

FACHFORUM AUTONOME SYSTEME

CHANCEN UND RISIKEN FÜR WIRTSCHAFT, WISSENSCHAFT UND GESELLSCHAFT

Abschlussbericht – Kurzversion



INHALTSVERZEICHNIS

DAS HIGHTECH-FORUM	2
FACHFORUM AUTONOME SYSTEME	3
ZUSAMMENFASSUNG	4
HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN	20
EXECUTIVE SUMMARY	26
RECOMMENDATIONS	40
VISION: VOM ALLTAG MIT AUTONOMEN SYSTEMEN	46
CHANCEN UND RISIKEN FÜR DEN EINSATZ AUTONOMER SYSTEME	49
Mitwirkende	54
Impressum	56



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 Kurzversion 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 (EP DG IPOL 2016)¹.**

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.**

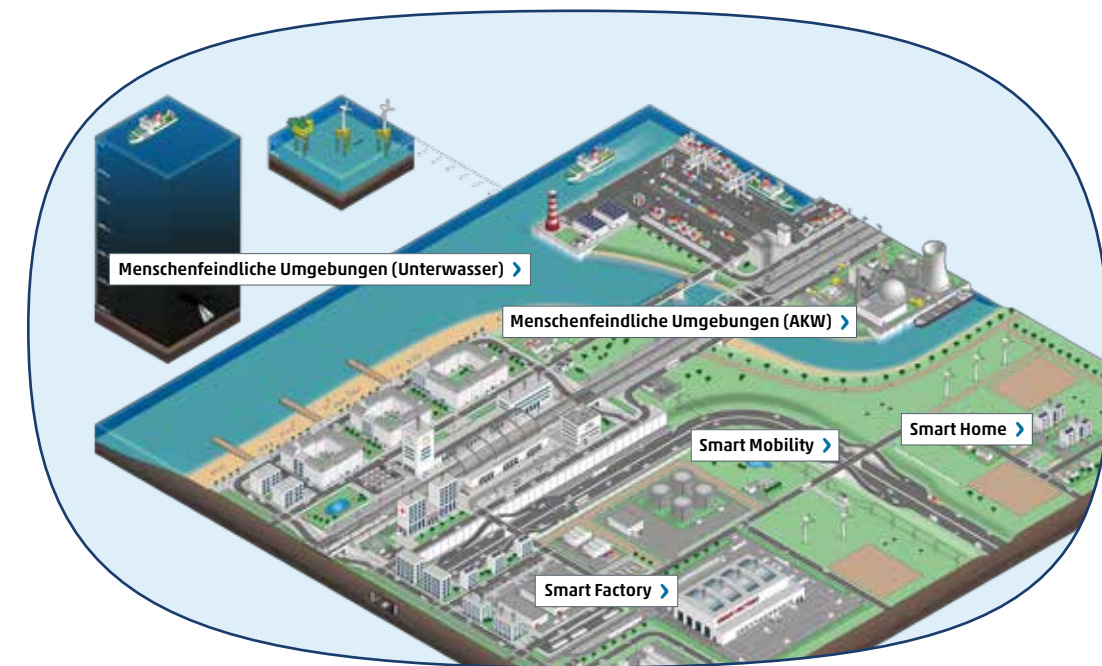


Abbildung 1: Die Innovationslandkarte zum Fachforum Autonome Systeme: Systemische Betrachtung des Einsatzes autonomer Systeme in unterschiedlichen Anwendungsbereichen (Quelle: Innovationslandkarte InnoZ).

¹ Vgl. 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.



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 Fehlfunktion². **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**

² Vgl. 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.

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).

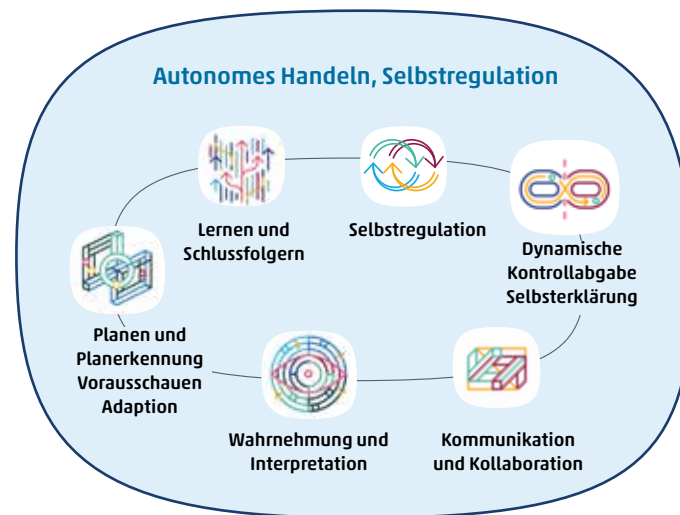
Insbesondere die Technologien des Maschinellen Lernens sind essenzieller Bestandteil eines autonomen Systems und ermöglichen ihm eine vom Menschen unabhängige und intelligente (smarte) Vorgehensweise. Durch das Maschinelle Lernen können autonome Systeme neues Wissen aus gesammelten



