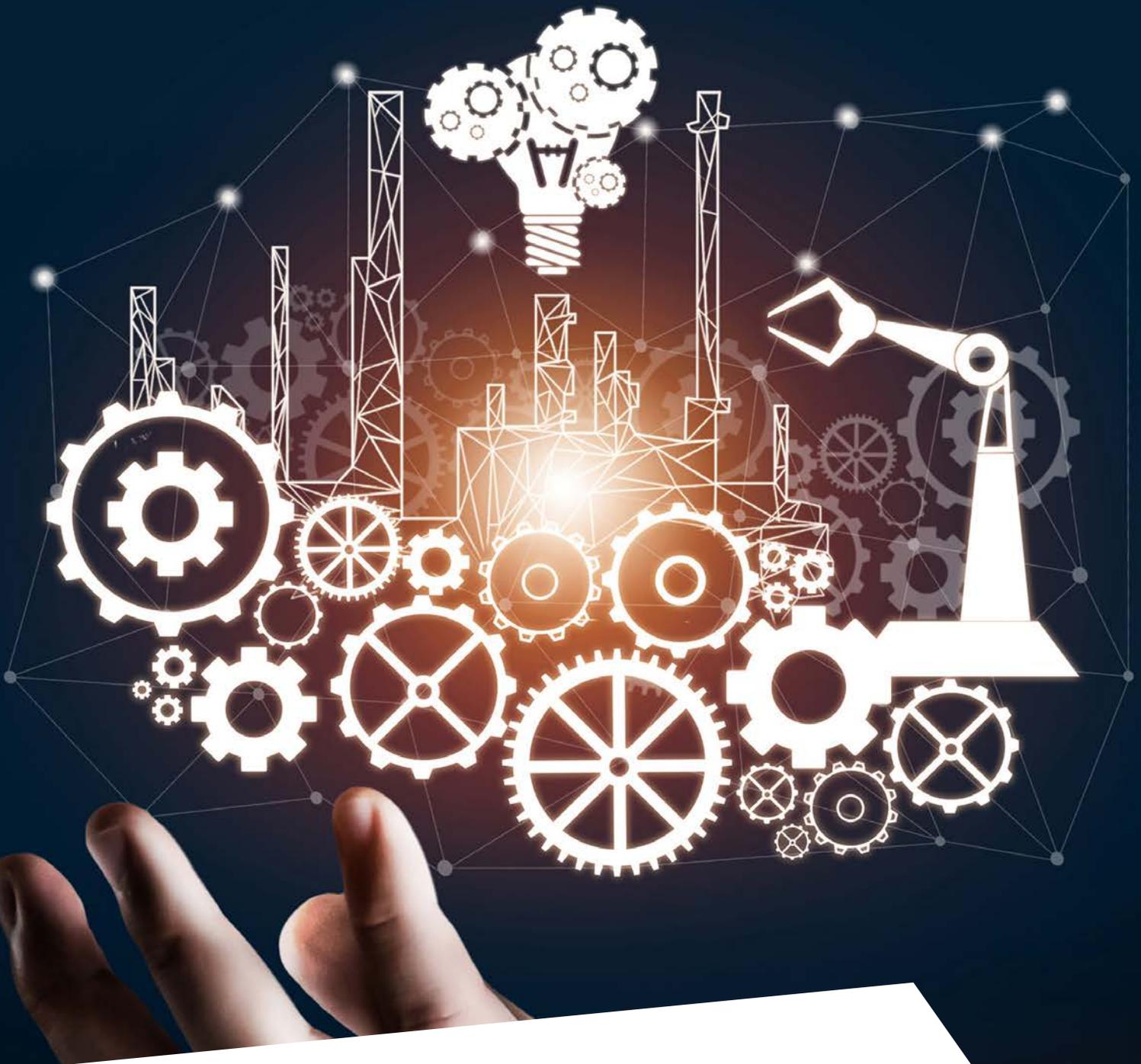


FORSCHUNGSBEIRAT



Expertise des Forschungsbeirats der Plattform Industrie 4.0

Künstliche Intelligenz zur Umsetzung von Industrie 4.0 im Mittelstand

Impressum

Herausgeber

Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0 /
acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

Projektbüro

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
Geschäftsstelle
Karolinenplatz 4
80333 München

Autorinnen und Autoren

Institut für Produktionsmanagement, Technologie und
Werkzeugmaschinen (PTW) an der Technischen Universität
Darmstadt: Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich, Tobias Biegel,
Beatriz Bretones Cassoli, Felix Hoffmann, Nicolas Jourdan,
Jannik Rosemeyer, Patrick Stanula, Amina Ziegenbein

Koordination

Dr. Anna Frey, acatech
Lisa Hubrecht, acatech
Simon Litsche, acatech

Redaktion und Lektorat

Karola Klatt, Berlin

Gestaltung und Produktion

PRpetuum GmbH, München

Bildnachweis

Adobe Stock/ Blue Planet Studio (Titel)
Abbildungen: PTW der TU Darmstadt, Laserline GmbH,
Eifelbrennholz e.K., Polierscheibenfabrik Spaeth e.K.,
Arno Arnold GmbH, Sensitec GmbH, b_digital UG,
OmegaLambdaTec GmbH, WZL RWTH Aachen

Stand

August 2021



Plattform Industrie 4.0



acatech – Deutsche Akademie
der Technikwissenschaften

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

 acatech

DEUTSCHE AKADEMIE DER
TECHNIKWISSENSCHAFTEN


TU DARMSTADT



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Der **Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0** berät als strategisches und unabhängiges Gremium die Plattform Industrie 4.0, ihre Arbeitsgruppen und die beteiligten Bundesministerien, insbesondere das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).

Als **Sensor** von Entwicklungsströmungen beobachtet und bewertet der Forschungsbeirat die Leistungsprofilentwicklung von Industrie 4.0 und versteht sich als **Impulsgeber** für künftige Forschungsthemen und Begleiter beziehungsweise Berater zur Umsetzung von Industrie 4.0. Dabei konzentriert sich der Forschungsbeirat inhaltlich auf folgende **Themenfelder im Kontext von Industrie 4.0**:

- Wertschöpfungsnetzwerke
- Technologische Wegbereiter
- Neue Methoden und Werkzeuge
- Arbeit und Gesellschaft

Hier setzen die **Expertisen des Forschungsbeirats** an. Vor dem Hintergrund der Themenfelder werden klar umrissene Problemstellungen aufgezeigt, Forschungs- und Entwicklungsbedarfe definiert und Handlungsoptionen für eine erfolgreiche Gestaltung von Industrie 4.0 abgeleitet.

Die Expertisen liegen in der inhaltlichen Verantwortung der jeweiligen Autorinnen und Autoren. Alle bisher erschienenen Publikationen des Forschungsbeirats stehen unter www.acatech.de/projekt/forschungsbeirat-industrie-4-0/ zur Verfügung.

Inhalt

Kurzfassung	3
1 Einleitung	5
2 Ausgangslage und Zielsetzung	6
3 Vorgehensweise und Methodik	8
4 Einsatzschwerpunkte und Handlungsbedarfe von KI-Anwendungen im produzierenden Mittelstand	11
Aktuelle und geplante Einsatzschwerpunkte von Künstlicher Intelligenz	11
Handlungsbedarfe für die Anwendung von KI	13
5 Chancenpotenzial aktuell verfügbarer KI-Technologien für den produzierenden Mittelstand	18
Stellenwert von KI im Unternehmen	18
Entwicklung und Betrieb von KI-Anwendungen	20
Charakter existierender KI-Anwendungen	21
Potenzial von KI-Technologien	23
Best Practice-Beispiele	26
6 Identifikation von Potenzialen für zukünftige Förderinitiativen	34
Aktueller Fokus der Forschungslandschaft in Bezug auf KI	34
Einordnung der befragten Unternehmen hinsichtlich ihrer KI-Tätigkeiten	38
Potenziale für die Verbesserung der Rahmenbedingungen zukünftiger Förderinitiativen	39
Beurteilung der Wirksamkeit von Fördermaßnahmen	40
Potenziale für die inhaltliche Ausrichtung zukünftiger Förderinitiativen	41
7 Handlungsoptionen zum erfolgreichen Einsatz von KI-Technologien	44
SWOT-Analyse	44
Leitfaden	45
8 Diskussion und Ausblick	56
Anhang	57
Literatur	62
Autorinnen und Autoren	65
Befragte Expertinnen und Experten	65
Mitglieder des Forschungsbeirats	66

Kurzfassung

Künstliche Intelligenz (KI) bietet vielseitige Potenziale für den Einsatz in der Produktion und kann einen wichtigen Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen leisten. In den letzten Jahren wurden bereits zahlreiche Vorhaben zur Anwendung von KI-Lösungen in der Produktion umgesetzt. Spätestens seit der Verabschiedung der *Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung*¹ im November 2018 ist das Thema auch in den Fokus der Produktionsforschung und vieler Unternehmen gerückt. Trotz der vorhandenen Potenziale und Initiativen zeigen Erhebungen aus den vergangenen Jahren, dass KI-Lösungen bisher nur von wenigen Unternehmen und in Randbereichen genutzt werden.²

Die vorliegende Expertise wurde von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der Technischen Universität Darmstadt erstellt. Sie beleuchtet auf Basis von Befragungsergebnissen den Einsatz und die unternehmerischen Potenziale von KI-Lösungen, liefert Anwendungsbeispiele aus der industriellen Praxis und zeigt grundlegende Vorgehensweisen bei der Durchführung von KI-Vorhaben auf. Zudem werden aktuelle und zukünftige Förderprogramme hinsichtlich ihrer inhaltlichen Schwerpunkte und Wirksamkeit untersucht. Diese Expertise liefert damit auch einen Beitrag zur Diskussion, welche Potenziale für künftige Förderinitiativen zur Verbreitung von KI in kleinen und mittelgroßen Unternehmen (KMU) bestehen. Ein Leitfaden zeigt Unternehmen auf, wie sie KI-Technologien bei der Umsetzung von Industrie 4.0 miteinbeziehen können. Die Expertise konzentriert sich auf produzierende KMU und vergleicht ihre Situation mit der von großen Unternehmen (GU). Die quantitativen Ergebnisse aus der Online-Befragung von 117 Vertreterinnen und Vertretern produzierender Unternehmen werden durch leitfadengestützte Interviews mit 20 Expertinnen und Experten ergänzt. Zusätzlich werden konkrete Projektverläufe von Unternehmen herausgearbeitet und vor allem hinsichtlich aufgetretener Herausforderungen und Erfolgsfaktoren beleuchtet.

Zunächst werden die Einsatzschwerpunkte von KI-Lösungen in KMU identifiziert und mögliche Handlungsbedarfe aufgedeckt. Es zeigt sich, dass KMU bei der Digitalisierung als Voraussetzung des Einsatzes von KI-Anwendungen im Hintertreffen sind. Sie weisen verglichen mit GU einen signifikant niedrigeren Digitalisierungsgrad auf und erfassen

relevante Daten überwiegend gar nicht oder lediglich manuell. Sofern sie KI-Lösungen einsetzen, geschieht dies im Zusammenhang mit ihren Produkten und Dienstleistungen. Ein Einsatz zur Verbesserung interner Prozesse und Abläufe – beispielsweise im Rahmen der Instandhaltung von Maschinen und Anlagen – findet nur selten statt. Wesentliche Hemmnisse für den Einsatz von KI sehen sowohl KMU als auch GU vor allem in fehlendem Know-how, einer zu geringen Datenbasis und mangelnder Standardisierung. Weiterhin wird beleuchtet, welches Chancenpotenzial aktuell verfügbare Technologien dem produzierenden Mittelstand bieten. Dabei zeigt sich, dass die wenigen Unternehmen mit operativen KI-Anwendungen den Einsatz dieser Technologien in den meisten Fällen als profitabel ansehen. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass KMU das Thema KI zwar als bedeutsam wahrnehmen, es jedoch nur wenige von ihnen auf ihre strategische Agenda genommen und Maßnahmen für einen nachhaltigen Kompetenzaufbau ergriffen haben.

Da bisher nur eine kleine Anzahl der befragten KMU von den umfangreichen Fördermöglichkeiten im Umfeld von KI Gebrauch gemacht hat, besteht die Notwendigkeit, den Nutzen der KI-Anwendungen in den Vordergrund zu stellen. Dies kann umso glaubwürdiger durch praxisnahe Beispiele gelingen, die auf die eigene Problemsituation beziehungsweise Herausforderung übertragbar sind. Daher zeigen Beispiele aus der Industrie auf, welche Anwendungen aus dem Produktionskontext bereits erfolgreich realisiert werden konnten – aber auch, welche Schwierigkeiten dabei zu meistern waren. Diese Praxisbeispiele können helfen, einen Anstoß für eine eigene erfolgreiche KI-Anwendung zu finden und dabei von den Erkenntnissen anderer zu profitieren.

Darüber hinaus bietet die Expertise einen strukturierten Überblick hinsichtlich des Umfangs und thematischen Schwerpunkts aktueller Förderprogramme im Kontext des Einsatzes von KI-Lösungen im produzierenden Mittelstand. Zudem wird aufgezeigt, wie die Teilnehmenden gegenwärtige Antragsverfahren bewerten. Hierbei zeigt sich, dass Verbesserungspotenziale vor allem in einer vereinfachten Antragsstellung und schnelleren Bewilligungsentscheidungen gesehen werden. Zur Steigerung des Einsatzes von KI im produzierenden Mittelstand bedarf es in zukünftigen Fördervorhaben insbesondere einer stärkeren Ausrichtung an den praktischen Problemstellungen der Unternehmen.

1 Vgl. Bundesregierung 2018.

2 Vgl. PwC 2019, PAiCE 2018, Bauer et al. 2019.

Unterstützung durch sogenannte KI-Trainerinnen und -Trainer stellt hier eine Lösungsmöglichkeit dar. Vorhaben, die die Produkte und Dienstleistungen der Unternehmen tangieren, sollten bevorzugt entwickelt werden.

Auf der Basis dieser Erkenntnisse werden abschließend im Rahmen einer SWOT-Analyse die erkannten Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken des Einsatzes von KI-Anwendungen in KMU zusammengefasst, um systematisch Handlungsoptionen für eine erfolgreiche strategische Antwort abzuleiten. Ein Leitfaden soll KMU, insbesondere des Maschinen- und Anlagenbaus, eine Richtschnur bieten, an der sie sich zur Lösung einer Problemstellung aus dem Produktionskontext mithilfe einer KI-Anwendung orientieren können.

Die Auswertung der Daten zeigt, dass nur ein Bruchteil mittelständischer Unternehmen tatsächlich schon Erfahrungen mit KI gesammelt hat und KMU damit signifikant hinter GU liegen. Ein Grund ist die immer noch unzureichende digitale Infrastruktur, die eine mangelnde Datenqualität zur Folge hat. Ein anderer ist fehlendes Know-how, um das fachübergreifende Zusammenspiel aus Sensorik, Datenerfassung und -aufbereitung sowie Anwendung von KI-Algorithmen zu planen und umzusetzen. Und obwohl

KI von vielen Befragten als wichtiges Thema für das Geschäftsmodell erkannt wird, führt diese Erkenntnis in der überwiegenden Zahl der mittelständischen Unternehmen nicht dazu, dieses Know-how – entweder durch Qualifizierung oder durch Neueinstellung von Fachkräften – aufzubauen. Jedoch ist genau dies beim aktuellen Stand der Technik notwendig: Bevor ein Unternehmen KI nachhaltig, differenzierend und gewinnbringend im Wettbewerb einsetzen kann, muss es sich das Thema KI durch Kompetenzaufbau zu eigen machen. Dies liegt darin begründet, dass die erfolgreiche Anwendung der derzeit auf dem Markt verfügbaren KI-Lösungen immer noch ein tiefgehendes Verständnis der zugrundeliegenden Algorithmen und Prinzipien erfordert. Klar ist: Wer sich diesen thematischen Zugang früher verschafft und mit den passenden KI-Lösungen schon jetzt an den Start geht, wird sich einen Marktvorteil verschaffen. Das zeigen unter anderem die Beispielunternehmen, die im Rahmen dieser Expertise mit ihren KI-Anwendungen vorgestellt werden. Allerdings wird KI erst dann in der Breite des Mittelstands Einzug halten, wenn individuelle Aufgabenstellungen durch eine anwendungsfreundliche KI von Nicht-Expertinnen und Experten „aus dem Baukasten“ gelöst werden können. Hierfür ist jedoch noch einiges an Forschungs- und Entwicklungsarbeit zu leisten.

1 Einleitung

Die fortschreitende Digitalisierung und Vernetzung von Maschinen und Anlagen sorgt in vielen Bereichen der industriellen Produktion und Auftragsabwicklung dafür, dass Daten in großen Mengen zur Verfügung stehen. Es bietet sich an, diese Daten zur Verbesserung von Prozessen zu nutzen, beispielsweise um Ausschuss zu reduzieren oder die Maschinenverfügbarkeit zu steigern. Darüber hinaus ermöglichen kommunikationsfähige Produkte, dass ihre Herstellerfirmen Daten aus der Produktnutzungsphase erhalten. Dies bietet die Chance, Dienstleistungen rund um die Produktnutzung anzubieten, sodass der Wert des Produkts für die Anwenderinnen und Anwender steigt. Bei diesen Dienstleistungen kann es sich beispielsweise um rechtzeitige Instandhaltungsmaßnahmen oder das Optimieren von Bearbeitungsparametern handeln.

Werden Systeme komplexer, ist es häufig nicht mehr möglich, auf der Basis von Daten und mithilfe physikalischer Formeln das Systemverhalten abzubilden, um zum Beispiel zwischen dem Normalzustand oder einer Abweichung zu unterscheiden. Spätestens hier kommt Künstliche Intelligenz (KI) mit ihrem breiten Instrumentarium ins Spiel. Insbesondere die Methoden des maschinellen Lernens (ML) ermöglichen es, Zustände komplexer Systeme zu klassifizieren oder Zusammenhänge zwischen Prozessdaten und -ergebnissen zu erkennen, um gegebenenfalls sogar Aussagen über das künftige Systemverhalten zu machen. Die Möglichkeiten, die sich für Industrieunternehmen aus der Verbindung großer Datenmengen und ML für eigene Prozessverbesserungen oder neue Dienstleistungen und Produkte ergeben, sind weit gefächert. Von der Qualitätsprädiktion bis hin zur Vorhersage der Restlebensdauer einer Komponente – vieles ist denkbar und einiges davon ist schon heute möglich.³ Wettbewerbsfähigkeit, Marktchancen und damit Arbeitsplätze und Wohlstand hängen davon ab, ob und wie intensiv diese Möglichkeiten ausgeschöpft

werden. Dies hat auch die Bundesregierung erkannt und unter dem Motto *Artificial Intelligence (AI) Made in Germany* ein milliardenschweres Förderprogramm initiiert mit dem Ziel, Deutschland und Europa zu einem führenden Standort für KI zu machen.⁴

Während viele große Unternehmen (GU) die Einsatzmöglichkeiten von KI – meist auf der Basis von Leuchtturmprojekten – bereits testen und erste Anwendungen umgesetzt haben, stehen kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) hier vor großen Herausforderungen. Sie haben oftmals keine Fachabteilungen oder Stabsstellen, die sich eines neuen Themas annehmen, oder es mangelt an personellen und finanziellen Ressourcen, um KI-Projekte mit ihrem häufig schwer quantifizierbaren Nutzen anzustoßen.⁵

Angesichts der hohen Bedeutung des Mittelstands für die deutsche Wirtschaft und seines gleichzeitig zögerlichen Umgangs mit dem Thema KI stellt sich für Politik, Verbände, Fördermittelgeber und schließlich die Unternehmen selbst die Frage, wie „Mittelständler“ für einen angemessenen Einsatz von KI zu begeistern, qualifizieren und unterstützen sind. Die vorliegende Expertise hat zum Ziel, den Stand des Einsatzes von KI im produzierenden Mittelstand zu beleuchten, Hindernisse und Chancen herauszuarbeiten und damit zur Beantwortung dieser Fragen beizutragen. Sie wurde angefertigt von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des PTW der TU Darmstadt. Basierend auf den Erfahrungen, die sich das PTW bereits im Rahmen des *Kompetenzentrums Mittelstand 4.0 Darmstadt* sowie durch eigene KI-bezogene Forschung aufgebaut hat, wurden Verantwortliche aus produzierenden Unternehmen befragt und Interviews mit Expertinnen und Experten geführt. Die Zielsetzungen dieser Expertise und ihre Operationalisierung durch verschiedene Untersuchungsschritte wird in den nächsten Abschnitten genauer vorgestellt.

