments. Despite their high cost, there is particularly strong demand for marine robots for use in inaccessible locations and at great depths. The construction industry is another growing market for autonomous systems – autonomous construction and demolition robots are becoming increasingly popular because of the health risks for humans in this sector. Further important applications with strong market potential include rescue and security robots, as well as firefighting, disaster response and mine clearance systems. Mention should also be made of the technological, economic and social importance of machinery that enables unmanned operation and decommissioning of nuclear power plants.
- The **use cases** examined address the usage of autonomous systems for marine underwater applications, in space, for hazard prevention, for special operations and for decommissioning nuclear power plants.



**Figure 6:**  
Autonomous systems in hostile environments – use cases for underwater deployment for maintenance and exploration purposes (Source: InnoZ Innovation Map).

## Technological enablers for the use of autonomous systems

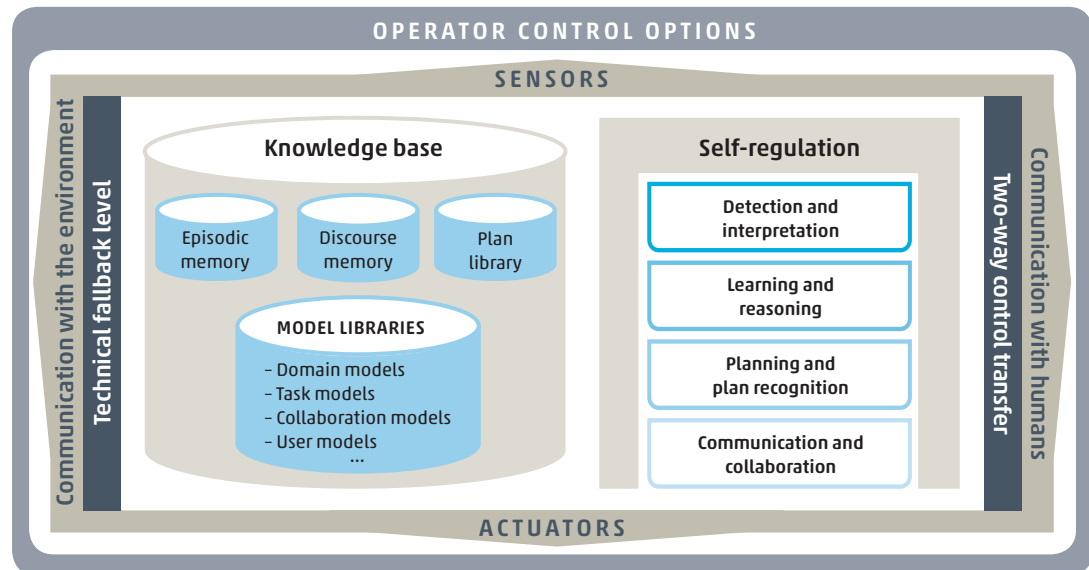
Over the past few decades, the basic technologies for (semi-)autonomous systems were developed in response to requirements in a wide variety of different areas. In recent years, **key technological building blocks such as sensors, learning, and the ability to reason and act accordingly** were developed to the point where they have already resulted in commercially viable products in areas such as Industrie 4.0 or digital assistants. There is a huge value-added potential by integrating artificial intelligence techniques into sensor, mechatronic, software and automation systems.

- The draft **reference architecture** developed in close collaboration between academia and industry **focuses on sensors, self-regulation and actuators as the three key elements of autonomous systems** (see Figure 7). The necessary normative framework guarantees human control at all times.
- One feature shared by all autonomous systems is the use of automated modelling to **build and continuously modify their knowledge bases**. Rather than simply being acquired on a one-off basis, these knowledge bases must be continuously modified, corrected and added to throughout the autonomous system's entire service life.
- **Efficient, reliable and secure communication enables interaction and collaboration between people, autonomous systems and their environment**. Autonomous systems must adapt to their human counterparts' communication behaviour much more strongly than vice versa.



- The **ability to transfer control from and to people is of paramount importance** and must be observed. It is not enough for the system to simply perform an emergency shutdown in the event of a problem – it needs to return control in a controlled and transparent manner that is appropriate to the current situation (see technical fallback level in Figure 7).
- The **defining features of autonomous systems include goal orientation, adaptivity and reliability**. Without these features, there is little point in attempting to deploy them in a practical setting. Autonomous systems also display numerous features of intelligent behaviour such as the ability to self-explain, fault tolerance, resilience, self-learning, cooperativeness and proactivity.

**Figure 7:**  
Overview of reference architecture for autonomous systems (Source: DFKI).



## Societal challenges and regulatory framework

It is not a specific feature of autonomous systems, that their introduction is associated with new risks. It will therefore be necessary to develop a regulatory framework to manage and regulate these risks. However, it is important to remember that the various challenges associated with autonomous systems are in fact side-effects of the numerous benefits and opportunities that they have to offer. Although some of the challenges differ for the different areas of application, it is also possible to identify a number of common themes.

- **Autonomous systems will change our society.** However, there is the opportunity to place limits on these changes if they are not considered to serve the common good. Autonomous systems should sup-

port people and increase their independence – technological autonomy must be made compatible with human autonomy. When autonomous systems are deployed, it is important that people remain the main focus. The necessary **ethical framework** for the use of autonomous systems **has yet to be created**.

- One of the key challenges associated with autonomous systems concerns the **liability for damages**. Especially the interaction of humans with autonomous systems can create complex questions that **make a straightforward application of existing liability law problematic**. One particular challenge in this context is the (potential) lack of transparency regarding autonomous systems' complex technical processes in the event of damage or loss.
- There is a need to **clarify various aspects pertaining to the role of data protection** in the use of autonomous systems. This applies, for example, to the way data is used in new business models and to the data of employees that are collected in connection with autonomous systems. Greater use should be made of technical data protection solutions (privacy by design), while the use of anonymised and pseudonymised data should also be simplified as already provided for by the EU General Data Protection Regulation. As far as data ownership is concerned, data should in principle be owned by whoever created it unless otherwise stipulated by contractual agreement.
- **The extent to which human labour will be replaced** by autonomous systems cannot be predicted with any certainty. However, all evidence suggests that the fourth industrial revolution will lead to major changes in the core skills required by manufacturing workers. In the future, cognitive, social and personal skills will play a much more important role (self-directed learning, creativity, basic IT skills, systems thinking). Investment in additional training and continuing professional development is by far the most important strategy for securing jobs, regardless of the industry or sector.
- Because autonomous systems are usually connected, they are inherently **vulnerable to cyberattacks and sabotage**. Consequently, systems should be designed and protected in a way that minimises the risk of such attacks. The same applies to malfunctions caused by faults in the system itself. Several surveys have found that the safe and secure operation of autonomous systems is one of the most important requirements for their social acceptance.

The fundamentally welcome **call for an emergency shutdown function in autonomous systems** aims to allow for some form of control transfer to human users or to ensure that the system can automatically reach a safe state. However, this should not be used as an excuse to relieve manufacturers from their responsibility for the system if this is unable to deal with an unfamiliar situation. In contrast, a return of control to the human user that is instigated by the system should be possible as long as the person in question is aware of this possibility and has sufficient time to prepare for taking back command. There are some scenarios involving emergencies in the field of healthcare where the unrestricted ability to return control could counteract the system's ability to perform its support function. The **conflicting priorities in such cases should be subject to public debate and will ultimately need to be regulated**.



## RECOMMENDATIONS

In view of Germany's strength in artificial intelligence research and the expertise of German industry in the fields of industrial automation, sensor systems and mechatronics, **Germany is well placed to become the leading supplier of autonomous systems to the global market.** Germany's strong SME sector and many relevant suppliers add to these favourable conditions, since only such a broad and diverse industrial structure can provide the components necessary for the development of autonomous systems. Nevertheless, it is important to ensure that both SMEs and start-ups are included and mobilised as early and widely as possible, for example through coordinated regional activities.

Germany boasts an **excellent university and non-university research landscape** in this field, comprising institutions such as the German Research Center for Artificial Intelligence (DFKI), the relevant Fraunhofer Institutes, the Helmholtz Association of German Research Centres, the Max Planck Society, the Leibniz Association and a number of pre-eminent university departments. **Accordingly, Germany possesses a sound basis for carrying out successful validation and collaborative projects geared towards the realisation of autonomous systems in conjunction with the private sector.** Funding support for the field of artificial intelligence – and in particular machine learning – nonetheless requires systematic strengthening.

After completion of the relevant preparatory work, the **topic of “Autonomous Systems” should be added to the list of strategic future projects.** Implementation forums were held at the 2016 Hannover Messe and Cebit 2017, each accompanied by numerous exhibits on a dedicated stand. The interim report of the Expert Panel Autonomous Systems<sup>4</sup> was presented to the Federal Minister of Education and Research Prof. Dr. Johanna Wanka at the 2016 Hannover Messe. The final report will be presented at the Hannover Messe in 2017.

In order to ensure that autonomous systems can help to tackle a wide range of societal and economic challenges, the **Panel experts see the need for concrete action.** They have therefore formulated eight general recommendations that further should be addressed by a strategic future project on autonomous systems.

The detailed recommendations of the individual chapters should be incorporated into existing programmes on, for example, Industrie 4.0 or hostile environments. At the same time, it is important to ensure maximum transparency and substantive coherence when setting funding priorities (for example for the Digital Agenda and High-Tech Strategy) in order to guarantee public support for the government's research and innovation policy. Note should also be taken that currently no targeted and comparative studies for estimating the market potential of autonomous systems are available. It is therefore recommended to commission a comprehensive assessment of existing analyses as well as a study on the observed market developments and related projections with a focus on autonomous systems.

## 1. Establish an early and long-term public dialogue

The **acceptance** of autonomous systems should be promoted through the **early establishment of a broad-based public dialogue**. This should include information and a public debate on the opportunities, limitations and risks of autonomous systems. The aim should be a clear presentation at which level of usage the systems begin delivering their safety, environmental and efficiency benefits. The transparent communication of the potential risks is equally important.

The Expert Panel on Public Participation and Transparency recommends that this dialogue should begin immediately as part of the research and innovation policy agenda-setting process, i.e. the process for devising and preparing major long-term funding programmes.

## 2. Set-up an R&D programme for key enabling technologies and societal challenges

There are a number of **external key technologies** for the development and use of autonomous systems **that will play a fundamental part in enabling their successful implementation**. These include as a basic requirement a network infrastructure with minimum latency and ultra-connectivity corresponding to 5G, as well as the area of cloud/edge computing for the distributed processing of complex calculations and the provision of high-resolution maps. Current human-machine interaction research in the area of communication and collaboration as well as systems engineering is equally important. For promoting acceptance and improving the safety of autonomous systems, it will be necessary to establish traceability of the systems' decisions, as well as simulation, certification and testing environments for their development. The role of big data should also be highlighted in this context – its availability as training data is critical for machine learning and building the required knowledge base.

In addition to promoting these key enabling technologies, it is also necessary to **carry out more detailed research into the concrete opportunities and risks associated with the use of autonomous systems**. This research should focus, for example, on issues relating to user behaviour and requirements, the consequences for society (for example the support for and the autonomy of the human user) and the likely impacts in the workplace and on the environment (for instance resource efficiency and rebound effects, i.e. when relative efficiency gains are accompanied by an increase in absolute resource consumption).



### 3. Promote expertise in machine learning

Targeted measures should be taken to promote the **development of expertise in machine learning techniques** and existing institutions should be strengthened. Existing big data centres should be engaged to supply training data for autonomous systems. Government agencies, associations and industrial enterprises should also be encouraged to make anonymised big data available for training of machine learning systems.

It is also very important to fund research into automated action planning in autonomous systems. The robustness of current artificial intelligence methods in real-life scenarios needs to be improved, with a particular focus on long-term vs. short-term autonomy, the transition between autonomous control loops and autonomy levels, and **shared autonomy** (the intelligent combination of human and machine capabilities). Ensuring the transparency of autonomous systems' decision-making processes is another important topic. This should be supported by the development of standardised interfaces and reference architecture models, together with comprehensive, reliable and certified knowledge bases.

### 4. Develop a standardisation roadmap and review the certification requirements

When building autonomous systems, technical modules are usually provided by different suppliers from different countries. Conformity assessments are therefore required in order to guarantee functional safety and IT security and ensure that the system components are interoperable, can be integrated, and comply with legal (for example the protection of personal data or personally identifiable information) and ethical standards. These conformity assessments should form part of a certification or accreditation procedure.

A **standardisation roadmap** should be drawn up in order to support the development and introduction of uniform global standards and interfaces that will address **interoperability and compatibility issues at both national and international level**.

Current **conformity assessment and certification** systems should be reviewed in order to identify any **amendments that may be necessary for the accreditation and operation of autonomous systems**. These might, for example, include safety standards (such as the Machinery Directive) for systems that do not have human operators but do interact with human partners. It will furthermore be necessary not only to ensure prompt involvement of the relevant standardisation and certification bodies but also to assist and develop them.

Finally, it is recommended that a **multimodal simulation environment** with standardised interfaces should be established that is suitable for the certification of different autonomous systems in dynamic environments. Such a simulation environment would also allow optimisation and conformity testing of interactions with humans and the legal and ethical aspects of autonomous systems' behaviour.

## 5. Develop the international regulatory framework

In order to secure the competitive advantage of Germany's key industries, it will be important to establish a stable **regulatory framework** that fosters innovation. It will be necessary to clarify various licensing and liability issues (for manufacturers, operators and users) and to check whether any amendments to the existing regulatory framework are required. Any necessary changes to warranty law (security and function updates) should also be identified and aligned with existing regulations.

In order to ensure that domestic companies are not placed at a disadvantage, national regulations in the field of autonomous systems should always be **compatible with international regulations**. Consequently, the regulations should be drawn up in close collaboration with the relevant industries. Existing regulations, for example in the areas of product safety and liability, are often perfectly adequate for new technologies and applications. The introduction of autonomous systems into the technology and business environment will not be in an abrupt manner but rather constitute an evolutionary process. **'Experimental clauses'** of limited scope (and duration) that have been approved by the direct stakeholders could therefore provide a valuable solution.

## 6. Identify the challenges for employment, training and professional development policy

It will be necessary to undertake a thorough investigation of the potential impacts of introducing autonomous systems both for the workplace and employment and for training and professional development. More specifically, it is necessary to identify the required skill sets and develop roadmaps for attaining the necessary skills based on the use cases presented in this report.



## 7. Strengthen cooperation between academia and the private sector

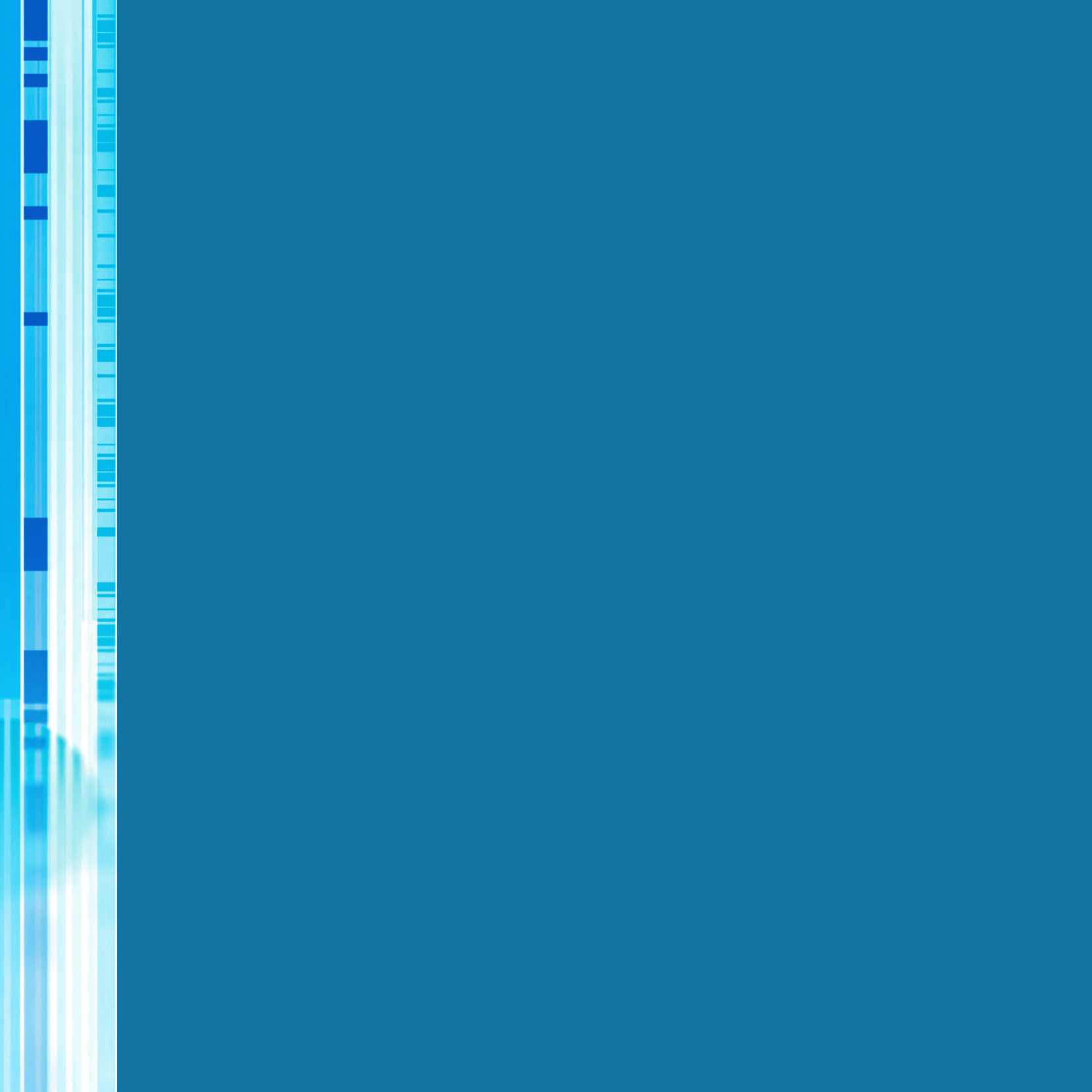
In order to secure the technological edge, achieve long-term technology leadership, provide decent working conditions and rapidly leverage competitive advantages, **innovation labs** for autonomous systems should be established to support projects geared towards implementation and technology migration to the industrial environment. Examples of this approach exist in the fields of human-robot collaboration (for example MRK 4.0) and hostile environments<sup>5</sup>. It is especially important to support the standardisation of control transfer in human-robot collaboration – there is already an urgent need for this in autonomous vehicle applications. **Flagship and demonstration projects** should also be supported and developed in conjunction with government, academia, industry, operators, users and other communities.

## 8. Adapt data protection and IT security regulations to the new challenges

In the field of **data protection**, it will be necessary to review the regulations on data collection, data access rights and secure data processing, storage and distribution. It will be particularly important to resolve the conflicts between the right to informational self-determination (protection of personal data or personally identifiable information) and the opportunities associated with the exchange of data between different software systems and companies. This will be critical for example for machine learning in autonomous systems or for digital business models.

The relevant solutions should provide transparent and user-friendly information about the data streams and respect the data owners' right to decide for themselves how it should be used.

As far as **IT security** is concerned, it is necessary to protect both the smart, digital infrastructure and the machines, vehicles and robots against IT and cyber threats. Although this is a challenge for the whole of society, it is nonetheless important to consider how government can work with private service providers to maintain the required level of IT security for autonomous systems. One of the fundamental requirements of any autonomous system is that its control data should always be available and valid.





# 1. VISION: VOM ALLTAG MIT AUTONOMEN SYSTEMEN

Das folgende Alltagsszenario beschreibt, wie unser Leben im Jahr 2030 aussehen und in welchen Bereichen autonome Systeme uns begleiten oder entlasten könnten. Die Geschichte „Ein Tag im Leben der Facharbeiterin Martha“ nimmt eine Nutzerperspektive ein (Abbildung 8) und zeigt die entstandenen Veränderungen anhand alltäglicher Situationen auf.

Heute beginnt der Tag von Martha Müller etwas früher als üblich, doch kein Wecker ist zu hören. Stattdessen werden Jalousien langsam hochgefahren und **Martha durch Sonnenlicht natürlich geweckt**. Schläfrig und ungläubig starrt sie zunächst auf die Uhr – es ist doch noch so früh. Doch dann erinnert sie sich, dass sie am Vorabend einer Schichtänderung zugestimmt hatte. Die App zur Steuerung ihrer Arbeitseinsätze hatte ihr angeboten, ihre Arbeit am Freitag und damit auch ihr Wochenende drei Stunden früher zu beginnen. Marthas Smart Home ist über Schnittstellen mit der App verbunden und kann auf Marthas Wunsch die Weckzeiten sowie die Licht- und Heizungssteuerung anpassen.

**Abbildung 8:**  
Der Mensch im Mittelpunkt einer vernetzten und autonomen Welt. Die rechtlichen, sozialen und ethischen Rahmenbedingungen und die technologischen Wegbereiter bilden die Voraussetzung für den Einsatz autonomer Systeme (Quelle: eigene Darstellung).



Kurz nach dem Frühstück meldet sich Marthas Smartphone und signalisiert, wo das **autonome Shuttle des öffentlichen Verkehrs (ÖV)**, das Martha heute zur Arbeit bringt, halten wird. Bereits am Vorabend konnte Martha über die Verkehrs-App auswählen, welche Fahrtenoption sie heute bevorzugt: das teure Solo-Shuttle, das günstigere Fahrgemeinschaft-Shuttle oder den Zug. Obwohl sie sich für das günstige Shuttle entschieden hat, hält es glücklicherweise nur ein paar Schritte von ihrem Haus entfernt.

Der **Weg zur Arbeit** ist kein Vergleich zu dem, was Martha als Jugendliche erlebt hat. Der allmorgendliche Stau, das Suchen eines Parkplatzes, vor allem aber der Stress pünktlich zu sein, erscheinen heute als schwer nachvollziehbare Probleme der Vergangenheit. Entspannt lehnt sich Martha zurück. Die Steuerung des ÖV-Shuttles wird vollständig durch den Autopiloten übernommen, sodass **Martha die Zeit privat nutzen** kann. Doch eine Nachricht auf ihrem Smartphone hält sie von der Lektüre ihres Buchs ab. Beim Durchführen des Waschvorgangs hat das Smart Home eine Abweichung im Energieverbrauch festgestellt, doch alle Familienmitglieder haben das Haus bereits verlassen. Martha erteilt dem Smart Home daher die Erlaubnis, einen Handwerker zu bestellen. Gleichzeitig autorisiert Martha dem Handwerker Zutritt zum Smart Home und gewährt ihm damit selektiv den Zugang zum Badezimmer und der kaputten Waschmaschine. Da der Handwerker vor seinem Besuch über Ferndiagnose (Remote Service) die Daten der Waschmaschine kontrollieren wird, kann er das passende Ersatzteil mitbringen und das Gerät direkt reparieren.

Kurz vor Erreichen von Marthas Arbeitsstelle läuft plötzlich ein **Junge zwischen parkenden Fahrzeugen auf die Straße** und droht, von dem ÖV-Shuttle erfasst zu werden. Ein entgegenkommendes, ebenfalls autonomes Fahrzeug hat den Jungen jedoch aufgrund des besseren Sichtwinkels frühzeitig erkannt und eine **Warnung an das ÖV-Shuttle** übermittelt, sodass es rechtzeitig bremsen kann. Nur kurz hebt Martha den Kopf, um dann wieder in der Lektüre zu versinken. Solche Vorfälle hat sie schon häufiger erlebt und sie ist es inzwischen gewohnt, den autonomen Fahrzeugen zu vertrauen.

Martha erreicht mit dem **ÖV-Shuttle pünktlich die Smart Factory**. Zwar nehmen sehr viele Personen morgens diesen Weg zur Arbeit ins Gewerbegebiet und dementsprechend viele Shuttles machen dort halt, doch muss kein Parkplatz gesucht werden, denn die nun leeren Fahrzeuge wenden und steuern die nächste freie Ladestation an, um bald den nächsten Fahrgast befördern zu können.

**Martha arbeitet in der Endmontage der Smart Factory**, in der Serviceroboter für die Industrie und den Heimgebrauch hergestellt werden. Dabei hat jeder Kunde unterschiedliche Bedürfnisse, sodass Design und Fähigkeiten der Roboter oft kundenindividuell angepasst werden. Über ihr Smartphone ist Martha mit dem unternehmensweiten IT-System verbunden, das für sie die nötigen Informationen zur Arbeitsplanung aufbereitet. Heute soll Martha einen Serviceroboter mit Assistenzfunktionen in **Zusammenarbeit mit zwei Robotern** montieren. Während die Roboter früher meist hinter Sicherheitsgittern arbeiteten, kann Martha heute auf „kollegiale“ Weise in ihrem intelligenten und sicheren Maschinenumfeld ohne Band und ohne Takt mit den Robotern zusammenarbeiten. Der **Arbeitsablauf passt sich dabei selbsttätig an Marthas Bedürfnisse** an. Das autonome Steuerungssystem der Fabrik weiß genau, wann und welche Teile Martha braucht und stellt sie ihr auftragsgerecht und automatisch bereit. Monotone und anstrengende Teilaufgaben erledigen Roboter selbstständig und mit hoher Verlässlichkeit und Qualität. Marthas menschliche Intelligenz ebenso wie ihre manuelle Geschicklichkeit werden im Mensch-Roboter-Team optimal zur Geltung gebracht.



Die Arbeit ist erledigt und nun kann das Wochenende beginnen. Um sich auf der **Heimfahrt** etwas zu entspannen, schaut Martha Nachrichten auf dem Infotainment-System des ÖV-Shuttles. In einer Chemiefabrik gab es einen kleinen Zwischenfall mit bisher ungeklärter Ursache, bei dem glücklicherweise keine Menschen zu Schaden gekommen sind. Nun werden autonome Roboter eingesetzt, die das Gelände auf Schadstoffbelastung untersuchen, indem sie Luft- und Wischproben vom Unfallort entnehmen. Menschen dürfen das Gelände erst betreten, wenn eine gesundheitliche Gefährdung ausgeschlossen ist. Ob da auch Roboter aus ihrer Fabrik daran beteiligt sind, fragt sich Martha.

Das Shuttle verlangsamt sich geräuschlos – **Endstation Zuhause**. Obwohl noch keines der Familienmitglieder zurückgekehrt ist, weiß Martha, dass das Haus sie doch buchstäblich „warm“ empfangen wird. Martha lebt mit ihrer Familie in einem modernen Energieplushaus, das **Wärme und Strom nach den Bedürfnissen der Bewohnerinnen und Bewohner managt**. Dabei ist das Elektrofahrzeug der Familie integraler Bestandteil des Hauses. Über die Möglichkeit des gesteuerten und bidirektionalen Ladens kann die Batterie des Fahrzeugs auch für den Strombedarf des Hauses genutzt werden. Da für das Wochenende allerdings ein Familienausflug zu den Großeltern geplant ist, steht das Elektroauto heute bereits voll aufgeladen in der Garage. So passt sich das Energiemanagement adaptiv selbststeuernd an das Nutzungsverhalten von Marthas Familie an.

Was das Haus aber nicht kann, ist für den morgigen Ausflug zu packen, das müssen die Familienmitglieder, die kurz nach Martha zurückgekehrt sind, schon selbst tun. „Warum eigentlich“, fragt Marthas Sohn Max, „gibt’s dafür noch keinen Roboter?“

## 2. CHANCEN UND RISIKEN FÜR DEN EINSATZ AUTONOMER SYSTEME

Die positive Vision „Vom Alltag mit autonomen Systemen“ zeigt anhand der Lebensrealität einer fiktiven Person, wie der Mensch durch autonome Systeme in seiner jeweiligen Situation – zu Hause, bei der Arbeit und unterwegs – durch autonome Systeme unterstützt wird. Um aus dieser Vision ein Leitbild zu schaffen, das unsere gesellschaftlichen Maßstäbe einer intuitiven und nutzbringenden Mensch-Maschine-Interaktion durchgängig erfüllt, müssen neben den Chancen auch Risiken mitgedacht werden, um einen verantwortungsvollen Einsatz autonomer Systeme zu gewährleisten.

Die folgende Gegenüberstellung von möglichen positiven und negativen Aspekten orientiert sich an Beispielen für die Bereiche Lebensqualität und gesellschaftliche Teilhabe, Sicherheit, Ressourcen- und Energieeffizienz, Produktivität und Flexibilität sowie Innovationen und Geschäftsmodelle. Die Analyse fokussiert dabei die vier vom Fachforum Autonome Systeme untersuchten Anwendungsfelder Produktion, Straßen- und Schienenverkehr, Smart Home und menschenfeindliche Umgebungen.

### Lebensqualität und gesellschaftliche Teilhabe

Die fortschreitende Automatisierung und der zunehmende Einsatz vollständig autonomer Systeme bergen die Chance, die Lebensqualität insgesamt und die gesellschaftliche Teilhabe zu steigern. So kann die Lebensqualität von Menschen in urbanen Ballungsräumen verbessert werden, wenn die Einführung autonomer Systeme im Straßenverkehr, verbunden mit multimodalen Verkehrsdiensten, den Verkehrsfluss optimiert und dadurch die **Umweltbelastung sowie den Flächenverbrauch verringert**. Dies reduziert gleichzeitig Wartezeiten vor Ampeln, im Stau oder bei Sicherheitskontrollen und damit das Verschenden von Lebenszeit. Des Weiteren können autonome Systeme im Straßen- und Schienenverkehr den Menschen im Sinne des staatlichen Versorgungsauftrags einen **besseren Zugang zu Mobilität** ermöglichen, wenn beispielsweise Shuttles des öffentlichen Nahverkehrs auf dem Land Versorgungsengpässe durch regionalen Bus- und Bahnverkehr beseitigen.

Auch in der Produktion können autonome Systeme dazu beitragen, regionale und lokale Strukturen zu stärken. Denn durch die individuelle, bedarfsorientierte Fertigung können **Deutschland und Europa wieder an Attraktivität als Produktionsstandort** gewinnen. Dies schafft Wertschöpfung und gegebenenfalls auch Beschäftigung. Im Smart Home können ältere oder körperlich eingeschränkte Menschen beispielsweise durch technische Systeme unterstützt werden und sich dadurch ihre Selbstständigkeit bewahren.



Allerdings ergeben sich im Kontext dieser genannten Chancen auch **Risiken**. Wenn in der Produktion Aufgaben vermehrt von Maschinen übernommen werden, werden sich die **Arbeitsplätze und Aufgabenschnitte in der Fertigung vermutlich verändern**. Es kann noch nicht abgesehen werden, wie weit sich positive und negative Effekte ausgleichen werden oder wie sich der Strukturwandel in den unterschiedlichen Arbeits- und Lebensbereichen auswirken wird. Auch mit dem erklärten Ziel, dass der Mensch von der Maschine entlastet und unterstützt wird, können sich daraus weitere Herausforderungen ableiten.

Beispielsweise muss im Bereich der Pflege und Assistenz im Smart Home beachtet werden, dass **kein Verlust von eigenen Kompetenzen** droht, wenn Entscheidungen des täglichen Lebens zunehmend von Maschinen übernommen werden. Darüber hinaus ist der menschliche Kontakt, beispielsweise in der häuslichen Pflege, nicht durch den Einsatz von Technik ersetzbar.

## Sicherheit

In fast allen Anwendungsfeldern kann der Einsatz autonomer Systeme die Sicherheit maßgeblich erhöhen und dazu beitragen, **Fehlern von Menschen durch Übermüdung oder Unkonzentriertheit vorzubeugen**. Dieser Aspekt gilt insbesondere beim Straßenverkehr als Treiber der Automatisierung, wo fortgeschrittene Assistenzsysteme schon heute in Stausituationen Auffahrunfälle vermeiden können, die in erster Linie durch die Unachtsamkeit des Fahrers oder der Fahrerin verursacht werden. Dadurch besteht die große Chance, **die Anzahl von Unfällen sowie von Verletzten und Toten im Verkehr deutlich zu verringern**.

In der Produktion tragen Roboter bereits heute zur **Erhöhung der Betriebssicherheit** bei, beispielsweise bei der unfallintensiven Überkopfarbeit in der Montage. Auch Gefahrensituationen im Gebäudebereich wie Rauchentwicklung, Wassereintritt oder Einbruch können durch die Selbstüberwachungsfunktion eines Smart Homes frühzeitig erkannt und entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden.

Für den Einsatzbereich **menschenfeindliche Umgebungen** ist der Sicherheitszugewinn besonders klar erkennbar, da der **Mensch** durch autonome Systeme hier nicht nur tatkräftig **unterstützt, sondern teilweise sogar vollständig ersetzt** werden kann. Dies trifft beispielsweise auf Umgebungen wie die Tiefsee, bei radioaktiver Strahlung oder Explosionsgefahr zu, wo die Unversehrtheit des Menschen nicht gewährleistet werden kann. Der Sicherheitszugewinn zeigt sich auch in anderen Anwendungsbereichen, wie zum Beispiel beim Einsatz von automatisierten und personalisierten Unwetter-, Terror- und Katastrophenwarnungen in Echtzeit und an jedem Ort, sowie bei Warnung vor toxischen Medikamenteninteraktionen durch Softbots und intelligente Verpackungen.

Während sich die Vorteile im Bereich der Betriebssicherheit (Safety) deutlich zeigen, so sind mit der zunehmenden Vernetzung, die mit der Automatisierung in der Produktion und im Verkehr einhergeht, auch **Risiken** verbunden.

Mit der Anzahl von vernetzten Geräten und einem wachsenden Datenverkehr steigt auch die **Gefahr von Cyberattacken** (IT-Security). Durch unerlaubten Zugriff auf Daten im Bereich der Mobilität, im Zuhause oder im Betrieb können individuelle Bewegungsprofile von Personen erstellt und andere Informationen veruntreut werden und somit den privaten und sehr persönlichen Lebensbereich der Menschen offenlegen. Ähnliche Anforderungen zum Schutz der Daten ergeben sich für den Einsatz von autonomen Systemen in menschenfeindlichen Umgebungen, wie beispielsweise in stillgelegten Kernkraftwerken, um die Risiken von Cyberangriffen zu minimieren. Dabei spielt die Resilienz der zusammenwirkenden Systeme eine entscheidende Rolle.

## Ressourcen- und Energieeffizienz

Vor dem Hintergrund des steigenden Bedarfs an Mobilität, Energie, Nahrung etc. ist neben einer integrierten Energie- und Mobilitätswende eine Optimierung der wirtschaftlichen Prozesse notwendig. Autonome Systeme bieten für die unterschiedlichen Anwendungsbereiche **enormes Potenzial zur Effizienzsteigerung**.

In der Produktion kann die bedarfsorientierte, selbstorganisierte Fertigung **Abfallprodukte und Überproduktion vermeiden** und automatisierte Wartungsprozesse können zur Ressourceneffizienz beitragen, wenn Produktlebenszyklen dadurch entsprechend verlängert werden können. Auch das Smart Home kann zu einer Erhöhung der Energieeffizienz beitragen, indem die hier erzeugte oder über einen zentralen Versorger bezogene Energie höchst (kosten-)effizient genutzt wird. Die bereits zuvor beschriebenen positiven Effekte von autonomen Systemen im Verkehr durch multimodales Reisen können erhebliche Potenziale zur Verbesserung der Ressourceneffizienz bewirken. Im Besonderen sei hier der **Rückbau von Verkehrsflächen sowie die freiwerdende Fläche von Parkplätzen** als alternativ nutzbare Flächen- oder Bodenressourcen in Städten zu nennen.

Allerdings sind in diesem Kontext auch **mögliche Risiken wie Rebound-Effekte**, also eine relative Effizienzsteigerung bei gleichzeitiger Zunahme des absoluten Ressourcenverbrauchs, frühzeitig zu adressieren und über flankierende Maßnahmen einzudämmen. Beispielsweise ist hier der steigende Mobilitätsbedarf zu berücksichtigen. Zwar können autonome Fahrzeuge den motorisierten Individualverkehr begünstigen, wenn das Fahrzeug sich selbst den nächsten Parkplatz sucht und weniger Verkehrsstau zu befürchten ist. Gleichzeitig können sie aber auch zu **einem insgesamt höheren Verkehrsaufkommen beitragen**.

Ähnliche Effekte sind auch in den Anwendungsfeldern Produktion und Smart Home zu berücksichtigen, wo Effizienzgewinne durch den erhöhten Einsatz von Ressourcen oder energiekonsumierenden Endgeräten wieder zunichtegemacht werden.



## Produktivität und Flexibilität

Der Einsatz autonomer Systeme kann aus betriebswirtschaftlicher Sicht positive Auswirkungen auf die Steigerung der Produktivität und Flexibilisierung von Prozessen innerhalb eines Wertschöpfungsnetzwerks haben. Eine effiziente Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine kann in der Fabrik **Leerzeiten reduzieren oder Produktionszeiten an die individuellen Lebensmodelle der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer anpassen**. Autonome Maschinen, die dem Menschen bisher kaum automatisierbare, aber extrem schwere, unbequeme oder gar gesundheitsschädliche Tätigkeiten abnehmen, werden erheblich zur Akzeptanz dieser neuen Techniken beitragen. Zudem ermöglicht die Verfügbarkeit hochflexibler, autonomer Mehrzweckmaschinen die **Fertigung unterschiedlichster Produkte**, ohne dass für den Produktwechsel manuelle Umbauten und Änderungen der Programmierung erforderlich werden. Dies erlaubt, die heute starre Bindung einer automatisierten Fertigungsanlage an das zu fertigende Produkt aufzubrechen. Für die Flexibilisierung der gesamten Wertschöpfungskette muss diese Rekonfigurierbarkeit der Anlagen, Module und Abläufe ebenso in der Logistik des Produktionssystems, ggf. sogar über Produktionsstandorte hinweg, verankert sein. Derart **optimierte Logistikprozesse** tragen dazu bei, die On-Demand-Produktion zu unterstützen und den Bedarf nach Lagerbeständen zu minimieren.

Allerdings bringt diese Flexibilität auch Herausforderungen mit sich, da durch den Einsatz autonomer Systeme die **Sicherstellung der Daten- und Funktionssicherheit** für Unternehmen (und deren Dienstleister) wichtiger wird, zumal alle Stufen der Wertschöpfungskette digital miteinander vernetzt sein werden. Mangelnde Kompatibilität und Interoperabilität von Systemkomponenten können deren Verbreitung im Produktionsalltag erschweren. **Angriffe von außen und Fehler im System** können weitreichende Folgen haben: von Produktionsausfällen über Sabotage bis hin zur Industriespionage. Der intensive Schutz der Daten und die Gewährleistung der Interoperabilität sind daher notwendige Voraussetzungen, um die Zugewinne an Produktivität und Flexibilität durch autonome Systeme zu erreichen.

## Geschäftsmodelle

Aus der Perspektive der Nutzerinnen und Nutzer können autonome Systeme Vorteile bringen, wenn damit verbundene Geschäftsmodelle mit einer als vorrangig betrachteten **Kundenorientierung und Nutzerfreundlichkeit (Usability) den Mehrwert deutlich steigern**.

In der Produktion sind beispielsweise neue Geschäftsmodelle wie „Production as Service“ oder „Rent my Robot“ denkbar und mit der Einführung autonomer Systeme in den städtischen Verkehr werden neue serviceorientierte Leistungen wie „vehicle-on-demand“ anstelle klassischer Car-Sharing-Modelle verfügbar werden. Auch im Smart-Home-Bereich liegen die potenziellen Geschäftsfelder neben der technischen Gebäudeausstattung in Apps und den zugehörigen Mehrwertdiensten.

Allerdings werfen diese innovativen, **datenbasierten Geschäftsmodelle Fragen im Umgang mit den erhobenen Daten** auf, denn viele dieser personalisierten Dienste erfordern die Sammlung sensibler personenbezogener oder -beziehbarer Daten. Dabei stellt sich die Frage, wer Eigentümerin oder Eigentümer beziehungsweise berechnigte Nutznießerin oder berechnigter Nutznießer dieser Daten ist und wer sie in welcher Form für seine Geschäftsmodelle verwenden darf.

Eine erhebliche Chance ergibt sich im Rahmen der Flexibilisierung der Produktionsprozesse, die zur Entwicklung gänzlich neuer Geschäftsmodelle in der produzierenden Industrie beiträgt. In manchen Industrien, beispielsweise in der Halbleiterbranche, ist es heute schon üblich, dass Fertigungsanlagen nicht im Besitz der eigentlichen Produzenten sind. **Flexible, global verteilte Auftragsfertigung räumlich nahe am Endkunden** erscheint auf der Basis autonomer Systeme auch in der diskreten Fertigung erreichbar.

## Individualisierung und Nutzerfreundlichkeit

Die Einführung autonomer Systeme eröffnet die Möglichkeit, **Produkte und Dienstleistungen mit einem hohen Individualisierungsgrad** anbieten zu können. Zentral im Rahmen der von Industrie 4.0 diskutierten digitalisierten und automatisierten Produktion ist die Fertigung individueller und auf die einzelne Kundin und den einzelnen Kunden zugeschnittener Produkte ebenso wie eine bisher kaum vorstellbare Flexibilität von Produktionsanlagen, die rasch und ohne großen Aufwand auf neue Produkte umgestellt werden können. Individuell auf die einzelne Anwenderin und den einzelnen Anwender zugeschnitten und deshalb extrem nutzerfreundlich werden auch **autonome Assistenzsysteme** sein, die in allen vom Fachforum adressierten Anwendungsbereichen, von der Fertigung bis in das Smart Home, zum Einsatz kommen. Ein zentrales Merkmal des Smart Homes ist beispielsweise seine **Multinutzerfähigkeit**, die dem System ermöglicht, sich selbstständig an die sich ändernden, individuellen Lebensumstände aller Bewohnerinnen und Bewohner anzupassen.

Allerdings wird die **Nutzerfreundlichkeit der angebotenen Dienste zentral für deren Akzeptanz** sein. Dies gilt nicht nur im Hinblick auf eine einfache und intuitive Handhabung der angebotenen Services, sondern auch für die transparente und benutzerfreundliche Ausgestaltung der Informationen zu Datenschutzregelungen oder anderen sicherheitsrelevanten Aspekten.



## 3. ANWENDUNGSBEREICH PRODUKTION

### 3.1 Eine Branche mit komplexen Herausforderungen

Die industrielle Produktion bedarf bereits heute aufgrund von Produktvielfalt, den unterschiedlichsten Produktionsprozessen und Logistikketten, der vielfältigen externen Randbedingungen und Marktsicherheiten hochgradig komplexer vernetzter Systeme. Diese Komplexität der Produktionsbranche wird durch die Heterogenität der Zielmärkte und die dafür sehr unterschiedlichen Produkte noch verstärkt. Die Heterogenität der Produktionstypen spiegelt sich in der Segmentierung nach Produktionsprozessen wider. Eine beispielhafte Segmentierung des Marktforschungs- und Beratungsunternehmens ARC Advisory Group unterscheidet die drei Segmente Prozessindustrie (Energieerzeugung, Öl und Gas, Chemie, Pharmazie, Nahrungsmittel, Metallerzeugung etc.), diskrete Industrie (Luft- und Raumfahrt, Automobil, Elektronik, Maschinen etc.) und Logistikindustrie (Distributionslogistik etc.).

Die Art des in den verschiedenen Branchen sehr unterschiedlichen Produktionsprozesses impliziert zentrale Anforderungen an die Leit- und Automatisierungstechnik. Beispielsweise kann eine verfahrenstechnische Anlage wie eine Walzstraße oder auch eine Raffinerie bei einem Fehler nicht einfach angehalten werden. Es muss unter allen Umständen erst einmal versucht werden, beispielsweise das Stahlband aus der Walzstraße herauszubefördern, bevor diese angehalten wird. Dies ist bei logistischen oder diskreten Prozessen anders, bei denen die Förderbänder und Produktionsmaschinen in der Mehrzahl der Fälle einfach angehalten werden können, ohne die in der Fertigung befindlichen Produkte beziehungsweise das Produktionsequipment zu beschädigen.

Auf diese unterschiedlichen Anforderungen haben sich die Anbieter von Leit- und Automatisierungstechnik eingestellt und ihr Produktportfolio im Wesentlichen auf die drei genannten Segmente ausgerichtet. So bieten Produkte für die Prozessindustrie zum Beispiel Funktionen, die im laufenden Betrieb einzu spielende Aktualisierungen der Software ermöglichen oder smarte Backup-Strategien sicherstellen, sodass der Prozess ohne Unterbrechung weiterläuft.

Im Umfeld der eigentlichen Produktionsunternehmen besteht ferner ein komplexes Netzwerk von Zulieferern und Produzenten, um die verschiedenen Wertschöpfungsstufen umzusetzen; die wichtigsten sollen im Folgenden exemplarisch benannt werden.

Da gibt es zunächst Zulieferer von Rohmaterial und Zwischenprodukten. Diese benötigen Maschinen von Dritten, um ihre Leistungen erbringen zu können. Neben den Zulieferern gibt es die Integratoren, die Maschinen kaufen und betreiben, um aus Rohmaterialien und den Zwischenprodukten das Endprodukt zu fertigen.

Quer dazu agieren die Engineering-Dienstleister. Sie übernehmen sowohl die Entwicklung des Produkts als auch das Engineering des Produktionssystems, das den eigentlichen Produktionsprozess implementiert. Servicedienstleister übernehmen insbesondere Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten am Produktionssystem.

Des Weiteren gibt es die Anbieter von Software-Produkten und IT-Plattformen für die Vernetzung der vielfältigen in der Produktion eingesetzten Systeme. Software-Produkte und IT-Plattformen spielen im Rahmen der Digitalisierung eine immer dominantere Rolle für viele neue Funktionen im Umfeld der Produktion. Gerade die hier betrachteten autonomen Systeme werden die Rolle der Software weiter ins Zentrum der Produktion rücken.

## 3.2 Leitbild

Mit dem Jahr 2016 befindet sich die produzierende Industrie mitten in der vierten industriellen Revolution. Während die Welt der Produktion sich viele Jahre lang inkrementell verändert hat, um vor allem die Effizienz immer weiter zu steigern, stehen wir gegenwärtig an der Schwelle zu einer gänzlich neuen Ära. Erste Anzeichen sind bereits heute sichtbar, wenn die Automobilindustrie damit beginnt, sich vom Fließband zu verabschieden<sup>6</sup>, Autokomponenten in 3-D gedruckt werden<sup>7</sup> oder intelligente Arbeitsplätze sich in kürzester Zeit auf neue Produkte umstellen lassen<sup>8</sup>.

Die neue Ära ist durch die vollständige Digitalisierung der gesamten Wertschöpfungskette gekennzeichnet. Vom ersten, vagen Kundenwunsch über die anfänglichen Produktideen, deren schrittweise Umsetzung und Realisierung, die Auslieferung des finalen Produkts und seine Benutzung durch den Konsumenten werden sämtliche Informationen über das Produkt, sein Design, seine Fertigung und den Gebrauch durchgängig digital erfasst und in allen Lebensphasen genutzt. Aus der Verfügbarkeit dieser Daten ergeben sich für etablierte und neue Marktteilnehmer grundlegend neue Innovationen, zum Beispiel bezüglich Nutzenversprechen und Wertschöpfungsarchitekturen.

Die für unsere Gesellschaft und ihren Wohlstand lebenswichtigen Produktivitätsfortschritte lassen sich – ebenso wie die umweltschonende, flexible Produktion vor Ort auch in den Hochlohnländern – nur durch eine weitergehende Automatisierung erreichen.

<sup>6</sup> Vgl. Basic 2016.

<sup>7</sup> Vgl. Local Motors 2015.

<sup>8</sup> Vgl. Rexroth Bosch Group 2016.



Während es bis heute üblich ist, das Produkt und seine automatisierte Produktionsmaschinerie eng aufeinander abzustimmen, erfolgt zukünftig das Design des Produkts und die Konzeption der Produktion unabhängig voneinander. Dies stellt die Automatisierungstechnik vor erhebliche Herausforderungen.

Sollen in der Zukunft beliebig individuelle Produkte auf die einzelne Kundin und den einzelnen Kunden zugeschnitten und dennoch hochautomatisiert und effizient gefertigt werden, muss bei der Automatisierung der Produktion ein umfassender konzeptioneller Wandel vollzogen werden. Jegliche Änderungen, die heute von Ingenieuren und Programmierern zeit- und kostenintensiv umgesetzt werden, erfolgen zukünftig automatisch und ohne Eingreifen des Menschen. Eine zentrale Rolle spielen dabei autonome Systeme, die Aufgaben auf der Grundlage abstrakter Beschreibungen selbsttätig umsetzen und Fähigkeiten des Maschinellen Lernens<sup>9</sup> zur Optimierung und zur Flexibilitätssteigerung nutzen.

Nur mit ihrer Hilfe wird eine vollkommen auftragsgesteuerte Produktion (just in time, just in sequence) und die dafür erforderliche autonome Wandlungsfähigkeit der Fabriken erreicht. Trotz aller Fortschritte bei der Automatisierung und in der Künstlichen Intelligenz steht der Mensch weiterhin im Mittelpunkt dieser neuen Produktionswelt. Anders als heute arbeiten sie jedoch eng mit den Maschinen zusammen und werden individuell von ihnen unterstützt.

## 3.3 Anwendungsbeispiele

Die nachfolgenden Anwendungsbeispiele orientieren sich bewusst an den Szenarien der Plattform Industrie 4.0.

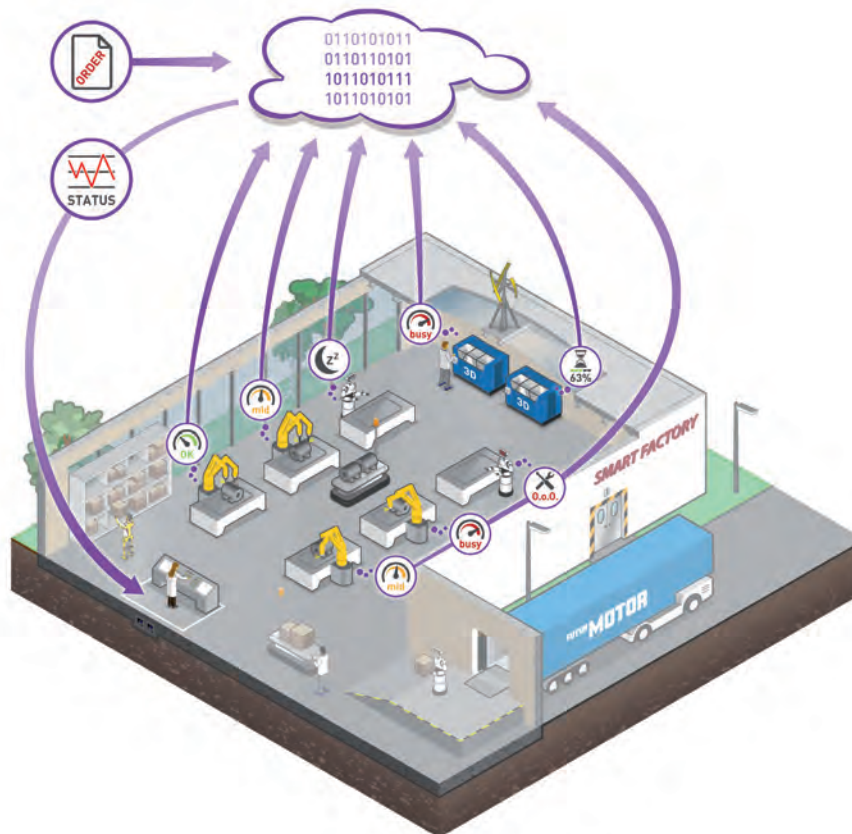
### 3.3.1 AUFTRAGSGESTEUERTE PRODUKTION

Kundenanforderungen nehmen stetig zu und werden immer komplexer. Trotz steigender Produktindividualisierung und entsprechend geringerer Stückzahlen weiterhin preiswert zu produzieren, ist eine zentrale marktseitige Herausforderung. Davon ausgehend bedarf es einer hochflexiblen und individuell konfigurierbaren Produktion.

Ein Ansatz, um dieser Forderung zu entsprechen, ist die Vernetzung entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Diese ermöglicht es, auftragsgesteuerte, individuelle Wertschöpfungsszenarien zu generieren. Dabei sind die vorhandenen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen sowie Ressourcen und Expertisen beteiligter Partnerunternehmen in das Liefernetzwerk einzubinden, um Synergien bei Entwicklung, Design, Engineering etc. zu erzielen.

Aus dieser Vernetzung von IT-Systemen und -Strukturen resultiert ein digitales Abbild des Produktionssystems („digitaler Schatten“), welches stets aktuelle Informationen über Zustand, Ort und Fähigkeiten aller Produktionsmittel innerhalb der gesamten Wertschöpfungskette (auch bereichs- und unternehmensübergreifend) zur Verfügung stellt.

Auf dieser Basis wird das autonome Produktionssystem in die Lage versetzt, selbstständig Auftragsplanung, -vergabe und -steuerung zur Einbindung aller relevanten Prozessschritte und Produktionsmittel optimierend und vorausschauend durchzuführen. Darüber hinaus wird das System befähigt, Auswirkungsprognosen bei Auftragseingang und -änderung zu modellieren und in Echtzeit auf externe Störungen, wie beispielsweise Maschinenausfall, Produktspezifikationsänderung oder Expressaufträge, zu reagieren. Im Ergebnis wird eine individuelle, „maßgeschneiderte“ Auftragsabwicklung mit optimaler Wertschöpfungskonfiguration bewerkstelligt (siehe Abbildung 9).



**Abbildung 9:** Individuelle und maßgeschneiderte Auftragsabwicklung in der auftragsgesteuerten Produktion (Quelle: Innovationslandkarte InnoZ).



**Tabelle 1:**  
SWOT-Analyse bezüglich  
Einsatz autonomer Systeme  
für auftragsgesteuerte  
Produktion

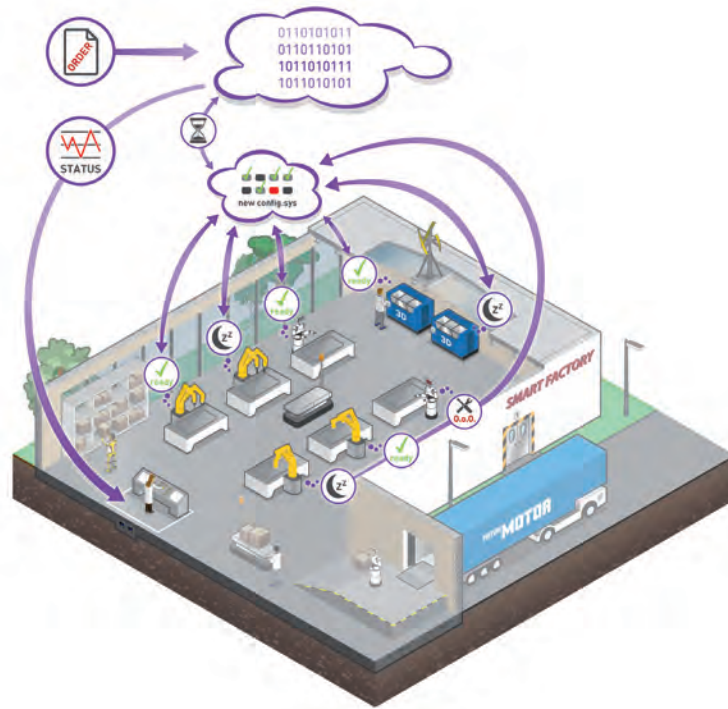
|                     | Positive Eigenschaften                                                                                                                                                                                                                      | Negative Eigenschaften                                                                                                                                                                    |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Interne Perspektive | <b>STÄRKEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Echtzeitfähiger, digitaler Schatten der Produktion</li><li>→ Autonome Auftragsplanung, -vergabe und -steuerung</li><li>→ Individuelle, maßgeschneiderte Auftragsabwicklung</li></ul> | <b>SCHWÄCHEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Hoher Beschaffungs- und Implementierungsaufwand (insb. IT-Strukturen)</li></ul>                                                  |
| Externe Perspektive | <b>CHANCEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Bereichs- und unternehmensübergreifende Vernetzung</li><li>→ „Handel“ mit Fertigungskapazitäten</li></ul>                                                                            | <b>RISIKEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Zunehmender Preiswettbewerb zwischen den Auftragsfertigern</li><li>→ Angriff auf Produktionsinfrastruktur wird einfacher</li></ul> |

Durch den bereichs- und unternehmensübergreifenden Charakter der Vernetzung und den „Handel“ mit Fertigungskapazitäten zwischen beteiligten Unternehmen wird zudem die einzelne Maschinenparkauslastung erhöht.

Die auftragsgesteuerte Produktion ermöglicht durch intelligente Vernetzung und eine selbstorganisierende, auftragsindividuelle und echtzeitfähige Fertigungskonfiguration eine flexible Nutzung existierender Fertigungseinrichtungen. Langfristig können dadurch Ressourcen geschont und die Wettbewerbsfähigkeit am Standort Deutschland gesichert werden.

### 3.3.2 WANDLUNGSFÄHIGE FABRIK

Der angestrebte Flexibilitätszuwachs der Produktion wird unter anderem durch den Einsatz von Maschinellern<sup>10</sup> ermöglicht, um eine verstärkte Intelligenz und Anpassungsfähigkeit des Produktionssystems auf Fabrik-, Modul- und Stationsebene zu erzielen. Die Fähigkeit des Produktionssystems, individuell und in Echtzeit auf Marktanforderungen einzugehen und selbstständig Entscheidungen zur Gestaltung von Produktionsabläufen (Reihenfolge, Funktion und Anzahl eingesetzter Produktionsmittel) zu treffen, forciert die Flexibilitätssteigerung.



**Abbildung 10:**  
Anpassungsfähigkeit des  
Produktionssystems zur  
Flexibilisierung von Pro-  
duktionsabläufen in der  
wandlungsfähigen Fabrik  
(Quelle: Innovationsland-  
karte InnoZ).

Die Entwicklung, Definition und Nutzung intelligenter und interoperabler Module mit standardisierten Schnittstellen (Plug & Produce) ist essenziell, um kurzfristige Veränderungen von Produktionskapazitäten und -fähigkeiten durch die Integration neuer Module zu ermöglichen. Unter Voraussetzung einer ausreichenden Mobilität der Systemkomponenten können autonome Robotersysteme einfach und schnell ihre Fähigkeiten und Abläufe produktindividuell anpassen und werden damit zu wichtigen Modulen einer wandlungsfähigen Fabrik.

Die Rekonfigurierbarkeit von Anlagen, Modulen und Abläufen muss ebenso in der Logistik des Produktionssystems, gegebenenfalls sogar über Produktionsstandorte hinweg, verankert sein. Eine selbstorganisierende, adaptive Logistik auf Basis autonomer (Flur-)Förderfahrzeuge inklusive einer Anbindung an das Cyber-Physische-Produktionssteuerungssystem ermöglicht die gewünschte situative Anpassung des gesamten Produktionssystems durch Wandlungsfähigkeit und Dezentralität.