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.**

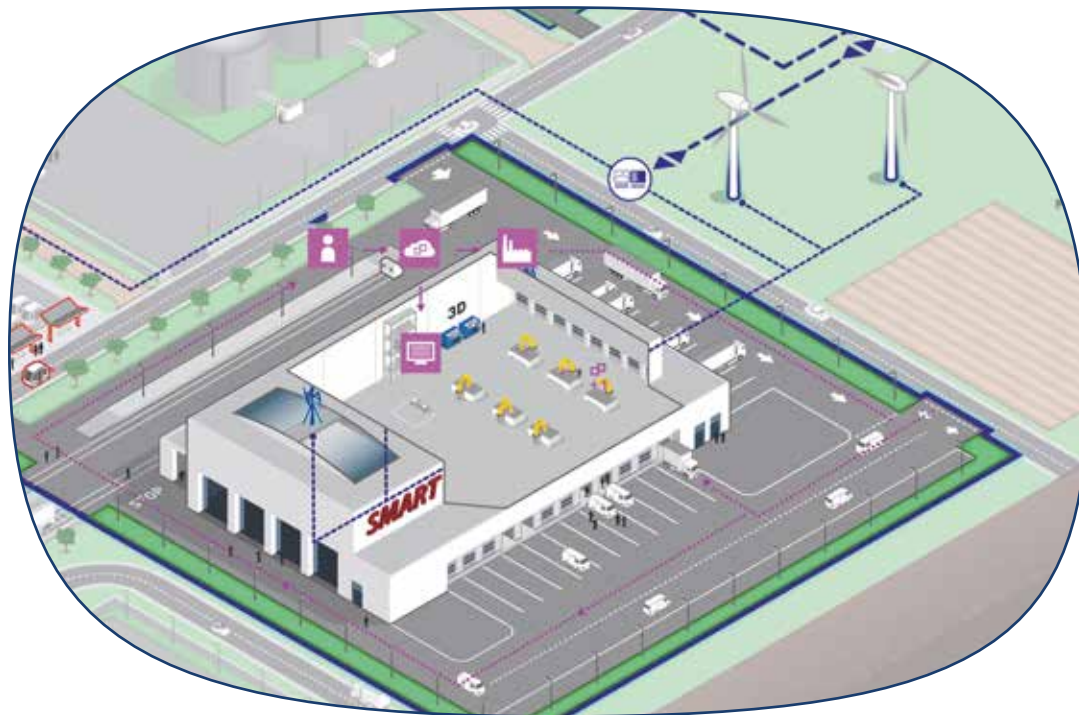
Die vollkommen auftragsgesteuerte Produktion und die dafür erforderliche autonome Wandlungsfähigkeit der Fabriken können so tatsächlich erreicht werden. Trotz aller Fortschritte bei der Automatisierung und in der Künstlichen Intelligenz steht jedoch der Mensch auch weiterhin im Mittelpunkt dieser neuen 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 – Anwendungsbeispiele wandlungsfähige Fabrik und auftragsgesteuerte 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 Fahrzeug³ 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 Resilienz Gesichtspunkten. 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.

