



Retten, schützen, erkunden

## Lernende Systeme in lebensfeindlichen Umgebungen

Potenziale, Herausforderungen  
und Gestaltungsoptionen

Bericht der AG  
Lebensfeindliche  
Umgebungen



## Die Plattform Lernende Systeme

Lernende Systeme im Sinne der Gesellschaft zu gestalten – mit diesem Anspruch wurde die Plattform Lernende Systeme im Jahr 2017 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) auf Anregung des Fachforums Autonome Systeme des Hightech-Forums und acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften initiiert. Die Plattform bündelt die vorhandene Expertise im Bereich Künstliche Intelligenz und unterstützt den weiteren Weg Deutschlands zu einem international führenden Technologieanbieter. Die rund 200 Mitglieder der Plattform sind in Arbeitsgruppen und einem Lenkungskreis organisiert. Sie zeigen den persönlichen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Nutzen von Lernenden Systemen auf und benennen Herausforderungen sowie Gestaltungsoptionen.

# Inhalt

<b>Zusammenfassung</b> .....	2
<b>Nutzen von Lernenden Systemen</b> .....	4
<b>Anforderungen in lebensfeindlichen Umgebungen</b> .....	8
<b>Herausforderungen beim Einsatz Lernender Systeme</b> .....	10
<b>Anwendungsszenarien</b> .....	12
Unter Wasser autonom unterwegs .....	12
Schnelle Hilfe beim Rettungseinsatz .....	17
<b>Gestaltungsoptionen</b> .....	22
<b>Über diesen Bericht</b> .....	26
<b>Literatur</b> .....	27

# Zusammenfassung

Ob bei der Erkundung von schwer zugänglichem Terrain oder bei Rettungseinsätzen: Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz verspricht in Zukunft auch in lebensfeindlichen Umgebungen nutzbringende Lösungen. Mobile Roboter oder Assistenzsysteme, die sich an veränderte Situationen anpassen, ohne dafür programmiert werden zu müssen, können den Menschen bei Tätigkeiten in gefährlichen Umgebungen wirksam unterstützen – beispielsweise bei Bränden, im Katastrophenschutz oder bei Wartungsarbeiten in der Tiefsee. Derartige Lernende Systeme verringern die Risiken für das eingesetzte Personal, verkürzen die Reaktionszeit bei zeitkritischen Ereignissen und schließen Fähigkeitslücken, in denen der Mensch heute noch nicht angemessen reagieren kann. Damit weisen sie einen hohen gesellschaftlichen Nutzen auf. Zugleich bergen KI-basierte Systeme große Potenziale für Forschung und Wirtschaft: Aufgrund ihrer Lernfähigkeit machen sie Einsätze in gefährlichen oder schwer zugänglichen Umgebungen wesentlich kostengünstiger gegenüber bemannten Missionen – oder überhaupt erst möglich. Für den Einsatz von Lernenden Systemen in lebensfeindlichen Umgebungen sind aus technischer Sicht noch einige Herausforderungen zu bewältigen. Dazu zählt die Gewährleistung von Langzeitautonomie und autonomem Lernen in unbekanntem Umgebungen. Zudem gilt es, die Interaktion und Kooperation der selbstständigen Roboter oder Assistenzsysteme mit dem Menschen zu gestalten.

Damit Lernende Systeme in lebensfeindlichen Umgebungen verlässlich, sicher und zum Wohle des Menschen zum Einsatz kommen und ihr wirtschaftliches Potenzial ausgeschöpft werden kann, sind einige Voraussetzungen und Rahmenbedingungen zu schaffen.

**Dazu benennt die Arbeitsgruppe Lebensfeindliche Umgebungen der Plattform Lernende Systeme folgende Gestaltungsoptionen:**

### Forschungsfragen lösen

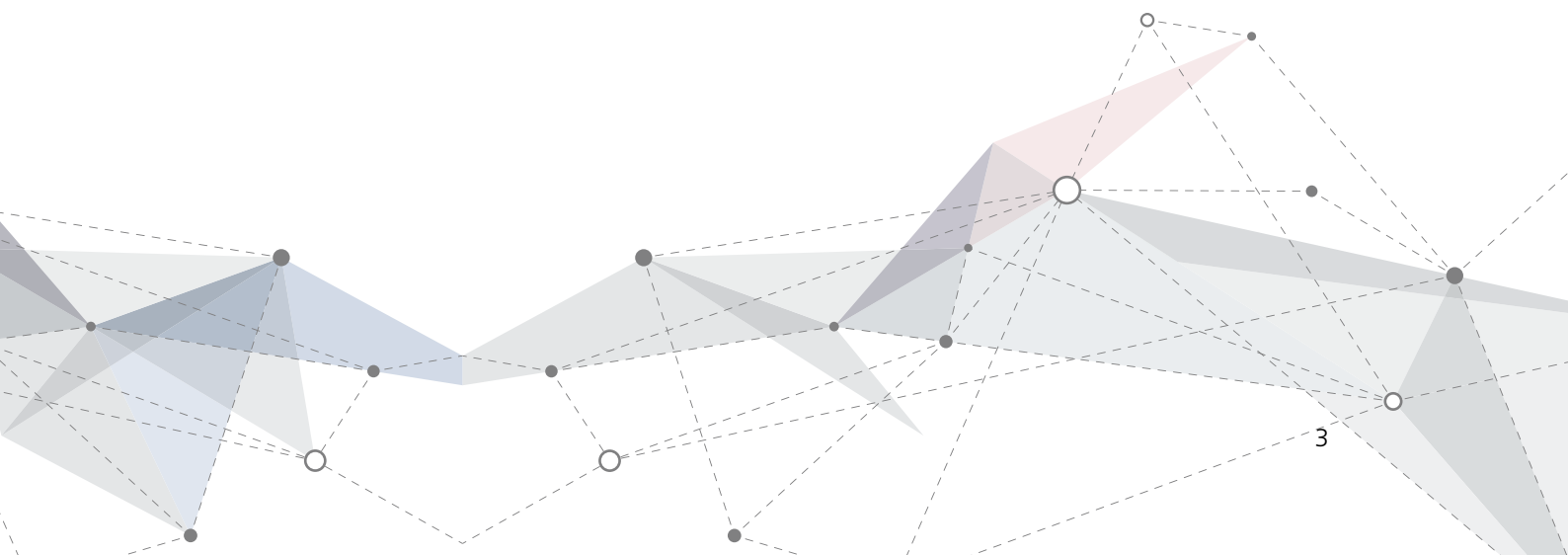
- Kernfragen zu Entwicklung und Einsatz von Lernenden Systemen in lebensfeindlichen Umgebungen bearbeiten

### Infrastrukturen aufbauen

- Physische Infrastrukturen und Trainingsumgebungen für Forschung und Entwicklung (F&E) schaffen, um mit robotischen Systemen über lange Einsatzzeiten Daten aus der Umwelt zu sammeln und darauf aufbauend zu lernen
- Umfassende Datenpools und digitale Infrastrukturen zum standardisierten Lernen, Testen und Evaluieren von Lernenden Systemen schaffen
- Referenzplattformen bereitstellen, um Arbeitsmöglichkeiten zu bieten und F&E-Ergebnisse auszutauschen

### Innovationen fördern

- In Wirtschaft und Forschung gemeinsam Standards definieren
- Fokus auf nachhaltige und minimalinvasive Lösungen richten
- Klären, wer beim gemeinsamen Handeln von Menschen und Lernenden Systemen in riskanten Situationen verantwortlich ist
- Vertrauen schaffen durch entsprechende Information der Öffentlichkeit sowie öffentliche und transparente Diskussion über Zweck, Nutzen und Herausforderungen von Lernenden Systemen in lebensfeindlichen Umgebungen
- Öffentlichen Beschaffungsmarkt flexibilisieren, um neue Märkte für den Einsatz von Lernenden Systemen in lebensfeindlichen Umgebungen zu erschließen



# Nutzen von Lernenden Systemen

**Der Einsatz von Lernenden Systemen in lebensfeindlichen Umgebungen verspricht großen Nutzen für die Gesellschaft und den Menschen. In Zukunft ist der Mensch mit Hilfe dieser Technologien in der Lage, neue und bisher unzugängliche Räume zu erkunden und zu erschließen. In Gefahrensituationen unterstützen Lernende Systeme beispielsweise Rettungskräfte und schützen so deren Gesundheit und Leben.**

Mobile Roboter und andere technische Systeme werden schon heute in Umgebungen eingesetzt, die für den Menschen lebensfeindlich sind – etwa im Welt- raum, in der Tiefsee oder in kontaminierten Gebieten. Die Bandbreite dieser Systeme ist groß: Sie reicht von ferngesteuerten und teleoperierten Systemen über automatisierte Systeme bis hin zu solchen mit limitierten Autonomiefunk- tionen. Die wenigsten dieser Systeme verfügen jedoch über die kognitiven Fähigkeiten, um den Herausforderungen, der Komplexität, und den Unvorher- sehbarkeiten in lebensfeindlichen Umgebungen allein begegnen zu können.