3 Vgl. PAiCE et al. 2018, S. 14.

4 Vgl. Bundesregierung 2018, Bundesregierung 2020.

5 Vgl. Pfohl et al. 2021, S. 158-159.

2 Ausgangslage und Zielsetzung

Mehr als 65 Jahre nachdem die Bezeichnung *Künstliche Intelligenz* erstmalig verwendet wurde⁶, zeigt sich vor allem in den letzten Jahren ein starker Anstieg der Anwendung von KI-Lösungen in Forschung und Unternehmenspraxis.⁷ Dieser ist unter anderem bedingt durch schnellere Hardwaresysteme und die gesteigerte Verfügbarkeit von Daten.⁸ Es ist zu erwarten, dass die Kombination von Daten, Algorithmen und Rechenleistung bestehende Wertketten effizienter gestaltet und traditionelle Abläufe durch neue ersetzt. Dies ist insbesondere in den produktionsunterstützenden Bereichen (Qualitätsmanagement, Instandhaltung und Arbeitsvorbereitung) zu erwarten. Darüber hinaus erlauben KI-Technologien neue Anwendungen und Dienstleistungen und weisen damit ein hohes Disruptionspotenzial auf. So erlauben KI-Technologien Erweiterungen des Produktleistungsspektrums und ermöglichen neue Geschäftsmodelle. Werden diese Möglichkeiten zielgerichtet genutzt, dann versprechen KI-Anwendungen große Potenziale für Unternehmen und ganze Wirtschaftsstandorte. Für das deutsche Bruttoinlandsprodukt prognostiziert die Unternehmensberatung PricewaterhouseCoopers GmbH (PwC) beispielsweise eine Steigerung von 11,3 Prozent oder 430 Milliarden Euro bis 2030 durch den Einsatz von KI.⁹

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl:

„Wenn Sie KI unterteilen in Perception, Kognition und Aktion, dann ist die strukturierte Datenaufnahme mit Kameras oder anderen Sensoren und das Auswerten in Bezug auf ‚In Ordnung/nicht in Ordnung‘ oder einer Anomalieerkennung und ähnlichem, weit fortgeschritten.“

KI-Systeme sind heutzutage bereits in einer Vielzahl von Anwendungen im praktischen Einsatz – ob sichtbar oder unsichtbar. Für produzierende Unternehmen bietet sich der Einsatz KI-basierter Anwendungen beispielsweise in Form einer selbststeuernden Lagerüberwachung, einer selbstlernenden Qualitätsüberwachung, eines automatisierten Erstellens von Prozessmodellen und des Durchführens von Ursachenanalysen an.¹⁰ Obwohl die Machbarkeit dieser

Anwendungen in einer Vielzahl von Forschungsprojekten bereits nachgewiesen ist und erste marktfähige Produkte erhältlich sind, legt die Unternehmenspraxis ihren Fokus auf die Auswertung von Daten mit dem Ziel, ihre Produkte aufzuwerten, den Kundenservice zu verbessern und das Marketing zielgerichteter und aufwandsärmer zu gestalten.¹¹

Wenngleich die Erwartungen an KI-Anwendungen groß sind, entspricht die wirtschaftliche Nutzung bei Weitem nicht dieser Erwartungshaltung. Nach einer globalen Studie der Boston Consulting Group (BCG) aus dem Jahr 2017 versprechen sich zwar 85 Prozent der befragten Expertinnen und Experten Potenziale durch KI-Anwendungen, doch lediglich rund 5 Prozent der Unternehmen haben entsprechende Anwendungen bereits im Einsatz.¹² Ein ähnliches Bild ermittelt Bitkom Research in einer Umfrage von 2020 für den deutschen Markt.¹³ Bitkom hebt unter anderem hervor, dass die Einstellung gegenüber KI auch von der Unternehmensgröße abhängig sei: Je kleiner die Unternehmen wären, desto kritischer ständen sie KI-Technologien gegenüber.

Wie nicht zuletzt die Unternehmensbeispiele in dieser Expertise zeigen, können KI-Anwendungen auch für KMU effizienzsteigernd wirken oder neue Leistungen ermöglichen und damit eine Schlüsseltechnologie sein, um Wettbewerbsvorteile zu erlangen.¹⁴ Als Katalysator dient die in den letzten Jahren zunehmende Verbreitung cyber-physischer Systeme im Rahmen von Industrie 4.0. Immerhin, so zeigt eine Publikation des Forschungsbeirats der Plattform Industrie 4.0, ist das Thema Industrie 4.0 in KMU Gegenstand vieler aktueller Projekte.¹⁵ Im Kontrast zu GU weist die Wertschöpfungsstruktur von KMU jedoch einige Besonderheiten auf. Kleinere Stückzahlen und eine höhere Produktindividualität erschweren Lern- und Skaleneffekte. Gleichzeitig stehen weniger Ressourcen – ob finanzieller oder personeller Art – zur Verfügung, sodass Unternehmensleitungen von KMU insbesondere bei risikobehafteten Projekten vor der Fragestellung stehen, ob sich durch diese ein unmittelbarer Mehrwert für den Kunden oder für das eigene Geschäft bietet.¹⁶

6 Vgl. McCarthy et al. 2006.

7 Vgl. Web of Science 2021.

8 Vgl. Russell et al. 2016, S. 27.

9 Vgl. PwC 2018.

10 Vgl. Hatiboglu et al. 2019.

11 Vgl. Bauer et al. 2019, S. 31.

12 Vgl. MIT Sloan Management Review and BCG 2017.

13 Vgl. Bitkom 2020.

14 Vgl. Lundborg/Märkel 2019.

15 Vgl. Forschungsbeirat/acatech 2019a.

16 Vgl. Pfohl et al. 2021, S. 158-159.

Dr. Rene Fassbender (OLT):

„Die Unternehmen, die in Zukunft keinerlei KI-Lösungen einsetzen, werden ab einem bestimmten Zeitpunkt X nicht mehr wettbewerbsfähig sein können.“

KMU machen bekanntermaßen 99 Prozent aller deutschen Unternehmen aus und stellen 58 Prozent der Beschäftigten.¹⁷ Aufgrund dieser hohen Bedeutung gelten KMU als Motor der deutschen Wirtschaft.¹⁸ Um diesen Motor leistungs- und wettbewerbsfähig zu erhalten, gilt es, bei neuen Technologien den Anschluss zu halten und sich in den entscheidenden sich differenzierenden Bereichen an die internationale Spitze zu setzen. Die Digitalisierung von Prozessen und Produkten bildet die Grundlage der Verfügbarkeit und kommerziellen Nutzung der entstehenden Daten durch KI und stellt eine erste Hürde für KMU dar.

Im Bewusstsein dieser Herausforderung richtete das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) bereits im Jahr 2015 die ersten Mittelstand 4.0-Kompetenzzentren in unterschiedlichen Regionen Deutschlands ein. Diese Kompetenzzentren haben den Auftrag, KMU kostenfrei bei der Implementierung digitaler Lösungen und Industrie 4.0-Technologien zu unterstützen. Dies umfasst unter anderem KI-Anwendungen, wobei neben Sensibilisierungsmaßnahmen auch sogenannte KI-Trainerinnen und -Trainer zur Verfügung stehen, die bei der Umsetzung von KI-Projekten im Unternehmen unterstützen. Darüber hinaus stellt die Bundesregierung im Rahmen der Fortschreibung ihrer *Strategie Künstliche Intelligenz* fünf Milliarden Euro bis

2025 für Maßnahmen zur Förderung von KI in Deutschland und Europa bereit.¹⁹

Ausgezeichnete Forschung und vielversprechende KI-Lösungen reichen jedoch nicht aus, wenn sie nicht bei der Zielgruppe der KMU ankommen. Eine Reihe von Studien untersuchte in den vergangenen Jahren die Verbreitung und Einsatzmöglichkeiten von KI-Lösungen für KMU aller Branchen und Sektoren.²⁰ In diesen Studien sahen die befragten Anwenderinnen und Anwender ein hohes Potenzial von KI-Technologien für Veränderungen von Unternehmensprozessen, beispielsweise im Marketing, in der Logistik oder der Automatisierung. Doch umfassen die genannten Studien sowohl KMU aus dem sekundären als auch dem tertiären Sektor ohne eine Fokussierung auf den produzierenden Mittelstand vorzunehmen. Darüber hinaus konnte die Vielzahl neu aufgelegter Förderinitiativen nicht in ausreichendem Maße berücksichtigt werden.

Für politische Entscheidungsträgerinnen und -träger stellt sich die Frage, welche Maßnahmen zu ergreifen sind und wie Förderung zu gestalten ist, damit produzierende KMU von der Förderung profitieren. Außerdem steht das Management mittelständischer Unternehmen vor der Frage, wie KI-Projekte angegangen werden müssen, sodass KI-Technologien zielgerichtet in ihren jeweiligen Unternehmen eingesetzt werden können. Die Beantwortung dieser Fragen im Rahmen dieser Expertise soll helfen, KI-Technologien passgenau für KMU verfügbar zu machen und diese bei der Einführung zu unterstützen, um damit die Wettbewerbsfähigkeit des gesamten Wirtschaftsstandorts Deutschland zu stärken.

17 Vgl. BMWi 2019.

18 Vgl. BMWi 2019.

19 Vgl. Bundesregierung 2018, 2020.

20 Vgl. BVMW/Mittelstand 4.0 Kompetenzzentrum Berlin 2020, Lundborg/Märkel 2019, Wangermann 2020, Mittelstand 4.0 Kompetenzzentrum Dortmund 2020.

3 Vorgehensweise und Methodik

In Summe besteht also der Bedarf nach einer Expertise, die folgende Fragen beleuchtet:

- Was sind die aktuellen Einsatzschwerpunkte von KI-Anwendungen im produzierenden Mittelstand und wo bestehen noch Handlungsbedarfe für eine erfolgreiche Anwendung und Umsetzung?
- In welchem Umfang liegen KI-Anwendungen im produzierenden Mittelstand bereits vor und welches Chancenpotenzial bietet die Nutzung aktuell verfügbarer KI-Technologien für die Unternehmen?
- Welche Rahmenbedingungen müssen geschaffen werden, damit bestehende Hürden für eine Umsetzung von KI-Projekten und eine breitflächige Anwendung von KI-Technologien abgebaut werden können?

Grundlage der vorliegenden Expertise bilden die folgenden Definitionen der Begriffe „KI“ (Künstliche Intelligenz), „KMU“ (kleine und mittlere Unternehmen) und „GU“ (große Unternehmen):

In Anlehnung an die oben aufgeführte Strategie der Bundesregierung bezeichnet die „Anwendung von Künstlicher Intelligenz“ im Kontext dieser Expertise die Lösung konkreter Anwendungsprobleme auf Basis der Methoden aus der Mathematik und Informatik. Die hierbei zum Einsatz kommenden Systeme sind zur Modellbildung und -optimierung fähig, ohne explizit dafür programmiert worden zu sein. Dazu werden auch Aspekte menschlicher Intelligenz nachgebildet und formal beschrieben, beziehungsweise Systeme zur Simulation und Unterstützung menschlichen Denkens konstruiert.²¹ In der Literatur liegen zudem weitere Definitionen des Begriffs „Künstliche Intelligenz“ vor. Diese werden in anderen vergleichbaren KI-Studien näher thematisiert²² und sollen hier nicht weiter behandelt werden.

Hinsichtlich der Begriffsabgrenzung von KMU und GU gelten im Rahmen dieser Expertise Unternehmen mit einem jährlichen Umsatz von bis zu 125 Millionen Euro als KMU. Hingegen zählen Unternehmen mit einem Umsatz von mehr als 125 Millionen Euro als GU.²³

Das Vorgehen der Expertise lässt sich in vier Abschnitte untergliedern. Zunächst wird auf der Basis der oben formulierten Fragen ein Online-Fragebogen erstellt. Mithilfe dieses Fragebogens wird eine statistisch auswertbare Datenbasis geschaffen, die im zweiten Schritt durch Einzelinterviews ergänzt und vertieft wird. Themen dieser Interviews sind vor allem die aktuellen Einsatzschwerpunkte sowie die Chancenpotenziale von KI-Technologien in KMU aus Expertinnen- und Experten- sowie Anwenderinnen- und Anwendersicht. Schließlich wird im dritten Schritt die deutsche Forschungslandschaft im Bereich KI näher beleuchtet und im vierten Schritt ein Leitfaden zur Einführung von KI-Anwendungen in KMU präsentiert. Das Vorgehen in den einzelnen Abschnitten wird im Folgenden detaillierter vorgestellt.

Der Online-Fragebogen setzt sich inhaltlich aus zwei Teilen zusammen. Im ersten Teil des Fragebogens werden allgemeine Fragen zum Charakter des befragten Unternehmens und zum aktuellen Status der Anwendung von KI-Technologien im Unternehmen gestellt, die unter anderem die Erwartungen an die Technologie, das Erfahrungsniveau sowie den Durchdringungsgrad betreffen. Die Fragen im zweiten Teil dienen dem Ziel, Zusammenhänge zwischen Voraussetzungen, eigenen Aktivitäten und Erfolgen zu erkennen. Mithilfe der Antworten sollen Faktoren identifiziert werden, die zum Erfolg beziehungsweise Scheitern von KI-Projekten führen. Der Online-Fragebogen wird auf der Plattform *LimeSurvey* zur Verfügung gestellt und über Multiplikatoren sowie unmittelbar bestehende Unternehmenskontakte verbreitet. Insgesamt kann eine Rückläuferzahl von 160 Antwortenden verzeichnet werden. Die Antwortenden arbeiten zu 3 Prozent in *Forschungsinstitutionen*, zu 5 Prozent in *Unternehmensberatungen*, 13 Prozent sind für IT-Entwicklungsdienstleister tätig, 73 Prozent für *produzierende Unternehmen* und 6 Prozent für *sonstige Unternehmen*. Eine detailliertere Aufteilung der teilnehmenden produzierenden Unternehmen nach Art und Umsatz zeigt Abbildung 1.

Neben der Größe wird im Fragebogen auch die Branche²⁴ der teilnehmenden Unternehmen erfragt, wobei hier Mehrfachantworten möglich sind (siehe Anhang). Die Ergebnisse zeigen, dass die antwortenden Unternehmen überwiegend den Branchen *Maschinenbau*, *Herstellung von elektrischen und elektronischen Komponenten beziehungsweise Produkten*, *Herstellung von Metallerzeugnissen*, *Metallerzeugung und*

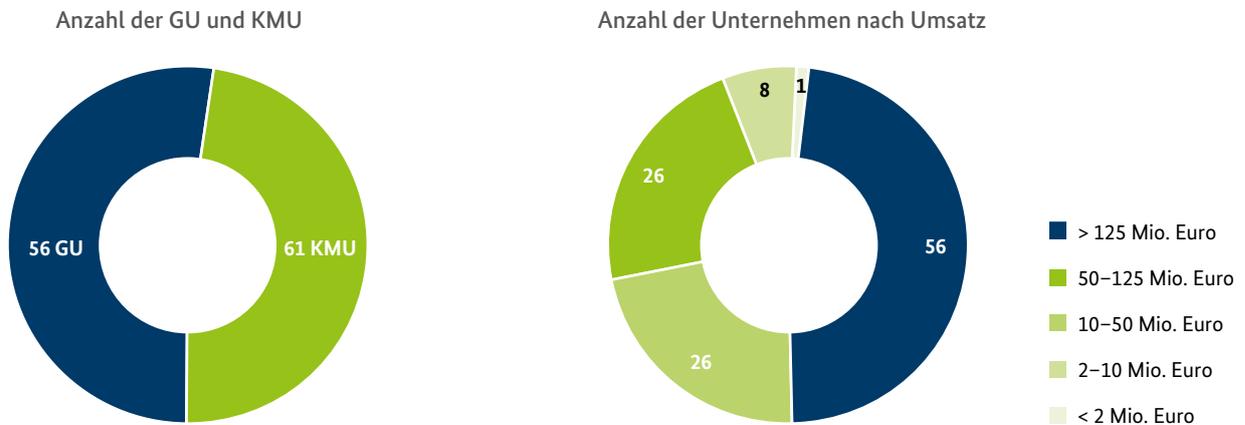
21 Vgl. Bundesregierung 2018.

22 Vgl. Hatiboglu et al. 2019, Bauer et al. 2019, acatech 2020.

23 Vgl. BMWi 2017.

24 Vgl. Destatis 2008.

Abbildung 1: Aufteilung der an der Online-Befragung teilnehmenden Unternehmen in GU und KMU (links) und nach Umsatz (rechts)



Quelle: eigene Darstellung

-bearbeitung sowie *Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen* zuzuordnen sind. Diese Verteilung weicht von der Branchenverteilung in Deutschland ab.²⁵ So ist in der Expertise insbesondere der *Maschinenbau* überrepräsentiert, während Unternehmen aus dem Bereich *Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln* unterrepräsentiert sind. Weiterhin können die antwortenden Personen gemäß ihrer Position im Unternehmen eingeteilt werden: 22 Prozent sind in der *Geschäftsführung* tätig, 56 Prozent haben eine Funktion als *Team-/Abteilungs-/Bereichsleitung*, 14 Prozent fungieren als *Projektleitung*, 5 Prozent sind *Mitarbeitende* und 3 Prozent haben eine *sonstige Position* inne.

Da sich diese Expertise auf produzierende Unternehmen fokussiert, bleiben die Rückläufe aus Forschungsinstitutionen, Unternehmensberatungen und von Dienstleistern in der Datenauswertung unberücksichtigt und die folgenden Ergebnisse referenzieren entsprechend auf eine Gesamtheit von $n = 117$ Unternehmen. Für ein besseres Verständnis der Expertise ist von Bedeutung, dass der Fragebogen hierarchisch aufgebaut ist, das heißt, dass der weitere Fragenverlauf von vorherigen Antworten abhängt. Folglich unterscheiden sich die Zahlen der Antwortenden bei einigen Auswertungen. Sofern möglich, werden statistische Tests durchgeführt, um die Antworten der Teilnehmenden aus KMU von denen aus GU abzugrenzen und Unterschiede auf Signifikanz zu überprüfen.²⁶ Statistisch signifikante Aussagen sind in den Abbildungen mit einem Asterisk (*) gekennzeichnet.

In Ergänzung zur Online-Befragung werden für eine vertiefende Analyse 20 leitfadengestützte Interviews mit 14 Führungskräften aus Unternehmen und sechs Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern auf dem Gebiet der Produktionstechnik und KI durchgeführt. Mit den Führungskräften werden die Ergebnisse der Online-Befragung von Unternehmen näher diskutiert. Hierbei soll ermittelt werden, aus welchen Gründen die jeweiligen Antworten abgegeben wurden. Insbesondere werden auffällige Antworten thematisiert. Weiterhin werden konkrete Projektverläufe in den entsprechenden Unternehmen herausgearbeitet und dabei insbesondere aufgetretene Herausforderungen und Erfolgsfaktoren beleuchtet. Mit den Forschenden hingegen werden oben aufgeführte Forschungsfragen genauer erörtert. In den Interviews werden somit Chancen und Risiken sowie Potenziale für eine verstärkte Verbreitung von KI-Technologien im produzierenden Mittelstand thematisiert. Durch die Interviews wird ein vertieftes Verständnis von Situation und Einsatz von KI-Anwendungen in produzierenden KMU gewonnen. Prägnante Aussagen in Form von Zitaten spezifizieren die Erkenntnisse aus der Online-Umfrage an geeigneten Stellen. Praktische Beispiele von KI-Projekten aus Industrievorhaben der Autorinnen und Autoren, der sogenannten KI-Trainerinnen und -Trainer im Rahmen der *Mittelstand-Digital-Initiative* sowie aus den Experteninterviews mit Industrievertretern ergänzen die zuvor aufgezeigten Erkenntnisse abschließend um ein realitätsnahes Bild.

25 Vgl. Destatis 2020.

26 Zweistufiger Zweistichproben-t-Test und exakter Fisher-Test.

Bei weniger als 30 Antworten wird auf die Anwendung des Zweistichproben-t-Tests verzichtet.

Des Weiteren erfolgt eine Recherche und Zusammenstellung von ausgeschriebenen sowie abgeschlossenen Förderprogrammen und -vorhaben mit Schwerpunkt KI im produzierenden Mittelstand. Mittels dieser Zuordnung kann eine Analyse bestehender Förderinitiativen erfolgen und dabei aufgezeigt werden, welche Bereiche aktuell in der Förderung fokussiert werden. Aufbauend darauf werden die herausgearbeiteten thematischen Schwerpunkte aktueller KI-Förderinitiativen mit dem in der Untersuchung identifizierten Bedarf des produzierenden Mittelstands verglichen. Dabei wird analysiert, welche Wissens- und Technologielücken derzeit bei Unternehmen bestehen. Aus den Erkenntnissen werden letztlich Potenziale für die Verbesserung bestehender Förderinitiativen ermittelt.

Weiterhin wird ein Leitfaden präsentiert, der mittelständischen Unternehmen die grundlegenden Schritte zur Einführung und Umsetzung von KI-Technologien aufzeigt. Der Leitfaden soll Orientierung bei der erfolgreichen Einführung von KI-Anwendungen im produzierenden Mittelstand geben. Zu Beginn des Leitfadens wird eine SWOT-Analyse durchgeführt, die die verschiedenen relevanten Aspekte von KI-Technologien aus Sicht des produzierenden Mittelstands systematisch aufarbeitet. Anschließend beleuchtet der Leitfaden sowohl geschäftsmodellrelevante, organisatorische als auch technische Aspekte bei der Einführung von KI-Technologien, bevor im letzten Kapitel die wesentlichen Erkenntnisse der Untersuchung vor allem in Bezug auf die vorab formulierten Fragestellungen zusammengefasst werden.

