PLATTFORM INDUSTRIE 4.0

WORKING PAPER

# Technologieszenario „Künstliche Intelligenz in der Industrie 4.0“

# Impressum

**Herausgeber**
Bundesministerium für Wirtschaft
und Energie (BMWi)
Öffentlichkeitsarbeit
11019 Berlin
www.bmwi.de

**Redaktionelle Verantwortung**
Plattform Industrie 4.0
Bertolt-Brecht-Platz 3
10117 Berlin

**Gestaltung**
PRpetuum GmbH, 80801 München

**Stand**
März 2019

**Bildnachweis**
danchooalex/iStock (Titel)
ipopba/iStock (S. 5, 9, 10)
metamorworks/iStock (S. 20)
gorodenkoff/iStock (S. 30)

**Diese und weitere Broschüren erhalten Sie bei:**
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Referat Öffentlichkeitsarbeit
E-Mail: publikationen@bundesregierung.de
www.bmwi.de

**Zentraler Bestellservice:**
Telefon: 030 182722721
Bestellfax: 030 18102722721

Diese Publikation wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Die Publikation wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament.

# Inhalt

Vorwort 3

Einleitung 4

Ansätze zur Definition von KI 5

KI aus Sicht der Industrie 4.0 6

Technologische Entwicklung der KI 7

Warum ist KI interessant? 9

Die Fähigkeiten der KI eröffnen neue Möglichkeiten 10

KI-beeinflusste Autonomie-Stufen in der industriellen Produktion 12

Der Mensch definiert die Systemgrenzen 20

Didaktik des künstlichen Lernens 21

- Qualitative Daten mit Kontext befähigen die KI 22
- Verfügbarkeit von Daten 23
- Daten haben Wert 24

KI in der Plattform Industrie 4.0 25

Forschungsbedarf für den industriellen KI-Einsatz 29

KI in der gesellschaftlichen und industriellen Diskussion 30

Fazit zur bisherigen Diskussion 32

# Vorwort

*Die Nutzung von „Künstlicher Intelligenz“ (KI) oder auch „Artificial Intelligence“ (AI) gilt als wesentlicher Innovationstreiber. Ob im privaten, öffentlichen oder wirtschaftlichen Sektor, der Einsatz von KI betrifft die ganze Gesellschaft. Künstliche Intelligenz ist kein neues Thema. Bereits in der Mitte des letzten Jahrhunderts wurden erste Ideen, Prinzipien und Technologien hierzu entwickelt. Technologien, die zu dem damaligen Zeitpunkt durch Speicherkapazität, Rechenleistung und Bandbreite von Netzwerken limitiert wurden. Heute ist KI, auch unter Berücksichtigung der stetigen Weiterentwicklung und dem daraus resultierenden Ressourcenbedarf, bereits in der Fläche einsetzbar.*

*Künstliche Intelligenz steht dabei für eine Sammlung von Methoden, die einem Computer ermöglichen, Aufgaben zu lösen, die, wenn sie vom Menschen gelöst werden, Intelligenz erfordern. Während die Definition von Intelligenz per se schwierig ist, besteht Konsens darüber, dass ohne Lernfähigkeit und ohne die Fähigkeit, eigenständig Probleme zu lösen (Problem Solving), Intelligenz nicht zugesprochen werden kann. So ist das Maschinelle Lernen (Machine Learning) ein zentrales, aber nicht das einzige Teilgebiet der Künstlichen Intelligenz. Die meisten heutigen Erfolgsgeschichten der Künstlichen Intelligenz bestehen aus einer Kombination von Lernen und Problemlösen. Lernende Maschinen wiederum benötigen Daten: entweder in Form von großen Datenmengen, die einmal untersucht werden, oder Datenmengen, mit denen immer wieder nachgelernt wird, oder Datenströmen, aus denen kontinuierlich gelernt wird. Maschinelles Lernen ist in der Lage, auf der Basis von Daten durch geschickte Verknüpfung Komplexität zu reduzieren, Ereignisse oder Muster zu erkennen, um wiederum Ereignisse zu erklären, Vorhersagen zu tätigen oder Handeln zu ermöglichen. Und dies ohne die bekannte explizite Programmierung in Form von „Wenn-dann“-Routinen bzw. klassische Automatisierungs- und Regelungstechnik. Die Digitalisierung durchdringt zunehmend alle Bereiche und ermöglicht eine automatisierbare Bereitstellung großer Datenmengen. Jene Daten, die die Künstliche Intelligenz benötigt, um Nutzen zu generieren.*

*Die Vielfältigkeit der bestehenden und möglichen Anwendungsgebiete und der aktuelle Fokus von Politik, Wissenschaft und Anwendern auf das Themengebiet wecken hohe Erwartungen an den Einsatz von Künstlicher Intelligenz. Dieses wirft neben technischen Fragestellungen auch Fragen der Datensouveränität, der Zukunft der Arbeit und des ethischen Umgangs auf, um nur einige zu nennen.*

*Der Einsatz von neuen Technologien und KI ermöglicht Innovation in der industriellen Produktion. Zwei Faktoren sind in diesem Kontext für den Erfolg ausschlaggebend. Erstens: Motivierte und befähigte MitarbeiterInnen, die gelernt haben, souverän mit KI umzugehen. Zweitens: Ein förderndes Umfeld, das neben dem sicheren und strukturierten Einsatz von KI auch die (inter)nationale Akzeptanz von KI fördert. Das nachfolgende Dokument diskutiert eine mögliche Einteilung der Wirkung von KI in der industriellen Produktion – Industrie 4.0 – aus verschiedensten Perspektiven der Plattform Industrie 4.0, ihrer Arbeitsgruppen und unter Mitwirkung der Plattform Lernende Systeme sowie der Begleitforschung zum Technologieprogramm Smart Service Welt II des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). Der Leser soll ermutigt werden, sich mit KI zu beschäftigen, die Wirkungsketten zu erkennen und eigene Entscheidungen ableiten zu können.*

*Der Zweck des vorliegenden Papiers ist die Beschreibung der neuen Möglichkeiten, die sich durch die Fähigkeiten der KI eröffnen, und die Kategorisierung verschiedener Stufen autonomer Prozesse innerhalb der Automation. Diese Kategorisierung beschreibt die Gestaltungsmöglichkeiten industrieller Abläufe von manuellen bis autonomen Prozessen durch KI und ist nicht als Bewertung gedacht. Sie ermöglicht die Diskussion über den Einsatz von KI und stellt die Grundlage für zukünftige Handlungsempfehlungen dar.*

*Ergänzend hierzu gibt es auch weitere Papiere aus den Arbeitsgruppen der Plattform Industrie 4.0, in denen spezifische Anforderungen und Handlungsbedarfe aus z. B. rechtlicher Sicht (Dokument „KI und Recht im Kontext von Industrie 4.0“) und aus Sicht der Sicherheit (Dokument „Künstliche Intelligenz (KI) in Sicherheitsaspekten der Industrie 4.0“) dargestellt werden.[1]*

1 Diese werden zur Hannover Messe 2019 veröffentlicht.

# Einleitung

Künstliche Intelligenz (KI) wird als eine wichtige Schlüsseltechnologie gesehen, die für den Erhalt der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit Deutschlands unabdingbar ist[2]. Auch im Umfeld von Industrie 4.0-Prozessen weist KI ein hohes Potenzial für die Wertschöpfung im produzierenden und im dienstleistenden Gewerbe auf. In der Industrie 4.0 wird die heutige, stark produktzentrierte Fertigung durch lösungs- und kundenzentrierte Konzepte ersetzt. Starre, definierte Fertigungs- und Wertschöpfungsketten werden zukünftig in flexible und hochdynamische Produktions- und Dienstleistungs-Ökosysteme überführt. Diese werden auftragsbasiert eine vollständig individualisierte Produktion ermöglichen. Ausgehend von kundenindividuellen Anforderungen sollen Produktionssysteme autonom organisiert und via KI sollen selbständig Fertigungs- und Logistikstrategien optimiert werden. Voraussetzung für die Umsetzung von KI in Industrieprozessen ist die Bereitstellung einer Verwaltungsschale, die Datenquellen, Lernmechanismen, Systemgrenzen, aktives Handeln und menschliche Eingriffe strukturiert und verbindet. Auch die im Modell der Referenzarchitektur Industrie 4.0 (RAMI 4.0) strukturierten und standardisierten Merkmale und Schnittstellen der beteiligten Netzwerkkomponenten stellen eine nützliche Basis für die Einbindung von KI-Technologien in die industrielle Fertigung oder das Engineering dar.

Um diese Vorgänge besser zu verstehen, werden im Rahmen der Aktivitäten der Arbeitsgruppe Technologie- und Anwendungsszenarien (AG 2) der Plattform Industrie 4.0, und unter Mitwirkung einer zu allen weiteren Plattform-Arbeitsgruppen quer liegenden Projektgruppe „KI für Industrie 4.0“, die Chancen und Herausforderungen beim Einsatz von KI-Technologien in industriellen Arbeitsvorgängen diskutiert. Hierbei findet ein enger Austausch mit der Plattform Lernende Systeme, dem KI-Bundesverband und der Begleitforschung des Technologieprogramms Smart Service Welt II des BMWi statt.

Technologien der Künstlichen Intelligenz sind aus Sicht der Industrie als Methoden und Verfahren zu verstehen, die es technischen Systemen ermöglichen, ihre Umwelt wahrzunehmen, das Wahrgenommene zu verarbeiten, selbständig Probleme zu lösen, neue Lösungswege zu finden, Entscheidungen zu treffen, insbesondere aus Erfahrung zu lernen, dadurch bei Aufgaben besser zu werden und zu handeln. Durch den Einsatz von KI-Technologien sollen die Effizienz und Effektivität industrieller Prozesse gesteigert werden. Dabei sind Faktoren wie Kosten, Geschwindigkeit, Präzision oder Problemlösungen jenseits menschlicher Fähigkeiten relevant. Generell gilt: Um höhere Autonomiegrade bei industriellen Vorgängen zu erreichen, wird kognitive Leistungsfähigkeit benötigt, welche durch KI-Technologien eingebracht werden kann. Je nach Leistungsfähigkeit und Einsatzintensität von KI wird die Notwendigkeit menschlicher Eingriffe in den Abläufen vermindert. Nachfolgend werden aber nur solche KI-bedingten Entscheidungsfindungen diskutiert, die in vom Menschen vorgegebenen Systemgrenzen und mit KI-Technologien ablaufen, die der menschlichen Überwachung unterliegen. Damit sind derzeit und auch in naher Zukunft die in der industriellen Anwendung befindlichen KI-Systeme fast vollständig abgedeckt.

Im Rahmen dieses Dokuments soll die Intensität des Einsatzes von KI-Technologien anhand des Grades der Autonomie industrieller Prozesse diskutiert werden, welcher von der Selbständigkeit abhängt, mit der das System komplexe Situationen automatisiert und selbstlernend bewältigen kann. Bezüge zu dieser Diskussion finden sich in der Fachliteratur, beispielsweise bei der Darstellung aktueller Simulationsexperimente, mit denen untersucht wird, ob über die Einführung eines Autonomieindexes, der das Verhältnis zwischen den autonomen Prozessschritten und der Gesamtanzahl an Prozessschritten eines industriellen Vorgangs beschreibt, der optimale Grad an Autonomie für ein Produktionssystem ermittelt werden kann.[3] Die Arbeit der Projektgruppe „KI für Industrie 4.0“ orientiert sich auch an der Diskussion von (Autonomie-)Stufen zum selbstfahrenden Auto[4]. Die nachfolgende Ergebnisdarstellung stellt den aktuellen Stand der Diskussion der Projektgruppe dar und wird im Zuge der weiteren Arbeiten fortentwickelt.

2 https://www.bmbf.de/files/180718%20Eckpunkte_KI-Strategie%20final%20Layout.pdf.

3 Gronau: Der angemessene Grad von Autonomie in Cyber-Physischen Produktionssystemen; Industrie 4.0 Management 34 (2018) 6.

4 SAE International: Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, J3016_201806, Rev 2018-06-15.

# Ansätze zur Definition von KI

Aus genereller Sicht bezeichnet Künstliche Intelligenz (KI) ein Teilgebiet der Informatik, das sich mit Methoden und Technologien beschäftigt, die es einem Computer ermöglichen, solche Aufgaben zu lösen, die, wenn sie vom Menschen gelöst werden, Intelligenz erfordern.[5] Im VDI-Statusreport Künstliche Intelligenz wurde ein technischer Bezug bei der Begriffsbeschreibung gewählt: „Künstliche Intelligenz erweitert technische Systeme um die Fähigkeit, Aufgaben selbständig und effizient zu bearbeiten“.[6] Bislang aber gibt es keine allgemein anerkannte, eindeutige und exakte Definition des Begriffs.[7] Häufig wird KI zur Beschreibung von Computersystemen benutzt, die Aufgaben abarbeiten, nachdem sie mit großen Datenmengen trainiert wurden, und danach, potenziell mit anderen Methoden, Entscheidungen treffen, die sie aus ihnen bereits bekannten Daten ableiten. Je nach Güte und Menge der Trainingsdaten kann das KI-System die nach seinen Kenntnissen „richtige“ Aktion ausführen. KI-Systeme können mithilfe von lernenden Algorithmen im laufenden Betrieb weiterlernen, dadurch die trainierten Modelle optimieren und die Daten- und Wissensbasis ausweiten.[8]

Der derzeitige Hype um die KI resultiert aus ihrer schlüsseltechnologischen Funktion, mit der es prinzipiell möglich ist, jegliche Formalisierung des menschlichen und rationalen Denkens und Handelns umzusetzen, also Lernen, Planen und Problemlösen. Darunter fallen Bild- und Spracherkennung, Wissenserwerb, Maschinenlernen, Mustererkennung, kognitives Erfassen und Automatisieren logischer Schlussfolgerungen sowie die Planung und Ausführung industrieller Automatisierungsprozesse. Aktuelle KI-Ansätze sind humanzentriert und darauf fokussiert, Computer dafür zu nutzen, dass Menschen in ihren Tätigkeiten von KI-Systemen unterstützt werden.

Bei der Anwendung von KI-Technologien wird zur Vereinfachung der Beschreibung der Möglichkeiten von KI oft die „schwache“ von der „starken“ KI unterschieden.[9] Unter „schwacher“ KI wird die maschinelle Fähigkeit verstanden, so handeln zu können, als sei die Maschine intelligent. Eine starke KI wäre dann gegeben, wenn die Maschine tatsächlich „denkt“, das Denken also nicht nur simuliert. In diesem Papier soll jedoch kein Beitrag zu der philosophischen Diskussion über die Unterscheidung zwischen „schwacher“ und „starker“ KI geliefert werden. Diese Unterscheidung ist für technisch-wissenschaftliche Betrachtungen derzeit irrelevant.

5 Gabler Wirtschaftslexikon.

6 VDI-Statusreport Künstliche Intelligenz, Oktober 2018.

7 Stuart Russell, Peter Norvig: Künstliche Intelligenz: Ein moderner Ansatz. München, 2012. Online-Ressource: http://aima.cs.berkeley.edu/.

8 Glossar der Plattform Lernende Systeme; https://www.plattform-lernende-systeme.de/glossar.html.

9 IEC White Paper: Artificial intelligence across industries; 2018.

# KI aus Sicht der Industrie 4.0

Aus Sicht der Industrie sind Technologien der KI als Methoden und Verfahren zu verstehen, die es technischen Systemen ermöglichen, ihre Umwelt wahrzunehmen, das Wahrgenommene zu verarbeiten, selbständig Probleme zu lösen, neue Lösungswege zu finden, Entscheidungen zu treffen, insbesondere aus Erfahrungen zu lernen, dadurch besser Aufgaben zu lösen und zu handeln.

