

WEGWEISER



**KI in der Industrie 4.0:
Orientierung, Anwendungsbeispiele,
Handlungsempfehlungen**

Impressum

Herausgeber

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

Redaktionelle Verantwortung

Geschäftsstelle Plattform Industrie 4.0
Bülowsstraße 78
10783 Berlin

Gestaltung

PRpetuum GmbH, München

Stand

Mai 2020

Bildnachweis

Getty Images – Monty Rakusen (Titel, S. 9)
Shutterstock – KoSSsmoSSS (S. 3)
Shutterstock – Unique Vision (S. 4)
Phoenix Contact GmbH & Co. KG (S. 10)
Fraunhofer IOSB-INA – SmartFactoryOWL (S. 36)
Getty Images – andresr (S. 38)
iStock – Mazirama (S. 41)

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 Broschüre ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Nicht zulässig ist die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben von Informationen oder Werbemitteln..



Inhalt

1	Einleitung	3
2	KI in der Industrie 4.0	4
3	Inhalt dieser Publikation	9
4	Beispiele für den Einsatz von KI in Industrieabläufen	10
	4.1 Smarte Produktentwicklung	10
	4.2 Auslegung einer Anlage	13
	4.3 Mensch-Technik-Interaktion	17
	4.4 Selbstorganisierende adaptive Logistik	22
	4.5 Pick-and-Place-Robotik	25
	4.6 Selbstoptimierende Laserschneidanlage	28
	4.7 Weitere Anwendungsbeispiele aus der KI-Landkarte der Plattform Lernende Systeme	33
5	Reallabor für die Anwendung von KI in der Industrie 4.0	36
6	Fazit	38
	6.1 Orientierung	38
	6.2 Herausforderungen und Handlungsempfehlungen	38
7	Auswirkungen der KI auf die Anwendungsszenarien	41
8	Referenzen	53

1 Einleitung

„Künstliche Intelligenz“ (KI) oder auch „Artificial Intelligence“ (AI) wird im Zeitalter der Digitalisierung und der damit erzeugten zunehmenden Datentransparenz einen wesentlichen Beitrag für den Produktnutzen und damit auch für nachhaltige Geschäftsmodelle liefern. Daten werden durch „Internet of Things“ (IoT) und Industrie 4.0-Mechanismen zwischen digitalen und physikalischen Produkten, komplexen Systemen und Lösungen einerseits transferiert und semantisch genutzt und andererseits in Prozessketten bis hin zu Geschäftsmodellen prozessual verwendet.

Der Nutzen wird bereits heute für die industriellen Produkte und Produktionssysteme sichtbarer und lässt sich an Beispielen und konkreten Umsetzungen von KI-Methoden in der Produkt- und Geschäftsmodellgestaltung erkennen. Für die industrielle Produktion sind die Themen der Wirtschaftlichkeit, Effektivität und Verfügbarkeit ein wesentlicher Treiber. KI befähigt hier die technischen Systeme, sich funktional zu entwickeln und sich autonomer und robuster gegenüber äußeren Einwirkungen zu verhalten. Maschinelles Lernen ermöglicht einerseits Funktionalitäten, die durch traditionelle Programmierung nicht zu erzielen sind, und verspricht andererseits überlegene Performance auf Gebieten, auf denen der Mensch tätig ist. Dieser Einfluss hat Auswirkungen auf die Fähigkeiten von Produkten, die Interaktion von Produkten, Maschinen und Systemen untereinander und auf die Entwicklung von industriellen Geschäftsmodellen, die den durch KI erzeugten Nutzen monetarisieren. Neben dem Nutzen spielt aus Anwendersicht auch zunehmend die Vertrauenswürdigkeit einer KI-Lösung eine große Rolle. Aus diesem Grund fördern die Bundesregierung und die Europäische Union (EU) die Forschung, Entwicklung und Anwendung vertrauenswürdiger KI.

Die Plattform Industrie 4.0 hat mit ihrer Projektgruppe Künstliche Intelligenz (PG KI) in ihrem ersten Arbeitspapier die Implikationen von KI auf die industrielle Produktion adressiert. Sie arbeitet in der Plattform Industrie 4.0 mit den verschiedensten Arbeitsgruppen (Standards, Anwendungsszenarien, Sicherheit, Recht, Arbeit und Geschäftsmodelle) zusammen und vernetzt sich mit wesentlichen Organisationen, Plattformen und politischen Gremien. Hierzu zählen zum Beispiel die Verbände Bitkom, VDMA und ZVEI, die Begleitforschung des BMWi Technologieprogramms Smart Service Welt II, der Bundesverband KI oder auch die Plattform Lernende Systeme.

Das nachfolgende Papier fokussiert auf die industrielle Produktion und gibt Auskunft über die Wirkungsweise von KI in möglichen konkreten Nutzungsszenarien und welche möglichen Fragen und Auswirkungen diese verursacht. Sie sollen es dem Leser erlauben, die richtigen Fragen für eine mögliche Nutzung in seiner Anwendung zu stellen. KI erweitert die menschlichen Fähigkeiten und dient hier vor allem der Komplexitätsbeherrschung.

Ziel ist es, hierzu die Entscheider (Anwender wie Hersteller), Techniker aus der industriellen Produktion und der IT sowie Vertreter von Verbänden, Wissenschaft und der Standardisierung anzusprechen und zu unterstützen, sich mit dem Thema KI in ihrer eigenen Produktion, Produktgestaltung, Geschäftsmodellentwicklung oder Gremienarbeit zu befassen. Die nachfolgenden Beispiele sollen Anregungen geben, um diesen Prozess zu aktivieren. Hierzu sind diese mit vorstellbaren Ansätzen für die KI-Nutzung belegt und über das Mittel der Autonomiestufen und die Rolle des menschlichen Eingriffs in bestehenden und zukünftigen Szenarien beschrieben.



2 KI in der Industrie 4.0

In der Publikation „KI in der Industrie 4.0“ wurde mit der Einführung von Autonomiestufen ein Vorschlag zur Kategorisierung unterschiedlich ausgeprägter autonomer Prozesse bei der industriellen Automation gegeben. Diskutiert wird dabei der Grad des autonomen Handelns, welcher von der Selbstständigkeit abhängt, mit der das System im Rahmen gesetzter Systemgrenzen komplexe Situationen automatisiert und selbstlernend bewältigen kann. Mit dieser Kategorisierung werden die KI-bedingten Gestaltungsmöglichkeiten von den rein manuellen bis zu den vollständig autonomen Prozessen eingestuft. Diese Taxonomie der KI-Wirkung in der industriellen Produktion wurde im Rahmen der Plattform Industrie 4.0, in ihren Arbeitsgruppen und unter Mitwirkung der Plattform Lernende Systeme sowie der Begleitforschung zum Technologieprogramm Smart Service Welt II des BMWi erstellt.

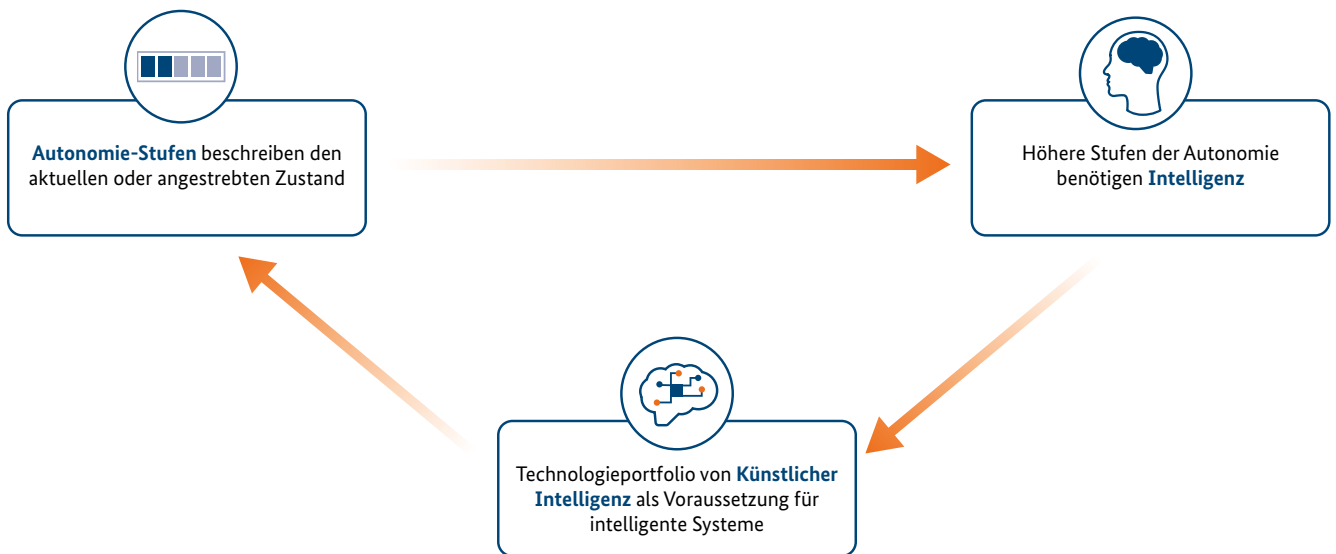
In der Industrie 4.0 wird die heutige, stark produktzentrierte Fertigung durch lösungs- und kundenzentrierte Konzepte ersetzt. Starre, vordefinierte Fertigungs- und Wertschöpfungsketten werden zukünftig in flexible und hochdynamische Produktions- und Dienstleistungs-Ökosysteme überführt. Diese werden auftragsbasiert eine vollständig individualisierte Produktion ermöglichen. Bisher wurden diese Anforderungen durch den Menschen organisiert und bearbeitet. Zukünftig sollen nun mit Unterstützung von KI die in der industriellen Produktion angewendeten Fertigungs- und Logistikstrategien optimiert werden. Ausgehend von kundenindividuellen Anforderungen organisieren Produktionssysteme den Fertigungsprozess autonom und optimieren via KI selbstständig die Fertigungs- und Logistikstrategien. Essenziell für das Funktionieren der KI-Steuerung unterschiedlichster Unternehmensbereiche wird die Verfügbarkeit von Daten und Informationen sein.

Eine KI-gesteuerte Maschine wird umso besser, je mehr Trainingsdaten bereitstehen. Neben direkten Maschinen- und Prozessdaten aus einem Unternehmen können auch allgemeine Informationen oder auch Daten aus firmenübergreifenden Datenbanken nutzbringend sein.

Dabei sind Technologien der KI aus Sicht der Industrie als Methoden und Verfahren zu verstehen, die es technischen Systemen ermöglichen, ihre Umwelt wahrzunehmen, das Wahrgenommene zu verarbeiten, selbstständig Probleme zu lösen, neue Lösungswege zu finden, Entscheidungen zu treffen, insbesondere aus Erfahrung zu lernen und dadurch bei Aufgaben besser zu werden und konkret zu handeln. Durch den KI-Einsatz soll mehr Autonomie bei solchen industriellen Vorgängen erreicht werden, die kognitive Leistungsfähigkeit benötigen (siehe hierzu Abb. 1). So soll die Notwendigkeit menschlicher Eingriffe in den Abläufen vermindert werden. Die primären Ziele der Anwendung von KI sind Kostenreduktion, Zeitersparnis, Qualitätsverbesserung und Erhöhung der Robustheit industrieller Prozesse. Gleichzeitig ermöglicht es KI 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. In weiterer Folge ist vorstellbar, dass KI vollständig neue Produkte entwirft und vorschlägt. Unabdingbar dabei ist aber, dass nur solche KI-bedingten Entscheidungsfindungen zulässig sind, die in vorgegebenen Systemgrenzen ablaufen.

Grundlegend für die in der ersten Publikation dargelegte Beschreibung der Autonomiestufen ist die Rolle des Menschen im Wertschöpfungsprozess in Bezug auf den Umfang der automatisierten Aufgaben. So beschreibt eine Auto-

Abbildung 1: Genereller Zusammenhang von Autonomie und KI



Quelle: Plattform Industrie 4.0

Autonomiestufe 0 den Betrieb einer industriellen Produktion ohne KI-basierte Automatisierung, bei welcher der Mensch die volle Kontrolle und Verantwortung hat, während Autonomiestufe 5 einen vollständig autonomen Betrieb der Produktion unter KI-Führung beschreibt, bei welchem die gesamte Entscheidungsfindung und Ausführung vom KI-System übernommen wird. Die Autonomiestufen 1–4 beschreiben dementsprechend die Abstufungen dazwischen (siehe hierzu Abb. 2).

Diese Beschreibung der Autonomiestufen weist eine kontinuierliche Veränderung der Verantwortung des Anlagenbetriebs vom Menschen hin zum autonomen System aus. In den Autonomiestufen 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 die zentrale Verantwortung. Es kommen also programmierte Lösungen und Assistenzsysteme zum Einsatz, denen der Anwender wie gewohnt bei Erfüllung von Lasten- und Pflichtenheft vertrauen kann. In den Autonomiestufen 4 und 5 übernimmt das System die Verantwortung – zunächst für Teilbereiche und Teilaspekte, dann für die komplette Anlage. Der Mensch spielt hier größtenteils eine passive Rolle. Autonomiestufe 3 beschreibt eine Übergangssituation, in der der Mensch gewisse Entscheidungen des Systems noch bestätigt. Die Autonomiestufen 3 bis 5 setzen hohe Ansprüche an die Zuverlässigkeit und die Vertrauenswürdigkeit des Systems. Daher gibt es beim Übergang von Autonomiestufe 2 zu

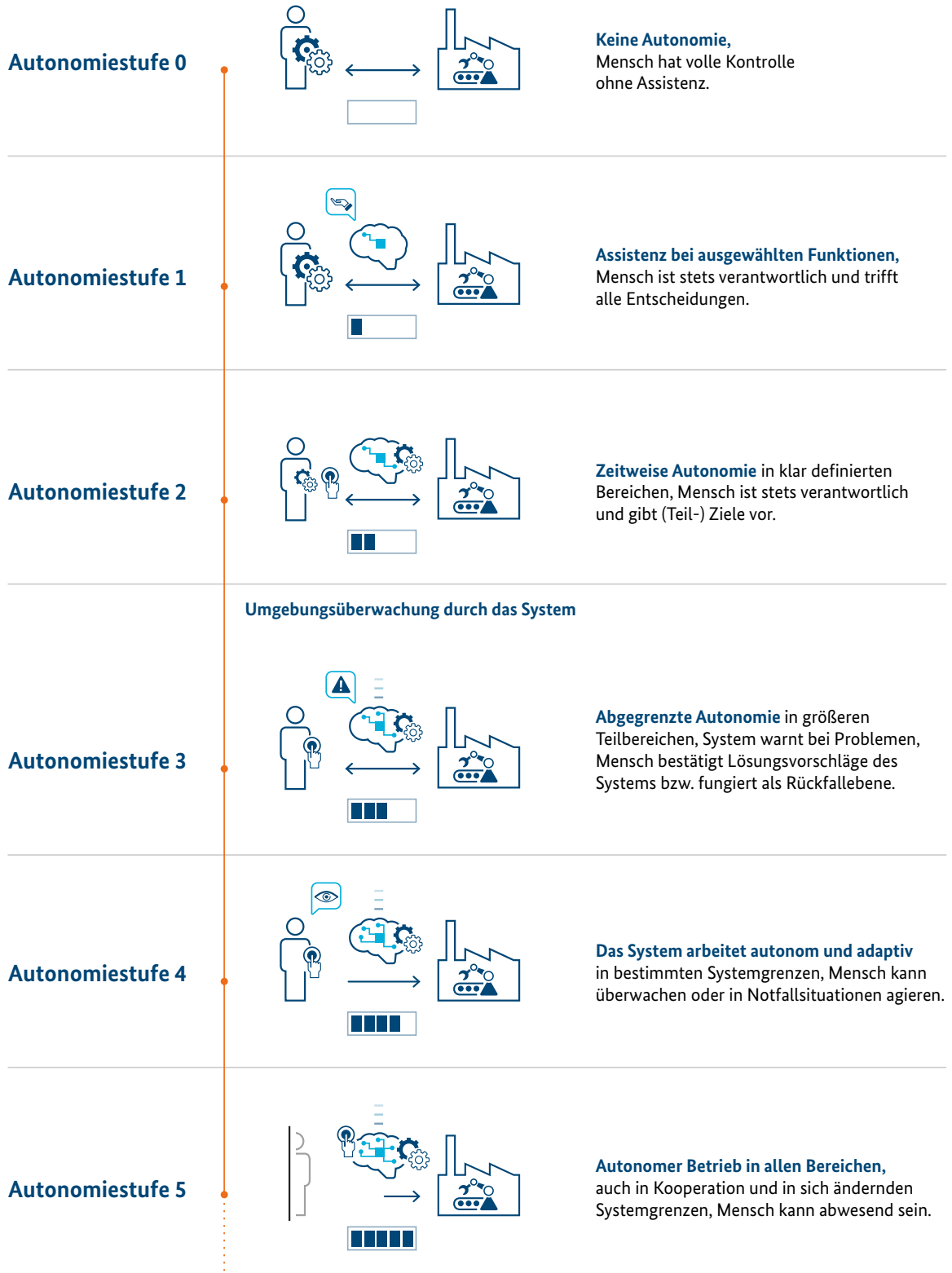
Autonomiestufe 3 eine wichtige Randbedingung: Das System muss seine Wirkumgebung überwachen, um z. B. auf unvorhergesehene Einflüsse reagieren zu können. Auf der anderen Seite spielt nun das Vertrauen in die Ergebnisse eine besondere Rolle, da die Ergebnisse der KI evtl. von den bisherigen Erfahrungen abweichen können.

Autonomie findet 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 für welche Funktionen KI wirken darf. Dabei unterliegt der Grad der Autonomie eines Systems nicht notwendigerweise nur technischer Limitierung der KI, sondern wird durch weitere Aspekte wie rechtliche Rahmenbedingungen, Abschätzung der Vor- und Nachteile des menschlichen Handelns oder Forderungen hinsichtlich Datensicherheit und Vertrauenswürdigkeit beeinflusst.

Die verschiedenen Autonomiestufen können wie nachfolgend differenziert werden:

- In Autonomiestufe 0 erfolgt die Steuerung von Industrieprozessen rein durch programmierte Wenn-dann-Routinen beziehungsweise klassische Automatisierungs- und Steuerungstechnik. Dies erfolgt meist über eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS). Algorithmen der KI sind hierbei nicht involviert.

Abbildung 2: Autonomiestufen der Industrie



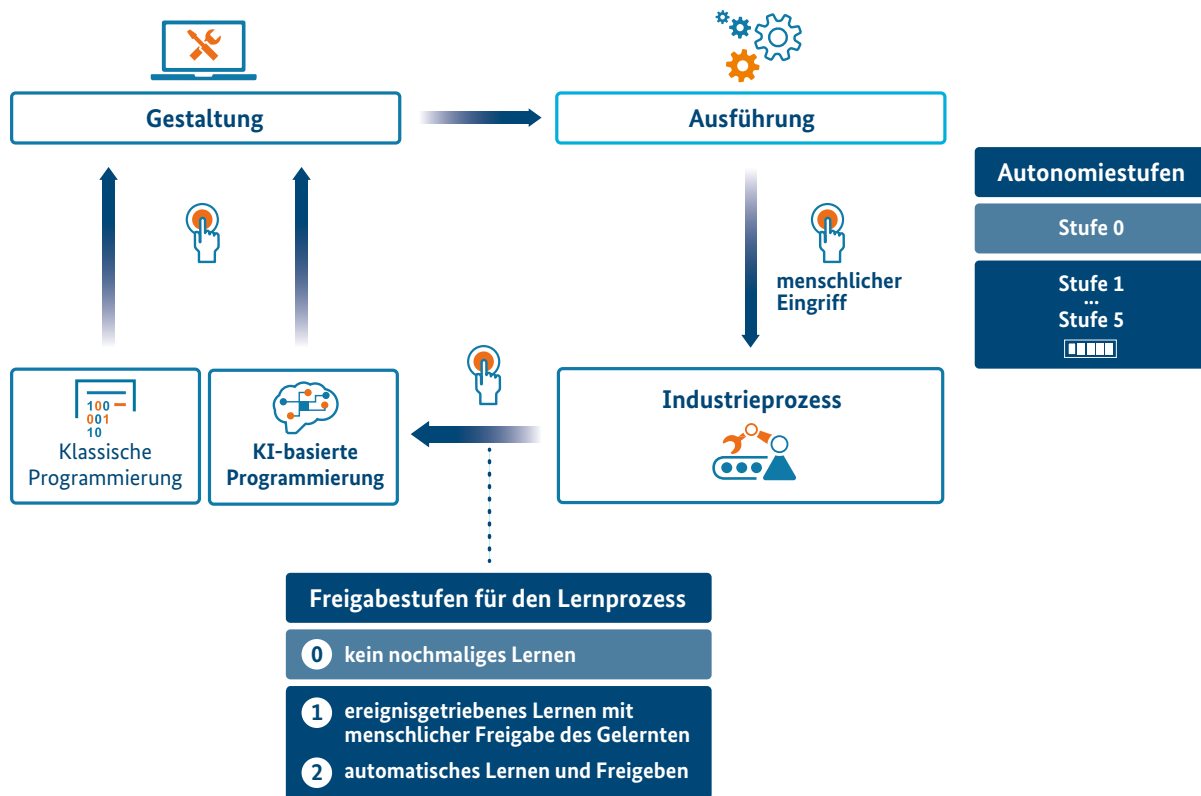
- In Autonomiestufe 1 leistet das KI-System Unterstützungsfunktionen und dient somit als Assistenzsystem. Die Verfahren der KI ermöglichen dabei die Interpretation komplexer und mehrdeutiger Informationen, beispielsweise von menschlicher Sprache oder aus Bildern. KI-unterstützte Schnittstellen können dem Bediener Hilfestellungen zukommen lassen, ihn vor Bedienfehlern schützen und ihm anhand der erkannten Nutzungswünsche Optimierungen und Vorhersagen bereitstellen.
- In Autonomiestufe 2 werden einfache Aufgaben automatisiert oder an Automatisierungssysteme delegiert, während die komplexeren Aufgaben in der Hand des Bedieners verbleiben. Das System übernimmt in definierten Bereichen und im gewünschten Umfang für eine begrenzte Zeit die Kontrolle für diese einfachen Aufgaben, wird dabei aber durch den Menschen überwacht. In jedem Fall findet am Ende eine Ergebniskontrolle durch den Menschen statt.
- In Autonomiestufe 3 werden einfache Fertigungsprozesse KI-gesteuert durchgeführt. Zum Beispiel wird selbstständig der Not-Aus betätigt oder die Anlage in einen abgesicherten Modus gefahren, wenn eine akute Überlastung mittels der Sensordaten erkannt wird. Durch diese Teilautonomie kann nicht nur der Produktionsablauf optimiert, sondern auch die Down-Time reduziert werden, weil Material und andere Ressourcen eingespart werden können und die Zeit für einen Werkzeugtausch unter Umständen ganz eingespart werden kann. Der Mensch bestätigt nur noch gewisse vorgeschlagene Lösungsstrategien oder unterstützt in spezifischen Problemstellungen, d. h. er greift ein, wenn das System ihn alarmiert.
- In Autonomiestufe 4 agiert das System in größeren Teilbereichen adaptiv und autonom. Ein solches System kann z. B. anhand vorgegebener Kennzahlen eine Optimierung der Fertigungsstrategie durchführen, sich über fortgesetzte Lernphasen verbessern und damit Probleme immer besser vorhersehen und auch lösen, natürlich stets innerhalb der gesetzten Systemgrenzen. Der Mensch überlässt dem System die Kontrolle über eine begrenzte 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.
- In Autonomiestufe 5 verläuft der Betrieb einer Anlage oder eines umfangreichen Vorgangs in allen Bereichen vollständig autonom, aber immer noch innerhalb abgesteckter Systemgrenzen. Das System arbeitet selbstorganisierend adaptive Lösungen aus und wendet diese an. Dabei kann der Mensch vollständig abwesend sein, es ist keine Nutzerinteraktion zum Betrieb der Anlage erforderlich. Falls wirklich ein nicht zu beherrschender Notfall eintritt, fährt das System selbstständig in einen sicheren Zustand.

Für einfache Automatisierungsvorgänge in der industriellen Prozessführung reicht die klassische Programmierung in Kombination mit zusätzlichem menschlichen 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 stets das exakt gleiche Ergebnis erzielt wird. Vielmehr erfolgt durch die KINutzung eine fortlaufende Prozessoptimierung. Dabei sind auch nicht direkt erwartete Lösungsvorschläge durch das KI-System zugelassen. Die dabei getroffenen Entscheidungen sollten aber immer plausibel sein und möglichst einer intendierten Vorgehensweise entsprechen. In Problemfällen wird dann von der KI auf der Basis ihres gelernten Wissens eine Entscheidung getroffen.

Die Diskussion des Einflusses von KI auf industrielle Vorgänge lässt sich in die beiden Phasen Entscheidungsfindung (Regelerstellung/Gestaltung) und Handlungsausführung (Regelausführung) einteilen. Diese sind gleichzusetzen mit den menschlichen Fähigkeiten, Entscheidungen zu fällen und diese umzusetzen (siehe hierzu Abb. 3).

Bei der KI-unterstützten Gestaltung wird das System durch initiales Lernen trainiert. Der trainierte Teilbereich wird dann zusammen mit klassisch programmierten Teilbereichen zur Ausführung eines Industrieprozesses gebracht. Der für den Regelteil „Ausführung“ maßgebliche KI-Einfluss lässt sich anhand der beschriebenen Autonomiestufen einteilen. Bei der Phase „Gestaltung“ des zu initiiierenden 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 Prozess-

Abbildung 3: Gestaltung und Ausführung von KI-Prozessen



Quelle: Plattform Industrie 4.0

steuerung erhalten darf. Einerseits sind Daten zur Optimierung eines Vorgangs nötig, andererseits ist aber eine Überanpassung (sogenanntes Overfitting) zu vermeiden. Denn durch Überanpassung kann eine bestehende Problemlösung auch verschlechtert werden. Der Freigabevorgang für das automatische Lernen lässt sich grob in drei Stufen einteilen:

Freigabe-Stufe 0 – Manuelles Lernen

Eine automatische Erweiterung des Wissens findet nicht statt.

Freigabe-Stufe 1 – Ereignisgetriebenes Lernen mit menschlicher Freigabe

Die KI sammelt selbstständig 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 selbstständig Daten, generiert neues Wissen und nutzt dieses, um ihr Verhalten innerhalb der gesetzten Systemgrenzen anzupassen. Die Regelanpassung erfolgt komplett automatisch und ohne einen manuellen Eingriff.

Durch den Einsatz von KI-basierter Programmierung soll der Mensch 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. KI als Werkzeug des Menschen schafft hierfür neue Perspektiven und kann ein zentraler Baustein von Industrie 4.0 werden. Die Herausforderung hierbei ist, den Übergang zum automatisierten Freigabeverhalten zu definieren, um das Verhalten des KI-Systems zu akzeptieren und damit das Vertrauen in dieses herzustellen.



3 Inhalt dieser Publikation

Die nachfolgenden Applikationsbeispiele basieren auf den Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0 und haben den Zweck, diese für KI-Anwendungen greifbar zu machen. Damit erhält der Leser die Möglichkeit, die eigenen Applikationen und Produkte bezüglich der Anwendung von KI-Methoden zu reflektieren, Potenziale zu erkennen und Entscheidungen für weitere Schritte abzuleiten.