4 Einsatzschwerpunkte und Handlungsbedarfe von KI-Anwendungen im produzierenden Mittelstand

Der folgende Teil der Expertise widmet sich der ersten Forschungsfrage, welche Einsatzschwerpunkte von KI-Anwendungen im produzierenden Mittelstand vorherrschen und welche Handlungsbedarfe für eine erfolgreiche Anwendung und Umsetzung von KI-Lösungen in der Zukunft bestehen. Zur Beantwortung werden die Daten der Online-Befragung analysiert und die Ergebnisse an geeigneten Stellen um klärende Zitate aus den Expertenbefragungen ergänzt.

Aktuelle und geplante Einsatzschwerpunkte von Künstlicher Intelligenz

Wie die Online-Befragung zeigt, befasst sich eine überwiegende Mehrzahl der GU bereits mit Einsatz und Planung von KI-Anwendungen (siehe Abbildung 2).

Insgesamt geben 82 Prozent der GU an, bereits Erfahrungen im Umgang mit KI gesammelt zu haben oder den Einsatz von KI-Anwendungen konkret zu planen. Hiervon verwenden bereits circa 65 Prozent der GU KI-Anwendungen aktuell in ihrem Unternehmen. Etwas mehr als die Hälfte (52 Prozent) der GU planen den konkreten Einsatz von KI-Anwendungen im Unternehmen. Lediglich 7 Prozent geben an, eine KI-Anwendung im Einsatz gehabt zu haben, die wieder abgeschafft wurde.

Dr. Rene Fassbender (OLT):

„Anwendungen von Künstlicher Intelligenz oder Data Analytics verlaufen allgemein von groß nach klein. Die allergrößten Unternehmen haben den Anfang gemacht und jetzt geht es mit der Zeit zu den immer kleineren Mittelständlern hinunter.“

Im signifikanten Kontrast stehen hierzu die KMU. Weniger als die Hälfte (41 Prozent) haben bereits konkrete Erfahrungen mit dem Einsatz von KI-Anwendungen gesammelt oder erwägen ihren Einsatz. Unter diesen liegt der Anteil derjenigen KMU, die KI-Anwendungen tatsächlich einsetzen, bei 44 Prozent. Auch circa 52 Prozent der KMU planen den konkreten Einsatz einer KI-Anwendung in ihrem Unternehmen. Lediglich ein einzelnes KMU (4 Prozent) gibt an, eine KI-Anwendung abgeschafft zu haben, die bereits im Einsatz war.

Abbildung 3 zeigt die aktuellen Einsatzbereiche von KI in KMU und GU aufgeteilt nach Unternehmensbereichen und Anwendungsgebieten. Es zeigt sich, dass KMU und GU den Einsatz von KI-Anwendungen derzeit in den Bereichen *Produkte und Dienstleistungen* sowie in der *Automatisierungstechnik* fokussieren. Unterschiede zwischen KMU und GU zeigen sich vor allem in den Bereichen *Logistik*, *Produktentwicklung* und *Qualitätsmanagement*.

Abbildung 2: Einsatz von KI, aufgeteilt nach GU und KMU

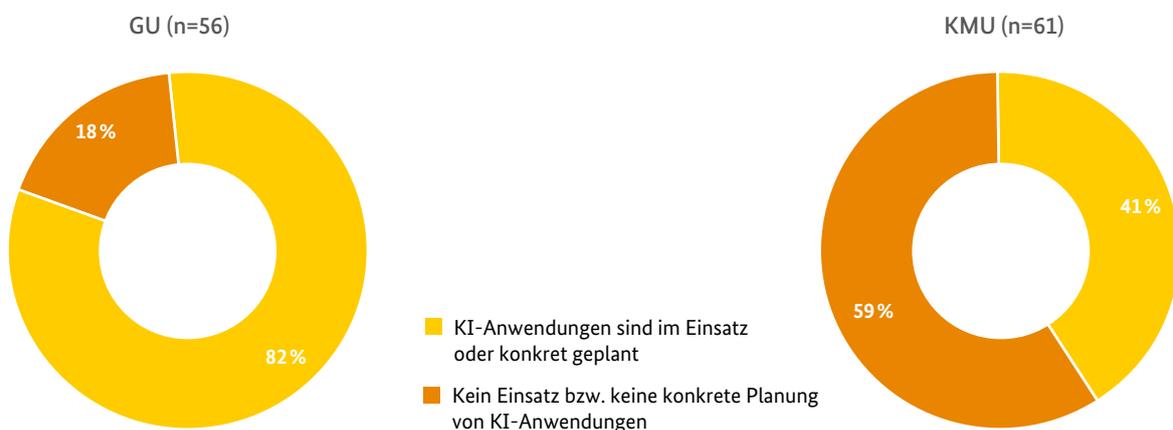
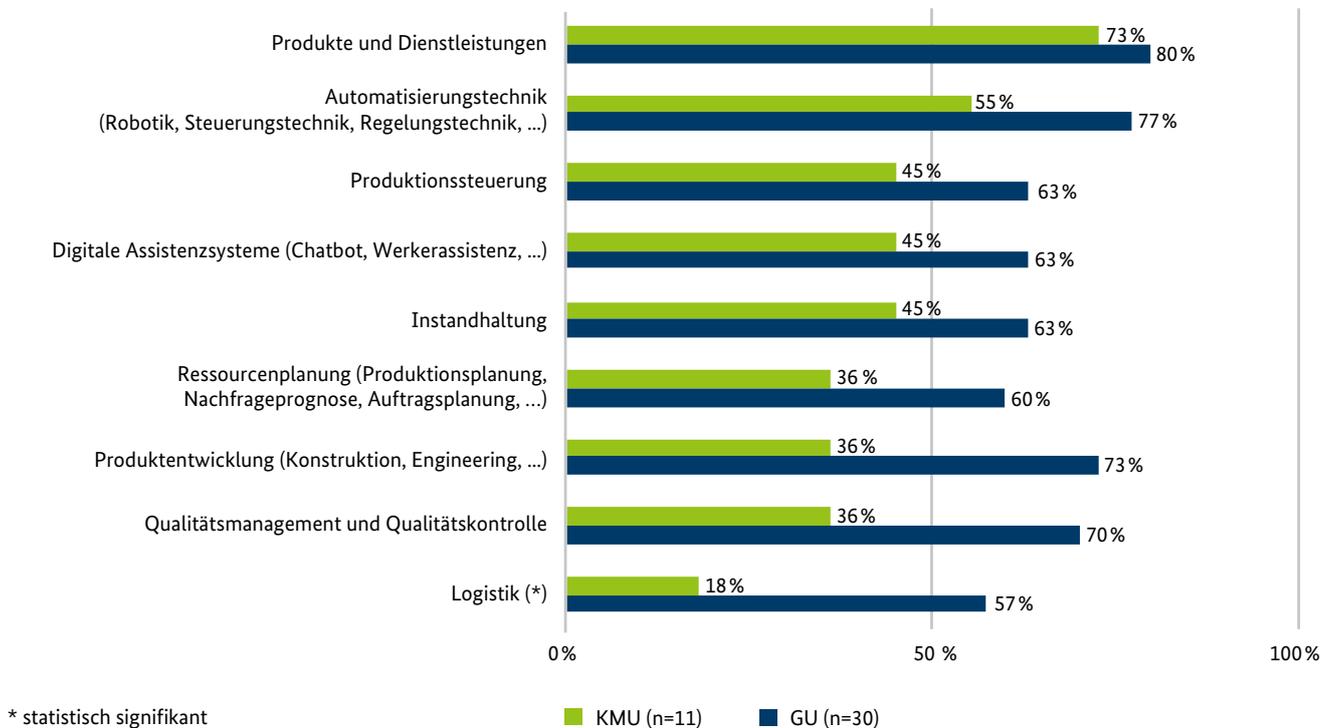


Abbildung 3: Aktueller Einsatz von KI anhand verschiedener Anwendungsbereiche

Wozu werden aktuell KI-Anwendungen in Ihrem Unternehmen verwendet?



Quelle: eigene Darstellung

Hier setzen GU deutlich häufiger KI ein als KMU. Selbst das durchschnittlich deutlich niedrigere Niveau der KI-Anwendung in KMU wird in diesen Anwendungsgebieten nochmals unterschritten. Eine Erklärung kann darin liegen, dass viele KI-Anwendungen große Datenmengen benötigen, die erst durch die vergleichsweise höheren Stückzahlen in GU zur Verfügung stehen. Darüber hinaus können GU die fixen Kosten der Einrichtung und des Betriebs von KI-Lösungen auf eine größere Anzahl von Produkten umlegen und die Lösungen amortisieren sich schneller.

Dr.-Ing. Alexander Arndt (Laserline):

„Bisher liegt der Schwerpunkt auf den Produkten: Der klassische Use Case ist Condition Based Maintenance, also die Wartungsintervalle mit Machine Learning-Algorithmen vorherzusagen.“

Abbildung 4 illustriert die geplanten Einsatzbereiche von KI-Anwendungen. Es lässt sich feststellen, dass die Mehrheit der GU in allen der aufgeführten Kategorien zukünftig den konkreten Einsatz plant. Allen voran steht hierbei die Kategorie *Produkte und Dienstleistungen*: 88 Prozent der GU geben an, in diesem Bereich einen Einsatz zu planen.

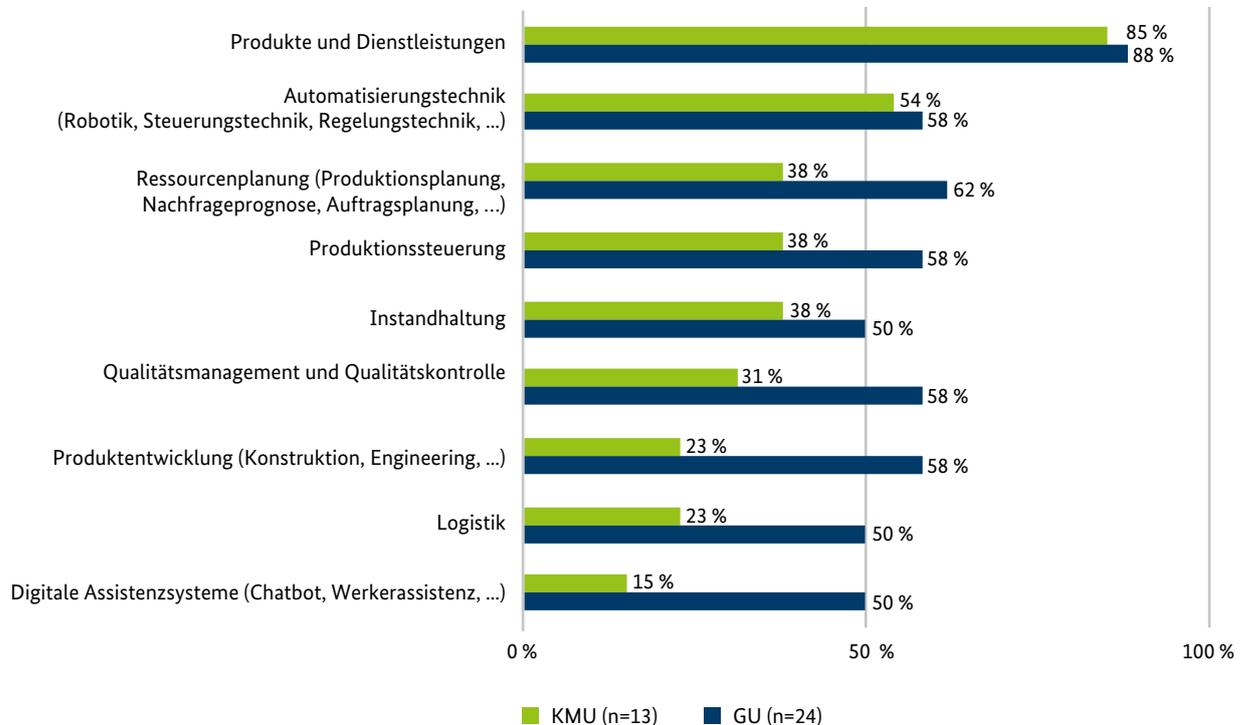
Ebenso zeigt sich, dass viele GU zukünftig den Einsatz von KI-Anwendungen in den Bereichen *Ressourcenplanung*, *Automatisierungstechnik*, *Produktentwicklung*, *Produktionssteuerung* sowie *Qualitätsmanagement und Qualitätskontrolle* vorantreiben wollen. Mindestens 58 Prozent der GU wählten in ihren Antworten diese zukünftigen Einsatzbereiche aus, was darauf hindeutet, dass GU neben *Produkten und Dienstleistungen* in diesen Bereichen besonders hohe Potenziale sehen.

Bei den KMU ergibt sich ein zurückhaltenderes Bild. Interessanterweise liegen KMU in den Bereichen *Produkte und Dienstleistungen* (85 Prozent) und *Automatisierungstechnik* (54 Prozent) mit GU noch fast gleichauf und planen einen konkreten Einsatz. In allen anderen hier aufgeführten Bereichen plant die deutliche Mehrheit der KMU keinen konkreten Einsatz von KI.

Offenbar konzentrieren sich KMU bei Einsatz und Planung von KI vor allem auf die marktseitig angebotenen Produkte und Dienstleistungen. Dies ist insofern ein positives Zeichen, als Marktchancen offenbar klar gesehen und auch häufig ergriffen werden. Mit Blick auf die künftigen Planungen ist jedoch davon auszugehen, dass KMU an dem vergleichsweise schwachen Einsatz von KI in ihren internen

Abbildung 4: Geplanter Einsatz von KI anhand verschiedener Anwendungsbereiche

Wozu sollen geplante KI-Anwendungen in Ihrem Unternehmen verwendet werden?



Quelle: eigene Darstellung

Wertschöpfungsprozessen auch mittelfristig wenig ändern werden. Inwieweit hier ungenutzte Produktivitätspotenziale erschlossen werden können, hängt nach Ansicht vieler interviewter Expertinnen und Experten auch von der Flexibilität und „Kleinserientauglichkeit“ von KI-Lösungen ab, sowohl aus Sicht ihrer technischen Machbarkeit als auch ihrer Wirtschaftlichkeit.

Handlungsbedarfe für die Anwendung von KI

Auf Grundlage der vorangegangenen Ergebnisse stellt sich die Frage, warum der Anteil von KMU, die sich noch nicht mit dem Einsatz von KI-Anwendungen befasst haben, relativ hoch und der Einsatz von KI zur Verbesserung interner Abläufe vergleichsweise gering ist. Ein Blick auf die Einschätzung der Hemmnisse beim Einsatz von KI schafft hier mehr Klarheit. In Abbildung 5 sind die Mittelwerte der Antworten der jeweiligen Unternehmensarten zur Stärke von potenziellen Hemmnissen dargestellt.

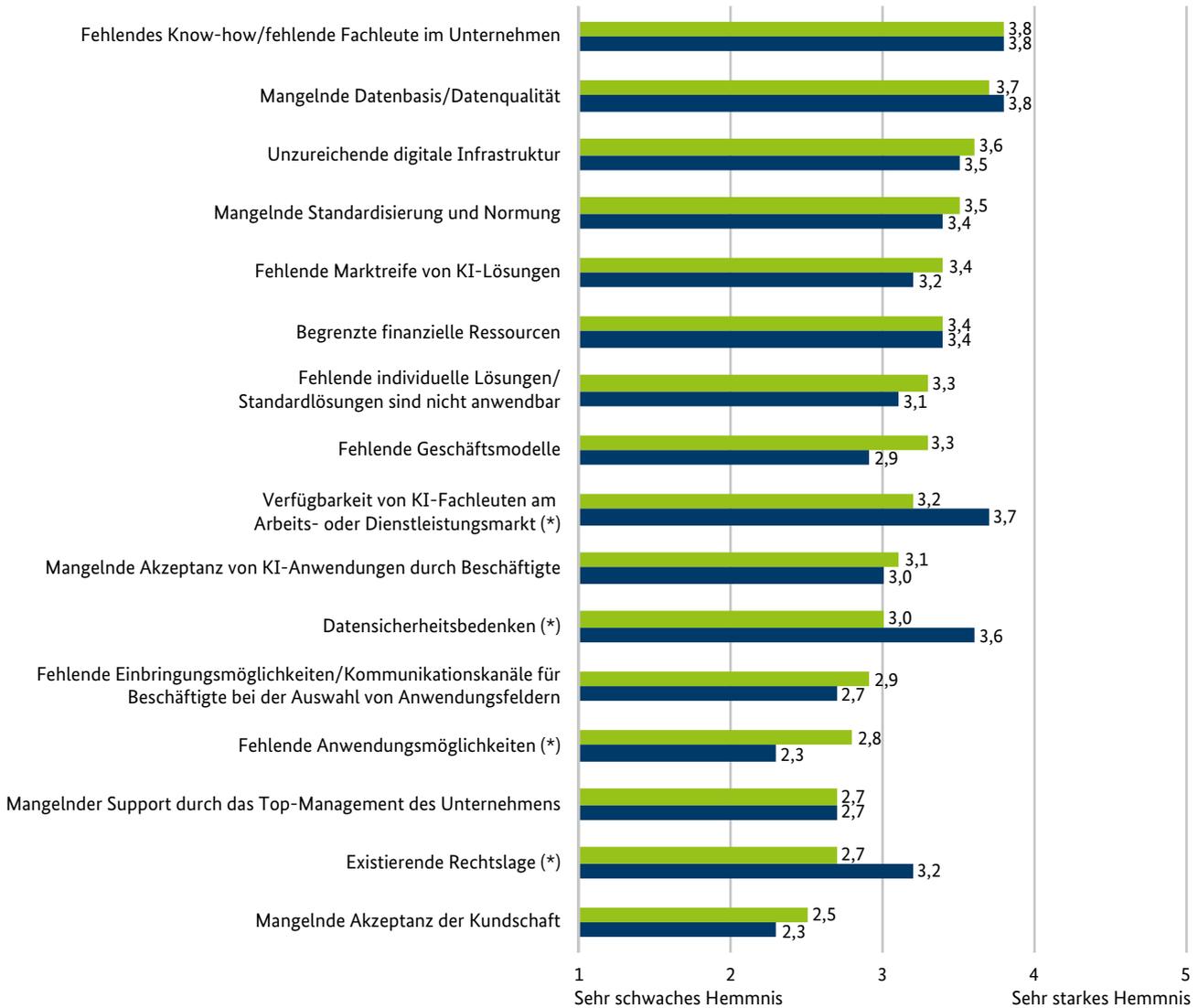
Der Vergleich von KMU und GU in der Einschätzung der wichtigsten Hemmnisse zeigt nur wenige Unterschiede. Sowohl GU als auch KMU sehen das *fehlende Know-how* beziehungsweise *fehlende Fachkräfte im Unternehmen* als großes Hemmnis an. Fast gleichauf liegt in der Einschät-

zung beider Gruppen das Hemmnis einer *mangelnden Datenbasis/Datenqualität*. Während GU Bedenken zur *Datensicherheit* und zur *existierenden Rechtslage* äußern und die *Verfügbarkeit von Expertinnen und Experten am Arbeitsmarkt* kritisch sehen, spielen diese Punkte für KMU eine signifikant weniger wichtige Rolle. Stattdessen führen sie eine *unzureichende digitale Infrastruktur* sowie eine *mangelnde Standardisierung und Normung* als starkes Hemmnis an. Ebenso zeigt sich, dass KMU und GU sowohl ihre *begrenzten finanziellen Ressourcen* als auch die *fehlende Marktreife von KI-Anwendungen* als Hemmnisse für die Verankerung von KI im Unternehmen erachten. Stärker als GU betonen KMU einen *Mangel an individuellen Lösungen* beziehungsweise eine *fehlende Anwendbarkeit von Standardlösungen* sowie *fehlende Geschäftsmodelle und Anwendungsmöglichkeiten* für den Einsatz von KI.

Festzuhalten bleibt bei allen Gemeinsamkeiten: KMU haben in Bezug auf den KI-Einsatz eine signifikant weniger kritische Haltung zur Datensicherheit sowie hinsichtlich einer gegebenenfalls problematischen Rechtslage. Vermuten lässt sich eine weniger intensive Beschäftigung von KMU mit diesem Themenfeld, während GU – bedingt durch den bereits verstärkten Einsatz von KI – hier deutlich mehr Erfahrungen gesammelt haben dürften. Für diese Interpretation spricht, dass viele Antworten der KMU zur Stärke

Abbildung 5: Hemmnisse für den Einsatz von KI in KMU und GU

Wie schätzen Sie die folgenden Hemmnisse bezüglich der Nutzung von KI in Ihrem Unternehmen ein?



* statistisch signifikant

■ KMU (n=61) ■ GU (n=56)

Quelle: eigene Darstellung

dieser Hemmnisse sehr dicht an dem mittleren Wert der verwendeten Likert-Skala liegen. Dies deutet darauf hin, dass vielen der befragten KMU zu den betreffenden Fragen die Beurteilungskraft fehlt.