Zukünftig sollen Lernende Systeme jedoch in der Lage sein, die Komplexität von lebensfeindlichen Umgebungen zu ‚verstehen‘ und gestellte Aufgaben effizient zu bearbeiten. Lernende Systeme können sich dann an veränderte Situationen anpassen, ohne dafür programmiert werden zu müssen, und sich diese Ände- rungen sowie erfolgreiche Anpassungen auch merken. Sie können den Menschen in Gefahrensituationen unterstützen – beispielsweise in der Gefahrenabwehr und im Katastrophenschutz. Damit senken sie die Risiken für das eingesetzte Personal deutlich, verringern die Reaktionszeit und schließen Fähigkeitslücken, in denen heute noch keine angemessene Reaktion möglich ist.

In lebensfeindlichen Umgebungen versprechen Lernende Systemen damit einen großen Nutzen. Zusammen mit dem Menschen können sie für unterschiedliche Aufgaben eingesetzt werden: etwa in Form von Robotern für die Gewinnung von Rohstoffen und Nahrungsmitteln (z. B. in Aquakulturen), aber auch für Wartungsarbeiten, Dekontamination und Rettungsmissionen unter schwierigen Bedingungen.

## Sinnvolle Arbeitsteilung

Lernende Systeme arbeiten selbstständig, allein oder in hybriden Teams mit anderen Lernenden bzw. autonomen Systemen und dem Menschen zusammen. Sie schätzen als Assistenten Gefahren für den Menschen ein, sind aber auch fähig, in einer bestimmten Situation eigenständig adäquat zu agieren. Überdies können sie Hilfe für Menschen und sich selbst anfragen. Die Systeme sammeln

## Arbeitsteilung mit dem Menschen zu dessen Wohl

dazu Informationen, tauschen sie mit anderen Systemen aus und lernen fortlaufend weiter. Auf diese Weise schließen sie im Laufe der Zeit sukzessive noch bestehende Wissenslücken. Ihre Nutzung wird die Arbeitsweise in lebensfeindlichen Umgebungen grundlegend verändern. Zu erwarten ist eine Arbeitsteilung mit dem Menschen und zu dessen Wohl (siehe Anwendungsszenarien S. 12): Das Lernende System nutzt seine an die Umgebung angepassten physischen Eigenschaften, um auch lange Zeit unter widrigen Umständen im Einsatz zu bleiben. Menschen können, z. B. durch immersive Technologien, ihre Erfahrung und Flexibilität in der jeweiligen Situation einbringen, ohne selbst vor Ort sein zu müssen.

**Lernende Systeme** sind Maschinen, Roboter und Softwaresysteme, die Aufgaben auf Basis von Modellen und Daten, die ihnen als Lerngrundlage dienen, selbstständig erledigen, ohne dass jeder Schritt zwangsläufig spezifisch vom Menschen programmiert werden muss. Um ihre Aufgabe zu lösen, setzen sie durch Lernverfahren generierte Modelle ein. Mit Hilfe von Lernverfahren können solche Systeme im laufenden Betrieb weiterlernen: Sie verbessern die vorab trainierten Modelle und erweitern ihre Wissensbasis und ihre Fähigkeiten (Skills). Lernende Systeme basieren auf Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI), insbesondere des maschinellen Lernens, verknüpft mit wissens- bzw. modellbasierten Ansätzen. Vor allem durch die Fortschritte im Deep Learning entwickelten sich Lernende Systeme in den letzten Jahren zum dynamischsten Bereich der KI-Forschung und -Anwendung.

**Autonome Systeme** sind Maschinen und Roboter, die ein vorgegebenes Ziel selbstständig und an die Situation angepasst erreichen. Sie haben die Fähigkeit, sich in der Umwelt zurechtzufinden, sich ihr anzupassen und gegebenenfalls mit anderen Systemen oder Menschen zu interagieren. Sie nehmen ihre Umgebung über Sensoren wahr (Sensorik), generieren proaktiv, situationsgerecht und in Echtzeit eine angemessene Aktion und führen diese über Aktoren aus (Aktorik). Autonome Systeme, bei denen die Lernfähigkeit für die Anpassung des Handlungsablaufs notwendig ist, sind zugleich Lernende Systeme. Allerdings sind nicht alle Lernenden Systeme vollständig autonom, sondern werden teilweise weiterhin bewusst von Menschen gesteuert (z. B. intelligente Prothesen).

**Lebensfeindliche Umgebungen** sind durch Bedingungen gekennzeichnet, die Menschen und Tiere besonders belasten oder gefährden und nicht ihren natürlichen Lebensräumen entsprechen. Entsprechend ihrer Gefährlichkeit für den Menschen werden drei Umgebungstypen unterschieden:

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

Mit **Lernenden Systemen in lebensfeindlichen Umgebungen** sind technische Systeme gemeint, die einerseits über gewisse Autonomieeigenschaften und maschinelle Intelligenz verfügen und andererseits adaptiv und lernfähig sind. Ihre Hardware ist an die extremen und herausfordernden Bedingungen angepasst, unter denen die Lernenden Systeme eingesetzt werden – etwa Verschmutzung, große Hitze oder Kälte, hoher Druck, radioaktive Strahlung, Einsturz- oder Lawinengefahr usw. Der einfacheren Lesbarkeit wegen sind in diesem Bericht stets solche Lernenden Systeme in lebensfeindlichen Umgebungen gemeint, wenn verkürzt von Lernenden Systemen gesprochen wird.

## Mehr Sicherheit für den Menschen

In gefährlichen Situationen können Lernende Systeme die Sicherheit von Menschen künftig deutlich erhöhen, indem sie die Notwendigkeit zur Präsenz des Menschen vor Ort minimieren. Zum einen übernehmen Lernende Systeme Aufgaben, die bisher Einsatzkräfte durchgeführt haben – beispielsweise bei Rettungsarbeiten oder der Dekontamination von verseuchten Böden nach einem Chemieunfall. Diese Arbeiten sind nicht nur gefährlich oder gesundheitsschädigend. Sie können selbst von Fachleuten nicht immer effizient durchgeführt werden, weil diesen in dynamischen Gefahrensituationen Informationen fehlen oder die Zeit knapp ist. Zum anderen unterstützen Lernende Systeme die Einsatzkräfte, indem sie ihnen einen schnellen Überblick über die Lage verschaffen. Mit Hilfe Lernender Systeme lassen sich Rettungs- und Aufräumarbeiten somit schneller und effizienter durchführen und dadurch gegebenenfalls mehr Menschenleben retten oder Sachwerte deutlich besser schützen und erhalten. Rettungskräfte können ressourcenschonender und effizienter eingesetzt werden – auch in Situationen, in denen dies früher nur bedingt möglich war.



## Wirtschaftliche Potenziale

Hilfreiche Dienste versprechen Lernende Systeme auch für Infrastrukturen in lebensfeindlichen Umgebungen – etwa Offshore-Windkraftanlagen oder Satelliten im Weltall. Deren Inspektion ist bislang mit hohem finanziellen Aufwand für die Betreiber und körperlichem Einsatz der Fachkräfte verbunden oder schlicht unmöglich (z. B. bei Satelliten). Schiffszeiten für Ausfahrten zu Offshore-Windparks kosten täglich sechstellige Summen; Taucher und Industriekletterer arbeiten teils unter Lebensgefahr. Der stetige Ausbau von Offshore-Anlagen macht eine angemessene Inspektion künftig immer schwieriger. Lernende robotische Unterwassersysteme können diese weitgehend übernehmen. Durch ihre Lernfähigkeit sind sie in der Lage, adäquat auf Ausfälle von Teilsystemen (z. B. einer Kamera oder einer Antriebseinheit) zu reagieren und diese zumindest teilweise zu kompensieren. Auch die Wartung und weitere Arbeiten an Anlagen können in Zukunft von den Fortschritten in der Robotik profitieren und zuverlässig durchführbar werden. Das minimiert den logistischen und personellen Aufwand weiter. Langfristig werden Lernende Systeme stetig besser und günstiger – und daher vermehrt eingesetzt werden.

## Einsätze nachhaltiger gestalten

Durch ihre Adaptivität, Lernfähigkeit und das an den spezifischen Einsatzort angepasste Design versprechen Lernende Systeme künftig einen effizienteren Betrieb von Infrastrukturen, (z. B. Offshore-Windkraftanlagen). Lernende Systeme machen deren Nutzung voraussichtlich nicht nur ökonomisch effizienter, sondern auch ökologisch verträglicher und sicherer. Lernende Systeme könnten beispielsweise auch das Zusatzziel haben, sich möglichst umweltverträglich zu verhalten. Einige der bisher eingesetzten bemannten Systeme (z. B. Hubschrauber), die unter ökologischen Aspekten negativ zu bewerten sind, lassen sich in vielen Bereichen durch energieeffiziente autonome Systeme mit deutlich besserer Ökobilanz ersetzen.

Gerade in lebensfeindlichen Umgebungen wird Nachhaltigkeit durch Lernende Systeme im Wesentlichen durch deren permanente Verfügbarkeit im Einsatz ermöglicht. Speziell die Fähigkeit zu lernen ermöglicht es, solche Systeme über lange Zeiträume bzw. permanent vor Ort zu halten. Dies ist die Grundlage für den nachhaltigen Betrieb von Anlagen und Infrastrukturen – speziell in lebensfeindlichen Umgebungen, wo der Mensch eine dauerhafte Präsenz nicht gewährleisten kann. So wären so genannte Subsea Resident AUVs (Autonomous Underwater Vehicles) durch eine Rund-um-die-Uhr-Überwachung von Offshore-Windkraft oder Öl- und Gasproduktionsstätten in der Lage, den Zustand der Anlagen so präzise und dauerhaft zu überwachen, dass bereits kleinste Störungen im Betriebsablauf sofort erkannt und behoben oder sogar durch Prädiktion verhindert werden können, bevor sie überhaupt auftreten.