In diesem Papier geht es nicht darum, die unterschiedlichen Methoden der KI zu beschreiben und ihr Einsatzpotenzial zu differenzieren, sondern Ziel ist es, Beispiele für die Wirkung von KI im industriellen Umfeld zu geben. Auf diese Weise wird der Nutzen für Produkte, Wertschöpfungsstrecken und Geschäftsmodelle aufgezeigt. Dabei ist es nicht generell möglich, eine Empfehlung für eine tatsächlich anzuwendende KI-Methode zu geben. Diese Empfehlung ist von den jeweiligen technischen Gegebenheiten, den zur Verfügung stehenden Ressourcen und der Datenverfügbarkeit sowie dem zu erzielenden Autonomiegrad abzuleiten.

Grundsätzlich ist die oben beschriebene Vorgehensweise der Definition der Systemgrenzen, der angestrebten Auto-

nomiestufe und der Methodik, Ergebnisse der KI in die Produktgestaltung zu übernehmen beziehungsweise auch einen höheren Autonomielevel zu erreichen, eine wirkungsvolle Herangehensweise, sich dieser Herausforderung zu stellen. Dies schließt Fragestellungen im Zusammenwirken mit den handelnden Personen, der rechtlichen Einschätzung im Umgang mit Daten, auch über Unternehmensgrenzen hinweg, sowie die Wirkung des KI-Einsatzes in Abstimmung mit der Erwartungshaltung des Zielkundenkreises mit ein.

Obwohl im Text nicht auf einzelne KI-Methoden Bezug genommen wird, wird gelegentlich auf Methodenfamilien verwiesen, beispielsweise für die Erkennung von Anomalien (anomaly detection), für generative Modelle (generative models), für das Transferlernen (transfer learning), für unüberwachtes Lernen (unsupervised learning) und für teilüberwachtes Lernen (semi-supervised learning). Zu diesen Themen können durch einfache Recherche gute Übersichtsartikel (survey articles) gefunden werden. Zudem sind die Definitionen in der Encyclopedia of Machine Learning, erschienen im Springer Verlag, zu empfehlen.



4 Beispiele für den Einsatz von KI in Industrieabläufen

Die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Anwendungsbeispiele zur KI-Wirkung in industriellen Prozessabläufen können den in Kapitel 7 aufgeführten Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0 wie folgt zugeordnet werden:

Tabelle 1: Beispielzuordnung zu den Anwendungsszenarien

Smarte Produktentwicklung	IPE/TWP/VBS
Auslegung einer Anlage	DDA
Mensch-Technik-Interaktion	MTI
Selbstorganisierende adaptive Logistik	SAL
Pick-and-Place-Robotik	WFF
Selbstoptimierende Laserschneidanlage	WFF/IPE

4.1 Smarte Produktentwicklung

Nutzung von Laufzeitdaten zur Produktverbesserung

Die Einstellung von Rotorblättern in Windkraftanlagen (Pitch-Antrieb) und die hierzu eingesetzten Antriebssysteme und Regeleinheiten bilden komplexe dynamische Systeme, deren Funktionalität und Verfügbarkeit einen wesentlichen Einfluss auf den Wirkungsgrad von Windkraftanlagen haben.

Um die Funktionalität und die Verfügbarkeit zu erhöhen, werden Daten aus verschiedensten Windkraftanlagen gesammelt, durch KI-Methoden aufbereitet und als Service für die Maintenance und Produktpassung verwendet.

Die Produktentwicklung wird datenbasiert und durch KI unterstützt, und Systemverbesserungen können adaptiv mit zunehmender Autonomie bereitgestellt werden. Dieses Beispiel unterstützt den Use Case „Collaborative Condition Monitoring“ (CCM) der Plattform Industrie 4.0.

Problematik, Zielstellung, Anforderungen

Die Anforderungen der Kunden an Flexibilität, Interoperabilität und kundenindividuelle Produktgestaltung nehmen stetig zu. Die notwendige Erstellung und Optimierung von Produkten ist abhängig von der Zielapplikation und der spezifischen Verwendung in konkreten Anwendungsfällen. Diese Informationen zu ermitteln, auszuwerten und in neue oder angepasste Produkthanforderungen umzuwandeln, ist eine Herausforderung für jeden Hersteller. Dieses gilt nicht nur für die Erstellungsphase des Angebotes, sondern zieht sich auch durch die gesamte Vermarktungsphase und individuelle Produktnutzung – und damit insbesondere durch die Betriebsphase der Produkte. Typisch ist dabei insbesondere in der industriellen Fertigung, dass Produkte in anderen Produkten verbaut werden, also der Sensor in das Getriebe, das Getriebe in die Maschine, die Maschine in eine Anlage, die wiederum von einem Betreiber betrieben wird. Das führt zu unmittelbaren wie zu mittelbaren Beziehungen zwischen Komponentenhersteller, Integrator und Betreiber. Damit alle die Potenziale von KI zu aller Nutzen ausschöpfen können, bilden sie sozusagen eine „Schicksalsgemeinschaft“ für die Verfügbarkeit von Daten.

Das Beispiel eines Offshore-Windparks soll das verdeutlichen: Offshore-Windparks vor deutschen Küsten bestehen zur Zeit aus bis zu 80 Windkraftanlagen. Da die manuelle Wartung vor Ort nur mit erheblichem Aufwand möglich ist, und bei strengen Wetterlagen sogar unmöglich, hat der Betreiber ein immenses Interesse, Wartung und Reparatur so gering wie möglich zu halten und zudem möglichst optimal zu kombinieren und voranzuplanen. Dieser starke Businessstreiber hat dazu geführt, dass der Windkraftanlagen-Betreiber, der Windkraftanlagenhersteller und diverse Komponentenhersteller hier wesentlich enger zusammen arbeiten als sonst üblich.

Nutzenpotenziale und Zielstellung für weiteren Nutzen durch KI

In diesem Anwendungsbeispiel wird der Pitch-Antrieb, für die Einstellung von Rotorblättern in Windkraftanlagen, und der Rückfluss von Daten aus der Nutzung einzelner Anlagen bis hin zu ganzen Windparks verschiedenster Anwender und Windkraftanlagenhersteller durch den Hersteller des Antriebs betrachtet. Hierzu sind die Komponenten des Antriebs mit entsprechender Sensorik ausgestattet, die die aktuellen Daten über eine Netzwerkanbindung

dem Hersteller des Antriebs und dem Windkraft-Betreiber bereitstellen. Für die Bereitstellung der Daten erhält der Windkraftanlagen-Betreiber einen Verfügbarkeitservice des Windkraftanlagenherstellers. Der wiederum erhält einen Verfügbarkeits- und Optimierungsservice für den Antrieb durch den Antriebshersteller. Beide Hersteller nutzen ihrerseits die Daten, um ihr Produkt zu verbessern und weitere Services anzubieten.

Der Rückfluss von Betriebsdaten wird u. a. von einer smarten Produktentwicklung genutzt, um neue Produkte und Dienste zu entwickeln sowie die Optimierung bestehender Produkte und Dienste in der Produktnutzung im Kontext der jeweiligen Anwendung vorzunehmen.

Im Ergebnis werden Dienste und der Zugriff auf Informationen entlang der Erstellung und Nutzung von Produkten und Systemen, Bestandteilen zukünftiger Produkte, Dienstleistungen und Geschäftsmodellen entwickelt. Dieses Anwendungsbeispiel basiert auf dem Use Case „Collaborative Condition Monitoring“ (CCM) der Plattform Industrie 4.0. In diesem Fall werden Laufzeitdaten des Antriebs gemessen und mit Laufzeitdaten anderer Antriebe verglichen.

In der Summe ergeben sich für alle Beteiligten erhebliche Vorteile, insbesondere auch durch den Einsatz von KI-Algorithmen, die erst durch die Verfügbarkeit der operativen Daten und ihrer Historie ermöglicht werden:

Der Betreiber erhält detaillierte, hochqualitative Vorhersageinformationen über den aktuellen und den zu erwartenden Zustand seiner Windkraftanlagen, auf Anlagenebene (Reibungswärme, Schwingungen) und eben auch auf Komponentenebene (Getriebe, Generator, Bremse). Aufgrund seines großen Business-Drucks wird er darauf drängen, auch diese detaillierten Komponentenanalysen zu erhalten, die nur ein Komponentenhersteller bieten kann.

Der Windkraftanlagen-Integrator kann seine gesamte Windkraftanlage dem Kunden mit einem höheren Servicelevel, mit Ausfallgarantie oder Ähnlichem anbieten – bis hin zu ganz neuen Geschäftsmodellen. Der Integrator nutzt dabei sowohl die Daten des Betreibers als auch die Services der Komponentenhersteller und kann auf seiner Ebene (Windkraftanlage) eigene Algorithmen für seine Anlage herstellen und anbieten. Darüber hinaus fließen alle Erkenntnisse in das Engineering besserer, zukünftiger Produktlinien ein.

Der Komponentenhersteller hat den am tiefsten reichenden Einblick in die technische Konstruktion, da er seine Komponenten bis ins Detail kennt und beherrscht. Ausgestattet mit den operativen Daten seiner Komponente kann er darauf aufbauend neue Algorithmen und Services entwickeln, die er sowohl dem Integrator als auch dem Anlagenbetreiber anbieten kann. Darüber hinaus stehen ihm die Daten für ein verbessertes Engineering künftiger Produktgenerationen zur Verfügung.

Applikationsbezogene Autonomiebeschreibung

Im Gegensatz zu den bisherigen Methoden der Produktentwicklung bzw. -veränderung können durch den Einsatz von KI weite Bereiche automatisiert beziehungsweise sogar komplett autonom erfolgen. Dies wird immer dort sichtbar, wo abgrenzbare Bereiche und klare Zielvorgaben die Wertschöpfung signifikant beeinflussen können.

- **Autonomiestufe 0:** Das Produkt wird entwickelt und in den Markt gebracht. Über Kundengespräche in den Phasen Vertrieb, Service, oder Rückmeldung von Rückläufern, sowie durch eine aktive Marktbeobachtung werden Erkenntnisse über die Nutzung der Produkte gewonnen. Diese fließen in die nachfolgende Produktgeneration ein. Im Betrieb läuft die Anlage mit getakteter Instandhaltung nach festen Zeitplänen oder eben, bis eine Störung auftritt und die Anlage keine Energie mehr liefert.
- **Autonomiestufe 1:** Das Produkt liefert Informationen über die Nutzung, z. B. über entsprechende Live Dashboards. Die KI wertet die Daten aus und stellt diese für eine neue Produktversion bereit. Nutzdaten aus dem Betrieb der Windkraftanlage werden im Sinne des Condition Monitoring genutzt, um Lastverhalten und Störeinflüsse zu erkennen. Daraufhin können Anpassungen an mechanischen Systemen und deren Software in die Antriebssysteme einfließen. Über Software-Updates kann der Kundenkreis schnell erreicht werden.
- **Autonomiestufe 2:** Das KI-System nutzt Daten der Herstellersysteme und der Produktverwendung (z. B. Produkt oder Engineering sendet Daten zum Hersteller) und optimiert das Produkt bezüglich seiner Nutzung. KI wertet die Daten aus und erstellt Vorschläge für die Produktoptimierung. Mit dem Rückfluss dieser Optimierungsinformationen ist der Hersteller nun in der Lage, seine Produkte zu verbessern beziehungsweise anderen Kunden auf dieser Basis Verbesserungsvorschläge anzubieten. Durch Nutzung verschiedener Herstellerdaten wird Collaborative Condition Monitoring möglich, das Monitoring der Anlage wird präziser, Schwellwerte und Instandhaltungsplanung können genauer eingestellt werden.
- **Autonomiestufe 3:** Das KI-System ist mit der Produktion und den Informationen des Anwenders und der Herstellersysteme vernetzt und passt das Produkt, in vorgegebenen Systemgrenzen, autonom an. Dies sind z. B. Regler, die sich auf Basis lokaler Daten dynamisch anpassen. Die KI-Algorithmen sorgen für die Anomalie-Erkennung (anomaly detection), wodurch die Schwellwerterkennung im Condition Monitoring verbessert wird. Der Mensch kontrolliert das Produktergebnis und gibt die neue Version zur Herstellung frei.
- **Autonomiestufe 4:** Das KI-System nutzt zurückfließende Daten und passt das Produkt in vorgegebenen Grenzen autonom an. Der Mensch definiert die Systemgrenzen für die einzelnen autonomen Abläufe und behält die Überwachungsfunktion für den Gesamttablauf. An dieser Stelle passt sich das Produkt autonom an und Produktänderungen werden automatisiert freigegeben. Im Betrieb ergeben sich hochoptimierte, geplante Wartungsfenster, ungeplante Wartungen finden nicht mehr statt. Damit wird insgesamt eine deutliche erhöhte Verfügbarkeit der Anlage erreicht.
- **Autonomiestufe 5:** Ein autonom arbeitendes Produktoptimierungssystem setzt die Weiterentwicklung des Produkts in Teilprozessen selbstständig um. Die Anlage ist selbstdiagnostizierend und selbstoptimierend, das heißt, Predictive-Maintenance-Analysen aufgrund umfassender Datenverfügbarkeit werden verbunden mit aktiver Veränderung von Einstellungsparametern oder aktiver Anforderung von Wartungsprozessen. Die KI-basierten prädiktiven Aspekte werden spätestens hier entscheidend, weil Autonomie Vorlauf benötigt, wenn Problembehebungen von außen erforderlich sind und von der Anlage angestoßen werden müssen. In letzter Konsequenz können Wartungsdrohnen durch die Systeme angefordert werden, die rechtzeitig und selbstständig die Wartung übernehmen bzw. Reparaturen ausführen.

Wirtschaftlicher Beitrag und erreichbare Vorteile

Nutzen beim Hersteller: Das Einbeziehen von Kundenfeedback beeinflusst wesentlich das Produktangebot, die Produktionstechnik und den Vertrieb. KI-Systeme sind mit der Produktion und den Informationen des Anwenders (Maschinenbauer/Betreiber) und der Herstellersysteme vernetzt und passen die Produkte, in vorgegebenen Grenzen, autonom an. Der Mensch kontrolliert das Ergebnis und orchestriert das Produktportfolio. Das Ergebnis der Produktentwicklung fließt direkt in die Produktion ein und wird von, in Teilen, autonomen Produktionssystemen umgesetzt. Eine automatisierbare Datendurchgängigkeit der digitalen Zwillinge im Gesamtsystem aller Beteiligten steigert die Effizienz der Wertschöpfungsketten.

Nutzen beim Maschinenbauer: Der Zugriff auf Herstellerexpertise und die Einbeziehung von Kundenfeedback erhöhen die Effizienz im Engineering, der Produktion und dem Service beim Betreiber. Die autonome Bereitstellung von Informationen, Engineering-Leistungen sowie autonome Produktanpassungen im Zusammenwirken von Hersteller, Maschinenbauer und Betreiber erweitern die Fähigkeiten des Maschinenbauers, erhöhen die Qualität und verbessern den Angebotsabgleich (Ergebniserwartung zum Kunden) bei gleichzeitiger Reduzierung der „Ramp-up-Zeit“ beim Betreiber.

Nutzen beim Betreiber: Eine an Produktionszielen orientierte autonome Veränderung von Produkten und Systemen schafft Mehrwerte für den Betreiber bezüglich Qualität, Ertrag, Ausbringung und Ressourcen. Die Nutzung von Informationen im Betrieb von den Maschinen und Produkten erweitert die Fähigkeiten des Maschinenbauers (Qualität, Funktion, Adaption) und Produktherstellers (Qualität, Adaption, Funktion, Portfolio, Markt) zur Erhöhung der Nutzfunktion beim Betreiber.

Fazit und Empfehlungen

Die wesentlichen Herausforderungen sind in der Informationsgewinnung und der Fähigkeit, „Entscheidungen zu treffen“, zu sehen. In einer hierzu idealen Welt stehen alle Informationen des Engineerings, der Produktion, der Verwendung von Produkten, genutzter Dienste und Dienstleistungen sowie der Geschäftsmodelle zur Verfügung. Diese können direkt genutzt werden und damit zu Ergebnissen

führen, die einen direkten Beitrag zu Innovationen und Geschäftsmodellen bringen.

In der realen Welt gibt es hingegen Systembrüche, die durch Unternehmensgrenzen, bestehende Geschäftsmodelle, technische und rechtliche Hürden bestehen, sowie durch Ängste erzeugt werden, Wissen/IP oder unternehmerische Freiheiten zu verlieren. Das Paradoxon gilt es aufzulösen beziehungsweise Mittel zu finden, welche die im Widerspruch stehenden Ziele durch eine akzeptierte Vorgehensweise lösen. Dieses gilt in gleichem Maße für die genutzte Technik als auch für die Nutzung in den Prozessen.

Voraussetzung hierzu sind selbstbestimmte Daten, ein definierbarer applikativer Lösungsraum und ein Geschäftsmodell, das eine „Win-win“-Situation für Hersteller, Maschinenbauer und Betreiber in gleichem Maße herstellen kann.

4.2 Auslegung einer Anlage

Unterstützung und Beratung des Kunden bei der Auswahl und Auslegung von Komponenten eines Antriebsstrangs für den optimalen Betrieb seiner Anlage

Um eine Bewegungsaufgabe zu automatisieren, muss ein sogenannter Antriebsstrang aufgebaut werden, der sich aus vielen verschiedenen zusammenwirkenden Komponenten zusammensetzt. Die Herausforderung besteht darin, für eine spezifische Anwendung aus Milliarden von Kombinationsmöglichkeiten den am besten geeigneten Antriebsstrang zu finden.

Der verfolgte Ansatz besteht darin, sukzessive zu lernen, einerseits wie Komponenten zusammenpassen und welche Eigenschaften ein daraus aufgebauter Antriebsstrang hat, und andererseits, welche Applikations-Probleme mit welcher Art Antriebsstrang gelöst werden können, damit dieser aufwendige Prozess weitgehend autonom erfolgen kann.

Durch den Einsatz von KI können diese Aufwände drastisch reduziert und ein Nutzen für Hersteller, Anlagenbauer und Endkunden gleichermaßen geschaffen werden.

Problematik, Zielstellung, Anforderungen

Bei der hochautomatisierten Produktion von Gütern kommt neben den eigentlichen Bearbeitungsprozessen, in denen das Material verändert wird, vor allem den Handling- und Zuführungsprozessen, den Montageprozessen und den Verpackungsprozessen eine immer größere Bedeutung zu.

Den oben genannten Prozessen ist bei einer abstrahierten Betrachtung gemeinsam, dass letztendlich immer eine bestimmte Masse in einer bestimmten Zeit unter gegebenen Bedingungen in einer bestimmten Form von einem Ausgangspunkt zu einem Zielpunkt bewegt werden muss. Es geht also im Prinzip immer um eine Bewegung, die aber genauso vielfältig ausgeführt sein kann, wie die zu produzierenden Produkte verschieden sind.

Bereits heute existiert eine unüberschaubare Menge von Komponenten, die zu einem Antriebsstrang kombiniert werden können, der letztendlich die gewünschte Bewegung ermöglicht. Der Antriebsstrang besteht im Wesentlichen aus Steuerung, Antriebskomponenten und Bewegungsgliedern und deren Bestandteilen. Hinzu kommen Schnittstellenkomponenten und Übersetzungskomponenten, um eine gute Kombinierbarkeit zu erreichen. Für Handlingsaufgaben lassen sich mehrere solcher einfachen Antriebsstränge zu komplexen kartesischen Systemen zusammenbauen. Der Einfachheit halber werden in diesem Abschnitt aber auch

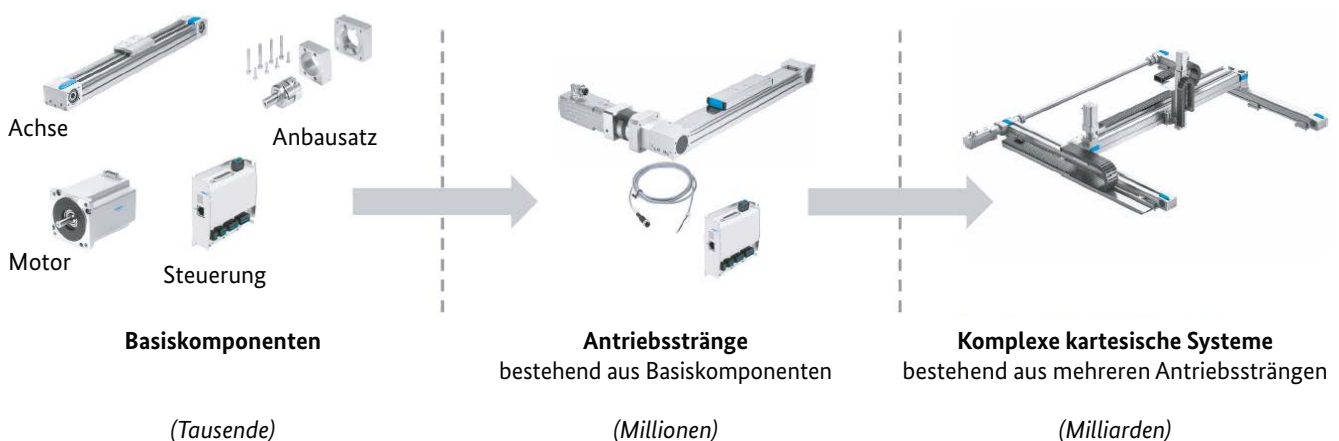
diese komplexeren Systeme unter dem Begriff Antriebsstrang geführt.

Mit der Fähigkeit, Komponenten miteinander kombinieren zu können, steigt gleichzeitig die Komplexität, die zu bewältigen ist. Ausgehend von der Annahme, dass mehrere hundert verschiedene Ausprägungen pro Komponentengruppe (Steuerungen, Antriebe, Bewegungsglieder, Schnittstellen, Übersetzer usw.) existieren, gibt es in der Kombination schnell hunderte Millionen bis zu mehreren Milliarden Möglichkeiten, eine Bewegungsaufgabe zu lösen (siehe auch Abb. 4) – eine Komplexität, die vom Menschen nicht mehr beherrschbar ist.

Im Sinne einer optimierten Produktion soll die Bewegung so präzise, schnell, effizient und sicher wie erforderlich ausgeführt werden – bei einer gleichzeitigen Optimierung der Kosten. Hinzu kommt, dass die Anforderungen der Kunden an Flexibilität (Stückzahl 1) und vor allem auch an eine kundenindividuelle Produktion stetig zunehmen. Die Volatilität des Marktes und die veränderten Verbraucheranforderungen verlangen auch eine höhere Flexibilität bei der Auswahl und der nachträglichen Anpassung eines Antriebsstrangs.

Zukünftig liegt die Herausforderung darin, dass die Bedürfnisse des Kunden in Verbindung mit dessen Anwendung, der Branche, den Rahmenbedingungen, den funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen während sei-

Abbildung 4: Kombinatorische Komplexität von Antriebssträngen



ner Engineering-Phase mit zunehmendem Autonomiegrad eine gute, wenn nicht sogar die optimale Lösung herausdestillieren sollen. Darüber hinaus soll sie auch zur Betriebszeit weitere Anpassungen und Optimierungen ermöglichen.

Nutzenpotenziale und Zielstellung für weiteren Nutzen durch KI

Die Komplexität, aus Milliarden Möglichkeiten die richtige beziehungsweise optimale Lösung zur Entwicklung eines Antriebsstrangs herauszufinden, kann durch den Einsatz von KI zwar nicht unmittelbar verringert werden. Der Nutzen von KI liegt aber darin, den Möglichkeitsraum für den Menschen einzuschränken, in dem die KI eine Vorentscheidung trifft und damit die Komplexität für den Menschen beherrschbar macht. Der Mensch muss dann nicht mehr aus Milliarden Möglichkeiten auswählen, sondern bekommt im besten Fall eine eindeutige Empfehlung, aber zumindest nur noch wenige mögliche Kandidaten zur Auswahl.

Dazu muss die KI Zusammenhänge zwischen Kundenanwendungen in einem spezifischen Kontext und geeigneten Lösungen lernen und bei Bedarf herstellen. Diese Lösungen ergeben sich im Wesentlichen durch Kombination von Komponenten eines Antriebsstrangs. Neben klassischen Methoden zur Beschreibung von semantischen und logischen Eigenschaften der Bestandteile und ihres Zusammenwirkens können hier insbesondere Methoden des Machine Learning (ML) eingesetzt werden, die sich anhand der bereits installierten Lösungen trainieren lassen.

Mittelbar ergeben sich weitere Nutzenpotenziale, wenn die KI Vorschläge für die Auswahl von Komponenten macht. So lassen sich z. B. die Aufwände im Engineering deutlich reduzieren, weil die Trial-and-Error-Phase und die damit verbundenen Aufwände zur Auswahl der geeigneten Komponenten deutlich verkürzt ist beziehungsweise sogar ganz wegfallen kann.

Eine zusätzlich gegebene Durchgängigkeit in den Daten und das Wissen um die Randbedingungen und Anwendungen ermöglichen eine automatische Generierung der Ablaufsteuerung und sogar ein automatisches Zusammenbauen des Antriebsstrangs. Damit wird z. B. die Inbetriebnahme-Phase beim Kunden deutlich reduziert und außerdem die aufwendige Arbeit der Inbetriebnahme-Ingenieure wesentlich unterstützt.

Nutzen beim Hersteller:

Der Hersteller kann aus seinen bisher gemachten Erfahrungen darüber, welche Antriebsstränge (beziehungsweise welche dazu erforderlichen Komponenten) bei welchen Anwendungen verbaut wurden, seine Produkte noch besser an den Kundenbedürfnissen ausrichten.

Er hat eine deutlich bessere Transparenz über die Verwendung seiner Produkte und kann hierdurch Varianten und Stückzahlen besser planen. Er baut grundsätzlich ein sehr tiefes Domänenwissen auf und kann immer noch bessere Lösungen auf den Markt bringen.

Der Hersteller hat außerdem wesentlich weniger Aufwand in Bezug auf Beratung und Vertrieb, weil das System eine nahezu optimale Empfehlung gibt, spart dadurch Kosten und kann sich um die schwierigeren Fragestellungen der Kunden mit höherer Intensität kümmern.

Nutzen beim Maschinenbauer:

Der Maschinenbauer hat weniger Aufwand beim Engineering der Anlage, macht durch die Lösungsvorschläge der KI weniger Schleifen und kann damit seine Lieferzeiten auch verkürzen. Er kann seinem Kunden eine nahezu ideale Lösung in kurzer Zeit liefern.

Der Maschinenbauer erspart sich mittelbar außerdem die aufwendige Inbetriebnahmephase beziehungsweise reduziert sie ebenfalls deutlich z. B. durch die automatische Generierung von Steuerungscode.

Nutzen beim Betreiber:

Der Betreiber erhält eine nahezu optimale Lösung für seine Bewegungsaufgabe in sehr kurzer Zeit, die darüber hinaus mit wenig Aufwand an neue Begebenheiten angepasst werden kann. Sollte eine solche Anpassung notwendig werden, wird dies umfassend durch die KI unterstützt.

Wie KI im vorliegenden Anwendungsfall eingesetzt werden kann, um sukzessive den Automatisierungsgrad zu erhöhen, zeigen die folgenden Abschnitte über die schon vorgestellten Autonomiestufen.