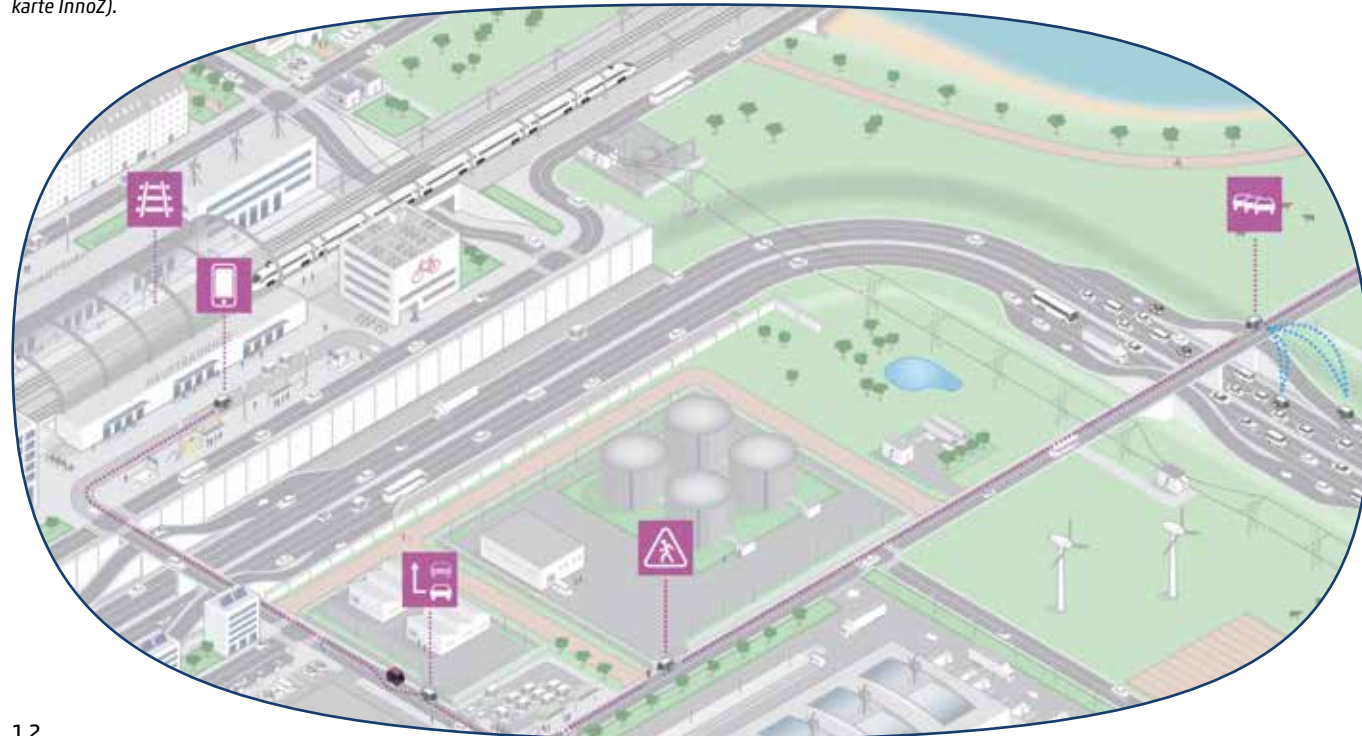
³ Vgl. Lemmer, K. (Hrsg.): *Neue autoMobilität. Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft* (acatech STUDIE), München: Herbert Utz Verlag 2016.



→ 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.

→ 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.

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



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.