# Anforderungen in lebensfeindlichen Umgebungen



**Lebensfeindliche Umgebungen sind nicht nur gefährlich für den Menschen, sondern auch extrem komplex. Um in solchen Umgebungen einsetzbar zu sein, benötigen Lernende Systeme spezielle Fähigkeiten, damit sie sich selbstständig an Veränderungen anpassen, Entscheidungen treffen und auf unerwartete Ereignisse reagieren können.**

Zum Einsatz kommen in lebensfeindlichen Umgebungen zumeist Roboter. Sie agieren als autonome bzw. teilautonome Systeme, die eine den extremen Bedingungen angepasste Hardware mitbringen. Folgende spezifischen Anforderungen stellen sich in lebensfeindlichen Umgebungen:

## Hohes Maß an Resilienz

Lernende Systeme benötigen ein hohes Maß an Adaptivität und müssen in der Lage sein, auch bei unvollständigem Wissen und beeinträchtigter Funktionalität einzelner Teilsysteme ihre Aufgabe zu erfüllen. Sie müssen daher während eines Einsatzes in der Lage sein, sich in gewissem Umfang zu rekonfigurieren um beispielsweise unzureichende oder ausgefallene Sensoren oder Aktoren zu kompensieren. Die Fähigkeit zu lernen ist hierbei essentiell. Ein modularer Aufbau eines Lernenden Systems kann die Kompensation und Adaption maßgeblich erleichtern.

## Autonomes Entscheiden und Lernen

Die in lebensfeindlichen Umgebungen herrschenden Bedingungen und eintretenden Ereignisse sind naturgemäß nicht vorhersagbar. Lernende Systeme müssen ihre Umgebung daher sensorisch erfassen, diese Wahrnehmung einordnen und interpretieren, selbstständig Entscheidungen treffen sowie Handlungen planen und diese ausführen. Die Systeme müssen aus Beobachtung und Erfahrung lernen, dabei ihr Vorwissen einbeziehen (informiertes Lernen) und so ihr Wissen und ihre Fähigkeiten ständig erweitern und verbessern.

## Menschliches Vorwissen formalisieren und für Lernende Systeme nutzbar machen

### Lernen anhand spärlicher Daten

Manche Ereignisse, die für das Verhalten von Lernenden Systemen relevant sind, treten nur sehr selten auf. Die eingesetzten Lernverfahren müssen daher in der Lage sein, anhand spärlicher Daten und aus wenigen Beispielen oder sogar aus einem einzigen „prägenden“ Beispiel oder Ereignis zu lernen (One-Shot-Learning), beispielsweise durch massive Nutzung von Vorwissen oder Methoden des inkrementellen Lernens.

### Mechanismen für den Transfer

Um Vorwissen und Erfahrungen zu nutzen sowie einen Austausch mit anderen Lernenden Systemen zu ermöglichen, sind Mechanismen für den Transfer von Gelerntem sowie ein verallgemeinerndes Lernen (induktives Lernen) erforderlich. Insbesondere für lebensfeindliche Umgebungen ist es wichtig, das menschliche Vorwissen zu formalisieren und für Lernende Systeme nutzbar zu machen.

### Erweiterung um Erklärungsmodelle

Lernende Systeme, die Entscheidungen treffen, müssen diese aufzeichnen (loggen), interpretierbar repräsentieren und im Idealfall erklären können – damit sich etwa die Abläufe eines Einsatzes rekonstruieren und Lehren aus etwaigen Fehlentscheidungen ziehen lassen. Zumindest aber müssen die Entscheidungen nachvollziehbar sein. Dazu muss das rein datengetriebene Lernen um Entscheidungs-, Interpretations- und Erklärungsmodelle erweitert werden.

### Schutz gegen Missbrauch

Lernende Systeme müssen gegen Missbrauch geschützt werden. Neben allgemeinen Rahmenbedingungen im Einsatz (z. B. wer darf wann und wo ein System einsetzen?) braucht es technische Mechanismen, die verhindern, dass solche Systeme außerhalb ihrer bestimmungsgemäßen Kontexte und Einsatzorte genutzt oder zweckentfremdet werden. Das gilt auch für das Erlernen unerwünschter Verhaltensmuster aufgrund von Daten, die in manipulativer Absicht zugeführt wurden. Abgesehen vom Missbrauch muss sichergestellt werden, dass das System durch „natürlich vorgefundene“ Daten nicht unerwünschte Verhaltensmuster erlernt.

# Herausforderungen beim Einsatz Lernender Systeme

**Dem genannten Nutzen von Lernenden Systemen in lebensfeindlichen Umgebungen steht eine Reihe von offenen Fragen gegenüber, die es zu klären gilt. Diese beziehen sich insbesondere auf die Bereiche Recht und Ethik.**

Da Lernende Systeme mit Menschen auf unterschiedliche Weise interagieren, stellen sich Fragen zu Verantwortung, Haftung und Versicherung. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn durch die Systeme Schäden entstehen. In internationalen Einsatzgebieten stellt sich auch die Frage nach der Regelung der Eigentumsrechte. Beispielsweise gehören nach heutigem internationalem Seerecht unbemannte Systeme in internationalen Gewässern dem Finder.

Die Verarbeitung von personenbezogenen Informationen kann zu Privacy- und Datenschutzproblemen führen. Solche Fälle können eintreten, wenn Lernende Systeme im Katastrophenschutz oder bei Feuerwehreinsätzen hinzugezogen werden und Daten der betroffenen Menschen aufgreifen und weitergeben. Selbstständig entscheidende Systeme können außerdem bei Rettungseinsätzen in Dilemma-Situationen kommen, etwa: Es kann nur eine Person versorgt werden, obwohl mehrere Menschen Hilfe benötigen. Für den Umgang mit solchen Situationen (Trolley-Dilemmata) muss ein formaler Rahmen gefunden werden, der technische, rechtliche und ethische Ebenen einbezieht.

Unbestreitbar ist: Der Mensch als Einsatzkraft und Entscheider wird dabei auch zukünftig – vor allem bei Einsätzen zur Rettung von menschlichem Leben – nicht ersetzbar sein.

**Mensch als Einsatzkraft und Entscheider auch künftig nicht ersetzbar**

## Einschränkung von Dual-Use oder Systemmissbrauch

Bei einer missbräuchlichen Nutzung Lernender Systeme können drei Fälle unterschieden werden:

### 1. Störung

Ein System verursacht Störungen und Unannehmlichkeiten, ohne Gesetze absichtlich zu verletzen bzw. Personen oder Objekte (direkt) zu gefährden.

### 2. Gesetzeswidrigkeit

Die Anwendung des Systems ist zwar ordnungs- oder gesetzeswidrig, Personen oder fremdes Eigentum werden aber nicht (direkt) gefährdet.

### 3. Gefährdung

Einsatzziel des Systems ist eine direkte Gefährdung von Personen oder Objekten.

Bei Lernenden Systemen kommt ein zusätzliches Gefährdungspotenzial durch die Lernfähigkeit der Systeme hinzu. Einmal trainiertes unerwünschtes Verhalten kann solchen Systemen auf verschiedene Weise durch den Benutzer oder durch Zugriff von außen (Hacker) beigebracht werden – sowohl absichtlich als auch versehentlich. Weil Lernende Systeme zumindest auch teilautonom agieren, kann der Missbrauch besonders schwere Folgen haben, sodass spezielle Maßnahmen zwingend erforderlich sind, um das zu verhindern.

Die Einschränkung von Systemen auf intendierte und zulässige Einsatzzwecke und -orte sollte nicht nur regulatorisch durchgesetzt werden, sondern idealerweise mit technischen Maßnahmen und integrierten Mechanismen. Ein Ansatz hierfür ist beispielsweise die Einschränkung des Einsatzortes durch so genanntes Geofencing. Dadurch lassen sich etwa Systeme, die für den zivilen Einsatz bestimmt sind, nicht in Krisen- und Kriegsgebieten einsetzen.

Ein weiterer Ansatz sind explizit formulierte, für Mensch und Maschine interpretierbare Policies, die dem Lernenden System mitgegeben werden und deren Einhaltung im Betrieb durch entsprechende Policy-Enforcement-Strukturen im System technisch erzwungen werden.

Diese Einschränkungen sollen die Hürden gegen einen Missbrauch möglichst hoch setzen. Eine absolute Sicherheit durch diese Mechanismen scheint zum aktuellen Zeitpunkt jedoch nicht gegeben.

*Die Arbeitsgruppe „Lebensfeindliche Umgebungen“ der Plattform Lernende Systeme betrachtet ausschließlich zivile Szenarien zum Einsatz von Lernenden Systemen und keine Szenarien der militärischen Nutzung (Dual-Use).*

# Anwendungsszenarien

**Wie sich Lernende Systeme in lebensfeindlichen Umgebungen einsetzen lassen, wird im Folgenden in Form von zwei möglichen Anwendungsszenarien skizziert, die in circa vier bis sechs Jahren realisierbar sind.**

Im ersten Szenario „Unter Wasser autonom unterwegs“ sind die Systeme teilweise stark auf sich allein gestellt; aufgrund einer eingeschränkten Kommunikation gibt es nur zeitlich punktuelle Verbindungen mit einem Menschen. Im zweiten Szenario „Schnelle Hilfe beim Rettungseinsatz“ fungieren Lernende Systeme zeitweise als Assistenzsysteme für Rettungskräfte beim Einsatz.