Trotz gesteigerter Fähigkeiten der autonomen Systeme werden Menschen weiterhin und auch langfristig ein unverzichtbarer Bestandteil der neuen, flexiblen und wandlungsfähigen Produktionssysteme bleiben. In diesem Kontext gilt es jedoch, die Herausforderung zu meistern, den Menschen als Teil des hochdynamischen Systems zu integrieren und dabei eine Überforderung durch ständig wechselnde Aufgaben und Informationsflut zu vermeiden.



**Tabelle 2:**  
SWOT-Analyse bezüglich  
Einsatz autonomer Systeme  
für wandlungsfähige Fabrik

|                     | Positive Eigenschaften                                                                                                                                                                                                | Negative Eigenschaften                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Interne Perspektive | <b>STÄRKEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Intelligente und interoperable Module</li><li>→ Autonome Robotersysteme, die auf Modulebene ihre Fähigkeiten und Abläufe produktindividuell anpassen</li></ul> | <b>SCHWÄCHEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Flexibilität muss auch in der Produktionslogistik verankert sein – hohe Investitionskosten</li></ul>                                                                         |
| Externe Perspektive | <b>CHANCEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Fähigkeit, individuell und flexibel auf Marktanforderungen einzugehen</li></ul>                                                                                | <b>RISIKEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Neue Geschäftsmodelle verändern die Fähigkeit etablierter Anbieter, am Markt teilzunehmen</li><li>→ Gefahr menschlicher Überlastung in komplexen Produktionssystemen</li></ul> |

### 3.3.3 ANWENDERUNTERSTÜTZUNG IN DER PRODUKTION

Die Integration autonomer Systeme unterstützt den Anwender direkt und indirekt in der Produktion. Kontextbasierte Assistenzsysteme unterstützen den Anwender bei Analyse und Entscheidungsfindung, sowohl bei der Diagnose technischer Probleme und Störungen als auch bei komplexen Arbeitsprozessen. Dabei erlauben schnelle Kommunikationssysteme den flexiblen Zugriff auf benötigte Daten und Informationen.

Sogenannte Fähigkeitenverstärker leisten physische Assistenz, indem sie die körperlichen Fähigkeiten der Anwenderin beziehungsweise des Anwenders mittels entsprechender Geräte unterstützen. Daraus folgt eine zunehmende Entlastung des Menschen von körperlichen Anstrengungen. Des Weiteren können neue Technologien, wie zum Beispiel kollaborierende Robotersysteme, Menschen von gefährlichen, schmutzigen und monotonen Tätigkeiten entlasten. Somit kann sich die Arbeitnehmerin oder der Arbeitnehmer auf hochwertige Tätigkeiten konzentrieren.

Erste Umsetzungen dieser Anwenderunterstützung wurden im Projekt Intelligentes Assistenz- und Wissenssystem in der Produktion (APPSist) entwickelt<sup>11</sup>, mit dem Ziel, den Unterstützungsbedarf automa-



**Abbildung 11:**  
Fähigkeitenverstärker für  
die physische Assistenz in  
der anwenderunterstützten  
Produktion (Quelle: Innova-  
tionslandkarte InnoZ).

tisch an die Expertise der einzelnen Mitarbeiter anzupassen. Neben dem Ausgleich fehlender Kompetenzen werden durch APPSist gleichzeitig Lernprozesse für unterschiedlichste Anforderungen wie den Betrieb, die Wartung oder die Reparatur von Anlagen ermöglicht. Diese gezielte Unterstützung erlaubt sowohl einen umfassenderen Einsatz von Mitarbeitern mit unterschiedlichem Vorwissen als auch deren direkte Weiterbildung am Arbeitsplatz.

Im Rahmen des kürzlich angelaufenen Hybr-iT-Projekts wird der Aufbau und die Zusammenarbeit hybrider Teams, bestehend aus Menschen und Robotern mit softwarebasierten Assistenzsystemen, im industriellen Umfeld weiter erprobt. Im Fokus dieser Kollaboration stehen vor allem Produktionsprozesse mit umfassenden und anspruchsvollen Montagearbeiten. Das Ziel ist, die Mitarbeiter durch den Robotereinsatz gezielt zu entlasten<sup>12</sup>.

12 Vgl. Hybr-iT 2017.



**Tabelle 3:**  
SWOT-Analyse bezüglich  
Einsatz autonomer Systeme  
für Anwenderunterstüt-  
zung in der Produktion

|                     | Positive Eigenschaften                                                                                                                                                                                      | Negative Eigenschaften                                                                                                                                                                      |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Interne Perspektive | <b>STÄRKEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Indirekte Anwenderunterstützung durch kontextbasierte Assistenzsysteme</li><li>→ Direkte Anwenderunterstützung durch Fähigkeitenverstärker</li></ul> | <b>SCHWÄCHEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Ggf. hohe Implementierungskosten</li><li>→ Neue, „ungewohnte“ Technologie, gerade in der manuellen Fertigung und Montage</li></ul> |
| Externe Perspektive | <b>CHANCEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Zunehmende Entlastung des Menschen</li></ul>                                                                                                         | <b>RISIKEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Mangelnde Akzeptanz der Mitarbeiter hemmt Technologieeinführung</li></ul>                                                            |

### 3.4 Herausforderungen bei der Umsetzung

**Systementwurf:** Der Entwurf autonomer Systeme erfordert das Zusammenwirken unterschiedlichster Fachdisziplinen, die diese Systeme in engem Zusammenwirken mit Anwendungsexperten erstellen müssen. Diese starke Interdisziplinarität stellt für klassisch strukturierte Organisationen eine große Herausforderung dar. Ein Ansatz, der diesem Anspruch gerecht wird, ist das Systems Engineering (SE). SE stellt das zu entwickelnde System in den Mittelpunkt und zieht die Gesamtheit aller Entwicklungsaktivitäten ins Kalkül.

**Neue Geschäftsmodelle:** Mit zunehmender Flexibilisierung der Produktionsmittel werden Angebote wie „Production as Service“ oder „Rent my Robot“ an Bedeutung gewinnen. Daraus ergeben sich zum Beispiel Forderungen nach Interoperabilität und Sicherheit, da sich ein Produktionspark insgesamt sowie die einzelnen Maschinen darin problemlos und sicher mit verschiedenen Auftragsvergabeplattformen und deren digitalen Schatten verbinden können müssen. Genauso muss es ohne Anpassungsaufwand möglich sein, gemietete Produktionsmittel für eine begrenzte Zeit in den Produktionsverbund einzubinden.

**Einführungsstrategien:** Autonome Systeme werden schrittweise Einzug in die industrielle Produktion halten. Die Unternehmen stehen aktuell vor der Herausforderung, die Einführung solcher Systeme strategisch zu planen.

**Umrüstung:** Die schrittweise, aber flächendeckende Verbreitung autonomer Systeme in der Produktion muss auf die vorhandene Infrastruktur Rücksicht nehmen. Denn nur selten haben Unternehmen die Möglichkeit, den Einsatz autonomer Systeme auf der „grünen Wiese“ zu planen. Vielmehr müssen bestehende Produktionssysteme modernisiert und zu autonomen Systemen ausgebaut werden. Für Unternehmen gilt es, die Frage zu beantworten, welche ihrer Systeme (Roboter, Transportsysteme etc.) das Potenzial zur Nachrüstung haben.

**Vernetzung:** Der nächste logische Schritt ist die Vernetzung der autonomen (Teil-)Systeme über Standort- und Ländergrenzen hinweg. Dies ist eine zentrale Voraussetzung für die durchgängige Digitalisierung, beispielsweise soll für ein in der virtuellen Welt entwickeltes und getestetes Produkt autonom entschieden werden, wann es wo und von wem in welchen Stückzahlen gefertigt wird. Der Input dazu kommt letztlich direkt von der Endkundin oder dem Endkunden, erfasst und verwaltet von branchenspezifischen Plattformen, die sie oder ihn mit intelligenten Assistenten bei der Produktdefinition unterstützen.

**Wissenstransfer Mensch-Maschine:** Es ist zu vermuten, dass die produktionsnahen Aufgaben wie Wartung, Reparatur und Weiterentwicklung der Maschinen nach wie vor hauptsächlich von Menschen übernommen werden. Dagegen ist noch völlig unklar, wie maschinell gelerntes Wissen und auf dieser Basis getroffene Entscheidungen für Menschen verständlich aufbereitet werden können. In diesem Zusammenhang stellen sich zum Beispiel Fragen, wie eine Maschine entscheiden kann, ab wann sie besser einen Menschen zurate zieht und wie sie ihm dann mitteilt, welche Konsequenzen seine Entscheidungen haben können.

**Produktdesign:** Die Realisierung hochflexibler Produktionsprozesse erfordert neue Herangehensweisen bei der Gestaltung von Produkten, die von autonomen Systemen produziert werden. Bekannte Ansätze zur fertigungsgerechten Gestaltung (Design for manufacturing) sind neu zu durchdenken und hinsichtlich autonomer Produktionssysteme weiterzuentwickeln (Design to autonomous manufacturing).

**Validierung und Zertifizierung:** Autonome Systeme im Allgemeinen, insbesondere aber lernende Systeme, verändern ihre Leistungserbringung während der Betriebsphase selbsttätig und entsprechend der sich stetig ändernden Randbedingungen. Prinzipbedingt und aufgrund der für diese Anpassungen verwendeten mathematischen Methoden sind diese Veränderungen und ihre Konsequenzen bei der Inbetriebnahme nicht bekannt und auch nicht vorhersehbar. Heutige Herangehensweisen zur Zulassung technischer Systeme sind hierauf nur unzureichend eingestellt. Sie müssen überdacht und gegebenenfalls angepasst werden.



## 3.5 Detaillierte Handlungsempfehlungen Produktion

Zusätzlich zu den übergreifenden Handlungsempfehlungen dieses Berichts (siehe Seite 20) ergeben sich für den Bereich der Produktion folgende spezifische Empfehlungen:

- Bei der Schaffung eines innovationsfördernden und verlässlichen Rechtsrahmens für den Betrieb autonomer Systeme im Produktionsumfeld sollte zwischen Ausrüstern, produzierenden Unternehmen sowie Technologie/IT-Dienstleistern unterschieden werden (siehe dazu ergänzend die übergreifende Handlungsempfehlung „Internationale Rahmenbedingungen weiterentwickeln“).
- Die Entwicklung von Architekturprinzipien für die Integration autonomer Systeme im Produktionsumfeld sollte durch neue öffentliche Programme und Aktivitäten gefördert werden.
- In den Unternehmen sollten die mit zunehmender Verbreitung (teil-)autonomer Systeme neu entstehenden Arbeitsmodelle, Berufsbilder und betriebliche Abläufe unter Einbindung der Sozialpartner selbst entwickelt und eingeführt werden.
- Bei der Technologieentwicklung sollten die besonderen Beziehungen zwischen Arbeitgeber und Mitarbeitern im Produktionsumfeld berücksichtigt (Sicherheit, Privatsphäre) und die Beschäftigten bei ihrer Einführung aktiv mit einbezogen werden.

## 4. ANWENDUNGSBEREICH STRASSEN- UND SCHIENENVERKEHR

Autonome Systeme finden auch in der Mobilität zunehmend Anwendung. Immer mehr Fahrzeuge in unserem heutigen Mobilitätssystem sind vernetzt und somit Teil des Internets der Dinge. Durch die Kombination aus Automatisierung und Vernetzung werden bislang passive, von Menschen gesteuerte Objekte zu selbst kommunizierenden Systemen. Der Einsatz von Automatisierungsfunktionen, die flächendeckende Vernetzung der Fahrzeuge mit der Infrastruktur und ein integriertes Verkehrsmanagement ermöglichen die Transformation einer der bedeutendsten deutschen Leitindustrien. Im Sinne einer umfassenden Mobilitätswende können die drängenden Herausforderungen im Bereich Verkehr adressiert und die deutsche Wirtschaft im Bereich der Automobil- und Bahntechnikproduktion sowie der Mobilitätsdienste und Logistikverkehre langfristig wettbewerbsfähig gemacht werden. Für den Bereich Straßenverkehr sind im Rahmen der Studie "Neue autoMobilität"<sup>13</sup> entsprechende Roadmaps entwickelt worden.

Um den gesellschaftlichen Anforderungen und den Herausforderungen zur Transformation des Mobilitätssystems zu begegnen, hat die Bundesregierung unter Federführung des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur für den Straßenbereich den „Runden Tisch für automatisiertes Fahren“ unter Beteiligung der Bundesministerien, der Bundesbehörden und Bundesländer, Industrieverbände, Technischen Überwachungsvereine, Nutzerverbände, der Versicherungswirtschaft und einschlägigen Forschungseinrichtungen einberufen und im September 2015 die „Strategie für automatisiertes und vernetztes Fahren“ vorgestellt. Für den Verkehrssektor in Deutschland wird sich automatisiertes und vernetztes Fahren zu einem wichtigen Einflussfaktor für soziale Innovationen, Investitionen, Wachstum, den Arbeitsmarkt und die Ausprägung eines Leitmarktes entwickeln.

### 4.1 Leitbild

Die Veränderungen im Mobilitätssektor wirken sich in besonderem Maße auf die Gesellschaft aus. Denn: Mobilität ist ein Grundbedürfnis der Menschen, ermöglicht soziale Teilhabe und gehört sowohl in Ballungszentren als auch in ländlichen Räumen zur Daseinsvorsorge. Gleichzeitig existiert eine Reihe von Herausforderungen.

Während der Bedarf an Mobilität von Menschen und Transport von Gütern in Deutschland und weltweit steigt, wachsen die Forderungen nach einem ressourceneffizienten und emissionsarmen Verkehr. Automatisierung und Vernetzung können dazu beitragen, den Verkehr effizient zu steuern, Infrastrukturen optimal zu nutzen, Stauzeiten zu vermeiden und Übergänge zwischen Verkehrsträgern für die am Verkehr

<sup>13</sup> Vgl. Lemmer 2016.



Teilnehmenden attraktiv zu gestalten. Eine höhere Ressourceneffizienz durch intelligentes Verkehrsmanagement kann zudem die Lebensqualität jedes Einzelnen erhöhen, wenn Städte und Ballungszentren weniger Verkehrsstaus erfahren und eine bessere Nutzung des öffentlichen Raums, beispielsweise durch weniger Parkflächen im Innenstadtbereich, möglich ist.

Autonome Systeme im Mobilitätsbereich begegnen den Herausforderungen im Kontext urbaner Räume und sichern die Mobilität im ländlichen Raum. Aufgrund des demografischen Wandels und einer stetigen Ausdünnung der öffentlichen Verkehrsangebote im ländlichen Raum müssen langfristig Mobilitätsdienste für die betroffenen Nutzergruppen geschaffen werden. Vor allem älteren Menschen wird damit eine weitere gesellschaftliche Teilhabeperspektive geboten. Schon heute tragen Assistenzsysteme zu einer Erhöhung der Sicherheit und somit zu einer Verlängerung der Fahrtauglichkeit Älterer bei. Zahlreiche Automatisierungsfunktionen, wie etwa Spurhalte- und Notbremsfunktionen, zielen ebenso darauf ab, die Sicherheit der Fahrer, Passagiere und passiven Verkehrsteilnehmer zu erhöhen. Der Einsatz automatisierter Fahrzeuge erhöht damit nicht nur die Lebensqualität, sondern auch die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer.

Automatisiertes Fahren im Schienenverkehr ermöglicht durch kürzere Takt- und Abfertigungszeiten sowie optimierte Fahrprozesse eine effizientere Streckennutzung und die Erhöhung der Energieeffizienz. Weiterhin trägt die Automatisierung zur Erhöhung der Betriebsstabilität und Zuverlässigkeit des Systems bei und ermöglicht die Bereitstellung bedarfsgerechter Angebote. Für den Fahrgast bedeutet das kürzere Reisezeiten und ein pünktliches Eintreffen am Ziel. Insbesondere in urbanen Räumen sowie im Fernverkehr werden die Vorzüge der Schiene – eine autarke Strecke und wenig Flächenbedarf – weiterhin von Vorteil sein.

Um die beschriebenen Potenziale zu nutzen, müssen die neuen Mobilitätskonzepte schrittweise und langfristig in das vorhandene Verkehrssystem integriert werden. Im Straßenverkehr sind automatisierte Systeme zunächst in spezifischen Anwendungsfällen, wie etwa beim Parken oder auf Autobahnen, erfahrbare. Die Fahrzeuge müssen grundsätzlich den Anforderungen eines Mischverkehrs genügen, denn selbst beim Einsatz ausschließlich automatisierter Fahrzeuge nehmen Fußgänger und Radfahrer am Straßenverkehr teil. Im Schienenverkehr spielen die technisch-betrieblichen Randbedingungen sowie das Nutzenpotenzial und die Wirtschaftlichkeit eine entscheidende Rolle bei den Anwendungsfällen. Auch muss aufgrund der langen Lebensdauer, sowohl der Fahrzeuge als auch der Leit- und Sicherungstechnik, mit einer entsprechenden Migrationsphase gerechnet werden.

Während der Übergang von assistierenden zu vollautomatisierten Fahrzeugsystemen im Straßenverkehr weitläufig technologisch noch untersucht wird, sind vollautomatische Systeme in weniger komplexen Umgebungen im Schienenverkehr bereits im Einsatz (zum Beispiel U-Bahnen in Nürnberg und Kopenhagen). Auch im überregionalen Schienenverkehr ist der Grad der Automatisierung weit fortgeschritten – bis hin zu teilautomatisierten Systemen –, wobei der Einsatz autonomer Systeme besonders zur Überwachung der Infrastruktur noch am Anfang steht.

a)

| STUFE 0                                                | STUFE 1                                                | STUFE 2                                                                       | STUFE 3                                                                                                                                                                               | STUFE 4                                                                              | STUFE 5                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| manuell                                                | assistiert                                             | automatisiert                                                                 | automatisiert                                                                                                                                                                         | automatisiert                                                                        | autonom                                                                                                                       |
| Fahrer/-in führt dauerhaft Längs- und Querführung aus. | Fahrer/-in führt dauerhaft Längs- und Querführung aus. | Fahrer/-in muss das System dauerhaft überwachen.                              | Fahrer/-in muss das System nicht mehr dauerhaft überwachen. Fahrer/-in muss potenziell in der Lage sein, zu übernehmen.                                                               | Kein/e Fahrer/-in im spezifischen Anwendungsfall* erforderlich.                      | Von „Start“ bis „Ziel“ ist kein/e Fahrer/-in erforderlich.                                                                    |
| Kein eingreifendes Fahrzeugsystem aktiv.               | System übernimmt die jeweils andere Funktion.          | System übernimmt Längs- oder Querführung in einem speziellen Anwendungsfall*. | System übernimmt Längs- und Querführung in einem speziellen Anwendungsfall*. Es erkennt Systemgrenzen und fordert den/die Fahrer/-in zur Übernahme mit ausreichender Zeitreserve auf. | System kann im spezifischen Anwendungsfall* alle Situationen automatisch bewältigen. | Das System übernimmt die Fahraufgabe vollumfänglich, auf allen Straßentypen, Geschwindigkeitsbereichen und Umfeldbedingungen. |



\* Anwendungsfälle beinhalten Straßentypen, Geschwindigkeitsbereiche und Umfeldbedingungen

b)

| STUFE 0               | STUFE 1                                                                                                                                                                                                                                          | STUFE 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | STUFE 3                                                                                                                                   | STUFE 4                                                                                                                                           |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| manuell               | manuell                                                                                                                                                                                                                                          | assistiert                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | automatisiert                                                                                                                             | autonom                                                                                                                                           |
| Fahren auf Sicht      | Fahrzeugführer/-in beschleunigt und bremst, überwacht die Strecke bezüglich Hindernissen, überwacht den Fahrgastwechsel und bewältigt Notfallsituationen oder ungeplante Streckenumleitungen. Halt zeigende Signale führen zu Zwangsbremssungen. | Automatisierte Beschleunigungs- und Bremsvorgänge, nachdem Fahrzeugführer/-in den Start ausgelöst hat. Fahrzeugführer/-in rüstet den Zug auf und ab, überwacht die Strecke hinsichtlich Hindernissen, überwacht den Fahrgastwechsel, kann bei Bedarf den Zug selbst steuern und bewältigt Notfallsituationen. | Der/Die Zugbegleiter/-in (oder das System) überwacht den Fahrgastwechsel. Der/Die Zugbegleiter/-in steuert den Zug in Notfallsituationen. | Das System überwacht den Fahrgastwechsel und bewältigt Notfälle (ggf. mit Unterstützung der Leitstelle). Im Zug befindet sich kein Personal mehr. |
| Herkömmlicher Betrieb | Manuelle Fahrt mit Zugbeeinflussung                                                                                                                                                                                                              | Assistierter Zugbetrieb                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Automatisierter Zugbetrieb                                                                                                                | Vollautomatisierter Zugbetrieb                                                                                                                    |



Tabelle 4: Stufen der Automatisierung im a) Straßenverkehr und b) Schienenverkehr



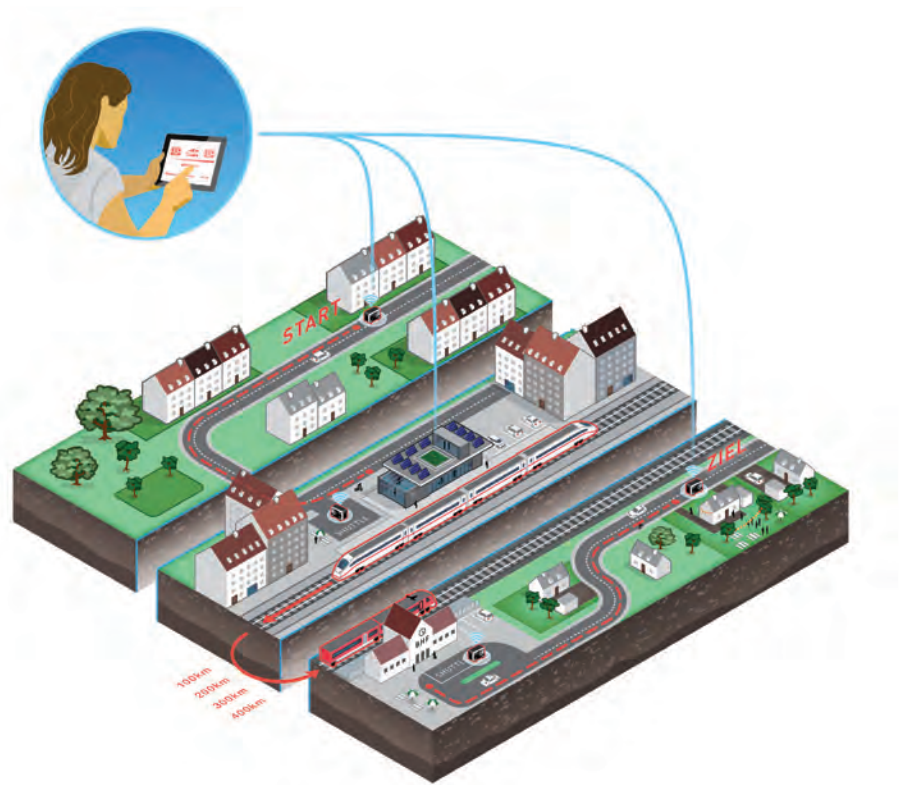
Die Autonomie als höchste Stufe der Automatisierung wird laut Definition erreicht, wenn ein System ein vorgegebenes Ziel selbstständig und von der jeweiligen Fahr- oder Umgebungssituation abhängig erreichen kann; es kann lernfähig sein. In Bezug auf den automatisierten Straßenverkehr (siehe Tabelle 4a) ist dies erreicht, wenn das Fahrzeugsystem die Fahraufgabe „vollumfänglich, auf allen Straßentypen, Geschwindigkeitsbereichen und Umfeldbedingungen“<sup>14</sup> übernimmt. Fahrerlose Fahrzeuge treffen Entscheidungen und übernehmen Aufgaben in unstrukturierten Umgebungen ohne die Kontrollfunktion eines menschlichen Fahrers. Im Bereich Schiene (siehe Tabelle 4b) erfolgt die Automatisierung mit Blick auf das gesamte System, also unter Berücksichtigung des Zusammenspiels der Fahrzeuge mit Infrastruktur und Leittechnik. Die höchste Stufe der Automatisierung wird hier als „vollautomatisierter Zugbetrieb“ definiert. Die Definition sieht neben den reinen Fahraufgaben eine automatisierte Abfertigung (Türen freigeben und schließen) und automatisierte Behandlung von Störfällen vor (letztere kann auch durch die Leitstelle erfolgen). Da der Zug kein Personal benötigt, kann die Klassifizierung mit der Stufe 5 der Automatisierung im Straßenverkehr, also dem fahrerlosen Fahren, gleichgesetzt werden.

An den bereits heute auftretenden Veränderungen lässt sich der Einfluss auf das Verkehrssystem von morgen erkennen. Die Entwicklung und Verbreitung von Fahrerassistenzsystemen im Straßen- und Schienenverkehr begründen einen grundlegenden Wandel im gesamten Mobilitätssystem. Datenbasierte Mobilitätsdienste erhöhen die Multimodalität, also die Nutzung unterschiedlicher Verkehrsträger. Sowohl der Personen- als auch Güterverkehr erlebt eine Flexibilisierung und Hybridisierung. Außerdem wird die strikte Unterscheidung zwischen Individual- und öffentlichem Verkehr immer weniger möglich und nötig. Das Verkehrssystem von morgen ist ein integriertes System des Personen- und Güterverkehrs, in dem verschiedene Verkehrsmittel auf Schiene und Straße automatisiert aufeinander abgestimmt sind. Bei der Betrachtung der Automatisierungsgrade ist deshalb nicht nur ein einzelner Verkehrsträger, sondern auch das Mobilitätssystem als Ganzes zu betrachten. Zur Erreichung der Autonomie auf übergeordneter, systemischer Ebene spielt neben der Automatisierung im Fahrzeug vor allem die Vernetzung zwischen Fahrzeugen, Infrastruktur und Verkehrsteilnehmenden eine zentrale Rolle.

## 4.2 Anwendungsbeispiele

### 4.2.1 PRIVATE FERNREISE

Eine fünfköpfige Familie plant eine vierhundert Kilometer lange Reise zu einer großen Familienfeier. Unterwegs soll es die Möglichkeit geben, zu essen und zu trinken; insbesondere sollen die Kinder auch Bewegungsfreiheit haben. Der größte Teil der Strecke soll daher mit der Bahn zurückgelegt werden. Die Reisenden nutzen zur Planung eine Mobilitätsanwendung, über die die Buchungen erfolgen. Die Reise wird von der Haustür bis zum Ziel auf Basis der individuellen Kundenwünsche zusammengestellt und automatisch gebucht.



**Abbildung 12:**  
Planung und Durchführung  
einer Fernreise mithilfe  
automatisierter Mobili-  
tätsanwendungen und  
autonomer Fahrzeuge des  
öffentlichen Nahverkehrs  
(Quelle: Innovationslandkar-  
te InnoZ).

|                     | Positive Eigenschaften                                                                                                                                   | Negative Eigenschaften                                                          |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Interne Perspektive | <b>STÄRKEN</b><br>→ Umfassende Informationen, einfache und flexible Buchung<br>→ Hoher Komfort der Reise                                                 | <b>SCHWÄCHEN</b><br>→ Persönliche Daten müssen verfügbar gemacht werden         |
|                     |                                                                                                                                                          |                                                                                 |
| Externe Perspektive | <b>CHANCEN</b><br>→ Neue Geschäftsmodelle für Mobilitätsanbieter möglich<br>→ Effizienzeinsparungen durch die Nutzung von multimodalen Verkehrsangeboten | <b>RISIKEN</b><br>→ Akzeptanzproblem (auch der Mensch fühlt sich ferngesteuert) |
|                     |                                                                                                                                                          |                                                                                 |

**Tabelle 5:**  
SWOT-Analyse bezüglich  
Einsatz autonomer Systeme  
zur Reisedurchführung



Für die Strecke vom Haus zum Bahnhof holt ein vollautomatisch fahrender Shuttle (Kleinbus) des öffentlichen Nahverkehrs (ÖV) die Familie ab und bringt sie zum nächstgelegenen Bahnhof. Nach der Bahnreise fährt die Familie die „letzte Meile“ bis zum Ziel ebenfalls mit einem ÖV-Shuttle. Das Umsteigen wird durch Echtzeitinformationen über das Smartphone erleichtert. Auch das Gepäck wird am Bahnhof automatisch in den Zug verladen und bis zum Ziel mitgeführt, wobei alternativ die Möglichkeit besteht, das Gepäck unabhängig vom Weg der Reisegruppe zu transportieren.

#### 4.2.2 MOBILITÄT IM LÄNDLICHEN RAUM

Herr Schulze lebt auf dem Dorf. Er ist schon älter und hat seinen eigenen Pkw abgeschafft. In seinem modernen Dorf bilden vollautomatische Fahrzeuge vernetzter Verkehrsträger ein flächendeckendes Angebot des Personennahverkehrs. Immer, wenn Herr Schulze innerhalb des Dorfes oder in die benachbarte Stadt fahren möchte, formuliert er seinen Mobilitätswunsch an ein vernetztes Planungs-, Buchungs- und Dispositionssystem.

Heute geht es in die Stadt: Herr Schulze erhält einen detaillierten Plan und wird von einem Robo-Taxi abgeholt und zum Bahnhof gefahren. Von dort geht es mit der fahrerlosen Regionalbahn in die Stadt. Für den Rückweg erhält Herr Schulze über sein Smartphone die Nachricht, dass die Regionalbahn wegen einer Streckenstörung nicht fährt, und wählt nun das als Alternative angebotene ÖV-Shuttle, das ihn bis vor die Haustür bringt.

**Tabelle 6:**  
SWOT-Analyse bezüglich  
Einsatz autonomer Systeme  
zur Mobilität im ländlichen  
Raum

|                     | Positive Eigenschaften                                                                                                                                                                                        | Negative Eigenschaften                                                                                               |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Interne Perspektive | <b>STÄRKEN</b><br><hr/> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Allgemeine Mobilität ist gesichert</li><li>→ Verzicht auf eigenes Fahrzeug möglich</li></ul>                                                  | <b>SCHWÄCHEN</b><br><hr/> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Geringerer Fahrzeugabsatz für Hersteller</li></ul> |
| Externe Perspektive | <b>CHANCEN</b><br><hr/> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Stärkung der Kommunen durch verbesserte Attraktivität</li><li>→ Verringerung der Unfälle, die durch menschliches Versagen entstehen</li></ul> | <b>RISIKEN</b><br><hr/> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Unfälle durch unvollkommene Technik</li></ul>        |

4.2.3 MOBILITÄT IM URBANEN RAUM

Frau Mayer ist zwanzig Jahre alt und wohnt in einer Großstadt. Sie hat nie ein eigenes Auto besessen, da die Fahrten zur Arbeit, zum Einkaufen, zu kulturellen Veranstaltungen, Freunden etc. bequem mit dem Rad, Miet-Pkw und öffentlichen Verkehrsmitteln zu bewältigen sind.

Heute möchte Frau Mayer morgens ins Büro, zum Feierabend ins Fitnessstudio und anschließend mit Freundinnen und Freunden auf ein Konzert. Die Fahrt zur Arbeit erfolgt wie immer mit dem ÖV-Shuttle, der im Fünf-Minuten-Takt fährt. Zum Fitnessstudio fährt sie mit einem Miet-Fahrrad (die Radstationen gibt es im Stadtkern nahezu an jeder Kreuzung).

Für den Weg zum Konzert wählt Frau Mayer die fahrerlose Straßenbahn und für den Rückweg nach Hause entscheidet sie sich für eine kleine Fahrgemeinschaft im Robo-Taxi. Frau Mayer trägt ein Wearable. Der Verkehrsverbund erfasst die Bewegungsdaten von Frau Mayer und rechnet alle Fahrten monatlich ab.

|                     | Positive Eigenschaften                                                                                                                                                    | Negative Eigenschaften                                                                                  |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Interne Perspektive | <b>STÄRKEN</b><br>→ Sehr flexibles Verkehrssystem<br>→ Automatische nutzungsabhängige Abrechnung                                                                          | <b>SCHWÄCHEN</b><br>→ Für Weyignutzerinnen und Weyignutzer ohne Wearable ggf. kompliziertere Abrechnung |
|                     | <b>CHANCEN</b><br>→ Kapazität der Infrastruktur wird besser genutzt<br>→ Attraktivere Stadt (weniger Lärm, sauberere Luft, erhöhte Sicherheit, weniger versiegelter Raum) | <b>RISIKEN</b><br>→ Rebound-Effekt möglich<br>→ Bewegungsprofile können missbraucht werden              |

Tabelle 7:  
SWOT-Analyse bezüglich  
Einsatz autonomer Systeme  
zur Mobilität im urbanen  
Raum



#### 4.2.4 MOBILITÄT AUF STARK BELASTETEN STRASSEN

Herr Kaufmann möchte eine internationale Industriemesse besuchen. Wie üblich sind die Verkehrswege zur Messe stark belastet; sie werden von einer verkehrsmittelübergreifenden Leitstelle geregelt.

Herr Kaufmann fährt mit seinem vollautomatischen Personenkraftwagen (Pkw) und hat damit Gelegenheit, bei der Fahrt zur Messe auf spezielle, gemanagte Fahrspuren zu wechseln. Hierzu gibt er auf der Einfädelspur per Knopfdruck die Fahraufgaben ab – das Fahrzeug übernimmt nun in enger Abstimmung mit der Leitstelle die Längs- und Querführung des Pkw. Andere Fahrzeuge erkennen über Vehicle-to-Vehicle (V2V)-Kommunikation, dass sein Pkw vom System gesteuert wird. Da auf diesen Fahrspuren nur hoch- und vollautomatisierte Fahrzeuge fahren, werden diese digital gekoppelt und bilden Kolonnen (Platoons). Herr Kaufmann trifft nun letzte Vorbereitungen für den Messebesuch. Im Ausfädelbereich übernimmt Herr Kaufmann wieder die Steuerung.

**Abbildung 13:**  
Einsatz autonomer Fahrzeuge auf stark belasteten Straßen (Quelle: Innovationslandkarte InnoZ).



|                     | Positive Eigenschaften                                                                                 | Negative Eigenschaften                                                                                                    |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Interne Perspektive | <b>STÄRKEN</b><br>→ Möglichkeit, während der Fahrt andere Dinge zu tun<br>→ Die Fahrzeit verkürzt sich | <b>SCHWÄCHEN</b><br>→ Hoher Aufwand für Installation<br>→ Nur für Fahrzeuge mit bestimmtem Automatisierungsgrad verfügbar |
| Externe Perspektive | <b>CHANCEN</b><br>→ Optimale Nutzung der Infrastruktur                                                 | <b>RISIKEN</b><br>→ Bei Ausfall des Systems drastische Reduzierung der Leistungsfähigkeit                                 |

**Tabelle 8:**  
SWOT-Analyse bezüglich Einsatz autonomer Systeme zur Mobilität auf stark belasteten Straßen

4.2.5 SEEHAFENHINTERLANDVERKEHR

Das Unternehmen „Futurmotor“ produziert Elektromotoren für Pkw, Lastkraftwagen (Lkw) und Binnenschiffe. Die Materialien werden in Containern über eine multimodale Logistikkette per Schiff, Bahn und Lkw zum Produktionsort geliefert.

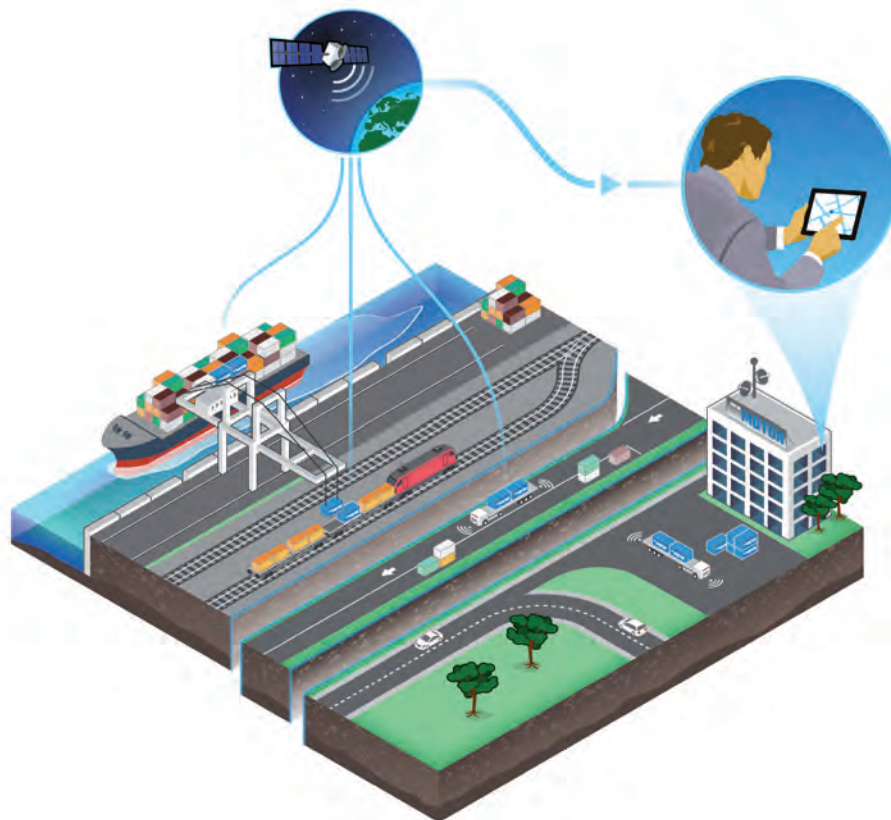
Automatisierte Logistiksysteme und die informationstechnische Vernetzung ermöglichen eine übergreifende Optimierung der Logistikprozesse. Beim Umschlag im Hafen (Schiff – Zwischenlager – Zug) sendet das Hafenverkehrszentrum bereitstehende Informationen zur Verkehrssituation im Hafen und ermöglicht eine Echtzeitkoordination der Transportvorgänge. Sowohl das Hafenmanagement, die Parkraumbewirtschaftung, Terminal- und Depotdisponenten als auch die Transportunternehmen erhalten Informationen zum Verkehrsfluss und zur Containertransportkette. Der Transport im Seehafen wird entsprechend in das überörtliche Logistik- und Verkehrssystem integriert.

Der fahrerlose Zug wird zunächst optimal im Containerterminal beladen. Im sechshundert Kilometer entfernten Umschlagbahnhof erfolgt die Verladung der Container vom Zug auf Lkw. Den Spediteuren stehen Echtzeitinformationen zu den Containern zur Verfügung, sodass die fahrerlosen Lkw entsprechend disponiert werden können.

Die Firma „Futurmotor“ wird über eine Online-Anwendung des Spediteurs über den Lieferzeitpunkt informiert; sie hat die Möglichkeit, den Zeitpunkt der Anlieferung gezielt zu beeinflussen. Durch die Zuverlässigkeit der Logistikkette konnte das Unternehmen bereits den Lagerbestand stark minimieren und on demand produzieren.



**Abbildung 14:**  
Einsatz automatisierter  
Logistiksysteme für die  
Echtzeitkoordination von  
Transportvorgängen im  
Seehafenhinterlandverkehr  
(Quelle: Innovationsland-  
karte InnoZ).



**Tabelle 9:**  
SWOT-Analyse bezüglich  
Einsatz autonomer Systeme  
im Seehafenhinterland-  
verkehr

|                     | Positive Eigenschaften                                                                                                                                                | Negative Eigenschaften                                                                                                        |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Interne Perspektive | <b>STÄRKEN</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Schnelle und transparente Logistik</li> <li>→ Lagerkapazität beim Empfänger kann verringert werden</li> </ul> | <b>SCHWÄCHEN</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Komplexes System</li> <li>→ Rückfallebene erforderlich</li> </ul>   |
|                     | <b>CHANCEN</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Wettbewerbsvorteil für angeschlossene Standorte</li> </ul>                                                    | <b>RISIKEN</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Daten über Art und Ort der Güter können missbraucht werden</li> </ul> |

## 4.3 Beispiele technischer Umsetzung

### SCHIENE

#### **Automatischer Zugbetrieb**

DB Cargo und Siemens haben Mitte 2015 ein Demonstrationsprojekt zur Erprobung des automatisierten Fahrens im Schienengüterverkehr gestartet und im März 2016 erfolgreich abgeschlossen. Das pragmatische Aufzeigen der technischen Machbarkeit stand in diesem Innovationsprojekt im Mittelpunkt.

Ein automatisches System steuert die Streckenlokomotiven. Pilotierung, Test und Entwicklung von Systemen zur Hinderniserkennung erfolgten gemeinsam mit Industriepartnern. Die ersten Tests wurden am 17. März 2016 erfolgreich abgeschlossen. Die Einführung und Zulassung einer Autopilotfunktion auf Streckenlokomotiven für den Schienengüterverkehr ist geplant.

Bei der Erzgebirgsbahn werden Fahrerassistenzsysteme weiterentwickelt. Hier soll auf einem Testfeld mit Unterstützung von Kamera-Sensortechnik vollautomatisch gefahren werden – ohne Änderungen an der Infrastruktur. (Teststrecke: Annaberg-Buchholz – Schwarzenberg, rund dreißig Streckenkilometer, Aufnahme erster Testversuche nach Umbau des Fahrzeugs (VT 642) sind für Jahresmitte 2017 geplant).

#### **Zugbildung im Schienengüterverkehr**

DB Cargo treibt die Automation von Zugbildungsanlagen voran und sieht in einem ersten Schritt die Pilotierung und Einführung einer vollautomatisierten Abdrücklokomotive zum Rangieren der Güterwaggons am Standort München Nord vor. Der Onboard-Steuerrechner der Lokomotive ermöglicht automatisches Fahren der Abdrücklokomotive. Zur Hinderniserkennung sind Lok und Infrastruktur mit Sensorik im Nahbereich ausgestattet (Lichttradar, Radar, Kamera).

Im ersten Schritt arbeitet ein Demonstrator im vollautomatischen Abdrückbetrieb inklusive Hinderniserkennung (2017). Bis 2018/19 ist die Betriebserprobung und Zulassung geplant. Der Rollout in alle relevanten Zugbildungsanlagen und die Ausweitung der Nutzung auf den Rangierbetrieb sollen ab 2019/20 erfolgen.

#### **Europäisches Verkehrsmanagementsystem (ERTMS)**

Der Ausbau und die Einführung des vollautomatisierten Fahrens ohne Lokführerin oder Lokführer ist auf Basis des europäischen Zugsicherungssystems (ETCS) möglich. Mit ETCS Level 3 können künftig neben der Automatisierung der Zugfahrt ökonomische und ökologische Effekte optimiert werden (Streckenkapazität, Energieverbrauch), indem Züge einander nicht mehr in starren Streckenblöcken, sondern in dynamisch zum vorausfahrenden Zug berechneten Abständen folgen können.

ETCS bildet gemeinsam mit dem Globalen Mobilkommunikationssystem – Schiene (GSM-R) als Kommunikationsstandard zwischen Leitstelle und Zügen einen grundlegenden Bestandteil des ERTMS.

**Vollautomatisierte Bahnsysteme**

Vollautomatisierte unbegleitete Bahnen sind in geschlossenen Systemen (vor allem U-Bahnen) weltweit bereits zahlreich in Betrieb.

**STRASSE****Automatisierte Straßenfahrzeuge**

Diverse Hersteller haben bereits Fahrzeuge auf den Markt gebracht, die in der Lage sind, teilautomatisiert zu fahren (die Längs- und Querführung wird automatisiert). Die Fahrerin beziehungsweise der Fahrer überwacht weiterhin das System und kann die Fahraufgaben übernehmen. Die Hochautomatisierung und Vollautomatisierung ist derzeit auf den Einsatz von Fahrzeugen im Test- oder Pilotbetrieb beschränkt. Die Freischaltung dieser Systeme hängt von deren Reifegrad und den Rahmenbedingungen der jeweiligen Länder ab.

**Vernetztes, hochautomatisiertes Fahrzeug**

Auf der internationalen Consumer Electronics Show (CES) in Las Vegas stellten in den letzten Jahren eine Vielzahl von Herstellern und Zulieferern Konzepte zum autonomen Fahren vor. So können durch Vernetzung und Kommunikation Fahrzeug- und Fußgängerunfälle vermieden und Fahrkomfort und Bequemlichkeit erhöht werden.

Der neue, innovative Vernetzungsansatz zur Vehicle-to-everything (V2X)-Technologie nutzt Umfelddaten des Fahrzeugs zur Verbesserung intelligenter Dienste für mehr Komfort und Sicherheit durch die frühzeitige Erkennung und Eindämmung möglicher Gefahren. Die technologischen Vorteile dieses Ansatzes wurden auf der CES anhand des folgenden Szenarios dargestellt: Ein Fußgänger mit einem Wearable geht auf die Fahrbahn zu und wird dabei von einem parkenden Auto verdeckt. Das Wearable wird von einer intelligenten, straßenseitigen Infrastruktur in der Nähe lokalisiert, die mit der Cloud verbunden ist. Das verbundene Fahrzeug erhält dann eine V2X-Warnung, die die sichere, komfortable Anpassung der Fahrgeschwindigkeit ermöglicht, um die Gefahr rechtzeitig zu erkennen und einen Unfall zu vermeiden. Die eingesetzte Cloud-Lösung wird dabei wie ein zusätzlicher Umfeldsensor gesehen. Durch V2X-Warnungen können Notbremsmanöver vermieden und das Risiko von Auffahrunfällen gemindert werden. Das auf diese Weise eng mit seiner Umgebung und anderen Verkehrsteilnehmenden vernetzte, hochautomatisierte Fahrzeug gibt der Fahrerin oder dem Fahrer Zeit, während der Fahrt produktiv zu sein. Die IAV GmbH verfügt über mehrere Versuchsfahrzeuge, die den aktuellen Stand dieser Zukunftstechnologie in Europa und in den USA darstellen. Der nächste Entwicklungsschritt besteht in der kontinuierlichen Weiterentwicklung der V2X-Kommunikation, um Fahrzeuge nahtlos untereinander und mit ihrer Umgebung zu vernetzen.

**Vollautomatisierter Kleinbus auf halb-öffentlichem Gelände**

Die Deutsche Bahn (DB) setzt seit dem 28. November 2016 gemeinsam mit dem Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel (InnoZ) einen vollautomatisch fahrenden Kleinbus des US-amerikanischen Start-ups Local Motors auf dem Gelände des EUREF-Campus (Berlin-Schöneberg) ein, um dort

unter Testbedingungen Campusbeschäftigte und Besucherinnen und Besucher zu befördern. Im Fahrzeug ist auch das IBM Computersystem Watson präsent (cloudbasiert, lernfähig).

Im Zeitraum von zwei Monaten setzte die DB einen vollautomatisch fahrenden Kleinbus des französischen Herstellers Easymile auf dem Betriebsgelände von Schenker Leipzig ein, um Mitarbeiter zu befördern.

#### **Vernetztes Lkw-Kolonnenfahren**

Die DB und MAN testen im Herbst 2017 vernetztes Lkw-Kolonnenfahren (Platooning) auf dem „digitalen Testfeld Autobahn“ auf der A9.

#### **GEPLANTE UMSETZUNGEN**

In den nächsten vier bis neun Jahren werden erste vollautomatisch fahrende Lkw, Pkw und Busse erwartet – so hat BMW für das Jahr 2021 den iNEXT als vollautomatisierten Pkw angekündigt. Die Deutsche Bahn hat angekündigt, in den nächsten sechs bis acht Jahren in Teilen des Netzes vollautomatisch zu fahren.

Der Zulieferer Bosch eröffnete Ende 2016 ein Forschungszentrum für Autonome Fahrtechnik; Google macht zurzeit aus der bisherigen Forschungsabteilung „Autonomes Fahren“ ein selbstständiges Geschäftsfeld. Diverse Bundesländer unterstützen finanziell bei der Schaffung von Testflächen für das vollautomatische Fahren.

## **4.4 Herausforderungen bei der Umsetzung**

Die Herausforderungen lehnen sich an die in der Studie „Neue autoMobilität“ identifizierten Aktionsfelder an (siehe Abbildung 15).

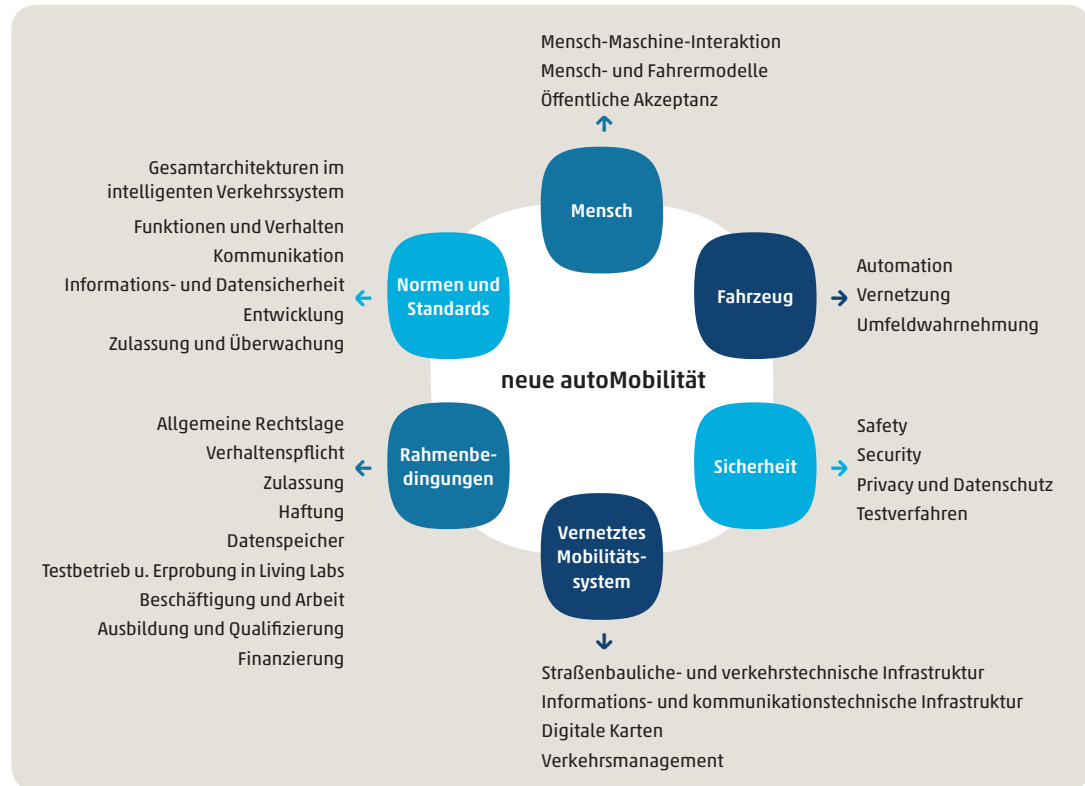
#### **FAHRZEUG UND INFRASTRUKTUR**

**Umfeldwahrnehmung:** Damit das Fahrzeug die Erfassung des Umfeldes mittels Sensoren vollständig übernehmen kann und um die Sichtweite deutlich zu erweitern, bedarf es einerseits besonders leistungsfähiger Komponenten in den Bereichen Sensorik und kognitiver Systeme<sup>15</sup>, andererseits auch einer leistungsfähigeren Kommunikationstechnologie. Im Schienenverkehr ist der vollständige Ersatz der Wahrnehmungen der Triebfahrzeugführerin oder des Triebfahrzeugführers erforderlich (Überwachung der Schieneninfrastruktur, Hinderniserkennung). Zudem müssen die genaue Position der Fahrzeuge – bei Zügen betrifft das auch das Fahrzeugende – und das Bewegungsprofil zu jedem Zeitpunkt bekannt sein. Hochgenaue digitale Karten können als weitere Datenquelle integriert werden.

<sup>15</sup> Siehe Kapitel 7.4.



**Abbildung 15:**  
Aktionsfelder gemäß der  
Studie „Neue autoMobilität“  
(Quelle: Lemmer 2016).



**Vernetzung:** Des Weiteren muss die Vernetzung zwischen Fahrzeugen (V2V), zwischen Fahrzeugen und der Infrastruktur (V2I) sowie zwischen Fahrzeugen und IT-Backend (V2B) flächendeckend ermöglicht werden, um kooperative Manöverplanung und letztlich ein intelligentes Verkehrsmanagement einführen zu können. Dies gilt sowohl für die Vernetzung zwischen Fahrzeugen im Straßenverkehr als auch für deren Kommunikation mit Schienenfahrzeugen und Infrastruktur.

**Datenbasen:** Für einen sicheren und effizienten Betrieb bedarf es einer Reihe von Daten (unter anderem HD-Maps, Wissensdatenbasis zur Interpretation von Sensordaten, Wissensdatenbasis für Situationsinterpretation und Handlungsplanung<sup>16</sup>).

### INTEGRATION

Für eine erfolgreiche Einführung automatisierter Systeme auf Straße und Schiene müssen vor allem Migrationsstrategien entwickelt und auch der Mischverkehr beherrscht werden. Die automatisiert fahrenden Fahrzeuge müssen in das Gesamtsystem integriert sein. Angrenzende Prozesse und Aufgaben-

bereiche müssen so gestaltet sein, dass die durch die Automatisierung entstehenden Potenziale voll genutzt werden. Beispiele aus dem Schienenverkehr sind Fahrplanerstellung, Betriebsprozesse, Disposition und die Aufgabenbereiche in den Leitstellen.

#### RAHMENBEDINGUNGEN

**Regulatorische Rahmenbedingungen:** Der Bereich vollautomatischer Verkehrsmittel wird von unserem heutigen Rechtssystem noch nicht abgedeckt; so wird der Fahrer noch als Systemüberwacher und somit als eine Rückfallebene verstanden (Straße: Wiener Straßenverkehrskonvention vom März 2014; Schiene: Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) § 45).

**Wertschöpfung:** Aufgrund des Wandels bestehender Geschäftsmodelle und des Auftretens neuer Player werden sich Industrie- und Wirtschaftszweige radikal ändern. Der bevorstehende Wandel (sukzessiv oder disruptiv) generiert die Herausforderung, eine Abwanderung der Wertschöpfung zu vermeiden (bei Produkten, bei denen Deutschland führend ist, zum Beispiel bei Fahrzeugen und IT-Systemen); ebenso besteht die Chance, Wertschöpfung nach Deutschland zu verlagern (durch die Herstellung von Komponenten, die bisher importiert werden müssen).

#### NORMEN UND STANDARDS

Bei der Entwicklung automatisierter Fahrzeuge und Verkehrssysteme ist das Wissen über und die Verlässlichkeit von Normen und Standards von hoher Bedeutung.

## 4.5 Detaillierte Handlungsempfehlungen Straßen- und Schienenverkehr

Das Fachforum Autonome Systeme unterstützt die Aktionsfelder und Roadmaps der Studie „Neue automobilität“ und greift den dort identifizierten Bedarf in folgenden Handlungsempfehlungen auf.

#### FAHRZEUG UND INFRASTRUKTUR

**Umfeldwahrnehmung:** Neue, besonders leistungsfähige Komponenten (Kameras, Ultraschall, Radar, Laserscanner und Satellitennavigationssysteme) sowie kognitive Komponenten müssen weiterentwickelt werden, um eine robuste Umfeldwahrnehmung von Fahrzeugen im Straßenverkehr zu gewährleisten. Beispielsweise können hierfür redundante Sensorsysteme, sogenannte Multisensorlösungen eingesetzt werden. Auch im Schienenverkehr werden die Einführung von „Fiber Optic Sensing“-Technologien (Detektieren und Differenzieren von Geräuschen am Gleis über Lichtleiterkabel) und Multisensorlösungen für größere Entfernungen die Automatisierung vorantreiben.

**Vernetzung:** Für die flächendeckende Vehicle-to-everything (V2X)-Kommunikation im Straßen- und Schienenverkehr müssen neue Systemarchitekturen für die intelligente Infrastruktur entwickelt werden.



Im Bahnsystem ist die aktuelle Systemarchitektur hinsichtlich der Aufteilung der Intelligenz zwischen Fahrzeug und Infrastruktur zu überprüfen und entsprechend der Langfristziele (Reduzierung der Außenanlagen) zu optimieren.

Die neuen Fahrzeugarchitekturen der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) müssen außerdem durchgängig die Anforderungen automatischer Fahraufgaben bewältigen. Die Rechenkapazität (in den Fahrzeugen, der Gesamtsystemsteuerung) sowie die Datenübertragung müssen ausreichen, um auf Basis der Sensordaten realzeitliche Datenanalysen durchzuführen und die richtige Handlung auszuführen<sup>17</sup>.

**Digitale Karten:** Hochgenaue digitale Karten müssen allen Komponentenherstellern diskriminierungsfrei zur Verfügung stehen. Die Infrastrukturbetreiber müssen dynamisch Informationen, wie zum Beispiel über die zulässige Höchstgeschwindigkeit, Belastbarkeit von Brücken, maximale Fahrzeughöhe bei Tunnel, Baustellen, Langsamfahrstellen bei der Bahn, Sperrungen, gegebenenfalls Position und aktuelle Stellung von Ampeln elektronisch zur Verfügung stellen. Die digitalen Karten müssen über Modellierung, Georeferenzierung und realzeitliche Datenanalyse weiterentwickelt werden. Insbesondere Verfügbarkeit, Aktualität und Verlässlichkeit von digitalen Karten müssen hierbei verbessert werden.

**Aufbau einer gemeinsamen Wissensbasis:** Einerseits kann der Aufbau von Open-Source-Datenbasen als Allgemeingut für den Aufbau eines intelligenten Verkehrsmanagements und öffentlicher Dienste genutzt werden. Andererseits ist beispielsweise eine Wissensbasis zur Interpretation von Sensordaten notwendig, um komplexe, unbekannte Situationen zu beherrschen und die funktionale Sicherheit der Fahrzeuge zu gewährleisten.

## INTEGRATION

Das automatisierte Fahren muss bezüglich der Ebenen Fahrzeug und Infrastruktur so gestaltet werden, dass verschiedene automatische und nichtautomatische Fahrzeuge gleichzeitig im Mobilitätssystem agieren können. Dazu müssen belastbare Migrationsstrategien erarbeitet werden, die sowohl für die Straße als auch für die Schiene beispielsweise die betrieblichen Randbedingungen berücksichtigen und das Zusammenspiel zwischen den Verkehrsträgern ermöglichen.