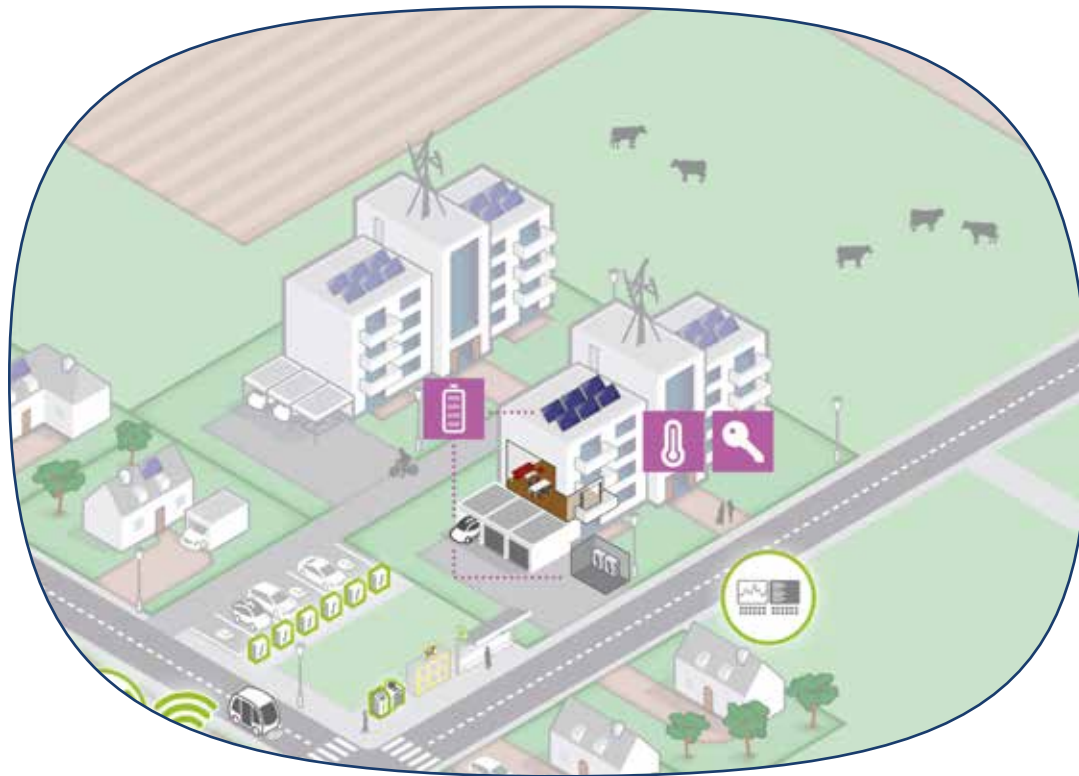
→ Die **Risiken** liegen in der bisher mangelnden Interoperabilität der beteiligten Systemwelten sowie in der Akzeptanz seitens der Nutzerinnen und Nutzer. Hierfür spielen ein transparenter Datenschutz sowie eine an die jeweiligen Bedürfnisse angepasste, einfache Interaktion mit einem Smart Home eine 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 – Anwendungsbeispiele für die alltägliche Unterstützung (Komfort und Sicherheit) und das intelligente Energiemanagement (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.

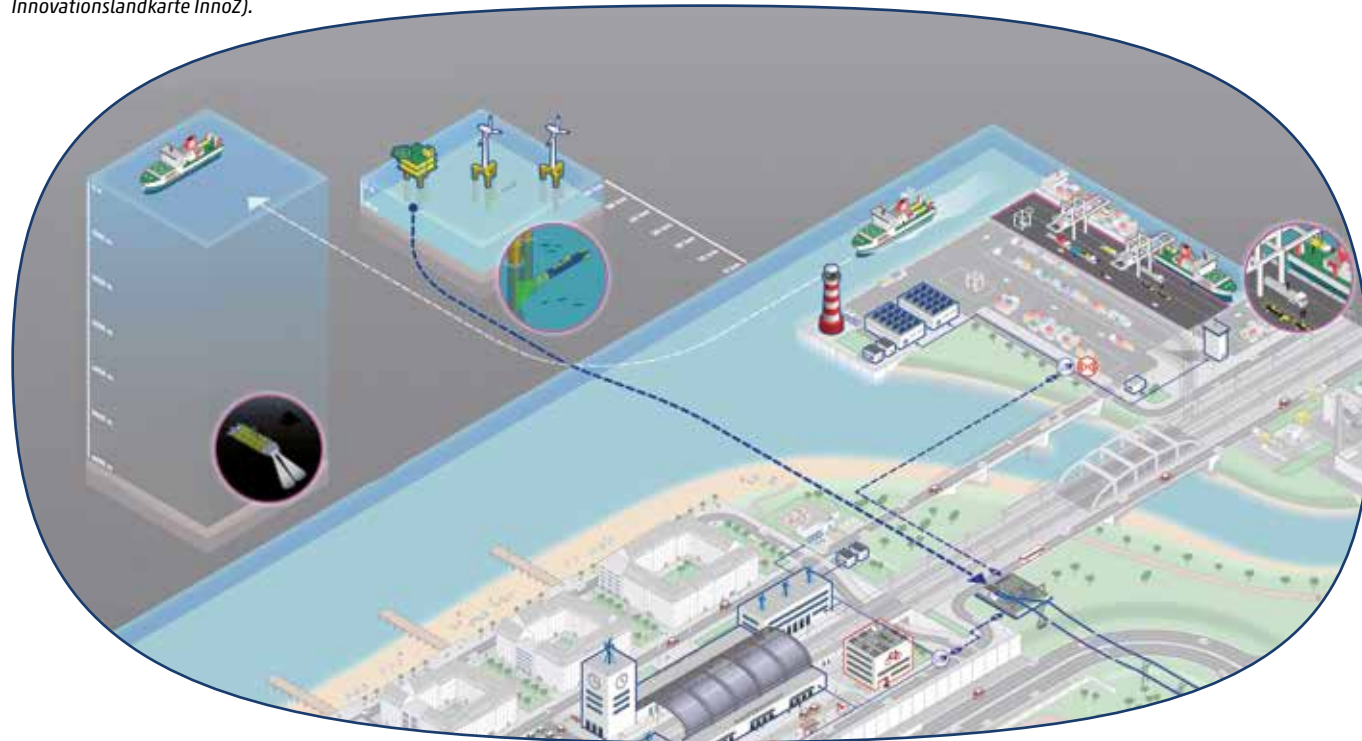
- Große **Chancen** ergeben sich in menschenfeindlichen Umgebungen, da autonome Systeme die Gefahren für den Menschen minimieren und Einsatzorte erschließen können, die für Menschen nicht dauerhaft erreichbar sind. In der Gefahrenabwehr, bei Rettungseinsätzen oder der Altlastenbeseitigung (zum Beispiel 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.