Applikationsbezogene Autonomiebeschreibung

- **Autonomiestufe 0:** Eine technisch versierte Person erstellt ein Konzept der Teilanlage. Dazu muss sie die Dokumentationen und technischen Unterlagen von vielen verschiedenen Herstellern durcharbeiten und geeignete Komponenten für die Aufgabe identifizieren. Um einen geeigneten Antriebsstrang zu finden, muss der Techniker komplexe Berechnungen durchführen. Die entstehende Lösung wird im Wesentlichen von der Erfahrung des Technikers geprägt. Der Techniker hat keinen Einfluss auf den tatsächlichen Prozessablauf und neigt daher zu einer Überproportionierung. Eine Beschreibung des Prozessablaufs findet in der Regel nicht statt.
- **Autonomiestufe 1:** Das System gibt dem Techniker Empfehlungen und unterstützt unter Nutzung von aufgebautem Wissen bei der Vorauswahl der Komponenten, die dann zu einem Antriebsstrang zusammengesetzt werden können. Dabei weiß das System, welche Komponenten wie zusammenpassen und welche Fähigkeiten die daraus entstandene Teilanlage besitzt. Damit kann das System auch prüfen, ob ein vom Techniker erstellter Antriebsstrang technisch so realisiert werden kann, ob die Komponenten technisch kompatibel sind und in ihrem Zusammenwirken wie erwartet prinzipiell funktionieren. Bereits auf dieser Autonomiestufe kann die Erfahrung aus vorhergegangenen Projekten etwa mittels Machine-Learning-Verfahren in die Empfehlung einfließen. Neben den klassischen mechanischen Komponenten lassen sich bereits auf dieser Autonomiestufe Software-Bausteine z. B. für die Inbetriebnahme der Anlage teilweise automatisiert erzeugen.
- **Autonomiestufe 2:** Das System gibt dem Techniker Empfehlungen bei der Gestaltung des gesamten Antriebsstrangs. Wird eine Komponente explizit ausgewählt, dann schlägt das System die optimal dazu passenden ergänzenden Komponenten vor. Wenn z. B. Umgebungsbedingungen geändert werden, passt das System Komponenten automatisch an, solange nicht der gesamte Antriebsstrang verändert wird – sonst macht es lediglich einen Vorschlag für eine Anpassung. Auch hier kann das Gelernte aus vorhergegangenen Projekten einfließen. Eine Generierung der notwendigen Software-Bausteine ist ebenfalls möglich.
- **Autonomiestufe 3:** Das System schlägt bezugnehmend auf die Randbedingungen und branchenspezifischen

Besonderheiten einen optimalen Antriebsstrang vor und baut diesen dann auch ggf. zusammen, nachdem ein menschlicher Experte den Vorschlag bestätigt hat. Werden Randbedingungen geändert, macht das System einen neuen Vorschlag, der aber ebenfalls bestätigt werden muss. Damit ein System dazu in der Lage ist, muss es über reiche Erfahrung sowohl in den Lösungen als auch in den Branchen verfügen. Auch hier bietet es sich an, mittels Machine Learning dieses Wissen aufzubauen beziehungsweise zu ergänzen. Bei der Autonomiestufe 3 ist bereits impliziert, dass, wenn ein Systemvorschlag bestätigt wird, auch die dazu erforderliche Software automatisch bereitgestellt wird (sei es durch Generierung oder durch Auswahl von Bausteinen), so dass eine Inbetriebnahme optimal unterstützt wird.

- **Autonomiestufe 4:** Der Anwender formuliert sein Problem in einer adäquaten Form und lässt das System eine optimale Lösung finden, diese ggf. aufbauen und in Betrieb nehmen. Der Anwender behält aber weiterhin an jeder Stelle Eingriffsmöglichkeiten, die er bei Bedarf wahrnehmen kann, aber nicht muss. In dieser Autonomiestufe ist ein umfassendes Verständnis der Formulierung des Anwenders erforderlich und außerdem die Fähigkeit, daraus alle notwendigen Implikationen und Schritte abzuleiten, die dazu erforderlich sind, dass die gewünschte Lösung automatisch entsteht. Auf diesem Niveau kann auch eine automatische Optimierung und Anpassung während der Betriebsphase stattfinden.
- **Autonomiestufe 5:** In der Autonomiestufe 5 gibt es zur Autonomiestufe 4 den wesentlichen Unterschied, dass innerhalb der gegebenen Systemgrenzen kein Eingriff mehr durch menschliche Beobachter stattfindet.

Wirtschaftlicher Beitrag und erreichbare Vorteile

Der Hauptnutzen der Verwendung von KI im vorliegenden Anwendungsbeispiel liegt im Wesentlichen darin, dass der heute aufwendige, fehleranfällige und damit kostenintensive Engineering-Prozess – im gesamten Lifecycle betrachtet – wesentlich vereinfacht und damit auch verkürzt werden kann. Das spart einerseits wertvolle Ressourcen und Kosten, ermöglicht aber andererseits auch eine bessere Time-to-Market und damit auch einen Wettbewerbsvorteil. Weil nicht nur im Engineering, sondern auch in der Inbetriebnahme-Phase und bei der Anpassung von Anlagen in der Betriebsphase zeitlich und ressourcentechnisch profi-

tiert werden kann, leistet die Autonomisierung in diesem Bereich einen großen Beitrag zur Wirtschaftlichkeit einer Produktion.

Wenn neben dem Einsatz von KI zusätzlich eine Durchgängigkeit der Daten gegeben ist, lassen sich die Teilschritte, die von der Aufgabe zur Lösung benötigt werden, weitgehend automatisieren, so dass grundsätzlich auch die Autonomiestufen 4 und 5 erreicht werden können. Damit lässt sich im Umkehrschluss auch jederzeit nachvollziehen, welche Schritte in der Vergangenheit zu einer guten Lösung geführt haben, welche Daten angefallen sind und welchen Effekt sie hatten. Dies kann zum einen dazu dienen, die eingesetzte KI weiter zu trainieren, und zum anderen führt es dazu, dass implizit eine Art Wissensdatenbank zum Thema Bewegung aufgebaut und ständig erweitert wird, die u. a. wiederum zum maschinellen Lernen eingesetzt werden kann.

Mit einem solchen Ansatz ist es nun möglich, in der Produktion zu skalieren. Etablierte Lösungen aus einem Werk lassen sich vollautomatisch duplizieren, können aber immer noch (ebenfalls automatisch) an neue Anforderungen angepasst werden. Gerade in den heutigen volatilen Märkten können diese Lösungen wettbewerbsentscheidende Faktoren sein.

Fazit und Empfehlungen

Die Herausforderung besteht darin, die Anwendungen von Kunden so gut zu verstehen und sie in einer Weise zu generalisieren, um dann die „richtigen“ Daten zu erhalten, die für das maschinelle Lernen von Zusammenhängen, Anforderungen und Wirkweisen in der jeweiligen Anwendungsdomäne erforderlich sind.

Von Anfang an lassen sich diese Erkenntnisse nutzen, um Vorschläge für eine Anwendungslösung zu machen. Mit jeder neuen Lösung, die zum Kunden herausgeht, werden diese Erkenntnisse gefestigt und durch eine Durchgängigkeit in den Daten in allen Lebenszyklusabschnitten des Kunden vertieft.

Die KI wirkt stets als Berater beziehungsweise Unterstützer, wobei die Unterstützung (z. B. in den Autonomiestufen 4 und 5) prinzipiell sehr weit gehen kann. Allerdings wird sie stets beherrschbar bleiben, weil die Systemgrenzen klar definiert sind.

Damit zeigt das Beispiel auch, dass es bei ausreichend vorhandenem Hintergrundwissen über eine Domäne und einem grundlegenden Verständnis in der adäquaten Anwendung von KI gut gelingen kann, diese als Mittel zum Zweck beherrschbar einzusetzen. Der Einsatz von KI muss nicht immer heißen, dass zwangsläufig unkalkulierbare Risiken in Kauf genommen werden müssen, um hier erfolgreich zu sein. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn die Anwendungsdomäne nicht sicherheitskritisch (safety-critical) ist.

4.3 Mensch-Technik-Interaktion

KI und Mensch-Technik-Interaktion als Schlüssel für mehr Autonomie in der Produktion

Fertigungsanlagen und Produktionsstraßen sind hochgradig komplexe und dynamische Systeme. Fehlerfreie Abläufe und rasche Reaktion auf Ausnahmesituationen sind dabei unabdingbar. Hierzu müssen die Abläufe in hohem Maße optimiert und automatisiert sein.

Ein auf KI basierender digitaler Assistent, der den Bedienern der Leitwarte bei normalen und außergewöhnlichen Aktivitäten zur Seite steht, ist zweifellos ein wichtiger Schritt zur Verbesserung der Effektivität der Betriebs- und Wartungsmitarbeiter.

Assistenzsysteme bilden Fokuspunkte, durch die Verbesserungen einfach, agil und inkrementell ausgerollt werden können. Das zunehmende Fortschreiten der Technik und deren Verfügbarkeit erleichtern die Einführung und die Umsetzung dieser Systeme und gestatten es gleichzeitig, den Grad der Autonomie sukzessive zu erhöhen.

Problematik, Zielstellung, Anforderungen

Fertigungsanlagen und Produktionsstraßen sind hochgradig komplexe und dynamische Systeme. Für viele Industriezweige bilden sie das Fundament für den wirtschaftlichen Erfolg. Die folgende Betrachtung verwendet das Beispiel der Chemiebranche stellvertretend. Fehlerfreie Abläufe und rasche Reaktion auf Ausnahmesituationen sind insbesondere aufgrund der oft katastrophalen Folgen eines Unfalls in einer chemischen Anlage unabdingbar. Zudem können Unternehmen in der Chemiebranche nur dann erfolgreich sein, wenn die Abläufe in hohem Maße optimiert und automatisiert sind. Ein Kernbaustein dafür

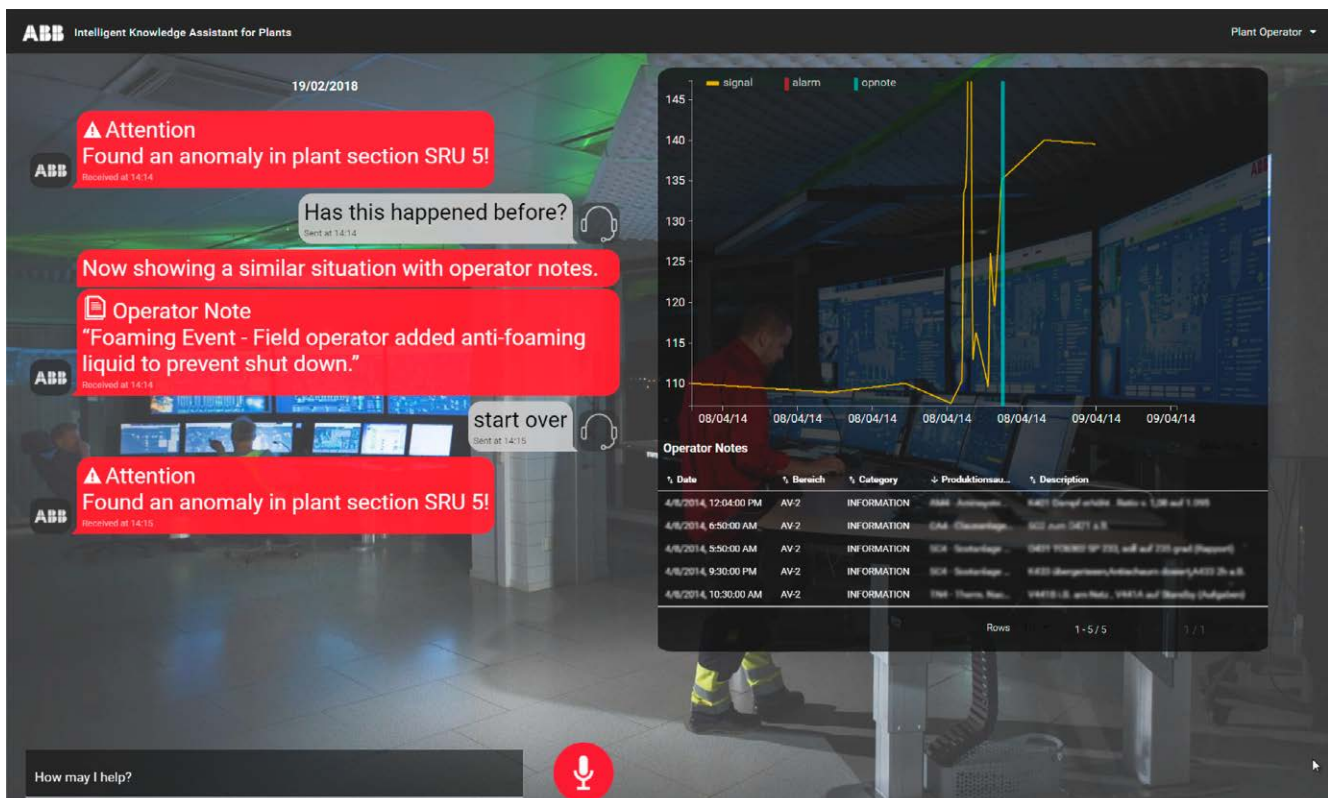
ist, dass Prozesse stets innerhalb vordefinierter Systemgrenzen ablaufen. Auch Materialvariationen und umweltbedingte Faktoren haben einen starken Einfluss auf den Prozess und resultieren unter Umständen auch in Situationen, die in der Planung nicht antizipiert wurden. Zudem bergen sie die Gefahr, dass Systemgrenzen überschritten werden. Damit ist eine kontinuierliche Überwachung und Qualitätssicherung bei gleichzeitiger Optimierung des Herstellverfahrens notwendig. Es gilt Handlungsbedarfe frühzeitig zu entdecken, die notwendigen, richtigen Aktionen zu erkennen und fehlerfrei durchzuführen, um Schadenskosten, die in die Milliarden Euro pro Jahr gehen können, zu vermeiden. Neben dem wirtschaftlichen Schaden kann es auch zu Personenschäden kommen.

Eine moderne Anlage weist bereits heute einen hohen Automatisierungsgrad auf. So werden automatisierte Abläufe erstellt, im System codiert hinterlegt und im Produktionsprozess abgearbeitet. Diese üblicherweise regelbasierten Systeme decken eine gewisse Bandbreite von Systemzuständen ab. Befindet sich die Anlage außerhalb dieses

definierten Bereichs, ist die manuelle Steuerung durch den Anlagenfahrer notwendig, um in den regulierten Bereich zurückzukehren. Es liegt in seiner Hand, auf Grundlage von eigenem Wissen und Erfahrung sowie vordefinierten Prozeduren und Handbüchern die richtigen Handlungen zu identifizieren, um den Produktionsprozess wieder in normale Bahnen zu lenken. Häufen sich bestimmte Fehler oder sind kritische Situationen aufgetreten, wird der Ablauf im Nachgang überarbeitet und angepasst.

Hinzu kommt ein gesellschaftlicher und demographischer Wandel, der insbesondere das Personalwesen betrifft. Die Bereitschaft, gleichförmige Tätigkeiten über einen langen Zeitraum (z. B. 20 Jahre) hinweg am gleichen Ort durchzuführen, nimmt deutlich ab. Der Nachwuchs an qualifizierten Arbeitnehmern in der Branche ist eine Herausforderung. Auch die nahtlose Übertragbarkeit von Erfahrungen auf andere Standorte ist schwierig. Zusätzlich bedeuten Personalwechsel und Anpassungen im Produktionsprozess, dass zuvor aufgebautes Erfahrungswissen schneller veraltet beziehungsweise mühsam neu aufgebaut werden muss.

Abbildung 5: Ein digitaler Assistent informiert den Anlagenfahrer über Abweichungen im Prozess



Um den genannten Herausforderungen zu begegnen, ist derzeit ein starker Trend hin zu autonomen Systemen erkennbar. Im Gegensatz zu den heute bereits vorhandenen, teilweise hochgradig automatisierten Systemen können autonome Systeme sich mittels Lernfähigkeiten selbstständig an Veränderungen anpassen, selbst wenn diese nicht vorab codiert oder im Design vorhergesehen waren. In der Industrie wird allerdings davon ausgegangen, dass dies evolutionär geschieht, d. h. schrittweise hin zu höherer Autonomie. Der Fokus dieses Anwendungsbeispiels liegt auf dem sogenannten Virtuellen Digitalen Assistenten (VDA), einer mächtigen Form eines Entscheidungsunterstützungssystems auf Basis von KI-Technologien.

Ein solcher Assistent verringert die Mensch-Technik-Kluft, wird über natürliche Sprache gesteuert, antwortet auf Fragen und weist auf relevante Situationen hin. Im Konsumentenbereich gibt es beispielsweise mit Siri, dem Google Assistant und Alexa bereits verschiedene erfolgreiche Produkte dieser Art. Diese sind erst durch Fortschritte in der KI-Forschung in den Themenfeldern Spracherkennen, Sprachsynthese, Sprachverständnis und computergestützte Dialogführung möglich geworden. Weitere Entwicklungen ermöglichen es zudem, industriespezifische Anforderungen, z. B. Offline-Varianten für den On-Premise-Einsatz oder die Verwendung einer fachspezifischen Sprache, zu erfüllen.

Ein digitaler Assistent kann den Bediener bei der Überwachung der Anlage, der Lösung von Problemen und der Ausführung standardisierter Aufgaben unterstützen, beispielsweise indem eine Reihe relevanter Prozesswerte in der Anlage überwacht und mithilfe von Techniken des maschinellen Lernens Anomalien erkennt und dem Bediener mitteilt (anomaly detection). Ein solches, auf KI basierendes System kann z. B. die größten Einflussfaktoren ermitteln und dem Nutzer in aufbereiteter Form zur Verfügung stellen (vgl. Abb. 5). Dadurch steht das System den Bedienern der Leitwarte bei normalen und außergewöhnlichen Aktivitäten zur Seite und stellt zweifellos einen wichtigen Schritt zur Verbesserung der Effektivität der Betriebs- und Wartungsmitarbeiter dar.

Nutzenpotenziale und Zielstellung für weiteren Nutzen durch KI

Zur genaueren Betrachtung und Erörterung des Nutzenpotenzials von KI werden im Folgenden zwei wesentli-

che Aspekte und deren Zusammenspiel dargelegt. Auf der einen Seite stehen die Möglichkeiten zur Unterstützung durch digitale Medien und Systeme, d. h. „klassische“ Assistenz für die Mensch-Technik-Interaktion. Auf der anderen Seite sind die Fortschritte durch KI-gestützte Methoden im Allgemeinen. Durch die Kombination ergibt sich dann das Gesamtpotenzial.

Heute erscheint die Unterstützung durch digitale Assistenzsysteme in der Regel in einer von drei Formen:

- Dialoge und Wizards, die den Benutzer durch eine Reihe von Fragen und Eingabemöglichkeiten führen, um alle notwendigen Parameter zum Ausführen einer Aktion zu erhalten.
- Statische und interaktive Hilfesysteme, durch die Nutzer Antworten auf spezifische Fragen erhalten und sich über bestimmte Sachverhalte informieren können.
- Unsichtbare Routinen, die zusätzliche und hilfreiche Informationen einholen oder Hilfsschritte im Hintergrund ausführen, wie Autovervollständigung und Vorschlagsfunktionen.

Wenn diese Grundsätze der Unterstützung auf die Industriesektoren angewendet werden, bedeutet dies die folgenden Anforderungen und Herausforderungen:

- Erstens muss ein Assistenzsystem Informationen aus verschiedenen Datenquellen, Hintergrund- und Mehrwertdiensten beziehen und diese in prägnanter, aggregierter und gefilterter Form für ein breites Anwendungsspektrum zur Verfügung stellen.
- Zweitens sollte das System die verschiedenen domänenspezifischen Sprachen respektieren und nahtlos zwischen ihnen übersetzen. So ist beispielsweise die Sprechweise in einer Prozessanlage sehr spezifisch und unterscheidet sich deutlich von der Alltagssprache. Die Form und Darstellung der Antwort sollte außerdem das Kompetenz- und Erfahrungsniveau des Benutzers widerspiegeln.
- Drittens sollte das System den Benutzer aktiv über relevante Punkte informieren, die Aufmerksamkeit erfordern, während es gleichzeitig die potenzielle Informationsflut aus KI-Tools wie beispielsweise solcher für das Alarmmanagement berücksichtigt.

Techniken der KI erlauben es, wesentliche Unterstützung für die beschriebene Situation zu liefern, insofern als die Informationsflut so aufbereitet werden kann, dass nur die für eine Entscheidung wesentlichen Informationen weitergeleitet werden oder dass Teilschritte gänzlich über KI automatisiert werden. Wesentlich ist dabei maschinelles Lernen als Teilbereich der KI. Auf Grundlage bestehender Daten lassen sich mittels maschinellen Lernens sowohl Modelle für Normalität als auch charakteristische Signaturen für Fehlerfälle generieren. Dadurch kann sichergestellt werden, dass zwar alle vorliegenden Daten berücksichtigt werden, aber eben nicht durch menschliche Kontrolle, sondern durch ein für die Anwendung optimiertes Modell. Die notwendigen Datenmengen liegen nicht in allen Situationen vor, doch neue Erkenntnisse aus der Forschung erlauben es mittlerweile, auch mit solchen Situationen umzugehen. So können z. B. generative Modelle (generative models) verwendet werden, um Charakteristiken zu reproduzieren. Ein anderes mächtiges Instrument ist das Transferlernen (transfer learning), bei dem auf einem artverwandten Problem gelernt wird und erst spät im Prozess die Daten der tatsächlichen Situation verwendet werden, um das Erlernte an die Problemstellung anzupassen.

Um einen digitalen Assistenten zu erstellen, der einen Anlagenfahrer wirklich unterstützen kann, muss zunächst die Bandbreite der auszuführenden Aufgaben bekannt sein. Der Steuerungsvorgang umfasst einerseits Routineaktivitäten, aber auch seltene und sehr spezifische Aufgaben. Zu den Routineaufgaben des Bedieners gehören die Überwachung von einzelnen Messwerten und der Produktqualität, das Steuern der Anlage (z. B. Definieren oder Auswählen von Sollwerten, Ausführen von Steuerrezepten), das Reagieren auf Alarme und das Koordinieren von Bedienern vor Ort. Diese werden durch sogenannte Standardarbeitsanweisungen definiert. Nicht routinemäßige Aufgaben umfassen sowohl normale, aber seltene Aufgaben als auch Korrekturmaßnahmen. Normale, aber seltene Aufgaben sind beispielsweise die Inbetriebnahme der Anlage, die Änderung von Rezepten, die Inspektion von Geräten und die Berichterstellung. Sowohl Routineaufgaben als auch normale, aber seltene Aufgaben sind in der Regel klar definiert und erfordern ein regelbasiertes Verhalten.

Ein digitaler Assistent sollte Wissensbasen und Services integrieren, welche die Aufmerksamkeit des Nutzers verlangen, und insbesondere da unterstützen, wo es dem Nutzer an Wissen mangeln kann – für den Neuling bei Routineaufgaben, bei Experten nur in seltenen und komplexen

Situationen. So kann ein virtueller Assistent zu einem zentralen Unterstützungssystem werden, das vorhandene Wissensbasen sowie Aktionswissen und Information zu Rollen und individuellen Fähigkeiten integriert. Ein solches System kann vom Nutzer angefragt werden, kommt aber auch auf den Nutzer zu und weist auf Situationen und notwendige Aktivitäten hin.

Applikationsbezogene Autonomiebeschreibung

Im Folgenden wird detailliert aufgezeigt, wie ein Virtueller Digitaler Assistent (VDA) die evolutionäre Entwicklung zu höherer Autonomie der Mensch-Technik-Interaktion in der Produktion – und damit auch der gesamten Prozessanlage – ermöglichen kann. Dies kann über die im Folgenden beschriebenen Stufen der Autonomie definiert werden, wobei ein Virtueller Digitaler Assistent auf allen Stufen zu einem höheren Grad an Autonomie beitragen kann:

- **Autonomiestufe 0:** Der Prozessingenieur hat einen automatisierten Ablauf erstellt und im System codiert hinterlegt. Der Operator überwacht den Ablauf. Bei Abweichungen greift er auf Wissen aus Handbüchern und seine Erfahrungen zurück. Dies schließt auch Anlagen mit hohem Automatisierungsgrad bestimmter Betriebszustände ein.
- **Autonomiestufe 1:** Der Prozessablauf erfolgt wie bei Autonomiestufe 0. Überwachungsfunktionen stellen frühzeitig Abweichungen fest und können frühere, ähnliche Ereignisse als Referenz identifizieren. Hierfür wird die Anlage um kleine Assistenzsysteme erweitert, welche den globalen Zugriff auf Information, unabhängig von der aktuellen Anwendung und dem System, welches sie erzeugt hat, ermöglichen. Das System lernt Ereignisse und Gegenmaßnahmen und führt den Operator beim Nachjustieren des Prozesses. Der Anlagenfahrer erhält schnelleren Zugriff auf relevante Details. Digitalisierte Handbücher und Anleitungen erleichtern die prozesskonforme Durchführung von Aufgaben und werden als Basis für Entscheidungsbäume genutzt. Optimierungsfunktionen analysieren das Normalverhalten und können Vorschauen zum zeitlichen Verlauf oder qualitativen Ergebnis abliefern. Technische Integration und Medien, wie Sprachsteuerung oder Gestensteuerung, Augmented Reality oder Virtual Reality, erhöhen die Benutzerfreundlichkeit und die Effizienz. Im Hintergrund bauen die KI-Systeme historische Wissensdaten-

banken auf, welche technische Messwerte und menschliche Aktionen verknüpfen.

- **Autonomiestufe 2:** Das KI-System nutzt die aufgebaute Wissensbasis aus Autonomiestufe 1 für eine bessere und weitreichendere Unterstützung und ist insbesondere die Grundlage für Situationsbewertungen, Schlussfolgerungen und Vorausschau. Assistenzsysteme verfügen damit über die Möglichkeit, den Ablauf situationsbedingt zu optimieren, mögliche Anomalien frühzeitig zu erkennen und den Anlagenfahrer vorab über solche Anomalien oder Schwankungen der Produktqualität zu informieren. Dieser kann Unterstützung situationsbedingt anfordern und definiert Zielanforderungen. Das KI-System versucht, Umsetzungspfade zu identifizieren, und bewertet deren Machbarkeit. Dem Operator werden die Anpassungen im Ablauf vorgelegt und diese nach Bestätigung umgesetzt.
- **Autonomiestufe 3:** Das KI-System überwacht und optimiert alle Abläufe in der Anlage global und auf lange Zeit, wohingegen der Fokus der Assistenten in den bisherigen Autonomiestufen auf kleinteiligen Aufgaben und Bereitstellung von Information lag. Das System erstellt und bewertet Umsetzungsstrategien selbstständig. Umsetzungsstrategien berücksichtigen Ressourcenanforderungen, Prioritäten in parallelaufenden Prozessen und Auswirkungen auf die Produktionsanlage selbst. Daten aus verschiedenen (Anlagen-) Systemen werden in Beziehung gesetzt und Bewertungen von historischen Aktionen finden im Hinblick auf Konsequenzen in Richtung Sicherheit, Produktqualität, Effizienz und Anlagenzustand statt. Damit die KI-Systeme Aufgaben selbstständig umsetzen können, bedarf es der Integration mit den Kontrollsystemen, welches auch als „closing-the-loop“ bekannt ist. Durch das beständige Überwachen und Protokollieren von Aktionen und deren Auswirkungen konnten Kategorien automatisch erstellt werden. Dies ermöglicht, unüberwachte Lernmethoden (unsupervised learning) durch teilüberwachtes (semi-supervised learning) und überwachtes Lernen (supervised learning) zu ergänzen beziehungsweise zu ersetzen. Der Mensch prüft die Auflösung von Prioritäts-/Ressourcenkonflikten.
- **Autonomiestufe 4:** Das KI-System steuert die Anlage selbstständig. Dazu werden die Lösungsstrategien, wie sie in Autonomiestufe 3 beschrieben sind, im Hinblick auf Optimierungsziele eigenständig interpretiert. Die

Systeme sind in der Lage, Lösungsstrategien zu selektieren und zur Steuerung selbstständig anzuwenden. Der Mensch kann spezifische Anfragen zu Anlagensituation und Optimierungsparametern stellen und erhält Antworten, die von zusammenfassenden, nicht-technischen bis zu detaillierten, technischen Antworten reichen und an die Bedürfnisse und Wünsche der Benutzer angepasst sind. Die Anpassung der Optimierungsstrategie durch den Menschen ist immer noch möglich, aber nicht notwendig. Die Ausrichtung der Optimierungsstrategie bezieht mehr und mehr externe Faktoren mit ein, die nicht direkt auf den Produktionsprozess einwirken, beispielsweise geplante Kontrollgänge, Wartungsmaßnahmen oder Auftragslage. Entsprechend findet eine technische Integration mit weiteren Systemen statt, wobei die Daten als feste und unveränderliche Randparameter angesehen werden. Diese erweiterte Datengrundlage erlaubt den bestehenden Verfahren, eine globale Sicht zu erlangen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit werden zusätzliche Robotereinheiten und Überwachungseinheiten zum Einsatz kommen, die teilweise oder komplett autonom navigieren können.