Dr.-Ing. Werner Kraus (Fraunhofer IPA):
„Wenn ich jetzt in die ISO-Normen reinschaue, auch für funktionale Sicherheit, dann ist sie eher Jahre hinten dran und kann mit dem aktuellen, schnellen technologischen Fortschritt gar nicht mithalten.“

Dr.-Ing. Vitali Dejkun (Coherent):
„Schöne Bilder kann ich immer machen, aber die auszuwerten, um dann zu sehen, ob das Sinn ergibt, da braucht man Know-how dahinter. Dafür braucht man Fachleute.“

Ähnliches gilt für die signifikant weniger kritische Einschätzung einer mangelnden Verfügbarkeit von KI-Expertinnen und Experten am Arbeitsmarkt durch KMU. Diese Aussage ist im Zusammenhang mit der sehr verhaltenen Suche

nach KI-Expertinnen und Experten durch KMU zu sehen (siehe Abbildung 8): Wo diese Expertinnen und Experten gar nicht erst gesucht werden, wird ihre mangelnde Verfügbarkeit auch nicht als hinderlich erachtet.

Im Hinblick auf die *Erfassung und Nutzung von Daten*, deren Verfügbarkeit für den Einsatz von KI unabdingbare Voraussetzung ist, zeigt sich bei KMU, dass Daten überwiegend manuell erfasst und ausgewertet werden (Abbildung 6). Vor allem in den Bereichen *Digitale Assistenzsysteme* und *Automatisierungstechnik* ist der Anteil an KMU, die noch keine Daten erfassen, sehr groß. Jeweils mehr als 40 Prozent der KMU geben an, noch keine Daten zu erheben. Der größte Anteil an *automatisierter Datenerfassung und -nutzung* bei KMU erfolgt in den Bereichen *Produktionssteuerung*, *Produkte und Dienstleistungen*, *Ressourcenplanung* und *Logistik*. GU sind in dieser Hinsicht etwas weiter fortgeschritten. Hier zeigt sich, dass die Datenerfassung schon überwiegend automatisch erfolgt, die Datenauswertung allerdings noch manuell durchgeführt wird. Der größte Anteil an *automatisierter Datenerfassung und -nutzung* bei GU erfolgt in den Bereichen *Logistik*, *Produkte und Dienstleistungen*, *Produktionssteuerung* sowie *Qualitätsmanagement und Qualitätskontrolle*. Auffällig ist auch, dass alle GU in den Bereichen *Logistik*, *Produkte und Dienstleistungen* sowie *Qualitätsmanagement und Qualitätskontrolle* bereits Daten erfassen.

Wie auch bei den KMU ist bei den *Digitalen Assistenzsystemen* der Anteil an GU, die noch keine Daten erfassen, am größten. Mehr als 20 Prozent der GU erfassen in diesem Bereich noch keine Daten.

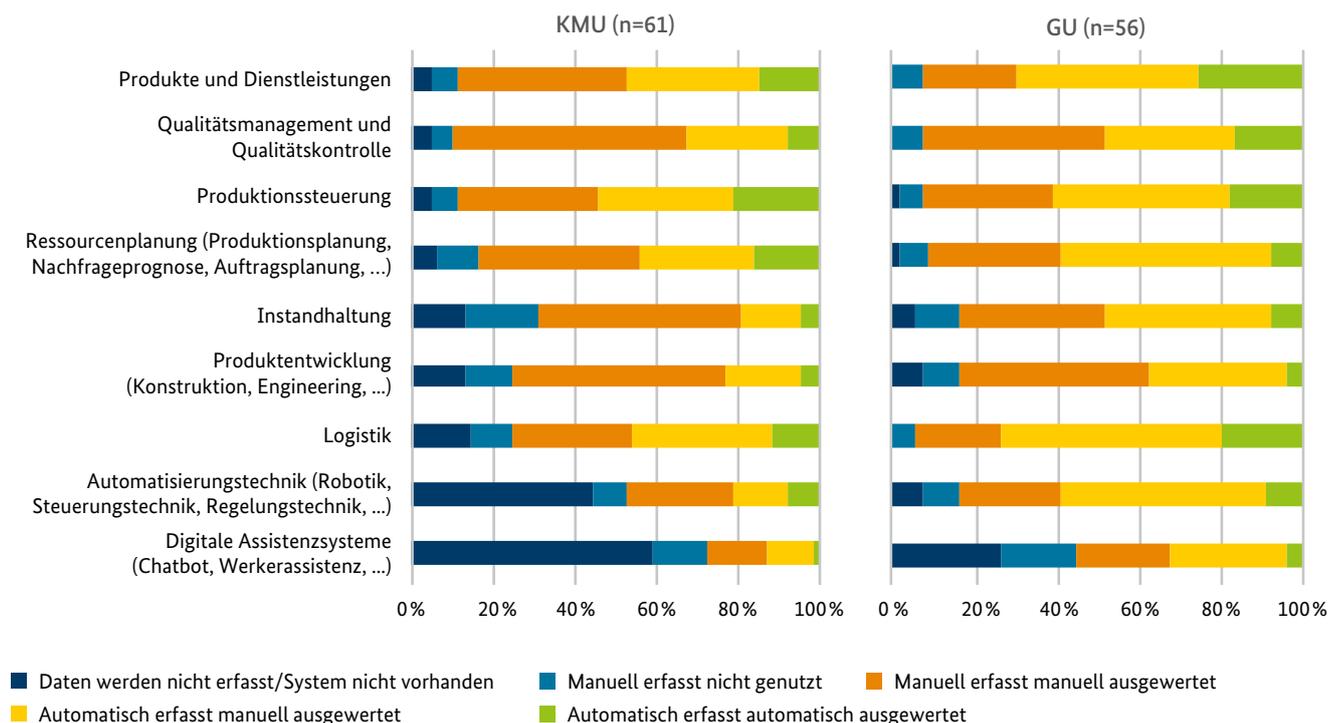
Christian Büttner (Altair):

„Erst einmal müssen die Leute wissen, wo sie Daten haben und dass es eine Relation gibt zwischen den Daten und dem, was sie erreichen wollen. Man braucht Daten, um Data Science zu nutzen. Wenn man Data Science betreiben will und keine Daten hat, dann ist das schwierig.“

Ausgehend von den zwei großen Stoßrichtungen – der *Digitalisierung interner Prozesse* einerseits und der *Digitalisierung von Produkten und Dienstleistungen* andererseits – ist von Interesse, wie sich KMU im Vergleich zu GU positionieren. Hierzu werden ausgehend von der Frage „Wie bewerten Sie den Stand der Digitalisierung in Ihren Produkten und Dienstleistungen und in den internen Prozessen Ihres Unternehmens?“ für beide Kategorien jeweils mehrere Aspekte der Digitalisierung gemeinsam betrachtet und ausgewertet. Die zu den jeweiligen Kategorien gehörenden Digitalisierungslösungen lassen sich der Beschreibung

Abbildung 6: Datenerfassung und -nutzung in einzelnen Unternehmensbereichen

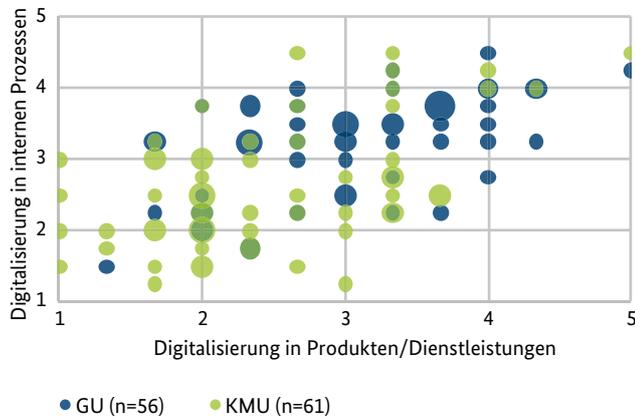
Wie bewerten Sie die Erfassung und Nutzung von Daten in Ihrem Unternehmen?



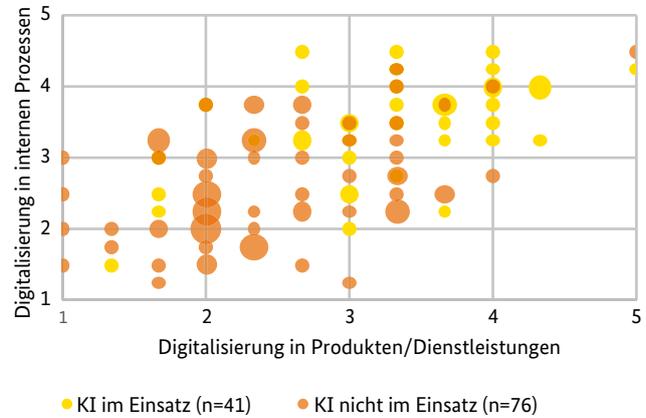
Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 7: Digitalisierungsmatrizen für KMU und GU

Digitalisierungsmatrix: „KMU vs. GU“



Digitalisierungsmatrix: „KI im Einsatz vs. KI nicht im Einsatz“



Quelle: eigene Darstellung

in Abbildung 7 entnehmen. Anschließend werden die Antworten nach KMU und GU (Abbildung 7, links) sowie nach Unternehmen, die KI im Einsatz beziehungsweise nicht im Einsatz haben (Abbildung 7, rechts) aufgeschlüsselt. Die Größe der Kreise zeigt die Anzahl an Unternehmen, die auf den betreffenden Punkt in der Matrix fallen.

Der Blick auf beide Matrizen zeigt zunächst, dass die Felder links oben und rechts unten nicht voll besetzt sind. Die Digitalisierung von *Prozessen* sowie *Produkten und Dienstleistungen* steht also offenbar in einem engen Zusammenhang. So ist beispielsweise das Angebot digitaler Produkte ohne entsprechend digitalisierte Prozesse kaum realisierbar. In der linken Matrix wird deutlich, dass der überwiegende Anteil der KMU weder in den *Prozessen* noch in den

Produkten und Dienstleistungen digitalisiert ist. Darüber hinaus lässt sich feststellen, dass GU in den *Produkten und Dienstleistungen* und *internen Prozessen* gegenüber KMU stärker digitalisiert sind – und zwar signifikant. In der rechten Matrix wird erkennbar, dass der Großteil derjenigen Unternehmen, die KI bereits im Einsatz haben, sowohl in den *Prozessen* als auch in den *Produkten und Dienstleistungen*, signifikant stärker digitalisiert ist (Quadrant rechts oben). Dies bestätigt die Aussage, dass Digitalisierung eine grundlegende Voraussetzung für den anschließenden Einsatz von KI ist.

Aus der Analyse lassen sich zwei Einsichten ableiten: Erstens: Die – ohnehin wirtschaftlich sinnvolle – Digitalisierung in KMU muss für den Einsatz von KI noch stärker forciert

Digitalisierung von internen Prozessen:

- Digitalisierung von Geschäftsprozessen, wie Material Requirement Planning (MRP) und Enterprise Resource Planning (ERP)
- Vernetzung von Prozessen, wie bei Prozessleitsystemen und Manufacturing Execution Systems (MES)
- Analyse und Nutzung von Prozessdaten, wie bei der Betriebsdatenerfassung und beim Process Mining
- Verwendung von Industrie 4.0-Elementen, wie Traceability (RFID, Barcode, QR-Code), Cloud-Computing und Internet of Things (IoT)

Digitalisierung in Produkten und Dienstleistungen:

- Funktionalität zu Datenspeicherung/-nutzung und Informationsaustausch im Produkt
- Produktbezogene IT-Services, wie Webseite, Onlineshop und Produktkonfigurator
- Produktbezogene digitale Dienstleistungen, wie Wartung, Pay-per-X, Updates und Apps

werden, um KI-Anwendungen erfolgreich im produzierenden Mittelstand etablieren zu können. Zweitens: Für viele KMU kommt das Thema KI noch zu früh, da schlicht die digitalen Grundlagen fehlen.

In diesem Kapitel wurden die Einsatzschwerpunkte und Handlungsbedarfe für den Einsatz von KI in produzierenden Unternehmen in Deutschland beleuchtet. Insbesondere ist auffällig, dass circa doppelt so viele GU KI im Einsatz oder einen konkreten Einsatzplan für KI haben als KMU. Dabei konzentrieren sich die Einsatzschwerpunkte bei KMU auf *Produkte und Dienstleistungen*, während in GU

auch *interne Prozesse* vermehrt durch KI unterstützt werden. Als Hemmnisse werden bei beiden Gruppen insbesondere *mangelndes Know-how* und *nicht vorhandene Daten* identifiziert. Bei großen Unternehmen wird dies noch durch die *fehlende Verfügbarkeit von Expertinnen und Experten* sowie *Datensicherheits- und rechtliche Bedenken* ergänzt. Da die Gruppe der GU beim Einsatz von KI insgesamt schon größere Fortschritte zeigt, ist zu erwarten, dass sich ähnliche Hemmnisse zukünftig auch für KMU ergeben werden. Diese sollten also proaktiv adressiert werden. Im Folgenden werden die Schlüsselerkenntnisse des Kapitels in Bezug auf die Situation in KMU kurz zusammengefasst.

Handlungsbedarfe und Einsatzschwerpunkte von KI im produzierenden Mittelstand

- KMU sind beim Einsatz von KI weniger weit fortgeschritten als GU.
- KMU weisen im Vergleich zu GU eine signifikant geringere Digitalisierung in Produkten und Dienstleistungen sowie von internen Prozessen auf.
- KMU erfassen und nutzen Daten in den betrachteten Unternehmensbereichen überwiegend manuell.
- Digitalisierung ist ein signifikanter Faktor für den erfolgreichen Einsatz von KI.
- KMU fokussieren beim Einsatz von KI überwiegend Produkte und Dienstleistungen.
- KMU planen den Einsatz von KI in Produkten und Dienstleistungen in Zukunft weiter zu forcieren.
- KMU sehen die größten Hemmnisse beim Einsatz von KI durch fehlendes Know-how, mangelnde Datenbasis und Datenqualität, ungenügende Standardisierung und Normung sowie eine unzureichende digitale Infrastruktur.
- KMU erachten die Hemmnisse Verfügbarkeit von KI-Fachleuten am Arbeitsmarkt, Datensicherheitsbedenken sowie existierende Rechtslage als weniger wichtig, was bedingt sein könnte durch den Mangel an praktischer Erfahrung im Umgang mit KI.

5 Chancenpotenzial aktuell verfügbarer KI-Technologien für den produzierenden Mittelstand

Dieser Teil der Expertise behandelt die zweite Forschungsfrage, in welchem Umfang KI-Anwendungen im produzierenden Mittelstand aktuell bereits genutzt werden und welches Potenzial in der Nutzung derzeit verfügbarer KI-Technologien für die Unternehmen liegt.

Stellenwert von KI im Unternehmen

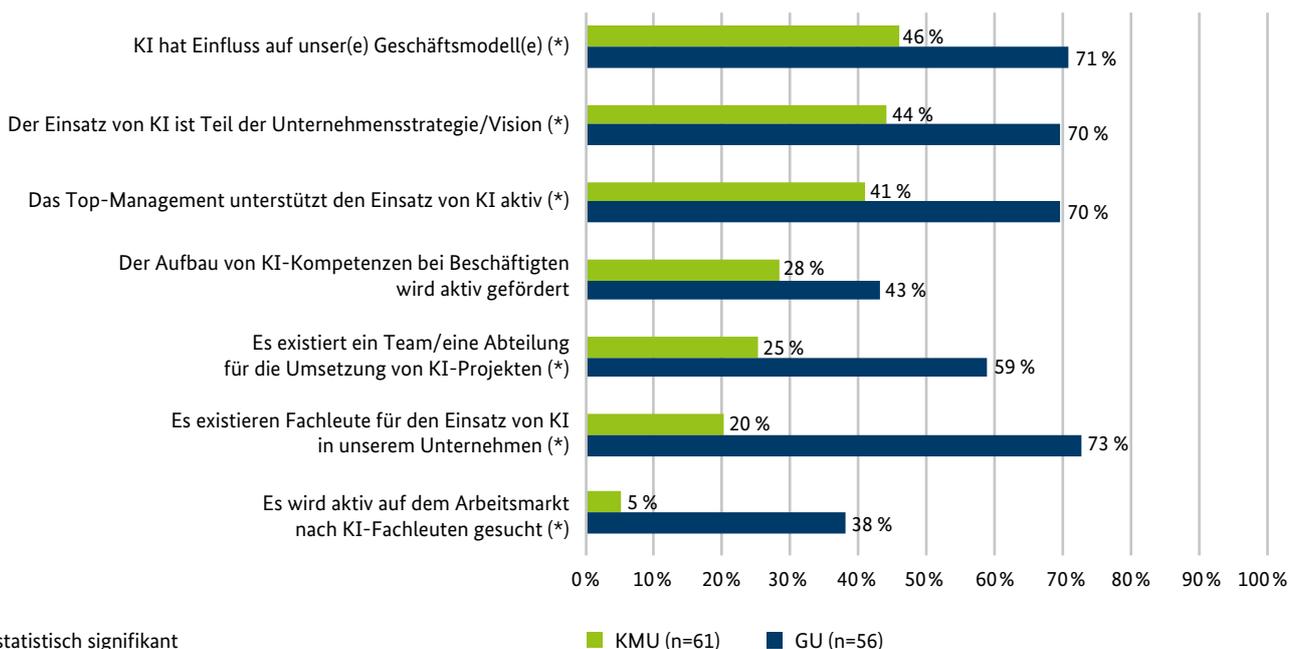
Für die Intensität des aktuellen und künftigen Einsatzes von KI spielt der Stellenwert, den die Geschäftsleitung dem Thema beimisst, eine wichtige Rolle.²⁷ Um diesen Stellenwert zu beurteilen, werden im Rahmen der Untersuchung Fragen nach der Bedeutung von KI für die Unternehmensstrategie, das Geschäftsmodell und den Kompetenzaufbau gestellt. Es zeigt sich, dass GU dem Thema KI in allen abgefragten Kategorien einen höheren Stellenwert als KMU einräumen. Diese Differenz zwischen KMU und GU ist mit

Ausnahme des Aufbaus von KI-Kompetenzen bei den Beschäftigten in allen Kategorien signifikant.

Wie in Abbildung 8 dargestellt, geben bereits über 70 Prozent der GU an, dass KI einen *Einfluss auf ihre Geschäftsmodelle* hat, während dieser Anteil bei KMU lediglich bei 46 Prozent liegt. Ein sehr ähnliches Bild zeigt sich im Hinblick auf die *Unternehmensstrategie beziehungsweise Vision* sowie den *Support durch das Top-Management*. Die Unternehmensführungen der GU ordnen dem Thema KI einen signifikant höheren Stellenwert zu, als dies in KMU der Fall ist. Insbesondere für die langfristige strategische Ausrichtung der Unternehmen ist es jedoch essenziell, dass die Unternehmensführung das Thema aktiv vorantreibt und unterstützt. Noch deutlichere Unterschiede zeichnen sich bei den *Kompetenzen der Beschäftigten* und deren organisatorischer Bündelung ab. Nur 25 Prozent der befragten KMU geben an, *separate Teams für die Umsetzung von KI-Projek-*

Abbildung 8: Einfluss von KI auf die strategische Ausrichtung und Kompetenzentwicklung

Welche der nachfolgend aufgeführten Punkte sind für Ihr Unternehmen zutreffend?