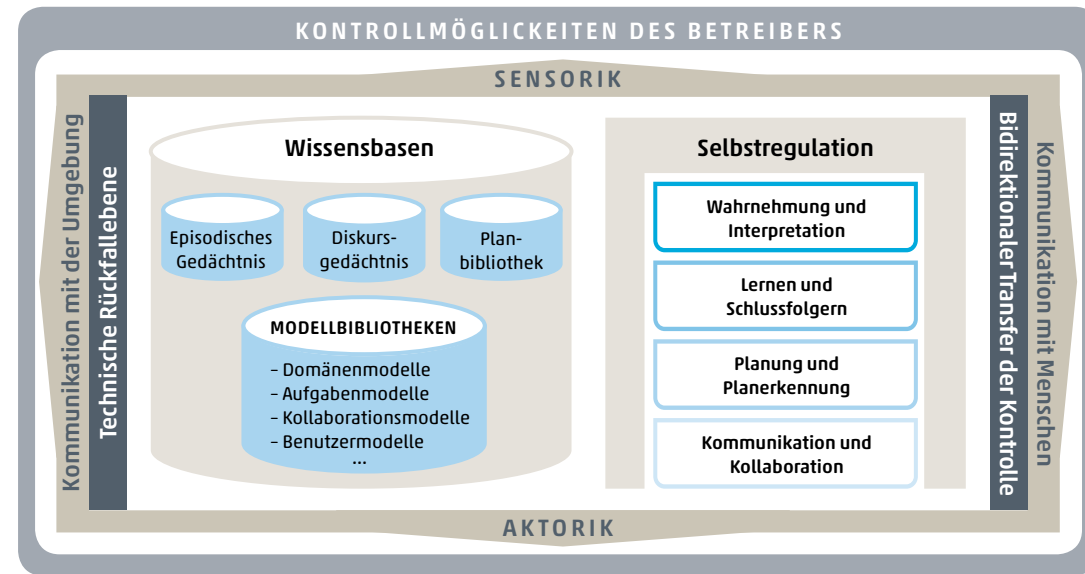
Die technologischen Wegbereiter für den Einsatz autonomer Systeme

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 unbekanntem 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 Systeme⁴ wurde auf der Hannover Messe 2016 an die Bundesministerin für Bildung und Forschung, Prof. Dr. Johanna Wanka, übergeben. Der Abschlussbericht wird auf der Hannover Messe 2017 vorgestellt.

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.

⁴ 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.

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 Umgebungen⁵ 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 (EP DG IPOL 2016)¹.**