KI wird dabei in ihrer Funktion als technologische Form der Entscheidungsfähigkeit des Menschen verstanden. Jedoch soll durch KI nicht das menschliche Verhalten kopiert werden, sondern es soll durch den Einsatz von KI-Technologien die Effizienz und Effektivität industrieller Prozesse gesteigert werden. Die primären Ziele der Anwendung von KI sind Kostenreduktion, Zeitersparnis, Qualitätsverbesserung und Erhöhung der Robustheit industrieller Prozesse. Gleichzeitig erlaubt es Künstliche Intelligenz aber auch, Produktionsabläufe und angrenzende Prozesse von Grund auf neu zu gestalten, die eigenen Produkte und Dienstleistungen durch oder mit KI anzureichern und neuartige Geschäftsmodelle zu implementieren. Diese Ziele sind umso besser zu erreichen, je besser industrielle Abläufe mit Adaptions- und Problemlösungsfähigkeit versehen sind. Der Grad des autonomen Handelns in industriellen Prozessen hängt folglich von der Selbständigkeit ab, mit der das System im Rahmen gesetzter Systemgrenzen komplexe Situationen automatisiert bewältigen kann. In der Regel ist für die Bewältigung komplexer und komplizierter Prozessherausforderungen Erfahrungswissen und intelligentes Vorgehen erforderlich. Daher erscheint KI neben einfachen Wenn-dann-Routinen und klassischer Automatisierungs- und Regelungstechnik sehr gut geeignet, komplexe Situationen in industriellen Prozessen zu meistern.

In einer vom BMWi beauftragten Studie im Rahmen des PAiCE-Technologieprogramms äußerten produzierende Unternehmen, dass etwa ein Drittel der Wertschöpfung mit KI-Anwendungen verbunden sein wird, beispielsweise über die Erreichung eines höheren Autonomiegrads in Einkauf, Produktion, Engineering, Vertrieb oder (After Sales-)Services.[10] Trotz dieser Erwartung ist der tatsächliche Nutzungsgrad von KI in Industrieunternehmen noch recht gering. Ursächlich sind die erheblichen Veränderungen und damit verbundenen Aufwände, die die Einbettung von KI-Anwendungen in der Unternehmensstruktur und in allen Wertschöpfungsstufen erfordern. Falls doch, finden sich KI-Anwendungen in Großunternehmen derzeit eher im Bereich Robotik oder Ressourcenmanagement, während in KMU KI für Wissensmanagement und Qualitätskontrolle oder Supply Chain Optimization im Einkauf eingesetzt wird. Diese Anwendungen basieren auf Computer Vision, Natural Language Processing sowie Action Planning and Optimization. Der eigentliche Wert der mittels KI-Technologien realisierbaren KI-Anwendungen liegt in der Erreichung eines Systemzustands mit höherem Autonomiegrad und der damit verbundenen Wertschöpfung.

Doch kann die ganze Bandbreite der möglichen Auswirkungen bei der KI-Nutzung gegenwärtig noch nicht im Detail abgeschätzt werden. Neben möglichen Effizienzgewinnen in Steuerung und Optimierung von Anlagen hat KI den größten Einfluss auf die Organisation von Beschäftigung in Unternehmen. Dem tendenziellen Ersatz von sich wiederholenden oder stark prozessgebundenen Aufgaben durch KI steht die Schaffung neuer Tätigkeitsarten und -felder gegenüber. Auch entstehen neue Kooperationsformen von Menschen untereinander und in Interaktion mit Maschinen. Es kann sich somit die Struktur der Gesamtbeschäftigung langfristig ändern, wenn z. B. einfache Routinearbeiten durch KI erledigt werden und die KI dabei besser, zuverlässiger und kostengünstiger ist als eine menschliche Arbeitskraft. KI könnte aber auch in vielen Bereichen, wo derzeit der Mensch mit dauerhaft hohem Arbeitsaufkommen oder mit einem hohen Komplexitätsgrad in der jeweiligen Anwendung an seine Grenzen stößt, Freiräume schaffen.

10 Potenziale der künstlichen Intelligenz im produzierenden Gewerbe in Deutschland, Studie des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Durchgeführt von der PAiCE-Begleitforschung der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, 2018.

# Technologische Entwicklung der KI

Die ersten Ansätze zur Entwicklung einer KI gab es in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts und begannen mit der Phase der handcodierten KI mit dem Ziel, Wissen zu akkumulieren. Dabei ging es um den Aufbau von Expertensystemen auf Basis logikorientierter oder funktionaler Programmiersprachen wie PROLOG und LISP. Diese wissensbasierten Ansätze fanden Fortsetzung in großen Ontologieprojekten, die bis in die 2010er-Jahre, besonders für spezifische Anwendungsgebiete, stark gefördert wurden. Durch die Verfügbarkeit großer Datenmengen, großer Rechenkapazitäten und moderner Algorithmen hat das maschinelle Lernen in den letzten zehn Jahren neue Standards gesetzt, die diese wissensbasierten Ansätze in den Hintergrund gedrängt haben. Gegenwärtig zeichnet sich ab, dass Kombinationen von datenbasierten und wissensbasierten Ansätzen die Zukunft gehört. Massendaten, die für das rein statistische Lernen erforderlich sind, sind in manchen Gebieten entweder nicht vorhanden oder verdecken den Blick auf interessante Randfälle, die in der Praxis für unvorhergesehenes Verhalten sorgen. Darüber hinaus sind wissensbasierte Ansätze für die Spezifikation und die Verifikation und Validierung von Machine-Learning-Anwendung vonnöten.

Die derzeit eingesetzten KI-Technologien werden in rationale oder verhaltensorientierte Ansätze eingeteilt.[11] Wo Menschen mit Maschinen kommunizieren, werden in der Regel verhaltensorientierte KI-Technologien angewendet, wie z. B. das Natural Language Processing für die maschinelle Übersetzung. Sind jedoch bei industriellen Prozessen Kosten zu optimieren, Objekte oder Umgebungsverhalten zu erkennen, oder komplexere Prozesse zu planen, so werden hierfür eher rationale KI-Technologien entwickelt. Dazu gehören Computer Vision sowie Aktionsplanung und Optimierung.

Das derzeitige Arbeitspferd der KI-Anwendungen und einer der Schwerpunkte der globalen KI-Forschung ist Machine Learning (ML). Es geht dabei um das statistische Lernen der Parametrisierung von Algorithmen für sehr komplexe Anwendungsfälle. Mittels Machine Learning erkennt das System anhand von zuvor eingegebenen Lerndaten Muster und Gesetzmäßigkeiten bei den erfassten Prozessdaten. Mithilfe geeigneter Algorithmen können durch ML eigenständig Lösungen zu aufkommenden Problemstellungen gefunden werden.

ML gliedert sich in drei Felder – überwachtes Lernen, unüberwachtes Lernen und bestärkendes Lernen (Reinforcement Learning), mit den spezifischeren (Teil-)Anwendungen Regression und Klassifikation, Strukturerkennung und -vorhersage, Datengenerierung (Sampling) sowie autonomes Handeln.

Beim **überwachten Lernen** wird das System durch den Zusammenhang von Eingabe und zugehöriger Ausgabe bekannter Daten trainiert. Dabei kommt es auf die Verfügbarkeit richtiger Daten an, denn wenn das System mit schlechten Beispielen trainiert wird, so lernt es fehlerhafte Zusammenhänge. Beim **unüberwachten Lernen** wird das System ebenfalls mit Beispieldaten trainiert, jedoch nur mit Eingabedaten und ohne Zusammenhang zu einer bekannten Ausgabe. Es lernt, wie Datengruppen zu bilden und zu erweitern sind, was typisch ist und wo Abweichungen auftreten. Dadurch lassen sich Anwendungsfälle beschreiben und Fehlerzustände entdecken. Beim **bestärkenden Lernen** lernt das System durch Versuch und Irrtum, indem es zu gegebenen Problemstellungen Lösungen vorschlägt und über eine Feedbackfunktion eine positive oder negative Bewertung zu diesem Vorschlag erhält. Je nach Belohnungsmechanismus erlernt das KI-System, entsprechende Funktionen auszuführen.[12]

Das Lernen hierarchischer Strukturen von Merkmalen in aufeinander aufbauenden verborgenen Netzwerkschichten wird als Deep Learning bezeichnet. Die Analyse komplexer Datenmengen ist das bedeutendste Anwendungsfeld des überwachten und unüberwachten Lernens.[13]

In der nächsten Phase wird es darauf ankommen, mittels geeigneter KI kontextabhängige Aufgaben zu bewältigen. Ob diese nächste Stufe wirklich erreicht wird und wann das sein kann, ist eine offene Frage. Dazu müssten Maschinen über Weltwissen, also eine Art „Weltmodell“ oder selbstaus-

11 Potenziale der künstlichen Intelligenz im produzierenden Gewerbe in Deutschland, Studie des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Durchgeführt von der PAiCE-Begleitforschung der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, 2018.

12 VDMA-Studie „Machine Learning im Maschinen- und Anlagenbau“.

13 https://www.mckinsey.de/news/presse/kunstliche-intelligenz-potenzial-von-neuronalen-netzen-gigantisch.

prägende „artificial morality“, verfügen, von dem aber derzeit unklar ist, wie dies entstehen oder geschaffen werden könnte. Auch werden KI-Anwendungen häufig als „Black Boxes“ wahrgenommen, sozusagen als eine Maschinerie, deren Funktionsweise sich im Nachhinein vom Menschen nicht mehr vollständig entschlüsseln lässt. Damit wird die Frage aufgeworfen, wie Künstliche Intelligenzen kontrolliert und nachvollziehbar angewendet werden können.

Anders ausgedrückt und in technischer Sprache stellt sich die Frage, wie solche Systeme im Voraus spezifiziert und im Nachhinein verifiziert und validiert werden können. Dies ist gerade im Zusammenhang mit industriellen Prozessen und deren Nachvollziehbarkeit wichtig, so z. B. bei Applikationen der funktionalen Sicherheit, Qualifizierungs- und Abnahmeprozessen sowie bei der Standardisierung.

# Warum ist KI interessant?

Für den Nichtexperten erscheint KI intransparent oder gar mystisch, denn ihr werden Fähigkeiten zugesprochen, die mit denen des Menschen in Konkurrenz treten. Meist ist ihre Funktionsweise nicht offensichtlich und der Vergleich mit menschlicher Intelligenz löst mitunter Irritationen aus. Dabei sind wir in der Regel beeindruckt von dem Vermögen der KI, große Mengen an Handlungsalternativen in unfassbarer Schnelligkeit zu verarbeiten, wie etwa beim Spiel „Go“. Doch alle bis heute bekannten praktischen Anwendungen der KI sind hochspezialisiert und deshalb nicht verallgemeinerbar. Jede neue Aufgabe benötigt vor der eigentlichen Anwendung ein umfassendes Training, das in der Nutzungsphase andauern kann und dadurch das eingesetzte KI-System fortwährend optimiert. Meist sind dies Anwendungen, die aufgrund der anfallenden Datenmenge von Menschen nicht oder nicht schnell genug zu erledigen sind, jedoch immer im Rahmen vorgegebener Regeln und Systemgrenzen verlaufen. Man spricht daher auch von einer Inselbegabung der KI. Die Go-spielende KI kann keine Autos lenken und die bilderkennende KI versteht keine gesprochenen Sätze. Das direkte Abbilden menschlichen Denkens in Computern ist daher kein aktuelles Thema.

Die hohe Geschwindigkeit, mit denen aktuelle KI-Systeme Daten aufbereiten und Lösungen anbieten, geht über die menschlichen Fähigkeiten weit hinaus. Zwar ist der Mensch universeller intelligent als Maschinen, ist aber, durch die Zeit, die ihm zur Verfügung steht, und die Möglichkeiten, Daten durch seine Sinnesorgane aufzunehmen, limitiert. Beispielsweise kann ein Mensch gut Muster oder Fehler erkennen, ist aber bei großen Datenmengen wie z. B. bei umfangreichen und sich schnell ändernden Prozesssignalen überfordert. Dies gilt auch für kontinuierliche Aufgaben, wie z. B. Oberflächenprüfungen, bei denen der menschliche Beobachter schnell ermüdet.

In industriellen Prozessen, in den dort zu gestaltenden Automatisierungsaufgaben und in der Interaktion von Menschen bzw. zwischen zunehmend agiler arbeitenden Teams kann KI unterstützen, Effizienz zu erzeugen. Hierfür sind zudem eine entsprechend umfassende und effiziente Sensorik zur Verfügbarmachung relevanter Daten, eine Beschreibung und Interpretierbarkeit der Daten zur Erfassung der Informationen sowie eine flexible Kommunikationsinfrastruktur zur Übermittlung der Daten zu den entsprechenden Edge- und Backbone-Systemen notwendig. Dies dient der Effizienz in den Prozessen und bedient sich der Fähigkeit der Transparenz für alle Beteiligten.

Mit KI wird auf dieser Fähigkeit aufgebaut und die zur Verfügung stehenden Daten werden für Fragen der Problemlösung, Aufdecken von Unvorhergesehenem oder Reduktion von für den Menschen als solchen und für seine aktuelle Qualifikation zu komplexen Zusammenhängen genutzt. Diese Fragen können sich durch die Aufgabenstellungen ergeben oder durch die Herausforderungen zur Bewältigung von Projekten, die vielfach vor den Problemen stehen, Komplexität zu meistern und in der Planung Kosten, Termine und Ressourcen zu ermitteln und einzuhalten.

# Die Fähigkeiten der KI eröffnen neue Möglichkeiten

KI-Technologien wird viel Potenzial zugesprochen, die industrielle Produktion qualitativ zu verbessern, Kosten zu reduzieren, bei gleichzeitiger Verkürzung der Produktionszeit und Erhöhung der Robustheit der Abläufe. Anwender versprechen sich zudem Nachhaltigkeitspotenziale durch Einsparung von Ressourcen, Optimierung des Energieeinsatzes und die verbesserte Koordination von Logistikabläufen. Gleichzeitig erlaubt es Künstliche Intelligenz aber auch, Ideen, Produktentstehungs-, Engineerings-, Produktionsabläufe und angrenzende Prozesse von Grund auf neu zu gestalten, die eigenen Produkte und Dienstleistungen durch oder mit KI anzureichern und neuartige Geschäftsmodelle zu implementieren. KI hat somit Implikationen für alle Bereiche der Industrie und somit auch für die Industrie 4.0.

Die Effizienz und Nutzung von KI ist dabei abhängig von spezifischeren Faktoren. Zum einen sind die Qualität der Informationen sowie ihre Verfügbarkeit und Interpretierbarkeit in der Lernphase entscheidend. Zum anderen spielt die Qualifikation der Menschen, die KI-Verfahren entwickeln, diese auf Applikationen transferieren und erkannte Auffälligkeiten oder Abhängigkeiten bewerten bzw. mit Bewertungsschemata belegen und kombinieren können, eine wichtige Rolle.

Schon heute weisen große Teile der industriellen Produktion eine umfangreiche einfache Automatisierung in bestimm-

ten Aufgaben und Bereichen auf, z. B. wenn Abläufe statisch programmierbar und in der Ausführung stets gleichförmig sind. Zukünftig werden weiter steigende Anforderungen an Produktvielfalt, Prozessflexibilisierung oder Kosten zunehmend Forderungen nach flexiblerer und selbständigerer Automatisierung stellen. Das Fachforum Autonome Systeme (Beratungsgremium im HighTech-Forum) hat daher die Bedeutung autonomer Systeme für Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft in seinem Abschlussbericht detailliert dargestellt.[14] Basis für deren Umsetzung sind Sensorik, Robotik und Maschinelles Lernen. Insbesondere müssen autonome Systeme beim Einsatz in der industriellen Produktion die Fähigkeit besitzen, sich bei der Mensch-Maschine-Interaktion dem Verhalten des mit ihnen kooperierenden Menschen anzupassen. Mehrere autonome (Teil-) Systeme können zusammen ein autonomes Gesamtsystem höherer Ordnung bilden.

In der Fachliteratur werden „Autonome Systeme“ als Systeme beschrieben, die – ohne manuellen Eingriff – in der Lage sind, ihr Verhalten während des Betriebs an unvorhergesehene Ereignisse anzupassen.[115] Aus Industriesicht soll der Einsatz von KI-Technologien die Notwendigkeit menschlicher Eingriffe in industrielle Abläufe und bei der Nutzung von intelligenten technischen Systemen verringern und damit den Grad an Selbständigkeit innerhalb definierter Systemgrenzen erhöhen – bzw. bei immer komplexer werdenden technischen Systemen die menschliche Entscheidungsfähigkeit erst ermöglichen.