- **Autonomiestufe 5:** Es liegt ein autonom arbeitendes Assistenzsystem vor, welches dynamisch auf Variationen in Rohstoffen und Lieferbedarf reagiert. Kooperation mit anderen Systemen zur weiteren Optimierung ist möglich und wünschenswert. So werden beispielsweise markt- und unternehmensspezifische Informationen, insbesondere aus Enterprise Resource Planning (ERP)- und Customer Relationship Management (CRM)-Systemen genutzt, um aktiv Einfluss auf die Lieferkette und Produktionsplanung zu nehmen.

Wirtschaftlicher Beitrag und erreichbare Vorteile

Traditionell kümmern sich das Sicherheitsmanagement und das Qualitätsmanagement um die Betrachtung und Bewertung der Relevanz von Veränderungen. Dadurch ergeben sich auf natürliche Art und Weise wirtschaftliche Betrachtungen, insbesondere „Return of Investment“ (ROI)-Rechnungen, welche die Häufigkeit der Aktion zu assoziierten Kosten und Risiken ins Verhältnis setzen. Konkrete Abschätzungen hängen von den individuellen Situationen und Potenzialen ab. Bereits auf den niedrigen Autonomiestufen, die bereits erreicht sind beziehungsweise in den kommenden fünf Jahren erreicht werden, lassen sich Potenziale besonders einfach verwirklichen.

Assistenzsysteme bilden Fokuspunkte, durch die Verbesserungen einfach, agil und inkrementell ausgerollt werden können. Das zunehmende Fortschreiten der Technik und deren Verfügbarkeit erleichtern die Einführung und die Umsetzungen dieser Systeme und gestatten gleichzeitig, den Grad der Autonomie sukzessive zu erhöhen.

Fazit und Empfehlungen

Menschen stehen vor der Herausforderung, die komplexen und dynamischen Produktionsstraßen und Fertigungsanlagen effizient zu bedienen, in ungewöhnlichen Situationen korrekt zu agieren und sinnvoll mit zunehmend autonomen Subsystemen zusammenzuarbeiten. Virtuelle Digitale Assistenten sind ein essenzieller Baustein, sich diesen Aufgaben erfolgreich zu stellen. Damit lassen sich insbesondere neue digitale Dienste, die auf KI-Technologie basieren, einfach in eine bestehende Servicelandschaft einbeziehen. Die einem Assistenzsystem zugrunde liegende KI erlaubt einen nahtlosen und für den Menschen intuitiven Zugang zu den technischen Systemen. Eine Realisierung ohne maschinelles Lernen ist grundsätzlich denkbar; Lösungen, welche die besten derzeit bekannten Ergebnisse erzielen, basieren allerdings meist auf maschinellem Lernen. Mit zunehmender Autonomie von Subsystemen können Aufgaben mit höherer Komplexität einfacher unterstützt werden.

Assistenzsysteme haben als notwendige Voraussetzung, ähnlich zur Autonomie selbst, dass Zustände, Aufgaben und Abläufe innerhalb von Subsystemen auslesbar und programmatisch steuerbar sind. Im Kontext der Unterstützung für den Menschen kommen weitere Aspekte hinzu, wie zum Beispiel die Interpretationsfähigkeit von Status- und Fehlermeldungen oder das Harmonisieren von Bezeichnungen. Hier sind herstellerübergreifende Standards und Konventionen wünschenswert, um auch in heterogenen Umgebungen konsistente und einheitliche Unterstützung zu leisten. Aus Systemsicht ist eine ganzheitliche Betrachtung erforderlich, beispielsweise um Sensordaten mit Zuständen und Wissensdatenbanken zu integrieren. Abnormale Zustände, wie Alarmzustände und Störungen, werden in der Regel nicht in den Standardverfahren erfasst und erfordern spezifisches Verhalten, z. B. die Analyse von Ursachen, die Unterstützung des Werkteams oder die Festlegung geeigneter Maßnahmen, um in einen sicheren Zustand oder zur normalen Operation zurückzukehren. Relevante Informationen sind häufig in Dokumenten eingeschlossen, auf die nicht rechtzeitig zugegriffen werden kann, wenn eine schnelle Entscheidung erforderlich ist.

4.4 Selbstorganisierende adaptive Logistik

KI ermöglicht die Steigerung von Transparenz und Effizienz in globalen Wertschöpfungsnetzwerken

Die Logistik organisiert Wertschöpfungsnetzwerke und sorgt für eine zuverlässige Versorgung der Produktion und eine Distribution der produzierten Komponenten.

Die Komplexität und das Datenaufkommen sind stark gestiegen und erschweren manuelle rechtzeitige Eingriffe, z. B. im Fall einer auftretenden Störung in den Lieferketten.

Methoden der KI können helfen, die große Menge an heterogenen Daten zu analysieren und mögliche Handlungsoptionen zeitnah abzuleiten.

Problematik, Zielstellung, Anforderungen

Heutige Wertschöpfungsnetzwerke bestehen aus zahlreichen Teilnehmern, wie Zulieferern, Logistikdienstleistern und Kunden. Das Management dieser Netzwerke erfordert nicht nur innerhalb der Unternehmen eine strikte Organisation, sondern unterliegt auch externen Faktoren wie Verzögerungen (z. B. durch eine spontane Veränderung der Auftragslage oder verspätete Lieferung durch Stau) und Störungen (z. B. dem Ausfall eines Lieferanten oder der Lieferung von fehlerhaften Komponenten). Diese Verzögerungen und Störungen haben einen direkten Einfluss auf die dahinterliegende Produktion und können zu einem Stopp der Produktion (beispielsweise durch einen Bandstillstand) führen.

Die Organisation und das effiziente Management von Wertschöpfungsnetzwerken erfordern eine große Menge an Informationen, das Kombinieren von zahlreichen internen und öffentlichen Informationsquellen und frühzeitiges Handeln, um mögliche Probleme zu verhindern.

Nutzenpotenziale und Zielstellung für weiteren Nutzen durch KI

Anders als in vielen Bereichen in denen zusätzlich Sensorik eingesetzt werden muss, um Daten und Informationen zu sammeln, liegt in der Logistik bereits heute eine sehr große Menge an Daten vor. Diese Daten werden allerdings oftmals aufgrund der unterschiedlichen Qualität, Aktuali-

tät und unterschiedlicher Formate nicht genutzt. Der Einsatz von Methoden aus dem Bereich der KI kann hier eine große Hilfe bieten und das Sammeln, Aufbereiten und Verarbeiten von externen, internen, strukturierten und unstrukturierten Daten automatisieren. Auf Basis der daraus erstellten Informationen können anschließend Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

Typische Anwendungsfelder finden sich in Wertschöpfungsnetzwerken immer dann, wenn Daten und Informationen aus verschiedenen Quellen miteinander in Verbindung gesetzt werden. Dies umfasst beispielsweise die Lieferantenauswahl, die Korrektur von verfügbaren Beständen und der Berechnung von Fehlerquoten und eine Verfügbarkeitsplanung (z. B. zur Verkürzung von Einfrierzeitpunkten zur kurzfristigen, individuellen Anpassung von Produkten). Ebenso gehören dazu Vorhersagen von Risiken (z. B. Lieferausfälle) und deren Maßnahmenbewertungen in Wertschöpfungsnetzwerken, Absatzprognosen, Preisprognosen und variable Preissetzungen. Weiterhin ist ein Einsatz in der Disposition und Verfügbarkeitsplanung möglich. Alle beschriebenen Anwendungsfälle lassen sich mit Standardmethoden der KI bearbeiten.

Applikationsbezogene Autonomiebeschreibung

Die operative Steuerung eines Wertschöpfungsnetzwerks, wie die Überwachung der Liefertermine, Kapazitäten, Bestände und Transporte sowie der Auswirkungen auf die nachfolgende Produktion, kann sehr effizient durch eine KI unterstützt werden. Alle relevanten Informationen zum aktuellen und ggf. zukünftigen Zustand des Wertschöpfungsnetzwerks werden (in Echtzeit) gesammelt, ausgewertet und mögliche Handlungsempfehlungen zur Umplanung abgeleitet.

Grundsätzlich sind zwei Ausprägungen des Einsatzes einer KI denkbar:

1. Realisierung eines Assistenzsystems: Das System weist frühzeitig auf Probleme hin und schlägt mögliche Handlungsoptionen vor. Der Mensch als Entscheider sieht sich die Optionen an und wählt aus diesen aus.
2. Automatische Steuerung des Wertschöpfungsnetzwerks: Die KI weist frühzeitig auf Probleme hin, erarbeitet mögliche Handlungsoptionen und wählt aus diesen eigenständig und ohne menschlichen Eingriff aus.

Diese zwei Möglichkeiten finden sich in unterschiedlicher Ausprägungsintensität bei der Beschreibung der möglichen Autonomiestufen für den KI-Einsatz in der Logistik wieder:

- **Autonomiestufe 0:** Der Planer überblickt den aktuellen Zustand des Wertschöpfungsnetzwerks, indem er den aktuellen Stand von Lieferungen manuell über verschiedene interne Programme und externe Plattformen einsehrt. Bei Störungen greift er zum Telefon oder schreibt eine E-Mail, um Alternativen und Lösungen zu finden und die entsprechende Umplanung umzusetzen.
- **Autonomiestufe 1:** Der laufende Betrieb und der aktuelle Zustand des Wertschöpfungsnetzwerks werden durch eine KI überwacht. Falls Abweichungen auftreten und eine Aktion, wie beispielsweise eine Umplanung, nötig ist, wird der Planer alarmiert. Zusätzlich zur Übersicht zum aktuellen Problem werden dem Planer mögliche Umplanungen inklusive damit zusammenhängender Auswirkungen präsentiert. Aus diesem entscheidungsunterstützenden System wählt er eine Variante aus und setzt diese um.
- **Autonomiestufe 2-3:** Der laufende Betrieb der Produktion und des Wertschöpfungsnetzwerks wird durch eine KI überwacht. Bei auftretenden Problemen wählt die KI aktiv eine alternative Handlungsoption aus und präsentiert diese dem Planer. Der Planer muss vor der Umsetzung durch die KI diese Option final zur Ausführung freigeben.
- **Autonomiestufe 4:** Der laufende Betrieb der Produktion und des Wertschöpfungsnetzwerks wird durch eine KI überwacht, bei auftretenden Problemen greift die KI aktiv ein und führt eine alternative Handlung eigenständig aus. Eine explizite Freigabe durch einen Menschen ist nicht mehr erforderlich.
- **Autonomiestufe 5:** Das zu produzierende Gewerk wird an die KI übergeben, die daraufhin ein komplettes Wertschöpfungsnetzwerk aufbaut und organisiert. Dabei werden das effizienteste Netzwerk ausgewählt und automatisch Verträge mit den entsprechenden Zulieferern abgeschlossen. Mögliche Risiken werden bereits vor dem Auftreten durch eine automatische Auswahl von Alternativen oder organisatorische Änderungen durch die KI vermieden. Ein manueller Eingriff ist nicht mehr erforderlich und auch größere organisatorische Änderungen werden von der KI umgesetzt.

Wirtschaftlicher Beitrag und erreichbare Vorteile

Heutige globale Wertschöpfungsstrukturen sind oft gekennzeichnet durch komplexe Zusammenhänge, welche Wirkmechanismen nicht unmittelbar erkennen lassen. Mit der zunehmenden Digitalisierung entstehen durch die Erfassung von Daten und Events Informationsräume, die hier eine Abhilfe schaffen können. Jedoch ist eine automatisierte Analyse der Wirkmechanismen und ein Lernen der Zusammenhänge zwingend erforderlich, um zukünftige Situationen zu klassifizieren und automatisiert die richtigen Maßnahmen und Maßnahmenbündel zu identifizieren. Mittels Verfahren der KI werden Planungs- und Steuerungsaufgaben des Supply Chain Managements auf eine neue Stufe gebracht. Ereignisse und Zustände in einem Wertschöpfungsnetzwerk können umfassender erfasst und bewertet werden (beispielsweise wird im Kontext des Bedarfs- und Kapazitätsmanagements bei der Herstellung komplexer Produkte wie z. B. Fahrzeuge oder Landmaschinen heute die Analyse auf wenige bekannte kritische Teile und Baugruppen beschränkt). Zusätzlich kann diese Aufgabe mit weniger Mitarbeitenden geleistet werden.

Ein Nutzenaspekt ist damit die Reduktion der Kosten für planerische Aufgaben des Supply Chain Managements. Der

weitaus größere Hebel ist aber die Verbesserung der Planungsqualität. Die Erweiterung des Prüfumfanges und das schnellere Erkennen potenziell kritischer Situationen sind geeignet, Sondermaßnahmen zur Aufrechterhaltung der Produktionsfähigkeit zu vermeiden oder durch eine frühzeitige Bedarfsidentifikation zumindest zu vergünstigen.

Im Ergebnis beider Wirkmechanismen lässt sich durch den Einsatz von KI im Supply Chain Management bei geringeren Kosten eine gesteigerte Termintreue und gesteigerte Produktivität bei insgesamt robusteren Prozessen erzielen. Eine in Produktions- beziehungsweise Wertschöpfungsnetzwerken gesteigerte Verfügbarkeit benötigter Teile und Komponenten verbessert durch die Vermeidung von Umplanungen die Produktionsabläufe und spart Ressourcen, die ggf. für Sondermaßnahmen wie beispielsweise eine Luftfracht erforderlich wären.

In Bezug auf die Zusammenarbeit zwischen Unternehmen im Business-to-Business (B2B)-Bereich oder auch die Reaktion von Unternehmen auf Kundenanforderungen im Business-to-Consumer (B2C)-Bereich ist von einer schnelleren und verbindlicheren Vorhersagefähigkeit beispielsweise von Lieferterminen oder Verfügbarkeiten auszugehen, da Planungsabläufe schneller und automatisiert statt-

Abbildung 6: Überblick über globale Warenströme und Überwachung relevanter Kennzahlen



finden und somit auch die Planungsfrequenz bis hin zur ad-hoc-Planung gesteigert werden kann.

Speziell für kleine und mittelständische Unternehmen bieten Verfahren des maschinellen Lernens und der KI Möglichkeiten, KI-unterstützte Prozesse zur kontinuierlichen Verbesserung zu nutzen. Das Erfahrungswissen von altgedienten Mitarbeitenden muss hierzu in einer KI abgebildet werden. Dies ist ein Beitrag zur Sicherung des Erfahrungswissens, da aufgrund von Fachkräftemangel gerade im Mittelstand oft auch Nachwuchssorgen bestehen.

Fazit und Empfehlungen

Die Sammlung und Auswertung bereits vorliegender (unternehmensinterner) Daten ermöglicht für die Logistik einen großen Erkenntnisgewinn. Daher sollte die Nutzbarmachung dieser Daten für Methoden der KI vorangetrieben werden.

Die Logistik verbindet Unternehmen und agiert in globalen Liefernetzwerken. In diesem Umfeld spielen der Austausch und die Vernetzung von Daten und Informationen eine große Rolle. Eine gemeinsame Nutzung dieser Daten oder der gemeinsame Einsatz von KI kann helfen, die Effizienz für alle Beteiligten, weit über die eigenen Unternehmensgrenzen, zu steigern. Dafür muss allerdings ein Datenaustausch zwischen den Unternehmen unter Wahrung der eigenen Datensouveränität, z. B. über die International Data Spaces (siehe <https://www.internationaldataspaces.org/>), erfolgen.

4.5 Pick-and-Place-Robotik

Flexible Anpassung von Sortier- und Montagelinien

Pick-and-Place-Roboter werden in der industriellen Fertigung eingesetzt, um möglichst schnell Teile zu sortieren, zusammenzufügen oder zu montieren.

Konventionell programmierte Roboter sind dabei nur eingeschränkt fähig, auf nötige Neujustierungen geeignet zu reagieren.

Mittels kollaborierender Roboter und Methoden des maschinellen Lernens können besonders variierende Prozessabläufe flexibel und schnell angepasst werden.

Problematik, Zielstellung, Anforderungen

Hochlohnländer wie Deutschland sind bei der industriellen Produktion aufgrund steigender Produkt- und Variantenvielfalt auf flexible Automatisierungslösungen angewiesen. Dabei gilt es, Abläufe in der Produktion zu beschleunigen und die Verfügbarkeit der Maschinen beziehungsweise von Produktionslinien zu erhöhen. KI-Softwarelösungen stellen dafür einen zunehmend bedeutender werdenden Baustein dar.

Industrie 4.0-Maßnahmen ermöglichen es, den steigenden Anforderungen an Quantität und Qualität in der Produktion gerecht zu werden, mittels einer umfassenden digitalen Automatisierung den klassischen Robotereinsatz zu einer Smart Factory zu entwickeln und beim Zusammenwirken von Mensch und technischem Werkzeug Qualität, Effizienz und Geschwindigkeit bei der Fertigung zu erhöhen.

Ein fertigungsrelevanter Teilbereich der industriellen Produktion betrifft die Handhabung von Kleinteilen in Pick-and-Place-Montagelinien. Zunehmend werden sogenannte Pick-and-Place-Roboter eingesetzt. Diese müssen präzise und schnell zugeführte unsortierte Teile an einer Stelle abgreifen, an einer anderen definiert und geordnet ablegen oder einzelne Teile fehlerfrei und folgerichtig zusammenfügen. Durch den Einsatz geeigneter, ein- oder zweiarmer Roboter und getakteter Fördertechnik kann die erforderliche Produktivität, Flexibilität und Verlässlichkeit bei der Sortierung und Montage erreicht werden. Die Produktion in der Roboterzelle wird dabei vom Produktionsüberwachungssystem erfasst, Gutteile werden registriert und Fehlerfälle für die nachfolgende Fehlerbehebung und Systemoptimierung protokolliert. Die Taktrate der Fertigungsteilschritte ist abhängig von der Auslastung der sonstigen Fertigungsteilbereiche des Gesamtsystems und wird über eine intelligente Zentralsteuerung optimal koordiniert. Während konventionelle Robotersysteme nur eingeschränkt fähig sind, auf neue Einstellungen angemessen zu reagieren, bietet der Einsatz von KI-geführten kollaborierenden Robotern die nötige Flexibilität. Durch die Protokollierung von Produktionsdaten und Fehlerfällen im zentralen Erfassungssystem stehen konkrete und detailierte Daten für die Optimierung der Fertigungsabläufe zur Verfügung. Die einzelnen Teilbereiche können sogar innerhalb definierter Systemgrenzen eine eigene Planung ihrer Prozessabläufe durchführen. Maschinelles Lernen (ML) ermöglicht es dabei, dass sowohl die Teilbereiche sich selbst verbessern, als auch in Zusammenarbeit aller Fertigungs-

teilmereiche das Gesamtsystem sich in einen optimierten Fertigungszustand bringt.

Pick-and-Place-Prozesse finden sich beispielsweise bei der variantenreichen Kleinserienfertigung, bei sensiblen Montageprozessen oder bei Routinetätigkeiten im Pharma- oder Chemiebereich. Dabei spielt es eine Rolle, wie die zu fügen oder zu positionierenden Teile bereitgestellt werden, wie deren Lage festgestellt werden kann, wie sie gegriffen werden können, in welcher Weise sie evtl. zusammengefügt werden müssen und wo sie wieder neu positioniert werden sollen. Je nach Anwendung ergeben sich daraus Anforderungen an die Wahl der einzusetzenden Roboter, die visuelle Erkennungstechnik, die Sensorik der Umgebungsbedingungen der unterschiedlichen Fertigungsteilmereiche und an die Komplexität der KI-Algorithmen zum Erreichen unterschiedlicher Autonomiegrade.

Nutzenpotenziale und Zielstellung für weiteren Nutzen durch KI

Ein zunehmender Autonomiegrad in der Produktion ermöglicht einerseits Flexibilität, erfordert aber andererseits auch eine angemessene Kontrolle der zulässigen Selbstmodifikationen einer Produktionszelle. Durch eine intelligente Fertigung und den Einsatz von Pick-and-Place-Robotern lassen sich Produktionskapazitäten pro Flächeneinheit erhöhen, Produktionsabläufe optimieren und Prozesszeiten verkürzen. Ein vernetztes Produktionssystem garantiert die Zuführung der nötigen Bauteile in der richtigen Sequenz. Auch kann auf Basis digitaler Checklisten bei den einzelnen Prozessschritten die Fehlerhäufigkeit verringert und dadurch die Effizienz erhöht werden. Zudem lassen sich in der Materiallogistik aufwendige, mühsame und fehleranfällige Arbeiten mit Kleinteilen durch den Einsatz von Radio Frequency Identification (RFID)-Chipstechnologie automatisieren. Und nicht zuletzt können die bisher starr voneinander getrennten Arbeitsschritte von Mensch und Roboter durch den Einsatz kollaborativer Technologien mit KI-Unterstützung sicher miteinander gekoppelt werden. Sensorgestützte Sicherheitsmaßnahmen erlauben es, dass ein Bediener die Fertigungszelle betreten kann und der Roboter durch die Umgebungsüberwachung dies erkennt und sich darauf einstellt.

Für ein Unternehmen ergeben sich durch den Einsatz von Pick-and-Place-Technologien zahlreiche Nutzenpotenziale. Die Mitarbeiter können mit technisch ausgereiften Werk-

zeugen arbeiten, um Routinetätigkeiten mit einwandfreier Präzision auszuführen. Auch werden sie von einfachen Routinetätigkeiten entlastet und können sich jetzt auf anspruchsvollere Aufgaben konzentrieren, die zur Produktivitätssteigerung beitragen. Die Automatisierung von Fertigungsschritten hilft, Betriebskosten zu senken, z. B. indem Umrüstzeiten verringert, Maschineneinsatzzeiten verlängert und Ausfallzeiten durch z. B. krankheitsbedingtes Fehlen von Mitarbeitern vermieden werden können.

Nutzenpotenziale können jedoch nur dann erreicht werden, wenn die Mitarbeiter stets die Kontrolle über den Prozessablauf behalten, auch bei einem höheren Grad an Autonomie des Fertigungssystems. Die von einem Roboter getroffenen Entscheidungen dürfen nur innerhalb definierter Systemgrenzen erfolgen, die Ausführung der Aktionen wird bei der KI-Programmerstellung festgelegt und zu jeder Zeit muss eine vom Mitarbeiter ausgelöste Stilllegung des Gesamtsystems möglich sein.

Applikationsbezogene Autonomiebeschreibung

Ein einfaches Beispiel in einer Pick-and-Place-Montagelinie ist das Teilehandling, welches in unterschiedlichen Autonomiestufen eingesetzt werden kann:

- **Autonomiestufe 0:** Ein durch klassische Automatisierungs- und Steuerungstechnik programmierter Pick-and-Place-Roboter nimmt Teile von vorher festgelegten Positionen auf und legt diese an exakt definierten Positionen wieder ab. Die Steuerung der Abläufe erfolgt durch eine vorab festgelegte Regelerstellung und Qualifizierung, die während der Durchführung nicht mehr verändert werden kann. Algorithmen der KI sind hierbei nicht involviert. Der Mensch gibt eindeutig die Regeln vor und hat stets die volle Kontrolle über den Gesamtprozess, die Verantwortung für die Aufrechterhaltung des Betriebs und für Reaktionen auf unvorhergesehene Anforderungen.
- **Autonomiestufe 1:** Der Roboter wird in der Autonomiestufe 1 wie in Autonomiestufe 0 durch den Menschen klassisch ausprogrammiert oder projiziert und arbeitet in den gleichen festen Grenzen. Die menschliche Intelligenz erzeugt wie in Autonomiestufe 0 die Regelerstellung und Qualifizierung. Im Unterschied zur Autonomiestufe 0 schlägt das mittels KI programmierte Assistenzsystem des Roboters dem Menschen zielge-

richtete Verbesserungen im Ablauf vor, wie z. B. energetische oder zeitliche Optimierungen des Prozesses. Der Mensch entscheidet dann, inwieweit er die angebotenen Verbesserungen nutzt. Das KI-System leistet Unterstützungsfunktionen und dient somit als Assistenzsystem. Es kann dem Bediener Hilfestellung geben, ihn vor Bedienfehlern schützen und ihm anhand der erkannten Nutzungswünsche Optimierungen und Vorhersagen für den Prozessablauf bereitstellen. Die Verfahren der KI ermöglichen dabei auch die Interpretation komplexer und mehrdeutiger Informationen, können sinnvolle Eingabewerte vorschlagen und zudem die Konsequenzen der Eingaben vorhersagen. KI-basierte Assistenzsysteme können auch dazu beitragen, dass die Zusammenarbeit der einzelnen Fertigungsteilbereiche aufeinander abgestimmt und dadurch der Ablauf des Gesamtsystems optimiert werden kann. Ziel des Einsatzes von KI-Assistenzsystemen ist die Reduktion von Komplexität im Gesamtablauf sowie das Anleiten des Menschen in schwierigen Situationen. Bezogen auf den Gesamtprozess trifft der Mensch in Autonomiestufe 1 weiterhin alle Entscheidungen und trägt die volle Verantwortung für alle Abläufe.