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.**

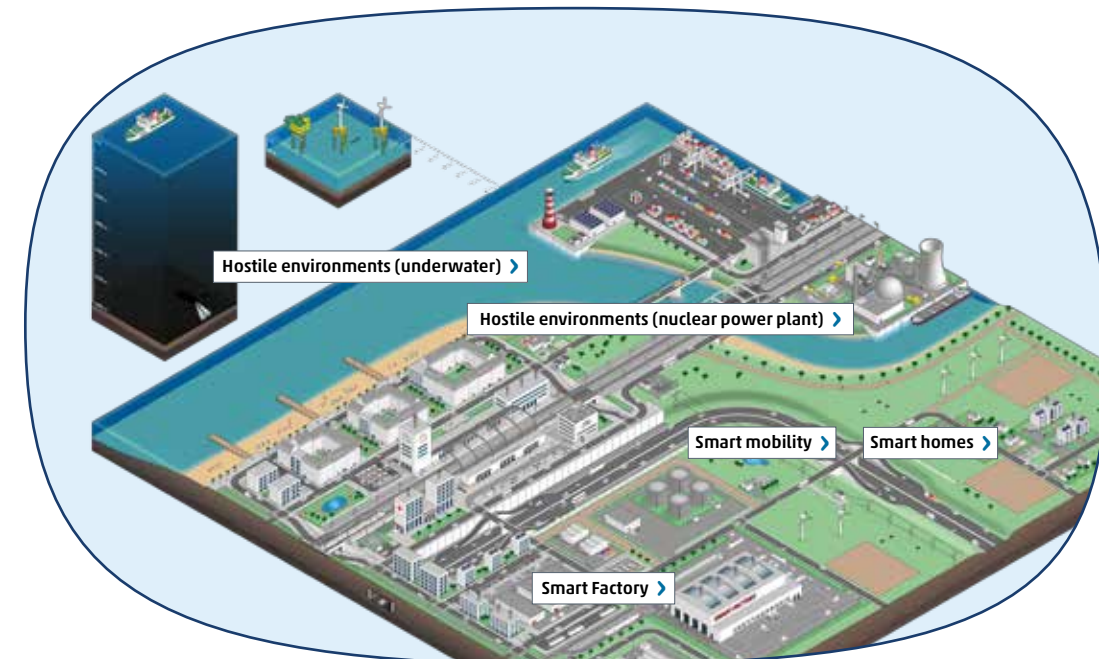


Figure 1: The Expert Panel Autonomous Systems Innovation Map: a systemic approach to the use of autonomous systems in different areas of application (Source: InnoZ Innovation Map).

¹ 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.



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 documented². **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.**

² 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) pp. 83-88.

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).

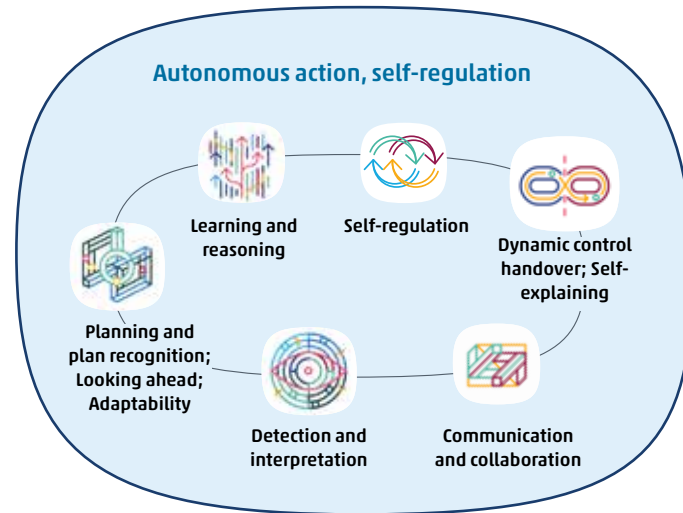
Machine learning technologies are a particularly critical component of autonomous systems, since they enable smart behaviour that is independent of human influence. Machine learning allows autonomous systems to generate new knowledge from the data they collect and receive and continuously expand their 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 autonomous 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 themselves³, 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.

³ Lemmer, K. (Ed.): *Neue autoMobilität. Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft* (acatech STUDIE), München: Herbert Utz Verlag 2016.

- 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.