Intelligente technische Systeme zeichnen sich durch ihre Fähigkeiten aus, sich zu vernetzen, agil zu orchestrieren, sich über den Lebenszyklus stetig zu verändern und robust gegen äußere Einflüsse zu sein. Sie nutzen und erzeugen während ihres Einsatzes, auch in globalen Wertschöpfungsketten und angereichert über kundenorientierte Dienste und Fähigkeiten, vielfältige Informationen und nehmen stetig an Komplexität zu.

Mittels KI kann ein System befähigt werden, in klar vorgegebenen Systemgrenzen Aufgaben selbständig und ohne menschliche Hilfe zu erfüllen. KI-Technologien zeigen ihre Vorteile vor allem dann, wenn unvorhergesehene Aufgaben erfüllt werden sollen, die eine hohe Adaptions- und Problemlösungsfähigkeit erfordern. Dies ist nicht der Fall bei einer Automatisierung im Sinne einer Programmierung mittels Wenn-dann-Regeln zur Handlungsausführung, welche zwar autonomes Handeln ermöglichen kann, aber durch das Fehlen einer Entscheidungsfindung in komplexen intelligenten technischen Systemen insofern limitiert ist, da nur auf vorhergesehene Ereignisse reagiert werden kann. Dies gilt in vielen Fällen ebenso für die Programmierung mittels klassischer Automatisierungs- und Regelungstechnik.

Autonome Systeme findet man in allen Stellen der Wertschöpfung und deren Vorbereitung, beginnend bei der Anforderungsanalyse über Engineering, Einkauf, Supply Chain Management, virtuelle Inbetriebnahme, Produktion, Vermarktung und Nutzung von Produkten und Produktionssystemen bis hin zur Wiederverwertung. Dies betrifft ebenso die Mensch-Maschine- und Maschine-Maschine-Interaktion wie auch Logistik oder Prozessketten. Mit Blick auf die industrielle Produktion bieten autonome Systeme klare Wertversprechen: Autonomes Handeln in der industriellen Produktion ist wesentlicher Treiber für die Steigerung von Effektivität und Effizienz in industriellen Prozessen und Applikationen. In Bezug auf das produzierende Gewerbe liegen die Wertversprechen für Endkunden nicht in der KI selbst, sondern in den durch KI veränderten Produktionssituationen über den kompletten Lebenszyklus der Anlagen.

14 Fachforum Autonome Systeme: Chancen für Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft, Abschlussbericht 2017.

15 D. P. Watson, D. H. Scheidt: „Autonomous Systems“. Johns Hopkins APL Technical Digest, Vol. 26, No. 4, 2005.

# KI-beeinflusste Autonomie-Stufen in der industriellen Produktion

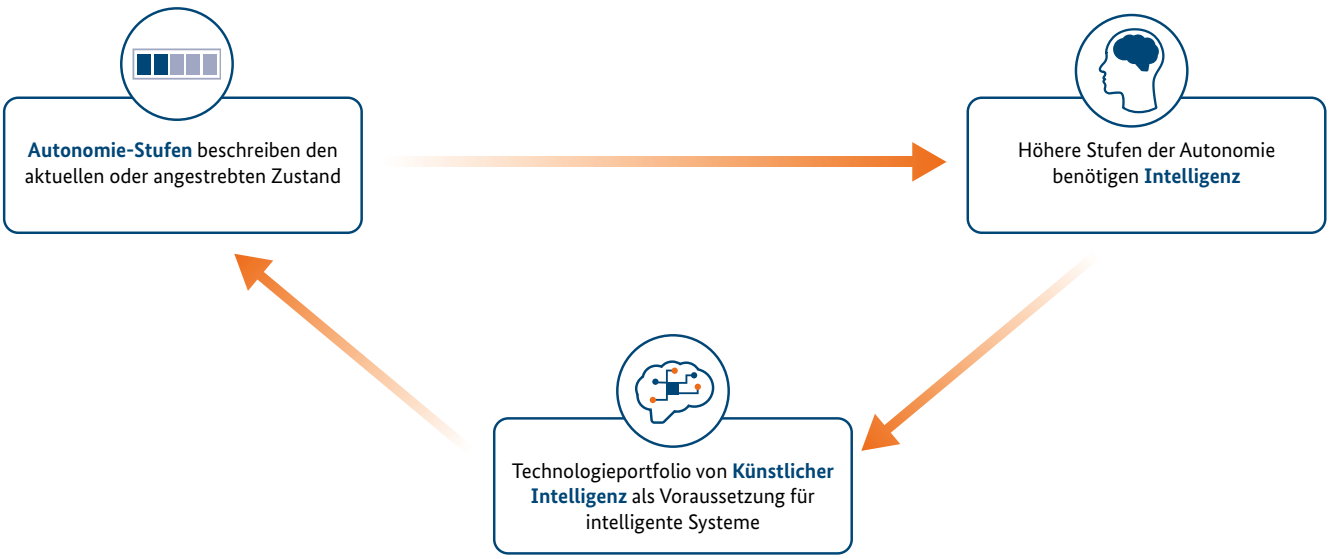
Die nachfolgende Beschreibung von Autonomie-Stufen in der industriellen Produktion steht in engem Zusammenhang mit dem Thema Automatisierung. Schon heute sind große Teile der industriellen Produktion mit Automatisierungssystemen ausgestattet. Der Wirkungsbereich erstreckt sich dabei von kleinen Teilbereichen bis hin zu kompletten Anlagen. Um diesen Übergang von der klassischen Programmierung zu autonomen Systemen zu beschreiben, ist es wichtig, eine entsprechende Taxonomie festzulegen. So können Anbieter von Automatisierungstechnik und deren Kunden definieren, wo sie stehen und wohin sie kurz-, mittel- und langfristig möchten. Die Taxonomie basiert hauptsächlich auf zwei Dimensionen: dem Umfang der automatisierten Aufgaben (Anzahl, Komplexität, Dauer etc.) und der Rolle des Menschen in diesem Gefüge. Die im Folgenden auf Basis dieser beiden Dimensionen abgeleitete Einteilung industrieller Vorgänge hinsichtlich ihres autonomen Charakters ist zwar noch sehr grob, lässt sich in weiteren Schritten aber für unterschiedliche industrielle Domänen verfeinern und konkretisieren.

Die Stärke der Anwendung von Technologien der Künstlichen Intelligenz zeigt sich in der Intensität der Autonomie industrieller Prozesse, welche mit Adaptions- und Problemlösungsfähigkeit verbunden ist. Autonomes Handeln mittels KI-Technologien ist wesentlicher Treiber für die Steigerung von Effektivität und Effizienz in industriellen Prozessen und Applikationen. Der Grad des autonomen Handelns hängt folglich von der Selbständigkeit ab, mit der das System komplexe Situationen automatisiert und selbstlernend bewältigen kann.

KI ermöglicht eine Adaptions- und Problemlösungsfähigkeit eines Systems innerhalb definierter Systemgrenzen, welche durch Trainings- und Lernprozesse eingebracht wird. Die Anwendung von KI-Technologien zeigt sich dann in der Intensität der Autonomie der Abläufe von industriellen Prozessen. Eine Autonomie-Stufe korreliert mit dem Grad des autonomen Handelns (in Maschinen oder Prozessen), welcher sich in unterschiedlichen Anwendungsszenarien mehr oder weniger stark ausgeprägt zeigt. Der Umfang des autonomen Handelns hängt von der Komplexität der zu bewältigenden Situationen sowie der Rolle des Menschen in dieser Situation ab. Die nachfolgende Abbildung zeigt vereinfacht den Zusammenhang zwischen Autonomie und KI. Autonomie-Stufen können den generellen Zustand eines Systems beschreiben, oder auch verwendet werden, um den angestrebten Zustand eines Systems in Zukunft zu formulieren. Um eine gewisse Autonomie-Stufe zu erreichen, benötigt man Intelligenz, um das System weiterzuentwickeln. Intelligenz basiert auf Erfahrungswissen und daher ist KI sehr gut geeignet, diese Fähigkeiten bereitzustellen. Somit stellt KI ein technologisches Mittel dar, um eine gewisse Autonomie-Stufe zu erreichen.

Industrielle Produktion kann eine hohe Komplexität besitzen. Die vollständige Betrachtung kann bis zur Beschreibung des kompletten Lebenszyklus einer Anlage gehen. Neben

**Abbildung 1: Genereller Zusammenhang von Autonomie und KI**



dem dominanten Anwendungsfall des Betriebs der Anlage – also der Prozessführung – gibt es daher noch die Bereiche Planung, Engineering, Inbetriebnahme, Betrieb, Wartung, und Außerbetriebnahme. Diese Bereiche sind oft stark miteinander verzahnt und beeinflussen sich gegenseitig. Die Beschreibung anhand eines abgestuften Modells des autonomen Handelns ist daher essentiell, da nicht jedes industrielle System den gleichen Grad an Autonomie erreichen kann – oder muss. Zudem können auch Teilbereiche der industriellen Produktion, wie z. B. Prozessführung, Prozessplanung oder Feldüberwachung und Instandhaltung, unterschieden werden. Auch hier können unterschiedliche Teilbereiche verschiedene Grade an Autonomie erreichen, z. B. kann der Betrieb der Leitwarte bereits einen hohen Grad an Autonomie aufweisen, wohingegen die Feldüberwachung nur begrenzt autonom abläuft. Andererseits besitzt der Mensch Fähigkeiten, die nicht einfach durch autonome Prozesse umgesetzt werden können oder die aus technischen, inhaltlichen oder ökonomischen Gründen nicht abbildbar sind.

Autonome Systeme berücksichtigen den Aspekt der Entscheidungsfindung als auch den der Handlungsausführung. Das Gremium Artificial Intelligence der Bitkom hat hinsichtlich der Entscheidungsfähigkeit eine Taxonomie des Denkens entwickelt und darauf aufbauend ein Stufenmodell der Automation des Entscheidens beschrieben, welches – angelehnt an die Einteilung beim autonomen Fahren – 6 Stufen vorsieht.[16] Dieses Stufenmodell beschreibt die Interaktion von Menschen mit Werkzeugen, die assistieren oder auch autark agieren. Die Projektgruppe Künstliche Intelligenz der Plattform Industrie 4.0 greift diese Stufenbeschreibung auf und stellt nachfolgend eine Taxonomie der KI-bedingten Systemautonomie vor, bildet diese auf Industrieprozesse ab und leitet daraus detaillierte Erkenntnisse und Handlungsnotwendigkeiten für unterschiedliche Anwendungen ab.

Grundlegend für die Beschreibung der Autonomie-Stufen ist die Rolle des Menschen im Wertschöpfungsprozess in Bezug auf den Umfang der automatisierten Aufgaben. So beschreibt eine Autonomie-Stufe 0 den Betrieb einer industriellen Produktion ohne KI-basierte Automatisierung, bei der der Mensch die volle Kontrolle und Verantwortung hat (wobei sogar eine umfangreiche einfache Automatisierung vorhanden sein kann), während Stufe 5 einen vollständig autonomen Betrieb der Produktion unter KI-Führung beschreibt, bei dem die gesamte Entscheidungsfindung und Ausführung vom KI-System übernommen wird. Die Stufen 1–4 beschreiben dementsprechend die Abstufungen dazwischen. Die Diskussion dieser Abstufung erfolgt aber immer in definierten Systemgrenzen und mit bekannten KI-Technologien. Die Ausführung mittels starker KI-Technologien und bei unbekannten Systemgrenzen wird nicht berücksichtigt. Ob solche Systeme jemals in die industrielle Produktion Eingang finden, kann aus heutiger Sicht nicht abgeschätzt werden.

Nachfolgende Abbildung fasst die übergeordnete Beschreibung der Autonomie-Stufen für die industrielle Produktion zusammen. Darunter verstehen wir die Automatisierung von Prozessen in gegebenen Systemgrenzen. Durch zunehmende Automatisierung werden die unterschiedlichen Stufen erreicht. Beispiele für Automatisierung sind automatische Übersetzung, die automatisierte auftragsgesteuerte Produktion (Fahrradlenker[17]), Chatbots (Automatisierung von Serviceprozessen), Engineeringunterstützung, RPA (Robotic Process Automation) wie auch die automatisch gesteuerte klassische Prozesslinie, für die jedoch keine KI erforderlich ist. Die nachfolgenden Darstellungen zu den Autonomie-Stufen beziehen sich rein auf den Einfluss von KI als weitere Technologie zur Automatisierung. Der KI-bedingte Gesamtautonomiegrad eines industriellen Vorgangs kann von nicht-autonom (Stufe 0: keine KI bei der Programmierung beteiligt) über teil-autonom (Stufen 1-4: KI-Programmierung wurde eingesetzt; menschliche Einwirkung in den Prozess ist noch erforderlich) bis voll-autonom (Stufe 5: KI-Programmierung ersetzt jedweden menschlichen Eingriff) variieren.

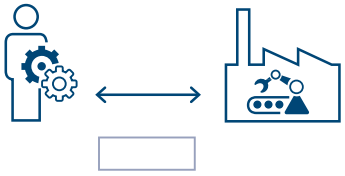
Diese Beschreibung der Autonomie-Stufen weist eine kontinuierliche Veränderung der Verantwortung des Anlagenbetriebs vom Menschen hin zum autonomen System aus. In den Stufen 0 bis 2 besteht eine gewisse Fähigkeit zu autonomen (Teil-)Handlungen. Diese sind jedoch in ihrem Umfang begrenzt, und der Mensch hat jederzeit die aktive Kontrolle und trägt noch die zentrale Verantwortung. In den Stufen 4 und 5 übernimmt das System die Verantwortung – zunächst für Teilbereiche und Teilaspekte, dann für die komplette Anlage, und der Mensch spielt größtenteils eine passive Rolle. Stufe 3 beschreibt eine Übergangssituation, in der der Mensch gewisse Entscheidungen des Systems

16 Bitkom Leitfaden „Künstliche Intelligenz verstehen als Automation des Entscheidens“, 2017.

17 Plattform Industrie 4.0: Anwendungsszenario trifft Praxis; Auftragsgesteuerte Produktion eines individuellen Fahrradlenkers, https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/anwendungsszenari0-trifft-praxis.html.

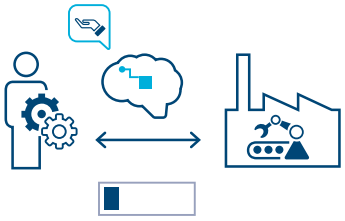
**Abbildung 2: Übergeordnete Definition der KI-beeinflussten Autonomie-Stufen in der industriellen Produktion**

**Stufe 0**



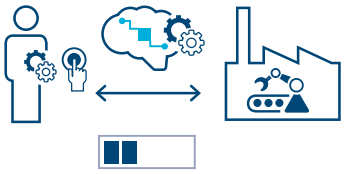
**Keine Autonomie,**
Mensch hat volle Kontrolle ohne Assistenz.

**Stufe 1**



**Assistenz bei ausgewählten Funktionen,**
Mensch ist stets verantwortlich und trifft alle Entscheidungen.

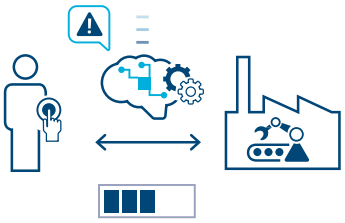
**Stufe 2**



**Zeitweise Autonomie** in klar definierten Bereichen, Mensch ist stets verantwortlich und gibt (Teil-) Ziele vor.

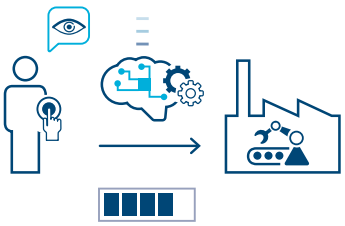
**Umgebungsüberwachung durch das System**

**Stufe 3**



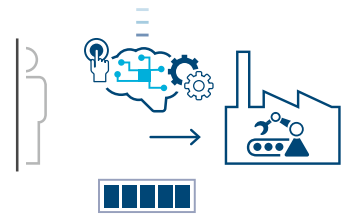
**Abgegrenzte Autonomie** in größeren Teilbereichen, System warnt bei Problemen, Mensch bestätigt Lösungsvorschläge des Systems bzw. fungiert als Rückfallebene.