- **Autonomiestufe 2:** In der Autonomiestufe 2 werden der Roboter und die Abstimmung auf die Vorgänge in der Fertigungszelle immer noch maßgeblich durch den Menschen klassisch ausprogrammiert oder projektiert. Im Unterschied zu Autonomiestufe 1 erlaubt die KI-Programmierung dem System jedoch, sich innerhalb der vorgegebenen Systemgrenzen und Ziele selbst zu verbessern. Beispielsweise können nicht exakt positionierte Teile erkannt und aufgenommen werden oder der Roboter kann die Taktrate seiner Handlung selbstständig anpassen. Dadurch werden innerhalb der gesetzten Systemgrenzen einfache Aufgaben automatisiert oder an Automatisierungssysteme delegiert, während komplexe Aufgaben in der Hand des Bedieners verbleiben. Das System übernimmt in definierten Bereichen bei Bedarf 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 u. U. die Absichten seines Tuns. Der Mensch ist in allen Bereichen in der Entscheidungsgewalt und kann bei Bedarf eingreifen.
- **Autonomiestufe 3:** In Autonomiestufe 3 kann der teilweise ausprogrammierte oder projektierte Roboter zusätzlich zur Anpassung seiner Handlungen auch innerhalb von Systemgrenzen selbst planen und seine Planung auch umsetzen, z. B. indem er eine eigenständige Anpassung der Taktrate der Teilezulieferung durchführt. Er befindet sich dabei in Kooperation mit seiner Umgebung, wie z. B. anderen Roboter-Einheiten oder den beteiligten Förderbändern. Das Roboter-System ist dafür zusätzlich mit Sensoren zur Umwelterfassung ausgestattet, nimmt den Umgebungskontext wahr, kann Bewegungen anpassen und Fähigkeiten erlernen. Der Bediener definiert die Systemgrenzen, in denen das KI-gesteuerte System den automatisierten Betrieb führen darf, er beobachtet die Systemscheidungen, hilft bei unvorhergesehenen Problemen und kann im Notfall eingreifen. Diese Teilautonomie gestattet es, den Produktionsablauf dadurch zu optimieren, dass Probleme und Fehler teilweise im Voraus erkannt werden oder der Bediener zumindest in Echtzeit informiert werden kann. Die Überwachung des Fertigungsprozesses in Echtzeit und die Nutzung von KI erlauben es, eine zugehörige gelernte Aktion begrenzt autonom auszuführen. Beispielsweise kann das System selbstständig einen Stopp erzwingen oder die Anlage in einen abgesicherten Modus fahren, wenn eine akute Überlastung erkannt wurde. Der Mensch bestätigt nur noch gewisse vorgeschlagene Lösungsstrategien oder unterstützt in spezifischen Problemstellungen, d. h. er greift ein, wenn das System ihn alarmiert.
- **Autonomiestufe 4:** Im Unterschied zu Stufe 3 arbeitet der Roboter in der Autonomiestufe 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 und adaptiv. Durch kontinuierliche Lernphasen optimiert er sich selbst, passt sein Verhalten sich ändernden Zielen an und versteht es zunehmend vielfältiger, mit aufkommenden Problemen umzugehen. Diese Selbstoptimierung der Fertigungsstrategie anhand erfasster Daten und vorgegebener Kennzahlen wird im Rahmen der bei der Algorithmen-Erstellung definierten Systemgrenzen ermöglicht. Der Mensch überlässt dem System die Kontrolle über eine gewünschte Systemsteuerung, hat höchstens eine überwachende Funktion und agiert ggfs. in Notsituationen.

- **Autonomiestufe 5:** Bei der Arbeit in der höchsten Autonomiestufe 5 agiert der Roboter innerhalb der gesetzten Systemgrenzen vollkommen autonom, stets in Kooperation mit den anderen autonomen Teilsystemen des Gesamtsystems. 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. Das Gesamtsystem arbeitet selbstorganisierend und in Kommunikation mit den einzelnen Fertigungszellen adaptive Lösungen aus, wobei der Strategieplan bei sich ändernden Arbeitsbedingungen in Echtzeit dynamisch überarbeitet und an die beteiligten Maschinen kommuniziert wird. Der Mensch muss dafür nicht unbedingt anwesend sein, behält aber trotzdem zu jeder Zeit die Möglichkeit einzugreifen. Im Notfall kann das System selbstständig in einen sicheren Zustand fahren.

Wirtschaftlicher Beitrag und erreichbare Vorteile

Durch Automatisierung können Routinetätigkeiten, die bisher von Menschen durchgeführt werden mussten, von Maschinen übernommen und zunehmend automatisiert werden. Beispielsweise kann bei monotonen, immer wiederkehrenden und dadurch fehleranfälligen Vorgängen der menschliche Einsatz durch KI-gesteuerte maschinelle Abläufe übernommen werden, so dass Kosten durch Fehlproduktionen vermieden werden, eine gleichbleibende Qualitätsgüte erreicht wird und zudem den Mitarbeitern mehr Zeit für kreative Aufgaben bleibt.

Weitere Einsparpotenziale ergeben sich durch Vermeidung von Umrüstzeiten, Erhöhung der Einsatzvariabilität der Fertigungseinheiten und Steigerung der Produktivität durch echtzeitfähige Anpassung der Produktionsabläufe. Speziell bei kundenindividuellen Fertigungsanfragen (Losgröße 1) ist Flexibilität in der Logistik und bei Montageprozessen Voraussetzung. Wertströme lassen sich dadurch bedarfsgerecht optimieren und aussteuern.

Fazit und Empfehlungen

Pick-and-Place-Robotik gehört im Bereich der Industrie-Automatisierung zu den Grundmodulen, wenn es um automatisiertes Greifen, Packen, Umsetzen oder Montieren geht. Sie sind die optionale Wahl gegenüber dem mensch-

lichen Einsatz, wenn es beispielsweise um das schnelle, präzise und unermüdliche Sortieren von Teilen mit bekannter Form und Position geht. Werden jedoch unterschiedliche Formen und Positionen angeboten, so ist der Einsatz von KI-Systemen angeraten. Diese können aus vorhandenen Daten zum vorgesehenen Prozessablauf eine Optimierung des Sortier- oder Fertigungsvorgangs erzielen. Dazu lernen sie während der Trainingsphase, welche Parameter und Daten einen Einfluss auf den Prozess haben und wie diese Daten rückgeführt werden müssen, damit eine Optimierung erreicht wird.

Neben den einfachen Routinetätigkeiten ergeben sich besonders bei der Kleinserienfertigung Aufgabenstellungen, die gut durch Pick-and-Place-Roboter erledigt werden können. Die KI-gestützte Steuerung vermindert nötige Umrüstzeiten, kann die Kapazitätsauslastung anpassen und erlaubt es, die Fertigung in Richtung individueller Kundenwünsche zu entwickeln.

4.6 Selbstoptimierende Laserschneidanlage

Produktionsanlagen lernen selbstständig und weltweit miteinander

Am Beispiel der Laserschneidtechnologie zur Bearbeitung von Blechen wird aufgezeigt, wie die Robustheit und Autonomie eines industriellen Bearbeitungsprozesses durch den Einsatz von KI-Methoden erhöht werden kann.

Die Maschinenarchitektur der Laserschneidanlage wird konsequent durch adaptive und flexible Sensorik und Aktorik für die Anwendung von KI-Technologien vorbereitet.

KI-Technologien optimieren während der Maschinennutzung selbstständig Prozess-Abläufe, ohne dass eine aktive, manuelle Weiterentwicklung der Maschinensoftware oder andere Engineering-Aufwendungen benötigt werden.

Problematik, Zielstellung, Anforderungen

Das Laserschneiden von Metallblechen zeichnet sich durch höchste Flexibilität bezüglich der Bearbeitung beliebiger Geometrien aus. Es lassen sich auf derselben Maschine

unterschiedlichste Materialien (Edelstahl, Baustahl, Aluminium, Kupfer, ...) der verschiedensten Blechdicken bearbeiten und große, aber auch kleine filigrane Teile bei höchsten Bearbeitungsgeschwindigkeiten ausschneiden.

Aufgrund der extremen Prozessflexibilität lassen sich auch kleinste Losgrößen wirtschaftlich fertigen, da beispielsweise keine speziellen Werkzeuge extra für einen Auftrag benötigt werden. Um das Rohmaterial optimal zu nutzen, werden in der Regel diverse Teile aus unterschiedlichen Aufträgen in einen Produktionsauftrag gebündelt und gemeinsam aus einem Rohblech geschnitten. Typischerweise ist damit jeder Produktionsauftrag ein Unikat.

Der Laserschneidprozess eignet sich, neben der klassischen Massenproduktion, sehr gut für hochindividualisierte Fertigungsszenarien mit kleinsten Losgrößen. Die mögliche extreme Teilevielfalt erschwert jedoch die Umsetzung von Automatisierungslösungen zum Entladen und Vereinzeln der gefertigten Teile. Klassische Algorithmen bringen jedoch häufig keine zufriedenstellenden Ergebnisse. Der manuelle Programmieraufwand steigt und wird häufig nur noch von sehr erfahrenen Arbeitsvorbereitern beherrscht. Teilweise wird dann eine Automatisierung der Vereinzlung und Sortierung nicht oder nur unbefriedigend funktionieren und muss durch manuelle Eingriffe korrigiert werden.

Es besteht der Anspruch, dass vor allem bei sinkenden Losgrößen die Produktivität der Fertigung nicht beeinträchtigt werden darf. War der manuelle Einrichteaufwand bei großen Losgrößen in der Arbeitsvorbereitung evtl. noch vertretbar, so muss dieser Aufwand bei kleinsten Losgrößen nach Möglichkeit komplett entfallen und jedes Teil schon beim ersten Versuch optimal und, wo möglich, automatisiert produziert werden.

Das Ziel für den Maschinenhersteller als Lösungsanbieter ist es somit nicht mehr nur, eine gute und schnelle Maschine zu entwickeln und bereitzustellen. Vielmehr müssen auch bei den neuen Rahmenbedingungen die Produktivität und Prozessstabilität für die vor- und nachgelagerten Prozesse maximiert werden. Erfolgsfaktor wird die technische und wirtschaftliche Beherrschung der daraus resultierenden exponentiell steigenden Prozesskomplexität sein.

Nutzenpotenziale und Zielstellung für den Einsatz von KI

Grundlage für eine erfolgreiche Produktion sind zunächst weiterhin flexible, hochproduktive und qualitativ hochwertige Maschinen. Trotz ausgeklügelter Maschinenkonzepte und des Einsatzes modernster Software sind gut ausgebildete und erfahrene Maschinenbediener der Erfolgsgarant bei den Fabrikbetreibern. Der manuelle situationsgerechte Eingriff entscheidet häufig über Produktivität, Qualität und Kosten. Aufgrund der dramatisch steigenden Komplexität wird es für Menschen aber schwieriger, diesen Anforderungen gerecht zu werden. Die Aufgabe über klassische Algorithmen und Automatisierungsansätze zu lösen, stößt dabei ebenfalls immer mehr an Grenzen, die sich wirtschaftlich kaum mehr überwinden lassen.

Der Einsatz von Methoden der KI stellt einen vielversprechenden Ansatz aus dem Dilemma dar:

Die Maschine und die beteiligten Automatisierungssysteme analysieren und bewerten selbstständig und kontinuierlich vergangene und aktuelle Situationen, lernen daraus neue erfolgversprechende Strategien für die Modifikationen der relevanten Prozessparameter und geben diese an die Automatisierungsgeräte weiter. Die dadurch gewonnene Erhöhung des Autonomie-Levels führt zu einer notwendigen Entlastung der beteiligten Personen und ermöglicht eine Optimierung der Maschinen und dadurch eine kontinuierliche Maximierung der Produktivität. Da es sich hierbei nicht um einen statischen Regelungsprozess handelt, sondern um ein selbstlernendes System, optimiert sich die Produktion mit jedem neu produzierten Teil selbstständig weiter.

Applikationsbezogene Autonomiebeschreibung

Nachfolgend werden die bekannten Autonomiestufen auf das Beispiel Laserschneiden abgebildet. Dabei wird das System aus der Kombination von Maschine und der dazugehörigen Computer Aided Manufacturing (CAM)-Software betrachtet:

- **Autonomiestufe 0:** Die Autonomiestufe 0 entspricht einer klassischen Computerized Numerical Control (CNC)-Maschine. Der Bediener schreibt der Maschine bis ins kleinste Detail vor, welche Bewegungen und Aktionen ausgeführt werden sollen (z. B. G-Code Programmierung).

- **Autonomiestufe 1:** In Autonomiestufe 1 schlagen CAM-Software und Maschine passende Parameter für die Laserbearbeitung der Blechrohtafel vor. Diese werden auf Basis von Material, Blechdicke und der zu schneidenden geometrischen Kontur bestimmt.
- **Autonomiestufe 2:** Autonomiestufe 2 entspricht dem Status quo für Laserschneidanlagen im High-End-Segment. Für einen großen Teil des Material- und auch denkbaren Teilespektrums hat der Mensch nur noch eine planende und teilweise unterstützende Rolle. Die CAM-Software berechnet vollautomatisch die besten Bearbeitungsstrategien und erzeugt daraus einen optimierten, für die Maschine direkt umsetzbaren Produktionsauftrag. Die Maschine regelt den Schneidprozess in Echtzeit nach, so dass Materialtoleranzen weitgehend ausgeglichen werden können. Auf bekannte Fehlersituationen reagiert die Maschine weitgehend selbstständig, indem fest hinterlegte Lösungsstrategien zur Anwendung kommen.
Steigt jedoch die Material- und Teilevielfalt extrem an, sinkt der Autonomie-Level, da rein statistisch immer häufiger Situationen auftreten, die nicht automatisch gelöst werden können und den Eingriff des Bedieners benötigen. Bis zu dieser Autonomiestufe ist die Umsetzung auch ohne KI-Mittel möglich.
- **Autonomiestufe 3-4:** In Autonomiestufe 3 und 4 wird es dem System durch den Einsatz von KI ermöglicht, aus Fehlersituationen zu lernen. Anfänglich müssen Fehlersituationen noch vom Menschen bereinigt werden. Das System wird jedoch mit zunehmender Erfahrung selbstständiger und der Prozess autonomer. Durch den flexiblen Einsatz von Automatisierungstechnik, die auch durch die KI beeinflusst wird, muss der Mensch nur im Bedarfsfall hinzugerufen werden. Dieses System wird nachfolgend noch im Detail betrachtet.
- **Autonomiestufe 5:** Autonomiestufe 5 kann in Zukunft erreicht werden, indem die Systemgrenzen noch deutlich erweitert werden. Der Prozess vom Auftragseingang bis zum Versand wird komplett durch eine KI gesteuert werden. Daten anderer Gewerke, wie beispielsweise dem Stahllieferanten, fließen durch geschickte Integration mit in den Fertigungsprozess ein.

Herkömmliche Maschinenkonzepte wurden in Bezug auf Bearbeitungsgeschwindigkeit, Prozesssicherheit, Automatisierungsgrad und Teileflexibilität optimiert und können

Abbildung 7: Verkippte oder durch das Restgitter gefallene Teile



Quelle: TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG

je nach Einsatzzweck jedoch nicht alle Gebiete gleich gut abdecken.

Eine Laserflachbettmaschine zeichnet sich zum Beispiel durch hohe Bearbeitungsgeschwindigkeiten und eine vergleichsweise aufwandsarme Arbeitsvorbereitung aus. Das zu bearbeitende Rohblech liegt flach auf Auflagenleisten. Der Laserschneidkopf bewegt sich abhängig von der zu produzierenden Teilegeometrie über das Blech und bringt das für den Laserschneidprozess notwendige Prozesslicht in der benötigten Eigenschaft und Qualität an die zu bearbeitende Position. Überall da, wo das Teil geschnitten werden soll, wird das Material durch die Energie des Laserlichtes geschmolzen und gleichzeitig die Schmelze durch ein geeignetes Prozessgas nach unten ausgetrieben, um Verschweißen zu vermeiden (dieser Prozess wird heute über nahezu 300 Prozessparameter geregelt).

Nachdem alle Konturen des Teils bearbeitet (geschnitten) wurden, liegt das fertige Teil umgeben vom Restblech frei auf den Auflageleisten. Mithilfe von geeigneten Automatisierungslösungen könnten diese Teile nun entnommen, sortiert und für die nächsten Bearbeitungsstationen bereitgestellt werden. Jedoch kommt es häufig zum Problem,

dass Teile verkippen oder verkanten (siehe hierzu Abb. 7) Ob ein Teil kippt oder verkantet, hängt häufig von der Geometrie des Teils selbst, der Position des geschnittenen Teils auf den Auflageleisten, Schneidrichtung, Strömungsdruck des Schneidgases und vielen weiteren kaum zu kontrollierenden Faktoren ab. Verkippte oder verklemmte Teile lassen sich jedoch nur schwer automatisiert greifen. Eine vollständige Automatisierung wird nahezu unmöglich.

Bei einem alternativen, aber automatisierungsfreundlicheren Maschinenkonzept bleibt der Laserschneidkopf an einer festen Position und das Blech darunter wird entsprechend der zu produzierenden Teilegeometrie bewegt. Dabei stehen zwei Entladestrategien nach dem abschließenden Schnitt zur Verfügung. Große Teile werden nach oben über ein Automatisierungsgerät entnommen. Kleine Teile fallen über ein flexibles Gate per Schwerkraft nach unten auf ein Förderband oder in Behälter. Aber auch hier führen sich verklemmende Teile immer wieder zu Problemstellungen, die durch Menschen gelöst werden müssen.

Die autonome Laserschneidanlage vereint die beiden beschriebenen Maschinenkonzepte (Abbildung 8). Um mithilfe von künstlicher Intelligenz einen vollständig automatisierten Betrieb zu realisieren, muss die Maschine zunächst

um kognitive Fähigkeiten erweitert werden. Dazu erhält das Produktionssystem nicht nur zusätzliche Sensoren (z. B. Kameras, Kraftaufnehmer, Lichtschranken, ...), um zusätzlich zu den bereits vorhandenen Maschinen- und Betriebsdaten den Prozess genauer als bisher zu erfassen. Durch eine zusätzliche Erweiterung der aktorischen Möglichkeiten wird es nun möglich, eine Vielzahl neuer Lösungsvarianten anzuwenden.

Die Erweiterung der Prozessparameter, verbunden mit der nun riesigen Menge an zusätzlicher sensorischer Information und der gleichzeitigen Ausweitung der aktorischen Reaktionsmöglichkeiten, führt zu einer dramatischen Steigerung der Gesamtkomplexität. Diese ist jetzt so hoch, dass das eigentliche Problem mit klassischen Algorithmen durch die menschlichen Ingenieure nicht mehr beschrieben und damit auch nicht gelöst werden kann.

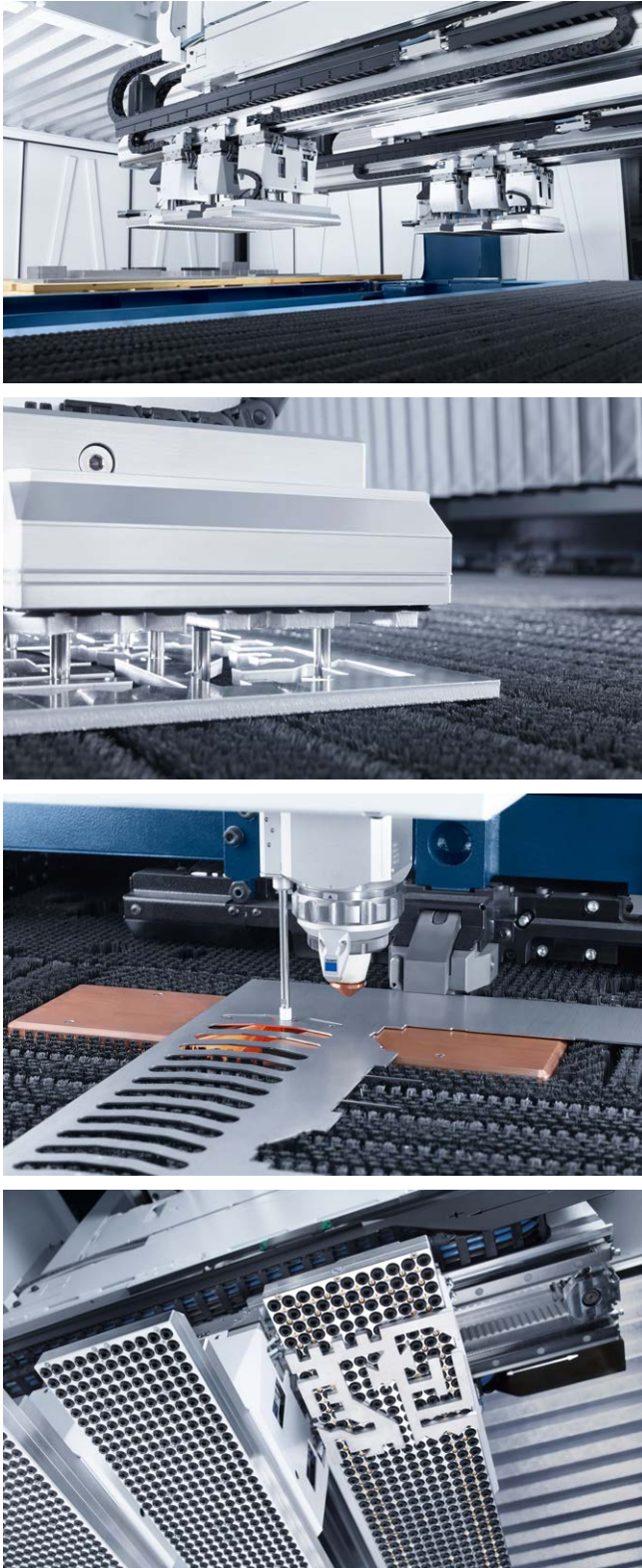
Wo traditionelle Algorithmen kombiniert mit klassischer Regelungstechnik an ihre Grenzen stoßen, zeigen die Methoden der künstlichen Intelligenz neue Lösungswege auf. Mithilfe der zur Verfügung stehenden sensorischen Informationen wird bei kleinen Teilen zunächst festgestellt, ob ein Teil durch das SmartGate (Abbildung 9 (1)) nach unten fällt oder nicht. Für etwas größere Teile kann durch

Abbildung 8: Autonome Laserschneidanlage



Quelle: TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG

Abbildung 9: SmartGate (1), Entnahmepins (2), Ausdrückzylinder (3), Saugermatrix (4)



einen Ausdrückzylinder (Abbildung 9 (3)) das Teil definiert von oben aus dem Restgitter nach unten in das Gate gedrückt werden. Neben der Position und Kraft des Ausdrückzylinders spielen Teileschwerpunkt, Schneidstrategie, Material, Start- und Endposition des Schneidvorgangs und viele weitere Parameter eine wesentliche Rolle (siehe <https://youtu.be/ycyrp6mRvGM?t=120>). Bei Fehlversuchen werden Parameter automatisch variiert und die Ergebnisse über Erfolg und Misserfolg gespeichert.

Ähnlich verhält es sich beim Ausschleusen von großen Teilen. Diese werden nach oben mit einer Saugermatrix entnommen (Abbildung 9 (4)). Diese aktiviert automatisch nur die Einzelsauger, die die Blechoberfläche berühren. Damit nur das zu entfernende Teil abgehoben wird, muss dieses von den Entnahmepins (Abbildung 9 (2)) zuvor aus dem Restblech nach oben gedrückt werden. Hier besteht die Herausforderung, nur die notwendigen Pins anzusteuern, damit das Teil nicht verkippt oder verklemmt (siehe <https://youtu.be/ycyrp6mRvGM?t=75>).

Gelingt es den Pins und dem Sauger nicht auf Anhieb, das Teil zu entnehmen, leitet die Maschine selbstständig einen neuen Entnahmezyklus ein. Diesen Zyklus wiederholt die Maschine, wenn nötig mehrmals hintereinander mit einer zufälligen Variation von Parametern, bis die Entnahme erfolgreich ist. Auch hier ist wieder eine Vielzahl von Einflussfaktoren (z. B. Material, Teilegeometrie, Position des Trennschnitts, Schnittreihenfolge, Lasertechnologie-Parameter, ...) für das Ergebnis verantwortlich.

Mithilfe herkömmlicher Algorithmen und Vorabsimulation aller Parameter ist eine Optimierung leider nicht möglich, da selbst mit dem Einsatz aufwendiger Finite-Elemente-Methode (FEM)-Simulationen in endlicher Zeit keine befriedigenden Ergebnisse erreichbar sind.

In beiden beschriebenen Szenarien wird daher eine KI mit den Ergebnissen der vorangegangenen Situationen trainiert. Mithilfe des sich selbstständig verbessernden Machine-Learning-Modells optimiert das Produktionssystem seine Entnahmestrategien kontinuierlich weiter. Bisher unerkannte Korrelationen zwischen Bauteilgeometrie, Blechdicken, Bearbeitungsstrategie und vielen weiteren beteiligten Parametern werden in Zusammenhang gebracht und zielführend adressiert. Dies ist bisher in diesem Ausmaß ohne KI nicht gelungen.

Um die Geschwindigkeit des Optimierungsprozesses weiter zu steigern, fließen zusätzlich zu den Testreihen des Maschinenherstellers auch dessen Erfahrungen und Wissen aus physikalischen Modellen (z. B. FEM-Simulationen) kontinuierlich mit ein. Zusätzlich werden die Maschinen bei Bedarf mithilfe von Cloud-Architekturen miteinander vernetzt, um im gebildeten Schwarm ein übergeordnetes Modell zu optimieren. Das Ergebnis der künstlichen Schwarmintelligenz steht anschließend der Einzelmaschine zur Verfügung.

Wirtschaftlicher Beitrag und erreichbare Vorteile

Durch Nutzung von Mechanismen der künstlichen Intelligenz lassen sich hochkomplexe Problemstellungen, die durch klassisches Systemengineering oder Versuche wirtschaftlich und technisch nicht mehr beherrschbar sind, durch alternative Vorgehensweisen lösen. Aufwendige Versuchsreihen durch menschliche Experten lassen sich deutlich reduzieren.

Ein Fabrikbetreiber erhält mit einer smarten Maschine ein prozesssicheres Produktionssystem, das auch neue Aufträge ohne große Vorversuche fehlerfrei produziert. Der Ausschuss wird minimiert, die Null-Serie kann entfallen. Zudem wird der Prozess stabiler, je häufiger die Maschinen genutzt werden. Die gesteigerte Produktivität, Prozesssicherheit und Auftrags-Flexibilität liefern ungeahnte Wettbewerbsvorteile.

Durch die Vernetzung über das Internet kann der Lernprozess über die weltweit installierte Maschinenbasis ausgeweitet werden. Alle Maschinen lernen im Sinne der Schwarmintelligenz voneinander. Der Lernprozess beschleunigt sich und die Qualität der Maschine steigt. Dies wiederum liefert dem Maschinenbetreiber und damit auch dem Maschinenproduzenten wertvolle Marktanteile.

Handlungsempfehlung und Erkenntnisse beim Einsatz von KI

Der Einsatz von KI bietet neue Möglichkeiten und Chancen, komplexe Prozesse beherrschbar zu gestalten. Für den erfolgreichen Einsatz im Produktionsumfeld ist häufig jedoch eine durchdachte Erweiterung durch Sensorik und Aktorik notwendig. Nur so können die Stärken von KI ausgespielt werden. Die Ausstattung einer Maschine mit

Sensorik und Aktorik für die Nutzung von KI-Technologien kann sich deutlich von der einer klassisch ausgelegten Maschine unterscheiden.

Einerseits stehen mehr Informationen zur Verfügung, als durch klassische Algorithmen sinnvoll verarbeitet werden können, andererseits führt die zusätzliche Aktorik zu einer drastisch steigenden Systemkomplexität. Daher benötigt es auch hier ein durchdachtes Vorgehen, um zu brauchbaren Lösungen zu kommen.