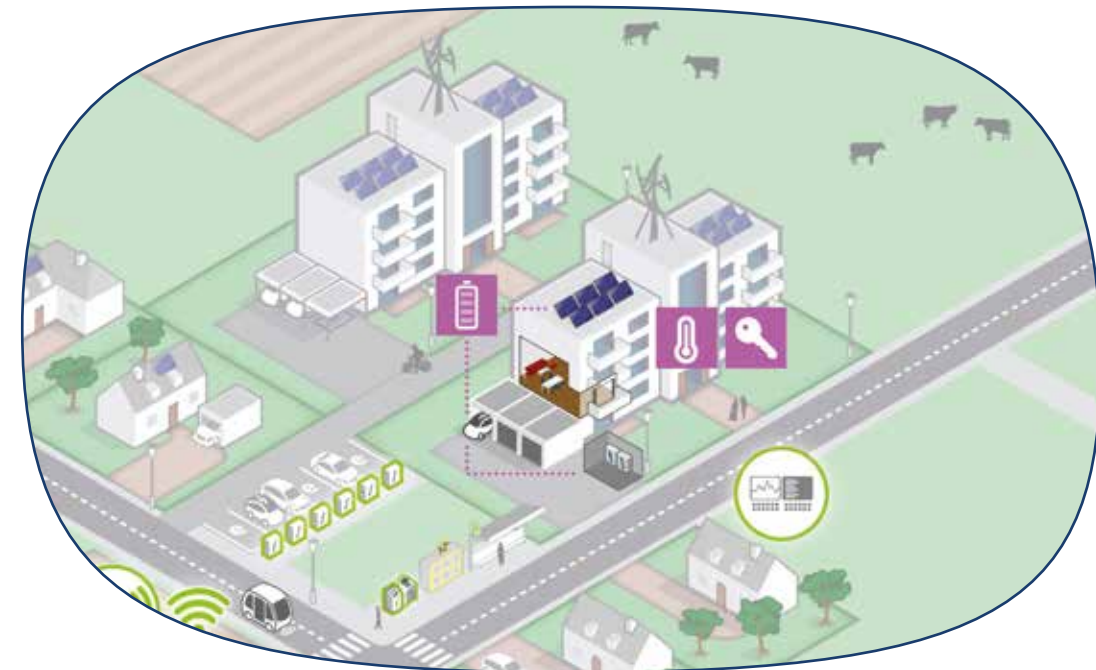


Figure 5: Autonomous systems in smart homes – use cases for everyday support (comfort and security) and smart energy management (Source: InnoZ Innovation Map).

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.

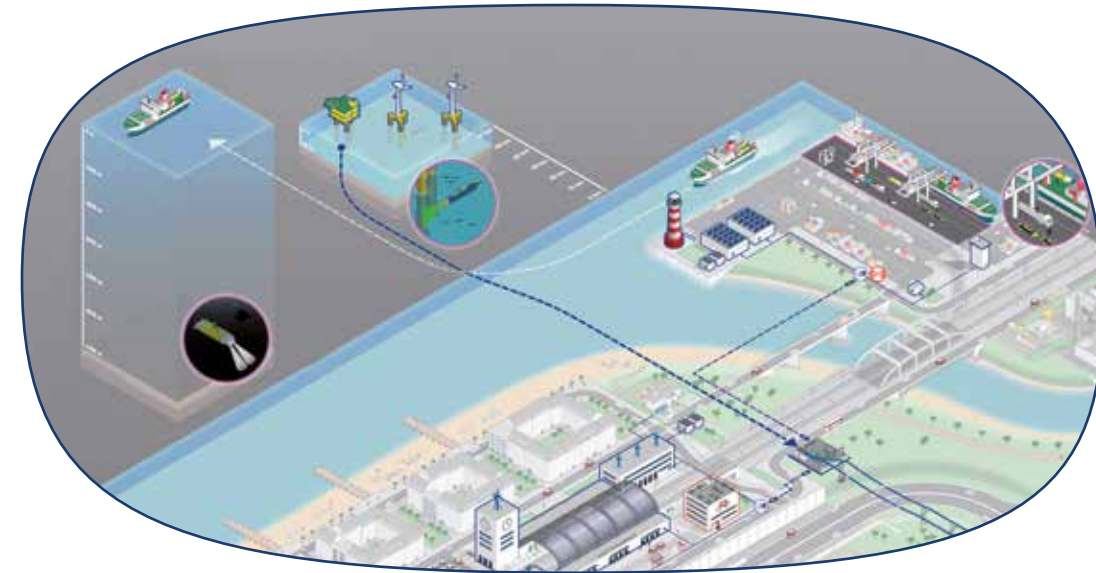


Figure 6: Autonomous systems in hostile environments – use cases for underwater deployment for maintenance and exploration purposes (Source: InnoZ Innovation Map).