**Stufe 4**



**Das System arbeitet autonom und adaptiv** in bestimmten Systemgrenzen, Mensch kann überwachen oder in Notfallsituationen agieren.

**Stufe 5**



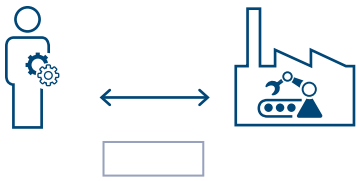
**Autonomer Betrieb in allen Bereichen,**
auch in Kooperation und in sich ändernden Systemgrenzen, Mensch kann abwesend sein.

noch bestätigt. Die Stufen 3 bis 5 setzen hohe Ansprüche an die Zuverlässigkeit des Systems voraus. Daher gibt es beim Übergang von Stufe 2 zu Stufe 3 eine wichtige Randbedingung: Das System muss seine Wirkumgebung überwachen, um z. B. auf unvorhergesehene Einflüsse reagieren zu können.

Zur Verdeutlichung der Stufeneinteilung soll das Beispiel „Roboter für das Teilehandling“ dienen. Der Roboter nimmt Teile auf und legt diese woanders wieder ab, beispielsweise auf einem Fließband.

## Stufe 0

In Stufe 0 erfolgt die Steuerung von Industrieprozessen rein durch programmierte Wenn-dann-Routinen bzw. klassische Automatisierungs- und Steuerungstechnik. Dies erfolgt meist über eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS). Algorithmen der KI sind hierbei nicht involviert. Der Mensch gibt eindeutig die Regeln vor und hat stets die volle Kontrolle über den Gesamtprozess. Eine umfangreiche programmierte Regelerstellung kann trotzdem vorhanden sein, wie z. B. Maschinensteuerung oder sicherheitsrelevante Funktionen, die den sicheren Betrieb der Anlage garantieren. Doch die Verantwortung für die Aufrechterhaltung des Betriebs und für Reaktionen auf unvorhergesehene Anforderungen durch das Einbringen von Intelligenz liegt allein beim Menschen, z. B. durch die Erstellung der Regel oder die Kontrolle des Ablaufes.



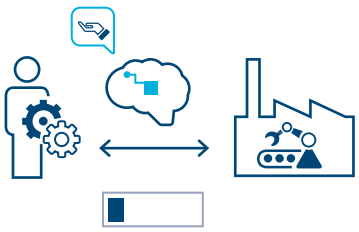
**Autonomie-Stufe 0**
Keine Autonomie,
Mensch hat volle Kontrolle ohne Assistenz.

**Beispiel: Roboter für das Teilehandling**
Ein Roboter nimmt Teile von vorher festgelegten Positionen auf und legt diese an exakt definierten Positionen wieder ab. Der Roboter wird in der Autonomie-Stufe 0 durch den Mensch klassisch ausprogrammiert oder projektiert (Teach-In). Die menschliche Intelligenz erzeugt die Regelerstellung und Qualifizierung. Der Roboter arbeitet in festen Grenzen (Systemgrenzen).

## Stufe 1

Das KI-System leistet Unterstützungsfunktionen und dient somit als Assistenzsystem. Die Verfahren der KI ermöglichen dabei die Interpretation komplexer und mehrdeutiger Informationen, beispielsweise von menschlicher Sprache oder aus Bildern. KI-unterstützte Schnittstellen können dem Bediener Hilfestellung zukommen lassen, ihn vor Bedienfehlern schützen und anhand der erkannten Nutzungswünsche ihm Optimierungen und Vorhersagen bereitstellen. Assistenten können sinnvolle Eingabewerte vorschlagen und auch die Konsequenzen der Eingaben vorhersagen. KI-basierte Assistenzsysteme können auch dazu beitragen, dass die Zusammenarbeit innerhalb und zwischen Teams optimiert wird. Die KI erlaubt eine Situationserkennung unter Berücksichtigung der verschiedenen Ziele der darin involvierten Individuen und kann sowohl koordinierend als auch vermittelnd eingreifen. Weiterhin wird es einfacher, vorliegende Informationen aufzubereiten und innerhalb der Gruppe zu teilen.

Ziel der Assistenzsysteme ist die Reduktion von Komplexität sowie das Anleiten des Menschen in schwierigen Situationen. Bezogen auf den Gesamtprozess trifft der Mensch in Stufe 1 weiterhin alle Entscheidungen und trägt die volle Verantwortung für alle Abläufe.

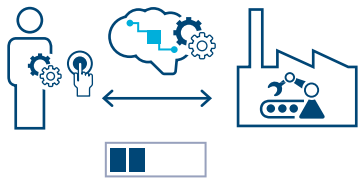


**Autonomie-Stufe 1**
Assistenz bei ausgewählten Funktionen,
Mensch ist stets verantwortlich und trifft alle Entscheidungen.

**Beispiel: Roboter für das Teilehandling**
Der Roboter wird in der Autonomie-Stufe 1 wie in Stufe 0 durch den Mensch klassisch ausprogrammiert oder projektiert und arbeitet in den gleichen festen Grenzen. Die menschliche Intelligenz erzeugt wie in Stufe 0 die Regelerstellung und Qualifizierung. Im Unterschied zu Stufe 0 schlägt das mittels KI programmierte Assistenzsystem des Roboters dem Menschen zielgerichtete Verbesserungen im Ablauf vor, wie z. B. energetische oder zeitliche Optimierungen des Prozesses. Der Mensch entscheidet dann, inwieweit er die angebotenen Verbesserungen nutzt.

## Stufe 2

Die Grundidee in Stufe 2 ist es, einfache Aufgaben zu automatisieren oder an Automatisierungssysteme zu delegieren. Komplexere Aufgaben verbleiben in der Hand des Bedieners. Das System übernimmt in definierten Bereichen und im gewünschten Umfang für eine begrenzte Zeit die Kontrolle, unter Überwachung und Ergebniskontrolle des Menschen. Der Bediener unterstützt das System mit Erfahrungswissen, gibt Zielstellungen vor und beschreibt unter Umständen die Absichten seines Tuns. Die Verantwortung für den Gesamtprozess liegt weiterhin voll beim Menschen.

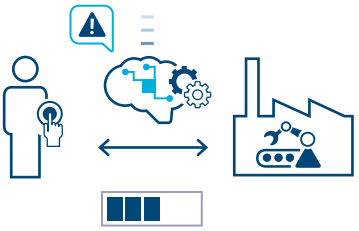


**Autonomie-Stufe 2**
Zeitweise Autonomie in klar definierten Bereichen, Mensch ist stets verantwortlich und gibt (Teil-) Ziele vor.

**Beispiel: Roboter für das Teilehandling**
Der Roboter wird in der Autonomie-Stufe 2 durch den Menschen überwiegend klassisch ausprogrammiert oder projektiert. Im Unterschied zu Stufe 1 erlaubt die KI-Programmierung dem System, sich innerhalb der vorgegebenen Systemgrenzen und Ziele selbst zu verbessern. Beispielsweise können nicht exakt positionierte Teile erkannt und aufgenommen werden oder er kann die Taktrate seiner Handlung selbständig anpassen. Der Mensch ist in allen Bereichen in der Entscheidungsgewalt und kann bei Bedarf eingreifen.

## Stufe 3

Der Bediener definiert in Stufe 3 die Systemgrenzen, in denen das KI-gesteuerte System den automatisierten Betrieb führen darf. Dabei überwacht das System seine Umgebung in den gesetzten Systemgrenzen selbständig. Durch Überwachung des Fertigungsprozesses in Echtzeit können bspw. Fehler und Engpässe erkannt werden. Wenn die KI ein Muster aus der Lernphase erkannt hat, kann es eine zugehörige gelernte Aktion begrenzt autonom ausführen. Zum Beispiel wird selbständig das Not-Aus betätigt oder die Anlage in einen abgesicherten Modus gefahren, wenn eine akute Überlastung in den Sensordaten erkannt wird. Durch diese Teilautonomie wird nicht nur der Produktionsablauf optimiert, sondern auch die Down-Time reduziert, da Probleme und Fehler teilweise im Voraus erkannt werden oder die Personen in Echtzeit informiert werden. Dadurch können Material, Ressourcen und der Werkzeugtausch eingespart werden. Der Mensch bestätigt nur noch gewisse vorgeschlagene Lösungsstrategien oder unterstützt in spezifischen Problemstellungen, d.h. er greift ein, wenn das System ihn alarmiert.



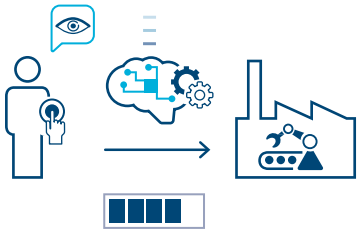
**Autonomie-Stufe 3**
Abgegrenzte Autonomie in größeren Teilbereichen, System warnt bei Problemen, Mensch bestätigt Lösungsvorschläge des Systems bzw. fungiert als Rückfallebene.

**Beispiel: Roboter für das Teilehandling**
Der Roboter wird in der Autonomie-Stufe 3 durch den Menschen nur zum Teil ausprogrammiert und im Wesentlichen projektiert. In Stufe 3 kann der Roboter zusätzlich zur Anpassung seiner Handlungen auch innerhalb von Systemgrenzen selbst planen (z.B. eigenständige Bahnenplanung) und dies auch in Kooperation mit der Umgebung, wie z.B. anderen Roboter-Einheiten, umsetzen. Beispielsweise kann er auch die Geschwindigkeit des Fließbands verändern. Das Roboter-System ist dafür zusätzlich mit Sensoren zur Umwelterfassung ausgestattet, nimmt den Umgebungskontext wahr, kann Bewegungen anpassen und Fähigkeiten erlernen. Der Mensch beobachtet die Systementscheidungen, hilft bei unvorhergesehenen Problemen und kann im Notfall eingreifen.

## Stufe 4

Das System agiert als adaptives, autonomes System in größeren Teilbereichen (z.B. Betrieb der Leitwarte). Dabei arbeitet es autonom und adaptiv in bekannten Systemgrenzen und kann sich über fortgesetzte Lernphasen und gegebene (Teil-)Ziele optimieren, dadurch Probleme besser vorhersehen und lösen. Eine Selbstoptimierung der Fertigungsstrategie anhand vorgegebener Kennzahlen wird im Rahmen der bei der Algorithmenerstellung definierten Systemgrenzen ermöglicht. Der Mensch überlässt dem System die Kontrolle über eine gewünschte Systemsteuerung, hat höchstens eine überwachende Funktion und agiert in Notsituationen, wobei das System bei Nichteingreifen des

Menschen nach eigenen „richtigen“ Vorstellungen verschiedene Situationen selbst regelt.

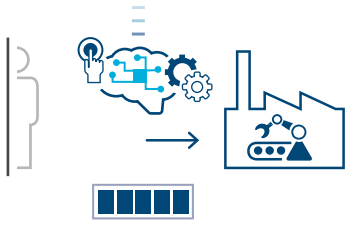


**Autonomie-Stufe 4**
Das System arbeitet autonom und adaptiv in bestimmten Systemgrenzen, Mensch kann überwachen oder in Notfallsituationen agieren.

**Beispiel: Roboter für das Teilehandling**
Im Unterschied zu Stufe 3 arbeitet der Roboter in der Autonomie-Stufe 4 autonom und ist hierfür mit allen dafür erforderlichen Sensoren zur Umwelterfassung ausgestattet. Er nimmt den Umgebungskontext vollständig wahr und agiert in den durch den Menschen vorgegebenen Systemgrenzen autonom. Der Mensch überwacht und kann im Notfall eingreifen.

## Stufe 5

In dieser höchsten Autonomie-Stufe verläuft der Betrieb einer Anlage oder eines umfangreichen Vorgangs in allen Bereichen vollständig autonom. Das System erarbeitet selbstorganisierend adaptive Lösungen, auch in Kooperation und in sich ändernden, aber immer noch abgesteckten Systemgrenzen. Dabei kann der Mensch vollständig abwesend sein, es ist keine Nutzerinteraktion zum Betrieb der Anlage erforderlich.



**Autonomie-Stufe 5**
Autonomer Betrieb in allen Bereichen, auch in Kooperation und in sich ändernden Systemgrenzen, Mensch kann abwesend sein.

**Beispiel: Roboter für das Teilehandling**
Der Roboter arbeitet in den durch den Menschen vorgegebenen Systemgrenzen in der Autonomie-Stufe 5 vollkommen autonom, auch in Kooperation mit anderen autonomen Systemen. Beispielsweise können mithilfe planbasierter Verfahren sowohl der Gesamtprozess als auch die zu erledigenden Teilprozesse geplant und zwischen den involvierten Abläufen oder mit anderen autonomen Systemen ausgetauscht werden. Bei sich ändernden Arbeitsbedingungen wird der Plan dynamisch überarbeitet und an die anderen Maschinen kommuniziert. Der Mensch muss nicht anwesend sein. Im Notfall fährt das System selbständig in einen sicheren Zustand.

**Beispiel: Qualitätssicherung bei der Herstellung von Rotorblättern für Windenergieanlagen**
Am konkreten Beispiel der Qualitätssicherung bei der Herstellung von Rotorblättern für Windenergieanlagen wird zudem deutlich, welche Vorteile die KI-Unterstützung mittels Machine Learning bei der Prüfung von Rotorblättern direkt nach der Fertigung bietet. Um einen möglichen Schadensfall durch Fehler bei der Herstellung zu vermeiden, ist eine aufwendige Qualitätsprüfung notwendig. In den langen Rotorblättern aus Glasfiber dürfen keine Brüche, Verdrehungen, Materialinhomogenitäten oder sonstige Schadstellen vorhanden sein, da diese zu Ermüdungsbrüchen führen. Diese kündigen sich nicht, wie bei Metallen durch Risse, an, sondern durch großflächige Abrisse, und gehen mit der Zerstörung ganzer Rotorblätter einher. Um dies zu vermeiden, wird ein optisches Scanning der Blattoberfläche durchgeführt. Die bisherige menschliche Inspektion nahm viel Zeit in Anspruch und ist infolge von Ermüdung der Inspektoren oft fehleranfällig. Diese rein menschliche Inspektion ist der Stufe 0 zuzuweisen und hat keinen Bezug zu KI.

Um den Durchsatz in der Prüfung und die Qualität in der Ausführung zu erhöhen, wird dieses nun durch ein automatisches optisches Scanning mit KI-unterstützter Auswertung der Bilder erbracht.[18] In obigem Stufenmodell ist diese Qualitätsprüfung ohne weitere KI-Unterstützung immer noch der Stufe 0 zuzuweisen. Durch eine geeignete ML-Trainingsphase kann dieses System optimiert werden und Fehler in ca. 80 Prozent der Fläche komplett ausschließen. Der Rest wird von menschlichen Inspekteuren kontrolliert. Im Ergebnis sind Verbesserungen in Geschwindigkeit, Kosten, Fertigungskapazität und auch bei der Mitarbeiterzufriedenheit festzustellen. Das Inspektionssystem assistiert in Stufe 1 dem menschlichen Bediener, indem es ihm die kompletten Scanergebnisse abbildet und ihn auf Anomalien in den Bildern hinweist. Der menschliche Beobachter markiert die Fehlerstellen für die weitere Bearbeitung.

18 http://www.fujitsu.com/downloads/GLOBAL/vision/2018/download-center/FTSV2018_customerstories_01_EN-1.pdf.

In Stufe 2 listet das KI-unterstützte Beobachtungssystem die Fehlerstellen selbst auf, passt auch seine Scangeschwindigkeit der Oberflächenbeschaffenheit an und lernt während der Durchführung. Neue Fehlerbilder werden von KI-Experten dem neuronalen Netz hinzugefügt, um die Präzision weiter zu verbessern und schließlich die „false positives“ auf null zu reduzieren. Menschlicher Eingriff wird somit immer weniger nötig und die Mitarbeiter können sich eher ihrer Qualifikation entsprechenden Aufgaben widmen.