## RAHMENBEDINGUNGEN

**Regulatorische Rahmenbedingungen:** Die im Oktober 2015 erfolgte Anpassung des Wiener Übereinkommens von 1968 bezüglich der jederzeitigen Beherrschungspflicht der FahrerIn oder des Fahrers über ihr/sein Fahrzeug ist ein erster Schritt, um die nationalen Gesetzgebungen anzupassen und damit automatisierte Assistenzfunktionen rechtlich zu ermöglichen. Ziel der Gesetzgebung muss es sein, die Aufgabenteilung zwischen Fahrer und technischen Systemen für vollautomatisiertes und fahrerloses Fahren auf der Straße und der Schiene so zu regeln, dass der FahrerIn und dem Fahrer die Ausübung fahrfremder Tätigkeiten ermöglicht wird. Um eine weltweit unterschiedliche Gesetzgebung zum automatisier-

ten Fahren zu verhindern, ist auf die Vereinbarkeit nationaler Rechtsfragen mit europäischem Recht und multilateralen völkerrechtlichen Verträgen zu achten. Ebenso müssen Zulassungs- und Haftungsfragen (Hersteller, Betreiber, Nutzer) geklärt werden. Insbesondere die viel diskutierten Dilemmasituationen verdeutlichen den Bedarf, allgemein gültige und transparente Regeln für algorithmenbasierte Fahrzeugfunktionen zu etablieren.

Zur Umsetzung einer integrierten Verkehrssteuerung muss außerdem geklärt werden, inwieweit eine übergeordnete Instanz notwendig ist, die ins Fahrzeuggeschehen eingreifen kann (Not-Aus-Knopf, im Fahrzeug, gegebenenfalls virtuell<sup>18</sup>).

**Veränderungen im Verkehrssystem:** Eventuelle negative Auswirkungen automatisierter Systeme müssen bedacht werden: Ein monokulturartiger Einsatz bestimmter Transportsysteme (wie zum Beispiel Robo-Taxi) und neu induzierte Verkehre durch die Erhöhung des Komforts (Rebound-Effekt) könnten den Verkehrsinfarkt in den Städten beschleunigen. Es muss also auf eine problembezogene Verkehrslösung (inklusive Verkehrsvermeidung) unter Einsatz verschiedener Verkehrsmittel geachtet werden. Es entstehen erweiterte Anforderungen an Vernetzung, Integration und Benutzerfreundlichkeit der Verkehrssysteme.

Des Weiteren muss geklärt werden, inwieweit das Gesamtsystem hoheitlich organisiert und koordiniert werden muss. Konkret stellen sich unter anderem Fragen, wie eine solche Organisation erfolgen soll und welche Systemarchitektur die effizienteste ist. Sicherheitsaspekte sind dabei genauso zu berücksichtigen wie Notfalleinsätze und hoheitliche Aufgaben.

**Wertschöpfung:** Die Forschung und Entwicklung sollte Grundlagen für den Erhalt und die Erweiterung der Wertschöpfung in Deutschland schaffen (Soft- und Hardware), indem zum Beispiel die Forschung zur automatischen Handlungsplanung in autonomen Systemen gefördert wird. Außerdem müssen die verschiedenen am Verkehr beteiligten Branchen kritisches Systemwissen aufbauen, um langfristig Mobilitätslösungen in globale Märkte einführen zu können.

## NORMEN UND STANDARDS

**Standards:** Standards für die inter- und intramodale Vernetzung zwischen Fahrzeugen, Infrastruktur und Leitsystemen (V2V- und V2X-Kommunikation) müssen erarbeitet und festgelegt werden – auch in Verbindung mit anderen automatisierten Systemen (Produktion, Smart Home).

**Test- und Zulassungsverfahren:** Anforderungen an Test- und Zulassungsverfahren müssen auf Basis der laufenden Forschungsprojekte (zum Beispiel Pegasus-Netzwerk) definiert und formuliert werden. Standardisierungs- und Zertifizierungseinheiten müssen begleitet und weiterentwickelt werden. Für autonome Verkehrssysteme muss ein entsprechendes Testumfeld geschaffen werden, das die funktionale Sicherheit der Fahrzeugfunktionen und die Qualität der Datenkommunikation prüft.

18 Siehe auch Kapitel 7.3.



## 5. ANWENDUNGSBEREICH SMART HOME

Der Begriff „Smart Home“ umfasst in seiner heutigen Ausprägung Gebäude, die mit technischen Systemen, passenden IT-Anwendungen und -Verfahren ausgestattet sind und ausgewählte Steuerungsabläufe anhand vorgegebener Regeln automatisiert ausführen können<sup>19</sup>. Der hohe Bedarf an automatisierten Gebäuden und deren ökonomischen Potenziale<sup>20</sup> ergeben sich aus der Forderung nach erheblich mehr Energieeffizienz<sup>21</sup> und Klimaschutz. Eine beispielhafte Untersuchung im Rahmen des EU-Projekts „SusLab“<sup>22</sup> zeigt, dass allein durch elektronische Assistenten für das Heizen und Lüften bis zu 25 Prozent Energieeinsparungen möglich sind. Ein weiterer hoher Bedarf an Smart-Home-Technologien entsteht durch eine immer älter werdende Gesellschaft in vielen Industrieländern. Diese wird in wenigen Jahren die bestehenden Betreuungsinfrastrukturen erheblich überfordern, sodass die individuell technisch unterstützte, längere Betreuung zu Hause immer wichtiger wird. Aus diesem Grund wird die frühzeitige Beschäftigung mit Smart-Home-Technologien für Nutzerinnen und Nutzer immer wichtiger, um von den späteren Benutzerinnen und Benutzern auch akzeptiert zu werden. Die Technologien können im Laufe der Jahre bedarfsgerecht durch vollwertige Assistenzfunktionen und darauf aufbauende Dienstleistungen ergänzt werden.

Von einem heutigen, automatisierten Gebäude unterscheidet sich ein zukünftiges, mit autonomen Funktionen ausgestattetes Smart Home durch hochgradig intern und extern vernetzte, technische Gebäudeausstattungen, Steuerungs- und Assistenzkomponenten sowie neue Geräte und intelligente Sensorik. Durch die Kombination von Geräte- und Nutzungsdaten sowie von maschinell gelernten, typischen Nutzungsmustern werden individuelle, sich stetig an die Bedürfnisse anpassende, intelligente Dienste für komplexe Komfort-, Assistenz-, Sicherungs- und Steuerungsaufgaben realisierbar. Das Ziel ist ein intelligentes, multinutzerfähiges Zuhause. Es ermöglicht die Erhöhung der Wohn- und Lebensqualität sowie individuell assistiertes Wohnen und die effiziente Energienutzung auf Basis vernetzter, automatisierter Abläufe. Bedingt durch die zunehmende Digitalisierung unseres Lebensumfeldes werden zukünftige Smart Homes zu einem zentralen Element in einer umfassend vernetzten, digitalen Welt, bei denen die Nutzerinnen und Nutzer mit ihren individuellen Bedürfnissen und Anforderungen im Mittelpunkt stehen.

### 5.1 Leitbild

Das zukünftige Smart Home ist ein Multinutzersystem, das sich vorausschauend, intelligent und selbstständig an die sich ändernden, individuellen Lebensumstände der Bewohnerinnen und Bewohner anpasst. Die typischen angestrebten Funktionen eines Smart Homes sowie die sich daraus ergebenden

19 Vgl. Nationaler IT-Gipfel 2015.  
20 Vgl. Schidlack 2014; Botthof et al. 2016.

21 Vgl. SmartHome 2015.  
22 Vgl. Wuppertal Institut 2012.

Herausforderungen sind aufgrund unterschiedlicher Nutzeranforderungen und technischer Rahmenbedingungen in den Bereichen Komfort, Energiemanagement, Sicherheit für die Bewohnerinnen und Bewohner sowie Assistenz zu finden.

Im Bereich Komfort kennt das Smart Home die individuellen Bedürfnisse und Zeitpläne aller Wohnungsmitglieder. Eine Kombination von Kalenderinformationen, gelernten und personenbezogenen Nutzungsprofilen sowie einer präzisen Inhouse-Lokalisierung ermöglicht eine genaue und individuelle Steuerung von Licht, Weckzeiten, Klimatisierung und anderen Komfortelementen. Externe Informationsquellen, wie zum Beispiel aktuelle Fahrpläne des öffentlichen Nahverkehrs, mögliche Verspätungen, Flugpläne, die aktuelle Verkehrssituation sowie der individuelle Zeitbedarf der Wohnungsmitglieder werden vom Smart Home vorausschauend und selbstständig kombiniert und in entsprechend angepasste Reisepläne, Weckzeiten beziehungsweise Signale an die Nutzerinnen und Nutzer umgesetzt. Die hierfür notwendigen Informationen stehen als individuell abonnierbare externe Smart-Services zur Verfügung.

Im Bereich Energiemanagement bilden Smart Homes zukünftig dezentrale Knoten im Energienetz und wirken als eine intelligente Komponente im intelligenten Stromnetz (Smart Grid). Ein Smart Home stimmt selbstständig den aktuellen Energieverbrauch mit der hauseigenen Energiegewinnung, der externen Energieangebotssituation, dem Ladestatus der Energiespeicher sowie den Kalendern, den in Selbstlernprozessen gewonnenen Gewohnheiten und Vorlieben der Bewohnerinnen und Bewohner ab. Energiegewinnung, Verbrauch und Speicherung werden dabei bedarfsgerecht angezeigt. Der Strom- und Wärmebedarf wird ausgewertet und kann optimiert werden, beispielsweise auch durch die Verknüpfung mit Wettervorhersagen. Dadurch eröffnet sich ein vorausschauendes, energieeffizientes Verhalten des Smart Homes. Die eigene Energieerzeugung und der Verbrauchsverlauf können entlang der zuvor erlernten Muster so austariert werden, dass möglichst wenig externe Energie angefordert werden muss. Ist dies jedoch unabdingbar, können vorausschauend lokale Strom- und Wärmespeicher zu Zeiten günstiger Tarife aufgeladen werden. Zeigt ein persönlicher Kalender einer Bewohnerin oder eines Bewohners Ereignisse mit höherem Energieverbrauch an, wird dieser prognostizierte Bedarf zum Aufladen eines lokalen Energiespeichers oder eines Elektroautos angefordert. So ist eine intelligente Nutzung der eigenen Stromerzeugung und gespeicherten Energie sowie der dezentral oder zentral anzufordernden Energie möglich.

Im Bereich der Sicherheit für die Bewohnerinnen und Bewohner verfügt ein Smart Home über umfangreiche Selbstüberwachungsfunktionen. In Gefahrensituationen erkennt das Smart Home automatisch, um welche Notlage es sich handelt, zum Beispiel Unfall, Sturz, Rauchbildung, Wassereinbruch, Gasaustritt, Einbruch etc. Beispielsweise verhindert die intelligente Verknüpfung von Fensterkontakten, Stellmotoren, Regensensoren und Wettervorhersage Wassereinbrüche bei Regen. Ungewöhnliche Situationen können durch die Selbstlernfähigkeiten schon in frühen Stadien vorausschauend erkannt werden. Durch die stetige Überwachung von ordnungsgemäßer Funktion und Energieverbrauch erkennt ein Smart Home schleichende Veränderungen, die auf sich ankündigende Defekte hinweisen, kann auf diese aufmerksam machen beziehungsweise Kompensationsmaßnahmen einleiten, wie zum Beispiel das vorausschauende Abschalten eines Gerätes und die Benachrichtigung einer Servicezentrale.



Auf Basis der vom Smart Home übermittelten Daten kann die Servicezentrale eine detaillierte Einschätzung der Situation vornehmen und die erforderlichen Maßnahmen einleiten. Die Bewohnerinnen und Bewohner profitieren dabei auch bei Abwesenheit, da das Smart Home die notwendigen Schritte vornimmt, ohne dass die Bewohnerinnen und Bewohner selbst aktiv werden müssen. Da das Smart Home nur autorisierten Personen Zutritt erlaubt, kann Servicedienstleistern im Bedarfsfall der Zugang zu zuvor festgelegten Bereichen des Smart Home gewährt werden. Kritische Infrastrukturen wie Energiesysteme, Heizung, Schließsysteme, Rauchmelder etc. können durch diese Selbstüberwachungsfunktion vorausschauend und bedarfsgerecht gewartet und betriebssicher gehalten werden. Diese Erhöhung der Sicherheit trägt wesentlich zur Akzeptanz der Smart-Home-Technologien bei.

Im Bereich Assistenz ist das Ziel die lebensbegleitende Erweiterung eines Smart Homes mit individuellen Assistenzfunktionen. In Zukunft wird die Anzahl von Menschen im dritten Lebensalter stark ansteigen. Damit verbunden ist das im Alter zunehmende Bedürfnis nach Sicherheit und Pflege und der Wunsch, so lange wie möglich in der gewohnten Umgebung zu bleiben. Laut einer Umfrage von TNS Emnid ist dies der dringlichste Wunsch der Befragten über fünfzig Jahren. Auf Platz zwei wird eine gute Erreichbarkeit von Gesundheitsdiensten und öffentlichem Verkehr genannt. Auf Platz drei folgt die Forderung nach dem Einbau altersgerechter, technischer Assistenzsysteme<sup>23</sup>. Damit diesen Bedürfnissen entsprochen werden kann und das Prinzip „ambulant vor stationär“ funktioniert, werden entsprechende intelligente, individuell anpassbare Systeme in Wohnungen benötigt, die die Bewohnerinnen und Bewohner bei der Bewältigung des Tagesablaufs sowie beim Aufbau und der Pflege sozialer Kontakte unterstützen. Des Weiteren wird deutlich, dass ein Mensch mit zunehmendem Alter immer weniger Hilfsmittel akzeptiert, die eine gewisse Komplexität aufweisen. Hier spielt die Autonomie der Systeme eine wesentliche Rolle. Die Einbindung und Erweiterung von technischen Hilfsmitteln, die im Smart Home bereits in jüngeren Jahren als Komfort angesehen werden, ist eine Möglichkeit, die Akzeptanz seitens älterer Menschen zu erhöhen. Ergänzt durch selbstlernende und adaptive Fähigkeiten eines Smart Homes kann die Bedienbarkeit trotz umfassender Funktionalitäten drastisch vereinfacht werden. Es muss also möglich sein, Smart-Home-Komponenten nach und nach und je nach Bedarf in eine Wohnung zu integrieren, sodass das Wohnumfeld komfortabel und modular erweiterbar ist, sich aber auch an Situationen und Gewohnheiten der Bewohnerinnen und Bewohner anpasst, Notfälle erkennt und meldet. Ebenso sollen in das Wohnumfeld medizinische und Anwendungen aus dem Gesundheitswesen integriert werden können, die einen Informationsaustausch mit Externen, zum Beispiel dem Pflegedienst, ermöglichen. Die eingesetzten Komponenten und Systeme reichen von einfachen Sensoren bis hin zu komplexen Servicerobotern.

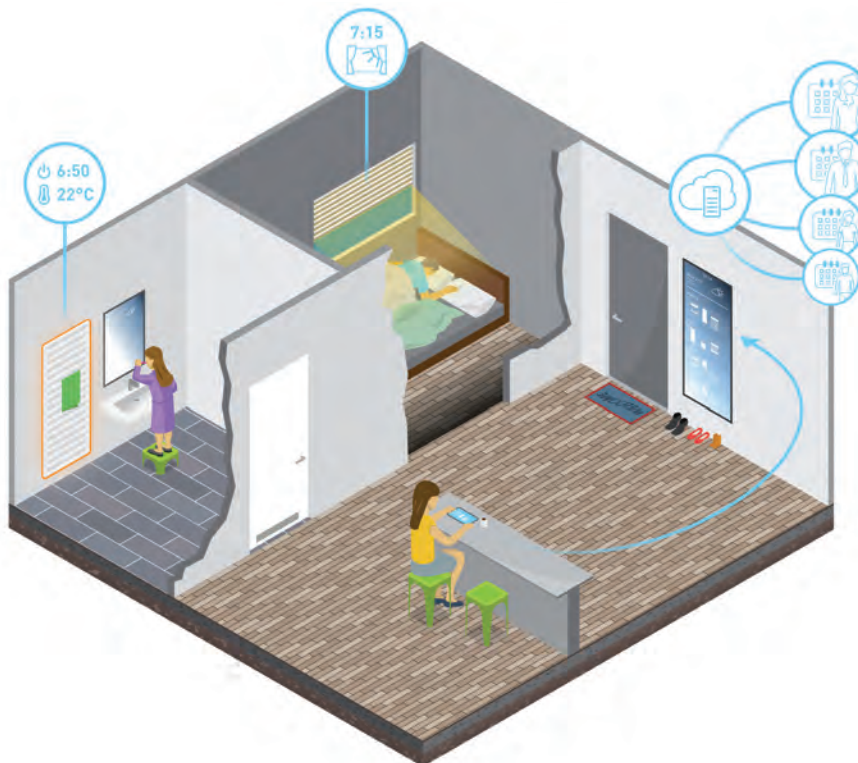
Ein entsprechend ausgestattetes Smart Home kann zuvor definierte Schutzszenarien intelligent aktivieren und anpassen. Ändern sich kurzfristig Betreuungsbedürfnisse der Bewohnerinnen und Bewohner, kann das Smart Home flexibel auf die neue Situation reagieren und Schutz- bzw. Alarmierungsszenarien aktivieren, bis Betreuungspersonen vor Ort sind. Die leichte Bedienbarkeit ist mit natürlicher Sprach- und Gestensteuerung auch für bewegungseingeschränkte Bewohnerinnen und Bewohner sichergestellt.

Treten Unregelmäßigkeiten im Verhalten beziehungsweise bei Vitalfunktionen auf, die auf ein akutes medizinisches Problem hinweisen, reagiert das Smart Home selbstständig und setzt eine situationsangepasste Alarmierungskette in Gang. Die ausgeprägten Selbstlernfähigkeiten ermöglichen hierbei auch die Anpassung an langsame Verhaltensänderungen der schutzbedürftigen Bewohnerinnen und Bewohner und vermeiden unnötige Fehlalarme.

## 5.2 Anwendungsbeispiele

### 5.2.1 EIN TAG IM SMART HOME

Das Smart Home kennt als Multinutzersystem die individuellen Aufstehzeiten aller Familienmitglieder. Das Licht in den jeweiligen Schlafräumen wird mit entsprechenden Lichtfarben und Helligkeiten gesteuert, die Rollos öffnen sich langsam oder Lichter dimmen in den einzelnen Schlafzimmern zu unterschiedlichen Aufstehzeiten hoch, sodass das Aufwachen zu einem möglichst entspannten Erlebnis wird. Die älteste



**Abbildung 16:** Komfortfunktionen des Smart Homes als Unterstützung in der Organisation des Tages (Quelle: Innovationslandkarte InnoZ).



Tochter kann wegen Unterrichtsausfalls später aufstehen. Daten aus dem Web-Schulkalender wurden an das Smart Home übertragen. Die Mutter muss eine Stunde früher als üblich zur Arbeit fahren und auf dem Weg zur Arbeit ist heute viel Verkehr. Ihr vorverlegter Kalendereintrag und die zu erwartende Verkehrslage werden vom Smart Home berücksichtigt. Auch der individuelle Zeitbedarf für Frühstück und Körperpflege fließt in die Weckzeit für diesen Tag ein. Die Mutter ist heute die erste, die aufstehen muss. Heizungs- und Warmwassererzeugung fahren aufgrund der früheren Aufstehzeit zeitiger hoch und das Elektroauto ist entsprechend für sie geladen worden. Bei den beiden Etappen des Frühstücks (Mutter zuerst, Vater mit Tochter und Sohn später) werden den Familienmitgliedern auf einer teiltransparenten Spiegelfläche die verschiedenen Kalendereinträge zu Schul- und Heimkehrzeiten sowie Aufgaben angezeigt.

Der Bildschirm kann die Kalenderinformationen bei Bedarf per Sprache zur Anzeige bringen. Der Vater sieht, dass seine Frau rechtzeitig mit dem Elektroauto zu Hause sein wird, damit dieses noch am Nachmittag aufgeladen werden und er am Abend zu einem Vortrag fahren kann.

Bei Mutter und Sohn ist ein gemeinsames Mittagessen geplant. Die Mutter schickt eine Nachricht an das Smart Home, dass sie zwei Stunden später zu Hause ankommen wird. Das Smart Home verteilt diese Nachricht an den Sohn mit der Notiz, dass er in der Schule essen soll, und an den Mann, der sich daraufhin eine Mitfahrgelegenheit organisiert, weil die Aufladezeit für das Elektroauto nicht mehr reichen wird. Das Wiederhochfahren der Wärmepumpen verschiebt sich damit, weil kein Familienmitglied mittags zu Hause ist.

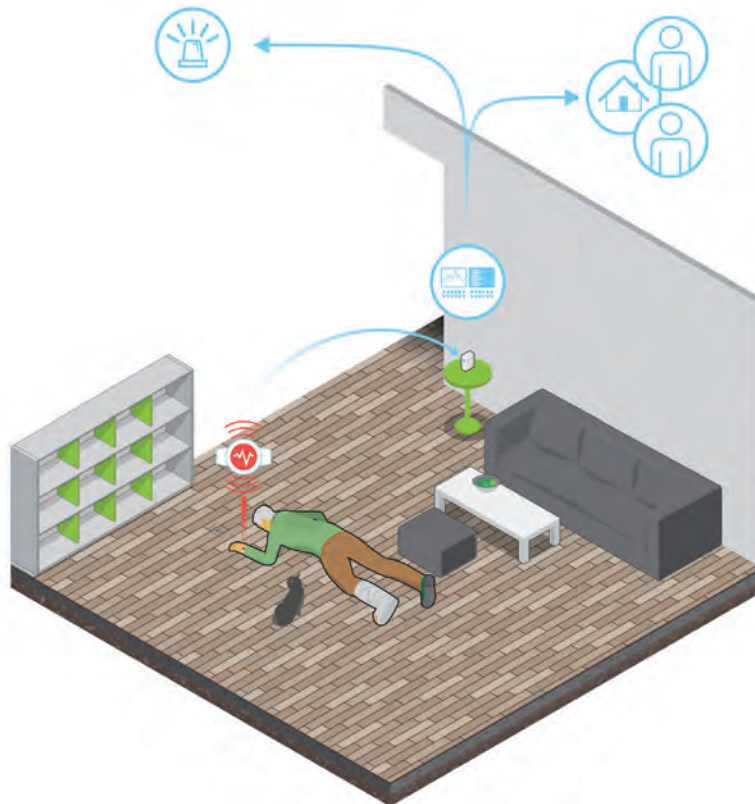
**Tabelle 10:**  
SWOT-Analyse bezüglich  
Einsatz des Smart Home als  
hilfreicher Partner bei der  
Organisation des Tages.

|                            | Positive Eigenschaften                                                                                                                                                                                                                                 | Negative Eigenschaften                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Interne Perspektive</b> | <b>STÄRKEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Ein Smart Home wird als echte Unterstützung im täglichen Familienleben wahrgenommen</li><li>→ Langsame Heranführung an später evtl. notwendige weitergehende technische Unterstützung</li></ul> | <b>SCHWÄCHEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Eine umfassende Standardisierung für die verschiedenen Dienste und Geräte ist notwendig</li><li>→ Langzeitkompatibilität muss sichergestellt werden</li></ul> |
| <b>Externe Perspektive</b> | <b>CHANCEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Die Akzeptanz technischer Ausstattung wird durch Komfort-Anwendungen erhöht</li></ul>                                                                                                           | <b>RISIKEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Aspekte des Datenschutzes können problematisch sein, durch die Vernetzung mit anderen Diensten</li></ul>                                                        |

Beim gemeinsamen Abendbrot werden die noch im Haus zu erledigenden Aufgaben auf der teiltransparenten Spiegelfläche angezeigt. Des Weiteren wird angezeigt, dass es einen nicht erkläraren, erhöhten Wasserverbrauch im Laufe des Tages gab, und es wird ein Termin mit einem Fachmann vorgeschlagen.

### 5.2.2 ASSISTENZ NACH EINEM KRANKENHAUSAUFENTHALT

Ein Familienmitglied leidet unter einer bereits stationär behandelten Erkrankung. Das Smart Home unterstützt nun die Rehabilitation und nachsorgende gesundheitliche Überwachung durch an das Smart Home angeschlossene E-Health-Systeme. Das selbstständige Leben zu Hause wird soweit wie möglich, zum Beispiel in Form von kontrollierten, häuslichen Rehabilitationsmaßnahmen, abgesichert und unterstützt. Gesundheitlich relevante Informationen, die im Smart Home bedarfsweise vorliegen, geben den behandelnden Ärztinnen und Ärzten wertvolle Rückschlüsse über den aktuellen Gesundheitszustand oder die Wirksamkeit von Behandlungsmethoden. Treten Unregelmäßigkeiten im Verhalten beziehungsweise bei Vitalfunktionen auf, die auf ein akutes medizinisches Problem hinweisen, setzt das Smart Home automatisch eine situationsangepasste Alarmierungskette in Gang: Wird beispielsweise



**Abbildung 17:**  
Assistenzfunktionen des  
Smart Home für die Reha-  
bilitation und nachsorgende  
gesundheitliche Überwa-  
chung (Quelle: Innovations-  
landkarte InnoZ).



**Tabelle 11:**  
SWOT-Analyse bezüglich  
Einsatz des Smart Home für  
die Assistenz

|                     | Positive Eigenschaften                                                                                                                                                                                              | Negative Eigenschaften                                                                                                                            |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Interne Perspektive | <b>STÄRKEN</b><br><br>→ Bei guter Umsetzung wird das Smart Home als echte Unterstützung wahrgenommen und kann erheblich mehr Sicherheit und Selbstbestimmung vermitteln                                             | <b>SCHWÄCHEN</b><br><br>→ Fehlende Datendurchgängigkeit im medizinischen und pflegerischen Umfeld                                                 |
| Externe Perspektive | <b>CHANCEN</b><br><br>→ Der Bedarf an häuslicher Betreuung wird stark steigen<br>→ Robotik für den privaten Haushalt kann leichter integriert werden<br>→ Private Wohnung etabliert sich als 3. Gesundheitsstandort | <b>RISIKEN</b><br><br>→ Die Systeme können sehr komplex werden und erfordern stets einen Fachservice bei der Einrichtung und dem sicheren Betrieb |

ein Sturz erkannt, so werden zuerst die Nachbarinnen und Nachbarn informiert und gebeten, nach dem Rechten zu sehen. Sollten diese nicht reagieren, erfolgt eine Alarmierung der Angehörigen sowie Freundinnen und Freunde. Erst wenn auch diese Kontaktaufnahme erfolglos war oder ein medizinischer Notfall vorliegt (zum Beispiel bei kritischen Vitalfunktionen der Bewohnerin oder des Bewohners), wird ein Rettungsdienst alarmiert. Sollte die/der Verunfallte selbst wieder aufgestanden sein, kann sie/er jederzeit den Alarm abbrechen. Dabei wird eine Audioverbindung zur jeweiligen alarmierten Helferin beziehungsweise zum alarmierten Helfer aufgebaut.

### 5.2.3 INTELLIGENTES ENERGIEMANAGEMENT

Im Sinne einer optimierten Energieeffizienz wird die Heizungs-, Licht- und Rollladensteuerung an die individuellen Bedürfnisse und Aufstehzeiten angepasst. Das Smart Home sorgt dafür, dass der Ladezustand des Elektrofahrzeugs auf den Energie- und Mobilitätsbedarf abgestimmt wird. Reicht der am Tag zuvor selbst produzierte Solarstrom nicht aus, wird der Strom zu einer tarifgünstigen Zeit aus dem externen Netz in die hauseigene Speicherstation bezogen und bedarfsgerecht an das Elektrofahrzeug abgegeben. Generell erfolgt eine stetige Abstimmung des häuslichen Stromverbrauchs mit der internen und externen Energiegewinnung, dem Ladestatus des Stromspeichers, der Temperatur im Wärmespeicher sowie den Kalendern und den in einem Selbstlernprozess gewonnenen Gewohnheiten/Vorlieben der Bewohnerinnen und Bewohner.

Ein Überschuss in der eigenen Stromerzeugung, der zum Beispiel nicht mehr vom eigenen Speicher aufgenommen werden kann, kann einerseits horizontal verwendet werden, in Form eines Stromhandels zwischen Nachbarinnen und Nachbarn mithilfe von Technologie- und Verschlüsselungsansätzen wie Blockchain (dezentrale Energiezellen). Andererseits kann sich das Smart Home entweder anhand der Verlagerung seiner Verbräuche auf andere Tageszeiten oder der Bereitstellung seiner Erzeugungskapazitäten stärker vertikal in die Netzaktivitäten (Sicht Netzanbieter) oder Handelsaktivitäten eines Energielieferanten einbinden lassen. Die Motivation der Nutzerinnen und Nutzer des Smart Homes würde hier in der stärkeren finanziellen Kompensation (zum Beispiel niedrigere Energietarife) für diesen teilweisen, freiwilligen Autonomieverzicht liegen. Für den Netzbetreiber könnten so Ziele wie Netzstabilität oder geringere Notwendigkeit des Netzausbaus realisiert werden. Für den Energielieferanten würden sich Umfang und Durchmischung seines Handelsportfolios verbessern.



**Abbildung 18:**  
Intelligentes Energiemanagement des Smart Home  
im Kontext einer dezentralen Energieversorgung  
(Quelle: Innovationslandkarte InnoZ).

**Tabelle 12:**

SWOT-Analyse bezüglich Einsatz des Smart Home als Teil einer dezentralen Energieversorgung

|                     | Positive Eigenschaften                                                                                                                                                                                                                            | Negative Eigenschaften                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Interne Perspektive | <b>STÄRKEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Optimierung des Energieverbrauchs, der Erzeugung und der Kosten</li><li>→ Komfortgewinn für die Nutzer</li><li>→ Stärkung dezentraler Strukturen im Bereich Energie (Smart Grid)</li></ul> | <b>SCHWÄCHEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Umfassende Standardisierung sowie Konformitätsprüfungen und Simulationen sind nötig</li><li>→ Langzeitkompatibilität</li><li>→ Verzahnung zwischen dezentralem und überregionalem Energiesystem mit Prosumern</li></ul> |
| Externe Perspektive | <b>CHANCEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Neue Vergütungs- und Abrechnungsmodelle werden möglich</li><li>→ Unterstützung bei der Erreichung der Klimaschutzziele auch bei Bestandsgebäuden</li></ul>                                 | <b>RISIKEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Die Systeme können sehr komplex werden und erfordern stets einen Fachservice</li><li>→ Steuerungseingriffe durch die Energienetzbetreiber können dem Datenschutz widersprechen</li></ul>                                  |

### 5.3 Herausforderungen bei der Umsetzung und Handlungsempfehlungen

**Automatisierungs- und Autonomiestufen, Langzeitkompatibilität:** Um das Leitbild eines sich an die Lebensumstände anpassbaren Smart Homes zu erreichen, müssen Geräte, Komponenten und digitale Dienste unabhängig von spezifischen Herstellern in jedem beliebigen Smart Home ihre Funktionen und Mehrwertdienste bereitstellen können, sodass sich die Bewohnerinnen und Bewohner ihre gewünschte Funktionalität frei auswählen können.

Aufgrund der sehr langen Nutzungsdauer wird es Gebäude ohne Automatisierung neben komplett automatisierten Gebäuden sowie auch verschieden ausgestattete Zwischenstufen geben. Dabei sind in einem Gebäude höchst individuelle Mischungen aus autonomen Funktionen von Teilaspekten und weitgehend manuellen Steuerungsaufgaben möglich und bei der Konzeptentwicklung zu berücksichtigen. Durch die hohen Investitionskosten für ein den Maßstäben des Smart Homes gerecht werdendes Gebäude besteht ein erheblicher Bedarf an Investitionssicherheit und Langzeitkompatibilität. Ein Smart Home muss sich

auch nach Jahren kostengünstig und einfach mit neuen Hardware- und Software-Modulen erweitern lassen, ohne Interoperabilität zu verlieren. Die unterschiedlichen Automatisierungs- beziehungsweise Autonomiestufen hängen in hohem Maße von der individuellen Instrumentierung eines Gebäudes und den daraus ableitbaren Informationen ab (siehe Tabelle 13).

**Tabelle 13:**  
Automatisierungsstufen  
im Smart Home

| Level | Beschreibung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0     | <b>Kein Automatisierungssystem:</b> Alle Schalt- und Regelungsvorgänge werden von den Nutzerinnen und Nutzern selbst bzw. von spezifischen, in sich geschlossenen Steuerungen ausgeführt.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 1     | <b>Assistierte Steuerung:</b> Lichtsteuerung, Fenster- und Türkontakte etc., mit denen aber nicht zwingend alle Räume ausgestattet sein müssen. Die Steuerung erfolgt manuell durch die Nutzerin bzw. den Nutzer oder zeitgesteuert. Die Steuerung über Bedienelemente und Smartphone ist nicht personalisiert. Profile sind für jede einzelne Komponente, wie zum Beispiel die Stellung eines Dimmers, fest definiert.                                                                                                                                                                              |
| 2     | <b>Teilautomatisierte Steuerung:</b> Das Gebäude ist mit Sensorik und Aktorik ausgestattet, die nicht nur reine Komfortszenarien ermöglichen, sondern auch Zutrittskontrolle, Überwachung, Klimatisierung und Heizung, Haushaltsgeräte etc. umfassen. Hierfür werden Steuerungssysteme und zugehörige Komponenten eingesetzt, die eine umfassende Modellierung von Wenn-Dann-Beziehungen ermöglichen. Sicherheitskonzepte sind auf ein Profil begrenzt und Benutzerrollen sind nicht definiert. Die Steuerung erfolgt jedoch autorisiert.                                                            |
| 3     | <b>Hochautomatisierte Steuerung mit zeitlich befristeter Selbstregulation:</b> Neben einem umfassend mit Instrumenten ausgestatteten Gebäude werden auch externe Datenquellen für die verbesserte Steuerung einbezogen. So können zum Beispiel Wettervorhersagen sinnvoll für die präventive Heizungssteuerung verwendet werden. Die automatisierte Steuerung kann dabei durchaus temporär sein und häufiger Kontrollübergaben an die Nutzerinnen und Nutzer erfordern. Sicherheitskonzepte sind auf ein Profil begrenzt. Nutzerrichtlinien sind teilweise, Gruppenrichtlinien sind nicht definiert. |



**Tabelle 13:**  
Automatisierungsstufen im  
Smart Home (Fortsetzung)

| Level | Beschreibung |
|-------|--------------|
|-------|--------------|

|   |  |
|---|--|
| 4 |  |
|---|--|

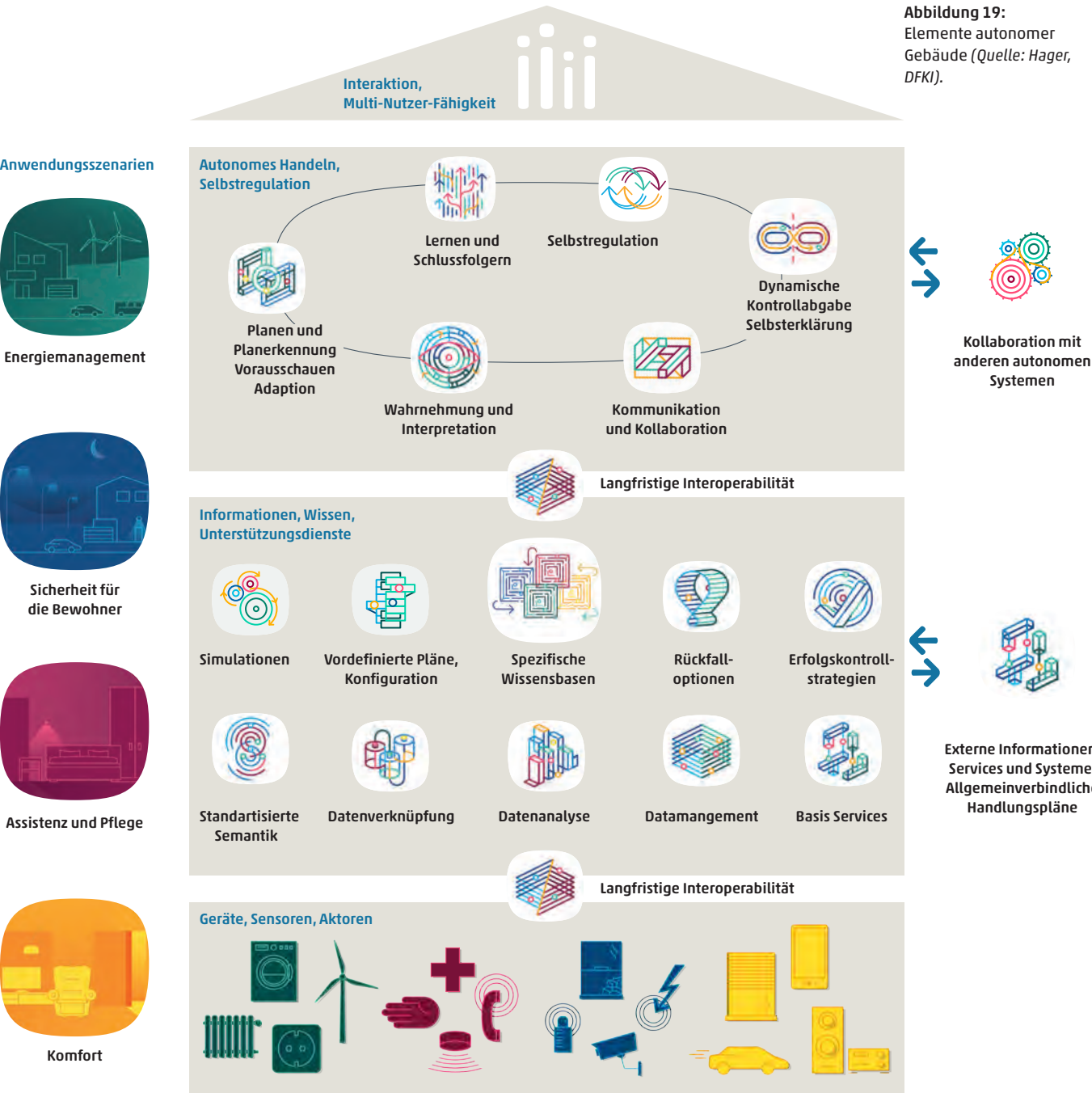
**Vollautomatisierte Steuerung mit Autonomie für einzelne Funktionen:** Intelligente und teilweise selbstlernende Steuerung von Einzelaspekten wie Energiegenerierung, Verbrauchsregelung oder Zusammenspiel mit einem Smart Grid. Das Gebäude verfügt, bezogen auf diese Einzelaspekte, über Selbstlernfunktionen, die das Nutzungsverhalten und die Absichten der Nutzerin und des Nutzers im Voraus erkennen, selbstständig Rückschlüsse daraus ziehen, entsprechende Handlungspläne erstellen und die Steuerung anpassen. Nutzereingriffe sind nach wie vor nötig. Andere Gebäudefunktionen können parallel dazu in wesentlich niedrigeren Automatisierungsstufen realisiert sein. Multinutzer-Ansätze sind ansatzweise für die Systemsteuerung verfügbar. Nutzer- und Gruppenrichtlinien sind zumindest grundsätzlich definiert. Die Vertraulichkeit abrechnungsrelevanter Daten wird berücksichtigt.

|   |  |
|---|--|
| 5 |  |
|---|--|

**Vollständige Autonomie aller steuerbaren Funktionen:** Autonome Gebäude verfügen über eine intelligente Steuerung und sind umfassend vernetzt. Im Gebäude sind alle steuerbaren Aspekte sowie ausgeprägte Selbstlernfunktionen und vorausschauende Fähigkeiten durch die Verknüpfung vieler interner und externer Daten, Informationen und Services für intelligente Funktionalitäten umgesetzt. Der Autonomiegrad kann den unterschiedlichen Nutzerbedürfnissen flexibel angepasst werden und bei den Einzelaspekten eines Gebäudes durchaus unterschiedlich ausgeprägt sein. Ein autonomes Gebäude verfügt über präventive, vorausschauende Fähigkeiten und erfordert sehr wenige Eingriffe durch die Nutzerinnen und Nutzer. Die Steuerung des Gesamtsystems ist auch durch unterschiedliche Nutzerinnen und Nutzer möglich; Nutzer-, Gruppen- und Rollenrichtlinien sind definiert und die Vertraulichkeit vor allem persönlicher Daten wird berücksichtigt.

**Komponenten und Eigenschaften eines Smart Home:** Smart Homes, die eine hohe Autonomiestufe erreichen und wesentliche Steuerungsfunktionen selbstständig und weitgehend ohne Nutzereingaben ausführen sollen, müssen Eigenschaften autonomer Systeme, wie sie in Kapitel 7.3 definiert sind, aufweisen und die dazu notwendigen Elemente umsetzen (siehe Abbildung 19).

**Geräte, Sensoren, Aktoren:** Daten von Sensoren, Aktoren, Feldbussystemen und Geräten bilden die notwendige, technische Grundlage für Dienste, die in einem Smart Home bereitgestellt werden können. Eine große Herausforderung ist die Herstellung von Geräteinteroperabilität, denn es existieren viele verschiedene Standards, Protokolle und Systemwelten. Die Kompatibilität muss aufgrund der langen Nutzungsdauer von Gebäuden über einen Nutzungszeitraum von zwanzig und mehr Jahren sichergestellt werden. Eine weitere wesentliche Herausforderung liegt in der Entwicklung zuverlässiger, integrierter Sensoren,





die die erforderlichen Parameter, wie zum Beispiel die Anwesenheit einzelner Personen in einem Raum, die individuelle Erkennung der Bewohnerinnen und Bewohner etc. ermöglichen. Die von den Geräten erzeugten Rohdaten müssen in vielen Fällen von Basisdiensten, wie zum Beispiel Dienste zum Benutzermanagement, zur Format- und/oder Einheitenkonvertierung, Synchronisierung, räumlichen Zuordnung etc., aufbereitet werden. Bei der Entwicklung von Sensorik ist darauf zu achten, dass möglichst wenige, körpernah getragene Sensoren erforderlich sind, denn für diese fehlt häufig die Akzeptanz.

**Informationen, Wissen, Unterstützungsdienste:** Smart Homes können in einem großen Umfang Nutzer- und Kontextdaten über längere Zeitperioden aufnehmen. Damit sich die aufgezeichneten Daten für autonomes Handeln einsetzen lassen, ist die Zuweisung einer entsprechenden Bedeutung, das heißt einer Semantik<sup>24</sup>, notwendig. Damit Smart-Home-Anwendungen die gewünschten Selbstlernfunktionalitäten<sup>25</sup> und Adaptionfähigkeiten aufweisen, sind sie in hohem Maße auf innovative Methoden zur Datenanalyse und Bewertung angewiesen. Bestimmte grundlegende Auswertungen, zum Beispiel eine Lokalisierung von Nutzerinnen und Nutzern im Gebäude, werden als Basisdienste bereitgestellt, auf die andere Smart-Home-Anwendungen zugreifen können. Auch an dieser Stelle ist daher eine langfristige Interoperabilität zwischen Diensten notwendig. Zusätzlich ist zu beachten, dass Smart-Home-Lösungen aus Gründen der Energieeffizienz auf möglichst leistungsoptimierten Hardware-Plattformen laufen, die sich nicht ohne Weiteres für die Verarbeitung großer Datenmengen nutzen lassen. Das Datenmanagement, die Skalierbarkeit der Analyseverfahren sowie die Entscheidung, welche Auswertungen lokal und welche extern in einer Cloud-Lösung durchgeführt werden, sind daher im Smart Home von ganz entscheidender Bedeutung.

Ein Smart Home kann mit der stetigen Analyse von Nutzerdaten und Nutzungsmustern auf der Basis der grundlegenden Vorgaben der Bewohnerinnen und Bewohner seine Wissensbasis ergänzen. Zukünftige Smart-Home-Systeme begleiten die Nutzerinnen und Nutzer langfristig über mehrere Lebensphasen hinweg, ohne dass eine manuelle Anpassung erforderlich ist. Ausgeprägte Selbstlernfunktionalitäten ermöglichen es dem Smart Home, die notwendigen Anpassungen aufgrund geänderter Nutzungsgeohnheiten oder Bedürfnisse selbstständig vorzunehmen. Externe, zusätzlich abonnierbare Dienstleistungen tragen hierzu weitere Informationen bei, die ein intelligentes Systemverhalten deutlich verbessern und den Nutzerinnen und Nutzern den gewünschten Mehrwert bieten.

Vordefinierte Pläne legen ein bestimmtes Verhalten, wie zum Beispiel Rückfalloptionen für Notfälle, fest. Wird eine solche Situation vom System erkannt, werden diese Pläne selbstständig ausgeführt. Smart Home spezifische Simulationsverfahren unterstützen Nutzerinnen und Nutzer oder Anwendungsentwicklerinnen und Anwendungsentwickler bei der Einschätzung von unter Umständen langfristigen Auswirkungen von Konfigurationen, neu eingeführter Sensorik etc. Dies wird vor allem dann wichtig, wenn ein Smart Home mit anderen autonomen Systemen, wie zum beispielsweise einem Smart Grid, interagieren muss, denn Fehlkonfigurationen können zu unerwünschten Instabilitäten führen.

24 Siehe Kapitel 7.4.3.

25 Siehe Kapitel 7.4.1.

**Autonomes Handeln, Selbstregulation:** Wesentliche Elemente bei der Umsetzung eines autonomen Systems sind das Planen<sup>26</sup> sowie das vorausschauende Handeln. Basierend auf Nutzungsmustern, aktuellem Nutzerverhalten, externen Informationen und spezifischen Rahmenbedingungen kann ein Smart Home selbstständig Rückschlüsse ziehen<sup>27</sup> und somit in vorgegebenem Rahmen ohne lästige Nachfragen sich in seinem Verhalten intelligent an geänderte Umgebungsbedingungen, an heterogene Nutzerbedürfnisse und an anderes Nutzerverhalten anpassen, vorausschauend agieren, sich selbst regulieren und bei seiner Handlungsplanung zukünftig zu erwartende Ereignisse und Rahmenbedingungen in seiner Umgebung antizipieren. Um eine dynamische Anpassung zu ermöglichen, kann nicht mehr – wie beim Offline-Lernen – von einem komplett vorliegenden Datensatz ausgegangen werden. Vielmehr werden ständig neue personalisierte Daten generiert, die in den Lernprozess miteinbezogen werden können. Die Herausforderungen liegen in der Entwicklung entsprechender Methoden zum Maschinellen Lernen<sup>28</sup> sowie entsprechender, langfristig verfügbarer Wissensbasen und deren Update und Ergänzung mit allgemeinverbindlichen Plänen und Handlungsmustern.

Ein Smart Home ist ein umfangreiches technisches System. Auch wenn dies vermieden werden soll, ist eine Kontrollabgabe an beziehungsweise eine Entscheidung durch die Nutzerinnen und Nutzer in manchen Fällen unabdingbar. Einige Aufgaben, wie zum Beispiel die hochkomplexe Steuerung von Energiegewinnung, Speicherung und Verbrauch sowie die Verbindung mit einem Smart Grid und die daraus entstehenden Einflüsse auf die Netzstabilität, können von den meisten Nutzerinnen und Nutzern nicht mehr vollständig verstanden oder gar manuell übernommen werden. Dennoch ist es notwendig, dass Smart Homes ihren Systemzustand und daraus resultierende Handlungsvorschläge den Bewohnerinnen und Bewohnern in verständlicher Weise darstellen. Es sind entsprechende Darstellungsmethoden zu erforschen, die den Nutzerinnen und Nutzern die notwendige Entscheidungsfreiheit geben, aber Fehlentscheidungen verhindern oder zumindest sehr deutlich kommunizieren.

Einzelne Handlungspläne eines Smart Homes müssen ihre Aufgaben auch bei indifferenten Entscheidungssituationen oder gar Funktionsstörungen im Sinne einer Rückfalloption beziehungsweise Fehler-toleranz verlässlich erfüllen können. Es muss eine Ausfallsicherheit von wichtigen Systemen, wie zum Beispiel Türverriegelungen, Beleuchtung, Heizung und Überwachung, gegeben sein. Diese Rückfalloptionen müssen unabhängig von zentralen Systemen, Internetverbindungen und externen Diensten funktionieren. Dies gilt vor allem auch für Gefahrensituationen, wie beispielsweise Feuer, bei denen essenzielle Einzelsysteme so lange wie möglich autark funktionieren müssen, ähnlich wie bei Brandschutzwänden oder Türen, die dem Feuer eine gewisse Zeit standhalten können. Eine Herausforderung sind transparente Regeln, die beschreiben, in welchen Situationen ein System die Kontrollhoheit im Sinne einer korrekten Funktion behält.

26 Siehe Kapitel 7.4.2.

27 Siehe Kapitel 7.4.4.

28 Siehe Kapitel 7.4.1.



**Interaktion und Multi-Nutzer-Fähigkeit:** Weitere große Herausforderungen mit hohem Forschungs- und Entwicklungsbedarf ergeben sich aus der Interaktion der Nutzerinnen und Nutzer mit einem Smart Home. Smart Homes mit hoher Komplexität und hohem Automatisierungsgrad bergen die Gefahr, dass Nutzerinnen und Nutzer überfordert sind beziehungsweise vom System getroffene Entscheidungen nicht nachvollziehen können. Die Interaktion zwischen Nutzerinnen und Nutzern und Smart Home erfolgt daher über intuitive, multimodale Nutzerschnittstellen. Sowohl auf der Ein- als auch auf der Ausgabeseite werden multiple Modalitäten, zum Beispiel Sprache, Haptik und Gestik, zum Einsatz kommen. Neben expliziten Eingaben werden auch implizite Eingaben analysiert, um beispielsweise Aufschluss über Nutzerintentionen zu erhalten. Bei der Interpretation von Gesten verfügt die Nutzerschnittstelle über genügend Toleranz, um auch weniger exakt ausgeführte Gesten oder undeutliche Sprache in Abhängigkeit vom situativen Kontext korrekt zu interpretieren. Sobald sich auf eine Interaktion hin der Gebäudezustand ändert, muss diese Änderung auf allen aktiven Interaktionsgeräten wie Wanddisplays, Smartphones oder fest eingebauten Schaltern sichtbar werden, um Inkonsistenzen zu vermeiden. Neben den heute schon verfügbaren Interaktionsmöglichkeiten in einem Smart Home werden in Zukunft voraussichtlich auch mit „menschlichen“ Verhaltensweisen ausgestattete Roboter als soziales Interface zwischen den Nutzerinnen und Nutzern und einem Smart Home dienen.

Bisherige Gebäudeautomationssysteme passen sich lediglich an ein einziges Nutzerprofil an. Ein Haus oder eine Wohnung wird jedoch üblicherweise von mehreren Personen gleichzeitig genutzt. Ein Smart Home sollte daher nicht nur in der Lage sein, unterschiedliche Personen zu identifizieren, sondern sich an die Bedürfnisse und Anforderungen aller Personen – und damit auch unterschiedlicher Generationen – anzupassen und diesen gerecht zu werden. Zu diesem Zweck greift das Smart Home auf Optimierungsansätze für Gruppen zurück, die auf einer Vielzahl von Kriterien beruhen. Die hierfür benötigte Sensorik ist eine zusätzliche Herausforderung bei der Umsetzung.

## 5.4 Detaillierte Handlungsempfehlungen Smart Home

**Autonomiefunktionen für das Smart Home:** Ein wesentlicher Faktor für die effiziente Entwicklung von Smart Home spezifischen Anwendungen ist ein offenes Ökosystem, das die grundlegenden Systemkomponenten für ein autonomes System bereitstellt.

Die Komponenten eines autonomen Systems für Datenanalysen und Datenverknüpfungen, Maschinelles Lernen, auch von Maschinen interpretierbare Anmerkungen, Multiagentensysteme etc.<sup>29</sup> müssen auf die Anforderungen im Smart Home angepasst, standardisiert sowie herstellernerneutral und systemübergreifend verfügbar gemacht werden, um darauf basierende Smart-Home-Anwendungen zielgerichtet entwickeln zu können.

**Etablierung von Standards, Verbindung zu anderen autonomen Systemen:** Für die erfolgreiche Umsetzung eines Smart Homes müssen verbindliche Standards etabliert werden, die eine langfristige, der langen Nutzungsdauer gerecht werdende Interoperabilität aller beteiligten internen und externen Komponenten und Dienste sicherstellt.

Die gewerkeübergreifenden Abhängigkeiten der Komponenten eines Smart Homes sind sehr ausgeprägt. Daher ist ein nach wie vor wesentlicher Hinderungsfaktor bei der Einführung von Smart-Home-Anwendungen die mangelnde Interoperabilität. Die Nutzerinnen und Nutzer werden heute mehr oder weniger fest in eine Systemwelt gezwungen, in der Kompatibilität von Komponenten unterschiedlicher Anbieter oft nur mit hohem finanziellen Aufwand erzeugt werden kann. Deshalb spielen in einem technisch noch deutlich komplexeren, autonomen Smart Home Investitionssicherheit, problemlose Erweiterbarkeit und langfristige Interoperabilität eine zentrale Rolle. Diese bedingt sich unter anderem durch die sehr lange Nutzungsdauer von Gebäuden sowie durch die sich im Laufe der Zeit ändernden Anforderungen.

Da der Markt gerade erst entsteht, wird sich an den heterogenen Strukturen in absehbarer Zeit nichts ändern. Um dennoch einen transparenten Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Systemen zu ermöglichen, ist eine übergeordnete, äußerst modulare und offene Umsetzungsplattform notwendig. Diese sogenannte Middleware, ein System, das zwischen verschiedenen Netzwerken und Datenquellen vermittelt, beschreibt die Sensoren, Aktoren und Einzelsysteme unabhängig von Feldbussystemen, Übertragungsprotokollen etc. einheitlich und bringt so die verschiedenen Automatisierungssystemwelten zusammen. Die Trennung der Anwendungslogik von konkreten Programmierumgebungen und Systemwelten mithilfe von abstrakten Beschreibungssprachen sollte vorangetrieben werden, um die geforderte Langzeitkompatibilität leichter zu erreichen. Auch sollte die Datenübertragbarkeit zwischen unterschiedlichen Anbietern und Diensten gewährleistet werden.

Weitere Standardisierungsaufgaben sind die Bereitstellung von Smart-Home-Basisdiensten, zum Beispiel für Maschinelles Lernen, Synchronisierung, Datenumrechnung und Auswertung, Benutzermanagement, Standardfunktionen etc., die für die Etablierung und Verbreitung von autonomen Funktionen im Smart Home grundsätzlich sinnvoll sein können.

Ebenso müssen standardisierte Mechanismen und Schnittstellen erforscht und etabliert werden, die die Verbindung und Synchronisierung unterschiedlicher autonomer Systeme ermöglichen. Im Kontext eines Smart Home können beispielsweise autonome Assistenzroboter oder das Smart Grid eine wichtige Rolle spielen, die mit einem Smart Home intensiv Daten austauschen und sich gemeinsam sinnvoll und im Sinne der Nutzerin und des Nutzers beziehungsweise der Netzstabilität und der Energieeffizienz verhalten müssen.

**Datenverfügbarkeit:** Werden nicht hinreichend viele Daten erfasst und bereitgestellt, können weder das Smart Home noch darauf basierende Dienste ordnungsgemäß funktionieren. Eine wesentliche Aufgabe besteht daher darin, einheitliche Standards zu entwickeln, die festlegen, wie im Smart Home Daten



erfasst und aufbereitet werden und wie häufig verwendete Datenquellen, zum Beispiel Wetterdaten, Energienetzdaten, Verkehrsdaten, Fahrpläne etc., ihre Daten in sinnvoll aufbereiteter und standardisierter Art und Weise bereitstellen.

Gleiches gilt auch für die von externen Dienstleistern bereitgestellten Daten. Auch diese müssen vom Smart Home sinnvoll verarbeitet werden können. Ebenso muss ein Smart Home eigene, relevante, für einen Service benötigte Daten bereithalten, damit ein interner oder externer Service funktionieren kann. So sind zum Beispiel für die sparsame Nutzung von Energie und Wasser aktuelle beziehungsweise vorhergesagte Wetterdaten, Energienetzzustände und wahrscheinliche Verbrauchsspitzen für das Smart Home von entscheidender Relevanz, um die eigene Handlungsplanung zu optimieren. Dabei kann das Smart Home sowohl externe Services als auch eigene Wettersensoren nutzen. Die Wetterauswirkungen auf die Energieerzeugung, -nutzung und die Energiepreise müssen ebenso in die Optimierungsfunktionen eines Smart Homes einfließen. Die Wettersensoren des Smart Homes können dabei auch Bestandteil eines größeren Sensornetzwerks sein, auf dessen Grundlage sich lokale und regionale Wettervorhersagen auf induktive Weise erstellen und verbessern lassen können.

**Basiskonfigurationen, Updates:** Die verbindliche Definition eines Mindestfunktionsumfangs sowie eines Grundschatzes an verfügbarem Wissen, auf den sich externe Anwendungsentwickler sowie Dienstleister ohne Kenntnis einer konkreten Smart-Home-Installation verlassen können, ist für Entwickler sowie Dienstleister sehr hilfreich. Zusätzlich sind für eine sichere Funktion von autonomen Gebäuden beziehungsweise Teilsystemen die Entwicklung allgemeingültiger Update-Politiken für Sensor-/Aktorsysteme, Software-Komponenten und Dienste im Smart Home essenziell, um Fehler und unerwünschtes Eindringen zu verhindern.

Es sind Mechanismen und Standards notwendig, die einen Austausch bzw. die Integration von allgemeingültigen Handlungsplänen in die eigene Smart-Home-Umgebung einfach und zuverlässig erlauben. In vielen Fällen werden anwendungsspezifische Handlungspläne von externen Dienstleistern erstellt. So müssen zum Beispiel die Verbindung und der Austausch eines Smart Homes mit einem Energienetz vom Energienetzbetreiber gewährleistet sein, denn für die Wahrung der Netzstabilität ist ein vorhersehbares und nachvollziehbares Verhalten von jedem Smart Home wichtig. Ähnliches gilt für das Verhalten bei Notfallsituationen. Rettungsdienste müssen sich auf ein, in den wesentlichen Aspekten übereinstimmendes Verhalten aller Smart Homes im Gefahrenfall, zum Beispiel das Abschalten einer Photovoltaikanlage bei Kurzschluss, drohender Überflutung oder Brand, verlassen können. Ein weiterer Aspekt sind von anderen Smart Homes gelernte Situationen, die eine Allgemeingültigkeit aufweisen. Sie sollten allen anderen Smart Homes bedarfsweise zur Verfügung gestellt werden können.

Es sind Verfahren und Politiken zum automatischen Update der einzelnen Wissensbasen mit bestimmten Handlungsplänen (zum Beispiel für die Notfallbehandlung), allgemeingültigem Wissen und Sicherheitsmerkmalen der eingesetzten Geräte, Sensoren und Aktoren zu entwickeln und zu etablieren.

**Zertifizierung, Simulation:** Um sichere Funktion und Qualitätsstandards im Smart Home und seiner Interaktion mit Robotern, Smart Grids und anderen autonomen Systemen sicherzustellen, ist eine umfassende Zertifizierung vorzusehen und zu etablieren.