## Szenario 1

### Unter Wasser autonom unterwegs

#### Inspektion und Wartung von Unterwasserinfrastrukturen

##### Hintergrund

Wichtige Küsten- und Offshore-Anlagen wie Hafengebiete, Brücken und Deiche sind speziell nach Schadensereignissen (z. B. Stürmen, Überschwemmungen) gefährdet und müssen oft an schwer zugänglichen Stellen untersucht werden. Zur Erzeugung von erneuerbarer Energie werden zahlreiche Offshore-/Nearshore-Plattformen benötigt, deren Aufbau und Wartung ebenfalls in einer riskanten und potenziell lebensgefährdenden Umgebung stattfinden.

**Lernendes System:** Zum Einsatz kommen robotische Unterwassersysteme mit unterschiedlichen Autonomiegraden, maschineller Intelligenz und Lernfähigkeiten. Sie werden in diesem Abschnitt anwendungsgebietsspezifisch als Autonomous Underwater Vehicles (AUVs) bezeichnet.

AUVs unterstützen und entlasten den Menschen vor Ort bei solchen gefährlichen Arbeiten. Sie können ihm ein besseres Lagebild verschaffen und die Risiken gefährlicher Einsätze weitgehend eliminieren. Spezialisierte AUVs können gezielt an Einsatzorte gebracht werden, an denen nicht nur Inspektionsaufgaben zu leisten sind, sondern auch Eingriffe von außen erfolgen müssen. Bei größeren Anlagen ist auch denkbar, dass AUVs für Wartungsarbeiten bei der Installation der Anlage vor Ort platziert und bei Bedarf aktiviert werden können.

Wann immer eine ausreichend leistungsfähige und stabile Kommunikation mit dem AUV möglich ist, können immersive Leitstände mit Ankopplung an Echtzeitinformationen und Simulationsmöglichkeiten eingesetzt werden, um während einer Mission über den Menschen nachzusteuern. Oder aber, um nach einer Mission den Ablauf zu verbessern – etwa durch Anpassung der Einsatzpläne für zukünftige Missionen. Diese Leitstände können den Experten in die Lage des Systems vor Ort versetzen, um den Missionsverlauf aus dessen Sicht zu beeinflussen.

### **Mission: Inspektion und Wartung der Fundamente einer Offshore-Windkraftanlage**

#### **Vorbereitung der Mission**

---

- Vom Kontrollzentrum werden die Missionsdaten an das AUV gesendet.
- Das verbleibt entweder am Meeresboden und kann über ein eigenes Unterwasser-Dock Energie beziehen und Daten hoch- bzw. herunterladen (Subsea Resident). Alternativ wird es von einem Schiff in der Nähe der Einsatzstelle ausgesetzt.

#### **Autonom unterwegs**

---

- Das AUV ist ab jetzt auf sich allein gestellt und navigiert zu der für die Inspektion vorgesehenen Offshore-Anlage. Zur Orientierung benutzt es bekannte Merkmale, etwa Pipelines, andere Unterwasserstrukturen oder ggf. auch das Schiff oder Dock, von dem es ausgesetzt wurde.
- Während der Fahrt nutzt das AUV die On-Board-Sensorik, um Hindernisse zu vermeiden, die Karte zu verfeinern oder zu aktualisieren und ggf. den Zustand von Offshore-Strukturen auf dem Weg zu erfassen. Online-Lernalgorithmen nutzen die Daten, um das Verhalten des Systems zu verbessern.

#### **Inspektion vor Ort**

---

- Am Ziel angekommen, vollzieht das AUV detaillierte Navigations- und Planungsschritte, um die Zielstruktur auftragsgemäß zu inspizieren. Nach Abschluss der Inspektion können die ursprüngliche Planung mit dem tatsächlichen Verlauf verglichen und Verbesserungen für künftige Missionen abgeleitet werden.
- Kann das AUV eine Reparatur nicht selbst durchführen, werden andere, spezialisierte Wartungs-AUVs angefordert – entweder durch das AUV selbst oder nach einer „Freigabe“ durch das Fachpersonal. Dies kann bei Bedarf auch Unterstützung durch Taucher oder spezialisierte bemannte bzw. ferngesteuerte Systeme beinhalten.



## Szenario 1: Unter Wasser autonom unterwegs

### Vorbereitung der Mission

- Das lernende robotische Unterwassersystem – Autonomous Underwater Vehicle (AUV) – wird von einem Schiff in der Nähe seiner Einsatzstelle ausgesetzt. Später kann es am Meeresboden verbleiben (Subsea Resident) und über ein eigenes Unterwasser-Dock Energie und Daten beziehen. Das Kontrollzentrum sendet die Missionsdaten an das AUV.

### Autonom unterwegs

- Das AUV navigiert zu der zu inspizierenden Offshore-Anlage. Zur Orientierung benutzt es bekannte Merkmale, etwa Pipelines oder andere Unterwasserstrukturen.

- Auf der Fahrt nutzt das AUV die On-Board-Sensoren, um Hindernisse zu vermeiden oder die Karte zu aktualisieren. Mit Hilfe der gesammelten Daten verbessern Online-Lernalgorithmen das Verhalten des Systems.

### Inspektion vor Ort

- Am Ziel angekommen, inspiziert das AUV die Anlage auftragsgemäß anhand detaillierter Navigations- und Planungsschritte. Nach Abschluss der Inspektion werden Planung und tatsächlicher Verlauf miteinander verglichen und Verbesserungen für künftige Missionen abgeleitet.

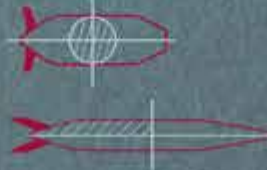
- Kann das AUV eine Reparatur nicht selbst durchführen, fordert es selbst oder über das Fachpersonal Unterstützung durch spezialisierte Wartungsfahrzeuge oder Taucher an.

### Lernen für die Zukunft

- Nach Abschluss der Mission navigiert das AUV zum Ausgangspunkt zurück. Nach einer Systemdiagnose, Wartung und dem Aufladen der Batterie ist es bereit für die nächste Mission. Im Dock wird solange das Verhalten des Systems mit Hilfe von Lernverfahren auf Basis der gesammelten Daten optimiert.

- Die Daten können in die Weiterentwicklung neuer Fahrzeuge einfließen und mit Erkenntnissen anderer Wissensgebiete kombiniert werden.

- Fachkräfte für Inspektions- und Wartungsarbeiten können die Daten nutzen, um Missionsverläufe nachzuvollziehen und weiteres Wissen und Erfahrung in die Planungsalgorithmen zu integrieren (Teaching).





### Störfall am AUV tritt auf

---

- Ein AUV kann sich aufgrund eines Antriebsschadens nicht mehr bewegen und bittet um Unterstützung. Zwei spezialisierte AUVs transportieren es zur Basis, da eine Reparatur vor Ort nicht möglich ist.

### Lernen für die Zukunft

---

- Nach Abschluss der Mission fährt das AUV zurück zum Ausgangspunkt. Bei einem Subsea Resident werden die Daten hochgeladen und für die Erstellung bzw. Aktualisierung eines 3D-Modells genutzt. Das AUV macht eine Systemdiagnose, wird bei Bedarf im Dock oder außerhalb von anderen AUVs gewartet und lädt seine Batterie. Anschließend kann es für die nächste Mission genutzt werden. Im Dock werden bei Wartezeiten die Systemressourcen (Berechnungen, Speicher etc.) genutzt, um das Verhalten des Systems mittels Lernverfahren auf Basis der gesammelten Daten zu optimieren.
- Mit den Daten des AUV lassen sich künftig zu entwickelnde Fahrzeuge hinsichtlich Form oder Beschaffenheit optimieren, um ihre Missionen bestmöglich durchzuführen. Die Erkenntnisse können mit Wissen aus der Bionik kombiniert werden.
- Expertinnen und Experten für solche Inspektions- und Wartungsarbeiten können die Daten des AUV zudem in immersiven Umgebungen nutzen, um Missionsverläufe nachzuvollziehen und weiteres Wissen und Erfahrung in die Planungsalgorithmen zu integrieren (Teaching). Das Fahrzeug im Dock kann mit dieser aktualisierten Version ausgestattet werden.

### Nutzen

Lernende Systeme können die Arbeiten an Unterwasserstrukturen grundlegend verändern:

- **Stabilität:** Lernende robotische Assistenzsysteme können Ausfälle von Teilsystemen vorhersagen und kompensieren.
- **Wirtschaftlichkeit:** AUVs machen die notwendigen Inspektionen von Unterwasserinfrastrukturen wirtschaftlicher und manche Einsätze überhaupt erst möglich.
- **Sicherheit:** Der Betrieb von Unterwasserinfrastrukturen wird insgesamt sicherer und nachhaltiger. Gleichzeitig verringert der Einsatz von AUVs das Gesundheitsrisiko für Fachpersonal (v. a. für Taucher).