Das beschriebene Inspektionssystem ist bereits in der Anwendung. Zukünftig ließe sich dieses Qualitätssicherungssystem auch zu höheren Stufen bringen, etwa in Kombination mit einem weiteren System, welches automatisch die entdeckten Fehler repariert. Dazu würde das optische System selbständig die Fehlerpositionen an einen Reparaturroboter übermitteln, evtl. gar mit der Information, von welcher Art der Schaden ist (Ausdehnung, Tiefe, …), und mit einer Empfehlung, wie der Schaden zu reparieren sei. In Stufe 3 würden dafür bekannte Reparaturverfahren unter Kontrolle menschlicher Experten zur Anwendung kommen können. Durch zusätzliche Lernphasen, auch während des Betriebs, könnte dann das Gesamtsystem zu einem autonomen Herstellungs-Inspektions-Reparatursystem weiterentwickelt werden, das eine Fehlererkennung im Legeprozess der Glasfibermatten besitzt und bereits eine Korrektur bei der Herstellung erzeugt. Solche Systeme wären dann der Stufe 4 zuzuordnen.

**Beispiel: Verfügbarkeit bei der Nutzung von Maschinen und Anlagen erhöhen**

Das Beispiel stellt die verschiedensten Wirkungsweisen der KI dar und wird gerne unter dem Titel „Predictive Maintenance“ mit KI in Verbindung gebracht. Ziel ist es hier, den Betrieb, die Wartung und die Fehlerbehebung von Maschinen und Anlagen so effizient wie möglich zu gestalten. Wartung ist hierbei die geplante Arbeit zur Aufrechterhaltung der Maschinen- und Anlagenverfügbarkeit. KI kann Unterstützung bei Fragestellungen zur Überwachung, bei Erklärungen zu auftretenden Vorfällen und bei der Vorausschau liefern. Anschließend können mithilfe von KI Maßnahmen entwickelt und umgesetzt werden.

Der ausprogrammierte Maschinencode für die Automation von Maschinen und Anlagen beinhaltet seit jeher einen hohen Anteil an Auswertungen für die Überwachung und Diagnose von Prozessschritten, Betriebsmitteln und Qualitätsspezifika für das erzeugte Produkt. Werden Schwellwerte überschritten, reagieren diese Systeme mit der vom Menschen definierten Handlungsweise, z. B. Auslösen eines Alarms, Versenden einer E-Mail oder anderen Maßnahmen. Die Kausalität und „Intelligenz“ der Regeln werden von Maschinenexperten definiert und konfiguriert. Dies ist der Stufe 0 zuzuweisen und hat keinen Bezug zu KI.

In Bereichen der Maschinen-Nutzung können durch Mittel der KI Vorteile erreicht werden, die über die ausprogrammierte Automation und die dem Menschen zur Verfügung stehenden Mittel hinausgehen. Beispiel hierfür ist Anomalieerkennung für Maschinendaten. Hierbei werden komplexe Daten aus Maschinen (hohe Zahl von verschiedenen Sensorwerten und große Datenmenge) mit Künstlicher Intelligenz überwacht und mit in Algorithmen abgebildeten gelernten Datenmustern verglichen. Vorteile sind:

- Das „Training“ der Algorithmen findet empirisch statt. D. h. es ist kein Expertenwissen für die Kausalität des Maschinenprozesses notwendig.
- Ausgangspunkt für das Training der Algorithmen sind Sensordaten der Maschinen in verschiedenen „normalen“ Anlagenzuständen. Deshalb ist auch kein Abgleich von bekannten Fehlern mit existierenden Fehler-Sensordaten notwendig – die oftmals (noch) nicht vorhanden sind.
- Da Anomalien in Maschinendaten meistens sehr viel früher erkennbar sind als an der physischen Maschine selbst, ist eine frühere Reaktion möglich.
- Im Vergleich zu „einfachen“ Regeln kann KI auch sehr komplexe Daten analysieren. Dabei werden auch korrelierte Daten von z. B. mehreren tausend Sensorwerten im Zusammenhang überprüft.
- Des Weiteren kann dem Maschinenexperten eine Entscheidungsunterstützung durch Identifikation der betroffenen Maschinenkomponente und Visualisierung der ursächlichen Sensorwerte geboten werden.
- Die Systeme nehmen kontinuierlich Entscheidungen auf und erweitern damit ihr Wissen.
- Vielfach werden Wartungsprozesse auf einzelne Maschinen und Anlagenteile fokussiert. Dies kann an der Zusammenstellung von Maschinen unterschiedlicher Hersteller oder Komplexitätsanforderungen liegen. Mit einer maschinenübergreifenden KI können Wertschöpfungsketten gesamtheitlich aufbereitet und betrachtet werden.

Im Betrieb werden dem Bediener, neben den zur Maschinenbedienung notwendigen Informationen, noch weitere Informationen angeboten, die die Verfügbarkeit des Betriebsmittels und die Qualität des erzeugten Produktes unterstützen. In Level 1 werden aus der Fülle von Sensordaten oder Prozessinformationen die für den Maschinenbediener notwendigen Informationen extrahiert. Die Bewertung und Reaktion liegen beim Menschen. Im Beispiel einer auftretenden Störung werden die Störungsursache erkannt, Informationen hierzu gegeben und auf Behebungsanweisungen hingewiesen.

In Level 2 werden in definierten Bereichen Maßnahmen autonom vom Menschen aktiviert. Dies kann zu robusterem Verhalten der Maschine selbst, z. B. Anpassungen auf Verschleiß von Werkzeugen, genutzt werden oder den Maschinenbediener unterstützen. Im Beispiel einer auftretenden Störung kann dem Maschinenbediener eine Abhilfe vorgeschlagen werden, die er selbst umsetzen kann. Bei höherwertigen Aufgabenstellungen könnte ein Alarm einen Auftrag für einen spezifischen Wartungstechniker automatisiert auslösen. Dabei können die Aufträge anhand von Einsatzplänen die notwendige Kompetenz der Techniker, verfügbare Werkzeuge oder örtliche Nähe des Technikers zum Einsatzort berücksichtigen.Wichtige Informationen zur Störung und mögliche Lösungsvorschläge können auch dem Servicetechniker übergeben werden. Weitere Beispiele sind im Umfeld von Wartungsaktivitäten zu finden. Hier kann durch KI das Betriebsverhalten beobachtet werden, um Wartungszyklen an die reale Nutzung der Maschine und Anlage anzupassen. In diesem Fall können Wartungsarbeiten zielgeführt vorgenommen werden. Zielstellungen für KI-Anwendungen:

- Wartung nur, wenn dies wirklich benötigt wird, und nicht in Zeitintervallen.
- Behebung von Schäden, bevor sie auftreten bzw. auch an Terminen, wo dies den Arbeitsablauf nicht signifikant stört, wie z. B. erst nach der Abarbeitung eines Auftrags oder in Arbeitspausen.
- Geplante Zusammenführung von verschiedensten Arbeiten an Maschinen und Anlagen mit den notwendigen Ressourcen zu vereinbarten Zeiten.

# Der Mensch definiert die Systemgrenzen

Ein weites Feld für KI im industriellen Umfeld ist die Analyse und Interpretation von Sensordaten, die in Maschinen und Anlagen verteilt alle möglichen Maschinenzustände aufnehmen, um daraus abgeleitet Aktionen in Prozessabläufen durchzuführen. Dabei geht es vor allem darum, Zusammenhänge aufzuzeigen, die nicht offensichtlich sind, z. B. um eine vorausschauende Wartung zu ermöglichen. Weiterhin ist KI beteiligt an der Prozess-, Logistik- und Energieoptimierung industrieller Abläufe, beispielsweise wenn komplex zusammenhängende maschinelle Einstellparameter infolge sich verändernder Umgebungsbedingungen angepasst werden müssen. Das „Internet der Dinge“, also verteilte kommunikationsfähige Datenlieferanten und -nutzer, bildet die Basis für KI und stellt hohe Erwartungen an die monetäre Nutzung in der Umsetzung von Geschäftsmodellen.

KI umfasst ein Portfolio von Anwendungen und Technologien, welche die Realisierung von autonomen Funktionen und Systemen als Wertschöpfung ermöglicht. Autonomie findet dabei immer in von Menschen vorgegebenen Systemgrenzen statt. Der Mensch definiert, für welches Gesamtsystem ein gewisser Grad an Autonomie erreicht werden soll sowie innerhalb welcher Bereiche und Funktionen KI wirken darf. Beispiele für ein Gesamtsystem sind eine Liegenschaft, eine Produktionsanlage oder ein genau umgrenzter Aufgabenbereich. Die Grenzen des Gesamtsystems sollten dabei nicht zu klein gewählt werden. Funktionen sind z. B. die Leitwarte einer Anlage, das Engineering einer Produktionslinie oder die Logistikplanung. Der Grad an Autonomie eines Systems unterliegt dabei nicht notwendigerweise nur technischen Limitierungen der KI, sondern wird durch weitere Aspekte wie rechtliche Rahmenbedingungen, Abschätzung der Vor- und Nachteile des menschlichen Handelns oder Forderungen hinsichtlich Datensicherheit beeinflusst.

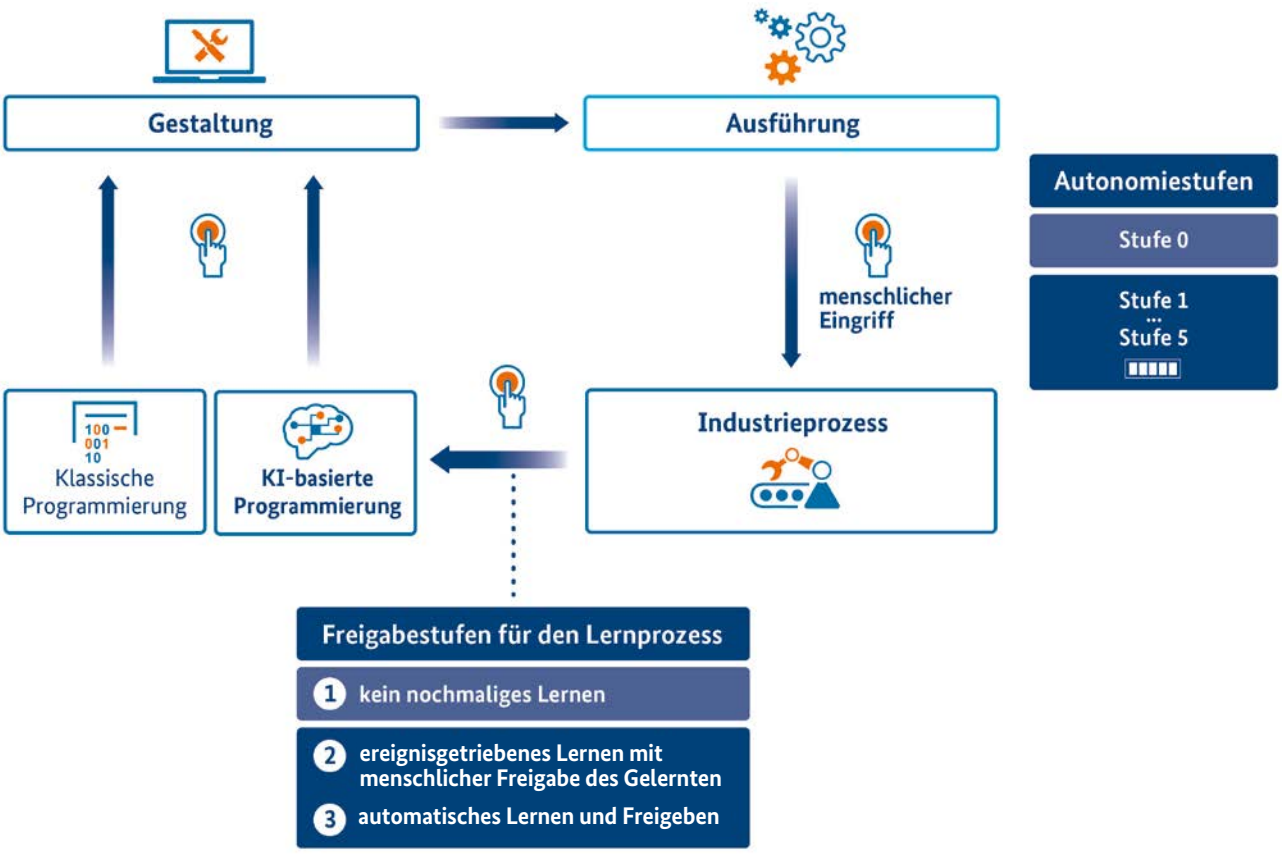
Autonomie-Stufen definieren die Systemgrenzen der eingesetzten KI-Technologien, welche Aufgaben ausgeführt werden dürfen. Ein selbstfahrendes Auto kann zum Beispiel auf Autonomie-Stufe 3 selbständig das Fahren auf der Autobahn übernehmen, nicht jedoch das Abfahren von der Autobahn. Ab Autonomie-Stufe 3 kommt zu den gesetzten prozessbezogenen Systemgrenzen auch die Umfeldüberwachung durch das KI-System hinzu. Es soll selbständig seine Umwelt wahrnehmen und innerhalb der spezifizierten Systemgrenzen auch ohne weitere menschliche Eingriffe „echte“ autonome Entscheidungen treffen können. Dies wirft wichtige rechtliche Fragen auf, z. B. bezüglich der Haftbarkeit und der Nachvollziehbarkeit einer verantwortungsbewussten Entscheidung. Diese Diskussion muss in voller gesellschaftlicher Breite über Industrie- und Politikgrenzen hinweg geführt werden, egal ob im Fall des autonomen Fahrens oder beim Einsatz von KI-Technologien in der industriellen Produktion. Der Grad an Autonomie benennt in Bezug auf KI daher die allgemeinen Systemgrenzen, in welchen KI agieren darf, also folglich auch nicht technisch bedingte Grenzen der eingesetzten KI-Technologie, wie etwa rechtliche oder ethische Grenzen.

# Didaktik des künstlichen Lernens

Für einfache Automatisierungsvorgänge in der industriellen Prozessführung reichen die klassische Programmierung und zusätzlicher menschlicher Eingriff in den meisten Fällen aus. Doch bei komplexen Abläufen mit höherem Entscheidungsaufkommen ist zunehmend eine Programmierung auf Basis von KI-Technologien sinnvoll. Dabei ist aber im Gegensatz zur klassischen Programmierung beim Einsatz von KI aufgrund des für den Lernvorgang genutzten umfangreichen Daten- und Informationspools nicht davon auszugehen, dass immer das exakt gleiche Ergebnis erzielt wird. Vielmehr wird durch die KI-Nutzung eine stete Prozessoptimierung und „richtige“ Entscheidungsfindung in Problemfällen angestrebt. Dabei sind auch nicht direkt erwartete Lösungsvorschläge durch das KI-System zugelassen. Die dabei getroffene Entscheidung sollte aber immer plausibel sein und möglichst einer intendierten Vorgehensweise entsprechen.

Die Diskussion des Einflusses von KI auf industrielle Vorgänge lässt sich in die Phasen Entscheidungsfindung (Regelerstellung/Gestaltung) und Handlungsausführung (Regelausführung) einteilen. Diese sind gleichzusetzen mit den Fähigkeiten für Entscheidungen (werden bei der Programmerstellung festgelegt) und der Umsetzung der Entscheidungen in Handlungen (wirken sich bei der Ausführung aus). Bei der KI-unterstützten Gestaltung wird das System durch initiales Lernen trainiert und zusammen mit klassisch programmierten Teilbereichen zur Ausführung eines Industrieprozesses gebracht. Der für den Regelteil „Ausführung“ maßgebliche KI-Einfluss lässt sich anhand der beschriebenen Autonomie-Stufen einteilen. Bei der Phase „Gestaltung“ des zu initiierenden Industrieprozesses entscheidet der Mensch als „Supervisor“ vorab, welche Daten für die erste Lernphase zugelassen werden. Er hat auch zu entscheiden, welche Daten das KI-System für einen weiteren Lernvorgang während einer Prozesssteuerung erhalten darf. Einerseits sind Daten zur Optimierung eines Vorgangs nötig, andererseits ist aber ein Overfitting zu vermeiden. Denn durch Überanpassung der Datenauswertung kann eine bestehende Problemlösung auch verschlechtert werden. Dieser Freigabevorgang für das automatische Lernen lässt sich grob in drei Stufen einteilen:

**Abbildung 3: Regelkreis für eine klassische und KI-basierte Ausführung eines Industrieprozesses**



Freigabe-Stufe 0 – Manuelles Lernen (keine Freigabe für weitergehendes Lernen)

> Neues Lernen erfolgt nur über eine manuelle Erweiterung, z. B. zur Erstellung von weiteren Regeln. Eine automatische Erweiterung des Wissens findet nicht statt.