Quelle: eigene Darstellung

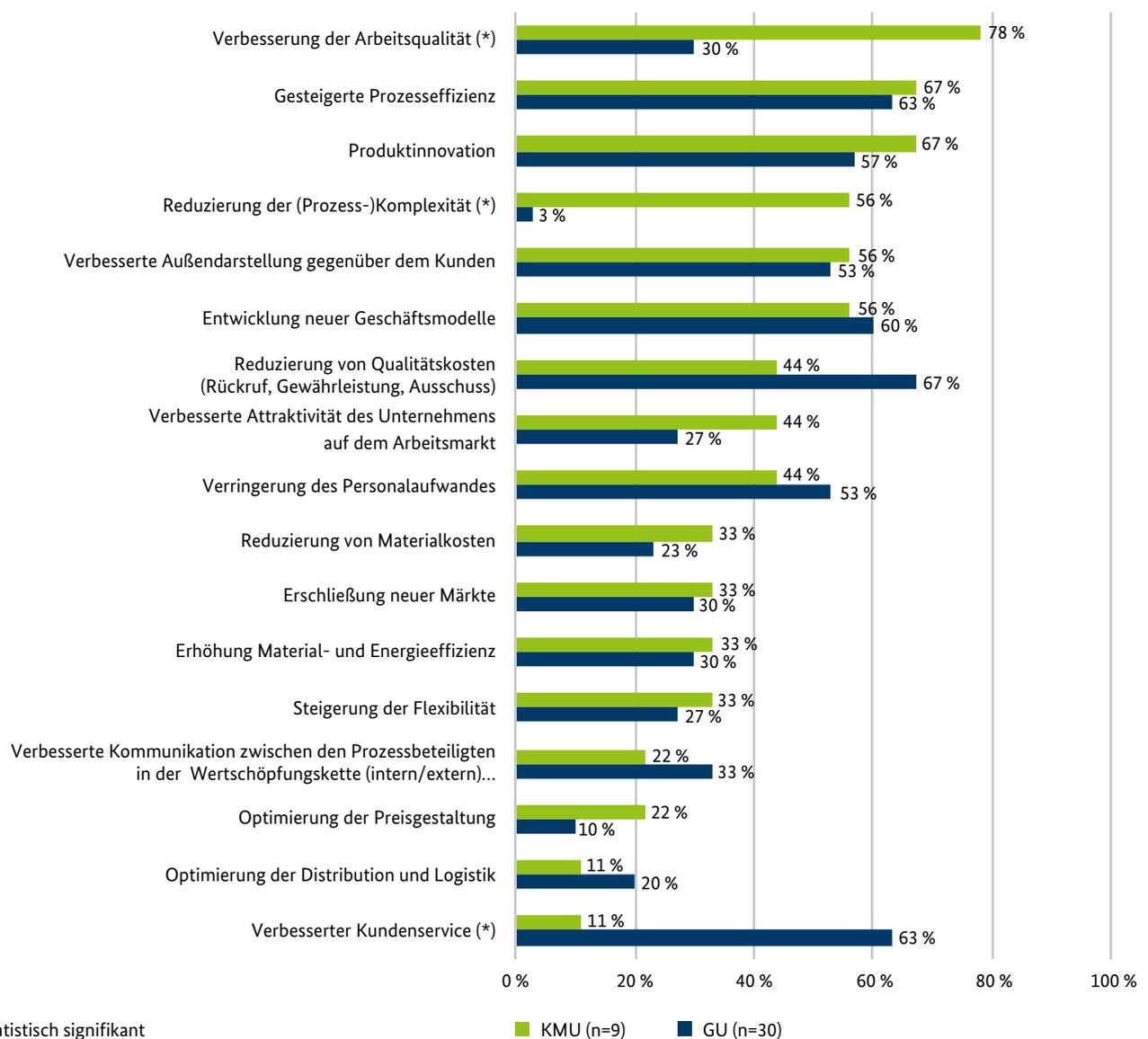
27 Vgl. PwC 2019, S. 16, Deloitte 2020, S. 15.

ten einzusetzen und lediglich 20 Prozent besitzen durch einzelne Beschäftigte explizite KI-Expertise. Trotz dieses niedrigen Anteils fördern nur 28 Prozent der KMU aktiv den *Aufbau von KI-Kompetenzen* bei ihren Beschäftigten und lediglich 5 Prozent der KMU suchen aktiv nach *KI-Fachleuten auf dem Arbeitsmarkt*. Bei den GU sind bereits deutlich häufiger KI-Kompetenzen in den Unternehmen vorhanden. Insbesondere geben 73 Prozent der Unternehmen an, dass es *Fachleute für den Einsatz von KI im Unterneh-*

men gibt. Des Weiteren existiert in 59 Prozent der Unternehmen ein *Team für die Umsetzung von KI-Projekten*. Zudem ist der Anteil der GU, der aktiv nach *KI-Fachleuten sucht*, mit 38 Prozent deutlich höher als bei KMU (5 Prozent). Festzuhalten bleibt, dass KMU in wesentlich niedrigerem Maße eine strategische und organisatorische Verankerung von KI vorweisen als GU. Die nur bei wenigen KMU vorhandene Initiative zum *Aufbau interner KI-Kompetenzen* und das noch niedrigere Engagement bei der Einstellung

Abbildung 9: Empfundener Mehrwert von KI-Anwendungen für KMU und GU

Inwiefern profitiert Ihr Unternehmen vom Einsatz von KI-Anwendungen?



Hinweis: Die angegebene Prozentzahl repräsentiert den Anteil der Unternehmen, die angegeben haben, durch die beschriebenen Punkte von ihren KI-Anwendung zu profitieren.

Quelle: eigene Darstellung

von KI-Fachleuten lassen erwarten, dass sich dies ohne geeignete Maßnahmen kurz- bis mittelfristig auch nicht ändert.

Bei der Entscheidung eines Unternehmens KI-Anwendungen zu entwickeln und einzuführen, spielt der glaubwürdig wahrgenommene Mehrwert bereits existierender KI-Anwendungen eine wichtige Rolle.²⁸ Begeisterung für die Aufnahme eigener KI-Aktivitäten entsteht aus den Erfolgsgeschichten von Unternehmen, die vor vergleichbaren Herausforderungen oder in einem ähnlichen Wettbewerbsumfeld stehen. Die Notwendigkeit für diese Aktivitäten wird dann erkannt, wenn Mitbewerber mit Erfolg eine KI-Lösung einsetzen und sich so einen wahrnehmbaren Wettbewerbsvorteil verschaffen.

Aus diesem Grund wird untersucht, wie und auf welchen Gebieten Unternehmen von den bereits eingesetzten KI-Lösungen profitieren (Abbildung 9). Hier zeichnet sich für KMU und GU erneut ein unterschiedliches Bild ab. Insbesondere die am häufigsten genannten *Mehrwerte* unterscheiden sich stark. So profitieren KMU vor allem von der *Verbesserung der Arbeitsqualität*, beispielsweise durch den *Wegfall von Routineaufgaben*, während für GU die *Reduktion von Qualitätskosten* im Vordergrund steht. Eine mögliche Erklärung hierfür sind die Effekte größerer Stückzahlen bei GU, die KI-Lösungen in der Qualitätssicherung technisch möglich und wirtschaftlich einsetzbar machen. Gemeinsamkeiten zeigen sich besonders bei der *Steigerung von Prozesseffizienz*, der *Produktinnovation*, der verbesserten *Außendarstellung gegenüber dem Kunden* sowie der *Geschäftsmodellentwicklung*. Die Mehrheit von

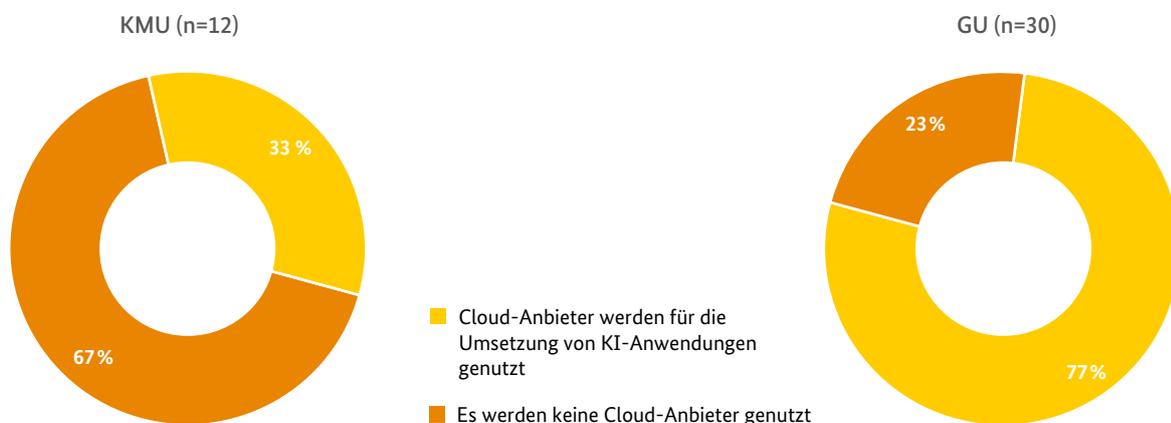
GU und KMU gibt an, in diesen Punkten durch ihre KI-Anwendungen zu profitieren.

Auch wenn sich die erfolgreichen Einsatzgebiete nach Unternehmensgröße unterscheiden, so profitiert dennoch die Mehrheit der befragten Unternehmen vom KI-Einsatz in der jeweils gewählten Anwendung. Als wichtiges Ergebnis dieser Untersuchung kann demnach festgehalten werden: Wird KI auf eine passende Problemstellung angewendet und ist dabei das Vorgehen professionell, so übersteigt in der Regel der Nutzen den Aufwand und es stellt sich ein positiver Rückfluss ein.

Entwicklung und Betrieb von KI-Anwendungen

Es wurde bereits erörtert, dass GU sowohl hinsichtlich der Kompetenz im Umgang mit KI als auch bei der Anwendung von KI vor KMU liegen. Ein Vergleich des Vorgehens von KMU und GU bei der Entwicklung und im Betrieb ihrer KI-Anwendungen ermöglicht hierzu weitere Einblicke. Betrachtet man ausschließlich Unternehmen, die KI bereits einsetzen oder in der Vergangenheit eingesetzt haben, geben 83 Prozent der GU an, *KI-Anwendungen unternehmensintern zu entwickeln*, während dies nur bei 50 Prozent der KMU der Fall ist. KMU vertrauen bei der Entwicklung häufiger auf die *Kooperation mit Unternehmen und Forschungseinrichtungen* (83 Prozent) als GU (67 Prozent). Wo stärker kooperiert wird, ist ein eigener Kompetenzaufbau zunächst nicht im gleichen Maße notwendig wie bei Eigenentwicklungen. Gleichzeitig bieten Kooperati-

Abbildung 10: Nutzung von Cloud-Anbietern für die Umsetzung von KI-Anwendungen



Quelle: eigene Darstellung

onen jedoch auch die Chance zum Kompetenztransfer. Diese Chance wird jedoch – wie bereits dargestellt – nur in wenigen Fällen aktiv genutzt.

Eine wichtige Architekturentscheidung für den Betrieb von KI-Anwendungen ist der Einsatz von *Cloud-Dienstleistungen*. Diese ermöglichen gegenüber der Bereitstellung und Nutzung von Software auf Rechenhardware vor Ort (sogenanntes *On-Premises Deployment*) hohe Skalierbarkeit und Verfügbarkeit, erfordern jedoch entsprechende Kompetenzen beim Einsatz. Ein Großteil der befragten GU setzt bereits Cloud-Dienstleistungen bei der Realisierung von KI-Anwendungen ein (77 Prozent), während dieser Anteil bei den KMU bei nur 33 Prozent liegt (siehe Abbildung 10).

Charakter existierender KI-Anwendungen

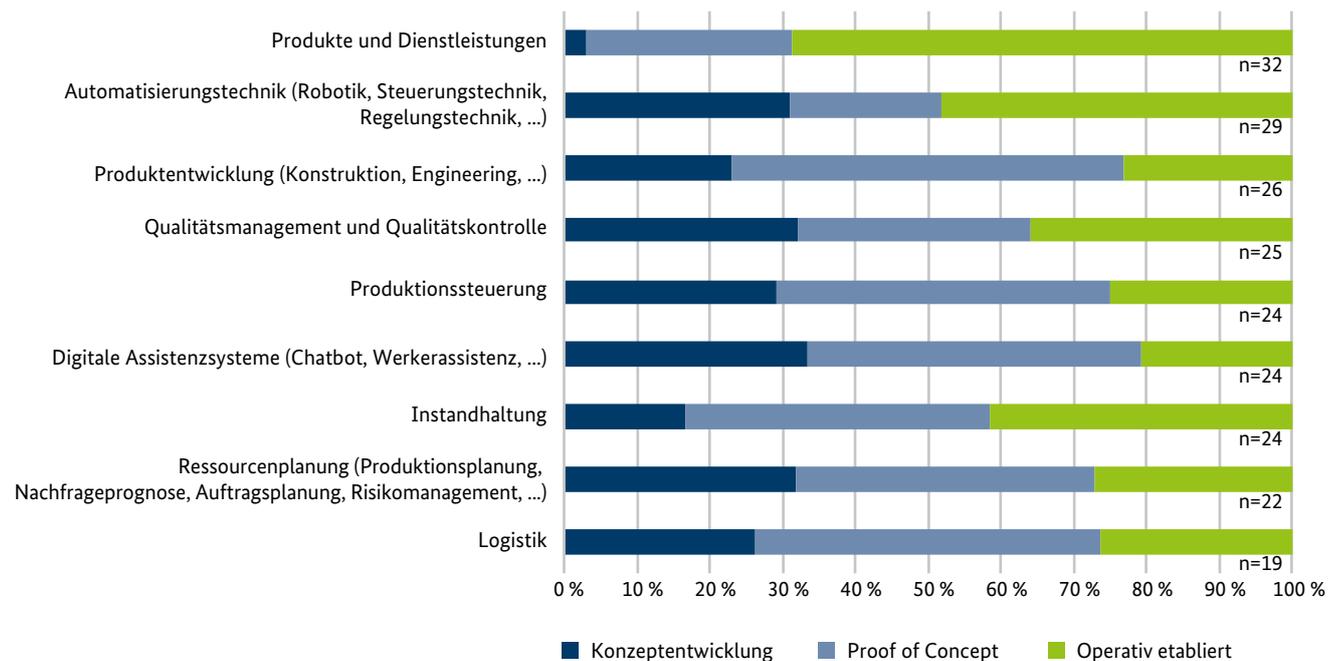
Auch wenn bereits 35 Prozent der befragten Unternehmen KI-Anwendungen im Einsatz haben, ist von einer unterschiedlichen Qualität der implementierten Lösungen auszugehen. Abbildung 11 zeigt die Verteilung der Reifegrade eingesetzter KI-Anwendungen. Es wird zwischen den Stadien **Konzeptentwicklung**, **Proof of Concept** und **operativ etabliert** differenziert.²⁹ Insgesamt überwiegen Anwendun-

gen, die sich im Stadium *Proof of Concept* oder *Konzeptentwicklung* befinden. Über alle Einsatzkategorien hinweg nehmen die KI-Anwendungen in diesen Stadien 63 Prozent ein, wobei die Projekte im *Proof of Concept*-Stadium mit 39 Prozent die knappe Mehrheit darstellen. Mit Blick auf die KI-Anwendungen, die bereits *operativ etabliert* sind, zeigt sich, dass der Schwerpunkt deutlich bei den Produkten und Dienstleistungen liegt. Hier geben 68 Prozent der KI-einsetzenden Unternehmen an, eine Anwendung bereits operativ zu betreiben.

Neben der Anwendung in Produkten und Dienstleistungen ist KI im Bereich der Automatisierungstechnik und der Instandhaltung bei etwa der Hälfte der befragten Unternehmen *operativ etabliert*. Betrachtet man den hohen Anteil von Projekten im Stadium *Proof of Concept*, so ist für die nahe Zukunft die Etablierung einer ganzen Reihe neuer KI-Anwendungen in deutschen Unternehmen zu erwarten und das über die gesamte Breite der industriellen Wertkette hinweg. Angesichts des noch recht niedrigen Anteils von Unternehmen mit KI-Anwendungen erscheint es zwar noch zu früh, von einem Durchbruch der KI in der produzierenden Industrie zu sprechen. Jedoch werden sich KI-Anteile zukünftig ganz selbstverständlich in vielen Produkten und Prozessanwendungen wiederfinden.

Abbildung 11: Reifegrade der eingesetzten KI-Anwendungen für KMU und GU

Welchen Reifegrad nehmen aktuell verwendete KI-Anwendungen in Ihrem Unternehmen ein?



Quelle: eigene Darstellung

²⁹ Aufgrund der Stichprobe wird an dieser Stelle auf die Unterscheidung zwischen KMU und GU verzichtet.

Eine wichtige Rolle bei der Entwicklung von KI-Anwendungen stellt der angestrebte Autonomiegrad der Anwendung dar. Dieser ist für die KI-einsetzenden Unternehmen in Abbildung 12 visualisiert. Bei den Autonomiegraden wird in der Online-Befragung zwischen **assistiertem Entscheiden**, **bedingtem Entscheiden** und **autonomen Entscheiden** differenziert. Im Falle des *assistierten Entscheidens* werden von der KI-Anwendung Informationen aufbereitet, die einen Menschen in seinen Entscheidungen unterstützen. Ein Beispiel sind KI-Anwendungen zur Prozessüberwachung, die auf potenzielle Anomalien in Produktionsprozessen hinweisen, allerdings nicht autonom entsprechende Maßnahmen einleiten. Im Falle des *bedingten Entscheidens* gibt die KI-Anwendung konkrete Handlungsoptionen, die vom Menschen nur noch bestätigt werden müssen. Als Beispiel können hier Anwendungen in der intelligenten Instandhaltung gesehen werden, die konkrete Instandhaltungsaktionen vorschlagen. Im Falle des *autonomen Entscheidens* agiert die KI-Anwendung ohne menschlichen Input. Beispiele aus der Industrie finden sich dafür primär in KI-unterstützten Regelungstechnikanwendungen im Bereich der Prozessindustrie und in der Qualitätskontrolle/Sortierung. Insgesamt sind vollständig autonome Systeme in den Unternehmen noch selten. Über alle Einsatzkatego-

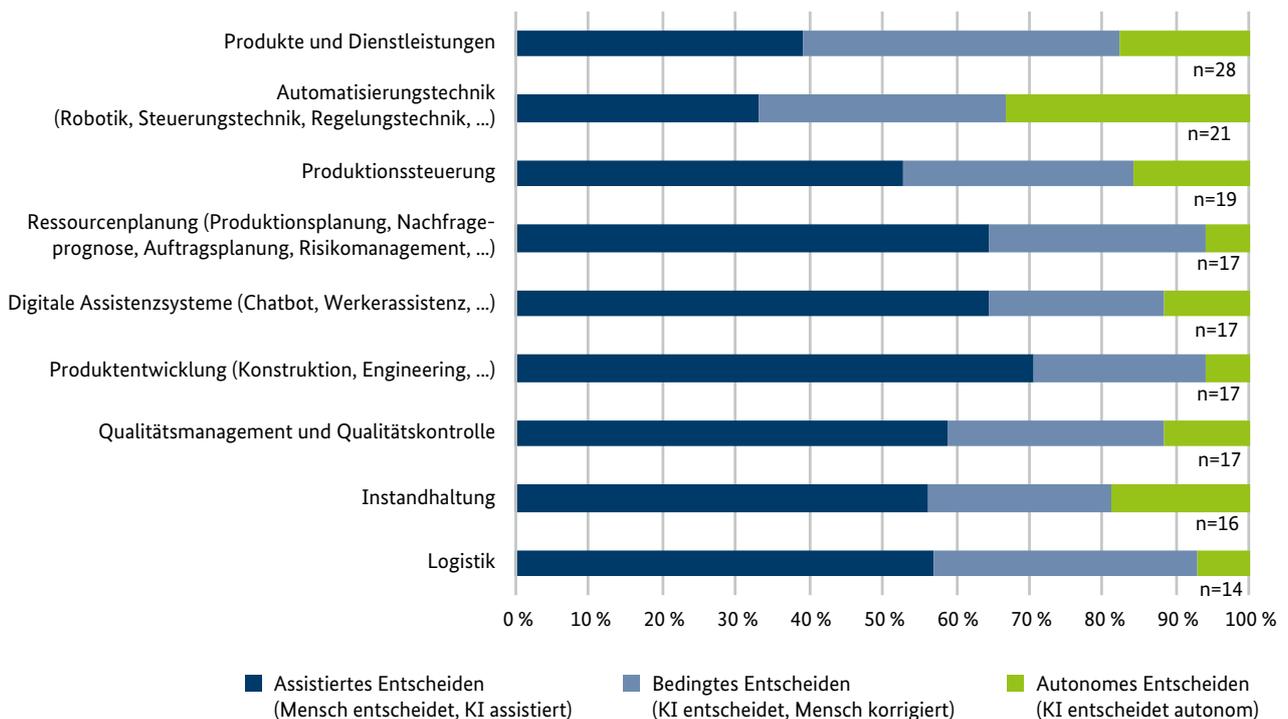
rien hinweg nehmen solche KI-Anwendungen bei den befragten Unternehmen 15 Prozent ein. Vollständig autonome Systeme sind bei den befragten Unternehmen am stärksten in der Automatisierungstechnik, bei Produkten und Dienstleistungen sowie in der Produktionssteuerung vertreten. Der Großteil der bestehenden KI-Anwendungen liegt in den Bereichen *assistiertes Entscheiden* und *bedingtes Entscheiden* (zusammen 85 Prozent).

Dr. Rolf Slatter (Sensitec):
 „Konzept und Technik sind teilweise fertig entwickelt, aber nicht im Einsatz, aufgrund der ungeklärten Frage, wem die Daten gehören.“

Unternehmen, die bereits KI einsetzen, nutzen diese also häufig als Unterstützung für menschliche Entscheiderinnen und Entscheider. Die eingesetzten Lösungen gehen dabei bereits in der Mehrheit über die reine Konzeptentwicklung hinaus und sind im *Proof of Concept* oder im operativen Betrieb verankert. Von einer Entmündigung des Menschen durch KI kann demnach dort, wo KI bereits im Einsatz ist, nicht gesprochen werden.

Abbildung 12: Autonomiegrade der eingesetzten KI-Anwendungen für KMU und GU

Welche Stufe der Autonomie nehmen die aktuellen KI-Anwendungen in den Prozessen Ihres Unternehmens ein?