Für das Training und die Zertifizierung sind neben realen Testsituationen vor allem auch virtuelle Testverfahren zu entwickeln, die sehr viele und in Realität gefährliche Handlungsvarianten effizient und gefahrungsfrei durchspielen und testen können. Die Entwicklung von entsprechenden Simulationsverfahren kann dabei helfen, einen Grundschatz an Wissen anhand von virtuellen Modellen zu lernen. Dienstanbieter, zum Beispiel für einen Notruf- beziehungsweise Assistenzservice, können über solche Mechanismen einem Smart Home bei Bedarf schnell ein spezifisches Basiswissen für die jeweiligen Einsatzszenarien zur Verfügung stellen.

**Datenschutz und Datenbereitstellung:** Datenschutz und Datensicherheit sind aus Nutzersicht für die Akzeptanz von Smart-Home-Technologien erforderlich, d.h. „ohne vertrauenswürdigen Datenschutz geht es nicht“. Für die Dienstanbieter ist dagegen das Sammeln von Daten, die Datenverteilung und das Daten-Sharing für viele Dienste notwendig. Des Weiteren ist eine Datenweitergabe für die Interaktion mit anderen autonomen Systemen sowie für Selbstlernalgorithmen essentiell, d.h. „auch ohne Datenverteilung geht es nicht“. Um diesen Konflikt aufzulösen, muss die Forschung zu „Differential Privacy“ und datensparsamen Verfahren gefördert sowie ein minimales Stufenkonzept mit Wahlmöglichkeiten für die Bewohnerinnen und Bewohner vorgeschrieben werden.

Im Smart Home sind nicht nur die einzelnen Bewohnerinnen und Bewohner Erzeuger und Verwender der Daten, sondern auch verschiedene Dienstleister und Serviceanbieter. Die Anforderungen der Industrie, im Sinne einer Optimierung von Produkten und Dienstleistungen möglichst viele Nutzerdaten zu generieren, und die Anforderungen von Privatpersonen, keine privaten Daten mit Dritten zu teilen, bilden an dieser Stelle einen Zielkonflikt. Eine genauere Analyse der Anforderungen von Privatpersonen zeigt, dass es ein sehr weites Spektrum zwischen „keine Daten“ und „alle Daten“ teilen gibt. Um das nötige Vertrauen der Nutzerinnen und Nutzer in Smart-Home-Anwendungen zu sichern, müssen die Nutzerinnen und Nutzer nahezu stufenlose Konfigurationsmöglichkeiten zu der Bereitstellung und Freigabe von Daten für Services oder Apps haben. Die Einzeleinstellungen sollten anwendungs- und anbieterspezifisch möglich, zeitlich begrenzt und jederzeit widerrufbar sein. Auch muss unterschiedlich gehandhabt werden können, ob Daten an App-Anbieter gehen oder gleichrangig zur Verfügung gestellt werden.

Je nach Messhäufigkeit eines einzelnen Sensors oder ganzer Sensorgruppen ist die Auswertung und abgeleitete Aussage unter Umständen sehr unterschiedlich und kann aufgrund der ableitbaren Informationen über die Nutzerinnen und Nutzer einen unterschiedlichen Schutz der Daten erfordern. Ein Temperatursensor im Schlafzimmer kann für die Heizungssteuerung verwendet werden und damit den Energiebedarf optimieren. Hierzu ist eine Messung zum Beispiel im Abstand von 5–10 Minuten ausreichend. Derselbe Sensor kann aber auch, wenn er im Sekundentakt gelesen wird, für eine Feuer- beziehungsweise Brandwarnung verwendet werden. Wertet man hingegen die Temperaturdaten in kurzen



Abständen und über einen längeren Zeitraum aus, kann man sehr genau feststellen, wie viele Personen sich wann und wie lange im Schlafzimmer aufhalten. Auch lassen sich Aussagen darüber treffen, ob diese Personen schlafen oder einer Tätigkeit nachgehen. Mit dem Fortschritt der Algorithmen zur Auswertung dieser Daten werden diese Informationen immer genauer. Abhängig von der Daten- und Auswertungsqualität kann man also unterschiedliche Aussagen treffen. Daraus kann abgeleitet werden, dass die folgenden Aspekte transparent sein müssen:

- die Datenqualität (das heißt, welche Daten genau erfasst werden) – im Beispiel nicht nur „Temperatur“, sondern „Temperatur wird in 0,05 Grad-Schritten alle 0,5 Sekunden erfasst mit einer Toleranz von fünf Prozent“
- wie lange die Daten gespeichert werden
- zu welchem Zweck die Daten erhoben werden dürfen
- in welche Auswertungen diese Daten heute bereits einfließen
- welche Aussagen später mit neuen Auswertungsmethoden aus denselben Daten erzeugt werden könnten

Es muss sichergestellt werden, dass nur die für einen spezifischen Dienst notwendigen Daten übertragen werden und dies auch nur in einem möglichst hohen Vorverarbeitungs- und Abstraktionsgrad, der außerhalb des eigentlichen Anwendungszwecks keine weitergehenden Rückschlüsse erlaubt. Viele Dienste brauchen lediglich Informationen zu außergewöhnlichen Situationen, das heißt, der heute übliche stetige Datenfluss ist unnötig. Die Auswirkungen der Freigabe von sensiblen, standort- und anderen sicherheitsrelevanten Daten müssen den Nutzerinnen und Nutzern besonders eingängig vermittelt werden. Dafür darf die Weitergabe solcher Daten im Auslieferungszustand nicht aktiviert sein. Widersprüche in von Nutzerinnen und Nutzern aufgestellten Sicherheits- und Datenschutzerfordernungen und vorgenommenen Konfigurationen müssen aufgedeckt werden und sich unkompliziert beheben lassen. Eine erhebliche Komplexität kommt hier auch der Nutzung von Smart Homes durch mehrere Nutzerinnen und Nutzer zu. So müssen Zielkonflikte zwischen den Einstellungen von Nutzerinnen und Nutzern transparent gemacht und Lösungsvorschläge angeboten werden, die durch einen kommunikativen Prozess im Haus, abgesichert durch Freigaben der beteiligten Nutzerinnen und Nutzer, umsetzbar sind.

Smart Homes sind langlebige Systeme mit einer Nutzungsdauer von 20 und mehr Jahren. Einmal gegebene Einverständniserklärungen im Bereich Datenschutz können daher sehr leicht durch Fortschritte bei der Analyse und Verknüpfung von Daten dazu führen, dass ungewollt und vor allem auch unbemerkt neue Erkenntnisse über Nutzerverhalten und -vorlieben möglich sind. Es ist daher unbedingt erforderlich, ein früher erteiltes Einverständnis zur Datenverteilung inklusive dem Recht auf das finale Löschen historischer Datenbestände widerrufen zu können. Diese Entwicklungsfortschritte zu verfolgen, kann aber nicht der einzelnen Person angelastet werden. Daher ist nicht die Verteilung der Daten, sondern die Verwendung in Bezug auf die Person(en) festzulegen<sup>30</sup>.

**Interaktion:** Ein wesentlicher Erfolgsfaktor bei der Verbreitung und Akzeptanz von Smart-Home-Technologien ist die Bereitstellung intuitiver Bedienkonzepte, denn obwohl zukünftige, autonome Systeme die Komplexität weitgehend verbergen werden, ist eine nutzerfreundliche Interaktion zwischen Bewohnerinnen und Bewohnern und dem Smart Home zwingend erforderlich und muss sehr verschiedene Benutzerrollen mit unterschiedlichen Anforderungen zulassen. Im Rahmen von Forschungsprojekten sind daher geeignete Konzepte zu entwickeln, zu realisieren und zu validieren. Dabei sind Interaktionsmodalitäten, wie zum Beispiel Sprache, Haptik und Gestik, zu berücksichtigen.

Jugendliche und Erwachsene, aber auch Kinder und Senioren sollten die Funktionen des Smart Homes gemäß ihren Möglichkeiten verwenden können. Smart Homes müssen eine langfristige Nutzung durch Menschen in ganz verschiedenen Lebensphasen und damit variierenden Anforderungen gewährleisten. In einer alternden Gesellschaft ist sehr viel mehr Wert auf eine einfache Bedienbarkeit zu legen als heute. Die Entwicklung fehlertoleranter Interaktionskonzepte, die sowohl auf der Ein- als auch auf der Ausgabeseite Synergien mehrerer Modalitäten nutzen, muss mit hoher Priorität vorangetrieben werden. Sozial kompetente Agenten mit kommunikativen Fähigkeiten werden als Schnittstelle zwischen dem Smart Home und den Nutzerinnen und Nutzern zunehmend an Bedeutung gewinnen. Auch hierfür sind entsprechende Interaktionskonzepte zu entwickeln. Besondere Herausforderungen mit hohem Forschungs- und Entwicklungsbedarf ergeben sich durch die Wechselwirkung mehrerer Nutzerinnen und Nutzer mit Smart-Home-Anwendungen.

In Zukunft wird der Grad an Autonomie von Smart-Home-Systemen rasant zunehmen. Um Nutzerinnen und Nutzern die Möglichkeit zu geben, sich an den zunehmenden Grad der Autonomie zu gewöhnen, sollte die Installation von Smart-Home-Komponenten durch entsprechend geschultes Personal gemäß einem nutzerzentrierten Designprozess in mehrfachen Wiederholungen erfolgen. Gleichzeitig muss den Anforderungen von technikaffinen Personen Rechnung getragen werden, die den Ausbau des Smart Homes selbst vornehmen möchten. Vertrauensstiftende Sicherheitsmechanismen, die auch für Alltagsnutzerinnen und Alltagsnutzer nachvollziehbar und verständlich sind, werden zu einem wesentlichen Akzeptanztreiber. Essenziell für die Vertrauensbildung zwischen Nutzerinnen und Nutzern und dem Smart Home ist die Verfügbarkeit von ausfallsicheren Interaktionstechniken, die eine Nutzung von Ein- und Ausgabemodalitäten (wie zum Beispiel fest eingebaute Schalter oder Displays) auch bei Funktionsstörungen im Gesamtsystem ermöglichen. Damit Smart-Home-Systeme für die Nutzerinnen und Nutzer beherrschbar bleiben, sind Transparenz und Selbsterklärungsfähigkeit wesentlich zu steigern.

**Benutzerakzeptanz:** Wie Beobachtungen zeigen, sind die wenigsten Menschen im dritten Lebensalter bereit, sich frühzeitig mit Assistenzsystemen auseinanderzusetzen, da diese stets das Stigma „alt, krank, pflegebedürftig“ tragen. Ein Ansatz zu besserer Akzeptanz kann somit darin liegen, grundlegende Elemente für Assistenzsysteme frühzeitig in das Smart Home als Komfortelemente zu integrieren und bei Bedarf weiter auszubauen.



Die Einbindung und Erweiterung von technischen Hilfsmitteln, die im Smart Home bereits in jüngeren Jahren als Komfort angesehen wurden, ist eine Möglichkeit, die Akzeptanz seitens älterer Menschen zu erhöhen. Ergänzt durch selbstlernende und adaptive Fähigkeiten eines Smart Homes kann die Bedienbarkeit trotz umfassender Funktionalitäten drastisch vereinfacht werden. Es muss also möglich sein, Smart-Home-Komponenten sukzessive und nach Bedarf in eine Wohnung zu integrieren, sodass das Wohnumfeld komfortabel ist, aber auch auf die Bewohnerinnen und Bewohner „angepasst“ werden kann, ohne den Eindruck eines Pflegehilfsmittels entstehen zu lassen. Ebenso sollte das Wohnumfeld um Anwendungen aus den Bereichen der Medizin und des Gesundheitswesens erweitert werden können, die einen Informationsaustausch mit externen Dienstleistern ermöglichen.

**Plattform „Smart Living“:** Um die positive Wirkung von Smart-Home-Anwendungen zur vollen Reichweite gelangen zu lassen, ist es notwendig, die gewerkeübergreifende Nutzung von Daten und Anwendungsmöglichkeiten zu gewährleisten. Um dies zu erreichen, muss die Zusammenarbeit der unterschiedlichen, für Smart Home relevanten Branchen erhöht werden.

Die Zusammenarbeit der deutschen Wirtschaft im Rahmen der Plattform „Smart Living“ zielt auf die Erarbeitung einer gemeinsam getragenen technischen Lösung (virtuelle Middleware) zur Gewährleistung einer Interoperabilität unterschiedlicher technischer Systeme und sollte für den Bereich der autonomen Gebäude weitergeführt und gestärkt werden. Ziel ist, eine nutzungsszenarienbasierte, anwendungsübergreifende Verwendung von verfügbaren technischen Daten zu ermöglichen. Darüber hinaus sollte über den Aufbau einer solchen Plattform auch auf transparente Art und Weise der Informationsgrad der Öffentlichkeit über Smart-Home-Anwendungen erhöht werden. Dies ist insbesondere auf die Aufklärung der Nutzerinnen und Nutzer ausgerichtet, welche Konsequenzen mit der Nutzung bestimmter Smart-Home-Anwendungen einhergehen und wie diese durch die Nutzerinnen und Nutzer beeinflusst werden können. Schließlich müssen aber auch über den Aufbau einer gewerkeübergreifenden Plattform nicht nur die rechtlichen Grundlagen geklärt werden, sondern auch welche Kompetenzen notwendig sind und entwickelt werden müssen. Dies gilt insbesondere für die Aus- und Weiterbildung im einschlägigen Handwerk. Im rechtlichen Bereich sind insbesondere die Zugänge und Eigentumsrechte zu beziehungsweise an generierten Daten in einzelnen Anwendungen und deren Nutzung in anderen Anwendungen zu regeln. Dies gilt vor allem für Anwendungsbereiche, wie zum Beispiel den Gesundheitsbereich, in denen sensible Daten entstehen.

**Geschäftsmodelle:** Smart-Home-Geschäftsmodelle für die Bereiche Energie und selbstbestimmtes Wohnen werden dann erfolgreich sein, wenn sie zum Erreichen der Klimaschutzziele beitragen und ein würdiges Leben im Alter ermöglichen. Die personalisierten Dienstleistungen im autonomen Smart Home basieren auf individuellen Nutzerdaten. Das Vertrauen der Nutzerinnen und Nutzer in die Systeme und deren Sicherheit ist deshalb erfolgskritisch.

In einem Smart Home müssen zahlreiche, spezialisierte Teilsysteme reibungslos zusammenarbeiten. Daher sind herstellerübergreifende Standards Grundbedingung für eine breite Anwendung von Smart-Home-Technologien. Für die Smart-Home-Anbieter bedeutet dies, grundsätzlich neue Überlegungen zur Etablierung von technischen Standards, Wertschöpfungsmechanismen und Ertragsmodellen anzustellen. Denn es zeichnet sich ab, dass ein Marktakteur nur im Verbund mit anderen Partnern eine umfassende Lösung mit eindeutigen Mehrwerten bei den Kundinnen und Kunden platzieren kann. Die technischen Voraussetzungen für die Umsetzung zukünftiger Geschäftsmodelle sind Interoperabilität, Modularität, Datenportabilität, Standardisierung und vor allem hinreichende IT-Sicherheitskonzepte. Da viele Mehrwertdienste in Smart Home personalisiert konzipiert werden und Profildaten der Hausbewohnerinnen und Hausbewohner voraussetzen, hängt der Erfolg der Geschäftsmodelle beziehungsweise Wertschöpfungsketten von den persönlichen Daten ab, die erhoben und verwendet werden. Die Art der Datenverwendung und die Möglichkeit zur Datenmitnahme in eine andere Wohnung haben entscheidende Auswirkungen auf die Akzeptanz der Nutzerinnen und Nutzer, die auch zukünftig eine hohe Souveränität über persönliche Informationen einfordern. Die Akzeptanz ist höher, wenn die Nutzerinnen und Nutzer verstehen, wofür die Daten erhoben und mit welchen Dienstleistern sie geteilt werden beziehungsweise welche persönlichen Mehrwerte in der eigenen Wohn- und Lebenssituation aus der Datenweitergabe resultieren.

Potenzielle innovative Geschäftsfelder für Smart Homes liegen neben der technischen Gebäudeausstattung in Apps und den zugehörigen Mehrwertdiensten. In Analogie zu etablierten innovativen Geschäftsmodellen sollte auch bei Smart-Home-Systemen für Dritte (Dienstleistungsanbieter, die keine Hersteller von Smart-Home-Produkten sein müssen) der Marktzugang durch eine gemeinsame „Plattform Smart Home“ eröffnet werden. Eine „Store-Lösung“ für das Smart Home, in dem sich Produkte und Apps finden, die Nutzungsszenarien gewerkeübergreifend realisieren, zeichnet sich ab. Der Store-Betreiber sorgt dafür, dass Produkte, Prozesse und Apps vorab auf Basis einer Konformitätsprüfung hinsichtlich Sicherheit und Vernetzbarkeit zertifiziert werden. An der Wertschöpfung kann dabei auch das Handwerk in hohem Maße mitwirken (zum Beispiel vorausschauende Systemüberwachung und Fernwartung).

**Regulatorische Rahmenbedingungen:** Die wünschenswerte Innovation „Smart Home“ sollte durch Experimente mit zeitlich befristeten Klauseln für gesetzliche beziehungsweise regulatorische Rahmenbedingungen flankierend zu notwendigen Forschungs- und Entwicklungsaufgaben vorangetrieben werden, um den regulatorisch sinnvollen Rahmen beziehungsweise Freiräume auszuloten und dabei Risikogesichtspunkte oder sichtbar werdende Gefährdungen durch Smart-Home-Technologien zu bewerten. Ziel der zeitlich begrenzten Experimente und einer wissenschaftlichen Begleitung ist es, Vorschläge zu entwickeln, wie eine wünschenswerte, verantwortungsvolle, auf Dauer und generell geltende Regulierung aussehen sollte und einen gegebenenfalls legislativen Prozess zu deren Umsetzung anzustoßen.



Für eine erfolgreiche Umsetzung des Leitbildes „Smart Home“ müssen Gesetzgeber und Politik, basierend auf den Erfahrungen aus den Testinstallationen und Experimenten, dafür sorgen, dass autonome Gebäude in den staatlichen Förderstrukturen, Baustandards (zum Beispiel konkrete Energieeffizienzvorgaben) sowie in Qualifizierungs- und Ausbildungsprogrammen Beachtung finden. Der Gesetzgeber muss prüfen, ob die bestehenden Rechtsgrundlagen bezüglich Haftung, Gewährleistung, Datenschutz und Sicherheit den neuen Anforderungen gerecht werden. Eine weitere Aufgabe ist die Anpassung von Haftungs- und Vertragsrecht, Datenschutz beziehungsweise der Zuständigkeit von Kontrollinstanzen sowie von Smart Home spezifischen, technischen Standards.

Staatliche Anreize auf steuerlicher Ebene und die Ausweitung der Vergabe von Krediten der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) sollten die Integration von Smart-Home-Lösungen bei Neubau- und Modernisierungsvorhaben berücksichtigen. Bislang existierende KfW-Fördermaßnahmen richten sich fast ausschließlich an den altersgerechten Umbau bestehender Wohnungen durch Smart-Home-Elemente. Um das Potenzial dieser Maßnahmen zukünftig besser auszuschöpfen, ist es empfehlenswert, spezielle KfW-Programme für autonome Systeme und autonome Smart-Home-/Smart-Living-Ökosysteme zu entwickeln. Um die Marktdurchdringung und Technologieakzeptanz zu erhöhen, wird die Förderung von Projekten zur Entwicklung und Einführung offener digitaler Plattformen sowie Standardisierungsprozesse empfohlen.

Hinsichtlich der mangelnden Nutzerakzeptanz sollte der Gesetzgeber Informationskampagnen mit dem Ziel entwerfen, potenzielle Nutzerinnen und Nutzer besser informieren zu können und für ein klares technisches Verständnis zu sorgen, aber auch die Vorteile der Technik eindeutiger zu kommunizieren. Die Forderung nach einem einfachen europäischen Datenlabel für „smarte Produkte“ ist dabei ein richtiger Schritt in Richtung Vertrauensbildung und Stärkung der Nutzerakzeptanz und sollte unterstützt werden.

Richtlinien im Bereich des Energiesektors sollten klare Ziele bezüglich eines zu erreichenden Effizienzgrades definieren und ebenso aufgreifen, wie diese durch die Entwicklung und den Einsatz von Smart Homes erreichbar sind.

Aller Voraussicht nach ist eine positive Marktentwicklung nur unter der Voraussetzung modularer Systemkomponenten möglich, die von der Nutzerin und dem Nutzer via Plug-and-Play-Installation vernetzbar sind, darüber hinaus eine stufenweise Funktionalitätserweiterung bieten und keine hohen Anschaffungskosten zu Beginn der Systemintegration in den eigenen vier Wänden erfordern. Der Staat sollte daher die Entwicklung und den Ausbau solcher Systeme mit speziellem Fokus auf autonome Funktionalitäten und dem Ziel der Einbettung intelligenter, autonomer Hardware in digitale Ökosysteme fördern. Die verstärkte Förderung technischer Assistenzsysteme im Pflegebereich könnte einen geeigneten Ankerpunkt darstellen, die Mehrwerte autonomer Technologien aufzuzeigen und allgemeinen Berührungspunkten der Bevölkerung hinsichtlich des Einsatzes intelligenter technologischer Geräte im eigenen Zuhause entgegenzuwirken.

Qualifizierungsmaßnahmen zur Schaffung von Technologietransparenz sollten sowohl auf politischer als auch auf unternehmerischer Ebene erfolgen. Bislang fehlt der Branche geeignetes Fachpersonal, um Smart-Home-Lösungen zu entwickeln und umzusetzen. Deshalb ist die öffentliche Förderung von Qualifizierungsmaßnahmen mit Nachdruck zu empfehlen. Außerdem sollten Qualifizierungsmaßnahmen stets den gewerblichen und akademischen Bereich umspannen.

Staatliche Maßnahmen umfassen auch die Schaffung von Rechtsgrundlagen in den Bereichen Datensicherheit und -souveränität sowie regulatorische Richtlinien bezüglich des Datenzugriffs und Datenfreigabemodellen. Notwendig sind vor allem Richtlinien unternehmensübergreifender Datenverarbeitung, da in Smart-Home-Systemen eine Datenweitergabe unter den Stakeholdern in vielen Anwendungsfällen zwingend notwendig ist. Auch sind Rechtsgrundlagen zur Datenmitnahme durch die Nutzerinnen und Nutzer und Datenspeicherung für einen erfolgreichen Ausbau und Einsatz autonomer Systeme erfolgskritisch. Datenschutzrichtlinien sollten dabei auch unter Bezugnahme des internationalen Kontexts formuliert werden.

Ein weiterer kritischer Aspekt ist die gesetzlich zu untermauernde Verpflichtung, sicherheitsrelevante Systemupdates zuzulassen oder einzuspielen, um Angriffen auf Smart-Home-Infrastrukturen wirkungsvolle Maßnahmen entgegensetzen zu können.



## 6. ANWENDUNGSBEREICH MENSCHENFEINDLICHE UMGEBUNGEN

Menschenfeindliche Umgebungen sind durch Bedingungen gekennzeichnet, die Menschen besonders belasten oder gefährden. Entsprechend ihrer Gefährlichkeit für den Menschen werden drei Umgebungstypen unterschieden:

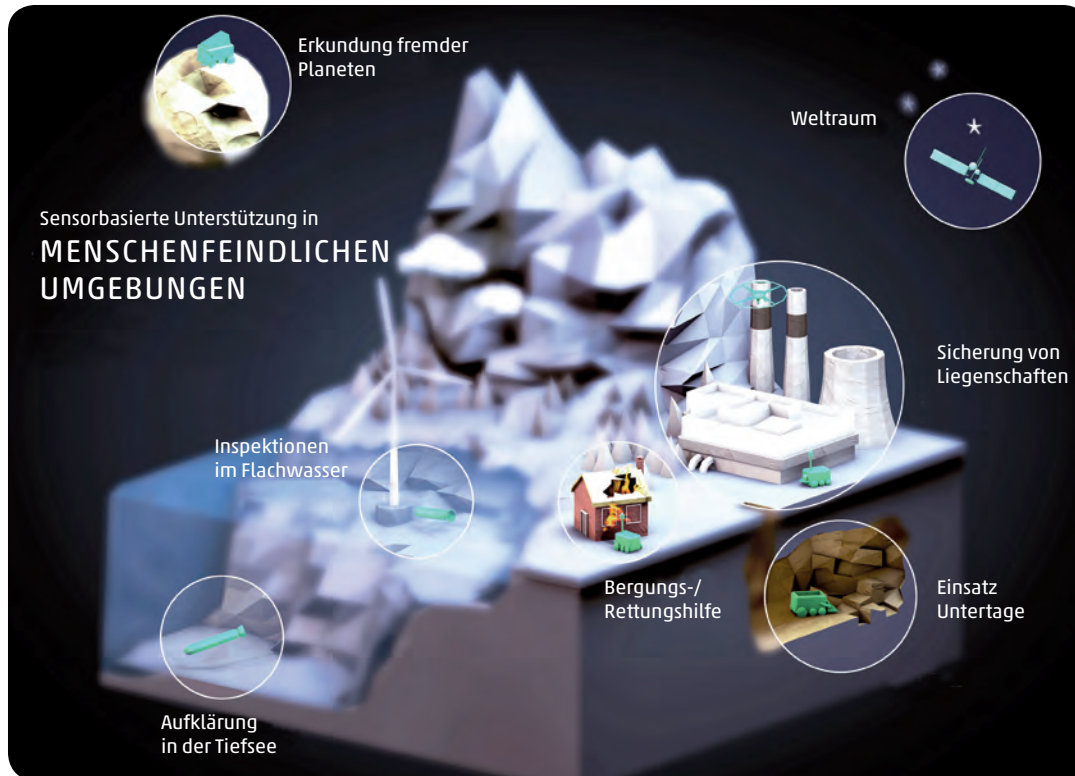
- Umgebungen, die Menschen nur mit spezieller Schutzausrüstung betreten können (Weltraum, große Wassertiefe, große Hitze etc.)
- Umgebungen, in denen die Belastung und Gefährdung des Menschen mit wachsender Aufenthaltsdauer ansteigen (kontaminierte Umgebungen, Strahlung, große Höhen, unter Wasser bei geringeren Tiefen, Hitze/Kälte, Verschmutzung, extremer Lärm etc.)
- Umgebungen, in denen ein Aufenthalt des Menschen mit unzumutbar hohen Risiken verbunden ist (Einsturzgefahr, Explosionsgefahr, Krisen- und Kriegsgebiete, polizeiliche Sondereinsätze etc.)

Diese Umgebungen gehen mit besonderen technologischen Herausforderungen einher:

- unter Wasser (insbesondere in größeren Tiefen)
- große Höhen, Weltraum
- kontaminierte Umgebungen (radioaktive Stoffe, Viren, Keime, Gifte etc.)
- Umgebungen mit Extrembedingungen (Sauerstoffmangel, extremer Lärm, Verschmutzung, Strahlung, Hitze/Kälte, Druck etc.)
- Umgebungen mit hohem Gefahrenpotenzial (Einsturzgefahr, Explosionsgefahr etc.)
- Umgebungen mit Bedrohungen durch Menschen (Krisen- und Kriegsgebiete, polizeiliche Sondereinsätze)

Je nach Anwendungsgebiet sind autonome Systeme mit unterschiedlichen oder aufgabenbedingt variablen Autonomiegraden zweckdienlich, die unterschiedlich ausgeprägte Mensch-Maschine-Schnittstellen erfordern.

Anwendungsdomänen, Aufgaben und Einsatzarten „Autonomer Systeme in menschenfeindlichen Umgebungen“ (ASimU) sind heterogener, als die aufgeführten Umgebungstypen, weswegen sich kein einheitliches Leitbild für ASimU entwickeln lässt. Die Unterschiede sind nicht nur wegen diverser Autonomiegrade extrem groß, sondern auch aufgrund der komplett anderen Schnittstellen und der unterschiedlichen wechselseitigen Auswirkungen auf den Menschen. Die Bandbreite reicht von menschenleerer Tiefsee, stark radioaktiven Bereichen und dem Weltraum, über Erkundung, Überwachung und Entschärfung, bis zu Bergungsaufgaben in diversen Katastrophenbereichen, wo die Systeme sowohl mit Rettungskräften als auch mit Opfern interagieren müssen – oft sogar in engem physischem Kontakt. In nachfolgenden Teilen wird deswegen zuerst auf unterschiedliche Autonomiegrade und Interaktionsarten eingegangen, die in so gut wie allen Anwendungsbeispielen des Kapitels zum Einsatz kommen können.



**Abbildung 20:**  
Menschenfeindliche Umgebungen als Einsatzorte autonomer Systeme  
(Quelle: Fraunhofer IOSB).

Viele Anwendungen von ASimU sind sowohl im zivilen als auch im militärischen Kontext möglich (zum Beispiel Suche und Rettung von verletzten Personen, Erkundung, Beseitigung von Altlasten, Minenräumung etc.). Aus technischer Sicht lässt sich hier keine scharfe Grenze ziehen. Die Nutzung des Dual-Use Potenzials bei ASimU kann zu besseren Ergebnissen führen und Ressourcen schonen. Ob der Dual-Use Aspekt von ASimU als Chance oder Risiko angesehen wird, hängt vom politischen Blickwinkel ab.

## 6.1 Autonomie und Interaktion

Abhängig von der Gefährdung, der Belastung, der Komplexität und von den besonderen Eigenheiten der vielgestaltigen Aufgaben in den verschiedenen menschenfeindlichen Umgebungen ist eine Vollautonomie nicht immer angebracht. Bei besonders schwierigen Aufgaben und schwer im Voraus überblickbaren Vorhaben kann reine Fernsteuerung (Teleoperation) mit entsprechender visueller und haptischer Rückkopplung durch eine geschulte Bedienerin oder einen geschulten Bediener vorteilhaft sein. Hierbei kann es



hilfreich sein, Routineteilaufgaben, wie zum Beispiel das An- und Abfahren zum Einsatzort, autonom auszuführen. Bei extrem entfernten Einsatzorten, beispielsweise im Weltraum, wird eine Teleoperation durch große Totzeiten (Laufzeiten) erschwert. Bei gut automatisierbaren Massenaufgaben, wie zum Beispiel bei großräumiger Dekontamination, lassen sich heute schon Systeme mit großer Autonomie einsetzen.

Die Betrachtungen zeigen, dass je nach Aufgabe und Anwendungsgebiet das ganze Spektrum von reiner Fernsteuerung über Mischformen bis hin zu vollständiger Autonomie sinnvoll sein kann. Auch bei nominell voll autonom arbeitenden Systemen ist es denkbar, dass diese in nicht auflösbare Schwierigkeiten geraten und daraufhin die Fernsteuerung durch eine Bedienerin oder einen Bediener anfordern.

Während Autonomie maschinelle Kognition und Intelligenz erfordert, bedarf es für die Teleoperation, aber auch für die Kooperation in Mensch-Roboter-Teams, leistungsfähiger und intuitiver Mensch-Maschine-Interaktionsmechanismen.

#### **6.1.1 SITUATIVE ANPASSUNG DER AUTONOMIEGRADE: VON FERNSTEUERUNG BIS VOLLAUTONOMIE**

In der Meeresforschung und bei der Offshore-Industrie werden einige Unterwasserarbeiten, insbesondere in von Taucherinnen und Tauchern nicht erreichbaren Tiefen, heute noch mit teleoperierten Vehikeln (ROVs) durchgeführt. Diese umfassen insbesondere ferngesteuerte Inspektions- und Handhabungsaufgaben. Zunehmend werden aber vor allem Explorations-, Inspektions- und Sicherungsaufgaben teilautomatisiert oder gar autonom über gewisse Zeiträume durchgeführt.

Bei bemannten Weltraummissionen werden schon heute viele Aufgaben außerhalb der Fahrzeuge (zum Beispiel ISS) mithilfe von Robotern überwiegend teleoperiert durchgeführt. In Zukunft wird sich das Aufgabenspektrum für Roboter wegen des hohen logistischen Aufwands und der hohen Kosten bei Außeneinsätzen noch erweitern. Bei unbemannten Missionen sind (teil-)autonome Fähigkeiten bei großen Entfernungen aufgrund der eingeschränkten Kommunikation (große Laufzeiten, geringe Bandbreiten, Unterbrechungen) bereits unverzichtbar.

Beim Rückbau gefährlicher Objekte sind heute vor allem ferngesteuerte Systeme üblich. Für Routineaufgaben, wie zum Beispiel dekontaminierende Schichtabtragung großer Areale und Strukturen, sind vielversprechende Entwicklungen für teil- und vollautonome Systeme im Gange.

Autonomen Systemen fehlen (noch) die Alltagsintelligenz und die Fähigkeit zur Entscheidungsfindung in einer komplexen Umwelt, insbesondere bei Berücksichtigung gesellschaftlicher Interessen. So sind gegenwärtig der Einsatz ferngesteuerter Systeme und die Besetzung der Bedienerebene mit Gerätebedienerinnen und Gerätebedienern sowie zusätzlichen Entscheiderinnen und Entscheidern notwendig und üblich.

Der Umgang mit komplexen Lagen wird und soll auf absehbare Zeit nicht ohne von dem Menschen getroffene Entscheidungen ablaufen können, da möglicherweise methodische, rechtliche und ethische Fragestellungen auftreten werden, die weit über den technischen Bereich hinausgehen. Die Verantwortung für gegebenenfalls folgenschwere Entscheidungen wird man niemals vollständig auf autonome Systeme übertragen wollen.

Situativ anpassbare Autonomiegrade sind wichtig, um das fernbediente Arbeiten mit dem Robotersystem zu vereinfachen oder erst zu ermöglichen. Muss ein mobiles Robotersystem beispielsweise ein Hindernis überwinden, so kann es für die Bedienerin und den Bediener hilfreich sein, wenn das System den Pfad und die Strategie zur Hindernisüberwindung selbst entwickelt. Der Autonomiegrad kann dabei so weit gehen, dass der Roboter das Hindernis ohne Eingriff der Bedienerin oder des Bedieners überwindet. Ein weiteres Beispiel ist der Ausfall der Kommunikationsstrecke. Das System sollte dann eigene Anstrengungen zur Wiederherstellung der Kommunikation unternehmen und dazu gegebenenfalls Fahr- oder Ausrichtbewegungen vornehmen.

Für die Aufgabenteilung ist analog zur MABA/MABA-Betrachtung (Men-are-better-at / Machines-are-better-at) systematisch zu prüfen, für welche Teilaufgaben eine höhere Autonomie oder ein höherer Fernsteueranteil nutzbringender ist. Dabei sind neben technischen Überlegungen zur Ausführbarkeit gleichrangig die Entscheidungserfordernisse zu berücksichtigen, um den jeweiligen Autonomiegrad festzulegen.

Eine starke (nicht nur überwachende) Einbindung der Bedienerin oder des Bedieners in den Entscheidungsprozess und somit ein hoher Fernsteueranteil werden bei gefahrbringenden Handhabungen, zum Beispiel von Explosivstoffen oder Radioaktivität, erforderlich sein. Hier können autonome Funktionen zur Bedienerunterstützung dazu beitragen, auch in ungewöhnlichen, vorab nicht bekannten Situationen die Ziele mit den verfügbaren Ressourcen sicher zu erreichen. Navigations-, Inspektions- und Wartungsarbeiten in dynamischen und sich stark verändernden Umgebungen erfordern einen hohen Autonomiegrad und stellen erhöhte Anforderungen an die Steuerung, da Systembewegungen auf der Grundlage fusionierter Sensordaten in Echtzeit ausgeführt werden müssen.

Abgegrenzt von autonomen Funktionalitäten ist ein hoher Automatisierungsgrad immer dann anzustreben, wenn monotone und für die Bedienerin oder den Bediener kognitiv wenig fordernde Arbeiten zu verrichten sind. Für die Durchführung von Handhabungsaufgaben sind hier Kameranachführung, Werkzeugwechsel und das Anfahren von Home-Positionen als Beispiele zu nennen.

### 6.1.2 KOMMUNIKATION

Beim Einsatz von Robotersystemen in menschenfeindlichen Umgebungen kann sich der Mensch – aufgrund der hohen Risikoexponiertheit – nicht direkt vor Ort aufhalten, sondern muss bei teleoperierten Systemen über weite Strecken mit dem System kommunizieren können. Unter den vorgenannten Bedingungen ist die Stabilität und Leistungsfähigkeit einer Echtzeit-Kommunikationsstrecke eine Grundvor-



aussetzung für die Einbindung des Menschen (Man-in-the-loop) in Bedien- und Entscheidungsprozesse, die bei zeitkritischen Abläufen auch ad-hoc erforderlich sein können. Nicht zuletzt daran misst sich die Nutzbarkeit eines ferngesteuerten Systems für Einsätze in diesen Umgebungen.

Um in komplexen Szenarien erfolgreich zu sein, müssen Menschen und Maschinen eng miteinander und untereinander kommunizieren können. Nur mit einer funktionierenden Kommunikation und einem vorausschauenden Verhalten zur jeweiligen Interaktionspartnerin beziehungsweise zum jeweiligen Interaktionspartner ist man in der Lage, erfolgreich zusammenzuarbeiten. Dieser Aspekt ist vor allem dann entscheidend, wenn unterschiedliche Eigenschaften der einzelnen Interaktionspartnerinnen und Interaktionspartner zusammenwirken sollen, wie es gerade bei der Kooperation zwischen Mensch und Maschine der Fall ist, oder wenn koordinierte Absprachen zur Effizienzsteigerung essenziell sind, zum Beispiel in Szenarien mit vielen einzelnen Systemen bis hin zu Schwärmen.

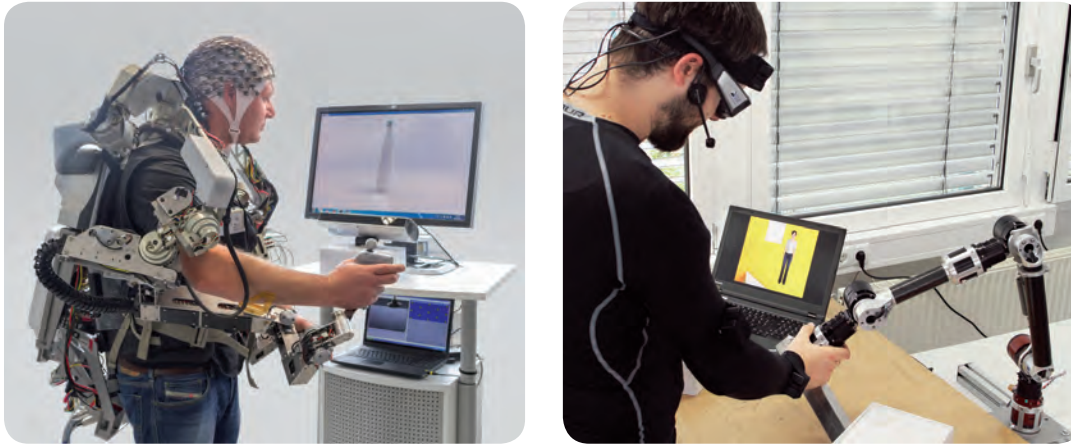
Insbesondere die direkte Kommunikation in Echtzeit ist für die Interaktion zwischen Mensch und Maschine von hoher Bedeutung. Daher müssen für diesen Zweck in allen Einsatzdomänen leistungsstarke Datenübertragungswege zur Verfügung stehen.

### 6.1.3 MENSCH-MASCHINE-INTERAKTION UND -KOOPERATION

Die Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) stellt für den Einsatz autonomer Systeme in menschenfeindlichen Umgebungen einen wichtigen Faktor dar<sup>31</sup>. Im klassischen Fall der autonomen Ausführung von Missionen durch technische Systeme werden die Missionen von Menschen geplant, beobachtet und analysiert, aber nicht ausgeführt. Ein Zukunftstrend ist die Bildung hybrider Teams aus mehreren autonomen Systemen und Menschen, die sich eine Aufgabe gemäß ihren spezifischen Fähigkeiten aufteilen und dann gemeinsam lösen. Gerade im hybriden Verbund von Menschen und autonomen Systemen ist die MMI von zentraler Wichtigkeit. Intentionen und Faktoren wie Stress, Angst, Müdigkeit und Aufmerksamkeit müssen dabei gegenseitig erkannt und an das jeweilige Verhalten adaptiert werden. Erfolgreiche Kooperation zwischen Menschen und autonomen Systemen setzt ein wechselseitiges Verständnis der jeweiligen Ziele, Pläne und Fähigkeiten aller Teammitglieder voraus.

Damit stellt der Einsatz von autonomen Systemen in menschenfeindlichen Umgebungen neue Anforderungen an die Benutzung, die Kommunikation und die Kooperation. Des Weiteren müssen neue Konzepte der impliziten MMI definiert und erprobt werden, die auch in Stresssituationen funktionieren.

Eine sehr enge Mensch-Maschine-Interaktion implementieren Exoskelette (siehe Abbildung 21). Sie werden insbesondere eingesetzt, um die Kraft des menschlichen Körpers zu unterstützen, zu verstärken und dessen mechanische Handlungsmöglichkeiten zu erweitern. Für die Teleoperation von Robotern in menschenfeindlichen Umgebungen stellen sie eine höchst intuitive Mensch-Maschine-Schnittstelle dar.



**Abbildung 21:**  
Unterstützung Mensch-  
Maschine-Interaktion.  
Links: Recupera Reha Exo  
Rechts: Sensoranzug  
HySociaTea (Quelle: DFKI).

Durch die Verbesserung der MMI sollen die Effizienz der angesprochenen Operationen in den Szenarien verbessert und potenziell neue Felder für Einsätze eröffnet werden (zum Beispiel feinere und präzisere Manipulation, Einsatz von versatileren Robotern).

Durch die Integration kognitiver Prozessmodelle in die technischen Systeme kann das menschliche Handeln in der Kooperation und der Kommunikation dem technischen System verständlich gemacht werden. Dazu könnten Methoden des Cognitive Engineering angewendet werden, um beispielsweise die Arbeitsbelastung oder Handlungsabläufe interpretieren zu können. Auf dem Gebiet der klassischen MMI sollten Methoden aus dem Bereich der Natural User Interfaces fokussiert und die Benutzungsschnittstellen nicht nur an die Fertigkeiten, Fähigkeiten und Bedürfnisse des Menschen angepasst werden, sondern auch auf Bedrohungen und Gefahren. Dabei sollte auch systematisch geprüft werden, welche Aufgaben der Mensch und welche Aufgaben das technische System im Kontext der Aufgabenerfüllung übernehmen sollte (zum Beispiel abgeleitet aus den MABA-MABA-Listen) – das stellt in menschenfeindlichen Umgebungen eine besondere Herausforderung dar.

Der Mensch wird dort, wo autonome Systeme eingesetzt werden, keineswegs überflüssig, sondern von flexibel einsetzbaren autonomen Systemen unterstützt – ein entscheidender Faktor für die Wandlungs- und Reaktionsfähigkeit eines Teams. Heute nur aus Menschen bestehende Teams (zum Beispiel bei Polizei- und Rettungseinsätzen) werden durch hybride Teams ersetzt werden, um Gefahren und Belastungen für Menschen zu reduzieren. Der Mensch wird auch im hybriden Verbund die Führung und die strategische Steuerung der Arbeitsabläufe übernehmen. Somit werden die heute vergleichsweise starren Abläufe zukünftig durch hybride Teams, bestehend aus Menschen und (teil-) autonomen, kooperativen, stationären und mobilen Robotern, flexibilisiert.



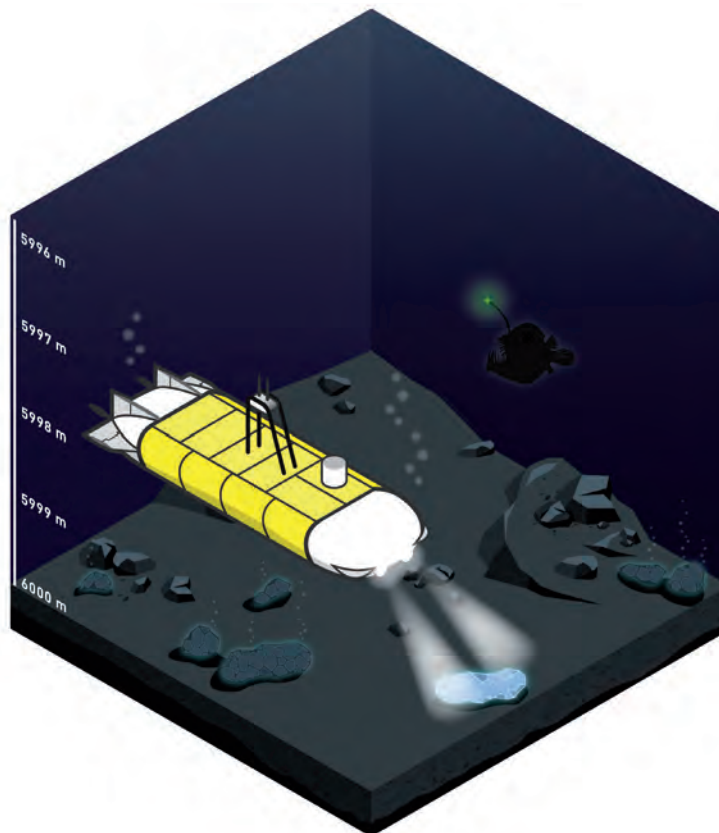
**Tabelle 14:**  
SWOT-Analyse bezüglich  
Mensch-Maschine-Inter-  
aktion mit ASimU in  
Deutschland

|                     | Positive Eigenschaften                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Negative Eigenschaften                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Interne Perspektive | <b>STÄRKEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Forschung bzgl. MMI sehr vielfältig und hoch-qualitativ</li><li>→ Breites Know-how in der Künstlichen Intelligenz und den Kognitionswissenschaften</li><li>→ Forschungsinfrastruktur und innovative Unternehmen, die Systeme zur Produktreife treiben können</li><li>→ Ingenieurskapazitäten und Know-how, um innovative, auch nach dem Ausfall mehrerer Komponenten sichere Systeme zu bauen und zu vermarkten</li></ul>                     | <b>SCHWÄCHEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Überführung der Forschungsergebnisse in industrielle Produktion; Mangel an Informationen und Austausch</li><li>→ Verfügbare autonome Systeme müssen aktuell in ihren Fähigkeiten eingeschränkt werden, um sichere Interaktion zu ermöglichen</li><li>→ Aktuell fehlen noch autonome Systeme als kooperierende Partner mit ausreichender Qualität der Interaktionsmöglichkeiten</li><li>→ Noch unzureichende automatische Schätzung der menschlichen Intentionen</li><li>→ Fehlende Standards und Richtlinien für Mischbetrieb verschiedener autonomer Systeme</li></ul> |
| Externe Perspektive | <b>CHANCEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Stärken von Menschen und autonomen Systemen bündeln</li><li>→ Gefahren für den Menschen reduzieren</li><li>→ Intuitive Interaktion schafft Voraussetzung für die hybride Team-bildung – hybride Teams können Arbeitsprozesse individueller und flexibler gestalten</li><li>→ Interaktive Technologien gut verträglich mit bestehenden Arbeitsprozessen</li><li>→ Neuartige Sicherheitskonzepte und Strategien zur Ausfallsicherheit</li></ul> | <b>RISIKEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Komplexität</li><li>→ Unerwünschte Emergenzen in Ensembles von Systemen</li><li>→ Physische Sicherheit, Safety</li><li>→ IT-Sicherheit der Technologien</li><li>→ Gesellschaftliche Akzeptanz</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

## 6.2 Anwendungsbeispiele

### 6.2.1 MARITIME ANWENDUNGEN UNTER WASSER

Das Interesse an der Erforschung, Exploration und Nutzung der Meere unterhalb der Wasseroberfläche ist in den vergangenen Jahren stark gestiegen und gilt als wesentlicher Treiber für maritime Anwendungen. Für autonome Systeme in menschenfeindlichen Umgebungen erstrecken sich diese von der Instandhaltung und Sicherheit maritimer Anlagen, über den Abbau von marinen mineralischen Ressourcen, bis zur Erkundung und Beseitigung von Altlasten. Weitere aktuelle Themen betreffen den Umweltschutz (zum Beispiel beim Abbau von Ressourcen und für den Schutz marinen Lebens), die Errichtung von Farmen im Meer (zum Beispiel Fisch, Algen), die Erzeugung von regenerativen Energien im Meer (zum Beispiel Offshore Windparks), die Untersuchung von eisbedeckten Gebieten und die Entwicklung von Infrastruktur für Autonomie in der Tiefsee und in schwer zugänglichen Seegebieten.



**Abbildung 22:**  
Einsatz eines autonomen  
Unterwasserfahrzeugs zur  
Exploration der Tiefsee und  
Inspektion von technischen  
Anlagen in der Tiefsee  
(Quelle: Innovationsland-  
karte InnoZ).



|                     | Positive Eigenschaften                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Negative Eigenschaften                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Interne Perspektive | <b>STÄRKEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Hohes Maß an innovativen Aktivitäten bei wissenschaftlichen Institutionen</li><li>→ Modernste Technologien und Hardware im Bereich der Künstlichen Intelligenz und des Software Engineerings – Entwicklung spezialisierter autonomer Systeme möglich</li><li>→ Führende Rolle bei Logistik: autonome Systeme erhöhen die Effizienz durch fokussierte Nutzung</li><li>→ Grundlegende Fähigkeiten zur Verknüpfung der Ausgabedaten mehrerer heterogener (physikalischer, chemischer und biologischer) Sensoren vorhanden (Sensordatenfusion); wichtig für autonome Systeme</li></ul> | <b>SCHWÄCHEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Spezialisierte Sensorik und Materialien teilweise nicht verfügbar</li><li>→ Miniaturisierung von geeigneter Elektronik bei entsprechend hoher Rechenleistung oft nicht ausreichend; Anbieter fehlen (z. B. Navigationssysteme, Energieversorgung, Kleinsonare)</li><li>→ Anwendungen und Produkte entsprechen häufig nur unzureichenden Industriestandards; aufwendige Qualifizierung</li><li>→ Technologischer Transfer vom nicht-marinen in den marinen Bereich</li><li>→ Langzeitautonomie und situationsgerechtes Verhalten in unstrukturierten Umgebungen noch Forschungsgegenstand</li><li>→ Verfügbare industrielle Unterwasser-Manipulatoren unzureichend: fehlende Sensibilität, Präzision, Multimodalität und Bimanualität</li></ul>                                                                                      |
| Externe Perspektive | <b>CHANCEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Gefahren für Menschen minimieren und Einsatzorte erschließen, die für Menschen nicht dauerhaft erreichbar sind</li><li>→ Kosten senken, die Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit erhöhen</li><li>→ Einsatz autonomer Unterwassersysteme würde mehrere Industriezweige beflügeln</li><li>→ Rechtliche Rahmenbedingungen und Standards für den Einsatz autonomer Systeme setzen, die sich europa- und weltweit durchsetzen könnten</li><li>→ Deutsche Unternehmen und Forschung können führende Rolle übernehmen</li><li>→ Hohes Potenzial für nachhaltige Systeme</li></ul>  | <b>RISIKEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Extreme Herausforderungen für die Autonomie in unstrukturierten Umgebungen mit hoher dynamischer Veränderlichkeit; bisher sind keine technischen Systeme bekannt, die selbstständig oder im Verbund unter Wasser arbeiten können</li><li>→ Wirtschaftlichkeit autonomer Systeme durch entsprechende Missionszeiten u. reduzierten Wartungsprozess</li><li>→ Verfügbarkeit einer multimodalen feinmotorischen Unterwasser-Manipulation</li><li>→ Erforderlicher Fortschritt in Materialforschung, Sensorik, Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie zur Erhöhung der Integrierbarkeit und Sensordichte</li><li>→ Fehlende Definition von Standards für den Einsatz, die Qualifizierung und die Nutzung von autonomen Systemen in menschenfeindlichen Umgebungen, dadurch fehlende Rechtssicherheit für potenzielle Hersteller</li></ul> |

Tabelle 15: SWOT-Analyse bezüglich Einsatz autonomer Systeme unter Wasser in Deutschland

Für autonome Systeme unter Wasser ergeben sich besondere technische Herausforderungen:

- Kommunikation: Drahtlose Kommunikation ist nur sehr eingeschränkt möglich. Standardlösungen auf Funkbasis, wie zum Beispiel Wireless Local Area Network (WLAN), können für die Verbindung zwischen Unterwasserrobotern zur Wasseroberfläche nicht eingesetzt werden. Optische Kommunikationsverfahren haben unter Wasser nur geringe Reichweiten. Akustische Datenübertragung ist nur mit relativ geringen Bitraten möglich. Das erfordert einen höheren Grad an Autonomie.
- Navigation: Selbstlokalisierung ist eine Schlüsselfunktion für mobile Robotik, zum Beispiel für die Kartenerstellung oder Dockingmanöver. Für Unterwasseranwendungen kann GPS nicht eingesetzt werden. Hier werden hochgenaue 3D-Messsysteme (Inertial-Navigationssysteme), akustisch gestützte Abstimmungsmessung zu drei Punkten (Trilaterationsverfahren) oder Verfahren zur Auswertung und Fusion von bild- oder profilgebenden akustischen Sensoren benötigt.
- Sichtverhältnisse: Besonders im küsten- und bodennahen Bereich sind Kamerasysteme aufgrund der Wassertrübung nur sehr eingeschränkt nutzbar.
- Raue Umgebungsbedingungen: Strömungen, Korrosivität des Seewassers, schlechte Sichtverhältnisse und der herrschende Wasserdruck erschweren die Anwendung.

Die Schwierigkeiten steigen mit zunehmender Einsatztiefe. Eine Kabelverbindung zum Unterwassersystem schränkt ein, ist unter Umständen ungeeignet und nur mit hohem Aufwand realisierbar.

Aufgrund der Kompaktheit und modularen Skalierbarkeit zukünftiger autonomer Systeme können logistische Aufwände für die Verbringung, Wartung, Bergung und Nutzung reduziert werden, Schwärme autonomer Systeme können sich Aufgaben teilen und so effizienter arbeiten. Solche intelligenten Systeme wären in der Lage, eigenständig oder in Kooperation, auch mit dem Menschen, viele der anstehenden Arbeiten durchzuführen.

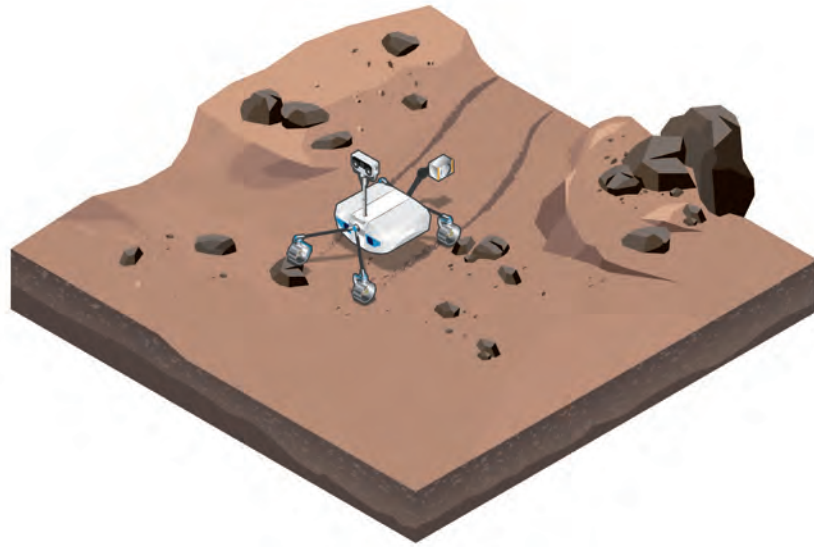
### 6.2.2 WELTRAUM

Der gesamte Weltraum ist eine für den Menschen extrem unzugängliche und gefährliche Umgebung. Der Flug in das Weltall stellt für den Menschen bereits ein sehr hohes Risiko dar. Der Aufenthalt in den erdnahen Umlaufbahnen ist, zum Beispiel aufgrund der hohen Kollisionsgefahr mit umherfliegendem Weltraumschrott, hoch riskant und die Reise zu fremden Planeten ist aufgrund der enormen Distanz zu jeglicher terrestrischen Infrastruktur ein deutliches Wagnis. Laut einer Studie der NASA ist die Wahrscheinlichkeit einer schweren oder gar lebensbedrohlichen Erkrankung des Menschen auf einer Reise zum Mars größer als neunzig Prozent. Erschwerend kommen im Weltraum, insbesondere bei interplanetaren Missionen, hinzu, dass es große Signallaufzeiten und eine schmalbandige Kommunikation gibt.

Daher sind autonome Systeme nicht nur prädestiniert für den Weltraum – viele Missionen sind ohne diese erst gar nicht möglich. Die zunehmende Komplexität der Aufgaben im Weltraum, wie sie beispielsweise in Form von Wartungsarbeiten an Satelliten (Orbitales Servicing) und beim Aufbau von Habitaten vorkommen, stellen zugleich höchste Anforderungen an die Zusammenarbeit verschiedenartiger Roboter.



**Abbildung 23:**  
Einsatz eines autonom  
navigierenden Roboters zur  
Exploration von Planeten  
(Quelle: Innovationsland-  
karte InnoZ).



Selbst bei hohem Autonomiegrad ist die Fähigkeit zur lokalen oder entfernten Kooperation von Mensch und Roboter eine technologische Schlüsselkomponente. Im Zweifelsfall ist nur der Mensch in der Lage, die für die Mission zentralen Entscheidungen zu fällen, die es dem Roboter erlauben, seine Aufgabe fertigzustellen.

Die wichtigsten Anwendungsfelder für autonome Systeme im Weltraum sind:

- Orbitales Servicing: Zusammenbau und Wartung großer Strukturen und Satelliten im Weltraum; sichere Entsorgung manövrierunfähiger Systeme
- Robotische Exploration: Erkundung von Planeten und anderen Himmelskörpern. Um eine effektive Exploration zu erreichen, ist die Zusammenarbeit mehrerer Systeme mit unterschiedlichsten Eigenschaften erforderlich
- Robotische Raumfahrtassistenz: Ergänzung und – im Falle für den Menschen nicht zugänglicher Umgebungen – Ersatz von Astronautinnen und Astronauten. Diese autonomen Systeme sollten idealerweise das gesamte Aufgabenspektrum einer Astronautin oder eines Astronauten beherrschen

Ziel in allen Anwendungsfeldern ist es, technologische Alleinstellungsmerkmale und Schlüsselkomponenten zu erarbeiten, um internationale Märkte zu erschließen.