Freigabe-Stufe 1 – Ereignisgetriebenes Lernen mit menschlicher Freigabe

> Die KI sammelt selbständig weitere Trainingsdaten und erstellt durch kontinuierliches Lernen eigenständig weiteres Wissen. Die Nutzung möglichen neuen Wissens muss jedoch manuell von Menschen überprüft und freigegeben werden.

Freigabe-Stufe 2 – Autonomes Lernen (Automatisches Freigeben und Lernen)

> Die KI sammelt selbständig Daten, generiert neues Wissen und nutzt dieses, um ihr Verhalten (Regelsetzung) innerhalb der gesetzten Systemgrenzen anzupassen. Die Regelanpassung erfolgt komplett automatisch und ohne einen manuellen Eingriff, jedoch nur im Rahmen vorab festgelegter Grenzen.

Automatisierte Prozesse in der industriellen Fertigung entstehen derzeit zu einem wesentlichen Anteil aus einfachen Wenn-dann-Regeln sowie klassischer Automatisierungs- und Regelungstechnik. Dies bedingt eine vollständige Anforderungs- und Problemdurchdringung des Regelsetzers, sodass die erzeugten Regeln alle wertschöpfenden Arbeitsprozesse sowie möglichst viele störende Prozessabweichungen abdecken sollen. Die Anforderungs- und Problemdurchdringung des Regelsetzers ist jedoch limitiert durch die Abbildbarkeit der Komplexität solcher Anforderungen in Programmier- und Engineering-Systemen sowie durch Auffassungsgabe und den Erfahrungshorizont der Beteiligten. Die menschliche Leistungsfähigkeit stößt bei immer komplexeren und dynamischeren Systemen an ihre Grenzen. Wenn der Programmierer durch zunehmende Erfahrung zwar besser wird, jedoch nicht mehr alle Prozessabläufe durchdringen und abbilden kann, bedeutet dies, dass sich auf der einen Seite die Leistungsfähigkeit der technischen Systeme und deren Interaktionsmöglichkeiten erhöht, sich aber andererseits die Potenziale des Gesamtsystems nicht vollständig erschließen lassen. Diese Lücke zwischen Potenzialen einerseits und den durch den Menschen mittels Programmierung und Engineering andererseits zu lösenden Aufgaben wird mittels KI geschlossen.

Der KI-Einfluss zeigt sich funktional bei der Ausführung eines Prozesses (Engineering, Maschinensteuerung, Mustererkennung, Logistikprozess, Rechnungsprüfung, …), doch wird diese Funktion bei der Regelerstellung festgelegt. Der Programmierer entscheidet dabei über die Vorgabe der Systemgrenzen, die Art der Programmierung und die Form des menschlichen Eingriffs. Die Programmierung der Ausführung kann unterschiedlich stark von KI beeinflusst sein. Für die Ausführung ist es jedoch einerlei, ob durch klassische Programmierung (what/if-Szenarien, Regleransteuerung, …), durch KI-Algorithmen oder durch menschlichen Eingriff Regeln gesetzt werden. Entscheidend für die Einstufung in einen bestimmten Autonomiegrad ist die Notwendigkeit des menschlichen Eingriffs in den Gesamtprozess. Bei einem höheren Autonomiegrad nimmt die aktive Ausführung durch den Menschen ab und der KI-Einfluss zu. Dabei sind Nachvollziehbarkeit, Wiederholbarkeit, Reproduzierbarkeit und Plausibilität mögliche Faktoren beim Einsatz einer KI-Programmierung. Erfolgt durch die Systemsteuerung eine nicht vorab intendierte Vorgehensweise, so muss, je nach Festlegung der zugelassenen Systemgrenzen und je nach vorgesehener Autonomie-Stufe, eine Nachsteuerung bis hin zum Not-Aus möglich sein.

Hierbei ist auch ein Controllability-Konzept notwendig. Der Mensch muss in der Lage sein, auch die Rückverweisung durch die Maschine zu meistern. Wenn z. B. die Maschine nicht mehr in der Lage ist zu agieren, muss sie bei einer Rückverweisung einer Entscheidung an den Menschen dies rechtzeitig tun, damit der Mensch auch in der Lage ist, eine Reaktion in seinem Sinne auszuführen.

## Qualitative Daten mit Kontext befähigen die KI

Damit in zukünftigen industriellen Vorgängen KI-Technologien den Menschen unterstützen können, bedarf es vorab der Konditionierung des Systems durch Lernvorgänge. Diese Lernvorgänge basieren auf der Einspeisung von geeigneten Daten und der Anwendung von systemorientierten Algorithmen. Wichtiger als die Quantität an Daten sind die Qualität und vor allem der passende Kontext der Daten (annotierte und kuratierte Daten). Im dann folgenden praktischen Einsatz soll das trainierte System in Kombination mit geeigneter Technik die menschlichen Fähigkeiten erweitern, sowohl die physikalischen Fähigkeiten als auch die Auffassungs- und Entscheidungsfähigkeiten. Im Wesentlichen werden durch KI die kognitiven Fähigkeiten unterstützt, wobei es neben der Kosten- und Zeitersparnis auch um Qualitätsverbesserung und um die Ablösung menschlicher Tätigkeit bei ein-

fachen, sich wiederholenden Vorgängen geht. Der Mensch soll mehr Zeit für die kreative Planung intelligenter Abläufe zur Verfügung haben. Er soll nicht ersetzt werden, sondern er soll seinen Ideenreichtum für neue Herangehensweisen an technische Vorgänge nutzen können. Künstliche Intelligenz als Werkzeug des Menschen schafft hierfür neue Perspektiven und kann ein zentraler Baustein von Industrie 4.0 werden. Dazu bedarf es der maschinellen Trainingsphase, welche entscheidend von der Verfügbarkeit qualitativ hochwertiger Daten und Informationen abhängt. Eine KI-gesteuerte Maschine wird umso besser, je mehr geeignete kontextbasierte Trainingsdaten bereitstehen.

Die Qualität der genutzten Daten ist für die Einhaltung von Wertversprechen in industriellen Abläufen nicht hoch genug einzuschätzen. Daher ist ein rein datengetriebener Ansatz zur Nutzung eines Datenpools für das Training von KI-Systemen, für die Findung neuer Lösungsvorschläge bei komplexen Abläufen und zur Generierung von Alleinstellungsmerkmalen von Unternehmen nicht ausreichend. Vor der eigentlichen Lernphase ist eine intensive menschliche Vorarbeit nötig, um gute Daten aus verfügbaren allgemeinen Informationen oder auch aus firmeneigenen oder -übergreifenden Datenbanken zu selektieren. Dies erfordert die Einbindung von Fachexpertise zur Klassifizierung, Bewertung und Beschreibung qualitativ hochwertiger Daten. Daher müssen die Datenspezialisten für das Training von KI-Systemen sowohl Fachwissen als auch Kontextwissen besitzen. Um zukünftig als Technologienation wettbewerbsfähig zu bleiben, ist es erforderlich, Qualifizierungsprogramme aufzusetzen, um KI-Kompetenz mit Domain-Kompetenz zusammenzubringen. Dadurch können branchenspezifische Spezialisten dahingehend geschult werden, aus Datenpools qualifizierte spezifische Daten zu extrahieren und kontextbasiert in ein KI-System einfließen zu lassen.

## Verfügbarkeit von Daten

Statt der Bereitstellung großer Datenpools für die KI-Systemkonditionierung ist die Verfügbarkeit von kontextabhängigen logischen, qualitativ hochwertigen Datenpools für den Umsetzungserfolg entscheidend. Denn im Gegensatz zur Konsumwelt ist die Datennutzung in der produzierenden Industrie doch eher spezifischer Natur. In der Regel haben einzelne Unternehmen individuelle Anlagenkonzepte und diese Maschinendaten sind nicht so einfach auf unternehmensfremde Anlagen übertragbar. Gerade bei der angedachten Los1-Produktion hat man auf einer Anlage prinzipiell immer nur ein „Gutteil“, welches selbst für das KI-Anlagentraining nur eingeschränkt tauglich ist. Damit Daten zu nutzbaren Informationen werden, sind sie mindestens mit ihrem Bezug zu Funktion und Fähigkeit zu beschreiben.

Hinsichtlich der Nutzung eines geeigneten Daten- oder Informationspools für die Systemkonditionierung und -optimierung bestehen zahlreiche Hürden. So besitzen beim Datenpooling aus unterschiedlichen Unternehmen oder von Maschinen unterschiedlicher Hersteller die Daten meist unterschiedliche Formate und erfordern eine geeignete Infrastruktur, welche auch unstrukturierte Daten und schnell anfallende Echtzeitdaten erfassen kann. Firmen hegen in der Regel gegenseitiges Misstrauen und sind vorsichtig beim Datenaustausch, um ihr Know-how zu schützen. Für Daten gibt es kein Eigentumsrecht. Sie sind lediglich vor unbefugter Verbreitung/Nutzung geschützt. Datenschutz liegt daher im Eigeninteresse der Firmen und wird normalerweise über Geheimhaltungsvereinbarungen geregelt. Auch können insbesondere beim Datenaustausch zwischen Wettbewerbern aus der aktuellen Gesetzeslage kartellrechtliche Verstöße resultieren. Werden Daten oder Informationen als Produkt gesehen, so ist bei der Nutzung im Ausland das Exportkontrollrecht zu beachten. Zudem sind alle bestehenden lokal geltenden Regelungen, wie die Vorgaben zur Speicherung personenbezogener Daten oder die Datenschutz-Grundverordnung, selbstverständlich zu beachten. Es ist daher noch zu klären, wie sich der Datenaustausch bei Herstellern von Industriegütern und deren Nutzern in Industrieanlagen begründen, motivieren und für alle ökonomisch umsetzen lässt.

Die Herausforderung ist daher, auf der einen Seite Daten in ausreichender Qualität für die Entwicklung und Erprobung von KI-Technologien zur Verfügung zu stellen und auf der anderen Seite die Souveränität der Datenbesitzer nicht auszuhebeln. Dies stellt erst einmal einen Widerspruch in sich dar. Um beiden Interessen zu genügen, sind die Themen Datenbereitstellung und Datennutzung bezüglich der vorliegenden Interessenslagen zu klären. Das persönliche oder wirtschaftliche Interesse, Daten nicht herauszugeben, wird vielfach mit eigenem IP, Nutzung durch Wettbewerber oder durch unkontrollierbare Dritte oder auch mit der fehlenden Einschätzung „Was ist denn der Wert der Daten?“, begründet. Das allgemeine Interesse, gute Daten für die Weiterentwicklung von KI zu erhalten, oder auch um neue Geschäftsmodelle zu erzeugen, steht dem auf der Nehmerseite entgegen. Diese Nehmerseite möchte technologischen Fortschritt und Innovation auf Basis möglichst vieler Daten erzeugen.

Um diesen Widerspruch aufzulösen, gibt es globale Beispiele für verschiedenste Methoden, die unterschiedlich und z. T. am Markt ausgeprägt sind. Beispielsweise wird in speziellen Wirtschaftsräumen mit restriktiven Regularien (z. B. regionale Gesetzgebung) eine Veröffentlichung von Daten erzwungen. In anderen Bereichen mit hohem persönlichen Nutzen (z. B. Social Media, Suchmaschinen ect.) wird die Bereitstellung von Daten hingenommen und somit eine fast uneingeschränkte Nutzung durch die Betreiber ermöglicht. Sinnvoll wäre es auch, die allgemein verfügbaren Open-Data-Plattformen für die Datenbereitstellung heranzuziehen.

Eine mögliche weitere Methode ist die der partiellen treuhänderischen Verfügbarkeit. Der Treuhänder stellt allgemein nutzbare Daten ohne Ursprung und Personenbezug zur Verfügung. Dies kann für die Allgemeinheit zur Weiterentwicklung von KI oder der Erstellung von Geschäftsmodellen genutzt werden. Partiell können auch Nutzergruppen oder einzelne Konsortien sich für Regeln der Datennutzung abstimmen und eine vertragliche Bindung zwischen dedizierten Unternehmen oder Anwendergruppen eingehen. Voraussetzung dafür ist, dass ein solcher Treuhand-Mechanismus auf transparenten Regeln und vertrauenswürdigen Organisationen und Strukturen beruht. Diese können treuhänderische Organisationen wie Genossenschaften, staatliche Einrichtungen oder auch vertrauenswürdige technische Infrastrukturen sein. Als Analogien hierzu können Bereiche der Statistik dienen, in denen Umsatzzahlen über Notariatsmechanismen gesammelt und egalisiert veröffentlicht werden.

## Daten haben Wert

Die Frage der Datenökonomie und darauf basierender neuer Geschäftsmodelle, bei denen jeder Beteiligte einen Vorteil (Kosten, Qualität, Zeitersparnis, Liquidität, flexibler Mitarbeitereinsatz, …) hat, wird zukünftig eine wesentliche Rolle beim Geben und Nehmen von Daten spielen. Generelle Fragestellungen existieren daher darüber, wie das Kosten-Nutzen-Verhältnis beim Datenpooling zu bewerten ist, welchen Wert Daten generell haben und wie Preisbildungsmechanismen aufgebaut werden können. Auf Basis eines passenden Modells sollten sich Unternehmen dafür entscheiden, Daten in einen Pool zu geben, weil für den Datengeber ein Mehrwert aus der Nutzung des Datenpools resultiert.

Erste Vorstellungen für die Einrichtung eines überwachten qualitativen Datenpools und die Feststellung des Wertes von Daten sehen die Einrichtung einer Clearingstelle vor. Diese könnte ähnlich einer Genossenschaft oder nach dem Treuhänderprinzip mit vertraglich vereinbartem Regelwerk und Vertraulichkeit funktionieren. Die Clearingstelle hätte für die ausreichende Qualität der Daten zu sorgen, sollte die standardisierte Datenbereitstellung garantieren und auch die Know-how-Verwertung regeln. Notwendig hierfür wäre ein Kulturwandel im Denken von Unternehmen: Daten sollten veredelt und verwertet statt besessen werden.

# KI in der Plattform Industrie 4.0

Industrie 4.0 hat verschiedenste Perspektiven, die durch unterschiedliche Arbeitsgruppen der Plattform ihren Fokus finden. Die Nutzung und Wirkung von KI auf Industrie 4.0 prägt sich hier spezifisch aus und wird in dem nachfolgenden Kapitel adressiert und zum Teil in separaten Dokumenten tiefer gehend beleuchtet.

### Referenzarchitekturen, Standards und Normung

Mit der Referenzarchitektur Industrie 4.0 (RAMI 4.0), der Industrie 4.0-Komponente und ihrer Verwaltungsschale, hat sich die Arbeitsgruppe 1 „Referenzarchitekturen, Standards und Normung“ zum Ziel gesetzt, die grundlegenden Anforderungen eines aus interagierenden Komponenten bestehenden Industrie 4.0-Systems zu definieren. Basis ist ein grundlegender Interaktionsmechanismus, der mit interpretierbaren Semantiken auf grundlegenden Standards aufbaut, Pluralität und Interoperabilität der kommunizierenden Assets zulässt und eine Interaktion über Systemgrenzen verschiedenster Hersteller und Nutzer erlaubt. Dabei umfasst der Begriff des Assets sowohl alle beteiligten Betriebsmittel und Werkstücke wie auch handelnde Personen.

Schlüsseltechnologien wie KI, die von vielen Informationen aus unterschiedlichsten Quellen angewiesen sind, benötigen die folgenden wesentlichen Eigenschaften, die über Industrie 4.0 und die Verwaltungsschale zur Verfügung gestellt werden:

- Bereitstellung der Informationen über vertrauensvolle Partner und Komponenten im Netzwerk. Hier geht es im Wesentlichen um die Idee, dass Informationen der Komponenten über das Industrie 4.0-Netzwerk erreichbar sind und nicht durch technische Hürden Potenziale verloren gehen. Informationsströme müssen strukturiert und steuerbar sein. Der Mechanismus muss eine dezentrale Datenquellen-Struktur ebenso ermöglichen wie eine zentrale Datenhaltung.