## Herausforderungen

Bis Unterwassersysteme autonome Wartungs- und Reparatursätze durchführen werden, sind folgende Fragen zu klären:

- **Haftung:** Wer haftet im Schadensfall und wie können Schäden versichert werden?
- **Dual-Use:** Wie lässt sich eine Zweckentfremdung der Systeme ausschließen?
- **Lernen:** Wie können Rahmenbedingungen für zielgerichtetes Lernen geschaffen werden?
- **Transfer:** Wie können der Lerntransfer und die Verallgemeinerung des Erlernten ermöglicht werden?

## Was ist zu tun?

Um das Anwendungsszenario in wenigen Jahren Realität werden zu lassen, sind folgende Schritte nötig:

- Förderung der Technologieentwicklung bis zur Marktreife
- Lösung technischer/wissenschaftlicher Fragen zur Befähigung der Systeme
- Aufbau von Testinfrastrukturen bis hin zu realen Testfeldern im Meer

## Szenario 2

# Schnelle Hilfe beim Rettungseinsatz

## Lernende Systeme im Katastrophenschutz

### Hintergrund

Krisen, Katastrophen, extreme Wetterereignisse und Unglücksfälle erfordern den Einsatz von Rettungskräften. Insbesondere bei großen Schadensfällen sind dabei vielfältige, teils schwierige Aufgaben zu bewältigen – oft in Umgebungen, die für den Menschen gefährlich oder sogar tödlich sein können. Die Rettungskräfte müssen Verletzte und Betroffene schnellstmöglich finden, weitere Schäden verhindern und die Lage stabilisieren. Das alles geschieht unter starkem Zeitdruck und bei einer zunächst oft dürftigen Informationslage. Anschließend müssen die Folgen der Katastrophe beseitigt werden. Insbesondere bei einer Kontamination – etwa bei einem Störfall in einem Atomkraftwerk – kann dies sehr schwierig und gesundheitsgefährdend sein.

**Lernendes System:** Zum Einsatz kommen hier robotische Systeme zu Land (Unmanned Ground Vehicles, UGVs) und in der Luft (Unmanned Aerial Vehicles, UAVs) mit unterschiedlichen Autonomiegraden, maschineller Intelligenz und Lernfähigkeiten.

Lernende Systeme können Rettungskräfte bei Terroranschlägen, Chemieunfällen, Großbränden, Überflutungen, Erdbeben, Lawinenabgängen und anderen Ereignissen wirksam unterstützen, schützen und die Rettungsarbeiten beschleunigen. Sowohl in der Prävention als auch bei der Gefahrenabwehr, der Schadensbeseitigung oder in der Notfallrettung lösen sie vielfältige Aufgaben – entweder ferngesteuert vom Menschen oder auch autonom.

Mit Hilfe von Multi-Sensorik sind Lernende Systeme beispielsweise in der Lage, schnell ein detailliertes Lagebild zu erstellen, eine Kommunikations- und Logistikinfrastruktur für Rettungsarbeiten aufzustellen, Verletzte zu suchen und zu retten sowie Gefahrenquellen zu identifizieren, einzudämmen oder zu beseitigen. Die eingesetzten Systeme müssen dabei sowohl mit stark beanspruchten Rettungskräften als auch mit Opfern interagieren – oft sogar in engem physischen Kontakt.

Die Folgen einer Katastrophe zu beseitigen kann – insbesondere, wenn es zu Kontaminationen gekommen ist – viel Zeit und personelle Ressourcen erfordern. In diesem Fall werden Lernende Systeme über einen längeren Zeitraum eingesetzt – was besondere Anforderungen an ihre Langzeitautonomie stellt. Um diesen zu begegnen, sollten Lernende Systeme u. a. in der Lage sein, über einen längeren Zeitraum einen Erfahrungsschatz aufzubauen und anhand dessen ihr Verhalten zu optimieren. So können sie beim Wiederauftreten bestimmter Situationen auf frühere Erfahrungen zurückgreifen.

## Mission: Explosion und Brand in einer Chemiefabrik

### Erkundung der Lage

---

- Rettungskräfte vor Ort (z. B. Werksfeuerwehr) leiten den Einsatz ein. Sie rufen in der Umgebung Alarm aus, fordern Unterstützung an und starten mit der Erkundung der Lage sowie der Rettung der gefährdeten Personen.
- Weitere Rettungskräfte kommen mit ihren technischen Mitteln (inkl. spezieller autonomer und ferngesteuerter Systeme) hinzu.
- Mehrere Lernende Systeme – so genannte Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) – erstellen in der Luft als Gruppe autonom detaillierte Luftbilder der Großliegenschaft (u. a. in unterschiedlichen Spektralbereichen und 3D) und vermessen das Schadstoffvorkommen sowie Luftströme. Ziel ist es, eine mögliche Verbreitung von Gefahrstoffen zu erkennen, im Zuge einer Prognose zu modellieren, das Schadensgebiet einzugrenzen sowie potenziell gefährdete Bereiche der Umgebung zu bestimmen.
- Die UAVs kommunizieren und kooperieren untereinander sowie mit anderen Systemen (z. B. Bodenroboter, so genannte Unmanned Ground Vehicles [UGVs]), um kritische Bereiche möglichst schnell und detailliert zu erkunden. Sie übertragen die gesammelten Informationen unmittelbar an die Einsatzleitung, der sie als Grundlage für eine umfassende Lagebewertung dienen.

### Einsatz der Rettungskräfte

---

- Die Rettungskräfte arbeiten in Teams gemeinsam mit verschiedenen Robotern. Diese gewährleisten die Kommunikation und Logistik und versorgen alle Beteiligten mit aktuellen Lageinformationen, um die Rettungsarbeiten schnell und effizient zu gestalten. Diverse UGVs und UAVs erkunden den Weg für weitere (menschliche und maschinelle) Rettungskräfte, analysieren multisensoriell die Gefahrenlage und überwachen den körperlichen Zustand von Rettungskräften und ggf. Opfern. Sie können in die Erste Hilfe oder zum Abtransport in die Rettungsmaßnahmen integriert werden und weitere Hilfe anfordern.
- Während des Einsatzes nutzen Lernende Systeme ihre Sensorik, um Kollisionen zu vermeiden und Gefahrenzonen zu erkunden oder zu meiden. Sie sorgen für eine Echtzeit-Aktualisierung der Karten und beobachten den Zustand von Objekten (z. B. bei Einsturzgefahr oder Undichtigkeiten). Online-Lernalgorithmen nutzen die gesammelten Daten sowie menschliche Hinweise, um das Lagebild zu verfeinern und das Verhalten der Systeme zu verbessern.

## Szenario 2: Schnelle Hilfe beim Rettungseinsatz

### Erkundung der Lage

- 1 Die Werksfeuerwehr leitet den Einsatz. Sie ruft Alarm aus, fordert Unterstützung an und beginnt mit der Lageerkundung. Mehrere Flugroboter (Unmanned Aerial Vehicles, UAVs) erstellen autonom detaillierte Luftbilder und vermessen Schadstoffvorkommen und Luftströme, um potenziell gefährdete Bereiche zu bestimmen. Sie kommunizieren untereinander und mit anderen Systemen. Die gesammelten Informationen übertragen sie an die Einsatzleitung.

### Einsatz der Rettungskräfte

- 2 Einsatzkräfte und Roboter versorgen das Rettungsteam mit aktuellen Lageinformationen. Diverse Flug- und Bodenroboter (Unmanned Ground Vehicles, UGVs) analysieren multisensoriell die Gefahrenlage. Sie überwachen den Zustand von Rettungskräften, ggf. Opfern und Objekten (z.B. bei Einsturzgefahr) und aktualisieren die Lagebilder in Echtzeit. Durch Online-Lernalgorithmen und menschliche Hinweise verfeinern die Systeme das Lagebild und verbessern ihr Verhalten.

### Kommunizieren und kooperieren

- 3 Über Sprache, Gesten und Biosignale kommunizieren die Lernenden Systeme schnell und intuitiv mit Rettungskräften und Fachleuten in der Leitstelle. Sie analysieren laufend ihren Eigenzustand und übertragen Diagnoseinformationen an die Zentrale. Bei Bedarf fordern die Systeme bei der Einsatzleitung spezialisierte Hilfs- und Wartungsroboter oder menschliche Rettungskräfte und Wartungspersonal an.

### Lernen für die Zukunft

- 4 Am Ende des Einsatzes kehren die Lernenden Systeme zur Zielposition zurück. Dort werden sie mit Hilfe autonomer Wartungssysteme für den nächsten Einsatz vorbereitet (d. h. dekontaminiert, gereinigt, repariert, Software und Hardware aktualisiert, beladen). Ihre gesammelten Informationen und erlernten Fähigkeiten übertragen sie unter Wahrung des Datenschutzes in Datenbanken. Darauf basierend wird nach effizienten Verhaltensmustern in neuen Situationen gesucht. Auf Basis von eigenen und fremden Erfahrungswerten optimieren die Systeme ihre Fähigkeiten.