Quelle: eigene Darstellung

Potenzial von KI-Technologien

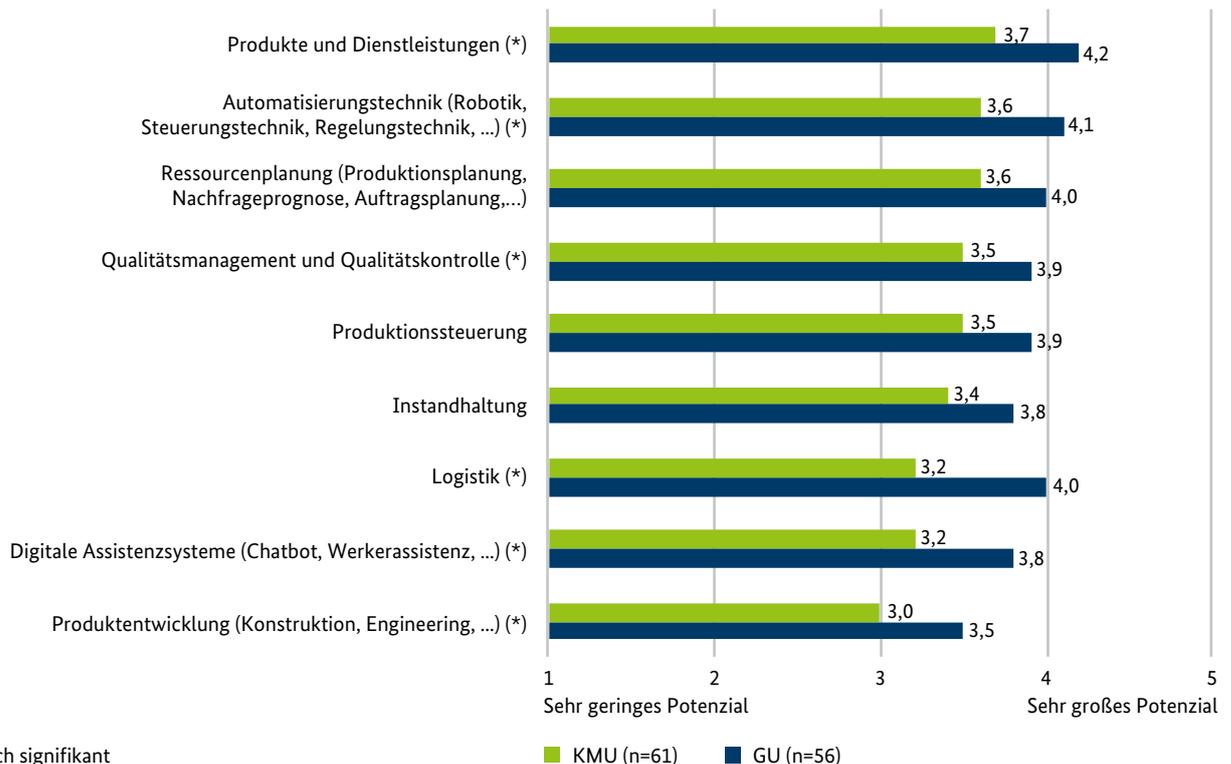
Für Unternehmen, Anbieter von KI-Lösungen, Forschungseinrichtungen und Fördermittelgeber ist es von großem Interesse zu verstehen, in welchen Geschäftsbereichen und Prozessen eines Unternehmens das größte Potenzial von KI liegt beziehungsweise wie Unternehmen dieses Potenzial selbst einschätzen. Eine solche Einschätzung der befragten Unternehmen ist in Abbildung 13 dargestellt. Das größte Potenzial sehen sowohl KMU als auch GU in der Anwendung von KI in ihren *Produkten und Dienstleistungen* sowie der *Automatisierungstechnik*. Bei KMU folgen in der Potenzialeinschätzung dicht *Ressourcenplanung*, *Qualitätsmanagement*, *Produktionssteuerung* und *Instandhaltung*. Es überrascht nicht, dass GU der KI in nahezu allen Anwendungsgebieten ein signifikant höheres Potenzial beimessen als KMU. Dies lässt sich einerseits damit begründen, dass der Anteil an GU, die bereits Erfahrungen mit dem Einsatz von KI gesammelt haben, weitaus größer ist als der entsprechende Anteil an KMU. Die Fähigkeit, Potenziale für Anwendungsbereiche einzuschätzen, ist somit fundierter. Andererseits unterscheiden sich auch die potenziellen Anwendungsbereiche in Abhängigkeit der Unternehmensgröße, was ebenso als Erklärung für die größere Bedeutung, die GU KI-Anwen-

dungen in manchen Bereichen beimessen, herangezogen werden kann. Wiederum liegen die Mittelwerte der Befragungsergebnisse bei KMU in einigen Anwendungsbereichen sehr dicht an dem Mittelwert der verwendeten Likert-Skala. Dies deutet darauf hin, dass die Befragten der KMU an einigen Stellen keine eindeutige Aussage abgeben konnten, was auf mangelnde Erfahrung mit dem Einsatz von KI zurückgeführt werden kann.

Beschäftigte sich der vorangegangene Abschnitt mit der Frage, wo KI das größte Anwendungspotenzial hat, wird im Folgenden betrachtet, welche Auswirkungen beziehungsweise welchen Mehrwert sich Unternehmen aus ihrem Einsatz erwarten (siehe Abbildung 14). Für alle befragten Unternehmen steht vor allem eine *gesteigerte Prozesseffizienz* im Fokus. Mehr als 70 Prozent der befragten KMU sehen einen hohen bis sehr hohen Mehrwert in diesem Bereich. Auch die GU sehen hier mit mehr als 80 Prozent einen hohen Mehrwert. Weiterhin sehen 56 Prozent der KMU einen hohen Mehrwert in der *Reduktion von Qualitätskosten*, der mit dem Einsatz von KI einhergehen kann. Auch werden die Auswirkungen auf den *Kundenservice* und die *verbesserte Außendarstellung* gegenüber den Kunden als Mehrwerte erachtet. Der geringste Mehrwert für den Ein-

Abbildung 13: Potenzial von KI-Anwendungen in verschiedenen Anwendungsbereichen

Wie bewerten Sie das Potenzial des Einsatzes von KI-Anwendungen in verschiedenen Anwendungsbereichen?



Quelle: eigene Darstellung

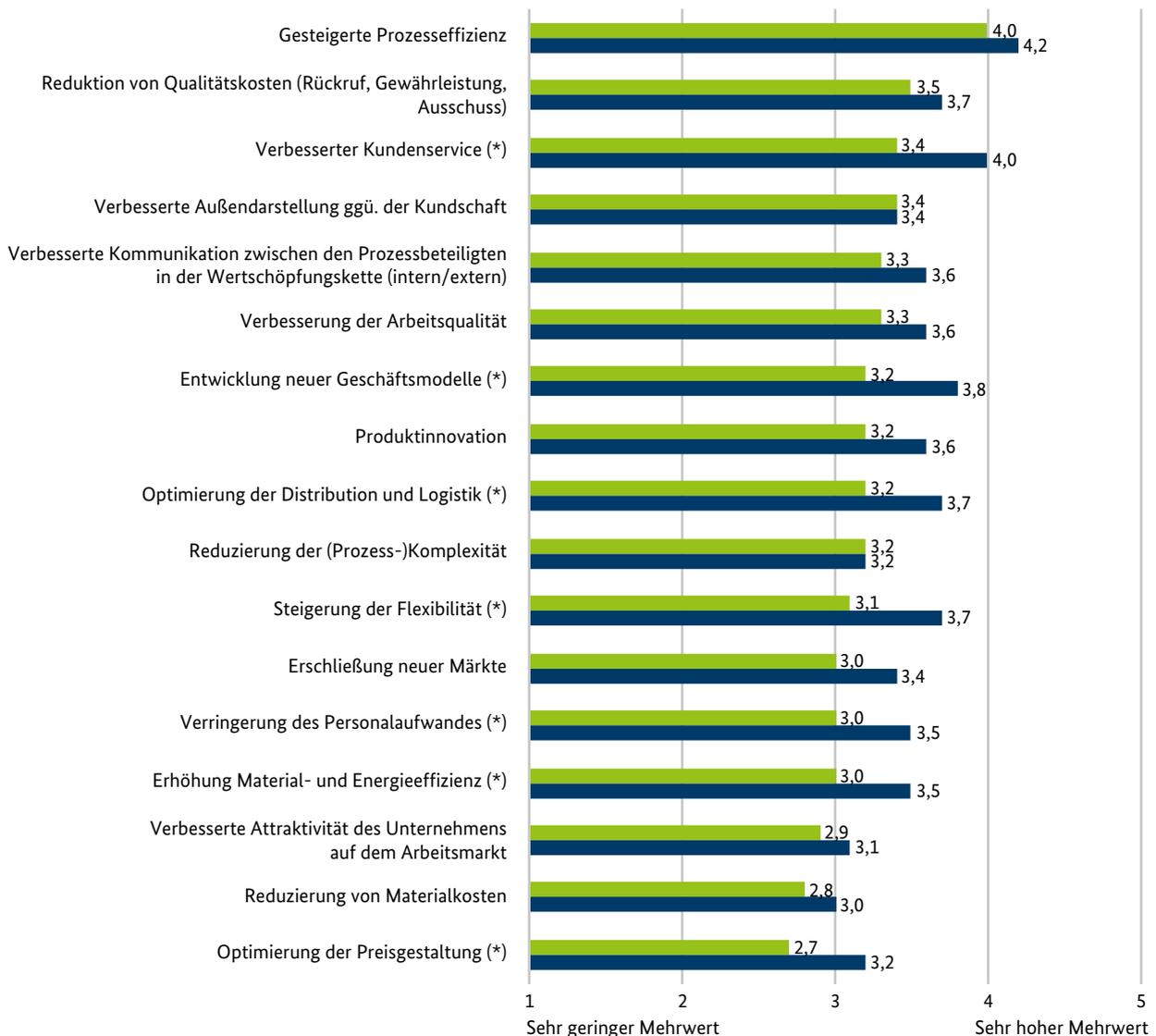
satz von KI wird im Hinblick auf die *Optimierung der Preisgestaltung* gesehen. Hier sehen 42 Prozent der befragten KMU einen geringen bis sehr geringen Mehrwert.³⁰

Ebenso sehen 44 Prozent der KMU einen geringen bis sehr geringen Mehrwert im Einsatz von KI für die *Reduzierung von Materialkosten*. Insgesamt schätzen GU die durch den Einsatz von KI resultierenden Mehrwerte in den aufgeführten Bereichen als stärker ein. Bemerkenswert sind die unterschiedlichen Erwartungen auf den Gebieten *Kunden-*

service und *Geschäftsmodelle*. Hier liegen die Erwartungen der GU signifikant über denen der KMU. Die vergleichsweise niedrigen Erwartungen der KMU auf dem Gebiet der Geschäftsmodelle können dazu führen, dass es KMU ver-säumen, ihr Leistungsspektrum beziehungsweise Geschäftsmodell rechtzeitig durch KI aufzuwerten. In diesem Fall besteht das Risiko, gegenüber GU und gegebenenfalls auch internationalen Mitbewerbern Marktanteile zu verlieren. Auch bei der *Steigerung ihrer Flexibilität* erwarten sich KMU signifikant weniger Mehrwert als GU. Hier mag zum

Abbildung 14: Mehrwert von KI-Anwendungen für KMU und GU in verschiedenen Bereichen

Welche der nachfolgenden Punkte erachten Sie als Mehrwert einer KI-Anwendung für Ihr Unternehmen?



* statistisch signifikant

■ KMU (n=61) ■ GU (n=56)

Quelle: eigene Darstellung

30 Die prozentualen Angaben dienen der detaillierteren Beschreibung der bezüglich dieser Frage erfolgten Analyse. Sie lassen sich nicht aus der dargestellten Abbildung entnehmen.

Tragen kommen, dass Flexibilität eine relative Stärke von KMU gegenüber GU darstellt. Ebenso sehen KMU einen signifikant geringeren Mehrwert bei der *Optimierung der Distribution und Logistik*, der *Verringerung des Personalaufwands*, der *Erhöhung der Material- und Energieeffizienz* sowie bei der *Optimierung der Preisgestaltung*. Auffällig ist auch an dieser Stelle, dass der Großteil der zur Auswahl stehenden Kategorien seitens der KMU mit dem Skalenwert 3 bewertet wird. Dies steht im Einklang mit der bereits zuvor gemachten Feststellung, dass es KMU teilweise schwer zu fallen scheint, eine eindeutige Einschätzung abzugeben.

Auf die Frage nach dem Zeitrahmen, in dem der Einsatz von KI-Anwendungen im Unternehmen zur allgemeinen Praxis gehören wird, antworten die knappe Mehrheit der KMU (51 Prozent) und die deutliche Mehrheit der GU (66 Prozent) mit einer Zeitspanne von bis zu fünf Jahren. Nahezu zwei Drittel der KMU und GU erwarten den alltäglichen Einsatz von KI in der Praxis innerhalb der nächsten drei bis zehn Jahre. Ein Zeitraum von mehr als zehn Jahren wird von 16 Prozent der KMU und 12 Prozent der GU vermutet.

Die oben dargestellten und diskutierten Ergebnisse zeigen, dass sowohl KMU als auch GU vielfältige Potenziale und Mehrwerte für den zukünftigen Einsatz von KI sehen. Dennoch wird insgesamt ersichtlich, dass GU sowohl gegenüber den Potenzialen wie auch den Mehrwerten, die aus dem Einsatz von KI resultieren, deutlich zuversichtlicher sind. Die in Abbildung 15 dargestellten Prognosen und der

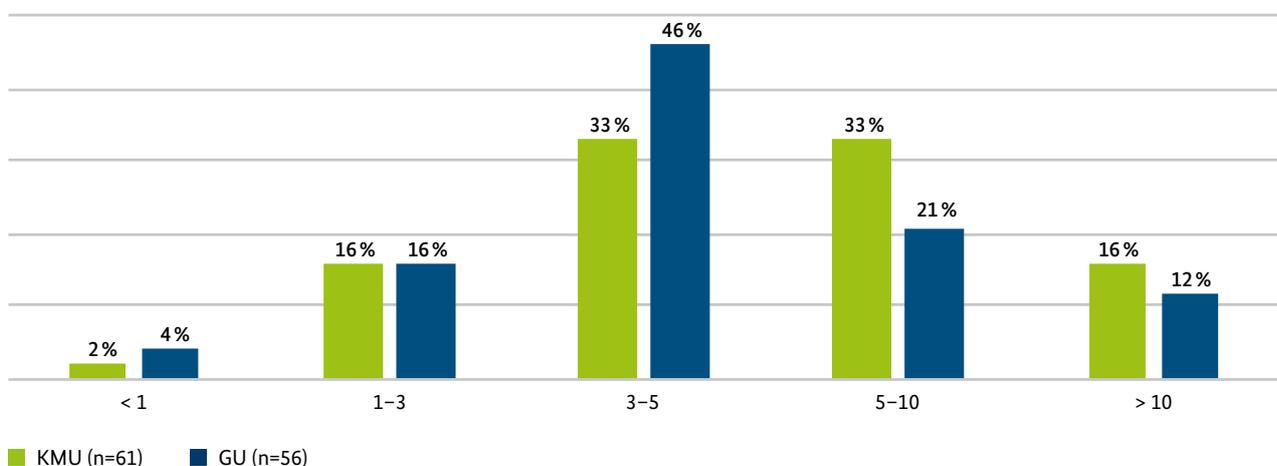
hohe Anteil von Unternehmen mit bereits pilotierten KI-Anwendungen deuten darauf hin, dass der Einsatz von KI in der produzierenden Industrie in den kommenden Jahren rasant ansteigen wird. Dabei wird – aufgrund des aktuellen Rückstands – vor allem in KMU ein großer Nachholbedarf entstehen. Von Nutzen wird es sein, dass KMU – genau wie GU – eine hohe Bereitschaft aufweisen, sich in naher Zukunft mit dem Thema KI auseinanderzusetzen. Teil dieser Bereitschaft sollte es sein, Kompetenzen im Bereich KI stärker als bisher durch gezielte Maßnahmen aufzubauen.³¹

Hinsichtlich der Einschätzung des Potenzials beim Einsatz von KI in den verschiedenen Geschäftsbereichen zeigen sich nur geringe Unterschiede zwischen GU und KMU, wobei GU das Potenzial jeweils etwas größer einschätzen. Deutlichere Unterschiede ergeben sich bei der Beurteilung des Mehrwerts für das eigene Unternehmen. Auch hier sind GU zuversichtlicher. Die Mehrheit der Befragten erwartet den Einsatz von KI in der allgemeinen Praxis innerhalb der nächsten drei bis zehn Jahre.

Schließlich wurde gezeigt, dass KI-Lösungen in Unternehmen schon heute durchaus auch mit höherem Reifegrad im operativen Einsatz sind. Hier überwiegt der Anteil der GU. Die Ergebnisse der Datenauswertung legen die Vermutung nahe, dass antwortende Personen aus GU aufgrund bereits bestehender Erfahrungen eine bessere Fähigkeit besitzen, Potenzial und Nutzen von KI erkennen zu können.

Abbildung 15: Prognose für die weitere Entwicklung des KI-Einsatzes in KMU und GU

In wievielen Jahren wird Ihrer Meinung nach der Einsatz von KI-Anwendungen in Unternehmen zur allgemeinen Praxis gehören?



Quelle: eigene Darstellung

31 Vgl. PwC 2019, Bauer et al. 2019.

Die Chance für KMU (sowie künftiger Fördermaßnahmen) liegt darin, diese Fähigkeit vor allem auf der Führungsebene stärker herauszubilden.

Es ist allerdings zu beachten, dass die Aussagekraft der Ergebnisse von der zugrundeliegenden Grundgesamtheit beeinflusst wird. Die teilnehmenden Unternehmen stellen keine für Deutschland repräsentative Auswahl dar.

Die Schlüsselerkenntnisse dieses Kapitels sind nachfolgend kurz zusammengefasst.

Chancenpotenzial aktuell verfügbarer KI-Technologien für produzierende Unternehmen

- KMU und GU setzen bei existierenden KI-Anwendungen überwiegend auf assistiertes Entscheiden gefolgt von bedingtem Entscheiden. In einigen Bereichen der industriellen Wertkette sind KI-Anwendungen noch wenig operativ etabliert.
- Bei GU hat KI verstärkten Einfluss auf die Geschäftsmodelle, ist in der Unternehmensstrategie oder Vision verankert und wird durch das Top-Management aktiv gefördert. Diese Punkte sind bei KMU weniger stark ausgeprägt.
- KMU besitzen sehr wenige KI-Kompetenzen im eigenen Unternehmen und suchen auch nicht aktiv nach Fachkräften auf dem Arbeitsmarkt, um diesen Mangel zu beheben.
- KMU und GU, die KI-Anwendungen einsetzen, empfinden den Einsatz in den meisten Fällen als profitabel. Die Bereiche des empfundenen Mehrwerts unterscheiden sich jedoch stark.
- KMU sehen den größten Mehrwert von KI-Anwendungen in den Bereichen Verbesserung der Arbeitsqualität, gesteigerte Prozesseffizienz und Produktinnovation.
- KMU erwarten signifikant weniger Nutzen aus der Anwendung von KI für ihr Geschäftsmodell als GU.
- GU bewerten den Mehrwert von KI-Anwendungen am höchsten bei der Verbesserung des Kundenservice, der Reduzierung von Qualitätskosten und hinsichtlich der gesteigerten Prozesseffizienz.

Best Practice-Beispiele

Im folgenden Abschnitt werden Beispiele für die erfolgreiche Durchführung von KI-Projekten in KMU in Form von Steckbriefen dargestellt. Diese Erfolgsgeschichten illustrieren sowohl identifizierte Hürden als auch Lösungsansätze. Die Projektdarstellungen wurden von den Projektbeteiligten verfasst. Die Auswahl dieser Best Practice-Beispiele soll einen Einblick in die Vielfalt der Anwendungsbereiche von KI in KMU verschiedener Branchen bieten. Auch hinsichtlich der Problemstellungen, der vertikalen Integration im Unternehmen und dem Reifegrad der Lösung unterscheiden sich die im Folgenden vorgestellten Beispiele.

In Übereinstimmung mit der Online-Befragung zeigen die aufgeführten Projekte, dass der Fokus des Einsatzes von KI in KMU auf eigenen Produkten und Dienstleistungen liegt und resultierende Lösungen häufig noch nicht operativ etabliert sind. Ebenso bestätigt sich, dass eine mangelnde Datenbasis und nicht ausreichende Datenqualität in vielen Projekten als Herausforderungen gesehen wurden. Auch wenn produzierende KMU in Deutschland noch ein ganzes Stück von einem flächendeckenden KI-Einsatz entfernt sind, leben die vorgestellten Unternehmen vor, dass der Einsatz auch im Mittelstand erfolgreich möglich ist und hieraus neue Geschäftsmodelle entstehen können.