- Für die Interpretation von Informationen ist neben dem Kontext auch eine Semantik und Grammatik der Informationen notwendig. Je eindeutiger die Sprache, desto verständlicher wird sie zwischen den Beteiligten. Funktionen und ihre Konsequenzen müssen eindeutig definiert sein.

- Informationen zu erreichen, zu sammeln, auszuwerten und daraus zu lernen ist ein erster Nutzen, den die KI in industriellen Applikationen zu bieten hat. Mit den Ergebnissen zu arbeiten und autonom Vorgänge zu bearbeiten ist ein entscheidender nächster Schritt. Dies bedingt eine aktive Interaktion zwischen Datenquellen, Lernmechanismen der KI, menschlichen Entscheidungen und der Umsetzung eines Lernergebnisses in steuernde bzw. regelnde Funktionen, die sich als Industrie 4.0-Komponente und somit auch als Funktion auch über eine Verwaltungsschale abbilden muss. Dies auch in sich verändernden Systemen.

- Die Industrie stellt auf der einen Seite spezifische Anforderungen an die Ressourcen bezüglich Verfügbarkeit, Langzeitstabilität und Robustheit, aber auch an Baugröße, Umgebungsbedingungen und Kosten. Dies kann konträr zu den Anforderungen der KI, möglichst viele Informationen dauerhaft zu erhalten, stehen.

Der grundsätzliche Aufbau der Verwaltungsschalen und die Interaktionsmuster adressieren bereits wesentliche Herausforderungen. KI-Technologien können entscheidende Beiträge zur Autonomie und Reaktionsfähigkeit eines Systems leisten. Auch dem symbolischen Schließen als wichtige Basis für automatisierte Entscheidungsfindung kommt hohe Bedeutung zu.

Für die Zukunft ergeben sich folgende Herausforderungen:

- KI ermöglicht es, automatisiert Semantiken zu verbinden. Sprachen und Semantiken ändern sich im Laufe der Zeit und können mit KI-Mechanismen angereichert robuster verwendet werden. Geschaffenes und explizites Wissen muss laufend mit Domänenexperten und Anwendern validiert werden.

- Mustererkennung und das Auffinden von Anomalien ist ein weiterer Schwerpunkt in der Nutzung von KI. Diese Fähigkeiten unterstützen agile Handlungsweisen. Selbstlernende Systeme können Modelle erstellen, welche explizite Semantiken vielschichtig erweitern. Das sind Fähigkeiten, die für kommende Geschäftsmodelle Potenziale eröffnen, und Methoden, die weitere Innovationen in Effizienzgewinne und Ressourcenschonung vermuten lassen.

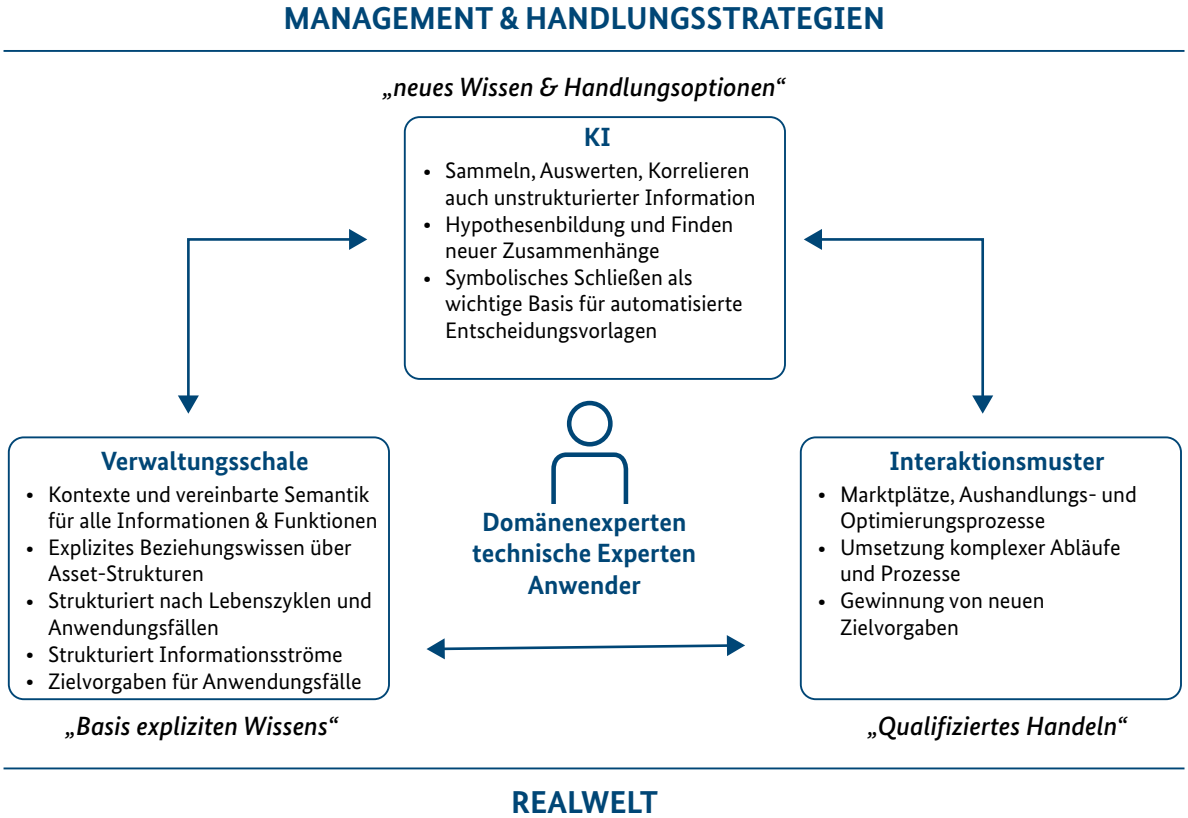
Aus übergeordneter Sicht lassen sich folgende Empfehlungen und Forderungen an Politik und Wirtschaft ableiten:

- Wirtschaft und Politik müssen hinreichende Mittel in KI-Forschung und für die Erprobung in Testbeds investieren.
- Der Mittelstand muss für dieses Thema sensibilisiert und qualifiziert werden. Die Ausbildung für KI (z. B. Data Scientists) muss gefördert werden.
- Beispiel- und Lerndaten müssen sicher und zwischen Wertschöpfungspartnern ausgetauscht werden können (quasi „open data“ für KI-Technologien).
- KI-Implementierungen müssen den industriellen Anforderungen (z. B. Rechenpower) genügen.
- KI-Algorithmen müssen standardisierbar sein, um in möglichst viele Applikationen validierbare Ergebnisse zu bringen.

### Technologie- und Anwendungsszenarien

Die Arbeitsgruppe 2 „Technologie- und Anwendungsszenarien“ beschäftigt sich mit dem Einfluss von vorhandenen oder kommenden Technologien auf ihre Verwendung beziehungsweise Einflussnahme auf die industrielle Produktion mit Industrie 4.0. Für die Verdeutlichung wurden generische Anwendungsszenarien erstellt, die ein Framework für die Anwendung von Industrie 4.0 in der digitalisierten Industrie übersichtlich darstellen und die Einflüsse und Anforderungen aus Sicht der Anwender und Arbeitsgruppen der Plattform Industrie 4.0 verdeutlichen.[19]

In der Weiterentwicklung dieses Arbeitspapiers „Künstliche Intelligenz in der Industrie 4.0“ werden die Einflüsse von KI und der dadurch entstehenden Autonomie in Prozessen und Ergebnissen an den Anwendungsszenarien gespiegelt. Nachfolgend wird beispielhaft die Auswirkung der KI und Autonomie im Szenario „Value Based Services“ (VBS) aufgezeigt.




19 Plattform Industrie 4.0: Fortschreibung der Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0, https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/fortschreibung-anwendungsszenarien.html.

Das Anwendungsszenario VBS beschreibt, wie sich das Wertschöpfungsnetz im Service gestalten lässt, wenn entsprechende Produkt- und/oder Prozessinformationen zur Verfügung stehen.

Einen sehr großen Einfluss wird die KI auf die Konzepte der Smart Service Welt haben. Die Grundidee der Smart Service Welt ist, dass Firmen (z. B. des produzierenden Gewerbes) ihre Daten selektiv für Dienstleister sichtbar machen können. Die Dienstleister bieten ihrerseits Services an, welche die Daten zu tiefer greifenden Erkenntnissen veredeln. Zum Beispiel könnten aus Maschinendaten Wartungsanleitungen oder optimierte Rüstpläne abgeleitet werden. Dienste können im Rahmen eines Wertschöpfungsnetzes aufeinander zugreifen, es entsteht ein wertschöpfungsaffines Ökosystem.

Es steht außer Frage, dass solche Dienste wesentlich von den Fähigkeiten der Wissensextraktion durch KI-Mechanismen profitieren werden. Das Grundkonzept vieler wichtiger KI-Algorithmen ist eine Transformation von Eingabedaten in Ausgabedaten, basierend auf erlernten Mustern in vorhandenen Daten. Für Dienste zur Entscheidungsunterstützung (Wartungsintervalle, Produktionspläne, Portfolioänderungen) oder zur Erkennung von Anomalien (Produktionsfehler, technische Defekte, Anwenderverhalten) sind diese KI-Algorithmen bereits heute hochgradig tauglich. Mit jeder Analyse und dem entsprechenden Feedback des Serviceanwenders können die Dienste weiter verbessert werden und für den Anwender zusätzlichen Nutzen erzeugen. Umgekehrt können Kunden KI benutzen, um eigene Services zu erstellen oder optimal auszuwählen. Dienste können auch voneinander lernen und damit neue Ebenen der Leistungsfähigkeit erreichen. Die Basis hierzu sind qualitativ hochwertige Daten. Eine Herausforderung hierbei ist es, die nutzbaren von unbrauchbaren Daten, seien es Messfehler, nicht-repräsentative Stichproben oder gar sabotierte Daten, zu trennen. Langfristig jedoch werden die Dienste sich verbessern. Vielleicht werden sogar unerwartete Synergien entstehen, bei denen Algorithmen automatisch und ohne menschliches Zutun kooperieren. Dann werden nicht mehr nur von Menschen vorgegebene Teilprobleme optimiert, sondern die Modellannahmen kritisch hinterfragt und völlig neue Lösungsansätze generiert und als Alternativen angeboten.

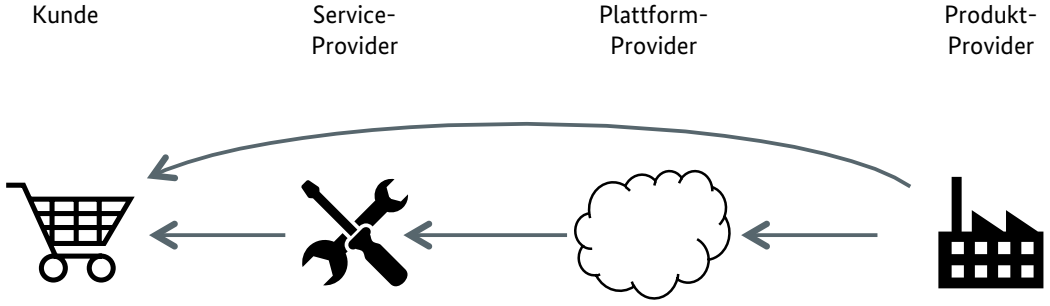
### Sicherheit vernetzter Systeme

Die Arbeitsgruppe 3 „Sicherheit vernetzter Systeme“ veröffentlicht zur Hannover Messe Industrie eine Publikation zum Thema „Künstliche Intelligenz (KI) in Sicherheitsaspekten der Industrie 4.0“.

### Rechtliche Rahmenbedingungen

Die Arbeitsgruppe 4 „Rechtliche Rahmenbedingungen“ (AG 4) hat seit 2016 eine systematische Identifizierung und Bearbeitung der aus ihrer Sicht wichtigen rechtlichen Themen von Industrie 4.0-Prozessen vorgenommen. Zur Hannover Messe 2019 wird eine Publikation zu „KI und Recht im Kontext von Industrie 4.0“ erscheinen. In dieser werden Fragen zu den Bereichen Rechtspersönlichkeit, Datenzugang/-schutz, Haftung, IP und Arbeitsrecht diskutiert sowie Handlungsempfehlungen formuliert.

**Abbildung 4: Value Based Service (VBS)**




Quelle: Plattform Industrie 4.0

### Arbeit, Aus- und Weiterbildung

Die Arbeitsgruppe 5 „Arbeit, Aus- und Weiterbildung“ beschäftigt sich mit den Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Menschen. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der sozialpartnerschaftlichen Gestaltung des Wandels in den Betrieben, insbesondere durch Best-Practice-Beispiele für die Gestaltung der Rahmenbedingungen.

Aus Sicht der AG 5 wird die Nutzung von KI starke Auswirkungen auf die Arbeitsorganisation und die Arbeitszeitregelungen, die Arbeitsplatzgestaltung sowie den Datenschutz und die Datensicherheit haben. Insbesondere werden sich durch KI die Anforderungen an die Qualifikation der Mitarbeiter verändern, worauf die Aus- und Weiterbildung in den Betrieben reagieren muss.

Ebenfalls will die AG 5 die Implikationen aus neuen Geschäftsmodellen auf die genannten Bereiche betrachten, welche durch KI ermöglicht oder befördert werden (z. B. Crowdworking).

KI bietet große Chancen für die deutsche Industrie. Es wird wichtig sein, schnell zu agieren. Gerade die rechtzeitige Information und Einbindung aller betrieblichen Akteure bietet die Gewähr, eine reibungslose und erfolgreiche Einführung in die Praxis zu gewährleisten.

### Digitale Geschäftsmodelle in der Industrie 4.0

Die Arbeitsgruppe 6 „Digitale Geschäftsmodelle in der Industrie 4.0“ diskutiert die grundlegenden Wirkprinzipien digitaler Geschäftsmodelle in der Industrie 4.0. Der Nutzen von KI wurde in den letzten Jahren in verschiedenen Bereichen sehr deutlich. Die meisten Beispiele kommen aus der Consumer-Welt, bedingt auch durch die Verfügbarkeit von großen und vielfältigen Datenmengen im „B2C“-Bereich. Die Ausnutzung dieser Datenmengen von sehr vielen Endkunden mittels KI-Technologien hat völlig neue Geschäftsmodelle eröffnet (z. B. Adressierung des „long-tail“). Häufig werden diese neuen Geschäftsmodelle als Verkörperung des zentralen Leitmotivs der Digitalisierung der Wirtschaft, nämlich die Fokussierung auf spezifische Kundenwünsche und die damit einhergehende Individualisierung der Produkte, bei gleichbleibender Produktionseffizienz und -qualität, gesehen. Auch wenn entsprechende Modelle und Dienstleistungsplattformen im Consumerbereich („B2C“) heute bereits am Markt etabliert und akzeptiert sind, werden entsprechende Konzepte erst durch die vollständige Vernetzung der Produktion in der Industrie 4.0 und die konsequente Nutzung von KI-Methoden in der industriellen Fertigung („B2B“) möglich. Durch eine automatisierte Erfassung und Verarbeitung von Echtzeitdaten aus industriellen Vorgängen ergeben sich neue Möglichkeiten der Optimierung von Vorgängen, der verbesserten Ressourcenplanung und für den prozessbezogenen Personaleinsatz. Durch eine intelligente Warenwirtschaft entwickelt sich das klassische ERP-System (Enterprise Resource Planning) hin zu einem intelligenten und flexiblen Planungswerkzeug. Ziel ist beispielweise die 0-Fehler-Produktion bei größtmöglicher Termintreue. Dabei liegt ein großes Potenzial in der Verknüpfung aller produktionsnahen Systeme, wie z. B. Zustandsüberwachung, Produktionsplanung oder Prozessqualität. Über Schnittstellen können diese produktionsnahen Daten mit kaufmännischen Prozessen verknüpft werden. Optimierte Maschineneinstellungen führen zu verbessertem Energieverbrauch, Steigerung der Auslastung, zur Qualitätssteigerung und zur Minimierung des Rohstoffverbrauchs. Die sinnvolle Kombination all dieser Daten und Informationen aus prozessbezogenen Vorgängen wird durch ein intelligentes Produktionsplanungs- und Steuerungssystem zusammengeführt und analysiert. Durch Echtzeitprozessierung können Abweichungen und Probleme erkannt werden, es lassen sich Optimierungspotenziale erkennen und direkte Reaktionen während der Prozessabläufe durchführen – ermöglicht durch KI-Technologien. Zukünftig sind auch hybride KI-Systeme in der Produktion denkbar, die Daten aus verschiedenen Produktionsanlagen in der Cloud analysieren und entsprechende Modelle trainieren. Lokale, produktionsnahe KI-Systeme können dann periodisch mit den Modellparametern der KI aus der Cloud aktualisiert werden, um neben lokaler Produktionsoptimierung auch Effekte, die nur in sehr großen Datenmengen zu finden sind, zu berücksichtigen. Zusammengefasst kann man feststellen, dass der Einsatz von KI-Systemen es uns ermöglichen wird, neue Geschäftsmodelle enger an Kundenwünsche mit tiefgreifender Veränderung in einem Unternehmen umzusetzen.