## Kommunizieren und kooperieren

---

- Für einen effektiven Rettungseinsatz ist eine schnelle und intuitive Interaktion zwischen Mensch und Lernenden Systemen notwendig. Dies erfordert zum einen eine adäquate Verständigung zwischen Menschen und Lernenden Systemen im Einsatz – explizit über Sprache, Gesten und implizit durch die Nutzung von Biosignalen (z. B. Blickrichtung, Hautwiderstand, neurophysiologische Daten). Zum anderen müssen robotische Systeme mit den Fachleuten in einer Leitstelle kommunizieren und diese bei Bedarf mit Hilfe immersiver Technologien in die Situation vor Ort versetzen.
- Lernende Systeme kooperieren auf unterschiedliche Weise mit dem Menschen – um größere Kräfte anzubringen, falls ein System eine Aufgabe allein nicht erfüllen kann, oder um spezielle Fähigkeiten bzw. Werkzeuge zu benutzen (z.B. Röntgenbilder erstellen oder Organisation von Verletzten-transporten). Vor allem aber zu dem Zweck, Rettungskräfte abzusichern und zu unterstützen.
- Lernende Systeme analysieren ständig ihren Eigenzustand und übertragen Diagnoseinformation an ihre Zentrale. Bei Bedarf fordern sie spezialisierte Hilfs- und Wartungsroboter oder menschliche Rettungskräfte und Wartungspersonal bei der Einsatzleitung an.

## Lernen für die Zukunft

---

- Die von den autonomen Systemen gesammelten Informationen und erlernten Fähigkeiten werden unter Wahrung des Datenschutzes in entsprechende Datenbanken zur Weiterverwertung übertragen. Dabei wird nach effizienten Verhaltensmustern in neuen Situationen gesucht – insbesondere, wenn eine Interaktion mit einem Menschen notwendig war. Auf Basis von eigener und fremder Erfahrung werden so durch Lernverfahren die Fähigkeiten der Systeme optimiert. Einsätze wie eine großflächige Dekontamination von Böden, Gebäuden und Gütern dauern in der Regel sehr lange und können sich über Jahre erstrecken. Zukünftig werden für diese längerfristigen Aufgaben hauptsächlich autonome Systeme eingesetzt. Sie messen die verbleibende Kontamination, lernen aus dieser Erfolgskontrolle und verbessern dadurch laufend ihre Fähigkeiten. Menschen steuern diesen Prozess: Sie definieren Ziele und Aufgaben, die autonom ausgeführt werden können, und beeinflussen auch die Arbeitsteilung in ggf. heterogen zusammengesetzten Roboterteams.
- Am Ende des Einsatzes sammeln Lernende Systeme Ausrüstung und Gegenstände sowie andere bewegungsunfähige Systeme ein und kehren zur vorgegebenen Zielpositionen zurück. Dort werden sie mit Hilfe autonomer Wartungssysteme für den nächsten Einsatz vorbereitet (d. h. dekontaminiert, gereinigt, repariert, Software und Hardware aktualisiert, beladen). Stark kontaminierte Systeme werden sachgerecht entsorgt – etwa durch weitere, darauf spezialisierte robotische Systeme.

## Nutzen

Lernende Roboter und Assistenzsysteme können sich an veränderte Situationen anpassen, ohne dafür programmiert werden zu müssen. Sie verbessern die Arbeitsweise bei Rettungseinsätzen grundlegend, gerade in unübersichtlichen und dynamischen Gefahrensituationen.

- **Effizienz:** Opfer können schneller gerettet, Sachschäden begrenzt werden.
- **Schutz und Sicherheit:** Rettungskräfte sind geringeren Gefahren ausgesetzt und werden in körperlich extremen Situationen unterstützt.
- **Erweiterte Hilfe:** Bei manchen Unglücken wird ein Rettungseinsatz durch intelligente Assistenzsysteme überhaupt erst möglich.
- **Robustheit:** Durch effiziente Lernverfahren können selbstständige Roboter auf Basis weniger Daten richtige Entscheidungen treffen.

## Herausforderungen

Bis Mensch und Roboter zu echten Partnern im Rettungseinsatz werden, sind folgende Fragen zu klären:

- **Privacy:** Wie gestaltet sich der Umgang mit personenbezogenen Daten?
- **Entscheidungen:** Wie handeln Roboter in Dilemma-Situationen, etwa bei der Rettung Verletzter?
- **Haftung:** Wer haftet, falls selbstlernende Roboter Schäden verursachen?
- **Sicherheit:** Wie lassen sie sich effektiv gegen Missbrauch schützen?

## Was ist zu tun?

Um das Anwendungsszenario in wenigen Jahren Realität werden zu lassen, sind folgende Schritte nötig:

- Weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für die Entwicklung marktreifer Systeme
- Etablierung von Simulations- und (immersiven) Testumgebungen, in denen selbstständige Roboter und Rettungskräfte kooperieren
- Gezielte Förderung, um das hohe wirtschaftliche Potenzial von Lernenden Systemen für den Einsatz in lebensfeindlichen Umgebungen auch auf internationalen Märkten auszuschöpfen
- Einheitliche Standards und eine unabhängige Zertifizierung

# Gestaltungsoptionen

**Damit Lernende Systeme in lebensfeindlichen Umgebungen verlässlich, sicher und zum Wohle des Menschen eingesetzt werden können, sind einige Voraussetzungen und Rahmenbedingungen zu schaffen.**

Lernende Systeme, die in lebensfeindlichen Umgebungen eingesetzt werden können, bieten nach Einschätzung der Arbeitsgruppe die Chance, in Deutschland vorhandene Kompetenzen auf dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz (KI) und Robotik zu nutzen und international eine Vorreiterrolle einzunehmen.

In Deutschland sind Lernende Systeme für den Einsatz in lebensfeindlichen Umgebungen nach Einordnung der Arbeitsgruppe bislang noch ein Nischenmarkt. Ihr Potenzial, in Bereichen wie Katastrophenschutz, Luft- und Raumfahrt, der maritimen Welt oder an Windkraftanlagen den Menschen von gefährlichen Aufgaben zu entlasten, ist jedoch hoch – hiervon gehen auch Studien zum gegenwärtigen Einsatz intelligenter autonomer Systeme aus (IRF/VDMA 2018, Zion Market Research 2019). Zudem bietet sich die Möglichkeit, mit Hilfe von Lernenden Systemen noch unbekannte oder schwer zugängliche Territorien in lebensfeindlichen Umgebungen (z. B. unter Wasser) zu erkunden. Damit ergeben sich große Chancen für die Wirtschaft.

Um dies zu erreichen, gilt es, die F&E-Aktivitäten zu Robotik und KI für Systeme in lebensfeindlichen Umgebungen zu intensivieren und zu beschleunigen. Begleitend zu staatlichen Förderungen müssen zudem Potenziale und Grenzen der Anwendungen öffentlich kommuniziert und diskutiert werden, um die Wahrnehmung der gesellschaftlichen Relevanz zu stärken und die Akzeptanz weiter zu erhöhen. Die Praxistauglichkeit von Systemen bemisst sich auch daran, ob sie von Anwendern akzeptiert werden.



**Die Arbeitsgruppe Lebensfeindliche Umgebungen der Plattform Lernende Systeme hat eine Reihe von Gestaltungsoptionen identifiziert, die von Wissenschaft** (Universitäten, Fachhochschulen und außeruniversitäre nationale Forschungseinrichtungen), **Wirtschaft** (Unternehmen und Verbände) **und Politik** (auf Bundesebene federführende Ressorts für die Bereiche Künstliche Intelligenz, Mensch-Technik-Interaktion und Innovationsförderung, wie auch der Gesetzgeber) **angegangen werden müssen.**

## Forschungsfragen lösen

Für den Einsatz Lernender Systeme stellen sich für Universitäten, Fachhochschulen, außeruniversitäre nationale Forschungseinrichtungen und forschende Unternehmen vorrangig folgende **zentrale Forschungsfragen**:

- Wie lassen sich Funktions- und Teilsystemausfälle durch Lernende Systeme kompensieren? Welche Konzepte zur Rekonfigurierbarkeit und Modularität sind unterstützend erforderlich?
- Wie lässt sich informiert Lernen (Lernen mit Vorwissen) implementieren und neues Wissen bei Langzeiteinsätzen generieren?
- Wie können Lernende Systeme aus wenigen oder gar nur einem Beispiel bzw. einem einzigen prägenden Ereignis (One-Shot Learning) lernen?
- Wie lassen sich der Transfer von Gelerntem (auch von Menschen) und verallgemeinerndes Lernen (induktives Lernen) erreichen und organisieren?
- Wie lassen sich Entscheidungs-, Interpretations- und Erklärungsmodelle für Lernende Systeme realisieren?
- Wie können Lernende Systeme gegen Missbrauch hinsichtlich Zweckbestimmung, Kontext, Einsatzort und unkontrolliertem Lernen geschützt werden?
- Wie können Lernende Systeme für die Interaktion mit dem Menschen optimiert werden, um die Effizienz von hybriden Teams zu erhöhen?