In den kommenden Jahren steigt die Gefahr von Kollisionen mit Weltraumschrott und damit die Gefahr der Zerstörung von funktionsfähigen Satelliten im erdnahen Weltraum dramatisch an. Zusätzlich werden die wenigen noch verfügbaren Orbits für gesellschaftlich relevante Kommunikations-, Erdbeobachtungs- und andere Satelliten kontaminiert. Alleine daraus lässt sich ein exorbitanter Markt für Wartungssatelliten ableiten.

|                     | Positive Eigenschaften                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Negative Eigenschaften                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Interne Perspektive | <b>STÄRKEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Weltweit führend bei Durchführung komplexer robotischer Aufgaben im Weltraum</li><li>→ Hervorragend positioniert in der kooperierenden robotischen Exploration</li><li>→ Roboter benötigen keine Lebenserhaltungssysteme – erhebliche Kostenersparnis</li><li>→ Rückholung spielt bei Robotern im Gegensatz zu Astronautinnen und Astronauten eine untergeordnete Rolle</li><li>→ Roboter ermöglichen bestimmte Missionen erst</li><li>→ Nur autonome Roboter können auf zukünftigen interplanetaren Missionen die medizinische Versorgung der Astronautinnen und Astronauten sicherstellen</li></ul>                       | <b>SCHWÄCHEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Es existieren bisher nur wenige Systeme, die im Weltraum eingesetzt werden können</li><li>→ Der Reifegrad derzeitiger Autonomiefunktionen ist noch nicht ausreichend für Weltraummissionen</li><li>→ Die dauerhafte Energieversorgung von Robotern ist nur teilweise gelöst</li><li>→ Es existieren wenige bis gar keine weltraumqualifizierten Rechenplattformen, welche die, insbesondere für kognitive Funktionen, nötige Rechenkapazität zur Verfügung stellen</li></ul> |
| Externe Perspektive | <b>CHANCEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Kritisch zunehmende Gefährdung durch Weltraumschrott verlangt zwingend den Einsatz von autonomen Wartungssatelliten</li><li>→ Markt für autonome Dienstleistungen im Weltraum hat erhebliches Wachstumspotenzial</li><li>→ Launch-Kapazitäten entwickeln sich hin zu kleineren Nutzlasten und erfordern Montagelösungen im Weltraum, die nur von autonomen Systemen übernommen werden können</li><li>→ Erhebliches Technologietransferpotenzial wegen Analogie terrestrischer Szenarien zu Aufgaben im Weltraum (z. B. industrielle Montage und Orbitales Servicing, planetare Exploration und Search and Rescue)</li></ul> | <b>RISIKEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Deutschland ist derzeit finanziell nicht in der Lage, eigene Missionen durchzuführen, und somit auf die Kooperation mit Partnern angewiesen</li><li>→ Rechtliche Lage bzgl. Reparatur, Wartung und Entsorgung von Satelliten ist derzeit unklar</li><li>→ Roboter für Wartungsarbeiten an Satelliten könnten als strategische Waffen eingestuft werden</li></ul>                                                                                                               |

**Tabelle 16:**  
SWOT-Analyse bezüglich Einsatz autonomer Systeme im Weltraum aus deutscher Perspektive



Die derzeitige Entwicklung hin zu kommerziellen, kostengünstigen Launchern, wie zum Beispiel durch SpaceX, Virgin Galactic vorangetrieben, verspricht – insbesondere im privatwirtschaftlichen Sektor – eine rapide Zunahme der Aktivitäten im Weltraum und damit ebenfalls ein erhebliches Marktpotenzial. Um die durch diese Launcher zu erwartenden Kostenersparnisse für den Start von Satelliten und Weltraumstrukturen (wie beispielsweise Raumstationen, Teleskope) zu realisieren, muss die erheblich geringere zur Verfügung stehende Nutzlast durch den Transport von Teilbaugruppen und Komponenten anstelle von Gesamtsystemen kompensiert werden. Der Zusammenbau dieser Komponenten zu größeren Strukturen im Weltraum sowie ihre Wartung benötigen autonome Systeme und eröffnen einen erheblichen Markt in der kommerziellen Raumfahrt sowohl für Roboter als auch für Montage-Satelliten und Montagedienstleistung. Die für den Weltraum entstehenden Technologien sind fast ausnahmslos terrestrisch einsetzbar und besitzen teilweise erhebliches Marktpotenzial. Zum Beispiel basiert der KUKA Leichtbauroboter iiwa auf Weltraumtechnologie des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR). Des Weiteren sparen autonome Systeme deutlich die Kosten für Weltraummissionen und entlasten damit nationale Haushalte, da beispielsweise teure Lebenserhaltungssysteme für Astronautinnen und Astronauten entfallen, was den Fortschritt in der Weltraumforschung erheblich beschleunigen kann.

### 6.2.3 GEFAHRENABWEHR

Die zu beobachtende und in einer Vielzahl von Risikoanalysen identifizierte, weltweit zunehmende Anzahl von gefahrbringenden Ereignissen, Krisen und Katastrophen wird es verstärkt erforderlich machen, unbemannte Systeme in menschenfeindlichen Umgebungen einzusetzen.

Insbesondere extreme Wetterphänomene werden als sehr ernst zu nehmende, wachsende Risikofaktoren<sup>32</sup> eingestuft. Einem sprunghaften Anstieg extremer Wetterereignisse<sup>33</sup> wird nicht allein mit „Menschenkraft“ hinreichend wirkungsvoll zu begegnen sein.

Hinzu kommen Erdbeben, die direkt (zum Beispiel Gebäudeeinstürze) oder indirekt (zum Beispiel Tsunami) zerstörend wirken und weitere Problemlagen erzeugen können (zum Beispiel durch Strom- und Wasserversorgungsausfall, Brände, Austritt von Schadstoffen und Radioaktivität).

Davon unabhängig können ABC-Unfälle/-Belastungen, Brände, Zerstörungen kritischer Infrastrukturen und eine damit einhergehende Entstehung menschenfeindlicher Umgebungen, aber auch durch menschliches oder technisches Versagen sowie durch absichtliche Angriffe hervorgerufen werden.

Generelle Ziele für die Verwendung von autonomen Systemen für die Gefahrenabwehr sind die Reduktion der Gefahren für Einsatzkräfte, die betroffene Bevölkerung sowie zur Schadensreduzierung und -beseitigung. Hauptaufgaben für ASimU werden die Messdatenaufnahme, Beteiligung an Personenrettung und Schadensbekämpfung darstellen. Besonders effizient dürften Einsätze von Verbänden heterogener kooperierender Systeme sein.

### **Hochwasser und Überschwemmungen**

Im Rahmen der Prävention von Hochwasserkatastrophen sind regelmäßige Inspektionen vieler Infrastrukturen wichtig. Topografische Scans, Multisensor-Analysen der Erdoberfläche sowie die Quantifizierung und Qualifizierung der Festigkeit und Ausdehnung von Bebauungen und wasserbaulichen Schutzanlagen geben Aufschluss über den voraussichtlichen Verlauf eines Hochwassers – das alles und noch viel mehr kann von autonomen Systemen übernommen werden. Überprüfung der Standhaftigkeit von Deichen und Schutzwällen sowie die genaue Vermessung und Kartierung von Flussläufen ermöglichen beispielsweise eine genauere Simulation und somit bessere Vorbereitung auf den Ernstfall.

Im Verlauf eines Hochwassers können diese Messungen weiter betrieben werden und zur ständigen Aktualisierung der Lage verwendet werden. Parallel dazu können autonome Systeme dabei unterstützen, Hilfsgüter zu verteilen und Wasserproben zu sammeln, um beispielsweise Epidemien zu vermeiden. Speziell zur Wasserrettung dienende, selbstaufblasende Mini-Rettungsbojen können automatisch und präzise verteilt werden. Ebenso können autonome Baumaschinen bei Dammbrüchen etc. eingesetzt werden, ohne dabei weitere Menschenleben zu gefährden. Insbesondere durch Kooperation fliegender, fahrender und schwimmender autonomer Systeme können komplexe Aufgaben besser bewältigt werden.

### **Brände**

Unbemannte Luftfahrzeuge (UAVs) mit Tageslicht- und Wärmekameras können schon heute wertvolle Übersichten bei Bränden liefern. Durch die Nutzung verschiedenster Sensoren können schnell und ohne Gefährdung von Personal wichtige Erkenntnisse im Brandfall gewonnen werden. In Kooperation mit ergänzenden boden- und luftgestützten, mobilen Wetterstationen könnten Ausbreitungsmodelle erstellt und permanent aktualisiert und optimiert werden. UAVs können insbesondere in der Prävention und Früherkennung wertvolle Beiträge leisten. Am Beispiel eines „Werksgeländes“ bedeutet dies, dass der Einsatz von UAVs zur Erkennung von unbefugten Personen, Fahrzeugen oder Abweichungen bei den geometrischen Mustern (Stichwort: Brandstiftung), bis hin zur radiometrischen Vermessung von Temperaturwerten oder der multispektralen Analyse und Früherkennung von Korrosion oder Materialermüdung dienen kann. Vom Waldbrand bis zum Chemiewerk können so Glutnester und Brandherde frühzeitig erkannt und gegebenenfalls direkt autonom bekämpft werden. Unbemannte Bodenfahrzeuge (UGVs) können Lösch- und Bindemittel gezielt in gefährliche und unzugängliche Umgebungen einbringen oder Endeffektoren zum Aufbringen großer Kräfte einsetzen, um Zugänge zu schaffen. Hierfür wurden bereits vielversprechende Ansätze bis zum Prototypenstadium entwickelt und erfolgreich demonstriert.

### **ABC-Lagen**

Mittels vernetzter UAVs und UGVs mit variablem Autonomiegrad können gefährliche Gebiete oder Objekte schnell inspiziert und vermessen werden, ohne dafür Einsatzkräfte zu gefährden. Die gewonnenen Daten können zu aussagekräftigen Übersichtskarten verarbeitet werden (Rapid Mapping). Logistikroboter können wichtige Güter direkt am Bestimmungsort ablegen, um den heraneilenden Sondereinsatzkräften und spezialisierten Robotern die weitere Arbeit zu erleichtern. Insbesondere im Fall von zerstörter Infrastruktur (Straßen, Brücken etc.) wäre ein Einsatz von UAVs vorteilhaft.



Speziell bei chemischen Zwischenfällen ist es wichtig, die Art und Konzentration freigesetzter Stoffe frühzeitig zu bestimmen. Hier können Messfahrten und -flüge mittels UGVs und UAVs vollautomatisch durchgeführt werden. Auslöser können Unfälle an Produktions- und Lagerungsorten von Gefahrenstoffen sein, aber auch Verkehrsunfälle von Gefahrguttransporten, Zugunglücke oder Flugzeugabstürze.

**Tabelle 17:**  
SWOT-Analyse bezüglich  
Einsatz autonomer Systeme  
zur Gefahrenabwehr in  
Deutschland

|                     | Positive Eigenschaften                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Negative Eigenschaften                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Interne Perspektive | <b>STÄRKEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Modernste Technologien und Know-how zur Entwicklung spezialisierter autonomer Systeme vorhanden</li><li>→ Forschungsinfrastruktur und innovative Unternehmen vorhanden, die Systeme zur Produktreife bringen können</li><li>→ Ingenieurskapazitäten und Know-how für Bau und Vermarktung innovativer sicherer Systeme vorhanden</li></ul>                                                                                                            | <b>SCHWÄCHEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Nur wenige einsatzfähige Systeme vorhanden, die nicht wirklich autonom sind</li><li>→ Derzeit nur vereinzelt Überführung der Forschungsergebnisse in industrielle Produkte; Mangel an Information und Austausch</li><li>→ Zu kurze Einsatzzeiten (insbesondere UAVs) aufgrund Energieversorgung</li></ul>                                     |
| Externe Perspektive | <b>CHANCEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Gefahren/Belastung für Einsatzkräfte reduzieren</li><li>→ Schnellere und vollständigere Erkundung erhöht Effizienz der Einsätze – insbesondere schnellere Bergung von Opfern rettet Leben</li><li>→ Freistellung von Personal für andere Aufgaben; besonders bei Berücksichtigung der demografischen Entwicklung wichtig</li><li>→ Weltweiter Markt/Bedarf für derartige Systeme ist vorhanden und wird durch Klimaänderung weiter wachsen</li></ul> | <b>RISIKEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Nachfrage für solche Systeme im relativ sicheren Deutschland ist begrenzt; für ärmere Länder können Finanzierungsprobleme die Nachfrage einschränken</li><li>→ Gesetzliche Grundlagen fehlen oder sind unklar</li><li>→ Verletzung von Menschen/Einsatzkräften ist nicht auszuschließen – u. U. heftige Reaktionen der Öffentlichkeit</li></ul> |

#### 6.2.4 SONDEREINSÄTZE

Generelle Ziele für die Verwendung von autonomen Systemen bei Sondereinsätzen sind die Reduzierung der Gefahren für die Einsatzkräfte durch Erhöhung der Abstandsfähigkeit und die Entlastung des Personals durch Assistenz-/Autonomiefunktionen. Als autonome Systeme kommen vor allem UAVs und UGVs in Frage, die auch in Verbänden von kooperierenden Systemen und Mensch-Maschine-Teams eingesetzt werden können. Aufgrund der komplexen Einsatzumgebung und Aufgabenstellungen ist eine vollständige Autonomie der eingesetzten Systeme mittelfristig wohl nicht realisierbar. Oft ist die vollständige Autonomie aber nicht gewünscht oder unzulässig. Ziel ist es vielmehr, die Leistungsfähigkeit und das Einsatzspektrum durch Autonomiefunktionen zu erhöhen. Daher kommt bei allen aufgeführten Beispielen einer intuitiven, sicheren und ergonomisch gestalteten Mensch-Roboter-Interaktion sowie MABA-MABA-Aspekten eine besondere Bedeutung zu.

##### **Wächter-Systeme**

Die Sicherheit und Gefahrenabwehr auf öffentlichen Plätzen oder Einrichtungen sowie auf Privatgeländen kann durch autonome UAVs und UGVs deutlich gesteigert werden. Im Gegensatz zu konventionellen Mitteln (ortsfeste Meldeanlagen) können sich solche Systeme dynamisch an asymmetrische Bedrohungen anpassen. Geplante Straftaten können so schneller am Ort des Geschehens erkannt werden, da verdächtige Personen bei ungewöhnlichen Bewegungsmustern besser verfolgt werden können. Vor allem aber können autonome Systeme direkt verhältnismäßige Aktionen ausführen. Diese können vom Verfolgen und Ansprechen der Person über einen Lautsprecher bis hin zur Ausbringung von Tränengas oder das gezielte Abfeuern eines Netzes oder Gummigeschosses eskalieren. In jedem Fall könnten jedoch sofort Gegenmaßnahmen eingeleitet werden, die das Leben und/oder das Eigentum besser schützen können als fest installierte Gerätschaften. Die Einführung solcher Systeme stellt eine der wenigen Möglichkeiten dar, Polizei- und Sicherheitskräfte nennenswert zu entlasten, indem sie Zugriff auf die Sensordaten der Systeme erhalten und sich somit frühzeitig einen Überblick verschaffen können. So kann eine wichtige Entscheidungsgrundlage für das weitere Vorgehen, zur Reduzierung von Fehlalarmierungen und für einen effizienten Umgang mit Fachkräften geschaffen werden.

##### **Aufklärung beschädigter/einsturzgefährdeter Strukturen**

Beschädigte Gebäudestrukturen, Tunnel, Minen etc. können vor dem Betreten durch Einsatzkräfte von UAVs und/oder UGVs weitgehend autonom inspiziert werden, um ein aktuelles Lagebild zu erstellen. Auf Basis dieses Lagebildes können dann Einsätze möglichst sicher und effektiv geplant werden. Mit deutlich höherem Aufwand seitens Sensorik und Fusionsalgorithmen besteht auch die Möglichkeit, 3D-Modelle zu erzeugen und für die Einsatzplanung und Koordination zu nutzen sowie weitere wichtige Informationen wie Stabilität von Baustrukturen etc. einzuschätzen. Auch Opfersuche und Rettung an solchen Orten können von autonomen Systemen durchgeführt oder zumindest unterstützt werden.

**Entschärfungsroboter**

Die bisher eingesetzten ausschließlich fernbedienten Entschärfungsroboter können durch Autonomiefunktionen, wie beispielsweise autonomes Fahren zum Einsatzort, operationell erheblich aufgewertet werden. Auch die Handhabung von Gefahrstoffen kann durch intelligente Verfahren für Handlungen wie „Führe autonom eine Wischprobe durch“ erleichtert werden. Mit entsprechenden Sensoren am Entschärfungsroboter können Explosivstoffe detektiert und erkannt werden. Eine deutliche Verbesserung des Situationsbewusstseins ermöglicht eine Kamera auf einem zusätzlichen Manipulationsarm. In der Zukunft können autonome Systeme auch selbstständig Inspektion und Entschärfung durchführen.

**Unterstützung Einsatzkräfte**

Autonome Systeme können eingesetzt werden, um Polizei- und Sonderkräfte bei lebensgefährlichen Einsätzen wie Bekämpfung von Gewaltverbrechen und Terror zu unterstützen – ob durch Aufklärung, Durchdringung in geschlossene Räume, Erste Hilfe und Abtransport von Verletzten etc. Autonome UAVs und UGVs können unter anderem für den Transport von Ausrüstungen sowie für die Bergung von gefährdeten oder gefährlichen Gütern verwendet werden. Autonomiefunktionen sind zum Beispiel autonomes Folgen einer Führungsperson beziehungsweise autonomer Transport zwischen mehreren Punkten etc.

**Bergungsroboter**

Die Bergung von verletzten Personen aus Situationen, bei denen das Leben des Einsatzpersonals in Gefahr ist, kann ein entsprechend ausgestattetes UGV übernehmen. Dabei wird momentan ausschließlich der Transport des Verletzten aus diesen Bereichen betrachtet. Zukünftig können spezialisierte autonome Systeme sowohl Erste Hilfe als auch weitere medizinische Versorgung von Verletzten in Gefahrenbereichen übernehmen. Eine solche Hochrisikozone ist im militärischen Kontext bei feindlichem Feuer oder auf Minenfeldern gegeben. Vergleichbare Szenarien sind aber auch bei einer Geiselnahme oder einem terroristischen Anschlag nicht auszuschließen. Eine ähnliche Gefährdung ist beispielsweise bei freiwerdender radioaktiver Strahlung, beim Austritt von giftigen Substanzen, aber auch in einsturzgefährdeten Strukturen wie Gruben und Tunnel gegeben.

**Ad-hoc-Kommunikationsnetze**

Innerhalb von Gebäuden, in ausgedehnten Industrieanlagen mit hohem Metallanteil sowie in größeren Gruben und Tunnelanlagen ist die drahtlose Kommunikation problematisch. Insbesondere Kommunikationskanäle mit größerer Bandbreite, die beispielsweise die Übertragung von Bildern aus Gefahrenbereichen ermöglichen würden, sind häufig nicht möglich. Mittels UAVs beziehungsweise UGVs, die autonom Relaisstationen im Gebäude verteilen oder selbst als solche dienen, kann ein funktionsfähiges adaptives Kommunikationsnetz für die Einsatzkräfte aufgebaut werden. Der dafür benötigte Autonomiegrad ist schon heute einsetzbar.

|                     | Positive Eigenschaften                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Negative Eigenschaften                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Interne Perspektive | <b>STÄRKEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Modernste Technologien und Know-how zur Entwicklung spezialisierter autonomer Systeme vorhanden</li><li>→ Forschungsinfrastruktur und innovative Unternehmen vorhanden, die Systeme zur Produktreife bringen können</li><li>→ Ingenieurskapazitäten und Know-how für Bau und Vermarktung innovativer sicherer Systeme vorhanden</li></ul> | <b>SCHWÄCHEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Erfahrungen nur auf einzelnen Gebieten vorhanden, z. B. im Vergleich mit den USA</li></ul>                                                                                                                                                                                            |
| Externe Perspektive | <b>CHANCEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Reduktion der Gefahren für Einsatzkräfte</li><li>→ Freistellung von Personal für andere Aufgaben; besonders bei Berücksichtigung der demografischen Entwicklung wichtig</li><li>→ Weltweiter Markt/Bedarf für derartige Systeme ist vorhanden</li></ul>                                                                                   | <b>RISIKEN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>→ Rechtliche Lage für Einsätze ist unklar</li><li>→ Gesellschaftliche Akzeptanz wegen offensichtlichem Dual-Use-Potenzial</li><li>→ Verletzung von Menschen/Einsatzkräften ist nicht auszuschließen – u. U. heftige Reaktionen der Öffentlichkeit bis hin zu Verbotsforderungen</li></ul> |

**Tabelle 18:**  
SWOT-Analyse bezüglich  
Verwendung autonomer  
Systeme für Sondereinsätze  
in Deutschland

6.2.5 RÜCKBAU

Der Rückbau großtechnischer Anlagen umfasst beispielsweise in Kernkraftwerken Bereiche, die von Menschen wegen der Strahlenbelastung nicht betreten werden können. Hier wird seit Jahren erfolgreich ferngesteuerte Technik zur Zerlegung der inneren Einbauten eingesetzt. In weiteren Bereichen der Anlage stellt das Bestreben zur Belastungsreduzierung des eingesetzten Personals einen wesentlichen Motivationsaspekt für den Einsatz von Robotertechnik dar. Für Arbeiten bei ionisierender Strahlung ist das ALARA-Prinzip (As Low As Reasonable Achievable) zu beachten. Dieses fordert, beim Umgang mit ionisierenden Strahlen eine Strahlenbelastung von Menschen (auch unterhalb von Grenzwerten) so gering zu halten, wie dies mit vernünftigen Mitteln machbar ist.



Die Summe der Strahlenbelastung aller am Rückbau beteiligten Kräfte wird als Kollektivdosis bezeichnet. Diese Kollektivdosis könnte in Deutschland zukünftig ansteigen, da durch die Energiewende weitere kerntechnische Anlagen unter Einhaltung des Strahlenschutzes zu zerlegen, zu dekontaminieren und zu konditionieren sind. Durch verstärkten Einsatz von Robotertechnik in Form ferngesteuerter, automatisierter oder autonomer Systeme bietet sich die Möglichkeit, die Beseitigung der Anlagen mit einer deutlich geringeren Kollektivdosis umzusetzen als beim handwerklichen Vorgehen.

Abgeschlossene und laufende Rückbauprojekte belegen den erfolgreichen Einsatz ferngesteuerter Systeme, speziell zur Beseitigung von Kerneinbauten. Der Automatisierungsgrad oder Autonomiegrad ist allerdings sehr niedrig. Alle Operationen werden kameraunterstützt von einem Leitstand ausgeführt. Durch diese MMI ist die direkte Einbindung des menschlichen Entscheiders in alle Abläufe gewährleistet.

Aufbauend auf diese in Deutschland sehr vielfältig vorhandenen Erfahrungen aus dem fernhantierten Rückbau bieten sich Chancen für eine Weiterentwicklung der Verfahren durch Automatisierung von Vorgängen und Entwicklung autonomer Prozesse. Als Einsatzfelder für diese Technik sind alle Rückbauschritte von der Zerlegung der inneren Kerneinbauten bis zur Beseitigung von Betonstrukturen (bei der vielfach das Inkorporationsrisiko für Personal eine Rolle spielt) zu nennen.

Es werden Roboter mit boden- oder krangebundenen Trägersystemen benötigt, die vielfältigen Werkzeugeinsatz und für spezielle Anwendungen auch Unterwasserbetrieb erlauben. Speziell die abtragende Dekontamination großer Beton- oder Stahloberflächen könnte gut mit (teil-)autonomen Systemen bewerkstelligt werden.

**Abbildung 24:**  
Einsatz autonomer Systeme  
für den Rückbau von  
Kernkraftwerken (Quelle:  
Innovationslandkarte InnoZ).



Mobile autonome Systeme mit entsprechenden Sensoren könnten eigenständig Vermessung, Kartierung und 3D-Modellierung (zur Verwertung der Werkstücke) vornehmen. Dies gilt sowohl für Orte, an denen auch Menschen arbeiten können, als auch für zu stark kontaminierte Teile der Industrieanlage. Zusammen mit dem Menschen ergeben sich hier wieder Teamstrukturen zur Durchführung einer solchen Rückbaumaßnahme.

Ein wesentlicher Aspekt beim robotischen Rückbau ist in den erweiterten Fähigkeiten beim kraftgeführten Greifen und der beidarmigen Manipulation zu sehen. In diesen Bereichen sind wichtige Fortschritte bezüglich der Hardware erreicht worden. Diese sind jedoch zurzeit noch nicht ausreichend, um komplexe und feinfühligere Arbeiten ausführen zu können. So sind weitere Entwicklungen, insbesondere im Bereich der Hardware (Mechatronik) in Bezug auf Miniaturisierung, Sensorausstattung und „embedded“-Regelung und -Steuerung, unabdingbare Voraussetzungen, um mobile Systeme im Rückbau sinnvoll einsetzen zu können. Gleichzeitig ist hier ein wichtiger Schnittpunkt zum Thema Mensch-Maschine-Kooperation (MMK) zu erkennen, da diese komplexen Robotersysteme in vielen Fällen der Mensch, zum Beispiel durch den Einsatz von Roboteranzügen (Exoskeletten), mit Tastsinn (haptischem Feedback) steuern wird und nur teilweise oder überwachte Autonomie von den Systemen gefordert ist.

|                     | Positive Eigenschaften                                                                                                                                                                                                                                                             | Negative Eigenschaften                                                                                                                                                                                            |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Interne Perspektive | <div>STÄRKEN</div> <div>→ Viel Erfahrung auf dem Gebiet Rückbau<br/>→ Effektivität steigerbar, da mehrere Systeme gleichzeitig arbeiten können und bei Problemen selbstständig Entscheidungen treffen<br/>→ Robotersysteme sind robuster gegenüber Gefahren aus der Umgebung</div> | <div>SCHWÄCHEN</div> <div>→ Kurze Einsatzzeiten der Systeme wegen eingeschränkter Energieversorgung<br/>→ Systeme entscheiden nur nach technischen Kriterien – ethische Aspekte werden nicht berücksichtigt</div> |
| Externe Perspektive | <div>CHANCEN</div> <div>→ Weltweiter Markt/Bedarf für derartige Systeme ist vorhanden<br/>→ Gefährdung für den Menschen wird minimiert</div>                                                                                                                                       | <div>RISIKEN</div> <div>→ Fehlentscheidungen der Systeme können<br/>– zu Totalverlust der Systeme führen<br/>– die Umwelt beeinträchtigen</div>                                                                   |

**Tabelle 19:**  
SWOT-Analyse bezüglich Einsatz autonomer Systeme für den Rückbau in Deutschland



Fazit: Basierend auf den in Deutschland vorliegenden Erfahrungen aus der Kerntechnik bieten Weiterentwicklungen automatisierter oder autonomer Systeme für menschenfeindliche Umgebungen weltweit die Möglichkeit der Erschließung neuer Märkte. Die Langzeitaufgabe der Aufbereitung und Lagerung radioaktiver Stoffe bietet ebenso Einsatzfelder wie kontaminierte Anlagen der chemischen Industrie.

## 6.3 Wissenschaftlicher/technologischer Stand und Herausforderungen bei der Umsetzung

In den kommenden Jahren wird die Anzahl von ASimU signifikant zunehmen. Um ihren Nutzen zu maximieren und Risiken zu minimieren, müssen wissenschaftliche und technische Herausforderungen gemeistert werden, die auch für andere Klassen von autonomen Systemen relevant sind und in dem Kapitel 7 erörtert werden. Für ASimU ergeben sich dazu noch einige spezifische Herausforderungen, die im Folgenden erläutert werden.

### WISSENSCHAFTLICHER STAND UND BESTEHENDE HERAUSFORDERUNGEN

Deutschland ist im internationalen Vergleich auf mehreren Forschungsgebieten, die für unterschiedliche Klassen der autonomen Systeme relevant sind, bestens aufgestellt. Bezüglich des Einsatzes von autonomen Systemen in menschenfeindlichen Umgebungen ist Deutschland mit den folgenden Spezialgebieten im internationalen Vergleich sehr gut aufgestellt:

- Roboterkinematiken für Unterwasserroboter sowie unbemannte Flugsysteme
- intuitive, assistierte, robuste Teleoperation

Allerdings besteht in mehreren für ASimU wichtigen Forschungsgebieten in Deutschland, aber auch in anderen Ländern, Nachholbedarf:

**Langzeitautonomie und Autonomie in unstrukturierten Umgebungen:** Bei mobilen Systemen betrifft dies unter anderem die autonome Mobilität in schwierigen Einsatzlagen (Off-road, Planetenforschung, Katastrophengebiete etc.), bei Manipulatoren sind vor allem die Objekterkennung, Greifplanung und Motion Control in unstrukturierten menschenfeindlichen Umgebungen (zum Beispiel unter Wasser) zu nennen.

**Einsatz heterogener autonomer Systeme und hybrider Teams:** Umgebungserkundung mit mehreren Systemen und Koordination von autonomen Mehrrobotersystemen, wie zum Beispiel Multi-UAVs, Multi-UGVs sowie integrierte Multi-UAV-UGVs. Teams aus mehreren heterogenen Agenten (Menschen und Maschinen) sind unzureichend erforscht. Defizite gibt es bei der dynamischen Aufgabenverteilung, der multimodalen Mensch-Maschine- und Maschine-Maschine-Kommunikation und -Interaktion.

**Schreit- und Laufkinematiken:** Bei der Entwicklung von Schreit- und Laufkinematiken, die in bestimmten menschenfeindlichen Umgebungen vorteilhaft sein können, liegt Deutschland im Vergleich zu Playern, wie zum Beispiel Boston Dynamics/USA, zurück.

Insgesamt lassen sich die Betrachtungen des wissenschaftlichen Forschungsstandes in folgenden Herausforderungen zusammenfassen:

- Interaktion und Kooperation heterogener autonomer Systeme: Der gemeinsame Einsatz von Wasser-, Land- und Luftsystemen und in Form von hybriden Teams mit Menschen, insbesondere, wenn Menschen Gefahren oder Stress ausgesetzt sind
- Kontrolle der benötigten Infrastruktur: Notwendigkeit autonomer Systeme in menschenfeindlichen Umgebungen, ihre Infrastruktur wie Kommunikations-Transmitter, Navigations- und Positionierungsknoten, Energiespeicher etc. kontrollieren zu können (zum Beispiel Subsea Resident Systems)

#### TECHNOLOGISCHER STAND UND BESTEHENDE HERAUSFORDERUNGEN

Zum Einsatz vernetzter UAVs und UGVs zwecks Detektion, Prävention und Bekämpfung im Rahmen der Gefahrenabwehr gibt es derzeit keinen allgemeinen Standard und keine etablierten Produkte, die diese Bereiche unterstützen. Sowohl in Deutschland als auch in den benachbarten EU-Staaten wird ein teilweise technisch antiquierter Katastrophenschutz betrieben. Nach aktueller Kenntnis sind keine unbemannten Systeme im regelmäßigen und flächendeckenden Einsatz unterwegs. Bei Unterwassersystemen ist die Situation etwas besser.

Bei den Lösungen im Marktsegment „Unbemannte Systeme“ handelt es sich in Bezug auf den zivilen Bevölkerungs- und Katastrophenschutz sowie auf die konventionelle Gefahrenabwehr eher um Nischenprodukte, die sich in schwankender Weiterentwicklung befinden.

**Kommunikationssysteme:** Diverse Kommunikationstechnologien finden bei den verfügbaren Produkten bereits Anwendung, sind aber von massentauglich einsetzbaren Systemen noch zu weit entfernt. Eingesetzt werden bis dato nahezu ausschließlich GPS-Systeme und dedizierte Punkt-zu-Punkt-Funkverbindungen.

Derzeit existieren weder eigene Frequenzbänder noch eine besondere Kategorie/Technologie für die sichere und reichweitenstarke Funkkommunikation zu zivil genutzten unbemannten Systemen (insbesondere UAVs). Es werden aktuell abermals verstärkt Bemühungen unternommen, solche Möglichkeiten in bestehenden Mobilfunknetzen zu schaffen. Gerade im Bereich „Gefahrenabwehr“ müssen autonome Systeme jedoch gegebenenfalls in völlig zerstörtem Gebiet operieren. Hier müsste dann sichergestellt sein, dass man solche Funknetze selbständig, schnell und mit moderaten Kosten „aufspannen“ kann.



**Kooperative autonome Systeme und Schwarmverhalten:** Kooperatives Verhalten oder gar „intelligentes“ Schwarmverhalten von unbemannten Systemen ist im zivilen Bereich lediglich prototypenhaft entwickelt. Komplexere Mission-Control-Systeme sowie Datenverarbeitungsketten sind nur in stark individueller Form, auf einzelne Speziallösungen hin zugeschnitten, vorhanden. Infrastrukturen wie Lande- und Wartungssysteme gibt es keine. Dahingegen existieren etliche Indoor-Forschungsprojekte, die fast ausschließlich unter idealisierten Bedingungen Machbarkeiten demonstrieren.

**Nutzlasten:** Derzeit beschränkt sich die Mehrzahl aller Nutzlasten auf bildgebende Sensorik. Multisensorsysteme sind dennoch weiterhin stark gefordert, da sie den Nutzwert pro Stunde erhöhen und durch die zeitlich präzise Korrelation aller Messdaten ein wesentlich aussagekräftigeres Lagebild beschaffen können.

Auch das automatisierte Aufnehmen, Ablegen und Wechseln von Nutzlasten beziehungsweise von Arbeitsgeräten von Drohnen wird vernachlässigt. Ihre Ausstattung mit Manipulatoren zur Befähigung als echte „Arbeitsdrohne“ fehlt fast vollständig.

**Motorentechnologie:** In kleineren UAVs kommen fast ausschließlich elektrische, bürstenlose Außenläufermotoren zum Einsatz – ein Marktsegment, das in den Anfängen begriffen und heute eher in der Kategorie Modellbau zu finden ist –, oder aber in Leistungsklassen, die für ein Fluggerät bis 25 Kilogramm viel zu klein (zum Beispiel CD-Laufwerk, elektrische Zahnbürste etc.) oder viel zu groß sind (zum Beispiel Drehmaschinen, Belüftungs- und Ventilationstechnik). Für größere Systeme wie UGVs oder Unterwassersysteme sieht die Situation besser aus.

**Akkumulatoren:** Was für einen breiten, professionellen Einsatz, insbesondere von UAVs, nach wie vor fehlt, sind hochkapazitive, sichere und schnelladefähige (in wenigen Minuten) Akkumulatoren (kurz: Akkus). Höhere Kapazitäten und damit höhere Einsatzzeiten und ein schnelleres Vollladen sind seit Jahren die Anforderungen seitens professioneller Nutzung im Katastrophenschutz sowie im behördlichen Bereich der Gefahrenabwehr. Dafür wird ebenfalls seit Jahren auf Lithium-Ionen-Zellen zurückgegriffen. Diese werden fast ausnahmslos in China produziert. Japan, Süd-Korea, USA und Israel sind ebenso mit massentauglichen Produkten am Markt vertreten. Die Abwesenheit von Deutschland in diesem Technologiesektor kriert heute, aber in der Zukunft sicher noch viel stärker, empfindliche Abhängigkeiten. Der Einkauf von hochqualitativen Zellen erweist sich schon heute als nicht ganz einfach (zumindest für kleine und mittelständische Unternehmen).

**Faserverbundstoffe:** Die Entwicklung und Fertigung von Flugzeugzellen und Strukturteilen sind zentrale Aufgabenbereiche jedes Fluggeräteherstellers. So ist auch für UAVs ein ausgeprägter Leichtbau aller Strukturteile die Voraussetzung für ein effizientes und wettbewerbsfähiges Einsatzgerät. Dabei ist gleichzeitig zu der geringen Masse eine überdurchschnittliche Festigkeit und Steifigkeit der Materialien von wesentlicher Bedeutung. Daher werden fast ausschließlich Kohlefaser-Verbundstoffe eingesetzt, die hier als herausragender Werkstoff den Spagat zwischen diesen Anforderungen erfüllen können. Parallel zu dem weiteren Ausbau der Akkutechnologie mit dem Ziel, die Einsatz- und Flugzeiten zu erhöhen, ist es wichtig,

neue Materialien (Nanotechnologien etc.) zu erforschen, um das Strukturgewicht weiter senken und die Nutzlastfähigkeit und/oder die Flugzeit im Verhältnis zum Eigengewicht weiter steigern zu können.

Insgesamt lassen sich die Betrachtungen des technologischen Fortschritts in folgenden Anforderungen zusammenfassen:

- Miniaturisierung: Reduzierung von Gewicht und Energieverbrauch
- Erreichen der Marktreife: Entwicklung von serienreifen, kleinen und günstigen UAVs, UGVs und AUVs (autonomen Unterwasserfahrzeugen)
- Spezielle Materialien und Komponenten für ASimU: druckfeste Auftriebsschäume für die Tiefsee, leichte und robuste Materialien (wie Kohlenfaserstoffe), leichte strahlungsschirmende Materialien, druckfeste, robuste Hochleistungsbatterien etc.
- Optimierung der Energieversorgung: Entwicklung von Energie-Harvesting-Technologien für abgesetzte Systeme

## 6.4 Detaillierte Handlungsempfehlungen menschenfeindliche Umgebungen

Die Märkte für den Einsatz autonomer Systeme in menschenfeindlichen Umgebungen wie dem Welt-raum, zu Luft, zu Wasser und zu Lande wachsen und bieten für Deutschland viele Chancen. Forschungsinstitute und Unternehmen weltweit entwickeln sehr dynamisch neue Anwendungsideen, Technologien, Produkte und Geschäftsmodelle. Deutschland hat wissenschaftlich und technologisch eine gute Ausgangsposition, um in diesen Zukunftsmärkten erfolgreich zu sein. Die hohe Dynamik der entsprechenden Fachszenen erfordert ein schnelles und entschlossenes strategisches Handeln sowie gute Rahmenbedingungen, um die Herausforderungen zu meistern. Weil die zu bewältigenden wissenschaftlichen und technologischen Probleme enorm komplex sind, sind langfristige Förderinstrumente zu bevorzugen.

- Einrichtung und Förderung von Innovationslaboren in Deutschland für autonome Systeme im Welt-raum, unter Wasser, zu Land und in der Luft zur Erlangung von technologischem Vorsprung, einschlägiger Technologieführerschaft sowie früher Markteroberung (Einrichtung von Innovationslaboren in Gang gesetzt<sup>34</sup>).



- Langfristige Fördermaßnahmen für Kompetenzzentren und Innovationslabore insbesondere für folgende Domänen:
  - Navigation und Kommunikation in menschenfeindlichen Umgebungen
    - Probleme: Lokalisierung, Kartierung, Informationsaustausch in Umgebungen ohne technische Infrastruktur
    - Umgebungen: unter Wasser, in Gebäuden, Tunneln, Zwischen- und Endlagern etc.
  - Sensoren und Verfahren zur Umgebungswahrnehmung unter Extrembedingungen in menschenfeindlichen Umgebungen
    - Probleme: multisensorielle Erfassung, Fusion und Verifizierung
    - Umgebungen: hoher Druck, Hitze, Rauch, schlechte Sicht, Radioaktivität etc.
  - Simulation menschenfeindlicher Umgebungen mit standardisierten Schnittstellen
    - Probleme: Testen und Zertifizierung autonomer Systeme (auch ihrer Interaktion mit Menschen) in diversen Umgebungen und Situationen
    - Umgebungen: alle menschenfeindlichen Umgebungen
- Gezielte Förderprogramme für Entwicklung marktreifer autonomer Systeme für kritische Bereiche, die wegen des kleinen nationalen Marktvolumens nicht über marktgetriebene Investitionen der Industrie finanziert werden, wie zum Beispiel Rettungssysteme, Roboter für den Einsatz in radioaktiven Umgebungen etc., um internationale Märkte zu bedienen – unter anderem in Ländern, die solche Systeme häufig brauchen, aber keine technologischen Voraussetzungen für ihre Herstellung haben.

## 7. TECHNOLOGISCHE WEGBEREITER

### 7.1 Technologische Einbettung autonomer Systeme

Autonome Systeme können komplexe Aufgaben in einer bestimmten Anwendungsdomäne selbstständig lösen. Ein System wird als autonom bezeichnet, wenn es ohne jegliche Fernsteuerung ein ihm von einem Betreiber ohne detaillierten Handlungsplan vorgegebenes Ziel selbstständig und situationsadaptiv erreichen kann. Dabei wird die Umgebung über Sensoren wahrgenommen, ein angemessener Handlungsplan situationsgerecht generiert und über die Aktoren des autonomen Systems ausgeführt. Aus den Nutzungsszenarien der Anwendungsbereiche kann ein genereller Basisablauf autonomer Systeme abgeleitet werden, der konzeptionell die folgenden Schritte umfasst:

- Über die Sensorik wird der Zustand der relevanten Umgebung analysiert
- Durch Selbstregulation werden die Beobachtungen ausgewertet, Schlussfolgerungen gezogen, maschinelle Lernprozesse angestoßen und Handlungspläne berechnet, um die Ziele des autonomen Systems zu erreichen
- Schließlich werden die Handlungspläne über die Aktorik ausgeführt und damit der Zustand der Umgebung in Richtung auf eine Zielerreichung geändert
- In weiteren Iterationen wird dann der Zustand der Umgebung erneut analysiert und so lange weiter transformiert, bis schließlich alle Ziele des autonomen Systems erreicht sind

Die technologischen Grundlagen für (teil-)autonome Systeme entwickelten sich in den vergangenen Jahrzehnten parallel zu den Anforderungen aus den verschiedensten Bereichen, wie zum Beispiel von der Industrieautomatisierung über Komfortausstattungen in Fahrzeugen bis hin zur Steuerung von Raumfahrtssystemen. Zentrale technologische Bausteine wie Sensorik, Lernen, das Ziehen von Schlussfolgerungen und daraus folgende Aktionen haben in den letzten Jahren einen Technologiestand erreicht, der in den bekannten Bereichen wie Industrie 4.0 oder Digitale Assistenten bereits zu marktreifen Produkten geführt haben.

Autonome Systeme sind eingebettet in eine Vielzahl von Entwicklungen, die den Kontext und die Infrastruktur für eine erfolgreiche Umsetzung bilden (siehe Abbildung 25). Die Arbeiten an diesen Technologien sind nicht Teil des Kerns bei der Entwicklung autonomer Systeme, sondern werden in anderen Forschungs- und Umsetzungsgremien behandelt. Sie überschneiden und befruchten sich jedoch gegenseitig mit den Arbeiten bei der Entwicklung autonomer Systeme.

Die Basis bildet eine Infrastruktur für die Vernetzung mit minimaler Latenz und Ultrakonnektivität gemäß 5G, die ein taktiles Internet auf Mobilfunkbasis mit kurzen Reaktionszeiten und hoher Zuverlässigkeit garantiert. Die verteilte Verarbeitung, die On- und/oder Offboard für komplexe Berechnungen erfolgen kann, erfordert die Einbeziehung der neuesten Ergebnisse aus dem Bereich des Cloud-/Edge-Computing, die die 5G-Infrastruktur benötigen. Handeln autonome Systeme im öffentlichen Raum, sind hochauflösende



Karten lokal oder in der Cloud notwendig, die über die reine Topologie aktuelle Ereignisse mithilfe von 5G in Realzeit dynamisch einbauen und auch umgehend wieder entfernen, sobald diese nicht mehr relevant sind.

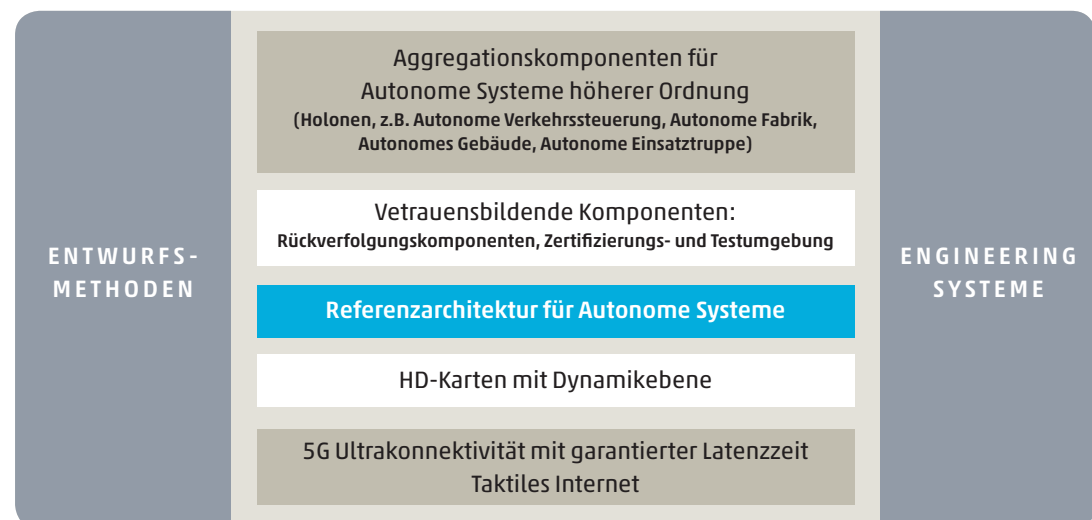
Bei der Interaktion mit Menschen oder in Kontexten, in denen eine Kooperation mit Menschen vorgesehen ist, sind Fragen der Mensch-Autonome-Systeme-Interaktion zentral. Die aktuelle Forschung aus den Bereichen der MMI bildet hier das Hintergrundwissen, auf dem die Arbeiten im Bereich Kommunikation und Kollaboration aufbauen.

Um die Entwicklung und Umsetzung schnell, vertrauenswürdig und sicher zu gewährleisten, sind die aktuellen Ergebnisse aus den Bereichen des Systems Engineering zu berücksichtigen, wie zum Beispiel Entwicklung und IT-Betrieb (DevOps) und IT-Sicherheits-Technologien. Jenseits eines technologischen autonomen Kernsystems sind auch vertrauensbildende Maßnahmen für die Akzeptanz und Sicherheit autonomer Systeme notwendig, das heißt die Etablierung der Rückverfolgbarkeit von Entscheidungen der Systeme, aber auch Simulation, Zertifizierungs- und Testumgebungen für die Entwicklung.

Neben diesen Schlüsseltechnologien können eine Vielzahl weiterer genannt werden, wie zum Beispiel die Entwicklungen in der Sensorik oder bei der autonomen Energieversorgung. Bei der konkreten Umsetzung autonomer System in reale Systeme wird der Technik- und Forschungskontext aus den angrenzenden Fachgebieten immer aufgabenbezogen berücksichtigt werden.

Auch in den verschiedenen Anwendungsbereichen wurde auf einige dieser Technologien Bezug genommen. Dies zeigt, dass autonome Systeme unabdingbar in den Kontext der weiteren Entwicklung in verschiedensten High-Tech-Bereichen eingebettet sind.

**Abbildung 25:**  
Technologische Einbettung  
autonomer Systeme (Quelle:  
DFKI).



## 7.2 Technologische Zielmerkmale autonomer Systeme

Die Bausteine autonomer Systeme können als physische Module oder als Softwaremodule realisiert werden. Mehrere autonome Systeme können zusammen wieder ein autonomes System höherer Ordnung bilden, sodass sogenannte autonome Holonen als Systeme von Systemen entstehen. Bezüglich der zeitlichen Dimension unterscheidet man Kurzzeitautonomie und die anspruchsvollere Langzeitautonomie, die eine persistente Zielerreichung auch über einen langen Zeitraum von einem Tag bis mehreren Monaten (zum Beispiel Weltraumrobotik) ermöglicht. In Einsatzsituationen, die einen häufigeren Transfer der Kontrolle an einen menschlichen Agenten erforderlich machen, sind Zwischenstufen der Autonomie des betrachteten Systems möglich, sodass auch von Semi-Autonomie gesprochen werden kann.

In Deutschland wurden bereits Schlüsselkonzepte autonomer Systeme und international konkurrenzfähige Technologiebausteine erarbeitet. Diese technologischen Wegbereiter gilt es, im Rahmen einer umfassenden Referenzarchitektur für autonome Systeme weiterzuentwickeln, damit Deutschland Leitanwender, aber auch Leitanbieter autonomer Systeme für wichtige Innovationsfelder wird. Außerdem müssen Softwarewerkzeuge für den systematischen Entwurf, die Implementierung, den Test, die Zertifizierung, die Sicherheit und die Wartung autonomer Systeme entwickelt werden. Eine Referenzarchitektur ist aber auch immer in einem Gesamtzusammenhang eines Ökosystems zu bewerten – einem offenen Ökosystem für autonome Systeme. Eine beispielhafte Einbettung ist in Abbildung 25 dargestellt.

Da autonomen Systeme unterschiedlicher Granularität zukünftig stark untereinander verbunden handeln werden, sind Aggregationsmechanismen, zum Beispiel für die Kaskadierung autonomer Systeme höherer Ordnung, zu berücksichtigen beziehungsweise weiterzuentwickeln. Flankiert werden diese einzelnen Ebenen einer Einbettung autonomer Systeme in ein Gesamtbild durch geeignete Entwurfsmethoden und Engineering Systeme, um die steigende Komplexität der entstehenden Gesamtsysteme ingenieurmäßig beherrschen zu können.

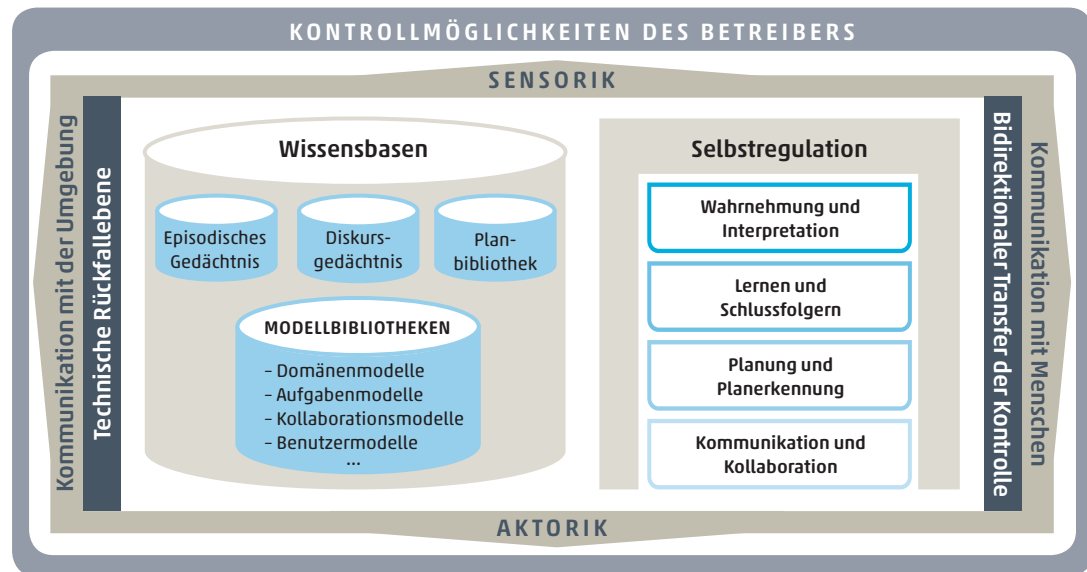
## 7.3 Referenzarchitektur und Basiskomponenten

Durch die Integration von Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) in Sensorsysteme, mechatronische Systeme, Softwaresysteme und Automatisierungssysteme ergibt sich ein enormes Wertschöpfungspotenzial für den Einsatz autonomer Systeme. In intensiver Abstimmung zwischen Wissenschaft und Industrie wurde ein Entwurf für eine Referenzarchitektur erarbeitet, der die drei wesentlichen Komponenten autonomer Systeme Sensorik, Selbstregulation und Aktorik fokussiert (siehe Abbildung 26). Sie nimmt insbesondere die Anforderungen auf, die in den Anwendungsbereichen der vorangegangenen Kapitel genannt wurden und stellt sie in einer einheitlichen Architektur dar. Dabei ist ein normativer Rahmen erforderlich, der die menschliche Kontrolle jederzeit sicherstellt.



Operationalisiert wird dies durch eine effiziente, zuverlässige und sichere Kommunikation, Interaktion und Kollaboration zwischen Menschen, autonomen Systemen und ihrer Umgebung. Dabei müssen sich die autonomen Systeme deutlich stärker dem Menschen in seinem Kommunikationsverhalten anpassen als umgekehrt. Die Übergabe der Kontrolle vom und zum Menschen ist unabdingbar und muss berücksichtigt werden. Im Problemfall kann das System nicht aus einem einfachen Not-Aus bestehen, sondern eine Übergabe muss geregelt und kontrolliert verlaufen. Dazu müssen geeignete Methoden für den bidirektionalen Transfer der Kontrolle entwickelt werden. Autonome Systeme müssen bei Nichtbeherrschung von Vorfällen oder gegebenenfalls auch für die Zeit der Kontrollübergabe eine technische Rückfallebene implementieren, die vom autonomen zum herkömmlichen Betrieb umschalten kann (fail-safe), in dem die Zusatzfunktionen der autonomen Systeme wegfallen. Ein Kontrollverlust oder eine abrupte Übergabe muss verhindert werden.

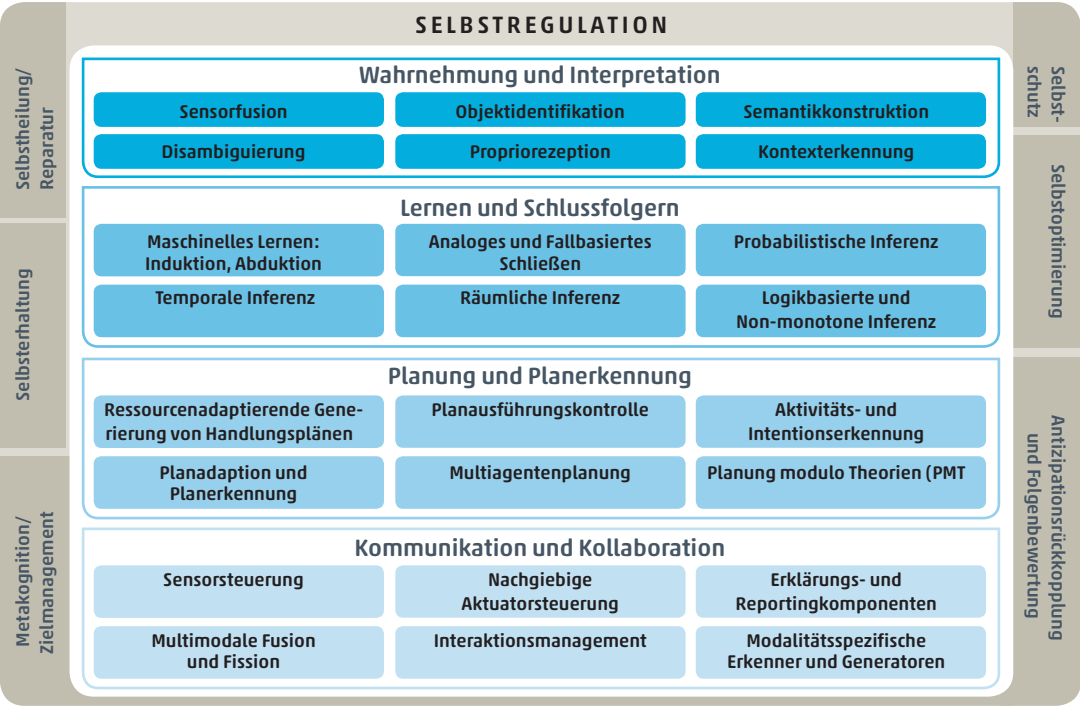
**Abbildung 26:**  
Referenzarchitektur für  
autonome Systeme (Quelle:  
DFKI).



Um komplexe Aufgaben lösen zu können, müssen autonome Systeme selbstständig und situationsabhängig einen Handlungsplan entwerfen, der das vom Menschen vorgegebene Hauptziel ohne Fernsteuerung und weitere menschliche Hilfe erreicht. Dazu müssen alle Sensorsignale des autonomen Systems intelligent kombiniert und interpretiert werden, um ein möglichst präzises Umgebungsmodell für die zielorientierte Steuerung der Aktorik zu erhalten. Neben dem Maschinellen Lernen spielen dafür auch Verfahren des räumlichzeitlichen Schließens in Echtzeit eine entscheidende Rolle. Dies ist besonders wichtig, wenn unerwartete Probleme bei der automatisierten Planausführung auftreten und eine kurzfristige Umplanung erfordern. Mobile autonome Systeme müssen zum Beispiel ihre Ziele auch in Situationen verfolgen können,

in denen nur unsichere, vage und unvollständige Umgebungsinformationen vorliegen und eigene Ressourcen wie Energie oder Zeit begrenzt sind. Daher müssen in den technologischen Grundbausteinen der Referenzarchitektur auch probabilistische und entscheidungstheoretische Modelle zum Einsatz kommen.

Die deutsche Forschung ist führend im Bereich der KI, insbesondere auf den Gebieten der maschinellen Wissensrepräsentation, der Lern-, Inferenz- und Planungsverfahren sowie der Benutzermodellierung, und hat entscheidende wissenschaftliche Grundlagen für autonome Systeme gelegt. Nun müssen generische Bausteine erstellt werden, die ausgereifte Basiskomponenten der Referenzarchitektur für die rasche Entwicklung zuverlässiger autonomer Systeme über eine Softwareplattform möglichst lizenzfrei und quelloffen zur Verfügung stellen. Abbildung 27 kategorisiert diese Bausteine in einer Verfeinerung der Basisarchitektur aus Abbildung 26.



**Abbildung 27:** Technologische Bausteine der Referenzarchitektur für autonome Systeme (Quelle: DFKI).

Allen autonomen Systemen gemein ist die automatisierte Modellbildung zum Aufbau und zur stetigen Anpassung ihrer Wissensbasen. Diese müssen nicht nur einmalig akquiriert, sondern während der gesamten Lebensdauer eines autonomen Systems immer wieder adaptiert, korrigiert und erweitert werden. Dabei spielt neben dem Maschinellen Lernen auch das fallbasierte und analoge Schließen eine wichtige Rolle.



Die technologischen Bausteine der Ebene für Wahrnehmung und Interpretation zeigen die wesentlichen Bausteine der Erkennung über Sensoren, der Objekterkennung, der Konstruktion bedeutungstragender, semantischer Einheiten, aber auch die Erkennung des Eigenzustands (Propriorezeption) in der Welt. Ein zentrales Merkmal von autonomen Systemen ist das Lernen und Schlussfolgern aus den Sensoriksignalen und daraus abgeleiteten höheren semantischen Einheiten. Die verschiedensten Forschungsansätze und Technologien dieses Bereichs unterliegen mit dem Einsatz von Deep-Learning und Big-Data derzeit der höchsten Aufmerksamkeit und Dynamik. Planung und Planerkennung wurden besonders in Deutschland tiefgehend untersucht und sind für erklärungsfähige und rationale Agenten unabdingbar. Aus den Aktionsbeschreibungen dieser Ebene wird in der Schicht der Kommunikation und Kollaboration (siehe Abbildung 27) die Interaktion mit der Umwelt angestoßen, sowohl explizit physikalisch über die Steuerung von Aktoren und Sensoren als auch durch die Kommunikation mit der Umwelt, die letztendlich für gemeinsames Verhalten (und Arbeiten) unumgänglich ist.