Laserline GmbH

Fraunhofer-Straße 5, 56218 Mülheim-Kärlich

Branche: Produktion von Diodenlasern

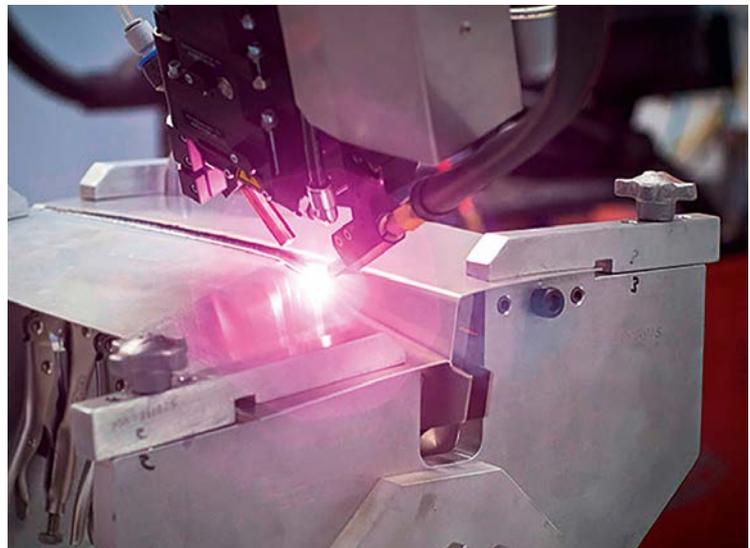
Anzahl der Beschäftigten: 340



Ausgangssituation/Problembeschreibung: Die Laserline GmbH wurde 1997 von Dr. Christoph Ullmann und Dipl.-Ing. Volker Krause gegründet und ist inzwischen einer der führenden Hersteller von Diodenlasern für die industrielle Materialbearbeitung. Maschinelles Lernen hat in der Produktion mit Bearbeitungslasern, zum Beispiel beim Laserstrahlschweißen, Laserlöten, Auftragsschweißen oder der Wärmebehandlung in Form von Härten und Entfestigen, selten bis gar nicht Einzug gehalten. Dabei bietet die aktuelle Produktgeneration der Laserline GmbH die Möglichkeit, während der Bearbeitungsprozesse Sensordaten via OPC UA, einem Industrie 4.0-konformen Kommunikationsprotokoll, zu einem externen System wie einer Datenbank zu transferieren. Mit einer stringenten Analyse dieser Daten möchte die Laserline GmbH zukünftig Produktionsausfälle und Ausschussraten reduzieren.

Problemlösung: In Workshops zu Anwendungsmöglichkeiten von KI und durch die Zieldefinition des Unternehmens konnten konkrete Zielsetzungen für die KI-Einführung definiert werden. Eine explorative Datenanalyse hat das Potenzial der bis dato aufgenommenen Prozessdaten aufgedeckt.

Erfolgsfaktoren: Für den beschriebenen Anwendungsfall ist insbesondere die Datenqualität und die Klarheit über die Zielsetzung von entscheidender Bedeutung. Die explorative Analyse hat im Laufe des Projekts die Grenzen und Möglichkeiten der bestehenden Daten gezeigt. Auf Basis dieser Ergebnisse konnte eine erweiterte Versuchsplanung initiiert werden.



Quelle: Laserline GmbH

Herausforderungen: Die Herausforderung im Rahmen des Projekts war es, die richtigen Daten für die Fragestellung zu generieren beziehungsweise zu akquirieren. Dies ist insbesondere bei Fragestellungen zur Predictive Maintenance relevant, da hier üblicherweise sehr langfristige Versuche und Datenmonitoring geplant und durchgeführt werden müssen.

Ergebnis: Durch das Projekt konnte das Potenzial der Prozessdaten von Lasersystemen abgeschätzt werden sowie die Möglichkeiten der Datennutzung für zukünftige Produkte im Rahmen der Anlagenwartung.

Ansprechpartnerin:

Beatriz Bretones Cassoli, M. Sc.

KI-Trainerin Mittelstand 4.0 Kompetenzzentrum Darmstadt

Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Institut für Produktionsmanagement, Technologie und

Werkzeugmaschinen (PTW) der TU Darmstadt

b.cassoli@ptw.tu-darmstadt.de

Eifelbrennholz Inh. Günter Meiners e.K.

Heidgen 42, 52156 Monschau

Branche: Brennholzhandlung

Anzahl der Beschäftigten: 1



Ausgangssituation/Problembeschreibung: Die Firma Eifelbrennholz aus Monschau ist Hersteller und Lieferant für Brenn- und Kaminholz und deckt die kompletten Prozessabschnitte der Brennholzproduktion ab. Aktuell beliefert das Unternehmen nur private Haushalte. Für den Absatz an innerdeutsche Großkunden ist ein Prozessschritt der manuellen Palettierung notwendig. Diese ist wiederum mit einem enormen manuellen und zeitlichen Aufwand verbunden, der mit hohen Personalkosten einhergeht. Daher soll eine automatisierte Palettierung mit KI-gesteuerter Robotik umgesetzt werden.

Problemlösung: Dieses Verfahren zur Brennholzpalettierung wurde durch eine 6-Achs-Kinematik unter Verwendung geeigneterameratechnik (Sensorik) und Greiftechnik (Aktorik) umgesetzt. Auf Basis verfügbarer KI-Technologien und Mechanik wurde eine robotergestützte Lösung für die autonome Palettierung von Scheitholz entwickelt und für den Einsatz im Unternehmen getestet.

Erfolgsfaktoren: Um eine automatisierte Pick-and-Place-Lösung zu entwickeln, war die Datenbasis von großer Bedeutung. Da es für Holzscheite keine CAD-Daten gibt, mussten entsprechend 3D-Aufnahmen erstellt werden. Durch die unterschiedliche Geometrie der Scheite musste außerdem ein eigener Greifer entwickelt werden.



Quelle: WZL der RWTH Aachen

Herausforderungen: Für die Objekterkennung werden üblicherweise CAD-Modelle zum Training des Algorithmus genutzt. Das Fehlen dieser führte zu einer umfangreichen Datenaufnahme. Darüber hinaus war die Clusterung der Datenpunkte pro Holzscheite nicht trivial. Bei der Entwicklung einer eigenen Greiftechnik sollte eine preiswerte Lösung gefunden werden, die unter realen Bedingungen wirtschaftlich arbeitet. Um eine „zentrale Intelligenz“ aufzubauen, mussten daher zahlreiche neue Daten aufgenommen werden. Diese „zentrale Intelligenz“ konnte die Geometrie der Holzscheite, die Angriffspunkte, die Ablagestrukturen und geeignete Trajektorien, also Bewegungspfade für die Objekte erlernen.

Ergebnis: Das Problem der Integration von Sensorik und Aktorik wurde vollständig gelöst. Das autonome Stapeln der Holzscheite bringt erhebliche Kosteneinsparungen mit sich, die auch hohe Investitionskosten eines Roboters rechtfertigen. Durch eine autonome Pick-and-Place-Anwendung kann zudem ein neues Kundensegment der Großkunden bedient und damit eine Absatzsteigerung ermöglicht werden.

Ansprechpartner:

Dr. Sait Başkaya

KI-Trainer Kompetenzzentrum Digital in NRW

Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik und Qualitätsmanagement am Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der RWTH Aachen

s.baskaya@wzl.rwth-aachen.de

Polierscheibenfabrik Spaeth e. K.

Schleckheimer Str. 17, 52076 Aachen

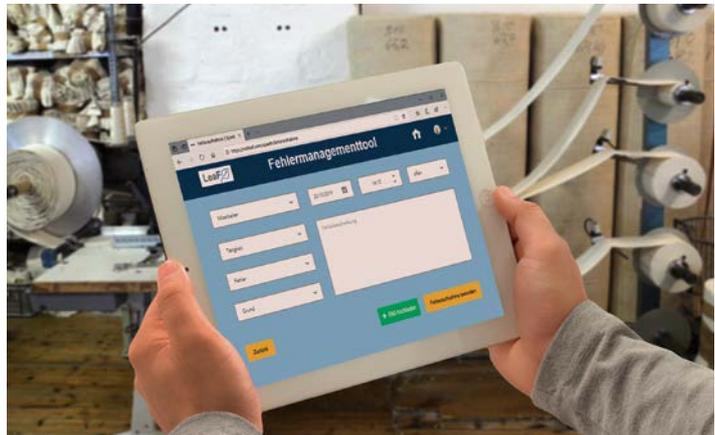
Branche: Herstellung von Polierscheiben

Anzahl der Beschäftigten: 11



Ausgangssituation/Problembeschreibung: Die Polierscheibenfabrik Spaeth e. K. gehört auf dem Gebiet der Herstellung von Polierscheiben zu den ältesten Unternehmen in Deutschland und zählt mit circa elf Mitarbeitenden zu den kleineren Betrieben. Insbesondere in KMU fehlt es an einer strukturierten Erfassung von Unregelmäßigkeiten und erarbeiteten Lösungen, weshalb Fehler nicht systematisch erkannt und anschließend abgestellt werden können. In diesem Projekt wurden die Voraussetzungen für ein auf KI basierendes Fehlermanagement geschaffen. Ziel des Projekts war die Entwicklung einer leicht anzuwendenden und klar zu interpretierenden Fehlererfassung.

Problemlösung: Die Fehleraufnahme wird durch eine Webanwendung umgesetzt, die eine Fehlerbeschreibung entsprechend bekannter Fehlerbilder zulässt. Über Dropdown-Menüs werden die Fehler- und Ursachenangaben ausgehend vom betreffenden Arbeitsplatz sukzessive eingeschränkt, sodass in Zukunft nur eine geringe Auswahl möglicher Beschreibungen zur Verfügung stehen wird. Einfache Funktionalität, verständliche Sprache und die Möglichkeit, neue Fehlereinträge zu ergänzen, zeichnen das System aus. Auch Maßnahmen und deren Wirkungen werden hinterlegt.



Quelle: RWTH Aachen/Polierscheibenfabrik Spaeth e. K.

Erfolgsfaktoren: Grundlage war die erfahrungsbasierte Erarbeitung eines Fehlerbaums, der alle bis dato bekannten Fehler, Ursachen sowie mögliche Sofort- und Langzeitmaßnahmen einschließt.

Herausforderungen: Quelle der Prozessdaten sind zehn implementierte Sensoren, die ebenso wie zugehörige 3D-gedruckte Gehäuse eigens für das Projekt entwickelt wurden. Eine Schwierigkeit lag in der Beschreibung von Fehlerursachen. Weitere Herausforderungen bestanden in den umfangreichen Programmieraufwänden, die mit der Entwicklung der Software verbunden waren, sowie in der Implementierung von Data-Analytics-Methoden. Das lag vor allem an der fehlenden Datenbasis, die noch aufgebaut und über die Projektlaufzeit hinaus erweitert werden muss. Diese soll dann perspektivisch mit Prozessdaten kombiniert werden, um den anschließenden Einsatz von Datenanalyse- und KI-Methoden zu ermöglichen.

Ergebnis: Die einheitliche Fehleraufnahme befähigt langfristig zur Durchführung weitreichender Analysen in Form von einfachen Häufigkeitsuntersuchungen bis hin zum selbstständigen Erkennen von Auffälligkeiten innerhalb der verknüpften Prozessdaten oder der Bereitstellung von Ursachen- und Maßnahmeninformationen im Moment der Fehlererkennung.

Ansprechpartner:

Dr. Sait Başkaya

KI-Trainer Kompetenzzentrum Digital in NRW

Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik und Qualitätsmanagement am Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der RWTH Aachen

s.baskaya@wzl.rwth-aachen.de

Arno Arnold GmbH

Bieberer Str. 161, 63179 Obertshausen

Branche: Herstellung von Schutzabdeckungen

Anzahl der Beschäftigten: circa 40



Ausgangssituation/Problembeschreibung: Die Arno Arnold GmbH ist ein mittelständischer Hersteller innovativer Schutzabdeckungen und Zulieferer für die Werkzeugmaschinenindustrie. Für das bestehende Produktportfolio flexibler Schutzabdeckungen soll eine prädiktive Instandhaltung ermöglicht werden. Gegenwärtig werden diese vom Endkunden entweder ausgetauscht, nachdem Schäden bereits offensichtlich sind oder periodisch, wobei noch intakte Abdeckungen frühzeitig ausgewechselt werden. Während in einem Fall andere Maschinenkomponenten möglicherweise ebenfalls geschädigt sind, wird im anderen Fall die Abnutzungsreserve nicht optimal ausgenutzt. Der Einsatz von Predictive Maintenance verspricht, diesen Zielkonflikt zu lösen.

Problemlösung: Für die bisher rein analoge Schutzabdeckung wurde ein geeignetes Sensorkonzept sowie eine dazugehörige Systemarchitektur entwickelt. Die in mehreren Testläufen mit einem Funktionsmuster erzeugten Daten wurden mithilfe unterschiedlicher Algorithmen des maschinellen Lernens ausgewertet. Hierdurch konnte eine nachvollziehbare Klassifikation und Regression des Verschleißzustandes erzeugt werden.

Erfolgsfaktoren: Vorteilhaft erwies sich das umfangreiche Domänenwissen der beteiligten Beschäftigten. In mehreren Workshops konnten die möglichen Verschleißarten in der betrachteten Produktgruppe bestimmt und die wichtigsten Mechanismen identifiziert werden. Somit konnte zielgerichtet ein Sensorkonzept entwickelt werden, das bereits in der ersten Auswertung zu vielversprechenden Ergebnissen führte.



Quelle: Arno Arnold GmbH

Herausforderungen: Als Herausforderungen wurde neben einer fehlenden Datenbasis zu Verschleißfällen bei Endkunden die fehlende Ausstattung der Abdeckung mit Sensorik aufgefasst. Hierdurch nahmen die Maßnahmen bis zur Erzeugung erster, verwendbarer Daten einen erheblichen Teil des Projektzeitraums ein. Weiterhin stellt sich die Übertragbarkeit aufgrund der hohen Variantenvielfalt der angebotenen Abdeckungen als kritischer Erfolgsfaktor dar. Das Unternehmen hat noch wenig Vorerfahrungen im Bereich der Datenanalyse und KI.

Ergebnis: Die Anwendung liegt gegenwärtig als Proof of Concept vor und soll zukünftig im Rahmen von Anschlussprojekten in einen serienreifen Zustand gebracht werden. Profitiert hat das Unternehmen während des Projekts insbesondere durch den mit dem Projekt verbundenen Wissensaufbau hinsichtlich des Bauteilverschleißes und der Anwendung von KI.

Ansprechpartner:

Felix Hoffmann, M. Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW)
der TU Darmstadtf.hoffmann@ptw.tu-darmstadt.deExzellente Forschung für
Hessens Zukunft

HESSEN

Hessisches
Ministerium für
Wissenschaft
und Kunst

Sensitec GmbH

Schanzenfeldstr. 2, 35578 Wetzlar

Branche: Sensortechnologie

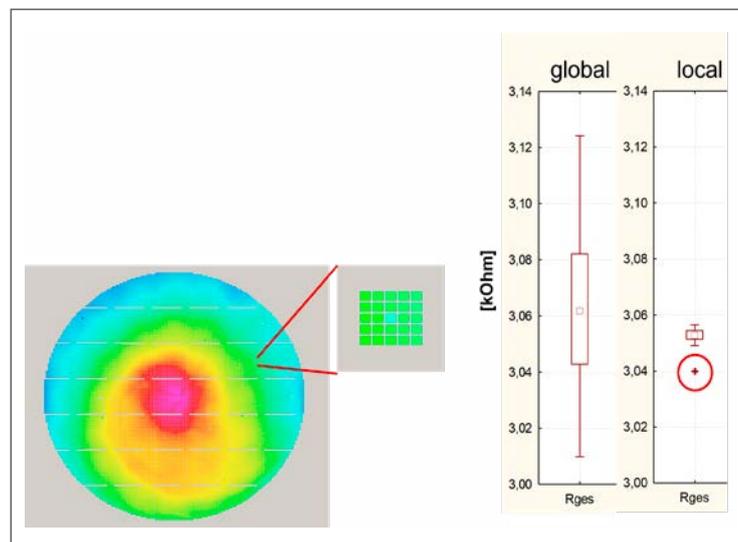
Anzahl der Beschäftigten: 145



Ausgangssituation/Problembeschreibung: Sensitec ist ein mittelständischer Hersteller von Sensoren, die auf dem magnetoresistiven Prinzip beruhen. Diese Sensoren werden für Weg-, Winkel-, Feld- und Strommessungen in unterschiedlichen Branchen eingesetzt. Es gibt zahlreiche sicherheitskritische Anwendungen, zum Beispiel in den Rad-drehzahlsensoren von Fahrzeugen. Bei solchen Anwendungen ist es wichtig, dass das Ausfallrisiko des Einzelsensors so gering wie möglich gehalten wird. Um dies zu gewährleisten, werden unterschiedliche Verfahren angewandt, um die Sensorchips, die auf einem Silizium-Wafer hergestellt werden, zu beurteilen. Das Ziel ist, Algorithmen zu entwickeln, die ein Maximum an Sicherheit bieten, ohne zu einem hohen Ausbeuteverlust zu führen.

Problemlösung: Sensitec prüft die gefertigten Bauteile mittels eines „Local Part Average Testing“-Verfahrens (LPAT). Für dieses Verfahren werden die einzelnen Sensorchips nicht nur mit globalen Statistiken, die für den gesamten Sensor-Wafer gelten, analysiert, sondern jeder Sensorchip wird mit Statistiken seiner unmittelbaren Nachbarn auf dem Wafer verglichen. Durch dieses Verfahren können Ausreißer auf dem Wafer hochgenau detektiert werden. Damit wird höchste Sicherheit ohne gravierende Ausbeuteverluste gewährleistet.

Erfolgsfaktoren: Sensitec verfügt historisch bedingt über eine hohe Kompetenz im Bereich von Statistik, Test-Software und Test-Hardware. Dieses vorhandene Know-how bildete die Grundlage für die Entwicklung der oben genannten Algorithmik.



Quelle: Sensitec GmbH

Herausforderungen: Das beschriebene Verfahren bedarf vieler Erfahrungswerte, bevor ein optimal funktionierendes System erreichbar ist. Hier ist Geduld gefragt und es bedarf auch einer ausreichenden Datenmenge, um begründete Entscheidungen zu treffen, da es keine adäquaten Verfahren für eine rein modellbasierte Vorgehensweise gibt.

Ergebnis: Für diese Arbeit hat Sensitec ein ausgezeichnetes Qualitätsniveau erreicht. In der oben genannten Endanwendung wurden bisher knapp 300 Millionen Sensorchips ohne Feldausfall geliefert. Verbesserungspotenzial durch eine intensivere Nutzung von fortgeschrittenen KI-Algorithmen wird in der automatisierten Parameteroptimierung des beschriebenen Verfahrens gesehen. Dies könnte den Ausbeuteverluste bei einem gleichbleibend hohen Qualitätsniveau weiter reduzieren und die Notwendigkeit für manuelle Adjustierung verringern.

Ansprechpartner:

Dr. Rolf Slatter

Geschäftsführer Sensitec GmbH

rolf.slatter@sensitec.com

b_digital UG

Sudhoferweg 99-107, 59269 Beckum

Branche: Automatisierungstechnik, Errichtung und Aufbau sowie

Vertrieb von digitalen Geschäftsmodellen

Anzahl der Beschäftigten: 2



Ausgangssituation/Problembeschreibung: Bei der Montage elektrotechnischer Anlagen sollte vereinfacht der aktuelle Montagestand ermittelt werden. In der digitalen Montageanweisung mussten dafür gesetzte Häkchen erfasst und mit der Gesamtzahl an Häkchen verglichen werden. Um dies umsetzen zu können, mussten zunächst Stromlaufpläne, unter anderem von Stücklisten, automatisiert abgegrenzt werden. Kritisch hierbei war die bestehende Datenlage, da Trainingsdaten zu Beginn des Projekts nicht vorlagen.

Problemlösung: Nach mehreren Versuchsreihen konnten die verschiedenen Seiten letztlich mittels eines künstlichen neuronalen Netzes passend klassifiziert werden.

Erfolgsfaktoren: Als vorteilhaft für das Projekt erwies sich die ergebnisoffene Aufgabenstellung. Auf Abteilungsleitungsebene wurde entschieden, das Projekt anzustoßen und ein Ausprobieren zu akzeptieren.

Herausforderungen: Als Herausforderungen wurden neben der bestehenden Datenlage ein Zeitmangel aufseiten der Beschäftigten identifiziert. Theoretisches Wissen lag zwar vor, praktische Anwendungsfälle und damit Vorerfahrungen konnten jedoch nicht vorgewiesen werden.

Ergebnis: Die Anwendung liegt gegenwärtig als Proof of Concept vor und soll zeitnah in die verwendete Software implementiert werden. Profitiert hat das Unternehmen insbesondere durch den mit dem Projekt verbundenen Wissensaufbau.