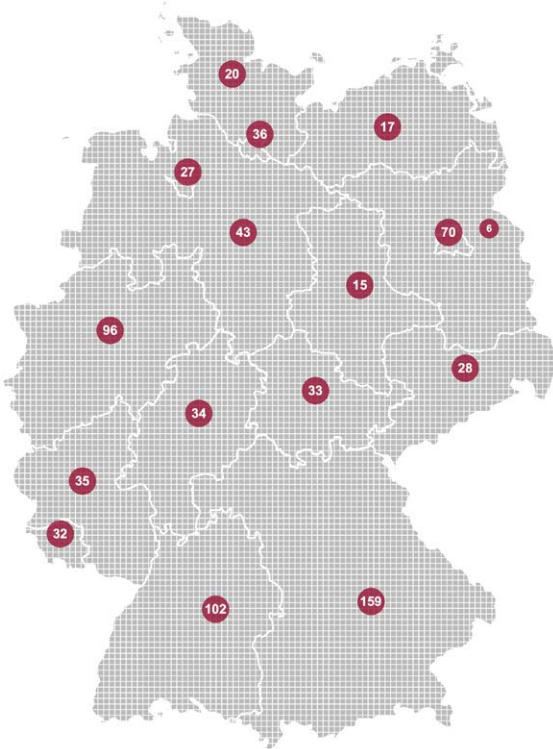
Einfach nur neuronale Netze mit einer beliebigen Flut an Daten zu füttern, kann vielleicht auch zum Erfolg führen, ist aber selten wirtschaftlich durchführbar. Den Prozess und die Problemstellung grundsätzlich zu verstehen, geeignete Informationen zu nutzen und zielgerichtet zusätzliche Aktorik bereitzustellen, ist zielführender.

4.7 Weitere Anwendungsbeispiele aus der KI-Landkarte der Plattform Lernende Systeme

Die Plattform Lernende Systeme wurde 2017 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) auf Anregung von acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und dem Hightech-Forum der Bundesregierung initiiert. Sie bündelt das Fachwissen von rund 200 KI-Expertinnen und Experten aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und zivilgesellschaftlichen Organisationen. In thematisch spezialisierten Arbeitsgruppen erörtern sie Chancen, Herausforderungen und Rahmenbedingungen für die Entwicklung und den verantwortungsvollen Einsatz von KI. Aus den Ergebnissen leiten sie Anwendungsszenarien, Gestaltungsoptionen oder Roadmaps ab. Die Plattform Lernende Systeme unterstützt so den weiteren Weg Deutschlands zu einem international führenden Technologieanbieter. Ihre Geschäftsstelle ist bei acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften angesiedelt.

KI kommt heute bereits in vielen Anwendungsbereichen zum Einsatz. Die Plattformen Lernende Systeme und Industrie 4.0 haben sich zum Ziel gesetzt, dieses Potenzial zu erschließen. Während die Plattform Lernende Systeme die gesamte Breite der KI-Anwendungen sowie deren gesellschaftliche Auswirkungen in den Blick nimmt, fokus-

Abbildung 10: KI-Landkarte der Plattform Lernende Systeme (www.ki-landkarte.de)



Quelle: Plattform Lernende Systeme

siert die Plattform Industrie 4.0 spezifisch auf die industrielle Produktion.

Wo KI in Deutschland aktuell eingesetzt und entwickelt wird, zeigt die KI-Landkarte der Plattform Lernende Systeme. Dort finden sich aktuell über 700 Anwendungsbeispiele aus Forschung und Praxis – über sämtliche Branchen, Einsatzfelder und Unternehmensgrößen hinweg.

Die Beispiele reichen von Industrierobotern über KI-basierte Mobilitätslösungen bis hin zu intelligenten Assistenzsystemen für die Gesundheitsversorgung und werden laufend erweitert.

Unter den KI-basierten Lösungen für die Industrie ist beispielsweise ARMAR-6, ein am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) entwickelter humanoider Roboter. Er unterstützt Beschäftigte in Industriebetrieben bei Wartungs- und Reparaturarbeiten und ist dabei nicht mehr auf eine bestimmte Aufgabe festgelegt. Vielmehr schaut er sich wichtige Fähigkeiten und Bewegungen bei seinen menschlichen Kollegen ab.

Abbildung 11: ARMAR-6 Roboter in Interaktion mit dem Menschen



Quelle: Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Abbildung 12: Dateninterface der elunic GmbH zum Einsatz von KI in der Produktion



Quelle: elunic GmbH

3D-Kameras ermöglichen die Wahrnehmung von Personen und Objekten, Lasersensoren sorgen für kollisionsfreie Bewegung, Drehmomentsensoren in allen Armgelenken für eine variable Kraftverteilung, die eine enge Zusammenarbeit mit dem Menschen erst ermöglicht.

Kommunizieren kann ARMAR-6 durch natürliche Sprache. ARMAR-6 wird im Rahmen des EU-Projekts SecondHands entwickelt und war bereits für mehrere Wochen in den Lagerhäusern der britischen Firma Ocado Technology im Einsatz.

Ein weiteres Beispiel für den Einsatz von KI in der Produktion ist das von der elunic GmbH entwickelte Dataface – ein zentraler Hub für das Industrial Internet of Things (IIoT). Dataface sammelt die eintreffenden Sensordaten, wertet sie mit modernen Verfahren des maschinellen Lernens aus und leitet daraus Handlungsempfehlungen für Maschinenbediener ab.

Diese können so Wartungen und Reparaturen an Maschinen und Anlagen durchführen, bevor eine Störung auftritt (Predictive Maintenance). Ausfallzeiten und Auslastung der Maschinen werden so optimiert. Durch lernfähige Algorithmen entwickelt sich das System fortlaufend weiter und kann sich an neue Maschinen und dynamische Veränderungen der Produktionsabläufe anpassen. Das Personal hat den Zustand aller Anlagen dank digitaler Zwillinge stets im Blick.



5 Reallabor für die Anwendung von KI in der Industrie 4.0

Die SmartFactoryOWL (www.smartfactory-owl.de), eine gemeinsame Einrichtung des Fraunhofer IOSB-INA sowie der Technischen Hochschule Ostwestfalen-Lippe (TH OWL), ist ein 2016 gegründetes Reallabor für Industrie 4.0 in Ostwestfalen-Lippe und bietet Unternehmen und Forschungseinrichtungen umfangreiche Möglichkeiten und Dienstleistungen für die gemeinsame Gestaltung der Fabrik der Zukunft.

Die SmartFactoryOWL agiert als Innovationsplattform und „Transmitter“ zwischen den tragenden Forschungseinrichtungen und externen Partnern. Dazu zählen vor allem Industriepartner, aber auch Wissenschaftler und Studierende, Start-ups sowie Gesellschaft und Politik. Auf Forschungs-, Produktions- und Seminarflächen setzt die SmartFactoryOWL eine Befähigungskette für die Industrie um und informiert Unternehmen zu innovativen Technologien wie KI. Auf einer Fläche von 2000 qm werden diese Themen erlebbar dargestellt und Interessierte erfahren deren Nutzen. Über gezielte Qualifizierungen und Potenzialanalysen werden Unternehmen beim Erkennen von Handlungsfeldern sowie im Wissens- und Technologietransfer und bei der Umsetzung von Projekten unterstützt.

Der Einsatz von KI verspricht ein hohes Nutzenpotenzial in der industriellen Anwendung und damit verbundenen neuen Geschäftsmodellen, unterliegt jedoch häufig durch zu wenig direkten Bezug zu den praktischen Problemstellungen der Industrie, dem fehlenden Zugang zu nutzbaren industriellen Infrastrukturen und realen Produktionsanlagen sowie durch Regulierung und rechtliche Rahmenbedingungen vielen Beschränkungen.

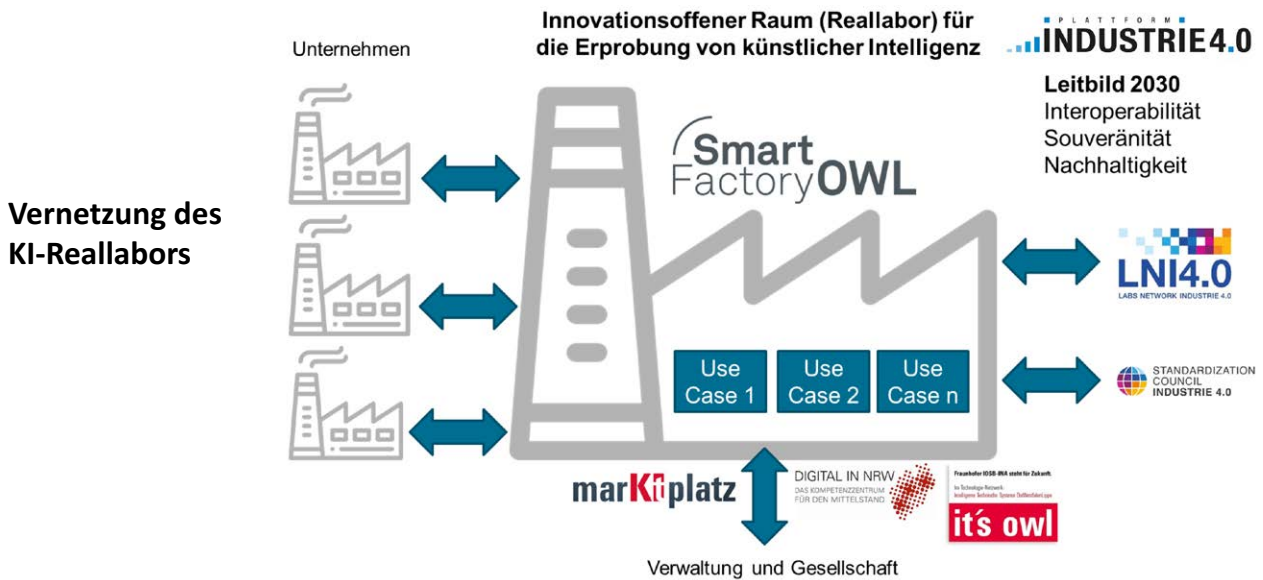
Sogenannte Reallabore können diese Diskrepanz zwischen Forschung und Praxis überbrücken, indem sie einen offenen und gleichzeitig geschützten Kollaborationsraum für Mensch und Technik schaffen und mit möglichst wenigen Regulierungen Innovationsprozesse zulassen, um Potenziale und Auswirkungen von KI in enger Kooperation zwischen Wissenschaft und Industrie in realer Industrieumgebung zu erforschen.

Das KI-Reallabor bringt unter der Federführung des Fraunhofer IOSB-INA, inmitten des Technologienetzwerkes it's OWL, Unternehmen und Forschungseinrichtungen zusammen, um KI-Anwendungen in realen Interaktionsszenarien zwischen Mensch, Maschine und Produkt zu entwickeln, zu erproben und zu demonstrieren. Ziel hierbei ist, innovative KI-Technologien unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen der Industrie 4.0 gewinnbringend und menschenzentriert vorteilhaft einzusetzen. Ergebnis sind umgesetzte Anwendungsfälle, die als „Best practice“ für die Nutzung in der betrieblichen Praxis dienen.

Die Kernziele des KI-Reallabors sind:

1. Ausgewählte Anwendungsszenarien aus der Plattform Industrie 4.0: Anwendungsszenarien aus der Plattform Industrie 4.0 werden in der SmartFactoryOWL abgebildet und umgesetzt.

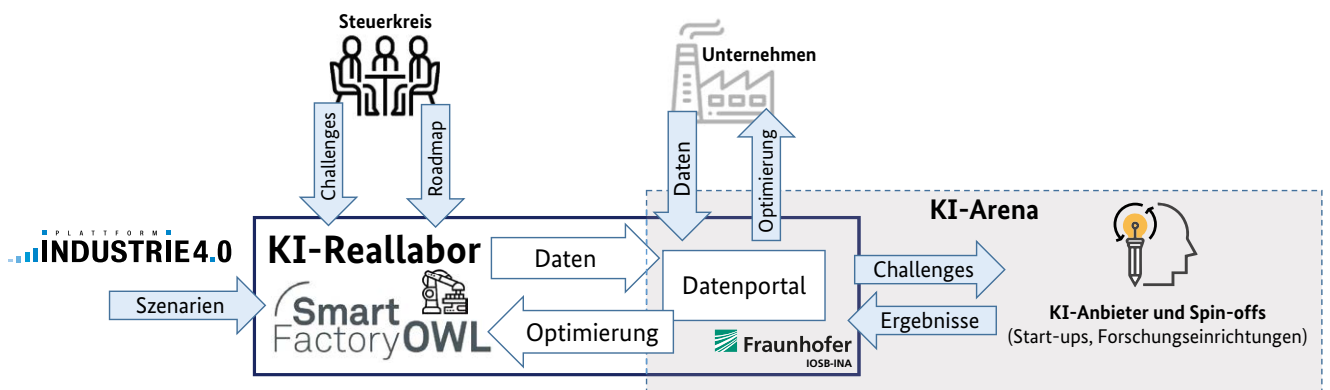
Abbildung 13: KI-Reallabor verbindet Forschung, Initiativen und Unternehmen



Quelle: Fraunhofer IOSB-INA; SmartFactoryOWL

2. Datengenerator: Der prototypische Betrieb einzelner Szenarien dient als Datengenerator, mit dem industrie- und produktionsrelevante (Echtzeit)-Daten aus einer komplexen Prozesskette allen Interessierten nach Open-Data-Grundsätzen zugänglich gemacht werden.
3. Identifikation produktionsrelevanter Fragestellungen: In Abstimmung mit der Plattform Industrie 4.0 werden produktions- und geschäftsmodellrelevante Fragestellungen identifiziert, die unter Nutzung von KI aus den generierten Daten gelöst werden sollen (z. B. Prognose von Ausfallwahrscheinlichkeiten oder Verschleiß, Umgang mit Variantenkomplexität etc.).
4. KI-Arena: Die KI-Arena ist ein Format für Wettbewerbe/Hackathons, in denen Start-ups, KI-Anbieter, Forschungseinrichtungen etc. auf Basis der bereitgestellten Daten die unter 3. definierten Fragestellungen in Challenges lösen. Hierzu soll auch an das vom BMWi geförderte Projekt „KI-Marktplatz“ angedockt werden.

Abbildung 14: Das KI Reallabor bringt KI in die betriebliche Praxis



Quelle: Fraunhofer IOSB-INA; SmartFactoryOWL



6 Fazit

6.1 Orientierung

Wie eingangs erwähnt, verfolgt das Arbeitspapier das Ziel, typische Anwendungsszenarien aus der Industrie 4.0 zu beleuchten und mit Bezug auf die Autonomiestufen zu diskutieren. Für den eigenen möglichen Anwendungsfall wäre zu bestimmen, welcher den hier beschriebenen Beispielen am ähnlichsten ist und ob und wie die Diskussion der Autonomiestufen zu übertragen ist. Ein wesentlicher Punkt ist die Entscheidung, welche Autonomiestufe für das eigene Geschäft anzustreben ist und wie diese zu erreichen ist.

Grundsätzlich empfiehlt sich für den Einsatz von KI in der Produktion/Industrie 4.0 das folgende generelle Vorgehen:

- In einem ersten Schritt gilt es, die eigenen und kundenspezifischen Anwendungen so gut zu verstehen, dass Nutzenpotenziale einer möglichen Wertschöpfung erkannt werden. Dazu gehört es, die Prozesse und geeignete Akteure zu erfassen und potenzielle Partner auszuwählen.
- Bei der anschließenden Ideengestaltung gilt es, zwei zusammenhängende Schritte zu verfolgen. Im ersten Schritt gilt es, die Fähigkeiten zu nutzen, kreativ mit dem Thema umzugehen, mögliche Lösungsansätze zu erkennen und vorstellbar darzustellen. Im zweiten Schritt sind diese Lösungsansätze auf Machbarkeit zu bewerten, zu erproben und in mögliche Produkte umzusetzen. Dabei sind die Systemgrenzen und die angestrebten Autonomiestufen der beabsichtigten Anwendungen zu definieren.
- Für die Implementierung ist zu entscheiden, ob für den jeweils gewählten Lösungsansatz ein regelbasiertes, ein erlerntes oder ein lernendes System einzusetzen ist. Entsprechend ist die zu nutzende Methode auszuwählen.

- Der benötigte Datenraum ist zu spezifizieren. Dabei ist zu klären, welche Daten direkt zur Verfügung stehen (z. B. Sensoren und Aktoren an der Maschine) oder noch zu integrieren sind. Das Spektrum möglicher Datenquellen reicht von einzelnen lokalen Quellen (Maschinen und vernetzte Maschinen) über standortübergreifende Quellen (vernetzte Firmen) bis hin zu externen Quellen (öffentliche und private Datenplattformen oder soziale Medien). Daraus sind die „richtigen“ Daten zu extrahieren, die für das maschinelle Lernen von Zusammenhängen, Anforderungen und Wirkweisen in der jeweiligen Anwendungsdomäne erforderlich sind.
- Für die erste Umsetzung empfiehlt sich die Methode des „Minimal Viable Product“ (MVP). Hierfür bietet es sich an, eine erste Lösung in einem geschützten Raum auszuprobieren und Erfahrungen zu sammeln. Dies kann z. B. in der eigenen Firma, zusammen mit ausgewählten Kunden und Partnern oder auch in einem größeren Rahmen, wie einem KI-Reallabor, geschehen.
- Die ausgewählte Lösung wird im Erfolgsfall in ein Produkt überführt und anschließend ausgerollt.

6.2 Herausforderungen und Handlungsempfehlungen

Die in dieser Veröffentlichung gezeigten Anwendungsbeispiele geben einen ersten Eindruck für den Einsatz von KI in der Industrie 4.0. Dabei ist ersichtlich, dass es gerade in der produzierenden Industrie oft daran fehlt, ausreichend große Datenmengen für die Trainingsphase des KI-Systems, einheitliche Schnittstellen für die Interoperabilität zur Verfügung zu haben und diverse, bereits verfügbare Datensätze unternehmensübergreifend zu nutzen.

Aus dieser generellen Sicht ergeben sich für die Forschung, Entwicklung und Anwendung von KI in der produzierenden Industrie nachfolgende Herausforderungen und Handlungsbedarfe:

- Generell fallen in Industrieprozessen viele Daten an und stehen prinzipiell auch zur Verfügung. Bis diese Daten für maschinelles Lernen verwendet werden können, muss ein hoher Arbeitsaufwand betrieben werden. Speziell für KMU ist dies eine große Eingangshürde und birgt Entscheidungsrisiken, denn aufgrund eines nicht realistisch abgeschätzten Zeit- und Kostenaufwands kann die erfolgreiche Einführung einer KI scheitern. Auch wenn zwar für einige Anwendungen durchaus ausreichende Daten zur Verfügung stehen, so ist meist nicht bekannt, wo diese Daten liegen, wo nutzbare Datenpools (öffentliche und unternehmensbezogene) verfügbar sind und welche als Gemeingut (Open Data) genutzt werden können. Für unternehmerischen Erfolg ist auch die Kenntnis wichtig, wie diese Daten produktionsbezogen aufbereitet werden können und müssen. Daher ist die Förderung der Datenkuratierung, der bessere Zugang zu verfügbaren Daten, die Durchführung von Clearingprozessen zur Datenpoolnutzung und die Aufwandsabschätzung für den KI-Einsatz in KMU angeraten.
- Für die erfolgreiche Nutzung von KI-Algorithmen ist neben der Datenverfügbarkeit Fachexpertise, Domänenwissen und System-Know-how von entscheidender Bedeutung. Oftmals sind individuelle Problemstellungen zu lösen. Hierfür ist die Erstellung von Datenmodellen, anwendungsspezifischen Teilmodellen und semantischen Beschreibungen angeraten. Auch geht es bei der Anwendung von KI-Algorithmen mehr als nur um das bloße Anwenden von Machine Learning (ML). Um eine spezifische Anwendung effizient umzusetzen, ist es notwendig, den Kontext der Datennutzung zu kennen.
- Wenn ausreichend Hintergrundwissen über eine Domäne vorhanden ist, so kann ein grundlegendes Verständnis in der adäquaten Anwendung von KI gut gelingen, so dass diese als Mittel zum Zweck beherrschbar einsetzbar ist. Der Einsatz von KI muss nicht immer heißen, dass zwangsläufig unkalkulierbare Risiken in Kauf genommen werden müssen, um hier erfolgreich zu sein. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn die Anwendungsdomäne nicht sicherheitskritisch (safety-critical) ist. Aktuelle Normungsarbeit adressiert dabei die Rahmenbedingungen, wie KI-Systeme bei (funktional) sicheren Systemen eingesetzt werden können und eine Normkonformität hergestellt werden kann, um notwendige Abnahmen dieser Systeme zu gewährleisten.
- Aus Systemsicht ist eine ganzheitliche Betrachtung erforderlich, beispielsweise um Sensordaten mit Zuständen und Wissensdatenbanken zu integrieren. Abnormale Zustände, wie Alarmzustände und Störungen, werden in der Regel nicht in den Standardverfahren erfasst und erfordern spezifisches Verhalten und Wissen, um in einen sicheren Zustand oder zur normalen Operation zurückzukehren.
- Bei der Datennutzung sind nicht nur bestehende Daten und Laufzeitdaten von Interesse. Speziell bei Losgröße 1, der Kleinserienfertigung oder bei Qualitätsansprüchen individuell zu gestaltender Produkte sind kaum Vergleichsdaten aus laufenden Prozessen vorhanden. Um Abhilfe zu schaffen, sind industrielle Lösungsmöglichkeiten, wie die Nutzung von Engineering-Daten aus der Produkt- und Prozessmodellierung zum Anlernen von KI, zu erproben.
- Der Einsatz von KI sollte skalierbar sein. Dazu sind geeignete Chip-, Kommunikations- und Engineeringtechnologien bereitzustellen, um funktionsorientiert KI-Methoden sowohl lokal auf dem Sensor/Aktor oder in der Fertigungszelle als auch in der Cloud oder On-Edge zur Verfügung zu stellen.
- Bei der Anwendung von KI-Systemen ist die Vertrauenswürdigkeit (trustworthiness) des Systems von wesentlicher Bedeutung. Die Vertrauenswürdigkeit in Empfehlungen, Entscheidungen und Verhalten (technischer) Systeme unter dem Einsatz von KI stellt aktuell sowohl eine technische, organisatorische wie normative Herausforderung dar, welche noch nicht ausreichend adressiert wird. Aus diesem Grund ist beim Einsatz von KI die Rolle des Menschen und der Interaktion mit dem KI-System sowie eine geeignete Integration von Mensch und Maschine zu achten. Für KI-Systeme spielt dabei die Erklärbarkeit von Vorschlägen und Entscheidungen von KI-Systemen eine essenzielle Rolle, welche sich durch ML häufig nur schwer und aktuell nicht ausreichend adressieren lässt – insbes. für Benutzer des Systems, welche keine grundlegende KI-Expertise aufweisen.
- Wertschöpfungsnetzwerke dienen der effizienten Datennutzung, wenn entscheidende Fragestellungen geklärt werden: Was sind kritische Daten, die für ein Unternehmen wettbewerbsentscheidend sind, und welche Daten

können geteilt werden? Welche Kooperationen bieten schnellere Lösungen als nur die eigene Datennutzung? Wie kann Nutzen für alle Beteiligten aus der gemeinsamen Datennutzung gezogen werden?

- Gemeinsame Semantik-Standards zur Beschreibung von Komponenten, Prozessen und Abläufen sowie die Standardisierung von Schnittstellen für die Modellierung und Simulation von industriellen Anlagen sind zu etablieren. Gerade für KMU stellt die Anwendung von Normen und Standards einen wichtigen Aspekt zur Investitionssicherung dar. Es existieren bereits zahlreiche anwendbare und etablierte Normen und Standards. In Abhängigkeit des jeweiligen Anwendungsszenarios sind sowohl standardisierte Schnittstellen und Protokolle für den Zugriff und die Abfrage von Bedeutung, also auch die Anwendung standardisierter Semantiken, wie z. B. IO-Link zur Gerätebeschreibung, OPC UA Informationsmodelle zur Beschreibung von Prozess(meta)-daten, AutomationML für ein einheitliches Datenaustauschformat von Entwicklungsdaten oder eCl@ss für eine wohldefinierte Semantik von Produktdaten. Liegen Daten in einem standardisierten Format und geeigneter Semantik vor, ist eine automatisierte Verarbeitung durch KI-Systeme einfacher umzusetzen.
 - Die Anwendung von KI-Technologien sollte stets erklärbar und möglichst zertifiziert sein. Für den Nutzer ist es wichtig, vertrauenswürdige ML-Verfahren zur Verfügung zu haben. Bisher ist aber unklar, wie geeignete Normen aufzusetzen sind, um eine robuste und nachvollziehbare KI aufzubauen.
 - Speziell für KMU ist ein einfacher Zugang zu kuratierten produktionsbezogenen Daten und Datenmodellen, z. B. über öffentliche Datenpools, zu schaffen.
 - Die Klärung von Dateneigentum und Datenbesitzanspruch ist notwendig. Die Bewertung der Qualität von Daten und der industrielle Dateneinsatz, bezogen auf einzelne Unternehmen als auch unternehmens- und domänenübergreifend, sind wettbewerbsgerecht zu regulieren.
 - Es muss außerdem eine diskriminierungsfreie Daten- und Technologieverwendung in Europa sichergestellt werden, welche u. a. die Kriterien für den Schutz von personenbezogenen und unternehmenskritischen Informationen erfüllt.
 - Die Konsolidierung aktueller Normungsbestrebungen im Kontext von Dateninfrastrukturen, Datensemantik und KI ist angeraten. Dabei ist zu identifizieren, inwiefern Normen im Kontext von KI für industrielle Anwendungen notwendig und hinreichend sind. Insbesondere sind eine Intensivierung und Stärkung der Operationalisierung und Anwendung von Normen und Standards im Mittelstand und bei verfügbaren Werkzeugen zu adressieren.
 - Für den KI-Einsatz wird durchaus eine generelle ethische Problematik gesehen, doch für den Bereich Produktion/Industrie 4.0 vergleichsweise weniger als bei anderen Anwendungsbereichen wie Gesundheit oder zivile Sicherheit. Die Thematik Ethik ist daher übergeordnet zu diskutieren.
- Speziell für den Einsatz von KI in der Industrie müssen die folgenden Fragestellungen geklärt werden:
- Wie kann aus verteilten Daten aus Wertschöpfungsketten gelernt werden? Wie lassen sich diese Daten mittels kryptographischer Verfahren zur Wahrung der Vertraulichkeit schützen? In diesem Kontext geht es um Federated Learning, Collaborative Deep Learning und Secure Multi-Party Computation.
 - Wie kann ein maschinelles Lernen auf der Grundlage nur weniger Beispiele erfolgen? Zu diskutieren ist dabei Transfer Learning, Inductive Programming und Hybrid AI.
 - Wie kann die Entscheidung einer KI transparent gemacht werden? Wie lässt sich feststellen, dass eine KI korrekt und vorurteilsfrei arbeitet? Wie lässt sich der Funktionsnachweis erbringen? Zu diskutierende Methoden dafür sind Explainable AI und Bias-free Learning and Search.
 - Wie kann KI eingesetzt werden, um Objekte zu konstruieren? Ansätze bietet die Generative AI.
 - Wie kann KI den Menschen bei seiner Entscheidungsfindung unterstützen? Hierfür bietet sich Human Computation an.
- Bereits heute ist zu erkennen, dass es in diesen Fragestellungen noch keine etablierten Erkenntnisse und Lösungen gibt. Daher muss sich die Forschung nachhaltig und intensiv mit diesen Themen beschäftigen und Antworten finden.