Mit diesen Bausteinen wird die Selbstregulation des autonomen Agenten ermöglicht. Zu den Eigenschaften, die damit umgesetzt werden können, gehören auch der Selbstschutz, Selbsterhaltung und Selbstheilung sowie die Selbstoptimierung des autonomen Systems. Die autonome Folgenbewertung der Aktionen des Systems ist eine der Grundlagen hierfür, ebenso wie autonome Metakognition/Zielmanagement, die die theoretischen und praktischen Möglichkeiten der Selbstreflektion des autonomen Systems über seine Handlungen in der Welt erfordern.

Zielorientierung, Adaptivität und Verlässlichkeit gehören zu den definierenden Merkmalen autonomer Systeme, ohne die ein praktischer Einsatz nicht sinnvoll ist. Darüber hinaus weisen autonome Systeme zahlreiche Merkmale intelligenten Verhaltens auf:

- Selbsterklärungsfähigkeit: Das System kann seine Handlungsentscheidungen gegenüber einem Menschen in verständlicher, rationaler Weise erklären
- Fehlertoleranz und Resilienz: Das System kann auch bei Funktionsstörungen seiner Komponenten seine Aufgaben zumindest partiell erfüllen
- Selbstlernfähigkeit: Das System kann ohne Hilfe von außen, rein aufgrund umfangreicher Erfahrungsdaten und Beobachtungen, seine Wissensbasis ergänzen, wobei auch das Lernen an wenigen Beispielen möglich werden muss
- Kooperativität: Das System kann mit anderen autonomen Systemen oder Menschen in seiner Umgebung im Team zusammenwirken, um gemeinsame Ziele zu erreichen
- Proaktivität: Das System kann vorausschauend agieren und bei seiner Handlungsplanung die zu erwartenden Ereignisse und das Verhalten anderer Akteure in seiner Umgebung antizipieren

Bei autonomen Systemen, seien es physische Module oder reine Softwaremodule, stellt die Dauer des angestrebten autonomen Verhaltens eine wichtige Dimension zur Einordnung der Systeme dar. Besonders die Langzeitautonomie erfordert den Einsatz von standardisierten Werkzeugen zur Soft- und Hardwareentwicklung. Dazu muss auf Ingenieursdisziplinen zurückgegriffen werden, die neue Entwurfs- und Modellierungstechniken für den Test, die Zertifizierung, die Sicherheit und die Wartung autonomer Sys-

teme bereitstellen können. Der Austausch von gespeichertem Wissen über sehr lange Zeiträume ist nur möglich, wenn gemeinsame Sprachen zur Wissensrepräsentation und Sensorschnittstellen definiert werden, die über Subsysteme unterschiedlicher Hersteller hinweg eingehalten und benutzt werden.

Es sind aber auch noch erhebliche Forschungsanstrengungen auf der Software- und Hardwareebene sowie in den Kognitionswissenschaften notwendig, um nur annähernd menschenähnliche Alltagsintelligenz für autonomes Systemverhalten in den wirtschaftlich und gesellschaftlich erstrebenswerten Anwendungsbereichen zu ermöglichen. Um die gesellschaftliche Akzeptanz autonomer Systeme zu sichern und das Gefühl eines möglichen Kontrollverlustes zu vermeiden, müssen Methoden zur Selbstverifikation, Selbsterklärung und Selbstheilung sowie zur rechtzeitigen und angemessenen Übergabe der Kontrolle an den Betreiber weiter perfektioniert werden.

Entsprechende Maßnahmen und notwendige Förderprogramme, die sich aus diesen Herausforderungen ableiten lassen, werden im Rahmen der übergreifenden Handlungsempfehlungen detailliert ausformuliert (siehe Seite 20).

## 7.4 Wesentliche Grundfunktionalitäten technologischer Wegbereiter

Die Abbildung 27 gruppiert technologische Bausteine, die für die Funktionalität autonomer Agenten zentral sind. Im Folgenden werden einige dieser Bausteine näher betrachtet.

### 7.4.1 LERNEN

Das Maschinelle Lernen als Teilgebiet der KI beschäftigt sich mit den Algorithmen, durch die ein Computer die zur Lösung vorgegebener Entscheidungs- und Bewertungsprobleme notwendigen Strukturen erfassen und später auf einen Anwendungsfall anwenden kann. Dies kann vollständig autonom oder mit entsprechender Datenaufbereitung erfolgen.

Traditionelle Verfahren wie Bayes-Klassifizierer, Support Vector Machines und Entscheidungsbäume erfordern ein tiefgehendes Verständnis der Eingabedaten auf Merkmalsebene. Hierbei werden durch Expertinnen und Experten zunächst Merkmale verglichen und selektiert sowie entsprechend gefiltert und aufbereitet. Neuere Verfahren wie Convolutional Neural Networks/Deep Learning übertragen den Prozess der Merkmalsselektion ebenfalls an die Maschine. Convolutional Neural Networks stellen die algorithmische Grundmethode dar, Recurrent Neural Networks sind speziell für die Erkennung von dynamischen Datenströmen (Zeitreihen) geeignet. Vorteile von Deep-Learning-Methoden sind eine häufig bessere Erkennungsleistung und die Handhabung sehr komplexer Entscheidungsprobleme, zum Beispiel bei der Bildererkennung. Einschränkungen sind die großen benötigten Datenmengen und die erforderliche Rechenleistung.



#### 7.4.2 PLANEN UND PLANERKENNUNG

Bei dem Thema Handlungsplanung/Planen gilt es, gegeben eine Anfangs- und eine Zielspezifikation, die Folge von Aktionen zu ermitteln, um vom Anfang zum Ziel zu gelangen. Dabei können die einzelnen Aktionen stark voneinander abhängen. Hingegen handelt es sich bei Planerkennungungsverfahren um die Umkehrung der eben beschriebenen Vorgehensweise: Gegeben eine Anfangssituation und eine Folge beobachteter Aktionen gilt es, die Zielspezifikation zu finden. Handlungsplanung als eines der ältesten Teilgebiete der KI befasst sich mit der automatischen Auswahl zielgerichteter Aktionen in autonomen (oder weitgehend autonomen) Systemen. Der Ansatz ist modellbasiert, das heißt, das System verfügt über ein Modell – eine formale Beschreibung – der Welt, des derzeitigen („Initial“) Weltzustandes, der verfügbaren Aktionen, einer Zielbedingung sowie gegebenenfalls Randbedingungen wie Ressourcenverbrauch, Deadlines, Sicherheitsanforderungen etc. Anhand des Modells simuliert der Planungsalgorithmus (der „Planer“) die möglichen Entwicklungen und findet eine adäquate Handlungsstrategie. Ganz allgemein formuliert, durchsuchen Planungsalgorithmen den Raum möglicher Handlungsstrategien. Aufgrund seiner kombinatorischen Natur ist dieser Raum exponentiell groß („state space explosion“). Entscheidend für Praktikabilität sind daher Algorithmen, die irrelevante Bereiche dieses Raumes herausfiltern und so die Suche auf die kritischen Aspekte konzentrieren. Die erfolgreichste Methode hierfür ist die heuristische Suche, welche die Exploration des Suchraumes mittels einer heuristischen Funktion steuert, das heißt einer Funktion, die den Zielabstand von Suchzuständen schätzt.

Die Sicherheit, Nachhaltigkeit sowie die juristischen Aspekte autonomen Verhaltens können durch formale Planungsverfahren, im Unterschied zu rein lernbasierten Verfahren, aufgrund der (post-hoc) Analysierbarkeit sowie der (pre-hoc/design-time) Kontrollierbarkeit der getroffenen/zu treffenden Entscheidungen deutlich gesteigert werden. Dies erscheint im autonomen Fahren geradezu unerlässlich. Die Flexibilität von Planungsverfahren – welche im generellsten Fall arbiträre Planungsprobleme lösen können – bietet sich an für die (teilweise oder hochgradige) Automatisierung flexibler Produktionsprozesse mit dynamisch auftretenden Anforderungen.

#### 7.4.3 SEMANTISCHE TECHNOLOGIEN, ONTOLOGIEN UND WISSENSREPRÄSENTATION

Wissensrepräsentation als Erfassung, Strukturierung und Formalisierung von explizitem und implizitem Wissen ist ein essenzieller Prozess für die Gestaltung von wissensbasierten Systemen. Darauf aufbauend können Inferenzen und Verarbeitung von Wissen zur Problemlösung durchgeführt werden. Damit das verfügbare Wissen nicht nur für Menschen, sondern auch für Maschinen interpretierbar wird, müssen mithilfe semantischer Technologien Möglichkeiten zur Anreicherung von Informationen mit einer Bedeutung geschaffen werden. Den Kern der semantischen Technologie bilden Markierungssprachen, die eine formale Syntax und Semantik haben und in Form einer Ontologie eine standardisierte Begrifflichkeit zur Beschreibung digitaler Inhalte bereitstellen. Dabei realisieren Ontologien – im Sinne einer formalen, expliziten Spezifikation einer gemeinsam genutzten Konzeptualisierung – fachlich ausgerichtete Kategoriensysteme für maschinelle Verfahren zur Bedeutungsverarbeitung. Für die weitere Verarbeitung

lässt sich das mit einer Ontologie dargestellte Faktenwissen für weitergehende Schlussfolgerungsprozesse durch ergänzende Ableitungsregeln noch zusätzlich anreichern.

Eine grundsätzliche Schwierigkeit ergibt sich im Kontext autonomer Systeme aus der strukturellen und semantischen Heterogenität von Informationsquellen, was die Datenintegration zu einem hochkomplexen Anwendungsproblem macht. Der Einsatz von Wissensmodellen (Ontologien) für die Datenintegration erlaubt eine neutrale Darstellung von Domänenstrukturen, die explizite Darstellung von Annahmen und eine kontinuierliche Konsistenzprüfung. Ontologien sind ein wichtiges Instrument, um Interoperabilität sicherzustellen.

#### 7.4.4 TECHNOLOGIEN DES SCHLUSSFOLGERNS

Intelligentes Verhalten setzt die Fähigkeit voraus, logische Schlüsse zu ziehen (Reasoning). So kann aus bestehendem Wissen neues Wissen generiert werden. Die daraus resultierenden automatischen Inferenz- oder Deduktionskomponenten spielen in nahezu allen Systemen der KI eine zentrale Rolle. Reasoning umfasst eine Vielzahl von Teilmethoden, die aus der mathematischen Logik hervorgegangen sind. Description Logic (DL) zum Beispiel ist eine Familie von Logik-Repräsentationssprachen, die für das Semantische Web verwendet werden. Die wichtigsten Standards werden vom W3C entwickelt, OWL für die Definition von Ontologien (dem Vokabular), RDF und seine Varianten für den Markup und die Verlinkung von Dokumenten, SPARQL als die Standard-Anfragesprache für RDF sowie RIF und OWL RL zum Darstellen und Verarbeiten von Inferenzregeln. Constraint Reasoning wird klassisch auf „Constraint-Satisfaction“-Probleme angewandt, die Constraints (Beschränkungen) über eine Menge von Variablen beschreiben, zu denen eine Lösung durch korrekte Belegung der Variablen gesucht wird. Für Anwendungen in autonomen Systemen werden Aspekte wie Parallelisierung, Logiken mit Unschärfe/Unsicherheit, besonders großen Problemmengen und approximativen Lösungen relevant. Für autonome Systeme kommen besonders Verfahren aus dem Constraint Reasoning sowie Abduktion und Induktion in Betracht, um die komplexen Entscheidungsprobleme zu lösen. Insbesondere die Modellbildung bei der Abduktion erleichtert die Erklärbarkeit der Schlüsse durch den Bezug auf ein konkretes Modell, das über rein numerische Daten hinausgeht. Viele der Verfahren sind seit Jahrzehnten in der Anwendung und gut erprobt. Die Herausforderungen liegen zum einen in der formalen Kodierung der Probleme und zum anderen in der Effizienz der Lösungsalgorithmen bei sehr großen Datenmengen. Daher muss jeweils Aufwand und Nutzen individuell abgeschätzt werden.

#### 7.4.5 COMPUTER VISION

Dreidimensionale Perzeption ist eine der Basisfähigkeiten, die für eine große Anzahl an mobilen autonomen Systemen benötigt wird, die außerhalb von Laborbedingungen eingesetzt werden. Dazu zählen zum Beispiel Selbstlokalisierung, Hinderniserkennung und Kartierung. Es stehen verschiedene Technologien zur Verfügung, unter denen die Bildverarbeitung in den letzten Jahren aufgrund von Fortschritten sowohl in den Sensortechnologien als auch bei der verfügbaren Rechenleistung eine Alternative zu



Ultraschall, Radar oder LIDAR-basierten Systemen bietet. Die Objekterkennung wird hierdurch als eines der wichtigsten Aspekte zum Beispiel beim autonomen Fahren ermöglicht. Die Technologie wird für die Erkennung von Verkehrsteilnehmenden (Autos, Radfahrern und Fußgängern), Verkehrsschildern, Ampeln und Straßenmarkierungen verwendet.

Die Objekterkennung ist einer der wichtigsten Aspekte mobiler autonomer Systeme, unter anderem beim autonomen Fahren. Dazu wurden unterschiedliche Methoden entwickelt, die überwiegend auf lernbasierende Ansätze zurückgreifen. Bei den lernbasierten Methoden wird ein Objekt anhand seiner Merkmale beschrieben, wobei Farbe-, Struktur oder Texturen-Information des Objekts genutzt werden können. Als Erkennungsmethoden werden unterschiedliche Lernverfahren angewendet, zum Beispiel Deep Convolution Networks, Decision Forest oder Linear und Non-Linear Kernel.

Da die Suche nach Objekten im ganzen Bild nicht effizient sein kann, kann der Suchraum bei der Objekterkennung reduziert werden. Entweder wird nur der Bereich durchgesucht, in dem das Objekt am wahrscheinlichsten auftreten kann, oder es wird eine Bildsegmentierung für die Extrahierung des interessierenden Bildbereichs (Region of Interest) verwendet. Signifikante Fortschritte sind vor allem durch den Einsatz aktueller Lernverfahren zu erwarten.

#### 7.4.6 AGENTENTECHNOLOGIE UND MULTIAGENTENSYSTEME

Mit der stärker werdenden Verbreitung des Internets und der Möglichkeit, KI-Anwendungen verteilt im Netzwerk interagieren zu lassen, entwickelten sich zunächst zwei Hauptströmungen: (i) verteiltes Problemlösen und (ii) Multiagentensysteme. Ersteres untersuchte, wie sich Probleme in einem verteilten System mit KI-Techniken lösen lassen. Im zweiten Fall stand die Untersuchung von emergenten Effekten im Vordergrund, also von Phänomenen, die sich nur schwer aus dem Verhalten der Einzelkomponenten ableiten lassen. Als gemeinschaftliches Dach hatte sich der Begriff verteilte KI (VKI) etabliert. Hinzu kommt, dass in vielen Fällen keine zentrale Kontrolle möglich oder erwünscht ist und dass Teilsysteme, die selbst KI-Technologien verwenden, miteinander kommunizieren müssen. In diesem Sinne ist Kommunikation einer der wesentlichsten Aspekte eines VKI-Systems.

Beim verteilten Problemlösen wird untersucht, wie zwei oder mehr solcher Problemlöser eine Lösung erarbeiten, wobei sie bei der Erarbeitung der Lösung miteinander kooperieren. Diese Kooperation kann in Form von Kommunikation geschehen (die Problemlöser unterstützen sich dabei durch Austausch von Informationen) oder durch Handlungen, die in der Umgebung einen Effekt haben. Die einzelnen Agenten verwenden meist in der KI übliche Planungstechniken, um ihre lokalen Aufgabenstellungen zu bearbeiten.

Für die meisten autonomen Systeme, insbesondere die autonomen Systeme höherer Ordnung, ist klar, dass es sich immer um verteilte Systeme handeln wird, in denen eine große Anzahl von Akteuren mal mehr mal weniger autonom agiert. Viele der bereits heute bekannten Ergebnisse aus den Gebieten Agententechnologien und Multiagentensysteme werden für diese Entwicklung relevant sein.

Im Hinblick auf die Kommunikation sind in erster Linie die FIPA-Standards als wichtiger Beitrag zu nennen. Die Standards beschreiben eine Infrastruktur, die es Agenten ermöglicht, strukturiert miteinander zu kommunizieren. Die reine Übertragung der Nachricht spielt dabei nur eine untergeordnete Rolle. Die Standards konzentrieren sich darauf, die Struktur der Nachrichten zu definieren, wobei sie zwischen Nachrichtenhülle und -inhalt unterscheiden. Auf Basis dieser Arbeiten lassen sich dann Agentensysteme entwickeln, in denen Agenten stellvertretend für natürliche oder juristische Personen miteinander in Verhandlung treten.

#### 7.4.7 INTERAKTION

Intelligente Interaktionstechnologien bilden das Herzstück vieler KI-Lösungen. Für intelligente Umgebungen wie Smart Home, Wearables oder sprachzentrierte persönliche Assistenten wie Siri, Alexa, Google Now, Cortana und andere ist das Interaktionsmanagement ausschlaggebend für den Erfolg. Diese Lösungen nehmen die Forschungsergebnisse aus einer Vielzahl von Bereichen wie natürliche Sprachdialogsysteme, Mensch-Computer-Interaktion (Human-Computer-Interaction/ HCI) und User Experience (UX, deutsch: Nutzererlebnis) auf. Für autonome Agenten, die mit Menschen zusammenarbeiten, besteht absolute Notwendigkeit, den Benutzerinnen und Benutzern das bestmögliche Interaktionserlebnis zu bieten. Kommerziell verfügbare Lösungen wie die erwähnten Assistenten verlassen sich auf vorab geskriptete Dialogflüsse, die die Fähigkeiten – zum Beispiel "Skills" für Alexa – der Benutzerinteraktion definieren.

Diese Technologie zur Interaktionskontrolle kommt auch in den meisten kommerziellen IVR-Systemen (Interactive Voice Response) zum Einsatz, die VoiceXML oder vergleichbare State-Chart-Technologien verwenden. Aktuelle Forschungstrends nutzen auch datengestützte Ansätze, um Interaktionsmanager aus im Netz verfügbaren Daten zu lernen. Um mit dem Menschen problemlos interagieren zu können, sollten eine multimodale und dialogbasierte Kommunikation, die alle Sinne des Menschen nutzt, und die Kohärenz sowie die Konversationsprinzipien zwischen menschlichen Kommunikationspartnerinnen und Kommunikationspartnern als Vorbild genutzt werden. Dabei kommen neben der gesprochenen Sprache Gestik, Mimik, Blick- und Kopfbewegungen bis hin zur Körpersprache zum Einsatz, die in einigen Anwendungen durch Gehirn-Computer-Schnittstellen (Brain-Computer-Interface/ BCI) ergänzt werden können und vor allem der Antizipation dienen. Zur Umsetzung ist hier neben der semantischen Fusion der einzelnen Modalitäten (typisch sind hier akustische, visuelle oder haptisch-taktile Informationen) und der wechselseitigen Auflösung von Mehrdeutigkeiten auch die Berücksichtigung des jeweiligen Kontexts entscheidend. Auch Verfahren aus dem Bereich der virtuellen, erweiterten und dualen Realität (VR-, AR- und DR-Technologien) werden für die menschliche Interaktion mit autonomen Systemen immer wichtiger. Da die User Experience der Interaktion über die Akzeptanz einer Lösung entscheidet, ist eine enge Zusammenarbeit mit UX-Spezialisten notwendig, um Lösungen mit realen Benutzerinnen und Benutzern in realistischen Szenarien mit autonomen Agenten iterativ zu entwickeln, zu testen, zu bewerten und zu verfeinern.



## 8. GESELLSCHAFTLICHE HERAUSFORDERUNGEN

### 8.1 Autonome Systeme im Kontext ethischer, rechtlicher und sozialer Implikationen

Gesellschaft verändert Technik und Technik verändert Gesellschaft: Mit dieser Kurzformel lässt sich zusammenfassen, dass technische Entwicklungen einerseits aus dem gesellschaftlichen Streben nach besseren Lebensbedingungen resultieren und andererseits zu – erhofften, aber auch unerwarteten oder gar unerwünschten – Veränderungen in unterschiedlichen Bereichen der Gesellschaft führen. Diese Ambivalenz wohnt jedem substanziellen technischen Wandel inne – sie gilt auch für autonome (technische) Systeme.

Autonome Systeme haben großes Potenzial für ein autonomes Leben. Autonom agierende Fahrzeuge beispielsweise unterstützen die Mobilität von Menschen, die körperliche oder kognitive Einschränkungen haben. Smart Homes ermöglichen es, langfristig selbstbestimmt im eigenen Zuhause zu leben. Das heißt, autonome Systeme können eine selbstbestimmte Lebensführung unterstützen, gerade auch unter erschwerten Bedingungen. Sie machen eine inklusive Gesellschaft möglich. Allerdings schränken sie zugleich die Entscheidungsautonomie ein. Denn wirklich autonom agiert ein System nur dann, wenn es keine echte Kontrollrückgabe an den Menschen gibt. Mehr autonome Lebensführung durch den Einsatz vollautonomer Systeme wird somit zu dem Preis erkaufte, auf einen Teil der eigenen Entscheidungsautonomie verzichten zu müssen: Darin liegt die Widersprüchlichkeit autonomer Systeme. Autonome Systeme bieten große Chancen, bergen aber auch Risiken: für den Einzelnen wie für die Gesellschaft.

Autonome Systeme werfen in ihren unterschiedlichen Anwendungsbereichen neben vielen noch zu lösenden technischen Fragen, die in den vorherigen Kapiteln erörtert wurden, auch zahlreiche nichttechnische Fragestellungen auf. Eine verbreitete Darstellungsform beschreibt diese als ethische, rechtliche und soziale Fragestellungen (im Englischen ELSI – Ethical, Legal and Social Issues). Dabei sind zwei Perspektiven sozio-technischer Entwicklungen zu berücksichtigen: Zum einen die gesellschaftlichen Kontexte, in die sich die technologischen Entwicklungen einfügen müssen, und zum anderen die Folgen, die sich für diese gesellschaftlichen Kontexte durch die technische Innovation ergeben. Die sich daraus ergebenden Probleme und Herausforderungen sind teilweise für alle autonomen Systeme gleich oder ähnlich wichtig, teilweise aber besser im jeweiligen Anwendungszusammenhang zu diskutieren. In vielen Fällen steht dabei die intensive wissenschaftliche Auseinandersetzung erst am Anfang; die Diskussion bleibt oft noch punktuell und skizzenhaft. In diesem Kapitel sollen einige der sich aus heutiger Sicht bereits abzeichnenden Spannungsfelder illustriert werden – vornehmlich entlang der für diesen Bericht ausgewählten Einsatzfelder autonomer Systeme, aber auch mit einigen übergreifenden Einsichten.

In der industriellen Produktion – als einem der wichtigsten Einsatzfelder autonomer Systeme – werden die neuen Lösungen vor allem in Gestalt neuer Robotergenerationen und intelligenter Produktionssysteme eingesetzt werden<sup>35</sup>. In Deutschland hat sich für diesen Entwicklungstrend der Begriff „Industrie

4.0" eingebürgert. Nach der Meinung vieler wird dieser Trend zu disruptiven Innovationen in den Produktionsabläufen sowie zur Entwicklung neuer Geschäftsmodelle führen. Kennzeichnend ist dabei die Entstehung von sogenannten „Cyber-Physical Systems“, durch welche die physikalische mit der digitalen Welt verschmilzt. Solche Systeme sind zunehmend global vernetzt und ermöglichen es, dass Produkte, Geräte und Objekte über enge Anwendungsgrenzen hinaus interagieren.

Autonome Systeme haben nicht nur disruptive Auswirkungen auf die Produktionsbedingungen im engeren Sinne, sondern auch auf die institutionelle Infrastruktur, in welche die eigentliche Produktion eingebettet ist. Hier sind vor allem das Rechtssystem und das deutsche Modell der Sozialpartnerschaft zu nennen. Wenn autonome Systeme angewendet werden, sind diese nicht nur mit allgemein-ethischen Fragen, sondern auch mit den gesellschaftlichen und moralischen Anforderungen in Einklang zu bringen. Darüber hinaus müssen sehr konkrete rechtliche Fragen beantwortet werden, um den Einsatz autonomer Systeme in der Produktion abzusichern. Dazu zählen, wie die digitalen Plattformen und Standards ausgestattet sind, aber auch Fragen des Datenschutzes, der Haftung, des Arbeits- und Verbraucherrechts sowie des geistigen Eigentums. Gerade der letztgenannte Fragenkreis kann jedoch mit Blick auf die Wettbewerbsposition Deutschlands nur sinnvoll beantwortet werden, wenn seine Einbettung in den internationalen Kontext angemessen berücksichtigt ist.

Autonome Fahrzeuge haben das Potenzial, nicht nur unsere Mobilität<sup>36</sup>, sondern auch unser Zusammenleben, den Arbeitsprozess und unser Zeitempfinden grundsätzlich zu verändern. Sie bieten Chancen, die Verkehrssicherheit zu erhöhen und die durch den Verkehr erzeugten Umweltbelastungen zu verringern. Es gibt aber auch vielfältige gesellschaftliche Herausforderungen: mögliche Cyberattacken und Sabotagen, Verlust der Datensouveränität der Nutzerinnen und Nutzer, aber auch unerwünschte Auswirkungen auf die Arbeitswelt, Umwelt und Verkehrssicherheit. Wünsche und Ängste werden die Akzeptanz autonomer Fahrzeuge stark beeinflussen. So kann gefühlter oder realer Verlust von Autonomie zu Widerstand führen, dem mit Konzepten entgegenzutreten ist, die weiterhin individuelle Entscheidungen ermöglichen. Autonomes Fahren verspricht die Ausweitung von Mobilitätsoptionen für nicht-fahrfähige oder nicht-fahrtaugliche Menschen (Ältere, Kinder, Sehbehinderte etc.). Neben diesen Inklusionspotenzialen ist auch Ausgrenzung durch preisliche oder digitale Zugangsbarrieren möglich. Ihren Entscheidungsspielraum und ihre Autonomie werden potenzielle Nutzerinnen und Nutzer von autonomen Fahrzeugen nur aufgeben, wenn die Vorteile des Systems halten, was sie versprechen und diese als allgemein gewünschter Mehrwert anerkannt werden.

Im Hinblick auf die Analyse der möglichen Folgen einer verbreiteten Einführung autonomer Fahrzeuge steht die Forschung noch relativ am Anfang. Die hierzu bereits begonnene Diskussion konzentriert sich bisher vor allem auf rechtliche Fragen im Umfeld der Markteinführung autonomer Systeme sowie auf ethische Fragen bei der Definition, dem Festlegen von Strukturen und der Bewertung von Folgen, die

35 Siehe Kapitel 3.

36 Siehe Kapitel 4.



durch Algorithmen entschieden werden. Darüber hinaus wird es zukünftig vor allem darum gehen müssen, technische Entwicklungen von autonomen Fahrzeugen in den Komplex des Mobilitätsverhaltens einzubinden. Gleiches gilt auch für die möglichen Erwartungen der Nutzerinnen und Nutzer. Zur breiten Umsetzung von autonomem Fahren und zur Erschließung seiner Potenziale ist das koordinierte Handeln sowohl auf der Angebotsseite (Fahrzeughersteller, Zulieferer, Infrastruktureigner etc.) als auch auf der Nachfrageseite (individuelle Eigentümer, Mobilitätsdienstleister, gewerbliche Nutzer, etc.) erforderlich. Parallel hierzu sind rechtliche Regelungen sowie Klarheit bei der Übernahme von Risiken (Versicherbarkeit) von autonomen Fahrzeugen zu schaffen. Mobilitätsverhalten wird vor allem durch eine Nachfragesituation geprägt, die selbst wiederum durch soziale Kontexte mit ihren unterschiedlichen Dynamiken und internen Rückkopplungen beeinflusst wird. Das macht entsprechende Forschungen anspruchsvoll, gleichzeitig aber auch attraktiv. Komfort-, Sicherheits- und Ressourcenaspekte werden die gesellschaftliche Debatte um die Einführung autonomer Fahrzeuge genauso prägen wie ethische Fragen der Übertragung von Entscheidungen auf Maschinen.

Mit dem Begriff „Smart Home“ ist der Einsatz von vernetzten Informations- und Kommunikationstechnologien in der häuslichen Umgebung und dem darüber hinausgehenden Wohnumfeld gemeint<sup>37</sup>. Diese Systeme sind grundsätzlich geeignet, Lebensqualität und Wohnkomfort zu steigern, die Sicherheit zu erhöhen und den Energieverbrauch zu senken. Die freiwerdende Zeit kann für andere Aufgaben oder das Leben in der Familie genutzt werden. Neben dem Beitrag zur Bekämpfung des Klimawandels bieten ressourceneffiziente Smart Homes auch die Chance, die mittelfristig steigende Belastung des Einzelnen durch Energiekosten zu reduzieren. Für bestimmte Personengruppen können auch Unterstützungsleistungen generiert werden, die über Komfortaspekte hinausgehen: Ältere und eingeschränkte Personen können durch technische Systeme länger selbstbestimmt und – zumindest für bestimmte Zeiträume – allein in ihrer vertrauten Umgebung wohnen. Darüber hinaus besteht die Chance, technische Systeme in bestimmte Pflege- und Betreuungsdienstleistungen einzubinden, in zunehmendem Umfang möglicherweise auch Teilaufgaben auf technische Systeme zu übertragen und damit menschliche Pflegekräfte zu entlasten und ihnen die Übernahme von anderen, anspruchsvolleren Aufgaben zu ermöglichen. Diesen grundsätzlich positiven Entwicklungen stehen neue gesellschaftliche Herausforderungen gegenüber. Die Themengebiete gleichen denen, die auch beim Einsatz anderer autonomer Systeme diskutiert werden; ihre Ausprägungen sind jedoch spezifisch. Das Smart Home als privater Bereich ist bisher wenig reguliert. Soweit zusätzlicher Regulierungsbedarf besteht, sollte dieser allerdings behutsam umgesetzt werden: Die Auswirkungen betreffen schließlich den sehr persönlichen bis intimen Bereich der Bewohner und ihrer Besucher.

Dieser Berichtsteil fokussiert auf den Einsatz autonomer Systeme in Produktion, Verkehr und der häuslichen Umgebung. Damit sind die Einsatzmöglichkeiten selbstverständlich nicht erschöpft, von menschenfeindlichen Umgebungen, über die Landwirtschaft, bis hin zu militärischen Verwendungen sind viele weitere Verwendungen autonomer Systeme möglich. Viele der hier diskutierten Fragestellungen gelten übergreifend, allerdings gibt es immer auch anwendungsspezifische Besonderheiten. Während der

Einsatz autonomer Systeme in menschenfeindlichen Umgebungen (zum Beispiel nach Störfällen) kaum ethischen Bedenken begegnen dürfte, ist dies im militärischen Bereich („Dual Use“) deutlich anders.

Den beschriebenen technischen Entwicklungen ist gemeinsam, dass sie wegen ihrer weitreichenden Folgen gesellschaftliche und individuelle Akzeptanz finden müssen. Technikakzeptanz ist ein in diesem Kontext gern bemühter Begriff, der allerdings in vielerlei Hinsicht zu pauschal ist. Zunächst ist zumindest zwischen einer empirisch-sozialwissenschaftlichen Perspektive („Wird eine bestimmte Technik akzeptiert werden?“) und einer philosophisch-ethischen Perspektive („Soll eine bestimmte Technik akzeptiert werden?“) zu unterscheiden. Darüber hinaus wird mit Akzeptanz oft die Erwartung verbunden, man könne Akzeptanzbedingungen empirisch erfassen (was schon für sich genommen, methodisch und interpretatorisch anspruchsvoll ist) und sie anschließend in Kriterien übersetzen, die in der weiteren Technikentwicklung Berücksichtigung finden sollen. Mit der Aufgabe an die Entwicklerinnen und Entwickler, Technik in einem so bestimmten Akzeptanzrahmen zu gestalten, geht nicht selten die Erwartung einher, dass solche Technik dann tatsächlich faktische Akzeptanz finden würde. Das mag – vor allem für schrittweise Verbesserungen – im Einzelfall auch funktionieren. Für die breite Einführung autonomer Systeme werden allerdings weitreichende Veränderungen in den jeweiligen Anwendungskontexten erwartet, weshalb eine akzeptanzorientierte Vorgehensweise unter anderem vor folgenden Herausforderungen steht:

- Empirische Verfahren bilden immer nur die gegenwärtige Akzeptanzsituation ab. Es wird über zukünftige Techniken in heutigen Kontexten, über „heutige Zukünfte“ gesprochen. Diese Kontexte wandeln sich dynamisch bis disruptiv, mithin kann sich die Situation infolge vielfältiger Prozesse auch wieder ändern – heutige Akzeptanz kann und wird zukünftige Technikkonflikte nicht grundsätzlich ausschließen und umgekehrt können heutige Bedenken aufgrund von begehrten Nutzungsoptionen in den Hintergrund treten.
- Technikakzeptanz ist zunächst ein individuelles Phänomen. Individuelle Präferenzen und Aversionen lassen sich in pluralistischen, mit einem breiten Spektrum von unterschiedlichen Werten ausgestatteten Gesellschaften aber nicht zu einem konsistenten Gesamtbild zusammenfassen, das unwidersprochen kollektiv handlungsleitend sein kann. Die zeitliche Instabilität und interpretatorische Flexibilität von Analysen der Akzeptanzsituation macht diese – zumindest bei vorhandener öffentlicher Aufmerksamkeit für die Thematik – zugänglich für politische und mediale Diskussion und Kontroversen, in deren Folge sich ebendiese Situation verändern kann. Vor allem diese selbstverstärkende Dynamik kann bei einem rein akzeptanzorientierten Vorgehen zu Unterbrechungen, unter anderem durch geringe Planungssicherheit und abnehmendes Verbrauchervertrauen, führen.

Diese Kritik ist nun allerdings nicht so zu verstehen, dass akzeptanzorientierte Entwicklungsansätze vollständig fehlgeleitet wären. Im Gegenteil – sie stellen wichtige Informationen für unternehmerische und politische Entscheidungsträger bereit und liefern Einsichten in wichtige Einflussfaktoren des Innovations- und Diffusionsgeschehens. Und doch können sie zwar Innovationsrisiken mindern, nicht jedoch garantieren, dass zukünftige Technikkonflikte mit Sicherheit ausbleiben werden. Entscheidend wird



daher auch sein, dass die Anwender autonomer Techniken ausreichendes Vertrauen in die Institutionen entwickeln, die mit der Regelung autonomer Systeme betraut sind.

Wie mit jedem technischen Wandel sind also auch mit der Einführung autonomer Systeme Chancen und Herausforderungen für unsere Gesellschaft und ihre Teilbereiche verbunden. Neben einzelnen Aspekten in den Bereichen Produktion, Verkehr und Smart Home lassen sich dabei auch übergreifende Fragestellungen autonomer Systeme herausarbeiten.

## 8.2 Gesellschaftliche Herausforderungen autonomer Systeme an Fallbeispielen

Für die Diskussion der gesellschaftlichen und rechtlichen Herausforderungen im Zuge der Einführung autonomer Systeme wurden narrative Referenzszenarien entwickelt, anhand derer rechtliche, ethische und gesellschaftliche Herausforderungen illustriert werden. Die Familie von Martha Müller führt dabei durch eine Welt voller autonomer Systeme, die sie auf vielfältige Weise unterstützen und betreffen<sup>38</sup>.

### 8.2.1 AUTONOME SYSTEME IN DER PRODUKTION

Die Digitalisierung und der Einsatz autonomer Systeme in der Produktion können zu weitgehenden Veränderungen führen:

- Produktionsprozesse werden flexibilisiert und optimiert. Die Maschinenauslastung ebenso wie die Herstellung an individuellen Kundenwünschen orientierter Produkte führt zu Produktionsbedingungen, in denen Größenvorteile eine zunehmend geringere Rolle spielen. Das Konzept der Fabrik im herkömmlichen Sinne sieht sich daher großen Veränderungen gegenüber.
- Es ist eine beträchtliche Senkung des Material- und Rohstoffverbrauchs möglich, der zu nachhaltigeren Formen der Produktion führen kann. Gleichzeitig werden die zunehmende Dichte und das zunehmende Volumen des Datenaustauschs und der Datenverarbeitung zu einem Mehrverbrauch an Energie führen.
- Die Arbeitsbedingungen können sich verbessern, vor allem durch mehr Zeitsouveränität und körperlich weniger anspruchsvolle Arbeit, die es gerade auch einer zunehmend älteren Arbeitnehmerschaft erlauben, alterns- und altersgerecht zu arbeiten und gesünder zu leben.

- Damit einher geht auch ein Trend zur Aufweichung traditioneller Wertschöpfungsketten, in denen die Unterscheidung zwischen Produktion, Service und Konsum undeutlicher wird. So wird neben dem Verkauf eines Produkts immer häufiger auch die Überwachung, Wartung und Reparatur über eine bestimmte Periode oder die gesamte Lebensdauer mit angeboten werden. Autonome Systeme selbst benötigen über ihre Lebensdauer hinweg Software-Updates, um sich neuen Gegebenheiten anzupassen.

Deshalb stellen sich vielfältige gesellschaftliche Fragen, wenn autonome Systeme in der Produktion etabliert werden. Die markantesten Fragen sind solche mit arbeitsmarktpolitischem Bezug: Fragen der Schaffung und des Erhalts von Arbeitsplätzen zur Steuerung von autonomen Systemen, arbeitsrechtliche Fragen, veränderte Anforderungen an die Sozialpartner sowie ethische Bewertungen.

**Maria, die älteste Tochter des Ehepaars Müller, arbeitet in einem Industrieunternehmen, das hochspezialisierte Bauteile herstellt. Sie überwacht insbesondere die Warenein- und -ausgänge. Aufgrund der Einführung autonomer Industrieroboter ist ihre Tätigkeit aber nicht mehr notwendig. Sie macht sich große Sorgen um ihren Arbeitsplatz und ob sie Chancen hat, mit ihren Qualifikationen in Zukunft im Unternehmen an anderer Stelle eingesetzt zu werden.**

Obwohl die vierte industrielle Revolution durch autonome Systeme noch nicht voll in unserer Wirtschafts- und Arbeitswelt angekommen ist, kann man schon heute absehen, dass an ihrem Ende eine völlig neue Form industrieller Produktion stehen wird. Menschen, Maschinen und Produkte werden über das Internet digital zu Mensch-Maschine-Assoziationen vernetzt. „Smarte Fabriken“ werden in dieser mittel- bis langfristigen Perspektive in der Lage sein, Produkte kosteneffizient und profitabel in sehr kleinen Losgrößen zu produzieren. Neue Technologien wie generative Fertigungsverfahren (beispielsweise der „3D-Druck“) werden zusätzliche Freiräume in der Produktion ermöglichen und zu einer Dezentralisierung der Massenfertigung beitragen. Teile der Produktion können an räumlich weit entfernte Standorte ausgelagert werden beziehungsweise einst ausgelagerte Produktionsstandorte können zurück nach Deutschland geholt werden. Ein Beispiel hierfür ist die sogenannte Speedfactory von Adidas in Ansbach, in der Schuhsohlen computergesteuert aus einem 3D-Drucker kommen und das Obermaterial des Schuhs von Robotern montiert wird. Ziel ist es, passgenaue, auf die einzelne Kundin und den einzelnen Kunden abgestimmte, hochqualitative Laufschuhe zu einem Preis herzustellen, der unterhalb der von arbeitsintensiven Niedriglohnfabriken im Ausland liegt. Das Beispiel von Adidas steht ikonisch für neue Geschäftsmodelle, die sich stärker auf einzelne Kundenwünsche, auf die Entwicklung von 3D-Vorlagen für den Druck oder die Herstellung komplexer „Multi-Material“-Produkte konzentrieren. Dies könnte ein zentraler Schlüssel für den Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands gegenüber Niedriglohnländern werden.

Allerdings bedeutet eine steigende Wettbewerbsfähigkeit nicht, dass keine arbeitsmarktpolitischen Probleme im Zusammenhang mit autonomen Systemen auftreten können. Im Hinblick auf die Beschäftigtenzahlen beziehungsweise die Entwicklung der Arbeitslosigkeit ist zunächst festzustellen, dass disruptive Innovationen auch in der Vergangenheit zu Strukturbrüchen geführt haben und Arbeitskräfte in



bestimmten Bereichen nicht mehr gebraucht wurden. Diese Arbeitskräfte konnten erst über Anpassungsprozesse wieder in den Arbeitsmarkt eingegliedert werden. Dampfmaschine, Eisenbahn, Auto, Agrochemie und Elektrizität sind nur einige Beispiele für diese Entwicklung. Im konkreten Einzelfall hängt es zudem davon ab, ob die Kostenersparnis in der Produktion mit einem positiven Einkommenseffekt bei den Konsumentinnen und Konsumenten verbunden ist, der zu einer überproportionalen Nachfrage nach den Gütern führt und auf diese Weise kompensatorisch mehr Arbeitskräfte nachgefragt werden.

Was jedoch den Fall autonomer Systeme in der Produktion von früheren Fällen disruptiver Innovationen unterscheidet, ist, dass die Rationalisierung über alle Branchen hinwegführt und den Arbeitskräfte abgebenden Branchen möglicherweise zu wenige Arbeitskräfte aufnehmende Branchen gegenüberstehen. Dieses Szenario kann noch dadurch verstärkt werden, dass autonome Systeme mit einem geringeren Kapitaleinsatz eine erhöhte Produktivität erzielen, zum Beispiel indem autonome Systeme von verschiedenen Nutzerinnen und Nutzern geteilt werden. So ist es möglich, dass autonome Fabrikanlagen von verschiedenen Firmen genutzt werden oder dass Produktionsmöglichkeiten nur nach Bedarf angemietet werden. Insofern ist die „Sharing Economy“ nicht nur auf die Sphäre des Konsums beschränkt, sondern findet auch Einzug in die Produktion. In diesem Szenario bedeutet der volkswirtschaftlich geringere Kapitaleinsatz, dass es auch zu einem geringeren Einsatz von Arbeitskräften zur Erstellung des Kapitals selbst kommt. Eine Möglichkeit, um diesem möglicherweise negativen Saldo auf dem Arbeitsmarkt zu begegnen, ist, die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands nicht nur auf den Endproduktmärkten durch den Einsatz autonomer Systeme im Inland weiter zu befördern, sondern auch die Wettbewerbsfähigkeit auf den Investitionsgütermärkten für autonome Systeme selbst zu unterstützen.

**Maria ist erleichtert: Gerade hat sie erfahren, dass ihr eine neue Stelle angeboten werden wird. Aufgrund ihrer technischen Expertise mit „klassischen“ Systemen und ihrer genauen Kenntnis der Abläufe in der Produktion soll sie in Zukunft die Ausbildung von technischen Berufen im Unternehmen koordinieren. Für sie ist das zunächst eine gute Nachricht, aber ganz sicher ist sie sich noch nicht, ob diese völlig andere Arbeit das Richtige für sie ist.**

Parallel zu den Umwälzungen auf dem Arbeitsmarkt, ausgelöst durch den breiten Einsatz autonomer Systeme in der Produktion, stellen sich bildungspolitische Aufgaben auf allen gesellschaftlichen Ebenen. Dazu gehört nicht nur Fachbildung im engeren Sinne, sondern auch die Akzeptanz und Inklusion autonomer Systeme am Arbeitsplatz, wenn beispielsweise in engen Mensch-Maschine-Assoziationen gearbeitet wird.

Studien zeigen, dass von möglichen Verdrängungseffekten auf dem Arbeitsmarkt keineswegs nur Berufe und Tätigkeiten mit niedrigem Qualifikationsniveau betroffen sein werden, sondern auch solche, die höhere Bildungsabschlüsse voraussetzen oder komplexere Anforderungsprofile erfüllen müssen. Das gilt insbesondere auch für Spezialistenberufe, die eine Meister- oder Techniker Ausbildung voraussetzen, und für Expertenberufe, für die ein Hochschul- oder Fachhochschulabschluss nötig ist. Es ist davon auszugehen, dass die Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt alle Berufe betreffen werden, die in Kontakt mit der Informationsverarbeitung stehen.

Auch wenn es momentan unsicher ist, wie sich im Einzelnen der Arbeitsmarkt vor dem Hintergrund der Verbreitung autonomer Systeme entwickeln wird, so ist doch mit einiger Sicherheit davon auszugehen, dass Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer in Zukunft in ihrem Berufsleben verstärkt mit autonomen Systemen umgehen müssen. Um die Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer der Zukunft gut darauf vorzubereiten, sind bereits in der Schule Grundlagen zu legen und Kinder zu „Digital Natives“ auszubilden. Auch im Bereich der Berufsqualifikation und der universitären Bildung werden Anpassungen im Hinblick auf ein Arbeitsleben in der Industrie 4.0 unumgänglich sein.

Erhebliche Unsicherheit besteht bei der Frage, welche Tätigkeiten und Qualifikationsanforderungen zukünftig an Bedeutung für den Erhalt von Arbeitsplätzen gewinnen. Vorausgesagt wird unter anderem eine Polarisierung auf dem Arbeitsmarkt, das heißt ein Auseinanderdriften in hoch- und niedrigqualifizierte Arbeit, während primär Berufe auf einem mittleren Qualifikationsniveau mit einem hohen Maß an Routinetätigkeiten – also Facharbeiterinnen und Facharbeiter – der fortschreitenden Automatisierung in der Industrie 4.0 zum Opfer fallen. Dem stehen Forschungsergebnisse entgegen, wie sie etwa von einem Team der Universität Hohenheim im Jahr 2015 vorgelegt wurden. Sie verdeutlichen, dass die Unterscheidung zwischen Routine- und Nicht-Routinetätigkeiten methodisch für Deutschland nicht greift. In einem von ihm entwickelten „Arbeitsvermögens-Index“ hat das Forschungsteam die Anforderungen an komplexes und mit vielen Unwägbarkeiten verbundenes Arbeiten erfasst, wie es die Industrie 4.0 kennzeichnet. Das Team kommt auf der Grundlage dieses qualitativen – nicht quantitativen – Ansatzes zu dem Schluss, dass insbesondere die für die Industrie 4.0 relevanten produktionsnahen Berufe in Deutschland überdurchschnittlich hohe Werte in dem Arbeitsvermögens-Index erreichen. Insbesondere mit ihrer stark ausgeprägten Fähigkeit zur Bewältigung von komplexen Aufgaben durch Wissen und Erfahrung, so eine zentrale Schlussfolgerung, seien auch die Facharbeiter-Belegschaften in Deutschland gut auf die Herausforderungen von Industrie 4.0 vorbereitet.

Trotz erheblicher prognostischer Unsicherheit spricht vieles dafür, dass sich mit der vierten industriellen Revolution in der Produktion erhebliche Veränderungen bei den Kernanforderungen an die Beschäftigten ergeben werden. Im Zentrum dieser Kernanforderungen werden künftig deutlich stärker Fähigkeiten kognitiver, sozialer wie persönlicher Art stehen, von der Fähigkeit zum Selbstlernen und zur Kreativität über grundlegende IT-Kenntnisse bis hin zu Systemdenken und der aktiven Gestaltung der Zusammenarbeit mit dem „Kollegen Roboter“. Dies bedeutet, dass über alle Branchen und Bereiche hinweg die mit Abstand wichtigste beschäftigungssichernde Strategie in mehr Weiterbildung und Qualifizierung für die Belegschaften besteht.

**Martha Müller arbeitet in einem Industrieunternehmen in der Produktion an der hochspezialisierten Montage von Bauteilen. Sie ist in den Betriebsrat gewählt worden. In ihrem Betrieb werden inzwischen fast durchgängig autonome Leichtbauroboter eingesetzt, die nicht mehr „im Käfig“ arbeiten, sondern an verschiedenen Stationen für die Bauteilmontage in kleinen Teams zusammen mit den dort tätigen Kolleginnen und Kollegen. Um die Unfallrisiken dieser engen Mensch-Maschine-Interaktion am Arbeitsplatz zu minimieren, tragen die Teammitglieder Blue Chips, mit denen ihre individuellen**



Beschäftigtenprofile direkt an den Roboter übermittelt werden, sodass dieser jeweils genau „weiß“, mit wem er gerade zusammenarbeitet. Diese Profile werden zwar bei jedem Teamwechsel gelöscht und durch neue ersetzt, allerdings ist dem Betriebsrat zu Ohren gekommen, dass die Roboter im laufenden Arbeitsprozess sekundengenaue Aktivitätsprotokolle der einzelnen Teammitglieder erstellen und dass der Arbeitgeber auf diese zugreifen kann. Damit steht die Möglichkeit einer lückenlosen Überwachung des individuellen Arbeitsverhaltens der in der Montage Beschäftigten im Raum. Nicht klar ist, ob die Erstellung der Protokolle Teil der Ausgangsprogrammierung der Montageroboter oder ob sie Teil eigenständigen maschinellen Lernens zur Minimierung des Unfallrisikos ist.

Jenseits der arbeitsmarktpolitischen Implikationen und der neuen Qualifizierungsanforderungen, die sich aus dem Einsatz autonomer Systeme in der Produktion ergeben, sehen sich das Arbeitsrecht ebenso wie die Sozialpartner auf betrieblicher und tarifvertraglicher Ebene mit zahlreichen neuen Anforderungen konfrontiert. Dies gilt in besonderem Maße für den kollektiven Interessenausgleich im Rahmen der betrieblichen Mitbestimmung. Gleichgültig, ob es sich um Fragen des Beschäftigtendatenschutzes, des Arbeits- und Gesundheitsschutzes oder um veränderte Qualifizierungsbedarfe und -angebote handelt – all diese Aspekte verändern sich radikal. Und all diese Aspekte sind mit der betrieblichen Mitbestimmung und den Partizipationsrechten der Beschäftigten eng verbunden.

### 8.2.2 AUTONOME SYSTEME IM VERKEHR

Autonome Pkw werden im Alltag wesentliche Vorteile mit sich bringen. Insbesondere ist davon auszugehen, dass sie die Verkehrssicherheit erhöhen und zu weniger Unfällen führen. Die Zeit im Fahrzeug kann sinnvoller genutzt werden als bisher und ein intelligenter Straßenverkehr führt zu geringerem Energieverbrauch und weniger Emissionen. Die Automatisierung von Fahraufgaben in Straßenfahrzeugen ist ein wahrscheinliches Szenario für die Einführung von autonomen Systemen, das auch im Alltag der Menschen schon in kurzer Zeit unmittelbar erlebbar sein wird. Vielen Entwicklerinnen und Entwicklern erscheint diese hochkomplexe Aufgabe im Zuge des technischen Wandels bei den Informations- und Kommunikationstechniken inzwischen beherrschbar. Als langfristiges Entwicklungsziel wird angestrebt, Fahrzeuge nicht nur umfassend zu automatisieren, sondern ihre Weiterentwicklung darauf auszurichten, dass sie tatsächlich zu autonomen Teilnehmenden am Verkehr werden können.

Erst mit tatsächlich autonomen fahrerlosen Pkw ist ein wirklicher Systembruch zu erwarten. Hochautomatisierung kann bei allen rechtlichen und anwendungsspezifischen Schwierigkeiten gesellschaftlich als Weiterentwicklung bekannter Assistenzsysteme akzeptiert werden. Mit dem „Autonomen Fahren“ werden dagegen eine Reihe von neuen Einsatzmöglichkeiten und Ausprägungen verbunden. Fahrzeughersteller, Unternehmen des öffentlichen Personenverkehrs und/oder neue Anbieter könnten zu Mobilitätsdienstleistern werden und Punkt-zu-Punkt-Transport mit sogenanntem Vehicle-on-Demand (VoD) anbieten. Der flächendeckende Einsatz von Shuttleservices würde die Menschen nicht nur von der Fahraufgabe entlasten, sondern auch von Wartung und Unterhalt der eigenen Fahrzeuge. In der Folge würden autonome Fahrzeuge im Individualbesitz vermutlich seltener. Die Besitzerinnen und Besitzer könnten

ihre autonomen Fahrzeuge in der nicht selbst genutzten Zeit zum Carsharing anbieten und damit Einnahmen generieren. Allerdings wären damit vielfältige Pflichten verbunden, die möglicherweise wiederum neue Dienstleistungen generieren könnten. Wenn Fahrzeugbesitzer zum Mobilitätsdienstleister, also Prosumer werden, gilt es, einen eindeutigen Rechtsrahmen zu schaffen, der Risiko und Haftung regelt und die Verbraucherinnen und Verbraucher nicht überfordert. Gleichzeitig muss eine zusätzliche soziale Spaltung zwischen Fahrzeugbesitzer und -nutzer vermieden werden. Um das Ziel, die Reduzierung negativer Folgen für Menschen und Umwelt durch motorisierten Individualverkehr, zu erreichen, könnten zeit-, strecken- und auslastungsabhängige Straßennutzungsgebühren in Städten eingeführt werden.

**Marthas Ehemann, Herr Müller, hat seinen autonomen Pkw auf der Abstellfläche vor einem öffentlichen Parkhaus abgestellt, steigt aus dem Fahrzeug und lässt die Fahrzeughür fallen. Über seine Smartwatch aktiviert er die Parkfunktion seines autonomen Pkw. Beim Einparken funktioniert das System aber nicht richtig, weswegen das Fahrzeug mit geringer Geschwindigkeit, aber ungebremst auf ein dort ebenfalls abgestelltes Fahrzeug fährt. Herr Müller kann nicht erkennen, wie und warum es zu dem Unfall kommen konnte.**

Die Einführung von autonomen Fahrzeugen in den allgemeinen Straßenverkehr bringt neben den beschriebenen Vorteilen auch Herausforderungen mit sich. Gerade die besondere Gefährdungssituation im Straßenverkehr lässt Fragen nach Haftungsverteilung und Sorgfaltspflichten beim autonomen Fahren in den Vordergrund treten. Mit der Autonomisierung des Pkw wird vermutlich der Anteil an Unfällen, der auf technisches Versagen zurückzuführen ist, steigen und der Anteil aufgrund menschlicher Fehler beim Fahren abnehmen. Insgesamt ist mit einer abnehmenden Anzahl an Unfällen zu rechnen. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie Hersteller und Entwickler am Haftungsausgleich zwischen Fahrern, Haltern und Versicherungen zu beteiligen sind. Das deutsche Haftpflichtsystem weist das Risiko für einen Unfall im Straßenverkehr in letzter Instanz der Halterin oder dem Halter des Pkw zu. Der Hintergrund für diese Regelung ist, dass das Halten beziehungsweise Betreiben eines Pkw eine Gefährdung darstellt, für die Halterin und Halter grundsätzlich – also auch ohne individuellen Verschuldensvorwurf – einzustehen haben. Zur Kompensation dieser Gefährdungshaftung und der erheblichen Schäden, die bei Unfällen im Straßenverkehr eintreten können, wird die Gefährdungshaftung der Halterin beziehungsweise des Halters von einer Versicherungspflicht flankiert. Der abstrakten Gefährlichkeit des Straßenverkehrs wird also Rechnung getragen, indem Unfälle über Halterhaftung und Versicherung letztlich auf alle Fahrzeughalter (solidarisch) umgelegt werden.

Ein vollständiges autonomes Fahrzeug im Straßenverkehr unterliegt jedoch anderen Einflussfaktoren. Das betrifft einerseits das Fahrzeug selbst, andererseits aber auch die notwendige Infrastruktur, insbesondere die telemetrischen Verbindungen. Bei Unfällen aufgrund technischer Fehler ist die verstärkte Einbeziehung der jeweiligen Hersteller oder Anbieter in das Haftungsregime naheliegend. Die Hersteller von autonomen Systemen im Straßenverkehr und ihren Unterstützungstechniken sollten zukünftig in das System der Haftungsverteilung im Straßenverkehr einbezogen werden. Das ist insbesondere auch deswegen zu fordern, weil davon auszugehen ist, dass sich das Verhältnis von Fahrzeugherstellern zu



Fahrzeugkäufern weiter in Richtung einer langfristigen Servicebeziehung entwickeln wird. Bereits heute endet die Verantwortlichkeit des Herstellers nicht bei der Übergabe des Pkw an die Halterin beziehungsweise an den Halter – denn es gilt: Bei Produktfehlern haftet grundsätzlich der Hersteller (Produkthaftungsrecht). Allerdings ist die Geltendmachung der Ansprüche schwierig und langwierig, da die Beweislast bei der Kundin oder dem Kunden liegt. Mit steigender Automatisierung müssen Fahrer und Halter deshalb aus der Verantwortung genommen werden. Eine Verschiebung weg von der Halterhaftung hin zu einer Herstellerhaftung ist naheliegend, indem beispielsweise den Geschädigten direkte Ansprüche gegenüber den Herstellern eingeräumt werden und/oder eine Umkehr der Beweislast bei autonomen Fahrzeugen zulasten des Herstellers eingeführt wird.

Neben dieser Überlegung ist auch eine Festlegung der von Herstellern und Entwicklern zu beachtenden Sorgfaltspflichten erforderlich. Bei grundlegenden technischen Neuerungen wie dem autonomen Fahren stellt sich immer wieder die Frage, welches Maß an Vorsicht Hersteller walten lassen müssen und wie weit das erlaubte Risiko reicht, ohne das ein technischer Fortschritt nicht möglich wäre. Beim Einsatz autonomer fahrerloser Pkw bereitet gerade die Steuerung von außen durch Manipulation oder Sabotage einer Mehrheit der Menschen große Sorgen<sup>39</sup>. Dieser Stand der Technik kann nicht ohne die Unterstützung der Automobilindustrie definiert werden. Vor allem aufgrund der besonders großen Veränderungen der Gefährdungssituationen im Straßenverkehr kann dieser aber auch nicht allein von der Automobilindustrie festgelegt werden. Vielmehr ist ein politischer Diskurs unter Beteiligung von Wissenschaft, Verbänden und Nutzern darüber erforderlich, welche Sicherheitsmechanismen autonome Pkw enthalten müssen. Es wird auch darum gehen, mit welcher institutionellen Verankerung behördliche Überwachung der Datenverwendung, die vertrauensvolle Verwaltung von Verkehrs- und Fahrzeugdaten sowie die Vermittlung von Daten an berechnete Dritte gewährleistet werden kann. Dazu müssen unter Umständen neue neutrale Instanzen geschaffen werden.