# Forschungsbedarf für den industriellen KI-Einsatz

Eines der größten Hemmnisse für den Einsatz von KI-Technologien in Industrieprozessen besteht neben rechtlichen und sicherheitstechnischen Fragestellungen in der Datenknappheit in industriellen Anwendungen. Diese Datenknappheit kann nicht einfach durch Generierung und Speicherung von mehr Daten beantwortet werden, sondern muss von Seiten der algorithmischen Verfahren adressiert werden. Grund dafür ist, dass die für die industriellen Anwendungen relevanten Ereignisse in der Regel selten sind: Fehler an Geräten, Störungen im Produktionsprozess, Qualitätsprobleme oder Gefahrensituationen. Empirisch zeigt sich, dass klassische Deep-Learning-Verfahren erst ab einer Mindestanzahl von Beispieldatensätzen ihre volle Kraft zum Einsatz bringen können. Forschungsbedarf besteht daher hinsichtlich des Einbezugs von Domänenwissen in den maschinellen Lernprozess, in das Transferlernen sowie zu Methoden der Datenaugmentation für die Datentypen, die für den industriellen Einsatz besonders relevant sind, also insbesondere für Zeitreihen bzw. Signaldaten. Zudem muss weiterhin ein Fokus darauf liegen, die Digitalisierung weiter fortschreiten und effektiver werden zu lassen, beispielsweise über moderne Sensorik, bessere Interpretierbarkeit von Daten mittels Selbstbeschreibung, Modellierung und übergreifender Semantiken sowie flexible IoT-Kommunikationsinfrastrukturen.

Auch die erforderliche Genauigkeit und Leistungsfähigkeit der Verfahren für industrielle Anwendungen ist eine Herausforderung. Jedes Empfehlungssystem im Consumer-Bereich, das mehr als zehn Prozent Genauigkeit erreicht, ist bereits ausreichend. Doch selbst in einfachen industriellen Anwendungen wie der optischen Qualitätskontrolle oder der prädiktiven Wartung sind Vorhersage- oder Detektionsgenauigkeiten von weit über 90 Prozent erforderlich. Wie diese Anforderungen vor allem im Angesicht weniger Datenbeispiele und extrem unbalancierter Trainingsdatensätze erreicht werden können, ist eine offene Forschungsfrage.

Die Umsetzungen von Anwendungen des maschinellen Lernens und der KI im Allgemeinen erfordern neben Kenntnis der spezifischen Anwendungsdomäne auch datenwissenschaftliches Expertenwissen und lange Entwicklungszeiten. Dies macht viele grundsätzlich interessante industrielle Probleme wirtschaftlich völlig uninteressant. Eine höhere Automatisierung und verbesserte Zugänglichkeit der maschinellen Lernverfahren ist eine zentrale Voraussetzung für den Einsatz in der industriellen Breite. AutoML ist hier sicherlich ein sehr interessanter Ansatz, um das Fehlen von Datenwissenschaftlern zu kompensieren.

Soll KI in sicherheitskritischen Systemen eingesetzt werden, muss der Verlässlichkeit besonders Rechnung getragen werden. Heute erfolgreiche KI-Methoden sind häufig Black-Box-Verfahren, deren Verhalten und Entscheidungen nur sehr schwierig vorhergesagt oder auch nur analysiert werden können. Einerseits muss die Erklär- und Nachvollziehbarkeit der KI-Methoden verbessert werden, anderseits müssen Sicherheitskonzepte für den Einsatz von KI in sicherheitskritischen Systemen erarbeitet werden. KI ist nicht in erster Linie die Lösung, sondern eher Verfahren des Systemengineering. Auch Verfahren aus der Softwaretechnik wie das Modelchecking haben Potenzial, KI-Systeme abzusichern.

Für die Weiterentwicklung von Künstlicher Intelligenz im Industrieumfeld besteht Forschungsbedarf in den Bereichen Erklär- und Nachvollziehbarkeit der verwendeten Methoden, Umgang mit fehlenden Daten oder zu kleinen Datenmengen, Entwicklung von Methoden mit sehr geringer Fehlerquote sowie von Methoden mit geringem Konfigurations- und Engineeringaufwand. Insgesamt muss die Forschung das Thema KI in der Anwendung demystifizieren, durch intuitive Anwendung/Nutzung, nachvollziehbare Entscheidungsfindung und unter Berücksichtigung geringer Datenmengen.

Weitere relevante Forschungsgebiete sind Strategien für den Aufbau von Vertrauen in industrielle KI-Lösungen, die Beantwortung ethischer Fragestellungen bezüglich der Anwendung von KI in der Industrie sowie die bestmögliche Ausnutzung der Verbindung zwischen datengetriebenen und physikalischen Modellen in KI.

# KI in der gesellschaftlichen und industriellen Diskussion

Bei der Diskussion ethischer Aspekte[20] beim Einsatz von KI in der industriellen Produktion und spezifisch für Industrie 4.0 sind verschiedenste Facetten zu betrachten. So ist es wichtig zu unterscheiden, ob KI-Systeme einen signifikanten Einfluss auf das Leben der Menschen oder/und nur auf rein technische Prozesse haben. Hier geht es ausdrücklich nicht um Themengebiete, die eine „menschenähnliche Intelligenz“ im Sinne von „vollständiger Ersatz des Menschen durch Maschinen, die ihr eigenes Wertesystem und ihren Wirkungsbereich selbständig definieren“ haben. Dies wird in der Fachwelt unter dem Begriff der „starken KI“ diskutiert und hat keinen Bezug zu den derzeit betrachteten KI-Mechanismen. Industriell einsetzbare KI zielt auf eine menschenzentrierte KI ab, welche die Fähigkeiten des Menschen durch Automatisierung unterstützt.

Diese Diskussion gilt es hier anzuregen und auf eine sachbezogene Ebene zu führen. Dies bedingt eine hohe Transparenz bezüglich der Aussagen über die Chancen und Risiken der Technologie sowie auch der Folgenabschätzung.

### KI in der Industrie

Im industriellen Umfeld wird KI als ein technologisches Verfahren genutzt, welches sich auf Prozessverbesserung und -flexibilisierung, Optimierung von Kosten, Ressourcen, Zeit, Energie oder Anlagenleistung oder Automatisierung wissensbasierter Prozesse konzentriert.

Da industrielle KI-Anwendungen überwiegend technologischer Natur sind, ohne dass intensives menschliches Handeln erforderlich ist, erscheint der Hinweis auf einen ethischen Zweck nicht nützlich, um auf diese technischen Anwendungen angewendet zu werden. Dies bedeutet jedoch nicht, dass diese Anwendungen nicht vertrauenswürdig im Sinne von Richtlinien sind. Analog sind aus der Industrie verschiedenste Richtlinien bekannt, wie z. B. die der „Arbeitssicherheit“ oder der „Funktionalen Sicherheit“. Diese bauen auch auf einer Grundethik auf, die seit vielen Jahren sich weiterentwickelt und neben einem europäischen Charakter auch international verwendet wird.

20 Umgangssprachlich wird Ethik laut Duden als „Gesamtheit sittlicher Normen und Maximen, die einer [verantwortungsbewussten] Einstellung zugrunde liegen“ definiert, https://www.duden.de/rechtschreibung/Ethik#Bedeutung1a.

Im Hinblick auf das vorgestellte „Prinzip der Autonomie“ ist zudem anzumerken, dass Entscheidungen von Maschinen typischerweise aufgaben- und zielorientierten Algorithmen folgen, die von Menschen programmiert wurden. Auf der anderen Seite können tiefe neuronale Netze grundsätzlich einen Teil von KI bilden, der in eng abgegrenzten Bereichen unbeaufsichtigt agieren kann. Der Mensch gibt dabei allerdings den erlaubten Parameterraum vor und behält so die Kontrolle über das Ergebnis der selbstlernenden Netze. Nichtsdestotrotz gilt in der KI-Forschung aktuell selbsterklärende KI („explainable AI“) als eines der Gebiete, die das Vertrauen in eine autonomer agierende KI in Zukunft stärken können.

### Unsicherheiten in Bezug auf die Auswirkungen von KI-Anwendungen

Im Hinblick auf „Traceability & Auditability“ ist es wichtig, auch den Kontext der Anwendung zu unterscheiden. Wenn die Systeme einen signifikanten Einfluss auf das Leben der Menschen haben, sollten Laien die Kausalität der algorithmischen Entscheidungsfindung klar verstehen können. In einem technischen Prozess ohne Auswirkungen auf das Leben der Menschen können Experten diejenigen sein, die diese Anwendungen leiten und steuern. Da der zunehmende Einsatz von KI-Technologien den Industriesektor grundlegend verändert, muss die KI auch in Qualifizierungsmaßnahmen und in Programmen für lebenslanges Lernen integriert werden, um die notwendige Ausbildung und Unterstützung der Arbeitnehmer zu gewährleisten.

Ethik darf hierbei nicht zum Spielball im internationalen Wettbewerb werden, sondern muss in definierten Bereichen international anerkannten Leitlinien genügen. Diese Bereiche können applikative als auch regionale Bezüge haben, die durchaus unterschiedlichen Leitlinien entsprechen können. Ethik basiert in letzter Konsequenz auf Vertrauen und Akzeptanz. Ethische Leitlinien für eine vertrauenswürdige KI zu definieren ist eine Chance für Europa, um mit einem Framework für alle humanzentrierten KI-Anwendungen ein globales Angebot zu machen.

Die Festlegung spezifischer Richtlinien ist eine Voraussetzung für das Vertrauen von und in Unternehmen, um die digitale Transformation zu akzeptieren und innerhalb und außerhalb der industriellen KI schädliche Szenarien durch KI-Anwendungen zu vermeiden, also ohne übertriebene bürokratische und technische Hürden, um die damit verbundenen Kosten, z. B. für Bewertungs- und Überwachungssysteme in kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU), auf ein Minimum zu reduzieren. Die Plattform Industrie 4.0 will die Wichtigkeit der humanzentrierten KI hervorheben und die richtige Balance, zwischen einem vorsorgenden Ansatz und möglichen Einschränkungen bei der Weiterentwicklung der KI-Technologien, finden.[21]

21 S. auch das Dokument „PI 4.0_Statement_Draft Ethics Guidelines für Trustworthy AI 2019-02-01“ der Plattform Industrie 4.0.

# Fazit zur bisherigen Diskussion

Erste generelle Handlungsempfehlungen zeichnen sich in den Themenfeldern Akzeptanz, Fähigkeiten und internationale wirtschaftliche Nutzung ab. Bezüglich der Akzeptanz ist eine breitere gesellschaftliche Diskussion zum Thema KI und deren Folgeabschätzung in der Gesellschaft anzuregen sowie sachlich und transparent zu führen. Dies dient auf der einen Seite der Diskussion von Chancen und Nutzen und auf der anderen Seite soll es auch Menschen ermutigen, sich mit dem Thema auseinanderzusetzen und KI-Methoden und Anwendungen weiter zu gestalten. Es ist notwendig, Ausbildung und Qualifikation zu fördern, um den hohen aktuellen und stetig wachsenden Bedarf an Technologie- und Methoden-Experten sowie Anwendungs-Experten, die den Transfer von Methoden auf die realen Applikationen ermöglichen können, zu befriedigen. Neben den Experten und Wissenschaftlern sind vor allem auch die Nutzer und Entscheider einzubeziehen. Sie müssen sich mit dem Verhalten autonomer durch KI gesteuerter Prozesse beschäftigen, mit diesen zusammenarbeiten und evtl. auch Anweisungen von autonomen Prozessen entgegennehmen.

Neuartige Prozesse und Gestaltungsmöglichkeiten durch die KI werfen automatisch auch Fragestellungen bezüglich gängiger Standards und Richtlinien auf, die sich häufig, wie z. B. in der funktionalen Sicherheit und beim Arbeitsschutz, auf geplante und zum Teil zertifizierte Verfahren und Systeme beziehen und noch keine Antwort auf die Nutzung dynamischer Entscheidungsprozesse in KI-Systemen kennen. Des Weiteren ist die Förderung der Weiterentwicklung von Technologien und methodischem Wissen erforderlich. Dies bedingt, nicht nur die fachlichen Fähigkeiten der KI zu fokussieren, sondern muss auch eine Auseinandersetzung mit Branchenwissen, Quellen von qualifizierten Daten und des industriellen Umfeldes, wie z. B. bei der KI-Nutzung in kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU), umfassen.

Die Nutzung von KI wird durch den Zugriff auf Informationen und qualifizierte Daten gefördert. Die besondere Herausforderung besteht auf der einen Seite in der Trainingsphase, wo die Nutzung von qualifizierten Daten im Vordergrund steht, und dem Betrieb solcher Systeme, mit Echtzeit- und/oder Historiendaten. Somit ist die Bereitstellung von Methoden zur Nutzung von Trainingsdaten und Nutzdaten für die Wirtschaft (Erprobung neuer Geschäftsmodelle und Funktionalitäten) und Forschung (Weiterentwicklung der KI) zu ermöglichen. Dies bedingt eine föderale Datenlandschaft, in denen sich Firmen und ihre Kunden applikativ zusammenfinden, Firmennetze und Konsortien sich auf gemeinsame Informationen und Regeln einigen können und sich auch Wirtschaft wie Wissenschaft mit z. B. treuhänderisch bereitgestellten Informationen aus einem Datenpool von qualifizierten Daten bedienen können. Die politische Herausforderung liegt hierbei in der internationalen Vernetzung und Regelung der Datennutzung. Hier gilt es international anerkannten Leitlinien für den Umgang mit KI und den benötigten Daten zu formen. Ethik darf hierbei nicht zum Spielball im internationalen Wettbewerb werden.

## AUTORINNEN UND AUTOREN

Klaus Ahlborn, Gerd Bachmann, Fabian Biegel, Jörg Bienert, Prof. Dr. Svenja Falk, Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay, Dr. Thomas Gamer, Kai Garrels, Dr.-Ing. Jürgen Grotepass, Dr. Andreas Heindl, Jörg Heizmann, Claus Hilger, Dr. Martin Hoffmann, Dr. Michael Hoffmeister, Michael Jochem, Johannes Kalhoff, Martin Kamp, Prof. Dr. Stefan Kramer, Dr. Bernd Kosch, Christoph Legat, Dr. Jan Stefan Michels, Dr. Alexander Mildner, Dr. Andreas Nettsträter, Rohitashwa Pant, Dr. Reinhard Pittschellis, Thomas Schauf, Dr. Hans-Jürgen Schlinkert, Dr. Marco Ulrich, Guido Zinke.



Die vorliegende Publikation ist das Ergebnis der Arbeit der Arbeitsgruppe „Technologie- und Anwendungsszenarien“ und der Arbeitsgruppe Künstliche Intelligenz. An der Erstellung dieses Reports haben federführend die genannten Mitglieder des Redaktionsteams mitgewirkt.

www.plattform-i40.de