BUSINESS PROCESS MANAGEMENT

7 Auswirkungen der KI auf die Anwendungsszenarien

KI und AGP – Auftragsgesteuerte Produktion

Im Kern beschäftigt sich das Szenario „Auftragsgesteuerte Produktion“ damit, wie ein Unternehmen automatisiert Aufträge vergeben kann, um Kapazitäten und Fähigkeiten anderer Unternehmen in die eigene Produktion einzubinden. Motivation ist dabei die Optimierung der Fertigung eigener Produkte mit kleinen Losgrößen im Hinblick auf individuelle Kundenwünsche und sich schnell ändernde Marktanforderungen. Es geht also um die autonome und automatisierte Vermittlung von externen Produktionsfähigkeiten und -ressourcen. Vereinfacht lässt sich der Prozess in fünf Schritten darstellen:

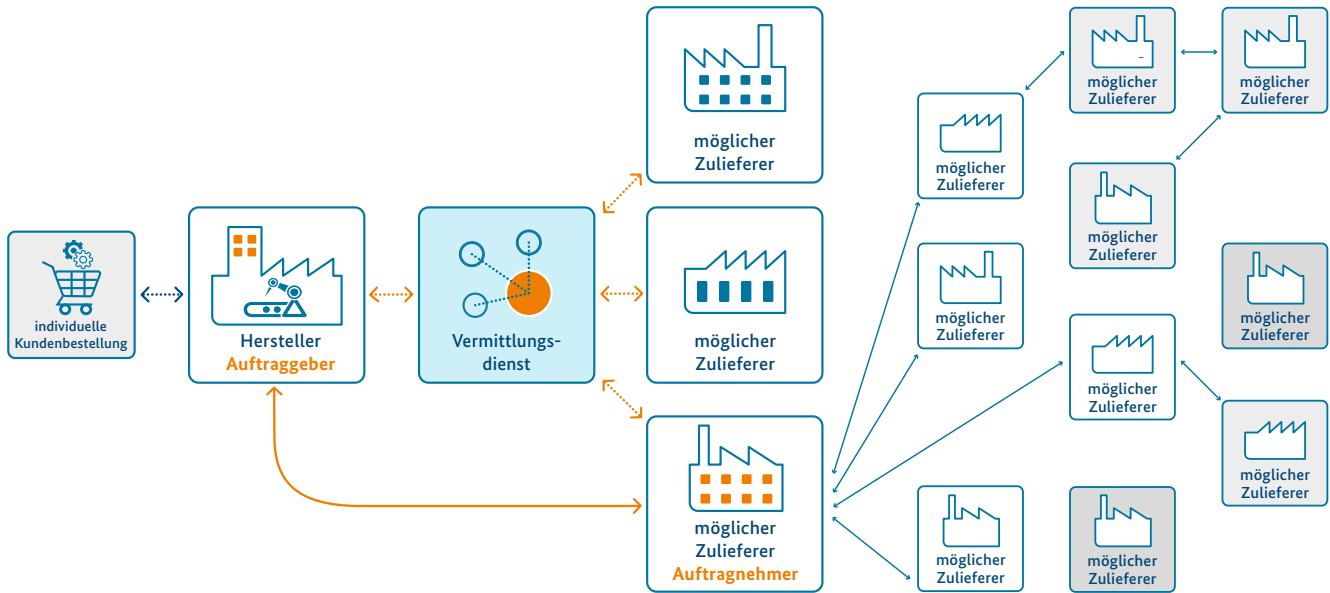
1. Konfiguration und vollständige Beschreibung des Produkts
2. Ausschreibungsphase liefert die möglichen Zulieferer und Wertschöpfungsketten
3. Auswahl des Zulieferers bzw. der Zulieferer
4. Auftragsvergabe mit verhandelten Verträgen und Unteraufträgen
5. Fertigung mit Monitoring der vertraglich vereinbarten Milestones und Qualität

Die Schritte 2-4 werden idealerweise von einem Vermittlungsdienst übernommen. Dieser kann beim Auftraggeber selbst oder bei einer dritten Partei realisiert werden. Um die autonome und automatische Vermittlung zu ermöglichen, sind zwei wesentliche Aufgaben zu erledigen, die in komplexen Wertschöpfungsnetzwerken und -ketten ohne Anwendung von KI nur sehr schwer lösbar sind:

1. Die Auswahl der geeigneten Zulieferer und ihrer Funktionen in der Wertschöpfungskette mit dem Ziel, das wirtschaftlichste Angebot zu ermitteln
2. Im Kontext der Auswahl die automatische Verhandlung mit den potenziellen Zulieferern

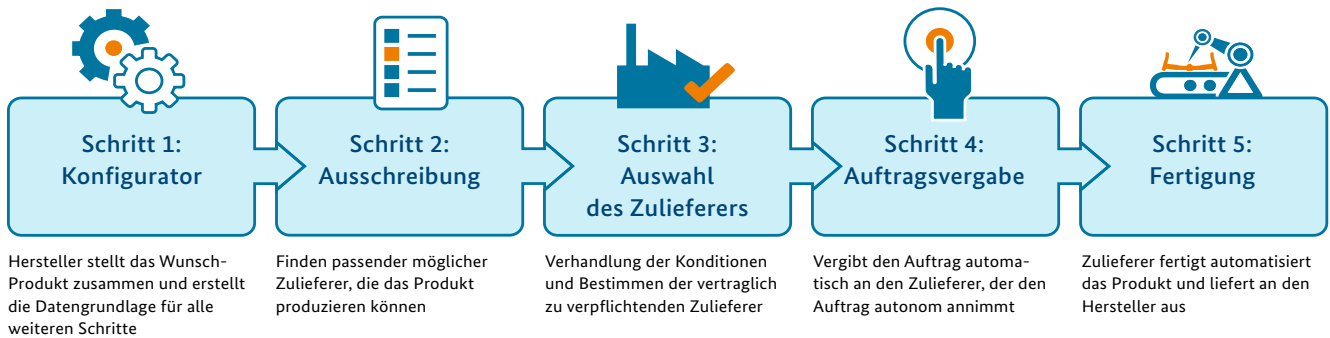
Bei der Auswahl der Zulieferer können alle verfügbaren Daten genutzt werden, die der Zulieferer direkt bereitstellt, ergänzt um historische Daten, die über verwendete Produktionsressourcen wie Maschinen, Materialien etc. allgemein verfügbar sind, sowie Daten zur finanziellen Situation. In die Analyse einbezogen werden könnte z.B. die „Wandlungsfähigkeit einer Fabrik“. Gegebenenfalls kann die Auswertung um Analysen mit Daten aus den sozialen Medien ergänzt werden. Technologisch ist hier vieles möglich, allerdings werden gerade in diesem Kontext rechtliche Rahmenbedingungen notwendig sein. Diese gekoppelt mit

Abbildung 15: Rollen und Beziehungen in der auftragsgesteuerten Produktion



Quelle: Plattform Industrie 4.0

Abbildung 16: Prozessschritte und Einsatzbereich von KI



- Aufgaben für KI:**
1. Die Auswahl der geeigneten Zulieferer und ihrer Funktionen in der Wertschöpfungskette mit dem Ziel, das wirtschaftlichste Angebot zu ermitteln
 2. Die automatische Verhandlung mit den potenziellen Zulieferern im Kontext der Auswahl

Quelle: Plattform Industrie 4.0

einer Auswertung der Rechtsprechung können dann wiederum bei der Analyse bzw. dem Lernprozess einbezogen werden. Das sollte auf jeden Fall geschehen, falls Verträge automatisch verhandelt werden.

Die Vermittlung mithilfe der KI kann auf der Ebene erfolgen, dass für jeden Schritt durch das KI-System eine Empfehlung abgegeben wird, im Sinne eines Assistenzsystems, und der Mensch, z. B. Einkäufer, beim Hersteller jede Entscheidung trifft. Voll automatisiert, könnte der Prozess auch ohne Beteiligung des Menschen laufen. Im letzteren Fall ist die Qualität der Anforderungsbeschreibung, die im ersten Schritt erstellt wird, entscheidend.

Der Vorgang wurde aus dem Blickwinkel „KI unterstützt den Auftraggeber“ beschrieben. Aber auch für den Zulieferer kann KI eingesetzt werden, um mithilfe der Daten über Auftraggeber und der Analyse der eigenen Zulieferkette bei mehreren Aufträgen den für ihn günstigsten Auftrag zu erkennen.

KI und WFF – Wandlungsfähige Fabrik

Das Anwendungsszenario WFF beschreibt adaptierbare Fertigungskonfigurationen innerhalb einer Fabrik, die zu kurzfristigen Veränderungen bei Produktionskapazitäten und -fähigkeiten führen. Der zunehmende Druck, bereits bei der Planung einer Fabrik oder bei anstehenden Entscheidungen zur Investition in neue Anlagen zukünftig nötige Fertigungsfähigkeiten und Prozessabläufe vorauszu- sehen, erfordert es, flexibel gestaltbare Produktionsstrukturen aufzubauen. Gefordert sind modulare wandlungsfähige Fertigungsstationen, die intelligent und interoperabel sich weitgehend selbstständig an eine veränderte Konfiguration anpassen. Voraussetzung dafür sind standardisierte Schnittstellen für die Modulankopplung, Robotiksysteme mit möglichst universeller Verwendbarkeit und intelligent programmierte Softwaresteuerungen für die flexible Anpassung an neue Aufgabenstellungen, sich ändernde Fertigungskapazitäten und eine individuelle Produktgestaltung.

Der Einsatz von KI ermöglicht es, modulare wandlungsfähige Einheiten so einzusetzen, dass eine echtzeitfähige Automatisierung in Teilsystemen der Fabrikation umgesetzt werden kann. Durch die Kombination von KI-gestützter Kontrolle und Verwertung von Betriebs- und Engineer-

ing-Daten können Roboter, Fertigungsmaschinen und Logistikeinheiten optimal an sich ändernde Anforderungen und Systemumgebungen angepasst werden. Zudem ergeben sich durch kostenreduzierende Faktoren wie Vermeidung von Umrüstzeiten, Erhöhung der Einsatzvariabilität der Fertigungseinheiten und Steigerung der Produktivität durch echtzeitfähige Anpassung der Produktionsabläufe Einsparpotenziale bei der Investition in Produktionsanlagen.

Bisher werden KI-Systeme industriell vor allem als Assistenz für den Menschen bei der Planung und Überwachung von Anlagen und für die vorausschauende Wartung (Predictive Maintenance) zur Vermeidung von Ausfallzeiten genutzt. Echtzeitfähige KI-Systeme versetzen Unternehmen nun in die Lage, umfangreiche komplexe Steuerungsaufgaben systemunterstützt zu bewältigen, die Flexibilität der Produktionsabläufe zu erhöhen und neue Lösungsansätze, auch mit bestehenden Produktionsmodulen, schneller zu projektieren. Übernehmen diese Module zudem monotone, sich ständig wiederholende Aufgaben, so bleibt dem Bediener mehr Zeit, sich mit der kreativen Planung zum Einsatz der Wandlungsfähigkeit der Einheiten zu befassen.

Eine flexible Produktionsgestaltung ist nur ein Teilbereich des KI-Einsatzes im Sinne einer WFF. KI wird über die Produktion hinweg Einfluss auf den gesamten Wertschöpfungsprozess eines Unternehmens nehmen. Dies wird sowohl direkte Wertschöpfungsbereiche, wie Supply Chain Management oder Customer Relationship Management betreffen als auch Support-Funktionen, wie Human Resources. Der größtmögliche Nutzen für die WFF wird voraussichtlich über wertschöpfungsübergreifende KI-Lösungen generiert werden können.

KI und SAL – Selbstorganisierende adaptive Logistik

Das Anwendungsszenario „Selbstorganisierende adaptive Logistik“ beschreibt die Flexibilisierung der Logistik bei einer gleichzeitigen Erhöhung der Robustheit. Der Einsatz von KI ergänzt das beschriebene Anwendungsfeld um Methoden zur Umsetzung und wird auf mindestens zwei Ebenen einen Einfluss haben.

- KI in der Intralogistik ermöglicht flexible autonome und lernende Systeme, z. B. für die Materialversorgung in der Produktion oder den Warentransport in der Logistik. Dies wird zu einer Optimierung und Effizienzsteigerung innerhalb einzelner Unternehmen führen und vor allem die Produktion unterstützen. Die benötigten Daten kommen aus unternehmensinternen Quellen wie Sensorik in Fahrzeugen und Maschinen, z. B. Laserscanner oder Kamerasysteme, und internen IT-Systemen, z. B. Enterprise Resource Planning (ERP) oder Produktionssteuerungs- und Produktionsplanungssystem (PPS).
- KI zur Steuerung von Wertschöpfungsnetzwerken hilft, die Koordination von mehreren Unternehmen zu optimieren. Die Skaleneffekte möglicher Optimierungen sind hier um ein Vielfaches größer, da Potenziale der Kooperation, die bisher ungenutzt blieben, gehoben werden können. Die dafür benötigten Daten kommen aus internen Quellen in den einzelnen Unternehmen und müssen durch externe Quellen (Wetter, Verkehr etc.) ergänzt werden. In diesem Zusammenhang spielen Vertrauen und Datensouveränität eine große Rolle, da die Unternehmen die entsprechenden Datenquellen nicht ohne Einschränkungen öffnen werden.

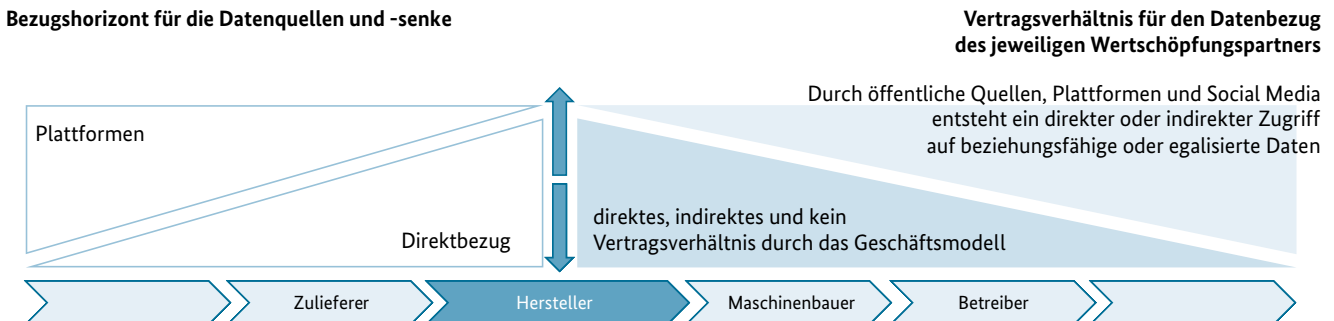
KI und VBS – Value Based Services

Einen sehr großen Einfluss wird die KI auf die Konzepte der Smart Service Welt und der ihr angegliederten Value Based Services (VBS) haben. Die Grundidee der Smart Service Welt ist, dass Firmen (z. B. des produzierenden Gewerbes) auf einer Plattform ihre Daten selektiv für Dienstleister sichtbar machen können. Die Dienstleister bieten ihrerseits VBS an, welche die Daten zu tieferegreifenden Erkenntnissen veredeln.

Zum Beispiel können aus direkt bezogenen 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 enorm von den Errungenschaften der KI profitieren werden. Das Grundkonzept vieler 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) sind diese KI-Algorithmen hochgradig tauglich. In allen Fällen werden Daten benötigt, die Produkte, Maschinen und Lösungen

Abbildung 17: Bezugshorizont für die Datenquellen und -senke



Quelle: Plattform Industrie 4.0

innerhalb der Wertschöpfungsketten generieren und diese dem partizipierenden Wertschöpfungspartner zur Verfügung stellen.

Social Media wird hierzu einen zunehmend wichtigeren Faktor darstellen. Beispielsweise arbeiten Händler wie z.B. Amazon an KI-Algorithmen, die Modetrends aus Medien wie z.B. Instagram erkennen, weiterentwickeln und die dazugehörige Mode bis zum Schnittmuster erstellen und diese auch produzieren. Automobilhersteller setzen auf KI, um aus Social-Media-Beiträgen, in Blogs oder Frageportalen, Kundenfeedback oder mögliche Produktmängel zu erkennen. Ziel dabei ist es, Antworten zu generieren oder Abhilfen zu schaffen, noch bevor die erste Anfrage die Werkstätten erreicht.

Die Basis für VBS sind Daten, die im Direktbezug aus kommunikationsfähigen Produkten entstehen oder über produkt- oder lösungsbezogene Plattformen bereitgestellt werden können. Die Bereitschaft, Daten bereitzustellen oder für datenbasierte Funktionen Geld zu bezahlen, wird letztendlich durch den Nutzen entschieden, der aus den Daten gezogen werden kann. Je attraktiver das jeweilige Geschäftsmodell, desto bereitwilliger kann eine Datenfreigabe sein beziehungsweise die Bereitschaft, hierfür einen Obolus zu entrichten.

Die Erreichbarkeit der Daten ist für die Attraktivität und Umsetzungsfähigkeit von Geschäftsmodellen eine wesentliche Voraussetzung. Eine Herausforderung hierbei ist, dass das direkte Vertragsverhältnis für den Geschäftsmodellinhaber (z.B. im Bild der Hersteller) im Zusammenspiel mit seinen Zulieferern und Abnehmern entlang der Wertschöpfungskette stetig abnimmt. Diese Herausforderung ist aus technischer, rechtlicher und sozialer Sicht zu betrachten und in die Geschäftsmodelle aufzunehmen.

Technologisch erreicht die Smart Service Welt eine neue Dimension durch die KI. Die Plattformen und die auf ihnen verfügbaren Daten stellen einen idealen Nährboden für selbstlernende Algorithmen dar. Mit jeder Analyse und dem entsprechenden Feedback des Serviceanwenders können die Dienste weiter verbessert werden. Umgekehrt können Kunden KI benutzen, um ihre Services optimal auszuwählen. Dienste können auch voneinander lernen und damit neue Ebenen der Leistungsfähigkeit erreichen.

Die Schattenseite sind jedoch „Piraten“, welche einen Service mit zufällig generierten Daten füttern können und

dessen Ergebnisse dazu benutzen, um ihren eigenen Dienst zu trainieren und so Funktionsweisen zu kopieren oder zu imitieren. Auch falsche Daten, seien es Messfehler, nicht-repräsentative Stichproben oder gar sabotierte Daten werden eine Herausforderung darstellen.

Langfristig jedoch werden die Dienste auf den Plattformen der Smart Service Welt immer besser werden. Vielleicht werden sogar unerwartete Synergien entstehen, bei denen Algorithmen automatisch und ohne menschliches Zutun kooperieren. Dann werden nicht mehr von Menschen vorgegebene Teilprobleme optimiert, sondern die Modellannahmen kritisch hinterfragt und völlig neue Lösungsansätze generiert.

KI und TWP – Transparenz und Wandlungsfähigkeit ausgelieferter Produkte

Der zunehmende Einfluss von Software auf die Funktionseigenschaften von vernetzten Produkten ermöglicht es, bereits ausgelieferte klassische Produkte zu verändern. Kostengünstige und leistungsfähige Speicher und Prozessoren sind längst verfügbar und auch für kostensensitive oder energiesparende Anwendungsfälle einsetzbar. Kommunikationsmodule, die Produkte leitungsgebunden oder über Funk direkt mit dem Internet verbinden, sind einfach einzusetzen. Die aus dem Softwarebereich bekannten Verfahren, Produkte über Updates mit neuen Geschäfts- und Nutzungsmodellen auszustatten oder auf Mängel zu reagieren, sind auch im industriellen Umfeld verwendbar.

KI hat hier, wie im Szenario VBS beschrieben, einen wesentlichen Einfluss auf die Datenauswertung in der Applikation und der Produktnutzung sowie bei der darauf folgenden Anpassung von Produkten. Produkte können lokal vor Ort in ihrer dedizierten Applikation, im Verbund mit anderen Produkten in ähnlichen Applikationen oder durch den Hersteller angepasst werden. Für den Kunden ergeben sich Mehrwerte, die nicht mit einem physikalischen Tausch des Produkts oder gar mit einem Re-Design seiner Maschine verbunden sind. Neben der Erhöhung der Produktstabilität können diese auch Änderungen in Regelalgorithmen für die Prozesssteuerung oder auch Optimierungen für die genutzten Prozessschritte, Energie- oder Ressourcenverbräuche sein. Die Herausforderungen bei der Umsetzung liegen in der Schaffung einer geeigneten Infrastruktur, mit der sämtliche Produktinformationen sicher gesammelt, gespeichert und analysiert werden können,

sowie in einem Produktdesign, das die spätere Wandlungsfähigkeit sowohl bei der Software als auch bei der Hardware bereits im Entwurf berücksichtigt.

Um die großen Datenmengen beherrschbar zu machen, müssen möglichst große Teile der Daten dezentral, also bereits am Ort ihrer Entstehung, vorverarbeitet werden („Fog Computing“). Hierfür sind teilweise neuartige, verteilte Algorithmen erforderlich, die auch mit den spezialisierten KI-Prozessoren oder Hardwarealgorithmen skalieren sollten. Ebenso wird es wichtiger werden, dass Teile von Steuerungsaufgaben dezentral koordiniert werden, wozu Standards und Regeln erforderlich sind, auf deren Grundlage Produkte untereinander Informationen austauschen und gemeinschaftlich Entscheidungen treffen können („Schwarm-Intelligenz“).

Bei Betriebsdaten von Produkten handelt es sich teilweise um höchst sensible Informationen, aus denen sich beispielsweise Geschäftsgeheimnisse des Produktnutzers ableiten lassen. Daher spielt die Ende-zu-Ende-Sicherheit dieser Daten vom Sensor bis in die Anwendungen und Geschäftsprozesse hinein eine außerordentlich wichtige Rolle. Im Produktdesign müssen Optionen integriert werden, die zu einem späteren Zeitpunkt in der Nutzung neue oder erweiterte Funktionen ermöglichen.

Mit softwaregetriebenen Produktfunktionalitäten steht die jeweilige Variante eines Produkts bei dessen Auslieferung noch nicht endgültig fest und wird sich während der gesamten Lebenszeit ändern. Dies erhöht nicht nur die Varianz und die Komplexität von ausgelieferten Produkten, sondern legt neue Anforderungen und Kriterien an Umsetzung der tatsächlichen Funktionalität für zugesicherte Eigenschaften, die Verfügbarkeit eingesetzter Funktionen und einer Transparenz für die Änderungsdynamik von ausgelieferten Produkten.

Produktänderungen durch lernende Algorithmen bergen sowohl Vor- als auch Nachteile. Was in einer Applikation eine Erhöhung einer Nutzfunktion bedeutet, kann in einer anderen Applikation mit dem gleichen Produkt zum Verlust einer Fertigungslizenz führen.

Für den Einsatz von KI ist somit die Betrachtung der Systemgrenze für Produktänderungen und der Grenzen der durch die automatisierte KI hervorgerufenen Änderungen genau zu bestimmen. Dies gilt in gleichem Maße für die Funktion wie auch für die genutzten und in ihrer Qualität

abschätzbaren Prozess- und Lerndaten. Dies ist gerade im Zusammenhang mit dezentralen KI-Systemen und der Verwendung von Nutzungsdaten in autarken lokalen Applikationen von Bedeutung. Produktänderungen auf Datenbanken, deren Quelle der Hersteller nicht qualifizieren kann, können Risiken beinhalten, welche die zugesagten Produkteigenschaften negativ beeinflussen. Auch Fake-Daten sind hier bewusst zu betrachten.

Hierzu existieren heute teilweise noch nicht die erforderlichen rechtlichen Rahmenbedingungen im Hinblick auf funktionale Sicherheit, Betriebserlaubnis oder Zertifizierung von Produkten und deren Einsatz in Maschinen und Anlagen. Gleichzeitig gibt es noch keine Klassifizierungsmöglichkeiten, Modelle oder Systematiken, die eine ausreichende und automatisierbare Qualifizierung ermöglichen. Hierzu sind Methoden für die Hersteller und Anwender zu entwickeln, die eine transparente Gestaltung ermöglichen.

Der Mehrwert wandlungsfähiger Produkte überwiegt jedoch und wird sich durch KI deutlich und schnell erhöhen. Für den Kunden und Anwender solcher KI-basierter Produkte verbessern sich die Nutzung des Produkts im Lebenszyklus der Maschine und Anlage bzw. individualisiert sich die Nutzung des Produkts bezogen auf seinen Einsatzfall. Diese Möglichkeit gewinnt mehr und mehr an Bedeutung, da die Lebenszyklen der Software häufig deutlich kürzer sind als die des Gesamtprodukts und der Mehrwert sich hin zu maßgeschneiderten Produkt- und Dienstleistungen im After-Sales-Geschäft entwickelt.

KI und MTI – Mensch-Technik-Interaktion in der Produktion

Das Szenario „Mensch-Technik-Interaktion in der Produktion“ ist geprägt durch das Spannungsfeld dreier Akteure:

- Den Operatoren, die den aktuellen Betrieb einer Anlage verantworten und spezialisiertes Wissen und Erfahrungswerte besitzen. Oft werden sie von erfahrenen Operatoren begleitet, wobei durch das tägliche Umfeld und durch das Aneignen von deren Arbeitsweise Erfahrung gewonnen wird. Erschwerend kommt hinzu, dass erstens Bedienfehler weitreichende Konsequenzen haben können, und zweitens verschiedene Anlagen für die gleichen Produktionsprozesse sehr unterschiedlich konfiguriert und installiert sein können.

- Den Ingenieuren, die über das notwendige Fachwissen verfügen und Abläufe entwickeln beziehungsweise kontinuierlich verbessern. Deren Rolle ist primär durch Entwicklung und Optimierung von Prozessabläufen unter den Aspekten Wirtschaftlichkeit, Sicherheit, Stabilität und gesetzliche Regulierungen geprägt. Eine der Hauptherausforderungen in der Identifikation und Bewertung des Optimierungspotenzials in Prozessabläufen ist das partielle Wissen um den IST-Zustand der Anlagen und den tatsächlichen Betrieb. Das fehlende Wissen um technische Gegebenheiten kann zwar durch genauere Verwaltung kompensiert werden, die Berücksichtigung des menschlichen Verhaltens im Betrieb der Anlage ist aber deutlich schwerer greifbar und modellierbar. Doch selbst unter Vernachlässigung dieses menschlichen Faktors bleibt stets ein zeitlicher Verzug bei der Umsetzung von Optimierungen, da Umbauten und Änderungen in der Arbeitsweise nicht direkt in den produktiven Betrieb übernommen werden können.
- Den Besitzern der Anlagen, die an der effizienten und kommerziell-rentablen Produktion in den Anlagen interessiert sind. Die Investition in den Aufbau einer Anlage ist beachtlich, so dass deren Besitzer an einem langen, stabilen Betrieb unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit interessiert sind. Obwohl der Grad der Automatisierung in den meisten Anlagen sehr hoch ist, wird oft nur der Regelfall behandelt. Das bedeutet, dass Operatoren Experten in der Vermeidung und Behandlung von Ausnahmefällen sein müssen. Nach aktuellen Studien sind Bedienungsfehler durch Operatoren die zweithäufigste Ursache für Ausfälle und Unfälle, nach Materialermüdung als häufigster Ursache.