Zum Ausbau von  
Forschung und Entwicklung physische und digitale Infrastruktur gemeinsam nutzen

## Infrastrukturen aufbauen

### 1. F&E-Infrastrukturen aufbauen

Ziel muss es sein, F&E-Infrastrukturen für Lernende Systeme in lebensfeindlichen Umgebungen zu schaffen, die von Forschungseinrichtungen betrieben, aber von allen Stakeholdern genutzt werden können. Zur Umsetzung sind folgende Maßnahmen notwendig:

- Konzeption von physischen Forschungsinfrastrukturen an Forschungseinrichtungen, Universitäten und Fachhochschulen, um über lange Einsatzzeiten Daten zu sammeln, zu archivieren, zu interpretieren und darauf aufbauend zu lernen
- Beteiligung von Unternehmen und Anwendern an Konzeption und Aufbau von Forschungsinfrastrukturen, die den Stakeholdern zugänglich sind
- Auf politischer Ebene ist Interoperabilität mit den „Hausstandards“ der Infrastruktur einzufordern, um die Entstehung allgemeiner Standards zu fördern

## 2. Datenpools und digitale Infrastrukturen schaffen

Aufbau umfassender Datenpools und digitaler Infrastrukturen in wissenschaftlichen Einrichtungen zum standardisierten Lernen, Testen und Evaluieren von Lernenden Systemen

## 3. Referenzplattformen bereitstellen

Bereitstellung von Referenzplattformen durch die Wirtschaft, um einer größeren Community Arbeitsmöglichkeiten zu bieten sowie Forschungs- und Entwicklungsergebnisse austauschen zu können

## Innovationen fördern

### 1. Geschäftsmodelle entwickeln

Ausloten neuer unternehmerischer Geschäftsmodelle zur Entwicklung der notwendigen Roboter als Assistenz-, Inspektions- oder Wartungssysteme, für Services rund um den Einsatz solcher Systeme sowie für die Bereitstellung und Durchführung von notwendigen Schulungs- und Qualifizierungsmethoden

### 2. Technologiedemonstratoren entwickeln

Gemeinsame Entwicklung von Technologiedemonstratoren mit Disruptionspotenzial durch Wirtschaft und Forschung

### 3. Leuchtturmtechnologien mit internationaler Dynamik gezielt fördern

Spezielle Gebiete wie Unterwasser- oder Feuerwehrrobotik sowie Rettungs- und Bergungssysteme versprechen insbesondere für den internationalen Markt ein hohes wirtschaftliches Potenzial. Um dieses zu nutzen und sich frühzeitig als Technologieführer zu etablieren, lohnt eine gezielte Förderung dieser Technologiebereiche von Seiten der Politik.

### 4. Challenges für Innovationen ausloben

Ausschreibung einschlägiger, anspruchsvoller Challenges, die mit Preisgeldern so gut dotiert sind, dass sich potenzielle Teilnehmer einen positiven Erwartungswert ausrechnen. Auch hier gilt es, Interoperabilität mit gewissen Standards einzufordern, um die Entstehung allgemeiner Standards zu fördern. Diese können von der Politik gefördert werden.

Die Ausschreibung von anspruchsvollen Challenges für die Entwicklung von Lernenden Systemen (z. B. nach dem Vorbild der xPrize-Foundation) ist auch von Seiten der Wirtschaft denkbar.

## Rahmenbedingungen schaffen

### 1. Standards definieren

Gemeinsames Aufgreifen vorhandener Standards bzw. frühzeitiges Anstoßen von Standardisierungsprozessen durch Wirtschaft und Forschung

### 2. Nachhaltige und minimalinvasive Lösungen fokussieren

Sollen Lernende Systeme in neuen potenziellen Lebens- oder Wirtschaftsräumen eingesetzt werden (z. B. Tiefsee), muss ihr Eingriff in das bestehende (Öko)System minimalinvasiv sein. Die Entwicklungen in diese Richtungen sollten politisch angeregt werden, ggf. über entsprechende Zertifizierung und gezielte Fördermaßnahmen.

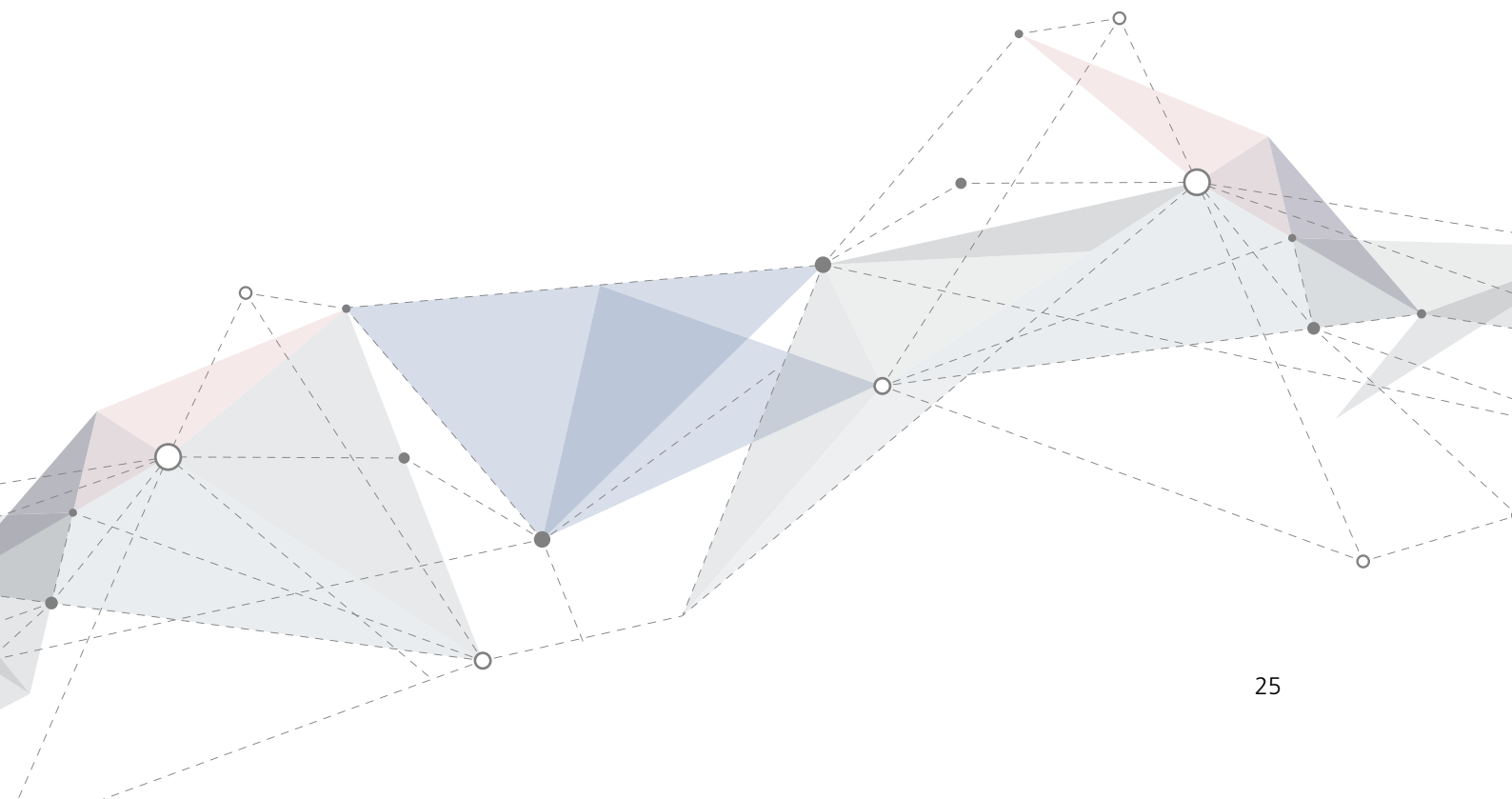
### 3. Vertrauen schaffen durch Öffentlichkeit und Transparenz

Nur wer versteht, wie Lernende Systeme funktionieren und welchen Nutzen sie stiften, wird ihre Entwicklung unterstützen. Es gilt daher, Projekte zu fördern, die die Gesellschaft gezielt über den Zweck, den Nutzen und die Herausforderungen von Lernenden Systemen in lebensfeindlichen Umgebungen informieren und aufklären. Hierzu gehört auch, Verantwortungsfragen zu klären, die im gemeinsamen Handeln von Mensch und Lernenden Systemen in riskanten Situationen entstehen können.

### 4. Öffentlichen Beschaffungsmarkt flexibilisieren

Gerade im Bevölkerungs- und Katastrophenschutz ist häufig die öffentliche Hand der Bedarfsträger. Dort werden mit Blick auf die – vermeintliche – Wirtschaftlichkeit innovative Lösungen oftmals nicht eingesetzt. Eine Flexibilisierung des öffentlichen Beschaffungsmarktes könnte dem entgegenwirken und die Erschließung neuer Märkte für KI-basierte robotische Systeme zum Einsatz in lebensfeindlichen Umgebungen ermöglichen.

Nischenmarkt frühzeitig gestalten und wirtschaftliches Potenzial ausschöpfen



# Über diesen Bericht

Dieser Bericht wurde erstellt von der Arbeitsgruppe Lebensfeindliche Umgebungen der Plattform Lernende Systeme. Als eine von insgesamt sieben Arbeitsgruppen untersucht sie Einsatzmöglichkeiten und Anwendungsgebiete von Lernenden Systemen in schwer zugänglichen und gefährlichen Umgebungen. Dabei widmet sie sich den Potenzialen und Herausforderungen, erörtert Fragen der Ethik und der Transparenz solcher Systeme sowie denkbare Geschäftsmodelle. Sie betrachtet dabei ausschließlich zivile Szenarien (siehe auch Seite 11).