**Zurück von seinem Termin ist bereits ein Abschleppwagen vor Ort gewesen, der das Fahrzeug von Herrn Müller in die Werkstatt gefahren hat. Die dafür notwendigen Informationen hat das Fahrzeug autonom über einen Serviceprovider an den Autohersteller übermittelt. Herr Müller ist sauer auf sein Fahrzeug und geht davon aus, nicht den Schaden zu zahlen, der durch den Unfall seines „defekten“ Pkw entstanden ist.**

Als weiterer Aspekt kommt hinzu, dass schon heute Unfälle im Straßenverkehr häufig schwer rekonstruier- und beweisbar sind. Mit einer immer komplexeren Technik wird der Umfang möglicher Fehlerursachen noch einmal deutlich zunehmen. Um im Nachgang eines Unfalls die kausalen Ursachen für das schädigende Ereignis identifizieren zu können, ist eine umfangreiche Dokumentation der Entscheidungsprozesse im autonomen Pkw notwendig. Dies führt ganz automatisch zu Fragen des Datenschutzes. Nicht nur mit Blick auf den Wert der durch den Fahrvorgang anfallenden und in der Regel vom Hersteller erhobenen Daten rückt der Themenkomplex Dateneigentum in den Vordergrund. Fast alle Daten in Fahrzeu-

gen werden durch das Fahrverhalten oder die Fahrzeugnutzung beeinflusst und erlauben deshalb Rückschlüsse auf die persönlichen Lebensverhältnisse. Halter, Fahrer und Beifahrer müssen jederzeit die Mittel haben, ihr informationelles Selbstbestimmungsrecht wirksam durchzusetzen. Dabei geht es neben einer persönlichkeitsrechtlichen Verfügungsdimension über das Individuum betreffende Daten auch um eine Verteilung der ökonomischen Chancen der von autonomen Systemen hervorgerufenen Datenströme. Zuletzt sind die Daten erheblich, um in einer komplexen technischen Umgebung Kausalverläufe nachvollziehen und auch beweisen zu können. Gerade bei lernenden Systemen stellen sich hier besondere Herausforderungen, da der Zustand des Systems bei einem Schadensereignis sich vom Zustand bei Herstellung deutlich unterscheiden könnte. Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass die Fahrdaten zur automatisierten Feststellung von Ordnungswidrigkeiten genutzt werden. Die Digitalisierung der Mobilität sollte keinen Vorwand für eine flächendeckende Einführung automatisierter Kontrollen im Verkehrsbereich bieten. Auch muss der Fahrer und/oder Halter die Möglichkeit haben, sich nicht selbst zu belasten.

**Um einen beruflichen Erfolg zu feiern, haben Herr Müller und seine Frau Martha für eine Fahrt zu einem Restaurant ein Upgrade auf die Luxusklasse bei ihrem Mobilitätsanbieter gebucht. Gleich nach dem Besteigen hat das Glaskuppel-Fahrzeug Verbindung zu ihren mobilen Devices aufgenommen und die Innenraumausstattung ihrem persönlichen Geschmack angepasst. Ein Schachbrett mit der Figurenaufstellung ihrer letzten Partie baut sich auf. Musik passend zu der Stimmung der beiden erklingt. In der Hauptstadt sind nur noch autonom fahrende Fahrzeuge erlaubt. Wie auf einer Kette reißen sich die Vehikel aneinander und teilen sich wieder an Wegquerungen. In bester Stimmung erreichen die beiden das Restaurant.**

Das technisch-organisatorisch anspruchsvollste und in gewisser Weise komplexeste Systemkonzept autonomen Fahrens ist das des Vehicle-on-Demand (VoD, Automatisierungsstufe 5). Hierbei wird angenommen, dass der Fahrroboter das Fahrzeug sowohl mit als auch ohne Insassen und Fördergut in jeglicher Verkehrssituation autonom bewegt. Es ist nicht mehr vorgesehen, dass Insassen Teile einer Fahraufgabe übernehmen müssen – sie besitzen nur noch die Möglichkeit, das Fahrziel zu bestimmen und eine Art Not-Halt zu aktivieren. Dieser Anwendungsfall ist derjenige, der eine zentrale Entwicklungsvision autonomen Fahrens – die der erweiterten Teilhabe an individueller motorisierter Mobilität für bisher ausgeschlossene Nutzergruppen (wie beispielsweise Hochbetagte, Personen mit physischen und kognitiven Eignungsbeschränkungen oder Kinder und Jugendliche) – konsequent und nachfragegerecht umsetzen kann. Daneben ermöglicht dieser auch, die Funktionalitäten für viele essenziell neue Mobilitätsdienstleistungskonzepte, die den Verkehr ressourceneffizienter und umweltschonender werden lassen sollen, zur Verfügung zu stellen.

Eine in diesem Kontext immer wieder benannte Vorstellung ist die des Plattform-Dienstleisters, der eine Flotte autonomer Fahrzeuge betreibt und disponiert und auf diese Weise einen attraktiven Tür-zu-Tür-(Nah-)Verkehr im Stile fahrerloser Taxis anbieten kann. Die Fahrzeuge könnten über mobile Endgeräte (vor-)bestellt werden, die ebenfalls zur Authentifizierung dienen. Auch die gleichzeitige Benutzung durch mehrere Fahrgäste mit unterschiedlichen Fahrzielen ist denkbar. Solche Dienste würden die



Grenze zwischen privatem und öffentlichem Verkehr aufweichen und sowohl in Konkurrenz zu privaten Pkw als auch zum öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) und Taxen treten. Sie werden immer wieder als Entwicklungsziel von Unternehmen wie Google und Uber benannt.

Beispielsweise wird angeführt, dass eine verbreitete Nutzung von VoD-Diensten hoher Verfügbarkeit individuell unterhaltene Pkw zumindest in Ballungsräumen deutlich reduzieren könnte, auch könnte der ruhende Verkehr in Städten deutlich reduziert und somit ein Gewinn an Lebensqualität und eine Reduktion an Umweltbeeinträchtigungen generiert werden. Diesen Prognosen stehen unbekannte Wirkungen auf die Mobilitätsnachfrage insgesamt gegenüber – der vermutete Komfortgewinn und die Ausweitung der Nutzergruppen sind durchaus geeignet, zusätzliche Verkehrsleistung zu induzieren. Auch ist offen, wie sich Organisation und Wirtschaftlichkeit des „klassischen“ ÖPNV unter diesen Bedingungen in Zukunft gestalten würden. Es ist zu befürchten, dass unter dem Druck reduzierter Nachfrage nach ÖPNV-Angeboten diese teurer werden, in Umfang und Qualität reduziert werden müssen und/oder zusätzliche Unterstützung durch die öffentliche Hand erfordern.

Eine breite Abwendung vom „eigenen Auto“ hätte erhebliche wirtschaftliche Auswirkungen auf die Automobilindustrie. VoD dürften zwar intensiver genutzt werden als die heutigen privaten Fahrzeuge und somit schnellere Reinvestitionen erfordern. Es kann aber bezweifelt werden, dass dies die Effekte mangelnder Kaufbereitschaft für private Fahrzeuge aufwiegen wird. Über die Auswirkungen auf die auf das Automobil ausgerichteten Servicebereiche (unter anderem Werkstätten, Prüforganisationen, Zubehör) kann momentan nur spekuliert werden. Dies gilt auch für andere Arbeitsplatzeffekte: Einerseits wird es einen Rückgang des Bedarfs an Fahrern (für Taxis, gegebenenfalls auch ÖPNV-Fahrzeuge) geben, andererseits werden neue Mobilitätsdienstleister auch neue Stellen in unterschiedlichen Servicebereichen schaffen müssen (etwa in der Fahrzeugwartung und -reinigung sowie in der IT).

Als ähnlich ambivalent erweist sich die Diskussion von Fragen des Datenschutzes und der Datensicherheit. Die allgegenwärtige Datenverarbeitung, die kein Alleinstellungsmerkmal autonomer Systeme ist, birgt hier besondere Risiken. Gerade das Maß an Vernetzung, das angestrebt wird, erhebt die Fragen des Datenschutzes und der Datensicherheit bei autonomen Systemen zu einer quantitativ neuen Herausforderung. Das gilt insbesondere auch für den Bereich Verkehr, in dem von einer besonders hohen Vernetzung zwischen Fahrer, Kraftfahrzeug und Infrastruktur ausgegangen werden kann. So gewännen Anbieter von VoD-Mobilitätsdienstleistungen, insbesondere dann, wenn sie über eine starke Stellung im Markt verfügten, noch umfangreichere Kenntnisse über die Mobilitätsmuster ihrer Kunden und darüber hinaus über viele andere soziodemografische Merkmale – beispielsweise über Wohnort (als Schlagwort: wirtschaftliche Potenz), über Arbeits- beziehungsweise Ausbildungsstätten, über Zielwahlen (als Schlagwort: häufige Sozialkontakte), Tagesabläufe etc. Diese Daten lassen sich in vielfältiger Form verwenden – etwa zur langfristigen Verkehrsplanung oder zur Beeinflussung individuellen Mobilitätsverhaltens (etwa durch nachfrageabhängige Tarifierung) zwecks Reduktion von Verkehrsbelastungen in Spitzenzeiten, aber auch zur sozialen Kontrolle und Überwachung. Hier eine breit akzeptierte Balance zu finden, wird eine große Herausforderung für die Umsetzung solcher Dienste sein.

Schließlich ist der Anwendungsfall autonomer, das heißt eigenständig entscheidender und gegebenenfalls auch lernender Fahrzeuge, in besonderer Weise mit sozialen, ethischen und rechtlichen Fragestellungen verbunden. Zwar wird gemeinhin davon ausgegangen, dass durch autonome Fahrzeuge die Anzahl Getöteter und Verletzter im Straßenverkehr insgesamt deutlich verringert wird. Dennoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass in Zukunft auch autonome Fahrzeuge in Situationen gelangen werden, in denen alle möglichen Handlungsoptionen zu Schädigungen von Personen führen. Wie Fahrroboter in solchen Situationen „richtig“ oder „akzeptabel“ handeln sollten und könnten, ist Gegenstand laufender wissenschaftlicher und öffentlicher Debatten. Von Relevanz ist ferner die Frage, wie autonome Fahrzeuge in einem Mischverkehr mit nicht autonomen Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden interagieren, geht dieses doch über einfaches, Regeln befolgendes Verkehrsverhalten weit hinaus und wird fortwährend neu ausgehandelt. In dieses kommunikative Netzwerk treten autonome Fahrroboter als eigenständige Akteure ein – mit bisher kaum diskutierten Voraussetzungen und Erwartungen. Zu all diesen Punkten werden gesellschaftliche Diskussionen und gegebenenfalls legislatives Handeln notwendig werden.

**Auch für den Heimweg vom Restaurant benutzt das Ehepaar Müller ein autonomes Fahrzeug ihres Mobilitätsdienstleisters. Die Straßen sind zu dieser späten Stunde nur wenig frequentiert und da das autonome Fahrzeug mit den Ampeln entlang des Fahrweges kommuniziert, kommen sie zügig voran. Ganz plötzlich tritt ein – offensichtlich betrunkenen Mann – hinter einem geparkten Lkw auf die Straße. Die Sensorik des autonomen Fahrzeugs konnte ihn erst in dem Moment erkennen, als er auf die Straße trat. Auch gab es keine weiteren Fahrzeuge, die die Straße in entgegengesetzter Richtung befuhren und entsprechende Hinweise hätten geben können. Trotz Vollbremsung wäre ein Unfall nicht vermeidbar gewesen, weshalb das Fahrzeug auf die linke Fahrbahn ausweicht, weil es keinen Gegenverkehr erkennt. Dort kollidiert es in der schmalen Straße mit einem dort abgestellten Pkw. Martha erleidet durch die Wucht des Aufpralls Verletzungen; glücklicherweise alarmiert das Fahrzeug automatisch die Rettungsdienste, sodass in kurzer Zeit Hilfe eintrifft.**

Nicht vermeidbare Unfälle sind Dilemmata – „Zwickmühlen“ oder Zwangslagen –, in denen es keinen guten Ausweg gibt. Menschen handeln in diesen Situationen in Anbetracht der kurzen Zeit für eine willentliche Handlung intuitiv: Manche reißen das Steuer herum, andere nicht. Durch die Technik haben wir nun die Möglichkeit, auch in diesen Situationen eine Wahl zu treffen. Der Unfall ist unvermeidbar, das heißt, man würde gern das kleinste Übel wählen. Diese Entscheidung müsste im Algorithmus des autonomen Fahrzeugs eingebaut sein. Und in konkreten Unfallsituationen kann mit diesen Entscheidungen auch verbunden sein, dass das Fahrzeug entscheidet, welcher Person bei dem Unfall ein möglicher Schaden zugefügt wird. Gerade diese Ex-ante-Festlegung wird vermutlich zu Akzeptanzproblemen führen. Unabhängig davon, dass die Einführung autonomer Fahrzeuge wahrscheinlich das Auftreten solcher schwierigen Situationen verringern wird, und eine Programmierung, die über die Erkennung von einer oder mehrerer Personen hinausgeht, in weiter Ferne zu sein scheint, wird eine breite gesellschaftliche Debatte zu den ethischen Fragen der Programmierung notwendig sein.



Allerdings bleibt festzuhalten, dass für die Gewöhnung an autonome Fahrzeuge und ihre rechtliche Regelung sowie ethische Einschätzung vorerst die Einhaltung einiger wichtiger Grundregeln ausreicht. Dazu zählt beispielsweise, dass der Schutz des Menschen Vorrang vor dem von Tieren und Sachen hat und dass im Fall von unvermeidbaren Personenschäden das Verletzungsrisiko möglichst geringgehalten werden sollte und es nach dem Gleichheitsgrundsatz zu keiner Diskriminierung einer Gruppe kommt. Zu den Grundregeln gehört auch die Möglichkeit, jederzeit die Kontrolle wieder übernehmen zu können, sowie das nachvollziehbare Dokumentieren einer möglichen Fehlfunktion<sup>40</sup>.

### 8.2.3 AUTONOME SYSTEME IM SMART HOME

Mit der Einführung autonomer Systeme verändern sich auch die Lebensumstände in den privaten vier Wänden hin zum Smart Home. Mit autonomen Systemen – wie beispielsweise einem Haushaltsroboter – lassen sich lästige Aufgaben reduzieren und durch smarte Energiesysteme zudem Ressourcen sparen. Ein autonomes Zutritts- und Überwachungssystem kann die Sicherheit der eigenen vier Wände verbessern.

**Ein Kernstück des Smart Homes der Familie Müller ist das intelligente Zutrittsmanagement. Es steuert die Schließsysteme des Hauses und erlaubt den bekannten Bewohnerinnen und Bewohnern den Zutritt. Darüber hinaus kann es temporäre Zutrittsberechtigungen, beispielsweise für Handwerkerinnen und Handwerker sowie anderes Servicepersonal, erzeugen. Die Entwicklung des Systems erfolgte durch ein kalifornisches Start-up. Vor fünf Jahren kaufte Familie Müller das System und baute es in ihr Einfamilienhaus ein. Zwischenzeitlich ist das Start-up von einem multinationalen Unternehmen aufgekauft worden. Dieses war jedoch hauptsächlich am Entwicklungs-Know-how interessiert, weniger daran, die Produktlinien fortzuführen. In der Folge wird der Support des Zutrittsmanagementsystems eingestellt; Updates der Firmware erfolgen nicht mehr. Gleichzeitig werden im Internet Möglichkeiten verbreitet, das System anzugreifen.**

Bis heute ist es nicht gelungen, einen einheitlichen Standard zu definieren, über den die einzelnen Bausteine eines Smart Homes miteinander kommunizieren. Viele Hersteller entwickeln eigene Standards oder wandeln bestehende Standards für ihre unterschiedlichen Bedürfnisse ab. Für Verbraucherinnen und Verbraucher bedeutet dies, dass weitere Komponenten in der Regel nicht einfach in ein bestehendes Smart Home integriert werden können. Unter Umständen ist sogar die weitgehende Bindung an einen Anbieter erforderlich, was die Auswahl unter marktwirtschaftlichen Gesichtspunkten stark einschränkt. Gefahren können sich durch die Nutzung eines solchen Systems beispielsweise dann ergeben, wenn die technische Unterstützung durch den Anbieter eingestellt wird. Die meisten Komponenten in einem Smart Home sollen eher langfristig genutzt werden; die angestrebten Nutzungszeiten dürften sich aus Anwendersicht an denen orientieren, die auch für andere Elemente der technischen Gebäudeausstattung üblich sind (also Nutzungszeiten, die zehn Jahre und teilweise deutlich länger betragen). Da Elemente des Smart Homes in der Regel mit dem Internet verbunden sind und für ihre Funktion auf viele externe Daten zurückgreifen,

müssen auch die Funktion und Sicherheit der IT-Komponenten über einen langen Zeitraum sichergestellt werden. Beispiele zeigen schon heute, dass Anbieter dazu nicht in der Lage sind oder dies nicht gewährleisten wollen. In der Folge drohen Funktionsbeeinträchtigungen und auch Sicherheitsprobleme, die zu neuen Risiken führen und den Weiterbetrieb des Systems erschweren oder sogar unmöglich machen.

Es ist deshalb erforderlich, dass mit dem wachsenden Angebot derartiger Systeme auch erweiterte Gewährleistungs- und Garantiebestimmungen eingeführt werden. Die Anbieter solcher Systeme sind zu verpflichten, die technische Funktion und die Sicherheit über einen längeren Zeitraum aufrechtzuerhalten. Diese Garantien sind mit entsprechenden wirtschaftlichen Sicherheiten zu hinterlegen. Darüber hinaus ist eine Vereinheitlichung (Standardisierung) der verwendeten datentechnischen Standards erforderlich. Nur so können Anwenderinnen und Anwender davon ausgehen, dass sie beim Ausfall einer Komponente eines Smart Homes, diese problemlos durch eine andere ersetzen können.

**Im Haushalt der Müllers wohnt auch ihr 18-jähriger Sohn Max. Während die Müllers ein verlängertes Wochenende an der Ostsee verbringen, hält sich nur Max im Smart Home auf. Er ist Mitglied einer Clique, die verschiedentlich durch Graffiti-Schmierereien in S-Bahn-Zügen aufgefallen ist. Auf einem undeutlichen Video einer Überwachungskamera in einem Zug, in dem Graffiti angebracht wurden, glaubt die Polizei, Max erkannt zu haben; der wiederum behauptet, sich in der fraglichen Zeit zu Hause aufgehalten zu haben. Die ermittelnden Beamten fordern nun die Herausgabe der Datenaufzeichnung des Smart Homes.**

Viele autonome Systeme werden im fortlaufenden Kontakt mit ihrer engeren und weiteren Umgebung stehen, um ihren vollen Leistungsumfang erbringen zu können. Gleichzeitig erheben sie sehr persönliche Daten, wie beispielsweise die Anwesenheit von Personen in Gebäuden und deren Bewegungsmuster bis hin zu Gesundheitsdaten, die über Wearables ermittelt werden. Diese Daten sind nicht nur für die Funktion des autonomen Systems erforderlich, sondern dürften regelmäßig auch für Dritte von Interesse sein. Die Interessenslagen sind vielfältig: Sie reichen von anderen autonomen Systemen, die die Daten für ihre eigene Funktion verwenden, über Versicherungen bis hin zu Strafverfolgungsbehörden, für die Aufenthaltsorte und Bewegungen von Tatverdächtigen relevant sind. Der Umfang solcher Daten wird – im Vergleich zum heutigen technischen Stand – um Skalenordnungen zunehmen und damit vermutlich auch entsprechende Begehrlichkeiten wecken.

Es ist deshalb für jeden Einsatz von autonomen Systemen im Voraus zu klären und festzulegen, wie mit den generierten Daten umzugehen ist. Gerade bei Systemen mit einer langen Nutzungsdauer, wie beispielsweise im Smart Home, müssen früher erteilte Ermächtigungen zur Freigabe von Daten jederzeit widerrufbar sein. Dies schließt auch das Recht auf das finale Löschen historischer Datenbestände ein. Es muss vermieden werden, dass Fortschritte in der Datenverarbeitung dazu führen können, ungewollt und unbemerkt neue Erkenntnisse über Nutzerverhalten und -vorlieben zu ermöglichen<sup>41</sup>. Hinzu kommt die

41 Siehe auch Kapitel 5.4.



Notwendigkeit der Einführung und Klärung der Verteilung der Eigentumsrechte an den erzeugten Daten, die Voraussetzungen für Zugriffsrechte Dritter (insbesondere: Anbieter des Systems, Behörden, Versicherungen), Vorgaben für Speicherumfang und Speicherzeiten (zum Beispiel bei autonomen Fahrzeugen) sowie Vorgaben zum Löschen der erzeugten Daten (automatische Löschung, Löschung auf Initiative der Nutzer). Eigentum und Verfügungsgewalt über die Daten sollten beim Betreiber des autonomen Systems liegen, um eine breite gesellschaftliche Akzeptanz von autonomen Systemen zu erzielen. Schon heute zeigen Umfragen, dass Verbraucherinnen und Verbraucher dem Einsatz von Produkten aus dem Bereich des Internet der Dinge zurückhaltend gegenüberstehen, da sie ihre Privatsphäre nicht ausreichend geschützt sehen. Die Nutzerinnen und Nutzer sollten selbst aktiv entscheiden können, welche Daten sie wann und wie oft an Dritte weitergeben möchten. Sie sollten die Möglichkeit haben, die Datenweitergabe individuell zu konfigurieren, auch wenn dann bestimmte Funktionen eines autonomen Systems nicht mehr oder nur eingeschränkt zur Verfügung stehen. Da nur vergleichsweise wenige Nutzerinnen und Nutzer die einzelnen Einstellungen ihrer technischen Systeme konfigurieren, sollte ein besonderes Augenmerk auf die Konfiguration der Standard-Einstellungen gerichtet und kommentierte Konfigurationshilfen angeboten werden.

Standard-Einstellungen für den Datenschutz können beispielsweise durch ein Stufensystem erreicht werden. Dies sollte durch wenige, einfache Profile erfolgen.

**Beispiel:**

- Stufe 0: Keine Daten werden außerhalb des Smart Homes verteilt
- Stufe 1: Nur Daten für lebensrettende Maßnahmen (Unfall, Brand) werden an die dafür bestimmten Stellen verteilt
- Stufe 2: Daten zur Optimierung des aktuellen Betriebs werden angesammelt verteilt, aber nur in einem Maße, welches keine Rückschlüsse auf individuelles Verhalten, Konsum oder Eigenschaften von Personen zulässt
- Stufe 3: Alle Daten werden zur Optimierung von Produkten und Dienstleistungen verteilt

Dabei ist durchaus vorstellbar, dass das Verteilen von Daten (Stufe 2 und 3) durch eine entsprechende finanzielle Kompensation an die Personen honoriert wird. Hierfür bedürfte es eines ordnungspolitischen Rahmens, indem der Markt über die Art oder Höhe der Kompensation entscheiden kann. Es ist aber festzuhalten, dass die Verbraucher bisher beim finanziellen Handel mit (ihren) Daten keine Rolle spielen.

Damit ein solches System funktionieren kann, müssen die Profile automatisch auf alle in einem Smart Home existierenden und neu hinzukommenden Geräten zur Anwendung gelangen können. Das heißt, dass die Benutzerin oder der Benutzer eines Smart Homes das Profil einmal definiert und auf alle Geräte auch unterschiedlicher Anbieter übertragen kann. Zudem müssten sich beispielsweise Geräte, die Gästen gehören, auch an diese Regeln halten, selbst wenn sie im eigenen Umfeld weniger strenge Regeln anwenden.

Im Smart Home der Familie Müller wohnt auch die an Demenz erkrankte Mutter von Herrn Müller. Familie Müller ist zeitlich sehr eingeschränkt und kann immer weniger Zeit für die Betreuung von Frau Müller sen. aufbringen. Die alte Dame wünscht jedoch erkennbar Unterhaltung, die ihren eingeschränkten kognitiven Fähigkeiten entspricht. Diese Aufgabe wird zunehmend über die zentrale Steuereinheit des Smart Homes übernommen, die über eine Sprachsteuerung verfügt. Die Mikrofone sind an verschiedenen Stellen im Smart Home angebracht. Auf Zuruf kann das System zum Beispiel Musik abspielen, Hörbücher vorlesen oder Informationen zum Aufenthalt der übrigen Bewohner geben. Frau Müller sen. hat sich daran überraschend schnell gewöhnt; in letzter Zeit fragt sie jedoch zunehmend auch nach der persönlichen Anwesenheit ihrer Familie.

Hier rückt die Frage in den Fokus, ob es Anwendungsbereiche gibt, in denen wir auch als moderne Gesellschaft nicht wollen, dass ein Ersatz von Menschen durch Technik erfolgt. Die Unterstützung und Betreuung von älteren und eingeschränkten Personen wurde bisher durch Menschen erbracht; die Gesellschaft muss ebenso wie jeder Betroffene die Frage beantworten, in welchem Umfang diese Aufgaben Maschinen übertragen werden sollen und dürfen.

Es wird erwartet, dass autonome Systeme ältere Personen und Menschen mit eingeschränkten Fähigkeiten in ihrem täglichen Leben unterstützen können und ihnen länger ein selbstbestimmtes Leben, insbesondere in der eigenen häuslichen Umgebung, ermöglichen. Die Einsatzmöglichkeiten umfassen beispielsweise weiterentwickelte Notrufsysteme, die eigenständig entscheiden können, wann eine Person Hilfe oder Unterstützung von Dritten benötigt, und die entsprechenden Maßnahmen auslösen. Assistenzsysteme können auch der gesundheitlichen Prävention dienen und entsprechende Daten erheben: beispielsweise Sturzpräventionsdetektoren und Wearables zum Monitoring von Gesundheitsdaten oder zum Training bestimmter kognitiver Fähigkeiten. Größere Bedeutung dürften auch Assistenzsysteme erlangen, die unterstützungsbedürftigen Bewohnern von Smart Homes Aufgaben abnehmen: Die Steuerung von Licht und Heiztechnik gehört ebenso dazu wie die Zugangskontrolle und -begrenzung. Bereits in Ansätzen erkennbar sind Assistenzsysteme, die physische Aufgaben selbstständig übernehmen können – derzeit gibt es bereits Roboter, die zur Bodenreinigung oder zum Rasenmähen eingesetzt werden können; Robotersysteme, die Getränke reichen oder in der Küche helfen, werden getestet beziehungsweise befinden sich im Prototyp-Status. Weitere Entwicklungen betreffen Systeme, die Menschen unterhalten und ihnen bestimmte Informationen bereitstellen können.

Bei der Betrachtung der möglichen Entwicklungen offenbart sich ein zentrales Dilemma autonomer Systeme im Unterstützungs- und Pflegebereich: Je effizienter sie arbeiten sollen, desto „autonom“ müssen sie gegenüber den Bewohnern sein und desto geringer ist der Grad der Selbstbestimmung. Je mehr Spielräume hingegen den Nutzerinnen und Nutzern eingeräumt werden, desto fehleranfälliger werden autonome Systeme. Hier ist der schmale Grat zwischen der grundsätzlich zu fordernden Autonomie des Menschen und der Notwendigkeit, dass autonome Systeme in konkreten Situationen des Pflege- und Betreuungsbereichs gerade eben diese Autonomie einschränken müssen, zu finden. Da die technischen Entwicklungen erst in den Kinderschuhen stecken, hat es auch noch keine gesellschaftliche Debatte zu



der Frage gegeben, wo die Grenzen des Einsatzes von autonomen Systemen im Betreuungs- und Pflegebereich liegen sollten. Es sollte dabei immer berücksichtigt werden, dass es sich um individuell sehr unterschiedliche Umstände handeln kann. Das spricht dafür, eine weitreichende Entscheidungsfreiheit der Betroffenen in ihrem eigenen Pflegearrangement aus Angehörigen, professionell Pflegenden und Ehrenamtlichen anzustreben. Niemand sollte gegen seinen Willen der Entscheidungsgewalt eines autonomen Systems ausgesetzt werden. Die Ermittlung dieses Willens ist allerdings bei Menschen mit eingeschränkten geistigen Fähigkeiten nicht ohne Weiteres möglich.

## 8.3 Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen

Es ist keine Eigenheit autonomer Systeme, dass mit ihrer Einführung auch neue Risiken einhergehen und entsprechend neue Regelungskomplexe auftreten, für die ein steuernder und ordnender Rechtsrahmen ausgearbeitet werden muss. Dabei sollte aber nicht vergessen werden, dass die diversen Herausforderungen, die autonome Systeme mit sich bringen, flankierende Nebenwirkungen der Vorteile und Chancen dieser Entwicklung sind. Je nachdem, welche Anwendungsbereiche man für autonome Systeme betrachtet, unterscheiden sich die Herausforderungen teilweise, es lassen sich aber auch übergreifende Themen herausarbeiten. Diese werden im Folgenden zusammengefasst und beschrieben.

### SCHADENSHAFTUNG

- Nicht nur, aber insbesondere bei lernenden Systemen stellt sich mit Blick auf Haftungsfragen der Bedarf ein, Dokumentationspflichten und -lösungen zu schaffen, die im Fall eines Schadenseintritts eine Haftungsverteilung ermöglichen.
- Die zu erwartende noch engere Verbindung von dynamischer Software und Hardware stellt neue Ansprüche an das Gewährleistungsrecht. Insbesondere die Verantwortlichkeit für Service bei langlebigen Produkten muss zu neuen vertragsrechtlichen Lösungen führen.

Haftungsfragen gehören zu den speziellen Herausforderung autonomer Systeme. Zwar lässt sich für den Bereich der Produktion vermuten, dass zunächst eine generelle Anwendung der Gefährdungshaftung auf den Betreiber ausreichend ist, um autonome Systeme in das Haftungsrecht zu integrieren. In Mensch-Maschine-Assoziationen kann es jedoch ohne Weiteres zu komplexen Fragestellungen kommen, die eine einfache Anwendung des Haftungsrechts erschweren. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn das autonome System zu bestimmten Zeitpunkten seine Autonomie an den Menschen zurückgibt und damit auch die Verantwortung für Entscheidungen alleine an den menschlichen Entscheider zurückfällt. Wer oder was entscheidet über die Abgabepunkte von Verantwortung und wer kommt hierdurch potenziell in die Haftung? Der Betreiber, der Eigentümer, der Softwaredesigner oder der Arbeitnehmer? Ähnlich ist für den Straßenverkehr über eine Neuausrichtung der Haftungsverteilung zwischen Fahrer und Halter, Versicherungen und Herstellern nachzudenken. In diesem Kontext stellt die Nachvollziehbarkeit der

komplexen technischen Prozesse in autonomen Systemen im Schadensfall eine besondere Herausforderung dar. Die für die Dokumentation notwendigen Daten können – das wird heute bereits im Straßenverkehr deutlich – auch ein datenschutzrechtliches Risiko mit sich bringen. Vor dem Hintergrund dieser Fragen sind auch bestehende Konzepte der Zulassung von Kraftfahrzeugen zu überdenken. Wie etwa soll damit umgegangen werden, dass sich in einem lernenden autonomen Fahrzeug auch die Software permanent verändert? Dies ließe sich mit dem System des einmaligen Erteilens einer Zulassung und regelmäßigen Hauptuntersuchungen nicht mehr erfassen. Eine generelle Zulassung des Algorithmus würde dagegen vermutlich nicht alle folgenden Entwicklungen adäquat umfassen und setzt ferner voraus, dass die Automobilhersteller den Quellcode in allen Details gegenüber den Behörden offenlegen. Vermutlich wird ein fortlaufendes Monitoring der Entwicklung autonomer Fahrzeuge im praktischen Betrieb durch die Behörden erforderlich werden, um Fehlentwicklungen zu erkennen.

In diesem Zusammenhang ist auch zu diskutieren, in welchem Umfang die Erfahrungen im Lernprozess autonomer Systeme offenzulegen sind. Diese Zugänge zu einer Regulierung autonomer Systeme müssen freilich vor dem Hintergrund eines integrierten Wirtschaftsraumes gesehen werden, in dem Deutschland gemeinsam mit Europa Haftungsregeln bestimmt, die sowohl das wirtschaftliche Potenzial autonomer Systeme hebt, als auch die Rolle des Menschen gegenüber autonomen Systemen gewichtet<sup>42</sup>.

An der Schnittstelle von Hard- und Software stellen sich ebenfalls neue Fragen: Ein autonomes System wird nicht einfach gekauft, sondern kommt mit Update-Rechten und unter Umständen sogar Pflichten daher. Die dauerhafte, insbesondere softwareseitige Betreuung autonomer Systeme wird in den Gewährleistungsumfang einbezogen werden müssen. Das schließt die Behebung von IT-Sicherheitslücken mit ein, insbesondere dort, wo – wie beispielsweise im Smart Home – besonders teure oder besonders private Güter von einer Technik geschützt werden.

#### DATENRECHT UND DATENNUTZUNG

- Der steigende wirtschaftliche Wert von Daten muss gerecht zugewiesen werden. Die Zuordnung von Rechten an Daten ist entscheidend für den Erfolg autonomer Systeme.
- Die Persönlichkeitsrechte der Nutzerinnen und Nutzer sind – nicht nur, aber in besonderer Weise – durch autonome Systeme gefährdet. Der Datenschutz muss vermehrt auf technische Lösungen setzen (privacy by design), um diesen Gefahren zu begegnen.



Die Rolle des Datenschutzes ist in vielerlei Hinsicht klärungsbedürftig, wenn es um den Einsatz autonomer Systeme geht. Dies gilt etwa in der Produktion zunächst auf der Ebene der Plattformen, auf denen vernetzte autonome Systeme horizontal und vertikal zwischen Unternehmen Informationen austauschen. Der Mehrwert von Plattformen liegt gerade in diesem Datenaustausch und der möglichen Weitervernetzung der Daten mit anderen Plattformen. Gleichzeitig stellt sich jedoch für das einzelne Unternehmen die Frage, inwieweit die Weitergabe und das Teilen der Daten, die eigene Wettbewerbsposition gegenüber Konkurrenten horizontal schwächen kann. Genauso relevant ist, ob die ausgetauschten und geteilten Daten möglicherweise vertikal dem Anbieter der Plattform zuzurechnen sind. Daten stellen zunehmend ein Wirtschaftsgut dar. Den sich entsprechend verändernden Wertschöpfungsprozessen muss auch im Recht Rechnung getragen werden. Je nachdem, wie diese Fragen beantwortet werden, können sich bestimmte Geschäftsmodelle entwickeln oder nicht. Insbesondere im Hinblick auf die Schaffung von international wettbewerbsfähigen Plattformen ist dies ein beachtenswerter Aspekt. Dazu könnte auch die Einführung eines Dateneigentums („data ownership“) zumindest an sogenannten Maschinendaten gehören.

Datenschutzprobleme bestehen in besonderem Maße auch im Hinblick auf Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer, deren Daten im Verbund mit autonomen Systemen gesammelt werden. Neben der Frage der Eigentümerschaft solcher Daten stellt sich hier die Frage, inwiefern diese Daten zur Privatsphäre von Arbeitnehmern gehören. Kollaborationen in Mensch-Maschine-Assoziationen werden vermutlich leichter gelingen, wenn Arbeitnehmer Vertrauen in den Umgang mit ihren Daten haben. Dabei entsteht die besondere Herausforderung, dass in einer kollaborativen Fabrik Daten der Arbeitnehmerin oder des Arbeitnehmers fast unbegrenzt erhoben werden müssen. Dies könnte schlimmstenfalls zu einem Wandel weg vom Bild eines selbstbestimmten Arbeitnehmers führen, den es zu verhindern gilt.

Auch bei Smart-Home-Anwendungen treten Fragen des Umgangs mit Daten in den Vordergrund. Gerade im besonders sensiblen privaten Bereich ist die IT-Sicherheit, etwa von Zutrittssystemen, relevant. Dazu kommt auch die Frage, inwieweit solche Systeme die technische Möglichkeit vorhalten müssen, die Übertragung von Daten ihrer Nutzer im Sinne der informationellen Selbstbestimmung durch die Nutzerin und den Nutzer steuern zu lassen. Bereits heute zeigt sich, dass mit datenschutzrechtlichen Einwilligungen kein effektiver Datenschutz gewährleistet werden kann. Daran wird sich mit Blick auf autonome Systeme nichts ändern. Maßnahmen des technischen Datenschutzes werden daher wichtiger. Dazu gehört beispielsweise die Möglichkeit, Datenschutzeinstellungen zu definieren, die dann auf Systeme unterschiedlicher Anbieter übertragen werden können.

## ARBEITSWELT

- Die zu erwartenden Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt lassen sich heute noch nicht klar benennen. Daher ist es entscheidend, den Einfluss, den die Einführung autonomer Systeme hier haben wird, gesellschaftlich und wissenschaftlich genau zu beobachten.
- Klar ist aber auch, dass es zu Veränderungen kommen wird. Diese abzufedern, insbesondere durch Bildungsangebote und -maßnahmen, wird für die Akzeptanz der Systeme in der Bevölkerung entscheidend sein.

Entscheidend für die soziotechnische Systemperspektive ist, dass die Einführung autonomer Systeme in der Produktion heute nicht mehr – wie noch in den achtziger Jahren – das unrealistische Ziel verfolgt, die „menschenleere Fabrik“ zu verwirklichen. Vielmehr wird davon ausgegangen, dass Menschen über spezifische Fähigkeiten, Kompetenzen und insbesondere Erfahrungswissen verfügen, das nicht vollständig durch „Maschinen“ ersetzt werden kann. Schwer vorhersehbar bleibt jedoch, welche Beschäftigungseffekte die fortschreitende Digitalisierung haben wird – das heißt, welche menschlichen Tätigkeiten und Qualifikationen in welchem Umfang durch autonome Systeme ersetzt werden können.

Zahlreiche in jüngerer Zeit veröffentlichte Studien zeichnen ein düsteres Bild. Sie warnen davor, dass vor allem in den Industrieländern Millionen von Arbeitsplätzen wegfallen könnten. So arbeiten laut einer 2015 erschienenen Studie des Europäischen Zentrums für Wirtschaftsforschung 42 Prozent der Beschäftigten in Deutschland in Berufen mit einer hohen Automatisierungswahrscheinlichkeit, das heißt, ihre Arbeitsplätze drohen wegzufallen<sup>43</sup>. Diesen pessimistischen Vorhersagen stehen andere Forschungsergebnisse, wie etwa die der ebenfalls 2015 vom Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) herausgegebenen Studie<sup>44</sup>, gegenüber. Deren Autorinnen und Autoren kommen zu dem Schluss, dass sich bis 2025 durch den Übergang zur Industrie 4.0 primär Umschichtungen von Arbeitsplätzen zwischen verschiedenen Branchen ergeben werden. Zu ähnlichen Ergebnissen gelangt eine vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales in Auftrag gegebene und 2016 erschienene Langzeitprognose für die Arbeitsmarktentwicklung im digitalen Zeitalter bis 2030<sup>45</sup>. Da die Gesellschaft zunehmend älter wird, wird argumentiert, dass der vermehrte Einsatz von Robotern in der Produktion einen Weg weist, um den drohenden Fachkräftemangel zu kompensieren. Und schließlich wird dem Einsatz autonomer Systeme von Teilen der Wissenschaft eine beschäftigungssichernde Wirkung zugeschrieben, weil es durch die damit verbundenen Kostensenkungen auch möglich sein wird, Produktionsstandorte aus dem Ausland ins Inland zurückzuverlagern. Zudem verspricht die Produktion in „Losgröße 1“ Wettbewerbsvorteile gegenüber Industriestandorten, die weiterhin auf Massenproduktion setzen.

<sup>43</sup> Vgl. ZEW 2015.

<sup>44</sup> Vgl. IAB 2015.

<sup>45</sup> Vgl. Ludwig et al. 2016.



Wie diese widersprüchlichen Befunde zeigen, existieren keine sicheren Prognosen über das mögliche Ausmaß der Substitutionseffekte menschlicher Arbeit durch den Einsatz autonomer Systeme. Alles spricht aber dafür, dass sich mit der vierten industriellen Revolution in der Produktion erhebliche Veränderungen bei den Kern-Anforderungen an die Beschäftigten ergeben werden. Im Zentrum dieser Kern-Anforderungen werden künftig deutlich stärker Fähigkeiten sowohl kognitiver, sozialer als auch persönlicher Art stehen, von der Fähigkeit zum Selbstlernen und zur Kreativität über grundlegende IT-Kenntnisse bis hin zum Systemdenken. Neben den Bereichen Finanzen und Infrastruktur gilt dies insbesondere für die Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer in der Großindustrie. Dies bedeutet aber auch, dass die mit Abstand wichtigste beschäftigungssichernde Strategie in mehr Weiterbildung und Qualifizierung für die Belegschaften über alle Branchen und Bereiche hinweg besteht. Diese Auffassung wird sowohl von vielen Unternehmen als auch von zahlreichen internationalen Organisationen wie der Weltbank<sup>46</sup>, der OECD<sup>47</sup> und dem World Economic Forum<sup>48</sup> geteilt.

#### Umwelt

→ Im Bereich Ressourceneffizienz wird das große Potenzial autonomer Systeme besonders deutlich. Dieses muss, um die Einführung von autonomen Systemen zu erleichtern, klar benannt und in seinen Details erforscht werden.

Die weitreichenden Auswirkungen, die die Einführung von autonomen Systemen in der Produktion, im Verkehr und in privaten Wohnungen und Häusern haben werden, werden auch den Ressourcenverbrauch und die Umwelteffekte dieser Anwendungsbereiche verändern. Auch hier stehen vielfältigen Chancen mögliche Entwicklungen gegenüber, die zu einer Zunahme von Ressourcenverbrauch und Umweltbelastungen führen können. Dies wird besonders im Verkehrsbereich erkennbar: Die Verstetigung von Verkehrsflüssen, die Verringerung von Unfällen und die Ausweitung der Nutzungsmöglichkeiten von Fahrzeugen können die verkehrsbedingten Umweltauswirkungen deutlich verringern. Dem stehen mögliche verkehrsinduzierende Wirkungen gegenüber, die insbesondere durch Komforterhöhung und Nutzung der Reisezeit für andere Tätigkeiten verursacht werden. Es ist demnach sinnvoll und empfehlenswert, genau zu beobachten, wie stark ein solcher „Rebound-Effekt“ ausfällt und ob steuernde Maßnahmen erforderlich werden. Das gilt auch für die Nutzungsdauer von digitalisierten Produkten: Schon heute werden viele Produkte der digitalen Welt vorzeitig außer Betrieb genommen, weil sie nicht mehr kompatibel zu anderen Systemen sind oder ihre Betriebssysteme Sicherheitslücken aufweisen, die der Anbieter nicht mehr behebt. Mit der Einführung autonomer Systeme werden immer mehr Produkte digitalisiert werden (Internet of Things), sodass vorzeitige Obsoleszenz von größerer Relevanz sein wird. Insbesondere mit Veränderungen des Gewährleistungs- und Haftungsrechts, aber auch der Umweltanforderungen an Produkte (EU-Öko-Design-Richtlinie) kann diesen Entwicklungen entgegengewirkt werden.

46 World Bank 2016.

47 Scarpetta 2016, OECD 2016.

48 World Economic Forum 2016b.

## ETHIK UND AUTONOMIE

→ Nicht nur bei den viel diskutierten Dilemma-Situationen werden autonome Systeme Auswirkungen auf das Selbstverständnis des Menschen und das gesellschaftliche Zusammenleben haben. Diese Fragen lassen sich oft nicht oder zumindest nicht einfach beantworten. Auch deshalb bereiten sie vielen Menschen Sorgen. Für den Erfolg autonomer Systeme wird es daher wesentlich sein, sie in einer gesellschaftlich breit angelegten Debatte öffentlich zu diskutieren und so zu einem Interessensausgleich zu kommen.

In allen drei Anwendungsbereichen wird deutlich, dass sich durch das Einbringen von autonomer Technik die Handlungskontexte der Menschen verändern. Die Autonomie der Technik ist mit der Autonomie der Menschen in Einklang zu bringen. Hier kann es zu Aushandlungskonflikten kommen, die aus der Perspektive der Menschen als ein Übergriff auf die eigene Autonomie wahrgenommen werden. Der Mensch kann sich durch die Technik instrumentalisiert fühlen. Aus ethischen Gründen soll eine solche Instrumentalisierung vermieden werden, das heißt, in der ethischen Reflexion werden die den Konflikten zugrundeliegenden moralischen Positionen in den Blick genommen und auf der Basis des Befundes Empfehlungen formuliert, wie diese Instrumentalisierungen vermieden werden können oder auch unter welchen Umständen gewisse Instrumentalisierungen als akzeptabel eingeschätzt werden, um die Einsatzzwecke autonomer Systeme erreichen zu können. Typische Konflikte treten dabei zwischen der gesellschaftlichen und der individuellen Perspektive auf, wenn beispielsweise das autonome Fahrzeug den Wunsch der Fahrerin oder des Fahrers nicht mehr annimmt, schneller als erlaubt zu fahren. Oder sie weisen auf unerlaubte Übergriffe hin, wie beispielsweise in Pflegezusammenhängen.

Damit verbunden ist die Frage, „wie autonom“ autonome Systeme in der Praxis nun wirklich sind. Folgen sie Entscheidungs- und Handlungsprinzipien, die durch die Entwicklerinnen und Entwickler der Systeme bei der Konstruktion der Systeme hinterlegt wurden, handeln sie aufgrund von eigenständig erworbenen Fähig- und Fertigkeiten, werden beide Ansätze vermengt und wenn ja, in welchem Umfang? Entwickler von autonomen Systemen streben an, dass diese unter anderem in der Lage sein sollten, zu lernen, eigenständige Schlussfolgerungen zu ziehen und vorausschauend proaktiv handeln zu können<sup>49</sup>. Ob, wann und in welchem Umfang dies tatsächlich erreicht werden kann, wird durchaus kontrovers diskutiert. Maschinelle Lernverfahren haben sich zwar in einigen Anwendungen als sehr leistungsfähig herausgestellt, die Realisierung von für soziale Interaktionen wichtigen Kompetenzen wie der Zusammenhang mit einer Vorstellung (Kontextualisierung) oder das Denken über das Denken (Metakognition) steht jedoch bestenfalls am Anfang. Es ist zu vermuten, dass Erwartungen menschlicher Interaktionspartner an das „ethische Handeln“ von Maschinen und damit auch Fragen nach Verantwortlichkeit und Verantwortung in einem Verhältnis zu der diesen Maschinen zugeschriebenen kognitiven Leistungsfähigkeit stehen werden. Wie sich Technik hier in den nächsten Jahren und Jahrzehnten weiterentwickelt und welche gesellschaftlichen Veränderungen das mit sich bringt, ist im Moment kaum abzusehen.

49 Siehe dazu ausführlich auch Kapitel 7.



Autonome Systeme werden zu tiefgreifenden Veränderungen unserer Gesellschaft führen. Dabei werden nicht immer alle automatisch Nutznießer dieser Veränderungen sein können, für manche werden sie auch Nachteile hervorbringen. Diese können beispielsweise ökonomische Aspekte sein, aber auch eine als unfair wahrgenommene Verteilung von Nutzen und (insbesondere unfreiwillig auferlegten) Risiken. Ethische Reflexion nimmt diese Fragen der Verteilungsgerechtigkeit in den Fokus. Aufgabe guter Innovationspolitik ist es, (potenzielle) Konflikte rechtzeitig zu erkennen, sie politisch zu begleiten und zu entschärfen und damit letztlich zu verhindern, dass sie sich in einem dauerhaften Technikkonflikt manifestieren. Darüber hinaus muss die Möglichkeit erhalten bleiben, der Einführung und dem Einsatz autonomer Systeme dort Grenzen zu setzen, wo sie als nicht wünschenswert für die Gesamtheit beziehungsweise als unvereinbar mit dem Gemeinwohl betrachtet werden müssen.

In konkreten Handlungskontexten sollte grundsätzlich sichergestellt werden, dass der Mensch seine Autonomie gegenüber der Maschine durchsetzen kann. Gemeint ist die Forderung, autonome Systeme grundsätzlich mit einem „Not-Aus“ zu versehen. Ein solcher Ansatz soll sicherstellen, dass sich autonome Systeme in als problematisch wahrgenommenen Situationen wieder in einen als hinreichend sicher („reasonably safe“) beschreibbaren Zustand überführen lassen. Je nach Anwendung und Kontext kann dieser Zustand unterschiedlich umgesetzt sein, beispielsweise durch eine Kontrollrückgabe an den Menschen, einen Wechsel des Betriebsprogramms oder auch eine echte Systemabschaltung. Dabei ist jedoch zu beachten, dass der „Not-Aus“ nicht dazu führen darf, dass sich die Technik (beziehungsweise ihre Hersteller) aus der Verantwortung für das autonome System ziehen, wenn es mit einer ihr/ihm unbekannten Situation nicht umgehen kann. Auch sind Fälle denkbar, etwa im medizinischen Bereich oder in der Pflege, in denen die uneingeschränkte Möglichkeit einer Kontrollrückgabe die unterstützende Funktion des Systems konterkarieren würde. Auch dieses Spannungsfeld muss ethisch reflektiert, gesellschaftlich diskutiert und letztlich geregelt werden.

## 9. MARKTENTWICKLUNG IM INTERNATIONALEN VERGLEICH

Derzeit sind noch wenige Studien bekannt, die generelle Aussagen zum Wertschöpfungspotenzial autonomer Systeme über alle Anwendungsfelder hinweg geben können. Entweder beziehen sich die entsprechenden Abschätzungen auf den Einsatz autonomer Systeme in einzelnen Bereichen (wie zum Beispiel das autonome Fahren) oder sie haben einen breiteren technologischen Fokus, wie beispielsweise die Jahresberichte der International Federation of Robotics (IFR), die marktbezogene Daten und Vorhersagen zur Robotik auf weltweiter Ebene sammelt.

Einzelne Prognosen zu dem gesamtwirtschaftlichen Potenzial autonomer Systeme schätzen dieses als sehr vielversprechend ein. Ein Report von McKinsey<sup>50</sup> beziffert den möglichen wirtschaftlichen Nutzen aus dem weltweiten Einsatz fortgeschrittener Robotik und (teil-)autonomer Fahrzeuge bereits im Jahr 2025 auf jährlich 1,9 bis 6,4 Billionen US-Dollar pro Jahr. Dieser Nutzen, so wird argumentiert, ergibt sich aus einer verbesserten Gesundheit und neuen Produkten.

Die verschiedenen Anwendungsbereiche werden im Folgenden hinsichtlich einer möglichen Marktentwicklung sowie der globalen Einflussfaktoren und neuer Geschäftsmodelle analysiert. Als Indikator für die mögliche Marktentwicklung autonomer Systeme in der Produktion, im Smart Home und in menschenfeindlichen Umgebungen werden die Berichte der IFR mit Fokus auf die unterschiedlichen Robotikanwendungen herangezogen. Es bleibt allerdings anzumerken, dass gezielte und vergleichende Studien zur Einschätzung des Marktpotenzials autonomer Systeme derzeit noch fehlen. Es wird daher empfohlen, eine umfassende Bewertung der vorliegenden Analysen sowie eine gezielte Studie zu den beobachteten Entwicklungen und entsprechenden Prognosen für den Bereich der autonomen Systeme in Auftrag zu geben.

### 9.1 Produktion

Die Nutzung von Robotern ist in der industriellen Produktion weit verbreitet, was die Zahlen der IFR verdeutlichen: So wurden im Jahr 2015 weltweit ungefähr 255.000 neue Robotersysteme installiert. Dieses Wachstum von rund 15 Prozent dürfte sich mit nur leichten Änderungen auch 2016 bis 2019 fortsetzen, insbesondere durch die starken Zuwächse in Asien. Des Weiteren geht die IFR davon aus, dass 2015 insgesamt rund 1,6 Millionen Roboter im Einsatz waren.

Aktuell geht nach wie vor die größte Nachfrage von den klassischen Märkten aus. Industrieroboter sind noch immer primär in den Fertigungsstraßen der Automobil- (38 Prozent) und Elektroindustrie (25 Prozent), der

50 Vgl. McKinsey 2013.



Metallverarbeitung sowie dem Maschinenbau im Einsatz. Das oben genannte Wachstum ist größtenteils auf Entwicklungen in der Elektroindustrie und Metallverarbeitung zurückzuführen, während in der Automobilindustrie nach Jahren des starken Anstiegs ein gewisser Sättigungseffekt, allerdings auf hohem Niveau, zu beobachten ist<sup>51</sup>.

Als ein neuer Schwerpunkt, der die Nachfrage nach Robotik verstärken dürfte, zeichnet sich der Einzug zunehmend intelligenter und autonomer Roboter ab. Diese erlauben den Automatisierungssystemen eine enge Kollaboration mit den Werkern und Arbeiterinnen. Aus betrieblicher Sicht können die Beschäftigten in der Produktion hierdurch auf neue Art und Weise in ihren Arbeitsprozessen unterstützt werden, indem die Roboter Aufgaben übernehmen, die eine hohe Genauigkeit erfordern und die belastend, repetitiv oder ergonomisch ungünstig sind. Gleichzeitig können die Betriebe in der Fertigungsindustrie hochgradig flexibel auf die Auftragslage reagieren, weil mit autonomen Systemen beispielsweise der Grad der Automatisierung nicht statisch festgelegt ist, sondern situationsgerecht skaliert werden kann. Im Rahmen dieser Entwicklung werden Roboter zunehmend mit Sensoren ausgestattet, die ihnen ‚kognitive‘ Fähigkeiten als Basis für die Autonomie bieten. Roboter können so zum Beispiel ihre Umgebung wahrnehmen und ihre Handlungen entsprechend anpassen. Sie können Werkstücke selbst erkennen und das erforderliche Programm für die zu erfüllende Aufgabe selbst generieren. Dies macht Roboter zunehmend auch für Unternehmen mit kleineren Produktionsgrößen interessant, denn die neuen Robotersysteme lassen sich schneller umrüsten und auch ohne Expertenwissen intuitiv bedienen.

Der Wert des globalen Marktes für Robotik wird für das Jahr 2015 auf elf Milliarden US-Dollar geschätzt. Berechnet man Kosten für Software, Peripheriegeräte und Systems Engineering mit ein, so ergibt sich sogar ein Marktwert von 35 Milliarden US-Dollar<sup>52</sup>. Die größten Teilmärkte bilden dabei China, Südkorea und Japan, gefolgt von den USA und Deutschland. Diese fünf Märkte vereinen aktuell über 75 Prozent der weltweiten Nachfrage auf sich. China übertraf 2015 mit knapp 70.000 Einheiten den gesamteuropäischen Markt und vereinte 27 Prozent des Weltmarktes auf sich. Dies ist ein Anstieg um zwanzig Prozent im Vergleich zu 2014. Das Wachstum des deutschen Marktes lag für den Zeitraum 2010 bis 2015 bei durchschnittlich sieben Prozent.

Setzt man heute die Roboteranzahl zur Zahl der Industriearbeitsplätze in Beziehung, belegt Deutschland mit 301 Industrierobotern auf 10.000 Arbeitsplätze hinter Südkorea (531), Singapur (396) und Japan (305) den vierten Platz der „Roboterdichte“. Die großen Zahlen im asiatischen Raum sind auf die besondere Stellung der Consumerelektronik zurückzuführen – einer Branche, die in Deutschland keinen hohen Stellenwert einnimmt<sup>53</sup>.

Für die Zukunft werden für den Industrierobotermarkt erhebliche Wachstumspotenziale erwartet. In fast allen Branchen der verarbeitenden Industrie, mit Ausnahme der Automobilindustrie, wird ein enormes Potenzial für den Ausbau von Roboterbeständen gesehen. Entsprechend den erwarteten jährlichen

Zunahmen von circa zwölf Prozent werden bis 2019 weltweit circa 2,6 Millionen Industrieroboter im Einsatz sein – rund eine Million mehr als zum jetzigen Zeitpunkt.

Besonders interessant erscheint dabei der asiatische Markt, der mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate (CAGR = Compound Annual Growth Rate) von 15 Prozent weltweit der am schnellsten wachsende Absatzmarkt für Industrieroboter bleiben wird<sup>54</sup>. China spielt dabei eine entscheidende Rolle. Es wird geschätzt, dass 2019 circa vierzig Prozent des weltweiten Marktvolumens im Reich der Mitte abgesetzt werden wird. Das liegt nicht zuletzt an den Plänen der chinesischen Regierung, die im Rahmen des ehrgeizigen Programms „Made in China 2025“<sup>55</sup> eine Roboterichte von 150 Einheiten auf 10.000 Industriearbeitsplätze bis 2020 anstrebt. Zieht man aktuelle Bestandszahlen hinzu, müssten bis dahin zwischen 600.000 bis 650.000 neue Roboterinstallationen durchgeführt werden<sup>56</sup>. China würde dann bereits im Jahr 2019 rund vierzig Prozent der weltweit ausgelieferten Roboter installieren.

Ein wichtiger Wachstumsfaktor könnte, zumindest in einigen Ländern, auch weiterhin die Automobilindustrie sein: In den westlichen Industrieländern wird zwar die Fahrzeugproduktion bereits zu großen Teilen mithilfe von Industrierobotern bewältigt, wie in Deutschland und den USA mit einer Roboterichte von circa 1.200/10.000. In den Schwellenländern besitzt die Branche jedoch enormes Aufholpotenzial. Im Jahr 2015 betrug die Roboterichte in der chinesischen Automobilindustrie nur 392 auf 10.000 Arbeitsplätze, während dort gleichzeitig dreißig Prozent der weltweit produzierten Fahrzeuge vom Stapel liefen. Die Ausstattung der chinesischen Produktion mit Industrierobotern wird zunehmend mithilfe chinesischer Roboterhersteller bewältigt. Deren Anteil lag auf dem heimischen Robotermarkt im Jahr 2015 bereits bei 29 Prozent<sup>57</sup>.

Mit Ausnahme der Automobilproduktion in den Industriestaaten besteht somit in den kommenden Jahren weltweit noch großes Potenzial für Roboterinstallationen. Diese werden zum einen von aufholenden Industrien in den Schwellenländern, aber auch von notwendigen Modernisierungs- und Umrüstungsprozessen in den Industriestaaten angetrieben.

## 9.2 Straßen- und Schienenverkehr

Automatisierte Fahrsysteme (Advanced driver assistance systems/ ADAS) werden den Mobilitätsmarkt revolutionieren. Prognosen gehen davon aus, dass bis 2025 6,2 Millionen Fahrzeuge auf automatisierte Funktionen zurückgreifen werden – 4,7 Millionen mehr als im Jahr 2015. Während Erstausrüster bereits ab 2017 halb-automatisierte Modelle anbieten, sollen hoch-automatisierte Produkte ab 2020 verfügbar sein. Aus derzeitiger Sicht sind vor allem deutsche Hersteller gut aufgestellt, den Großteil hoch- und vollautomatisierter Fahrzeuge auf den europäischen und nordamerikanischen Markt zu liefern, denn sie

54, 56, 57 Vgl. IFR 2016a.

55 Vgl. The State Council – PRC 2016.



verfügen schon heute über den größten Anteil von Automatisierungsfunktionen bei Serienfahrzeugen. Aufgrund der hohen Dynamik und großer Leitmärkte wie China können aber auch asiatische Produzenten zu Global Playern im Segment werden<sup>58</sup>.

Die unternehmerischen Chancen ergeben sich gleichermaßen für die Zulieferer von Komponenten wie Sensoren, Radare, Kameras, GPS und Lidar, die sich aufgrund des steigenden Wertschöpfungsanteils von Software am Fahrzeug auch gegenüber den Fahrzeugherstellern neu positionieren können. Neben hardwarebezogenen Speicherkonzepten und integrierten Hochleistungsschaltkreisen gibt es für Zulieferer in der Software-Entwicklung für Bereiche wie die KI, die Analyse großer Datenmengen in der Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation (beziehungsweise Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation) und die Echtzeit-Verkehrsdaten für autonome Kommunikationsnetzwerke große Wachstumspotenziale<sup>59</sup>.