KI kann in diesem Spannungsfeld auf den folgenden Ebenen ihr Potenzial entfalten:

1. Erfassung und Formalisierung von Erfahrungen und Kopfwissen von Experten
2. Etablierung eines realitätsnahen Modells der Abläufe und Handlungsoptionen
3. Ganzheitliche Betrachtungsweise einer kompletten Anlage
4. Ganzheitliche Betrachtungsweise der kompletten Anlagenlandschaft

Bei diesen möglichen Ebenen der Intervention und deren Gestaltung sollten stets die zwei folgenden Szenarien betrachtet werden: „Human in the loop“, wobei ein Mensch die eigentliche Ausführung übernimmt, und „Closed machine loop“, wobei die Maschine autonom die Ausführung übernimmt und optional den Menschen informiert.

Im Szenario „Human in the loop“ ist die Basis die Formalisierung von Erfahrungen und Kopfwissen von Operatoren. Insbesondere liegt der Fokus auf Kriterien für Normalität und Indikatoren für Anomalität, Zusammenhängen von Ursachen und Wirkungen, Identifikation von Gegenmaßnahmen und dem Bewerten von Kritikalität sowie möglichen Wechselwirkungen. Dieses Wissen ist heute zwar bereits implizit vorhanden, ist aber auf viele Personen fragmentiert, nicht unbedingt konsolidiert und liegt in maschinenverarbeitbarer Form nur marginal vor. Darauf aufbauend können idealisierte, aber deutlich realistischere Modelle von Abläufen und Handlungsoptionen erstellt werden. Dies ermöglicht nicht nur eine bessere Einbeziehung des menschlichen Faktors im Design von Abläufen, sondern erlaubt auch die Simulation von realistischen Abläufen in Anlagen für Trainingszwecke. Zudem kann eine anlagenübergreifende Optimierung der Fahrweise unter Berücksichtigung von externen Faktoren, wie Bedarf, Energie- und Rohstoffpreisen, Nachhaltigkeit und gesetzlichen Regulationen sowie Empfehlungen, erfolgen.

Das zweite Szenario „Close machine loop“ verhält sich in Analogie. Die Neuheit liegt darin, dass optimierte Routinen automatisch in den Betrieb übernommen werden. Dies entspricht auf der Basisebene dem klassischen Vorgehen der Automatisierung. Darauf aufbauend steigert KI die Flexibilität, indem eine breite Spanne von Optimierung ausgehend von Micro-Optimierung im täglichen Betrieb bis zur Macro-Optimierung auf langen Produktionsspannen möglich ist. Dies lässt sich konsequent von einem Produktionsprozess auf die gesamte Anlagenfahrweise und dann übergreifend auf die Fahrweise anderer Anlagen ausdehnen.

KI und SP2 – Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion

Das Anwendungsszenario einer „Smarten Produktentwicklung für die smarte Produktion“ beschreibt die Datentransparenz und -nutzung im Umfeld der Produktentwicklung. Produkte werden im Rechner digital entwickelt und erprobt. Gleichzeitig wird das entwickelte Produkt durch den

Kunden des Herstellers verwendet und vom Hersteller physisch und digital zur Verfügung gestellt. Dieses physische und virtuelle Produkt – Cyber-Physisches System – beinhaltet Anteile der Beschreibung des Zulieferteils, des Produkt Herstellers und des Lösungslieferanten. In der Umsetzung des virtuellen Produkts in eine gefertigte Instanz werden die Daten aus der Produktionsplanung und dem Produktionsprozess genutzt. In der Produktverwendung stellt dann das virtuelle Produkt Informationen für die Produktinstallation und -nutzung bis hin zur Entsorgung beziehungsweise Materialwiederverwendung zur Verfügung.

Die breite Datenbasis, beginnend bei der Konstruktion eines Produkts über die Fertigung bis hin zur Nutzung, ist eine ideale Voraussetzung für die Anwendung von KI. Fragestellungen und Automatisierung durch KI-Methoden lassen hohe Optimierungspotenziale für Fragestellungen des Engineerings, der Produktion, der Produktnutzung bis hin zur Bewältigung von Prozessabläufen erkennen.

Bereits im Design von Produkten kann auf Erfahrungen der Kunden mit ähnlichen Produkten zurückgegriffen werden. Hier kann KI methodische Anforderungen der Produktions- und Nutzersysteme bewerten und Rückschlüsse auf die Produktgestaltung ziehen. Das Ergebnis einer Produktentwicklung, in digitaler und für Simulationen nutzbarer Form, beinhaltet somit die wesentlichen Anforderungen an die nachfolgenden Wertschöpfungsketten. Weiterhin lassen sich aus den Daten die nachfolgenden noch nicht vorgedachten Prozessschritte ableiten. Das ist eine Voraussetzung, um zum Beispiel ein Produkt in Stückzahl eins zu marktakzeptierten Preisen, termingerecht und in gewünschter Qualität herstellen zu können.

Vorstellbar ist bereits heute, dass der im „Product Lifecycle Management System“ (PLMS) des Herstellers befindliche digitale Zwilling des Produkts die nachfolgenden Prozesse direkt beeinflusst. Konfigurierbare Produkte können direkt durch den Kunden zusammengestellt werden. KI-Methoden errechnen hieraus die entsprechenden Produktionsschritte und gleichen, mit den verfügbaren oder auch extern nutzbaren Produktionskapazitäten, die Produzierbarkeit und den Preis ab.

In der Produktion können Produktionssysteme den digitalen Zwilling des Produkts über KI-Methoden scannen und die für die Produktion notwendigen Verfahren ableiten. Für wiederholende Tätigkeiten werden Optimierungen im Produktionsablauf erwartet. Bei Stückzahl eins wird hin-

gegen die Fähigkeit der KI genutzt, die nur einmal notwendigen Arbeitsschritte ohne dezidierte Arbeitsvorbereitung abzuleiten. Beispielsweise wird die Montagearbeit eines Roboters aus den Produktdaten zusammen mit dem Fähigkeitsprofil des Roboters abgeleitet. Der Roboter montiert das Produkt, ohne vorher explizit programmiert zu werden. Hierbei besteht die Herausforderung, dass die Reihenfolge der Produktionsvorgänge, die Handhabung der unterschiedlichen Zulieferteile und die Verknüpfung zum Ergebnis eine hohe Rechenleistung und Vorfeldwissen voraussetzt und mit zunehmenden Arbeitsschritten und Materialien auch an Komplexität gewinnt, die auch beherrschbar sein muss.

In einem anderen Fall wird die Qualitätskontrolle eines Fertigungsschrittes automatisiert vorgenommen. Eine Kamera scannt das gefertigte Produkt und prüft, mittels KI-Methoden, das erkannte Bild gegen das konstruierte Modell zusammen mit dem Erfahrungswissen aus ähnlichen Produktionsprozessen. Hier besteht die Herausforderung, dass die Qualitätsmerkmale aus der Produkthanforderung, die Sichtverhältnisse der Kamera und die qualitätsrelevanten Eigenschaften der Materialien und Produktionsverfahren zu einer Gesamtbewertung zusammenfließen müssen und daraus eine qualitätsbestimmende Aussage abgeleitet werden soll.

Neben der automatisierbaren Produktion ist der Mensch mit seinen Fähigkeiten und ihm zugeordneten Produktionsschritten über KI-Prozesse mit einzubinden. Handlungsanweisungen, Sicherheitsinformationen und Qualitätshinweise sind für ihn bereitzustellen bzw. auch in Interaktion mit dem Produktionssystem zu bearbeiten. Neben der Qualifizierung der Mitarbeiter sind auch Themen wie Sicherheit und Akzeptanz in der Handlung und der Weisung durch das Produktionssystem zu betrachten.

Ein weiteres Themengebiet der KI ist die Betrachtung der nachfolgenden Prozessketten wie zum Beispiel die des Maschinenbauers oder Betreibers. Hier kann KI die notwendigen Hilfsmittel dem Produkt hinzufügen. Im einfachsten Fall sind das die notwendigen Dokumentationen, Datensätze für die Vertriebswege und Engineering-Informationen wie z. B. Makros für Elektro-CAD-Systeme für den Maschinenbauer und Betreiber. Gerade bei Stückzahl eins besteht ein hohes Arbeitsaufkommen, das durch KI gesenkt oder gar komplett automatisiert werden kann. Fragestellungen bez. der Zertifizierung und der rechtlichen Akzeptanz sind noch zu bewerten.

Mit dieser Methodik werden Prozesse mittels KI zwischen Zulieferern, Herstellern und Kunden effizient gestaltet. Das Fragmentieren der Engineering-Ketten lässt diese als Dienstleistungen in verschiedenen Wertschöpfungsketten produktiv arbeiten und spezialisierte Fähigkeiten vielfältig anwenden. Qualitätsdaten aus der gesamten Wertschöpfungskette führen bereits im Engineering zu erheblicher Prozessstabilisierung und Qualitätskostenreduzierung.

Für Komponentenhersteller, Technologie- und Engineering-Lieferanten sowie Maschinen- und Anlagenhersteller eröffnen sich neue Marktsegmente. Die Digitalisierung in Engineering-Netzwerken optimiert bestehende Prozesse, erhöht durch KI und Kollaboration die Wettbewerbsfähigkeit und sichert die Lösungskompetenz.

KI und IPE – Innovative Produktentwicklung

Die steigende Volatilität der Märkte, die Schnellebigkeit und die Nachfrage von individualisierten Produkten erfordern innovative Prozesse für die Produktentwicklung. Die steigende Komplexität zeichnet sich in der Individualisierung der Produkthanforderungen, der vielfältigen Lösungsmöglichkeiten in den angebotenen Umsetzungstechnologien, der Zunahme von softwarebasierter Funktionen und auch der losgrößenabhängigen Produktionsverfahren und vielfältiger Alternativen wider. Mit der Fähigkeit der KI, Komplexität für den Menschen und der Produktivsysteme zu vereinfachen oder gar zu eliminieren, werden Prozessschritte des Engineerings grundlegend verändern.

- Aufwendige Tätigkeiten in der Produktentwicklung, wie zum Beispiel die Dokumentation von Entwicklungsvorhaben, die Nutzung von Standards, Zertifizierung und Informationen für die Anwender, werden über KI-Prozesse automatisiert. Dies steigert die Effizienz in den Prozessen und öffnet Räume für kreative Aufgaben.
- Engineering-Aufgaben können durch KI in ihre Teilaufgaben zerlegt, bearbeitet und umgesetzt werden. Das sind im einfachsten Fall KI-basierte Konfiguratoren, die keine vorgedachten Lösungsräume auskonfigurieren, sondern wissensbasiertes Engineering ermöglichen.
- KI erweitert den Lösungshorizont in Engineering-Prozessen über eine gezielte Wissensextraktion aus vielfältigen Wissensquellen. Lösungsprinzipien anderer Domänen, wie z. B. Chemie, Biologie oder Sozialwissen-

schaften, können ebenso genutzt werden wie Wissensangebote von Dienstleistern, Instituten bis hin zu kollaborierenden Wissensbörsen.

- Kreative Prozesse werden durch KI angeregt. Fähigkeiten der simultanen Text-, Sprach- und Videoübersetzung oder der Virtualisierung vereinfachen die Interaktionen in den Prozessen zwischen Nutzern und Anbietern. Der Kunde wird Co-Designer des Produkts, das er später nutzt.
- Der zunehmend kreative Umgang mit Daten, Wissen und den extrahierten Methoden aus Lernprozessen wird durch Open Source unterstützt und über KI-basierte „Open-Innovation-Kultur“ erweitert.

Die Basis sind digitalisierte Prozessketten und KI-Methoden, die eine Verknüpfung von unterschiedlichen Disziplinen wie Markt, Dienstleistung, Produktion und Geschäftsmodellen in ihren jeweiligen Prozessen beherrschen.

Vorstellbar sind auch autonome Entwicklungsprozesse wie, im Beispiel VBS beschrieben, die Erzeugung von modischer Kleidung aus dem Feedback von Social Media.

Die effiziente Produktentwicklung unter Einbindung von KI und unterschiedlichsten Partnern erlaubt es, „das Rad nicht immer selbst erfinden zu müssen“, fördert Kreativität, reduziert wiederholende Prozesse und schafft Effizienz in Prozessen und „time-to-market“.

KI und DDA – Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen

Das Engineering von Anlagen ist ein sehr aufwendiges und damit auch kosten- und zeitintensives Unterfangen, welches bisher vor allem den Anfang des Wertschöpfungsprozesses eines jeden neuen Produkts markiert. Ein hoher initialer Engineering-Aufwand wurde bisher dadurch gerechtfertigt, dass solche Anlagen in der Industrie oft über mehrere Jahrzehnte betrieben werden konnten.

Hier lässt sich aber heute ein Wandel in der Automatisierungstechnik erkennen. Die wichtigsten Trends sind hierbei:

- Die individuelle Massenproduktion mit im extremsten Fall der Losgröße 1

- Modulare Prozesse und deren Verzahnungsmöglichkeiten
- Ganzheitliche und durchgängige Wertschöpfungsprozesse

Diese Trends führen letztendlich dazu, dass sich das Engineering von Anlagen zunehmend als ein fortlaufender Prozess über die gesamte Wertschöpfungskette gestaltet und damit der Bestand einer Anlage nicht mehr über mehrere Jahre gesichert ist.

Deshalb müssen dann Ansätze gefahren werden, die den Engineering-Aufwand im Vergleich zu heute deutlich verringern. Dazu gibt es im Wesentlichen zwei Ansätze mit einer großen Hebelwirkung bezüglich des Engineering-Aufwands:

1. Die Wiederverwendung und Anpassung bereits existierender Lösungen für neue Produkte
2. Die zunehmende Automatisierung des Engineering Workflows

In beiden Fällen spielt das Thema Autonomie eine große Rolle und es gilt hierbei: Je weniger Einfluss der Mensch dabei nimmt, desto effektiver und effizienter gestaltet sich die Lösung bzw. der Prozess in Bezug auf Entwicklungszeit, Kosten und Qualität bei der Konstruktion, der Inbetriebnahme und dem Betrieb inkl. Wartung einer Anlage.

KI kann in beiden Fällen als mächtiges Vehikel zum Erreichen der höheren Autonomiestufen gesehen werden. Dies gilt vor allem dann, wenn der heute noch geschlossene Engineering Workflow aufgebrochen und modularisiert wird und damit eine Vernetzung der verschiedenen Engineering-Aktivitäten möglich wird.

Die KI kommt dabei in vielerlei Hinsicht zum Einsatz. Im Ansatz 1.) fängt es beispielsweise damit an, dass eine KI versteht, welche Funktionen bzw. Teilschritte die Anlage ausführen muss, damit das gewünschte Produkt entstehen kann. Wenn diese verstanden wurden, muss die KI lernen, mit welchen Betriebsmitteln ein solcher Teilschritt bewältigt werden kann und welche Eigenschaften diese Betriebsmittel aufweisen müssen. Im nächsten Schritt geht es um eine automatische Parametrisierung dieser Betriebsmittel, um eine optimale Anpassung an die Gegebenheiten zu erreichen. Weitere Schritte sind dann automatische Ableitungen bezüglich der Erzeugung, der Kombination und Montage sowie der Installation.

Eine sehr wesentliche Komponente spielen die Engineering-Daten bzw. anders formuliert der Digitalisierungsgrad der Betriebsmittel, der Prozesse und der Workflows. Hier spielen Modelle, Simulationsergebnisse, Planungsdaten und nicht zuletzt der digitale Zwilling sowohl von Anlagen- als auch Werkstück- und Materialkomponenten eine wesentliche Rolle. Ergänzt werden die Engineering-Daten im Idealfall durch Live-Daten während des Betriebs von bestehenden Anlagen.

Beim Ansatz 2.) wird KI verwendet, um unternehmensweit und Anlagen-projektübergreifend den Engineering-Workflow und die Planungsdaten zu optimieren und zu verzahnen. Dazu werden die einzelnen Engineering-Schritte beispielsweise mit Metriken versehen, die dann zu einer Vergleichbarkeit von unterschiedlichen Ansätzen verwendet werden können, um daraus zu lernen, welcher Ansatz in einer spezifischen Situation der beste ist (Best-Practice-Approach). Bewährte Vorgehensweisen lassen sich dann so automatisch auf neue Projekte übertragen. Außerdem lassen sich über generative Ansätze „Deliverables“ automatisch erzeugen, die für nachfolgende Engineering-Schritte als Voraussetzung benötigt werden.

In beiden Fällen lernt die KI aus den Erkenntnissen über die bereits existierenden und im Betrieb befindlichen Anlagen und deren Engineering. Aus bewährten Strategien aus der Vergangenheit lassen sich schließlich unternehmensweite Standards oder zumindest Unternehmens-Templates ableiten.

Der Einsatz von KI im Engineering kann also massiv den Engineering-Aufwand für konkrete Anlagen verringern helfen, weil dadurch der Autonomiegrad sowohl beim Thema Wiederverwendung als auch beim Thema Engineering Workflow gesteigert werden kann.

KI und KRW – Kreislaufwirtschaft

Die Auswirkungen der Gewinnung von Rohstoffen auf die Umwelt sowie die damit verbundenen Arbeitsbedingungen erfordern ein Umdenken. Die Wiederverwertung von Komponenten und Materialien aus der industriellen Fertigung über den gesamten Lebenszyklus von Produkten wird daher zunehmend wichtiger. Das Anwendungsszenario „Kreislaufwirtschaft“ beschreibt allgemein, wie sich industrielle Prozesse an der Natur orientieren können, wo wertvolle Nährstoffe innerhalb des Kreislaufs wiederverwertet

werden. Für die Industrie hat dies zur Folge, dass bereits bei Beginn des Lebenszyklus eines Produkts über die Wiederverwendbarkeit der benutzten Materialien nachgedacht werden muss. In der Kreislaufwirtschaft liegt der Fokus auf:

- Wiederverwendung von genutzten, aber funktionsfähigen Komponenten, Produkten im Primärkreislauf (Re-Use), falls die volle Funktionalität gegeben ist, oder in sekundären Nutzungsszenarien, falls eine eingeschränkte Funktion gegeben ist, die für die alternative Nutzung aber ausreicht (2nd-Use), Beispiel: Batteriezellen in Sekundär-Speichern
- Reparatur bzw. Aufbereitung beschädigter oder nicht mehr voll funktionsfähiger Komponenten mit dem Ziel, die volle Funktionalität wiederherzustellen

- Wiederwertung der Rohstoffe und Materialien nach Aufbereitung (Recycling)
- Aufbereitung der Rohstoffe und Materialien, so dass qualitativ höherwertige Produkte entstehen (Upcycling)

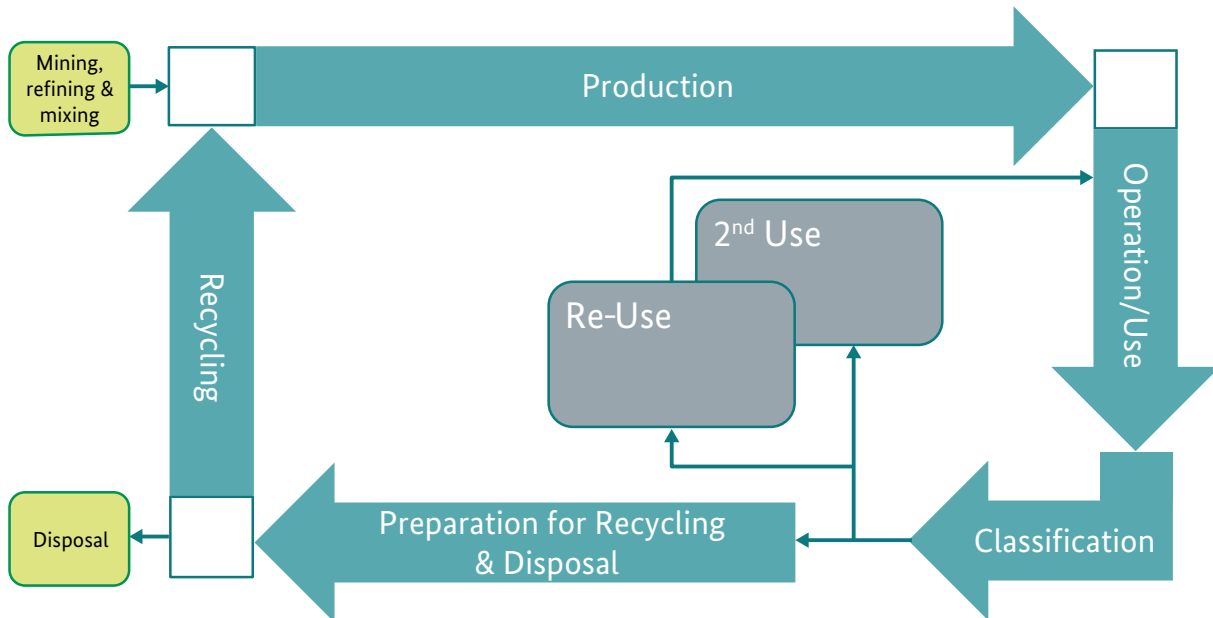
Die Grundidee ist es, die bisher geleistete Wertschöpfung so weit wie möglich nutzbar zu machen. Die wachsende Nutzung von Sensoren, Informationen aus dem Umfeld und den sozialen Medien liefert eine Menge an Daten. Diese eröffnen für Methoden der KI neue Möglichkeiten für die Automatisierung der Prozesse der Produktgestaltung und -nutzung sowie der Wiederwertung und der abschließenden Entsorgung.

KI kann für Prozesse in den verschiedensten Bereichen eingesetzt werden, z. B. immer dort, wo eine Automatisie-

Tabelle 1: Einsatz von KI im Recyclingsektor für Anwendungsbereiche aus der Integrierten Roadmap III – Automation 2025+ (ZVEI – Fachverband Automation)

Anwendungsbereich	Beitrag von KI
Sortier- und Trenntechnik von Massenabfällen	KI kann eingesetzt werden, um Produkte, Komponenten und Materialien über Mustererkennung gekoppelt mit einer entsprechenden Sensorik automatisch zu erkennen.
Rückgewinnung von Wertstoffen aus Schlacken, Aschen und Stäuben	KI kann eingesetzt werden, um zu lernen, wie Rohstoffe aus den Schlacken, Aschen und Stäuben gewonnen werden können und welche Verfahren geeignet sind. Insbesondere für die Extraktion der Metalle liegt hier ein hohes Potenzial, da herkömmliche Verfahren noch unzureichende Ergebnisse liefern.
Rückgewinnung von Energie bei der Behandlung von metallurgischen Schlacken	KI kann eingesetzt werden, um die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Schlacken in Verbindung mit der Energierückgewinnung für die Automatisierung zu optimieren.
Demontage für komplexe Produkte <i>Gilt sowohl für den Recyclingfall als auch für die Wiederverwendung</i>	KI kann eingesetzt werden, um Produkte, Komponenten und Materialien und deren Zustand (State of Function, State of Health) automatisch zu erkennen und zu lernen, welche Prozesse und Parameter geeignet sind.
Rückgewinnung von Technologiemetallen	KI kann eingesetzt werden, um zu lernen, welche Verfahren geeignet sind und wie entsprechende Parameter optimiert werden können.
Landfill Mining – Wiedernutzung von Altdeponien, Schlacken und Abraum	KI kann eingesetzt werden, um zu lernen, welche Rohstoffe sich aufgrund der verfügbaren Sensor-Daten für das Monitoring der Deponie und der verfügbaren historischen Daten abbauen lassen und welche Verfahren und Parameter geeignet sind. Potenziale liegen hier zunächst bei der Sekundärmetallrückgewinnung aus Industrieablagerungen.

Abbildung 18: Allgemeiner Materialfluss/Lebenszyklus, der Datenraum für die KI



Quelle: Quelle: Diemer Consulting 4.0

Die Ausbeute bei der Rückgewinnung und Qualität von Wertstoffen erhöht und die Sicherheit der Prozesse gewährleistet. Die folgende Tabelle gibt eine kurze Übersicht über attraktive Bereiche für den Einsatz von KI für den Recyclingsektor.

Allerdings steht die Industrie beim Recycling in vielen Anwendungsgebieten noch am Anfang. Deshalb ist die Wiederverwertung von Produkten durch Austausch einzelner Komponenten gerade auch kurzfristig bedeutend. Bei jedem Produkt und jeder Komponente steht im Lebenszyklus einmal oder mehrmals die Entscheidung über die weitere Verwertung an, also eine Klassifizierung. Dafür ist es notwendig, zu diesem Zeitpunkt den Zustand von Produkten, deren Komponenten und Materialien hinsichtlich

ihrer Funktionalität (State of Function, SoF) und allgemeinen Verfassung (State of Health, SoH) zu kennen.

Auch hier kann der Einsatz von KI basierend auf der Erfassung von Daten während des gesamten Lebenszyklus die Qualität der Zustandsbestimmung wesentlich erhöhen und darüber hinaus die Vorhersage eines kritischen Zustands, der eine Klassifizierung erfordert, vorhersagen. Diese ermittelten Zustände entscheiden dann über die weitere Verwendung. In Zukunft kann mithilfe von KI-Methoden und einer durchgehenden Digitalisierung des gesamten Kreislaufprozesses die Klassifizierung vollständig automatisiert zum richtigen Zeitpunkt gestartet und durchgeführt werden.

8 Referenzen

Weiterführende Publikationen der Plattform Industrie 4.0:

Fortschreibung der Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0:

www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/fortschreibung-anwendungsszenarien.html

Usage Viewpoint of Application Scenario Value-Based Service:

www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/hm-2018-usage-viewpoint.html

Technologieszenario „Künstliche Intelligenz in der Industrie 4.0“:

www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/KI-industrie-40.html

Künstliche Intelligenz in Sicherheitsaspekten der Industrie 4.0:

www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/KI-in-sicherheitsaspekten.html

Künstliche Intelligenz und Recht im Kontext von Industrie 4.0:

www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/kuenstliche-intelligenz-und-recht.html

Umgang mit Sicherheitsrisiken industrieller Anwendungen durch mangelnde Erklärbarkeit von KI-Ergebnissen:

www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Umgang-mit-Sicherheitsrisiken.html

KI und Robotik im Dienste der Menschen:

www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/BMWi%20KI%20und%20Robotik.html

Ausgewählte Publikationen der Plattform Lernende Systeme:

Maschinelles und Tiefes Lernen:

www.plattform-lernende-systeme.de/files/Downloads/Publikationen/AG1_Whitepaper_280619.pdf

KI und Diskriminierung:

www.plattform-lernende-systeme.de/files/Downloads/Publikationen/AG3_Whitepaper_250619.pdf

Künstliche Intelligenz und IT-Sicherheit:

www.plattform-lernende-systeme.de/files/Downloads/Publikationen/20190403_Whitepaper_AG3_final.pdf

Neue Geschäftsmodelle mit KI:

www.plattform-lernende-systeme.de/files/Downloads/Publikationen/AG4_Bericht_231019.pdf

Weitere relevante Publikationen:

DIN/DKE Normungsroadmap Industrie 4.0, Version 4, April 2020

AUTOREN

Johannes Diemer | Dr. Stefan Elmer | Dr. Marco Gaertler | Dr. Thomas Gamer | Christian Görg | Dr. Jürgen Grotepass | Johannes Kalhoff | Prof. Dr. Stefan Kramer | Dr. Christoph Legat | Jan-Peter Meyer-Kahlen | Andreas Nettsträter | Dr. Oliver Niehörster | Dr. Benedikt Schmidt | Dr. Karsten Schweichhart | Dr. Marco Ulrich | Dr. Roman Weitschat | Dr. Johannes Winter