## Die Arbeitsgruppe wird geleitet von:

**Prof. Dr. Jürgen Beyerer**, Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildverarbeitung IOSB; Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

**Prof. Dr. Dr. Frank Kirchner**, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) GmbH, Robotics Innovation Center; Universität Bremen

## Mitglieder der Arbeitsgruppe sind:

**Prof. Dr. Alin Albu-Schäffer**, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR); TU München

**Prof. Dr. Tamim Asfour**, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

**Prof. Dr. Sven Behnke**, Universität Bonn

**Prof. Dr. Andreas Birk**, Jacobs Universität Bremen

**Prof. Dr. Wolfram Burgard**, Universität Freiburg

**Prof. Dr. Thomas Deserno**, TU Braunschweig

**Dr.-Ing. Jeronimo Dzaack**, ATLAS ELEKTRONIK GmbH

**Dr. Thomas Egloffstein**, ICP Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda und Partner mbH

**Dr.-Ing. Michael Gustmann**, Kerntechnischer Hilfsdienst GmbH

**Prof. Dr. Andreas Nüchter**, Universität Würzburg

**Patrick Rosen**, ROSEN Technology and Research Center GmbH

**Dr.-Ing. Hauke Speth**, Stadt Dortmund, Institut für Feuerwehr- und Rettungstechnologie

**Dr. Sirko Straube**, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) GmbH, Robotics Innovation Center

**Dr.-Ing. Igor Tchouchenkov**, Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildverarbeitung IOSB

**Martin Zimmermann**, Imsimity GmbH

Für das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) nehmen Vertreterinnen und Vertreter der Referate 511 Künstliche Intelligenz und 524 Zivile Sicherheitsforschung als Gäste in der Arbeitsgruppe teil.

## Die Arbeitsgruppe wird unterstützt durch:

**Dr. Erduana Shala**, Geschäftsstelle Plattform Lernende Systeme

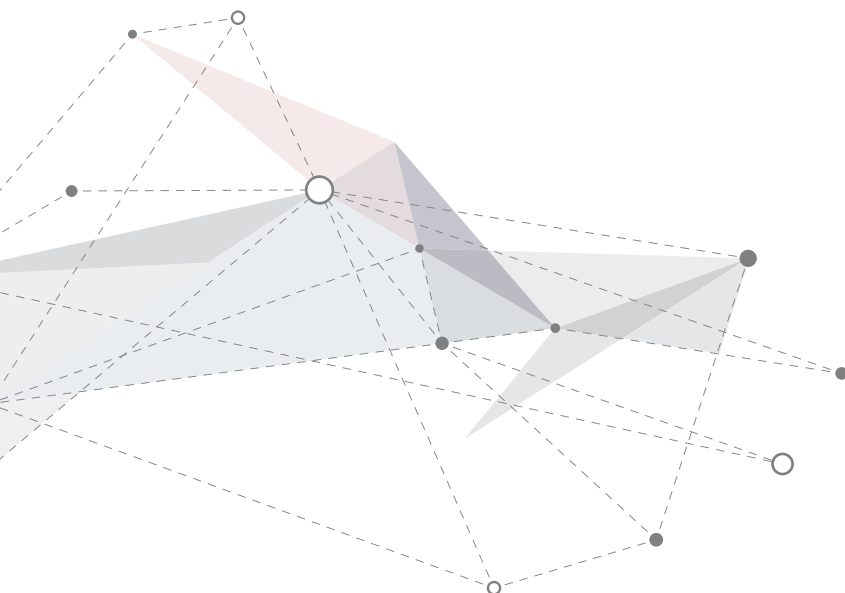
**Martin Wegele**, Fraunhofer Gesellschaft

# Literatur

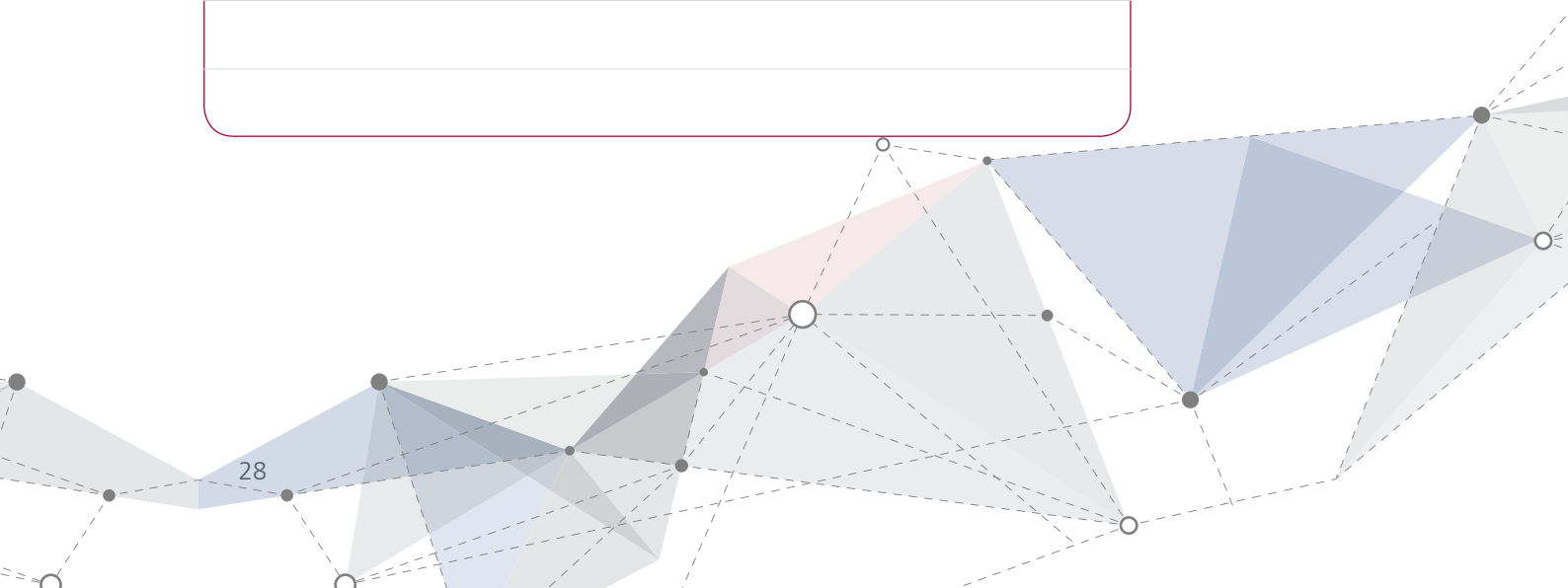
**IFR, VDMA (2018):** World Robotics 2018 Industrial Robots, VDMA Verlag, Frankfurt a. M. 2018.

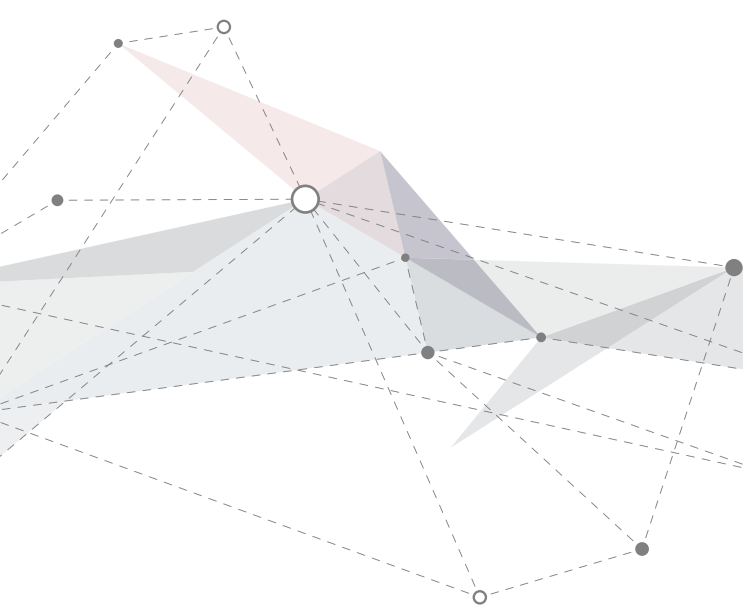
**Zion Market Research (2018):** Unmanned Ground Vehicles (UGV) Market by Application (Military (ISR, EOD, Combat Support, Transportation), Commercial (Firefighting, CBRN, Physical Security, Oil & Gas)), Mobility, Size, System, Mode of Operation, and Region-Global Forecast to 2025.

<https://www.researchandmarkets.com/reports/4733538/unmanned-ground-vehicles-ugv-market-by>  
(abgerufen am 09.05.2019).



A large rectangular area with a red border and horizontal lines, intended for taking notes.





## Impressum

### Herausgeber

Lernende Systeme –  
Die Plattform für Künstliche Intelligenz  
Geschäftsstelle | c/o acatech  
Karolinenplatz 4 | 80333 München  
kontakt@plattform-lernende-systeme.de  
www.plattform-lernende-systeme.de  
Die Plattform auf Twitter: @LernendeSysteme

### Redaktion

Dr. Erduana Shala, Birgit Obermeier

### Gestaltung und Produktion

PRpetuum GmbH, München

### Druck

Druck- und Verlagshaus Zarbock  
GmbH & Co. KG, Frankfurt

### Stand

Mai 2019

### Bildnachweis

rost9 / Fotolia | Titelbild  
aleksandarvelasevic / iStock | Hintergrundgrafik  
Edeos | Infografiken

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.  
Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die  
der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von  
Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem  
oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Daten-  
verarbeitungsanlagen, bleiben – auch bei nur auszugs-  
weiser Verwendung – vorbehalten.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