Die gute Ausgangsposition der deutschen Industrie bezüglich hochautomatisierter Fahrzeuge (HAF) zeigt sich im globalen Markt für ADAS, in dem Deutschland 2014 Leitanbieter war. Drei der acht wichtigsten Zulieferer für ADAS haben ihren Hauptsitz in Deutschland. Der Weltmarktanteil deutscher Zulieferer, die die technologisch führenden Anbieter für Radarsensorik und Aktorik darstellen, beträgt 52,5 Prozent. Hohe Marktanteile bei ADAS sind auch bei den deutschen Fahrzeugherstellern zu verzeichnen (32,5 Prozent). Ausgehend von den circa 5.400 mit ADAS verbundenen Arbeitsplätzen werden für die Jahre 2020 und 2025 jeweils circa 20.100 und 70.000 Arbeitsplätze in Deutschland prognostiziert; dazu kommt die induzierte Beschäftigung in der Vorleistungskette, die für 2025 auf knapp 50.000 Arbeitsplätze beziffert wird.

Der erwartete volkswirtschaftliche Nutzen für Deutschland im Bereich des hochautomatisierten Fahrens hängt von der Marktdurchdringung der HAF ab. Für das Jahr 2020 wird für die knapp 50.000 HAF-Fahrzeuge in Deutschland ein positiver Effekt in Höhe von 33 bis 64 Euro pro Fahrzeug erwartet; bei einer vollständigen Durchdringung des deutschen Pkw-Bestands mit hochautomatisierten Fahrzeugen wächst dieser Wert auf 95 bis 320 Euro an<sup>60</sup>.

Einer Einführung von HAF auf deutschen Autobahnen bis zum Jahr 2020 stehen keine grundsätzlichen technischen Hindernisse entgegen. Die wesentlichen fahrzeugbezogenen und infrastrukturellen Technologien sind entweder bereits heute serienreif oder befinden sich in einem seriennahen Entwicklungszustand. Der Marktstart der ersten HAF-Funktion ist von einem deutschen Fahrzeughersteller für das Jahr 2017 angekündigt<sup>61</sup>.

Überwiegend in urbanen Räumen zeigt sich ein stetiger Wandel des Mobilitätsverhaltens. Durch den hohen Digitalisierungsgrad vor allem junger Erwachsener ist der Zugang zu Fahrplänen oder Sharing-Websites jederzeit gegeben und bewirkt einen wachsenden Trend der Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel oder von Fahrgemeinschaften<sup>62</sup>. Aktuelle Carsharing-Modelle wie das stationsbasierte (z.B. der Anbieter Flinkster) und das sogenannte „flexible“ Carsharing (DriveNow) gelten als Vorläufer disruptiver/visionärer Geschäftsmodelle der Zukunft, sodass momentan zahlreiche Anbieter versuchen,

auf diesem Markt Fuß zu fassen. Seit 2009 das flexible Carsharing als Pilotprojekt von Car2Go (Daimler) in Ulm startete, hat sich das Anbieterfeld, zu dem mittlerweile auch zum Beispiel BMW mit DriveNow gehört, vergrößert<sup>63</sup>.

Durch den Eintritt autonomer Fahrzeuge in die Städtestruktur wird eine rapide Weiterentwicklung dieser bereits existierenden Carsharing-Geschäftsmodelle eintreten<sup>64</sup>. Neue, serviceorientierte Leistungen wie Vehicle-on-Demand (VoD) werden anstelle klassischer Geschäftsmodelle treten, die derzeit insbesondere von nicht klassischen Automobilindustrieherstellern wie Google oder Uber angeregt werden<sup>65</sup>. Diese stellen für etablierte Automobilhersteller eine reelle Herausforderung dar. Einzelne Umfragen deuten darauf hin, dass vor allem junge Nutzer und Konsumenten aus Schwellenländern wie China und Indien an dem Erwerb eines Fahrzeugs von einem Technologiekonzern wie Apple oder Google interessiert sind<sup>66</sup>.

Des Weiteren können im Rahmen des vollautomatisierten Fahrens zusätzliche neue Geschäftsmodelle und Serviceangebote, wie beispielsweise Streamingdienste und Location-based-Services (LBS), entstehen. Allerdings nehmen insbesondere amerikanische IT-Unternehmen in diesen Märkten derzeit eine bessere Wettbewerbsposition ein, womit die Gefahr einhergeht, dass ein Großteil dieser Wertschöpfung nicht in Deutschland generiert wird<sup>67</sup>.

Die Entwicklung fahrerloser Automobile beschäftigt auch Unternehmen des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV). Aufgrund der verschwimmenden Grenzen zwischen individuellem und öffentlichem Verkehr kann sich dieser Fortschritt als eine „Existenzbedrohung“ für den ÖPNV herausstellen<sup>68</sup>. Andererseits kann der ÖPNV sich zum „zentralen Teil des öffentlichen Verkehrssystems“ entwickeln, bei dem fahrerlose Minibusse oder Taxis neue Wohngebiete erschließen und die gesamte Verkehrslogistik ergänzen<sup>69</sup>. Der Vorteil durch autonome Fahrzeuge liegt dabei in der bedarfsangepassten Bedienung, die zu einer Flexibilisierung von Zeiten und Routen führen kann.

Durch die Vernetzung unterschiedlichster Verkehrssysteme zu einem multimodalen Verkehrssystem lassen sich die intermodale Nutzung von zum Beispiel Bahn- und Carsharing-Fahrzeugen optimieren und auf diese Weise private und öffentliche Verkehrsanbieter einbinden<sup>70</sup>. Hierbei soll das vom BMUB geförderte Forschungsprojekt „OTS 1.0“<sup>71</sup> sowohl Antworten auf Fragen wie Ausprägungen von zukünftigen, intermodal hochintegrierten, ÖPNV-basierten Mobilitätskonzepten inklusive deren Geschäftsmodelle und rechtlichen Rahmenbedingungen liefern, als auch die Auswirkung auf die verkehrliche und städtebauliche Integration beurteilen.

Allerdings stellt die geringe Nutzerakzeptanz derzeit ein Hindernis für die Evolution autonomer Fahrsysteme dar. Während die Technologie laut einer Studie der Boston Consulting Group (BCG) in Schwellenlän-

63, 64 Vgl. Maurer et al. 2015.

65 Vgl. Attias 2017.

66 Vgl. Capgemini 2015.

67 Vgl. Fraunhofer IAO 2015.

68 Vgl. Schnieder et al. 2016.

69 Vgl. Schnieder et al 2016; Lemmer 2016.

70 Vgl. Maurer et al. 2015.

71 Vgl. BMUB 2017.



dern wie Indien höhere Akzeptanz (85 Prozent) genießt, bleiben die Nutzer in Industrieländern weiterhin skeptisch (Deutschland 44 Prozent; Japan 36 Prozent). Um nachfrageorientierte Lösungen anbieten zu können, werden Autohersteller der Evolution ihrer Kunden folgen müssen<sup>72</sup>. Dementsprechend sind Einschätzungen zu berücksichtigen, dass der Bereich des autonomen Fahrens derzeit noch stark vom Technologieschub getrieben sei, in dem die Perspektive der Konsumentinnen und Konsumenten sowie Nutzerszenarien und die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle teilweise noch deutlich fehlten<sup>73</sup>.

Insgesamt weist die Automatisierung von Fahrzeugen jedoch Merkmale einer disruptiven Innovation auf. Die industriepolitischen Risiken bestehen darin, dass neue Akteure oder „Quereinsteiger“ autonome Fahrzeuge früher realisieren und dann so schnelle Leistungsverbesserungen erzielen, dass das traditionelle Geschäftsmodell der Automobilindustrie erst nach und nach ersetzt wird<sup>74</sup>.

### 9.3 Smart Home

Der Markt für Smart-Home-Anwendungen ist stark segmentiert. Anwendungen unterschiedlicher Branchen, wie zum Beispiel Heizungs- und Energiesysteme, elektrische Haushaltsgeräte und Roboter, Beleuchtungs-, Komfort-, Assistenz- und Sicherheitssysteme, fallen in den Smart-Home-Bereich, obwohl ihre Marktentwicklung statistisch getrennt erfasst wird. Insofern besteht ein zentrales Problem bei der statistisch korrekten Bestimmung des Smart-Home-Marktumfangs. Dies zeigt sich am Beispiel einer intelligenten Waschmaschine und der Frage, welcher Anteil der Waschmaschine dem Smart-Home-Marktumsatz zugerechnet werden kann – der Wert der gesamten Waschmaschine oder lediglich der Anteil, der die Vernetzung im Smart Home erfasst?

Die Annahme über den Smart Home relevanten Anteil am gesamten Marktpreis bestimmt somit das geschätzte Marktvolumen – mit dem Effekt, dass die Ergebnisse von Marktstudien signifikant variieren. Entsprechend der von Botthof et al. (2016) zusammengestellten Übersicht unterschiedlicher Studien wurde das weltweite Marktvolumen für Smart-Home-Anwendungen in 2013 auf 4,4 bis 5,8 Milliarden US-Dollar geschätzt, für die Jahre 2018 und 2020 auf jeweils 7,3 Milliarden US-Dollar und 21,7 Milliarden US-Dollar. Zudem variieren die Erwartungen an die Marktperspektiven für Smart-Home-Anwendungen auch regional. So werden besonders hohe Wachstumsraten in China gesehen, mit einem prognostizierten Marktvolumen von 22,8 Milliarden US-Dollar für das Jahr 2018. Auch für Deutschland sind die Erwartungen beachtlich, mit einem geschätzten Marktvolumen von 4,1 Milliarden Euro für das Jahr 2017 und 19 Milliarden Euro für das Jahr 2025.

72 Vgl. Attias 2017.

73 Vgl. Bartl 2015.

74 Vgl. Fraunhofer IAO 2015.

Aufgrund der genannten Problematik bei der Bewertung des Smart-Home-Marktvolumens hat eine Betrachtung von abgesetzten Einheiten gegenüber einer monetarisierten Betrachtung Vorteile. So wird für das Jahr 2017 internetfähige Haustechnik im Umfang von zwei Milliarden Geräten allein in Deutschland erwartet. Prognosen gehen davon aus, dass in zehn Jahren alle neueren Hausgeräte vernetzungsfähig sind. Diese nationalen Schätzungen entsprechen auch den Erwartungen zur Entwicklung der internationalen Smart-Home-Märkte. Beispielsweise wird für das Jahr 2019 geschätzt, dass bereits 69 Prozent aller amerikanischen Haushalte intelligente vernetzte Hausgeräte besitzen werden und in australischen Haushalten die durchschnittliche Anzahl der internetfähigen Geräte von heute neun auf 24 anwachsen wird <sup>75</sup>.

Auch für einzelne Marktsegmente lassen sich entsprechende Entwicklungsperspektiven identifizieren. So wurden 2015 für den Einsatz im privaten Haushalt schätzungsweise über 3,7 Millionen Roboter (Staubsauger, Mähroboter etc.) verkauft, was einen Anstieg um elf Prozent zu den Verkaufszahlen des Vorjahres darstellt. Prognosen zufolge werden zwischen 2016 und 2019 bis zu 31 Millionen Serviceroboter für den privaten und häuslichen Gebrauch, mit einem Gesamtwert von 13,2 Milliarden US-Dollar, verkauft werden <sup>76</sup>.

Der Bereich der Pflege und Assistenz verzeichnete für das Jahr 2015 ein Wachstum von sieben Prozent (4.700 Einheiten) im Vergleich zum Vorjahr. Erwartungen zufolge wird der Markt für Assistenzroboter, die Seniorinnen und Senioren und Menschen mit Behinderung bei der Bewältigung von Alltagsaufgaben behilflich sind, eine zunehmend wichtige Rolle spielen. Trotz der noch niedrigen prognostizierten Verkaufszahlen für den Zeitraum 2016 bis 2019 (circa 37.500 Einheiten) wird durch den demografischen Wandel in den großen Industrienationen der Markt in den kommenden zwanzig Jahren erheblich wachsen <sup>77</sup>.

Insgesamt zeigen alle Analysen der Marktpotenziale für Smart-Home-Anwendungen, dass die Entwicklungsperspektiven von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst werden. Die Interoperabilität wird dabei als der zentrale Faktor bewertet. Die Mehrheit der Studien geht von der Annahme aus, dass die Interoperabilität von Smart-Home-Lösungen in unterschiedlichen Anwendungsbereichen eine Grundvoraussetzung für eine dynamische Entwicklung ist. Die Cyber-Sicherheit, das heißt der Schutz der Privatsphäre sowie die Datensicherheit, wird als ein zweiter wichtiger Faktor eingeschätzt. Insbesondere bei cloudbasierten Lösungen wird ein hohes Schutzbedürfnis konstatiert – auch wenn dieses regional in seinem Umfang variiert. Schließlich wird als dritter Einflussfaktor die Entwicklung gewerkeübergreifender Anwendungen hervorgehoben. Smart-Home-Anwendungen zum Steuern von Komfortelementen werden zwar für den Marktstart als bedeutsam bewertet, jedoch wird eine Beschleunigung des Marktwachstums erst in Verbindung mit der Entstehung neuer Anwendungs- und Nutzungskonzepte gesehen.

<sup>75</sup> Vgl. Botthof et al. 2016.

<sup>76, 77</sup> Vgl. IFR 2016b.



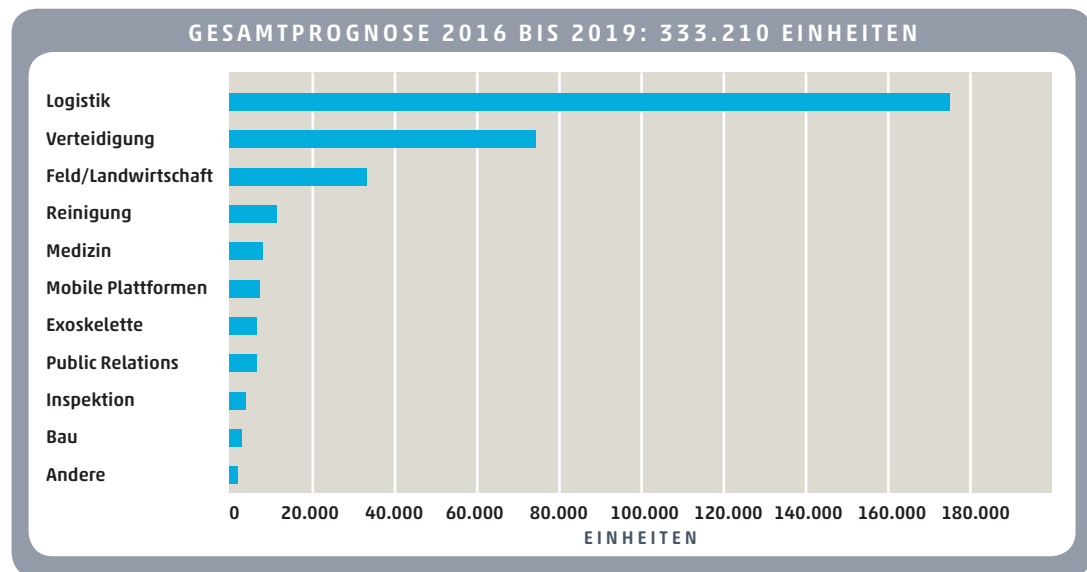
## 9.4 Menschenfeindliche Umgebungen

Die Anwendungsfelder für Serviceroboter in menschenfeindlichen Umgebungen fallen entsprechend der IFR in die folgenden Kategorien:

- Rettung und Sicherheit mit den Untergruppen Feuer-, Unfall- und Katastrophenschutz, Sicherheitschutz und Überwachung
- Verteidigung mit den Untergruppen Minenräumung, unbemannte Luft- und Bodenfahrzeuge
- Unterwasserroboter für die Exploration, Datengewinnung und Handhabungsaufgaben

Marktprognosen für den Einsatz von Servicerobotern in Bereichen, zu denen menschenfeindliche Umgebungen zählen, sind in Abbildung 28 dargestellt.

**Abbildung 28:**  
Prognose für den Einsatz  
von Servicerobotern für  
gewerbliche Anwendungen  
in den Jahren 2016 bis 2019  
(Quelle: IFR 2016b).



Roboter für den maritimen Gebrauch, vor allem in großen, schwer zugänglichen Regionen und Tiefen, gelten unter den Servicerobotern als kostenintensiv. So lag der Verkaufswert 2015 bei durchschnittlich 0,7 Millionen US-Dollar pro Einheit. Insgesamt wurden 2015 weltweit Unterwassersysteme im Wert von 91 Millionen US-Dollar abgesetzt. Für den Zeitraum 2016 bis 2019 wird der Verkauf von rund siebenhundert Rettungs- und Sicherheitsrobotern sowie weiteren siebenhundert Unterwassersystemen prognostiziert, wobei diese Zahlen als Trendangaben zu bewerten sind <sup>78</sup>.

Mit dem Baugewerbe ist ein weiterer wachsender Markt für Roboterinstallationen in menschenfeindlichen Umgebungen identifiziert. Aufgrund der gesundheitlichen Risiken für den Menschen gewinnen automatisierte Bau- und Abrissroboter zunehmend an Bedeutung. Allein im Jahr 2015 wurden bereits 568 Bau- und Abrissysteme installiert; vorsichtigen Prognosen zufolge kann mit mindestens 2.800 verkauften Einheiten im Zeitraum 2016 bis 2019 gerechnet werden<sup>79</sup>.

Der Großteil der Serviceroboter für menschenfeindliche Umgebungen wird für militärische und Sicherheitsanwendungen verkauft. Allein in diesem Bereich werden nach Schätzungen über eine Milliarde US-Dollar pro Jahr umgesetzt. Aus europäischer Produktion werden mit über 6.000 Einheiten mehr Geräte verkauft als aus Amerika. Im zivilen Bereich sind die Serviceroboter für Tanks und Rohrleitungen mit fast hundert Installationen jährlich besonders wichtig. Bei den Inspektions- und Wartungsrobotern stammt von den im Jahr 2015 weltweit verkauften 275 Einheiten etwa die Hälfte aus Asien<sup>80</sup>.

Zur Abschätzung der Marktpotenziale im Bereich der menschenfeindlichen Umgebungen ist ein Blick auf die weltweiten Anbieter relevanter Anwendungen sinnvoll. Minenräumen, als eine der wichtigsten Anwendungen, wird durch sechs internationale Anbieter und ein deutsches Unternehmen repräsentiert. Der Bereich Feuer- und Katastrophenbekämpfung ist mit 35 Unternehmen weltweit weitaus größer; unter den 15 Europäern finden sich hier drei deutsche Firmen<sup>81</sup>.

Bei den Servicerobotern für den kontinuierlichen Betrieb in menschenfeindlichen Umgebungen sind vor allem die Maschinen für den menschenlosen Betrieb von Nuklearanlagen technologisch und ökonomisch bedeutsam. Von den zwanzig Herstellern weltweit sind drei führende Hersteller aus Deutschland. Speichertanks und Rohrleitungen zählen zu den besonders menschenfeindlichen industriellen Umgebungen, für deren Wartung, Inspektion und Reparatur zehn Unternehmen aus Nordamerika und zwei deutsche Unternehmen Systeme bereitstellen. Bei den zuvor bereits erwähnten Abrissrobotern sind alle acht führenden Unternehmen aus Europa, darunter auch ein deutsches Unternehmen<sup>82</sup>.

Insgesamt zeigen alle Analysen und Prognosen ein sehr hohes Marktpotenzial für autonome Systeme in menschenfeindlichen Umgebungen. Im Unterschied zu anderen Domänen spielen Akzeptanzprobleme in den meisten Anwendungsfällen solcher Systeme kaum eine Rolle – sobald eine entsprechende Technologie einsatzreif ist, wird sie in der Regel sofort eingesetzt. Sogar hohe Kosten spielen in vielen spezifischen Märkten nur eine untergeordnete Rolle. Probleme liegen vor allem in der Komplexität und Heterogenität der Aufgaben für solche Systeme, die sie autonom bewältigen müssen – insbesondere in unstrukturierten dynamischen Umgebungen.

79, 80, 81, 82 Vgl. IFR 2016b.



## 10. LITERATURVERZEICHNIS

### → APPsist 2017

APPsist 2017: „APPsist – Intelligente Assistenzsysteme in der Produktion“.  
[http://www.appsist.de/intelligente\\_assistenzsysteme/](http://www.appsist.de/intelligente_assistenzsysteme/) [Stand: 14.02.2017].

### → Attias 2017

Attias, D.: „The Autonomous Car, a Disruptive Business Model?“. In: The Automobile Revolution – Towards a New Electromobility Paradigm, Springer International Publishing 2017.

### → Bartl 2015

Bartl, M.: „The Future of Autonomous Driving – Introducing the Foresight Matrix to Support Strategic Planning“. In: The Making of Innovation, 2015.

### → Basic 2016

Basic, R.: „Modulare Montage bei Audi: Fertigungsinseln statt Fließband“. In: Audi Blog (Artikel vom 23.11.2016).  
<http://blog.audi.de/2016/11/23/modulare-montage-statt-fließband/> [Stand: 14.02.2017].

### → BMBF 2016

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF): Richtlinie über die Förderung zum Themenfeld „Zivile Sicherheit – Innovationslabore/Kompetenzzentren für Robotersysteme in menschenfeindlichen Umgebungen“ im Rahmen des Programms „Forschung für die zivile Sicherheit 2012 bis 2017“ der Bundesregierung (Bekanntmachung vom 20.07.2016).  
<https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-1208.html>  
[Stand: 14.02.2017].

### → BMUB 2017

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Projekt „OTS 1.0 - Optimierte Transportsysteme basierend auf selbstfahrenden Elektrofahrzeugen“ im Rahmen des Programms "Erneuerbar mobil"  
<http://www.erneuerbar-mobil.de/projekte/ots-10> [Stand: 26.02.2017].

### → Botthof et al. 2016

Botthof, A./Heimer, T./Strese, H.: „SmartHome2 Market – Marktperspektiven für die intelligente Heimvernetzung – 2016“. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hrsg.), Berlin 2016.  
<http://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/smarthome-broschuere.html> [Stand: 16.02.2017].

### → Capgemini 2015

Capgemini Consulting: Cars online 2015 – The Selfie Experience.  
<https://www.capgemini.com/cars-online-2015>  
[Stand: 16.02.2017].

### → Dabrock 2017

Dabrock, P.: „Wenn Autos Menschen fahren. Warum die wirklichen ethischen Herausforderungen des autonomen Fahrens jenseits der Trolley-Probleme lauern?“. In: Zeitschrift für Evangelische Ethik, 61, 2017, S. 83–88.

### → EP DG IPOL 2016

European Parliament Directorate-General for Internal Policies, Policy Department C: Citizens' Rights and Constitutional Affairs „European Civil Law Rules in Robotics“. Study PE 571.379, Brussels 2016.

- **Fachforum Autonome Systeme/acatech 2016**  
Fachforum Autonome Systeme/acatech (Hrsg.): Das Fachforum AUTONOME SYSTEME im Hightech-Forum der Bundesregierung – Chancen und Risiken für Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft. Zwischenbericht, München 2016.
- **Fraunhofer IAO 2015**  
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO: Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen – Industriepolitische Schlussfolgerungen, 2015.
- **Frost/Sullivan 2015**  
Frost/Sullivan: „The Future of Mobile Robots“. In: MegaTrends, Mountain View, CA, USA, 2015.
- **Hybr-iT 2017**  
Hybr-iT – Förderprojekt des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz (DFKI). <http://hybr-it-projekt.de/> [Stand: 14.02.2017].
- **IAB 2015**  
IAB (Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, Hrsg.): Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt – Substituierbarkeitspotenziale von Berufen in Deutschland, IAB-Forschungsbericht 11/2015.
- **IFR 2016a**  
IFR (International Federation of Robotics), Statistical Department (Hrsg.): World Robotics – Industrial Robots 2016, Executive Summary, Frankfurt am Main 2016.
- **IFR 2016b**  
IFR (International Federation of Robotics), Statistical Department (Hrsg.): World Robotics – Service Robots 2016, Executive Summary, Frankfurt am Main 2016.
- **Lemmer 2016**  
Lemmer, K. (Hrsg.): Neue autoMobilität. Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft (acatech STUDIE). München: Herbert Utz Verlag 2016.
- **LOCAL MOTORS 2015**  
Local Motors: Introducing LM3D. The 3D-printed car series from Local Motors. <https://localmotors.com/3d-printed-car/> [Stand: 14.02.2017].
- **Ludwig et al. 2016**  
Ludwig, K. V./Düll, N./Kriechel, B.: Arbeitsmarkt 2030 Wirtschaft und Arbeitsmarkt im digitalen Zeitalter, Kurzfassung, 2016.
- **Maurer et al. 2015**  
Maurer, M./Gerdes, J.C./Lenz, B./Winner, H. (Hrsg.): Autonomes Fahren – Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte, Springer Open 2015.
- **McKinsey 2013**  
McKinsey & Company/McKinsey Global Institute (Hrsg.): Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy, 2013.
- **Nationaler IT-Gipfel Berlin 2015 – Plattform „Digitale Netze und Mobilität“ 2015**  
Nationaler IT-Gipfel Berlin 2015 – Plattform „Digitale Netze und Mobilität“ (Hrsg.): Smart Home (Ergebnisdokument der Projektgruppe Smart Home), Berlin 2015.
- **OECD 2016**  
OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development, Hrsg.): OECD Employment Outlook 2016, OECD Publishing, Paris 2016.



- **Pegasus-Netzwerk 2017**  
Pegasus-Netzwerk – Nachwuchsnetzwerk für Mobilität und Verkehrsforschung.  
<http://pegasus-netzwerk.de/>  
[Stand: 14.02.2017].
- **Rexroth Bosch Group 2017**  
Rexroth Bosch Group (Hrsg.): First Industry 4.0 line on-stream in daily production, 2017.  
<https://www.boschrexroth.com/en/xc/trends-and-topics/industry-4-0/best-practices/multi-product-line-demonstrator/homburg-assembly-line/homburg-line>  
[Stand: 14.02.2017].
- **Scarpetta 2016**  
Scarpetta, S.: What future for work?, OECD Observer, doi: <http://dx.doi.org/10.1787/e0e110b2-en>
- **Schidlack 2014**  
Schidlack, M.: „Smart Home 2014: Marktentwicklung und Trends“. BITKOM – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V. (Hrsg.), Frankfurt 2014.  
<https://www.bitkom.org/noindex/Publikationen/2014/Studien/Marktaussichten-fuer-Smart-Home/141023-Marktaussichten-SmartHome.pdf> [Stand: 14.02.2017].
- **Schnieder/Gebhardt 2016**  
Schnieder, L./Gebhardt, L.: „Nutzerorientierter Entwurf innovativer Mobilitätskonzepte für urbane Räume“. In: 14. Fachtagung EKA 2016 – Entwurf komplexer Automatisierungssysteme, Magdeburg 2016.
- **Schnieder et al. 2016**  
Schnieder, L./Kohl, W./Karnahl, K./Löper, C.: „Mobilitätsdienste zur Eingliederung individuell abrufbarer Personentransportsysteme in den ÖPNV“. In: 17. Symposium Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel, Braunschweig 2016, S. 140–149.
- **SmartHome 2015**  
SmartHome Initiative Deutschland e. V. (Hrsg.): Aktuelle Studie zu Smart Home & AAL in der Immobilien- und Wohnungswirtschaft, 2015.  
[https://mm1.de/fileadmin/content/Whitepaper/mm1\\_Studie\\_Smart\\_Home\\_in\\_der\\_Wohnungswirtschaft.pdf](https://mm1.de/fileadmin/content/Whitepaper/mm1_Studie_Smart_Home_in_der_Wohnungswirtschaft.pdf)  
[Stand: 14.02.2017].
- **Statista GmbH 2015**  
Statista GmbH: Welche Dinge spielen für Sie für ein selbständiges Leben im Alter eine Rolle?  
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/170440/umfrage/wichtige-bedingungen-fuer-selbststaendigkeit-im-alter/>  
[Stand: 14.02.2017].
- **The State Council – The People's Republic of China 2016**  
The State Council – The People's Republic of China (Hrsg.): Made in China, 2016.  
<http://english.gov.cn/2016special/madeinchina2025/> [Stand: 14.02.2017].

- **Umweltbundesamt 2015**  
Umweltbundesamt (Hrsg.): Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung), Dessau-Roßlau 2015.  
[http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/monitoringbericht\\_2015\\_zur\\_deutschen\\_anpassungsstrategie\\_an\\_den\\_klimawandel.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/monitoringbericht_2015_zur_deutschen_anpassungsstrategie_an_den_klimawandel.pdf) [Stand: 14.02.2017].
- **vzbz 2016**  
vzbz 2016: Verbraucher skeptisch bei fahrerlosen Autos.  
[http://www.vzbv.de/sites/default/files/infografik-fahrerlose\\_autos-vzbv-2016.pdf](http://www.vzbv.de/sites/default/files/infografik-fahrerlose_autos-vzbv-2016.pdf) [Stand: 14.02.2017].
- **World Bank 2016**  
World Bank (Hrsg.): World Development Report 2016: Digital Dividends. Washington DC 2016. doi:10.1596/978-1-4648-0671-1.
- **World Economic Forum 2016a**  
World Economic Forum (Hrsg.): The Global Risks Report 2016 (Insight Report, 11th Edition), Geneva 2016.  
[http://www3.weforum.org/docs/GRR/WEF\\_GRR16.pdf](http://www3.weforum.org/docs/GRR/WEF_GRR16.pdf) [Stand: 14.02.2017].
- **World Economic Forum 2016b**  
World Economic Forum (Hrsg.): The Future of Jobs – Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution (Global Challenge Insight Report), Geneva 2016.  
[http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Future\\_of\\_Jobs.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf) [Stand: 14.03.2017]
- **Wuppertal Institut 2012**  
Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH (Hrsg.): Kurzdarstellung des Projekts: SusLab-NWE – Errichtung einer vernetzten Infrastruktur für nutzerintegrierte Nachhaltigkeitsinnovationen, 2012.  
[http://www.klimaexpo.nrw/fileadmin/user\\_upload/Projekte/Suslab/Kurzbeschreibung\\_SusLab\\_WI\\_Download.pdf](http://www.klimaexpo.nrw/fileadmin/user_upload/Projekte/Suslab/Kurzbeschreibung_SusLab_WI_Download.pdf) [Stand: 14.02.2017].
- **ZEW 2015**  
ZEW (Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung, Hrsg.): Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland, Endbericht, Kurzexpertise Nr. 57, 2015.



## 11. ANNEX – VERNETZTE AUTONOME SYSTEME AUF DER CEBIT 2017

Auf einem gemeinsamen Stand bei der IT Messe CeBIT zeigte acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften in Kooperation mit dem Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz und der Deutschen Messe AG neun Beispiele für vernetzte autonome Systeme aus verschiedensten Anwendungsbereichen. Die neun Exponate belegten die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten solcher Systeme, beispielsweise für die Weltraumerkundung, in Katastrophengebieten, in der Schifffahrt, auf der Schiene oder im unmittelbaren Wohnumfeld.

**Abbildung 29:**  
Eindrücke vom Messestand  
Vernetzte Autonome Systeme auf der CeBIT 2017.  
(© acatech)



### Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)/ Universität Bremen: Weltraumrobotik – Autonomer Schreit- und Fahrrover SherpaTT und Mikro-Rover Coyote III

**Die Idee:** Im Projekt FT-Utah (Field Trials Utah) testeten das Robotics Innovation Center des DFKI und die Universität Bremen Ende 2016 verschiedene Robotersysteme im Rahmen einer vierwöchigen Feldtestkampagne. Gemeinsam mit einer in Bremen stationierten Kontrollstation simulierten die Roboter in der marsähnlichen Wüste des US-Bundestaats Utah eine komplette Missionssequenz. Ziel war es herausfinden, wie komplexe Missionsaufgaben zur Erkundung extraterrestrischer Himmelskörper effizient und vielseitig umsetzbar sind.

**Die Innovation:** Bisherige Robotersysteme sind monolithisch und daher nach Missionsstart nicht mehr erweiterbar. In FT-Utah setzen die Wissenschaftler auf ein heterogenes Mehrroboterteam, das untereinander kooperiert und sich durch eine modulare Gestaltung vielseitig rekonfigurieren kann. So sind etwa die beiden Rover SherpaTT und Coyote III mit elektromechanischen Schnittstellen ausgestattet, über die sie sich an unterschiedliche Missionsszenarien anpassen lassen und zusätzliche Nutzlasten transportieren können.

**Die Anwendung:** Die Feldtestkampagne liefert wichtige Erkenntnisse zur Robustheit, Bewegungsfähigkeit und autonomen sowie kooperativen Erkundung unstrukturierter Umgebungen mit Hilfe innovativer robotischer Plattformen. Damit stellt sie einen Meilenstein für die Umsetzung zukünftiger komplexer Mars- und Mondmissionen dar. Auch terrestrische Search and Rescue-Szenarien mit heterogenen, spezialisierten Robotern in Katastrophenszenarien profitieren von den Ergebnissen.

FT-Utah wird von der Raumfahrt-Agentur des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert.



**Abbildung 30:** Die Systeme SherpaTT und Coyote III demonstrieren auf der CeBit 2017 einen Teil der im Rahmen der Feldtests in Utah durchgeführten Mission. (© DFKI GmbH; Florian Cordes)



### Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)/ Volkswagen AG: iMRK – intelligente Mensch-Roboter-Kollaboration

**Die Idee:** Die Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) ist ein wichtiger Baustein der dezentral gesteuerten Fertigung in der Industrie 4.0. Die Herausforderungen sind dabei unter anderem die nahtlose Eingliederung des Menschen in die Steuerung eines Arbeitsprozesses sowie die schnelle Integration neuer Roboter durch modulare und herstellerunabhängige Hard- und Software. Um ein sicheres und intuitives MRK-System zu gestalten, bedarf es zudem der Integration verschiedener Funktionalitäten in einem einzigen Roboter.

**Die Innovation:** In dem Projekt iMRK (intelligente Mensch-Roboter-Kollaboration) ist es dem Robotics Innovation Center des DFKI und der Volkswagen AG gelungen, eine ganze Reihe wichtiger MRK-Funktionalitäten in einem Robotersystem zu integrieren, unter anderem Umgebungserfassung und sensorübergreifendes Personentracking, Dual-Arm-Selbstkollisionsvermeidung und Kollisionsvermeidung mit externen Objekten. Die Steuerung, die auf der am DFKI Robotics Innovation Center entwickelten modularen und herstellerunabhängigen Software-Architektur ROCK basiert, ist zudem mittels einfacher Gesten intuitiv möglich. Das in diesem Projekt konzipierte System steht damit im Gegensatz zu bestehenden Robotern, die jeweils über einzelne dieser Funktionalitäten verfügen.

**Die Anwendung:** MRK-Systeme werden künftig überall dort zur Anwendung kommen, wo sich Mensch und Roboter einen gemeinsamen Arbeits- bzw. Handlungsraum teilen, unter anderem im Bereich Industrie 4.0.

**Abbildung 31:**  
Demonstration des im  
Projekt iMRK (intelligente  
Mensch-Roboter-Kollabora-  
tion) entwickelten Roboter-  
systems. (© Volkswagen AG)



### FRANKA EMIKA: Der vernetzte, feinfühlige und lernfähige Roboter für Jedermann

**Die Idee:** Das Ziel der FRANKA EMIKA GmbH ist es, Roboter zu einem allgemein zugänglichen Multifunktionswerkzeug werden zu lassen, bei dessen Entwicklung der Mensch stets im Zentrum steht. Die Demokratisierung solch einer Schlüsseltechnologie beinhaltet, dass die zu Grunde liegende Technologie nicht nur leistungsfähig und sicher, sondern auch für jeden erschwinglich, flexibel einsetzbar und global verfügbar ist.

**Die Innovation:** Die vollständig modulare Ultraleichtbauweise, das hochintegrierte mechatronische Design und die auf Grund der Drehmomentregelung ermöglichte Fähigkeit zur geschickten feinfühligten Manipulation ermöglichen es FRANKA EMIKA Tätigkeiten auszuführen, welche einen direkten physischen Kontakt mit der Umwelt erfordern.

**Die Anwendung:** Der Einsatz von FRANKA EMIKA bedeutet, dass häufig anfallende aber meist monotone Aufgaben wie feinfühliges Stecken, Schrauben, Fügen sowie Test-, Inspektions- und Montageaufgaben erstmals überhaupt automatisiert werden können. Durch die einfache und schnelle Programmierung können kleine und mittelständische Unternehmen, genauso wie international aufgestellte Konzerne, flexibel und kostengünstig automatisieren.



**Abbildung 32:**  
FRANKA EMIKA demonstriert  
echte Mensch-Roboter  
Kollaboration (MRK) ohne  
Schutzzaun. (© FRANKA  
EMIKA GmbH)



**Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB): Bodenfahrzeug Quanjo & Autonomer Bagger IOSB.BoB**

**Die Idee:** Im Katastrophenfall sollen Rettungskräfte schnell ein Lagebild und Hinweise auf gefährdete Menschen erhalten. Autonome Roboter können die hierfür benötigten Informationen sammeln und darüber hinaus Kontaminationen und Gefahrstoffe beseitigen, ohne dass Menschen die Gefahrenzone betreten müssen. Eine große Bandbreite mobiler Roboter deckt die Anforderungen verschiedenster Einsatzszenarien ab. Dazu zählen beispielsweise auch autonome schwere Baumaschinen.

**Die Innovation:** Im Katastrophengebiet werden autonome Sensorsonden sowie Boden- und Luftroboter eingesetzt und miteinander vernetzt. Sie übermitteln präzise Informationen an einen Leitstand mit digitalem Lagetisch, auf dem die wahrgenommene Umgebung visualisiert wird. Die intuitive Bedienung des Lagetisches mittels Gesten ermöglicht es den Einsatzkräften, schnell einen Überblick über die relevante Information zu gewinnen und den Einsatz der autonomen Robotersysteme zu koordinieren. Mit Hilfe einer flexibel einsetzbaren Toolbox aus Algorithmen können die Roboter selbstständig das Gelände kartieren, kollisionsfrei zu einem Zielpunkt fahren sowie Gegenstände greifen und abtransportieren.

**Die Anwendung:** Zum Beispiel bei Erdbeben oder Hochwasser können Rettungskräfte mögliche Verschüttete schnell finden. Weitere mögliche Anwendungen sind die Erzeugung eines Lagebildes für ein verseuchtes Gelände oder die Bergung von Gefahrstoffen durch einen autonomen mobilen Roboter.

**Abbildung 33:**

- a) Autonomes unbemanntes Bodenfahrzeug Quanjo für den Einsatz im Katastrophenschutz  
(© indigo©2015)
- b) Autonomer Bagger IOSB.BoB für den Einsatz in menschenfeindlichen Umgebungen.  
(© Fraunhofer IOSB)



### OFFIS – Institut für Informatik: Autonom fahrende Schiffe

**Die Idee:** Das Ziel ist es, eine sichere Navigation zu entwickeln, die für selbst fahrende Schiffe und effiziente Verkehrsführung eingesetzt werden kann. Die neuen Assistenzsysteme können als Grundlage für Ausweichmanöver dienen, um Schiffskollisionen zu vermeiden. Auf dem Weg zu einer vollständig autonomen Schifffahrt kann der Einsatz hochautomatisierter vernetzter Assistenzsysteme analog zum Internet der Dinge ein erster Schritt sein, um die Effizienz und Sicherheit der Schiffsführung drastisch zu verbessern.

**Die Innovation:** Wie die Zukunft autonomer Fahrzeuge auf See aussehen kann, zeigt ein mobiler Leitstand zur Steuerung des OFFIS-Forschungsbootes Zuse. Der Leitstand kann bei Bedarf die Steuerung vollständig übernehmen. Das OFFIS-Forschungsboot verfügt dazu über umfangreiche maritime Sensortechnologie und -verarbeitung zur Erstellung eines maritimen Lagebildes. Neue lernende Entscheidungssysteme und vorausschauende Regelungstechnik übernehmen dabei mehr und mehr Fahrfunktionen. OFFIS entwickelt u. a. Assistenzsysteme zur Abstimmung von Ausweichmanövern zur Vermeidung von Schiffskollisionen. Zudem werden neue Systemarchitekturen für zukünftige autonom navigierende Seefahrzeuge konzipiert, die unter anderem das verbesserte Lagebild zur sicheren Steuerung nutzen.

**Die Anwendung:** Das Forschungsschiff Zuse und sein mobiler Leitstand geben einen Überblick über die Möglichkeiten und sind Bestandteil des nationalen Demonstrators für Maritime Sicherheit. Die Technik kann beispielsweise für fahrerlose Kurzstreckendienste wie Fähren, Feederverkehr und Arbeitsboote eingesetzt werden, aber auch auf Forschungsplattformen und Seeschiffen. Sie beinhaltet zudem Methoden für die Entwicklung, Test und Erprobung neuer Assistenzsysteme auf See. Neue lernende Entscheidungssysteme und vorausschauende Regelungstechnik können in Zukunft mehr und mehr Fahrfunktionen übernehmen.



**Abbildung 34:** OFFIS zeigt mit seinem mobilen Leitstand die Zukunft autonomer Fahrzeuge auf See. (© OFFIS – Institut für Informatik)



### SAP: Asset Intelligence Network

**Die Idee:** In zunehmend komplexen und globalen Geschäftsfeldern sind Hersteller, Dienstleister und Anlagenbetreiber mit Herausforderungen konfrontiert, Geräte- oder Anlagedaten in einer einfachen, kooperativen und gesicherten Form zu verwalten. Daher stellt sich die Frage, wie Datentransparenz über Unternehmensgrenzen hinweg geschaffen werden kann, um Innovationen zu gestalten und neue Geschäftsmodelle zu ermöglichen.

**Die Innovation:** Um auch in Zukunft eine hohe Agilität bei der Verwaltung von Geräten (sogenannte Assets) zu gewährleisten, bietet sich das Asset Intelligence Network (AIN) an, welches ein cloudbasiertes Geschäftsnetzwerk darstellt. Dabei werden im Rahmen eines holistischen und unternehmensübergreifenden Ansatzes Produkt-, Anlagen- und Sensordaten über den kompletten Lebenszyklus hinweg für Anwendungen und Beteiligte einer Wertschöpfungskette zugänglich gemacht. Auf diese Weise können Partnerschaften in einem Geschäftsnetzwerk ausgebaut und künftige Innovationen vereinfacht integriert werden.

**Die Anwendung:** Die cloudbasierte Lösung Asset Intelligence Network (AIN) schafft gesicherten Zugang für Lieferanten, Hersteller und Servicedienstleister auf die gleiche Datenbasis. Dieser wegweisende Ansatz eröffnet neue Formen für digitale Dienstleistungen.

**Abbildung 35:**  
Autonome Systeme  
bzw. Assets werden mit  
Geschäftsprozessen und  
Dienstleistungen verknüpft.  
SAP hat dafür die wegbe-  
reitende IoT Lösung Asset  
Intelligence Network (AIN).  
(© SAP)



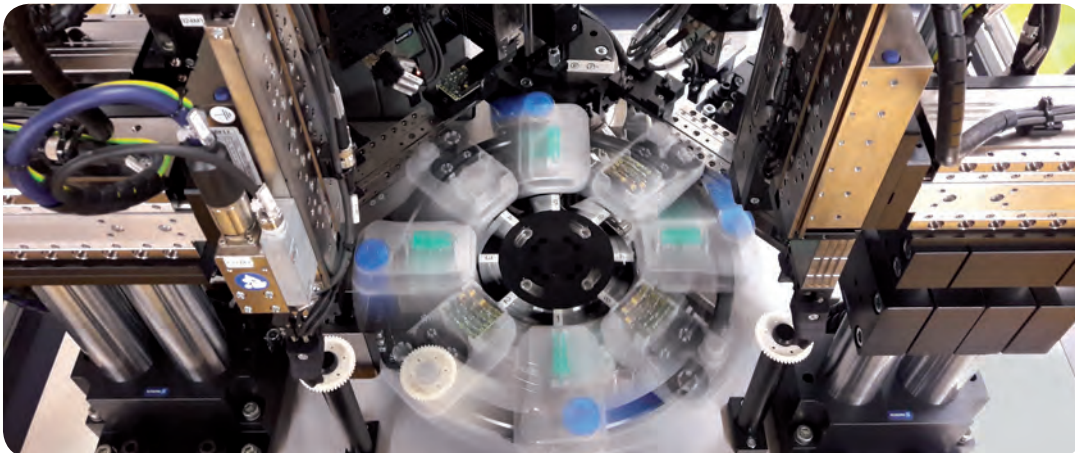
### Siemens AG/Schunk GmbH & Co. KG: Autonome Entscheidungsfindung in der Produktion

**Die Idee:** Weiterentwicklung des Geschäftsmodells "Fabrik" in flexiblere, wandlungsfähigere und agile Produktions- und Logistikstrukturen.

Autonome Systeme kennen ihre Fähigkeiten und ihren eigenen Zustand, können zwischen unterschiedlichen Handlungen auswählen, interagieren mit der realen Welt, nehmen ihre Umgebung wahr, bewältigen sich ändernde Situationen, arbeiten mit digitalen Zwillingen und koordinieren ihr Verhalten, um gemeinsam Aufgaben zu lösen. Da sie auf allen Stufen der Wertschöpfungskette digitalisiert und untereinander vernetzt sind, bilden sie eine Basis für Industrie 4.0. Autonomie ist für die produzierende Industrie in Zeiten von Industrie 4.0 ein enormer Vorteil, da sie die Effizienz steigern, die Flexibilität erhöhen, die Prozesse wandlungsfähig machen und die Qualität der Produkte verbessern kann.

**Die Innovation:** Autonome Produktionssysteme – geprägt durch Digitalisierung, Vernetzung sowie Innovationen in Technologie- und Fertigungsorganisation – sind intelligente Maschinen, die anspruchsvolle Aufgaben ohne detaillierte Programmierung und ohne menschliche Hilfe durchführen, mit der realen Welt interagieren und sich ändernde Situationen bewältigen. Anders als bei automatisierten Systemen, die sich weitestgehend durch akribisch programmierte Entscheidungsfolgen auszeichnen und für bestimmte Produktionsanwendungen gebaut sind, treffen autonome Systeme eigenständig Entscheidungen und verbessern sich selbst durch Lernen.

**Die Anwendung:** Das Exponat zeigt an einem konkreten Forschungsbeispiel, welche Möglichkeiten autonome Systeme in der Herstellung eröffnen. Es demonstriert anhand einer auftragsgesteuerten Produktion, wie autonome Entscheidungsfindungen und Optimierung durch Lernen funktionieren. Durchgehende Digitalisierung und Vernetzung machen es möglich.



**Abbildung 36:** Siemens AG und SCHUNK GmbH & Co. KG demonstrieren anschaulich welche Möglichkeiten autonome Systeme in der Herstellung eröffnen. Das Exponat demonstriert anhand einer exemplarischen auftragsgesteuerten Produktion, wie autonome Entscheidungsfindungen und Optimierung durch Lernen funktionieren können. (© Siemens)



### Siemens AG, Division Mobility: Intelligentes Assistenzsystem für den Schienenverkehr

**Die Idee:** Technologien zum automatisierten und assistierten Fahren helfen Bahnbetreibern, die Anforderungen der Zukunft zu bewältigen. Das Spektrum reicht vom semi-automatisierten bis hin zum fahrerlosen Betrieb – für mehr Transportkapazität, Pünktlichkeit, Zuverlässigkeit, Energieeffizienz und Sicherheit. Die Automatisierung ist im Nahverkehr (Metros) sowie für regionale und überregionale Schienenverkehre eine Schlüsseltechnologie. Im Zusammenspiel mit den neuesten Technologien für intelligente Fahrerassistenzsysteme bietet sie Vorteile für das gesamte Schienensystem und die Transportinfrastruktur.

**Die Innovation:** Siemens-Fahrerassistenzsysteme kombinieren verschiedene Methoden und Technologien zu einem leistungsfähigen Gesamtsystem:

- Erkennung von Kollisionen und Signalen via Radar; Laserscanner oder Kamera
- Überwachung von Bahnübergängen/des Fahrzeuginnenraums
- Zug-zu-Zug-/Infrastruktur-zu-Zug-Kommunikation

Fahrerassistenzsysteme können die Sicherheit im gesamten Schienennetz erhöhen. Sie schützen die Fahrgäste, indem sie den Fahrer früh vor Hindernissen warnen oder das Fahrzeug abbremsen. Sie sparen Kosten, indem sie Kollisionen und Serviceunterbrechungen verhindern und die Energieeffizienz steigern.

**Die Anwendung:** In Straßenbahnen verhindern Siemens-Fahrerassistenzsysteme die Kollision mit anderen Verkehrsteilnehmern. Zusammen mit der Fahrzeugsteuerung ermöglichen sie ein verkehrsgerechtes Beschleunigen und Bremsen. In Regional- oder Hochgeschwindigkeitszügen dienen sie dazu, Signale (besser) wahrzunehmen. Fahrerassistenzsysteme sind ein wichtiger Teil zukünftiger Automatisierungssysteme, die z.B. im Siemens-Projekt ANTS erforscht werden: Autarke Drive-Units, die mit nahezu beliebigen Funktions-Aufbauten kombinierbar sind und autonom ans Ziel kommen.

**Abbildung 37:** Siemens Fahrerassistenzsysteme sind ein Baustein für das automatisierte und autonome Fahren im Regional- und Fernverkehr. (© Siemens)



### Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI): Interoperabilität im Smart Home

**Die Idee:** Das Gebäude der Zukunft stellt Wirtschaft und Gesellschaft vor große Herausforderungen, denn das zunehmend vernetzte Leben verändert die Anforderungen an das Wohnen, vor allem hinsichtlich Komfort und Sicherheit. Zudem ergeben sich durch die Dezentralisierung der Energieerzeugung infolge der Energiewende hohe Erwartungen an die Energieeffizienz. Welche Möglichkeiten bieten die rasch voranschreitende Vernetzung und Digitalisierung, um besser als bisher auf diese Anforderungen zu reagieren? Wie lassen sich autonome Systeme schaffen?

**Die Innovation:** Internet-of-Things- und Cloud-Technologien stellen die Grundlage für die Vernetzung dar. Geräte, Systeme und Services (kurz „Dinge“) werden abstrahiert. Die Dinge und deren Kontext werden nach einem semantischen Modell beschrieben, in einer Cloud abgebildet und dadurch interoperabel. Die Interaktionen erfolgen lokal oder auch in der Cloud.

**Die Anwendung:** Wie das reibungslose Zusammenspiel verschiedener Gewerke und Services im Smart Home künftig aussehen kann, verdeutlicht der Demonstrator „Semantische Interoperabilität“ des ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie am Beispiel mehrerer Szenarien. Er zeigt anschaulich, wie Produkte verschiedener Hersteller und Branchen über Systemgrenzen hinweg vernetzt werden können, um für den Menschen einen auf ihn zugeschnittenen Nutzen zu stiften. Zusätzlich können diese Systeme mit modifizierten Rechten auch für andere Personen freigegeben werden.



**Abbildung 38:**  
Interoperabilität im Smart Home: Der ZVEI-Demonstrator zeigt, wie es geht.  
(© ZVEI)



## MITWIRKENDE

### AUTOREN

- **Prof. Dr. Henning Kagermann**  
Sprecher des Fachforums, Mitglied des Hightech-Forums;  
Präsident, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
- **Dr. Norbert Gaus**  
Leiter der Arbeitsgruppe 1 „Produktion“, Siemens
- **Kay Euler**  
Leiter der Arbeitsgruppe 2 „Straßen- und Schienenverkehr“, Deutsche Bahn
- **Johannes Hauck**  
Leiter der Arbeitsgruppe 3 „Smart Homes“, Hager Group
- **Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Beyerer**  
Leiter der Arbeitsgruppe 4 „Menschenfeindliche Umgebungen“, Fraunhofer IOSB und KIT
- **Prof. Dr. Wolfgang Wahlster**  
Leiter der Arbeitsgruppe 5 „Technologische Wegbereiter“, DFKI
- **Dr. Holger Brackemann**  
Leiter der Arbeitsgruppe 6 „Gesellschaftliche Herausforderungen und rechtliche Rahmenbedingungen“, Stiftung Warentest

### BETEILIGTE BUNDESRESSORTS

- **Prof. Dr. Wolf-Dieter Lukas**  
Bundesministerium für Bildung und Forschung
- **Dr. Ramona Korte**  
Bundesministerium für Bildung und Forschung
- **Ute Bernhardt**  
Bundesministerium für Bildung und Forschung
- **Dr. Andreas Goerdeler**  
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
- **Klaus Glasmacher**  
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
- **Wanda Werner**  
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

## EXPERTINNEN UND EXPERTEN DES FACHFORUMS

- Dr. Reinhold Achatz, Thyssen Krupp
- Prof. Dr. Sahin Albayrak, Connected Living
- Prof. Dr.-Ing. Alin Albu-Schäffer, DLR
- Prof. Dr. Elisabeth André, Universität Augsburg
- Roland Auberger, Otto Bock Healthcare
- Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Bauer, Fraunhofer IAO
- Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl, Fraunhofer IPA
- Alfons Botthof, VDI/VDE IT
- Prof. Dr. Andreas Butz, LMU München
- Prof. Dr. Peter Dabrock, Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg
- Prof. Dr. Werner Damm, Uni Oldenburg; acatech
- Dr. Manfred Dangelmaier, Fraunhofer IAO
- Prof. Dr. Michael Decker, KIT
- Prof. Dr.-Ing. Welf-Guntram Drossel, Fraunhofer IWU
- Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu, it's OWL; Fraunhofer IEM
- Prof. Dr. Claudia Eckert, Fraunhofer AISEC
- Roland Edel, Siemens
- Dr. Jan-Henning Fabian, ABB
- Frank Fickel, IAV Automotive Engineering
- Oliver Fischer, Digital Concepts
- Dr. Stephan Fischer, TRUMPF Gruppe
- Thomas Fischer, DGB
- Torsten Fleischer, KIT
- Prof. Dr. Jürgen Gausemeier, Universität Paderborn
- Oliver Gräbner, Siemens
- Dr.-Ing. Michael Gustmann, Kerntechnische Hilfsdienst
- Martin Hägele, Fraunhofer IPA
- Thomas Hahn, Siemens
- Dr.-Ing. Maik Hampicke, Fraunhofer IZM
- Prof. Dr. Thomas Heimer, Hochschule RheinMain
- Prof. Dr. Klaus Heine, Erasmus University Rotterdam
- Prof. Dr. Dr. Eric Hilgendorf, Universität Würzburg
- Dr.-Ing. Bärbel Jäger, DLR
- Dr. Dirk John, ABB
- Sven Jürß, microdrones
- Marion Jungbluth, Verbraucherzentrale Bundesverband
- Johanna Kardel, Verbraucherzentrale Bundesverband
- Dipl.-Ing. Volkmar Keuter, Fraunhofer UMSICHT
- Prof. Dr. Frank Kirchner, DFKI
- Dr. Bodo Koch, Atlas Elektronik
- Dr. Norbert Koppenhagen, SAP
- Prof. Dr. Ingo Kunold, Fh Dortmund
- Prof. Dr. Klaus-Dieter Lang, Fraunhofer IZM
- Prof. Dr. Karsten Lemmer, DLR
- Prof. Dr. Barbara Lenz, DLR
- Prof. Dr.-Ing. Jürgen Lehold, Volkswagen
- Sebastian Maaß, SAP
- Gordon Mühl, Infosys
- Dr. Volker Nadenau, Bosch
- Prof. Dr. Bernhard Nebel, Universität Freiburg
- Dr. Theodor Niehaus, Festo
- Dr. Jürgen Peters, InnoZ
- Alexander Pfaff, SGE Spezialgeräteentwicklung
- Prof. Dr. Peter Post, FESTO
- Prof. Dr. Ortwin Renn, IASS
- Prof. Dr. Helge Ritter, Universität Bielefeld
- Matthias Sandrock, ServiceCall
- Volker Schenk, Vossloh
- Dr. Klaus Scheuerer, BMW
- † Prof. Dr. Christopher Schlick, Fraunhofer FKIE
- Dr. Christian Schlögel, KUKA
- Veronika Schmid-Lutz, SAP
- Prof. Dr.-Ing. Günther Schuh, RWTH Aachen
- Stefan Schulz, Munich Re
- Henrik Schunk, SCHUNK
- Dr.-Ing. Hauke Speth, Stadt Dortmund – Institut für Feuerwehr und Rettungstechnologie
- Dr. Hans-Jörg Stotz, SAP
- Prof. Dr. Christoph Strünck, Uni Siegen
- Udo Wehner, IAV Automotive Engineering
- Prof. Dr. Birgit Wilkes, FH Wildau
- Dr. Dieter Willersinn, Fraunhofer IOSB
- Nemrude Verzano, SAP
- Dr.-Ing. Gerd vom Bögel, Fraunhofer IMS
- Dr. Georg von Wichert, Siemens



## IMPRESSUM

### Herausgeber

Fachforum Autonome Systeme im Hightech-Forum

### Koordination und Redaktion

Dr. Susanne Kadner, acatech | Dr. Johannes Winter, acatech | Dr. Anselm Blocher, DFKI | Dr. Dietmar Dengler, DFKI | Marcus Fehling, Siemens | Berthold Haustein, Universität Würzburg | Dr. Hilko Hoffmann, DFKI | Rainer Jurkschat, Deutsche Bahn | Kai Kreisköther, RWTH Aachen | Dr. Norbert Reithinger, DFKI | Marius Schumacher, RWTH Aachen | Dr. Igor Tchouchenkov, Fraunhofer IOSB | Thorsten Westermann, Fraunhofer IEM

### Lektorat

Lektoratsbüro Wortcheck

### Englische Übersetzung

Joaquin Blasco

### Layout, Satz, Illustration

Vierthaler & Braun, Visuelle Kommunikation, München

### Abbildungen

Titelbild © Rainer Bez, Fraunhofer IPA | Composing Vierthaler & Braun  
Lorenz Crössmann und Mahoma Niemeyer, InnoZ, Berlin

### Druck

Gotteswinter und Aumaier GmbH, München

### Kontakt

Geschäftsstelle Hightech-Forum  
Anna-Louisa-Karsch-Str. 2 | 10178 Berlin  
kontakt@hightech-forum.de

### Vorgeschlagene Zitierweise

Fachforum Autonome Systeme im Hightech-Forum:  
*Autonome Systeme - Chancen und Risiken für Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft.*  
Langversion, Abschlussbericht, Berlin, April 2017

### Redaktionsschluss

08. März 2017

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung der Autoren unzulässig. Die Autoren übernehmen keine Haftung für inhaltliche oder drucktechnische Fehler.

Papier aus verantwortungsvollen Quellen, klimaneutral gedruckt.

EINE INITIATIVE VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