Technological enablers for the use of autonomous systems

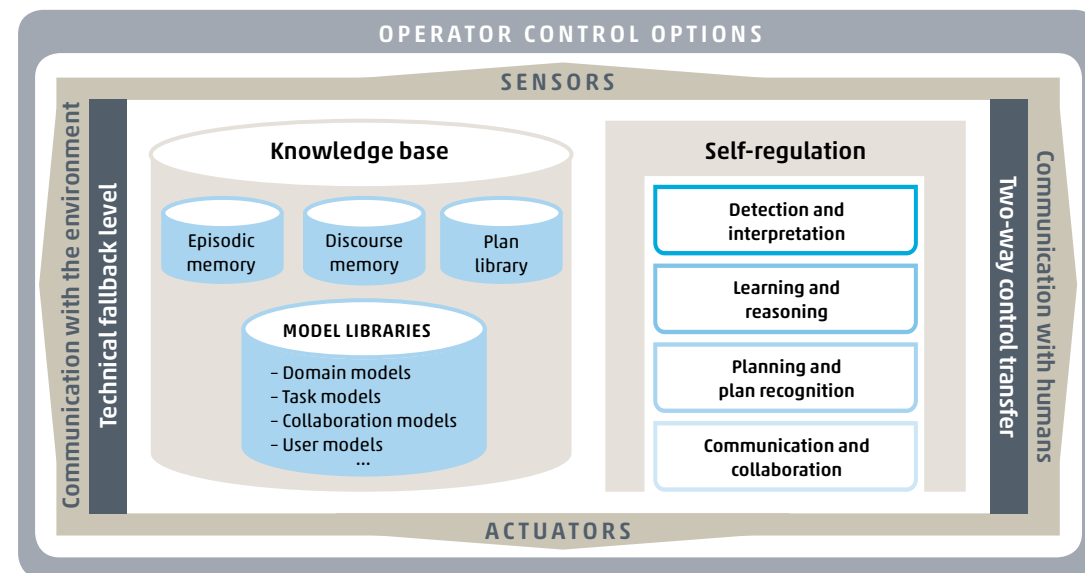
Over the past few decades, the basic technologies for (semi-)autonomous systems were developed in response to requirements in a wide variety of different areas. In recent years, **key technological building blocks such as sensors, learning, and the ability to reason and act accordingly** were developed 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 Systems⁴ 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.

⁴ Fachforum Autonome Systeme/acatech (Eds.): *Das Fachforum AUTONOME SYSTEME im Hightech-Forum der Bundesregierung – Chancen und Risiken für Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft.* Interim report, Munich 2016.

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 environments⁵. 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.

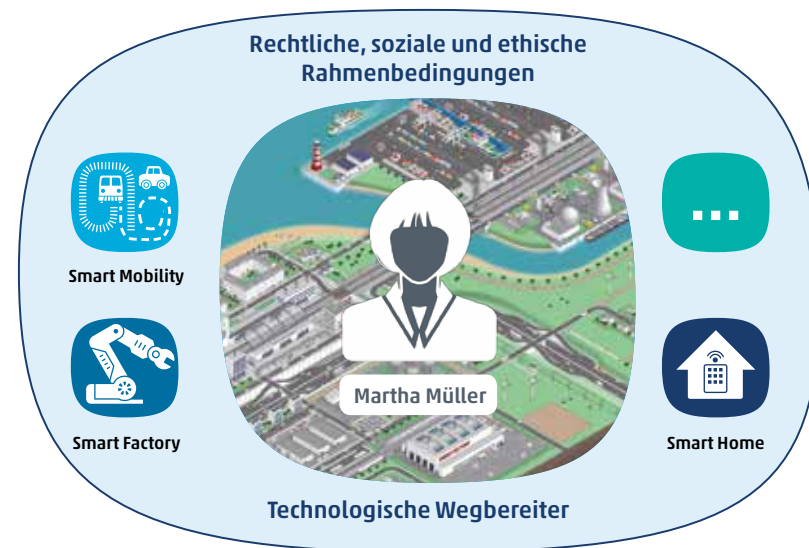


VISION: VOM ALLTAG MIT AUTONOMEN SYSTEMEN

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?“

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 Verschwenden 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 Aufgabenzuschnitte 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 berechnete Nutznießerin oder berechtigter 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.



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 Mobility Division
- **Dr. Jan-Henning Fabian**, ABB
- **Frank Fickel**, IAV Automotive Engineering
- **Oliver Fischer**, Digital Concepts
- **Dr. Stephan Fischer**, TRUMPF
- **Thomas Fischer**, DGB
- **Prof. Dr. Jürgen Gausemeier**, Universität Paderborn
- **Oliver Gräbner**, Siemens AG
- **Dr.-Ing. Michael Gustmann**, Kerntechnische Hilfsdienst
- **Martin Hägele**, Fraunhofer IPA
- **Thomas Hahn**, Siemens AG
- **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 Leohold**, 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 | 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

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.
Kurzversion, Abschlussbericht, Berlin, März 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