Ansprechpartner:

Thomas Hagemann

Abteilungsleiter Innovationsprozessmanagement, Blumenbecker Automatisierungstechnik GmbH

THagemann@blumenbecker.com



Quelle: b_digital UG

OmegaLambdaTec GmbH

Lichtenbergstraße 8, 85748 Garching

Branche: Industrie, Energie und Versorgung, Handel und Logistik,
Smart City

Anzahl der Beschäftigten: 9

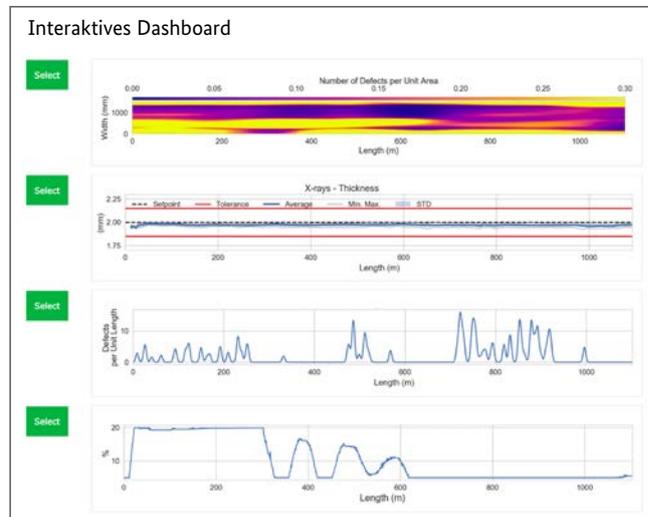


Ausgangssituation/Problembeschreibung: Die OmegaLambdaTec GmbH (OLT) ist ein Data Science & KI Start-up mit Fokus auf der Entwicklung maßgeschneiderter Smart Data-Lösungen für Kunden aus den Bereichen Industrie 4.0, Energie und Smart City. Die Kernkompetenzen liegen dabei auf ganzheitlichen automatisierten Lösungen aus den Themenfeldern Forecasting, Anomaliedetektion, Digital Twin-Simulationen und Optimierung.

Ein mittelständischer Produzent von Metallflachbändern suchte nach einer KI-basierten Lösung, um die Produktionslinie eines neuen Produkts möglichst schnell datengetrieben zu optimieren und perspektivisch auch in Echtzeit zu steuern. Die Produktionslinie beinhaltete etwa 50 kritische Prozessparameter und insgesamt circa 14.000 Messgrößen. Da die Produktlinie neu war, gab es kaum aufgezeichnete Daten. Außerdem war der Produktionsprozess noch instabil, sodass es zu häufigen Ausfällen und Stillständen kam.

Problemlösung: Da die geringe Datenlage und mangelnde Prozessstabilität keine volle KI-basierte Produktionsautomatisierung erlaubte, entwickelte OLT für den Kunden ein interaktives Tool, mit dessen Hilfe die Produktionsingenieure schnell und gezielt Prozessfehler und deren Ursachen identifizieren konnten. Dafür wurden Qualitätssicherungsdaten in übersichtliche kontinuierliche Qualitäts-KPI-Diagramme überführt und die Messreihen der verschiedenen Prozessparameter von der Zeitdomäne in die Ortsdomäne auf der Produktebene transformiert, sodass die Parameterinstellungen der verschiedenen Prozessschritte unmittelbar dem Ergebnis beziehungsweise der Qualitäts-KPI zugeordnet werden können. Über Auswahlmenüs lassen sich dazu alle beliebigen Parameter in dieser Ursache-Wirkung-Beziehung betrachten, um so schnell auf die verantwortlichen Prozessparameter für eine verminderte Produktqualität schließen zu können.

Erfolgsfaktoren: Hinreichend gute und umfangreiche Datensätze für das gezielte Trainieren von KI-Modellen sind in der Regel in der produzierenden Industrie noch nicht vorhanden. Das heißt allerdings nicht, dass man mit datengetriebenen Analysen keine signifikanten Mehrwerte generieren kann. Vielmehr gilt es in solchen Fällen, geeignete und schnell umsetzbare Zwischenschritte zu gehen, die bei der gezielten Produktionsoptimierung helfen und dann sukzessive weiter automatisiert und in ihren Funktionalitäten erweitert werden können, je mehr Daten verfügbar werden.



Quelle: OmegaLambdaTec GmbH

Herausforderungen: Die Herausforderung in diesem Projekt bestand darin, aus wenigen Daten mit moderater Qualität das Maximum an Erkenntnissen herauszuholen.

Ergebnis: Die neue Produktionslinie konnte in etwa der Hälfte der Zeit im Vergleich zu früheren neuen Produkteinführungen optimiert und die notwendige Prozessstabilität erreicht werden. Damit reduzierten sich entsprechend auch die Kosten für die experimentellen Ausschüsse und die nicht produktive Belegung der Anlage um etwa 50 Prozent.

Ansprechpartner:

Dr. Rene Fassbender; Geschäftsführer OmegaLambdaTec GmbH

Rene.Fassbender@olt-dss.com

6 Identifikation von Potenzialen für zukünftige Förderinitiativen

In diesem Kapitel soll die dritte Fragestellung dieser Expertise beantwortet werden, welche Rahmenbedingungen zu einem Abbau von Hürden beitragen und eine breitflächige Anwendung von KI im produzierenden Mittelstand fördern können. Hierzu wird zunächst eine Untersuchung der Förderlandschaft vorgenommen, um dann – aufbauend auf den im Rahmen der Online-Befragung und leitfadengestützten Interviews gewonnenen Erkenntnissen – den Bedarf an KI-fokussierten Förderinitiativen bei KMU und die Wirksamkeit verschiedener Fördermaßnahmen zu beleuchten. Mithilfe der vertiefenden Interviews werden weitere Lücken in der Förderlandschaft und Potenziale für die Verbesserung von Förderprogrammen und Fördervorhaben identifiziert.

Aktueller Fokus der Forschungslandschaft in Bezug auf KI

Für einen Überblick der aktuell ausgeschriebenen Förderprogramme wird auf die Förderdatenbank³² des Bundes zurückgegriffen. Die abgeschlossenen Fördervorhaben basieren auf den Angaben des Förderkatalogs.³³ Um Programme und Vorhaben mit KI-Bezug zu ermitteln, werden relevante Begriffe wie „Künstliche Intelligenz“, „maschinelles Lernen“ oder „Computer Vision“ definiert und die Datenbanken auf das Vorkommen dieser Begriffe durchsucht. Die identifizierten Förderprogramme und Vorhaben werden anschließend hinsichtlich ihrer Abgrenzungen und möglicher Überschnei-

Abbildung 16: Kategorien der Forschungsprogramme



Quelle: eigene Darstellung, angelehnt an Forschungsbeirat/acatech 2019b

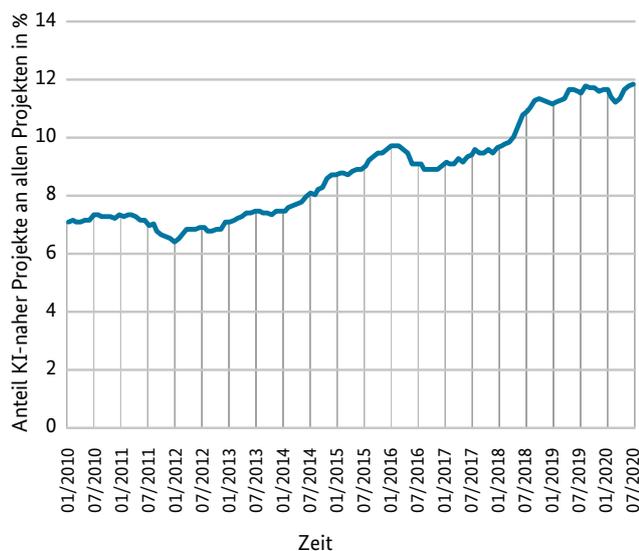
32 Vgl. BMWi o. J.

33 Vgl. Bundesregierung o. J.

dungen untersucht. Weiterhin werden die Vorhaben in vier Oberbereiche sowie mehrere Subkategorien unterteilt. Diese orientieren sich an den definierten Themenfeldern zu Industrie 4.0 des Forschungsbeirats der Plattform Industrie 4.0³⁴, die auf den Kontext der KI übertragen werden. Die Oberbereiche sowie zugehörige Subkategorien werden in Abbildung 16 grafisch dargestellt. Für die automatisierte Zuordnung zu den Subkategorien werden für jeden Themenbereich spezifische Schlüsselbegriffe gewählt. Der Bereich *Strategien des nachhaltigen Wirtschaftens* umfasst beispielsweise die Begriffe *nachhaltig*, *energieeffizient* oder *klimaneutral*. Wenn möglich, werden hierbei die Wortstämme gewählt und mit Trunkierungszeichen versehen, um verschiedene Wörter einer Wortgruppe abzudecken. Die Begriffe sind dabei nicht exklusiv, sodass einzelne Vorhaben in mehr als eine Kategorie fallen können. Recherche und Datenerhebung erfolgten im Januar 2021. Erfasst und zugeordnet werden Fördervorhaben, die mit Stichtag am 01.01.2020 noch nicht beendet waren. Während für die Förderprogramme gesicherte Daten sowohl auf Bundesebene als auch EU- und Länderebene gefunden werden können, ist dies für die Fördervorhaben nicht der Fall. Hier ist es vielmehr so, dass die Angaben der Bundesländer nicht einheitlich sind und die Angaben der EU nur geringfügig in das gewählte Format passen. Daher erfolgt bei der Analyse der Fördervorhaben eine Fokussierung auf die Bundesebene.

Abbildung 17: Anteil der Vorhaben mit KI-Bezug 2010–2020

Hinweis: Der Anteil berechnet sich jeweils aus den laufenden Fördervorhaben zu einem gegebenen Zeitpunkt.



Quelle: eigene Darstellung

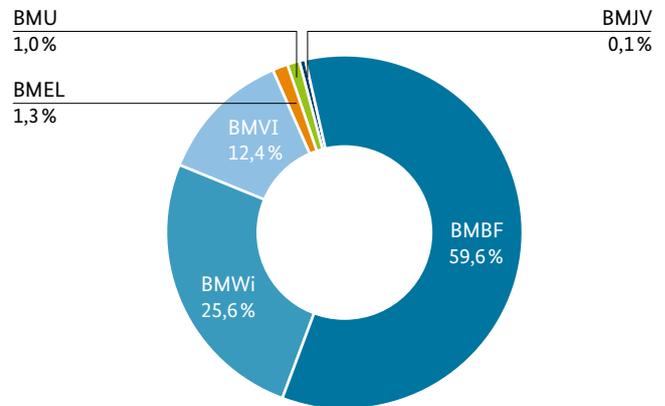
34 Vgl. Forschungsbeirat/acatech 2019b.

35 Vgl. BMBF 2018.

36 Vgl. BMBF 2016.

Abbildung 18: Verteilung der Fördergeber nach Fördersumme

Hinweis: Geförderte Projekte auf Ebene der Bundesländer und der EU sind in dieser Analyse nicht aufgeführt.



Quelle: eigene Darstellung

Eine Zeitreihenanalyse der in Bezug auf KI relevanten Fördervorhaben zeigt, dass sich zwischen 11 und 12 Prozent aller geförderten Vorhaben der in Abbildung 18 aufgeführten Fördergeber im Jahr 2020 im Themenbereich Digitalisierung, Industrie 4.0 und KI bewegen. Bezogen auf die Fördersumme liegt der Anteil etwas niedriger bei 9 Prozent. Zu beobachten ist hier ein positiver Trend im letzten Jahrzehnt, wie in Abbildung 17 dargestellt. Der Anteil an Fördervorhaben mit Fokus auf Digitalisierung und KI ist im Jahr 2020 im Vergleich zu 2010 um knapp 67 Prozent angestiegen.

In Abbildung 18 ist die Verteilung der Fördergeber von Vorhaben mit Bezug zu Digitalisierung und KI nach dem Fördervolumen bis zum Jahr 2020 dargestellt. In diese Abbildung fließen diejenigen Bundesministerien ein, von denen entsprechende Vorhaben gefunden werden konnten. Insbesondere das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMW*i*) sowie das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMV*I*) fördern Projekte in diesem Themenfeld. Die genannten Ministerien haben sich auch in ihren Programmen und Missionen explizit der Förderung von Forschung im Bereich der Digitalisierung und KI in Deutschland verschrieben. So fördert das BMBF im Rahmen der *Hightech Strategie 2025*³⁵ der Bundesregierung explizit den Transfer von KI-Technologien in mittelständische Unternehmen. Weitere relevante Programme sind *Vorfahrt für den Mittelstand*³⁶ sowie die *Digitalstrategie der*

Bundesregierung³⁷. Die wirtschaftsnahe Forschungsförderung des BMWi zielt mit Programmen wie *go-Inno*³⁸, *go-digital*³⁹ und den *Mittelstand 4.0-Kompetenzzentren*⁴⁰ auf die Stärkung und Digitalisierung des Mittelstands ab. Nur wenige Förderungen mit Fokus auf KI können vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) und vom Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (BMJV) verzeichnet werden.

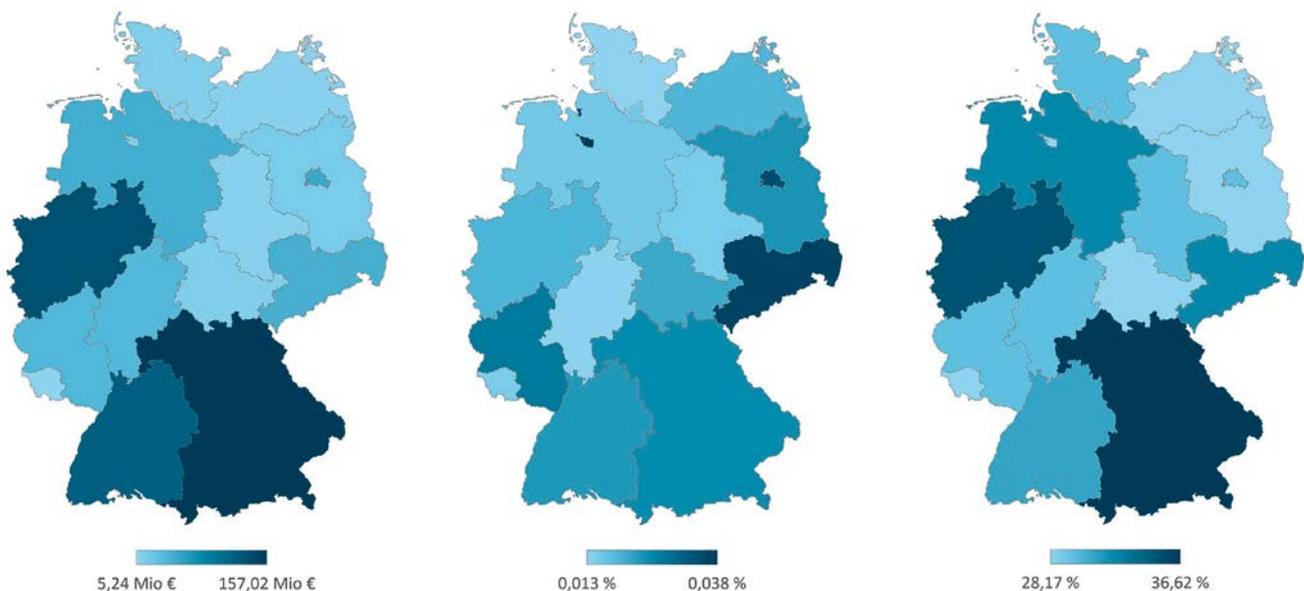
Abbildung 19 (links) visualisiert die Verteilung der absoluten Fördersumme von Fördervorhaben in Bezug auf KI auf die Bundesländer der Förderempfänger im Jahr 2019. Erkennbar ist, dass diejenigen Bundesländer mit einem hohen Anteil am Bruttoinlandsprodukt, wie Bayern, Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg, auch die absolut höchsten Fördersummen akquirieren. Es zeigt sich zudem, dass in die östlichen Bundesländer erheblich geringere Fördersummen fließen.

Für eine bessere Vergleichbarkeit der Bundesländer erfolgt in Abbildung 19 (Mitte) eine Normierung der Fördersum-

men auf das jeweilige Bruttoinlandsprodukt im Jahr 2019 der Länder. Zu erkennen ist nun, dass neben den Stadtstaaten Bremen und Berlin insbesondere Sachsen und Rheinland-Pfalz die höchsten relativen Fördersummen aufweisen. Demnach erhalten Unternehmen beispielsweise aus Sachsen rund 0,036 Prozent der Wirtschaftsleistung Sachsens als Fördersumme für KI-Projekte.

Abbildung 19 (rechts) stellt den Anteil an KI-relevanten Förderprogrammen in der Förderdatenbank dar, zu denen Unternehmen in den jeweiligen Bundesländern antragsberechtigt sind. Es ist zu erkennen, dass Unternehmen aus den vier Bundesländern Bayern, Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und Sachsen bessere Chancen haben, Förderung zu erhalten, als Unternehmen anderer Bundesländer. Entsprechend dieser Verteilungskarte können sich Unternehmen aus Bayern auf rund 36 Prozent der ausgeschriebenen Förderprogramme bewerben, während beispielsweise Unternehmen aus Brandenburg nur für rund 29 Prozent der Programme antragsberechtigt sind. Dies lässt darauf schließen, dass in Bayern mehr Förderprogramme ausgeschrieben sind und Unternehmen damit eine höhere Vielfalt an Antragsmöglichkeiten vorliegt. Zu beachten ist,

Abbildung 19: Verteilung der Fördersumme von Fördervorhaben in Bezug auf KI



Verteilung der Fördersumme von Fördervorhaben in Bezug auf KI auf die jeweiligen Bundesländer der Fördermittelpfänger aus dem Förderkatalog in 2019 (Angaben in Millionen Euro).

Verteilung der Fördersumme normiert auf das jeweilige Bruttoinlandsprodukt (Angaben von 2019 und in Prozent).

Darstellung der Antragsberechtigung von Unternehmen der jeweiligen Bundesländer auf ausgeschriebene Förderprogramme zu KI-Themen in der Förderdatenbank (Angaben in Prozent).

Quelle: eigene Darstellung, unterstützt von Bing, © GeoNames, Microsoft, TomTom

37 Vgl. Bundesregierung 2021.

38 Vgl. BMWi 2021c.

39 Vgl. BMWi 2021b.

40 Vgl. BMWi 2021d.

dass in diese Analyse auch Förderprogramme auf europäischer und länderspezifischer Ebene hinzugezogen wurden, während in den beiden vorherigen aufgrund der Datenlage ausschließlich eine Fokussierung auf Fördervorhaben des Bundes erfolgte.

Eine Momentaufnahme der themenbezogenen Verteilung der insgesamt verteilten Fördersummen von aktuellen Förderprogrammen bis 2020 in Bezug auf die in Abbildung 16 aufgezeigten Subkategorien der Themenfelder ist in Abbildung 20 dargestellt. Der höchste Anteil der Fördergelder (1,06 Milliarden Euro) entfällt nach dieser Analyse auf den Bereich *Flexibilisierung von Produktionssystemen*. Dahinter folgen die Bereiche *Autonomie und Automatisierung von Produktionsprozessen* (838 Millionen Euro), *Wandel der Arbeit* (738 Millionen Euro) und *Strategien des nachhaltigen Wirtschaftens* (650 Millionen Euro). Den geringsten Anteil an den Fördersummen bilden die Bereiche *Responsible AI (Ethik)* (72 Millionen Euro) und *Förderung von Akzeptanz, Partizipation und neuen Führungskulturen in Unternehmen* (13 Millionen Euro). Hierbei ist zu beachten, dass bei der stichwortbasierten Analyse aufgrund der bestehenden Datenlage und der verwendeten Methodik Mehrfachnennungen möglich sind und somit einzelne Projekte mehreren Themenfeldern zugeordnet werden können.

Im Folgenden werden die Schlüsselerkenntnisse der Analyse von Förderprogrammen und -vorhaben kurz zusammengefasst:

Identifikation bestehender Förderinitiativen und ihre Verteilung auf Bundesländer und Themen

- Der Anteil der Förderinitiativen mit KI-Bezug ist in den vergangenen Jahren deutlich gestiegen.
- Die höchsten Gesamtfördersummen weisen Bayern, Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen auf.
- Die Fördersummen sind relativ zum Bruttoinlandsprodukt am höchsten in den Bundesländern Bremen, Berlin, Sachsen und Rheinland-Pfalz.
- Gegenwärtige Förderung fließt besonders stark in die Bereiche Flexibilisierung von Produktionssystemen, Autonomie und Automatisierung von Produktionssystemen sowie Wandel der Arbeit.
- Die Fördersummen sind in den Bereichen Förderung von Akzeptanz, Partizipation und neuen Führungskulturen, Responsible AI (Ethik) sowie Strategische Planung und Auslegung von KI-Lösungen am geringsten.

Abbildung 20: Verteilung der Fördersumme von Förderprogrammen in Bezug auf KI

Fördersumme in Mio. Euro



Quelle: eigene Darstellung

Einordnung der befragten Unternehmen hinsichtlich ihrer KI-Tätigkeiten

Im Folgenden wird die Ausgangslage von KMU hinsichtlich des grundsätzlichen Bedarfs öffentlicher Förderinitiativen beschrieben. Dazu werden die Daten der Online-Befragung einer tiefergehenden Analyse unterzogen.

KI-Bewusstsein:

- KI hat Einfluss auf unser(e) Geschäftsmodelle(e).
- Der Einsatz von KI ist Teil der Unternehmensstrategie/Vision.
- Das Top-Management unterstützt aktiv den KI-Einsatz

KI-Aktivität:

- Es existiert ein Team/eine Abteilung für die Umsetzung von KI-Projekten.
- Es existieren Expertinnen und Experten für den Einsatz von KI im Unternehmen.
- Der Aufbau von KI-Kompetenzen wird aktiv gefördert.
- Es wird aktiv auf dem Arbeitsmarkt nach KI-Fachkräften gesucht.

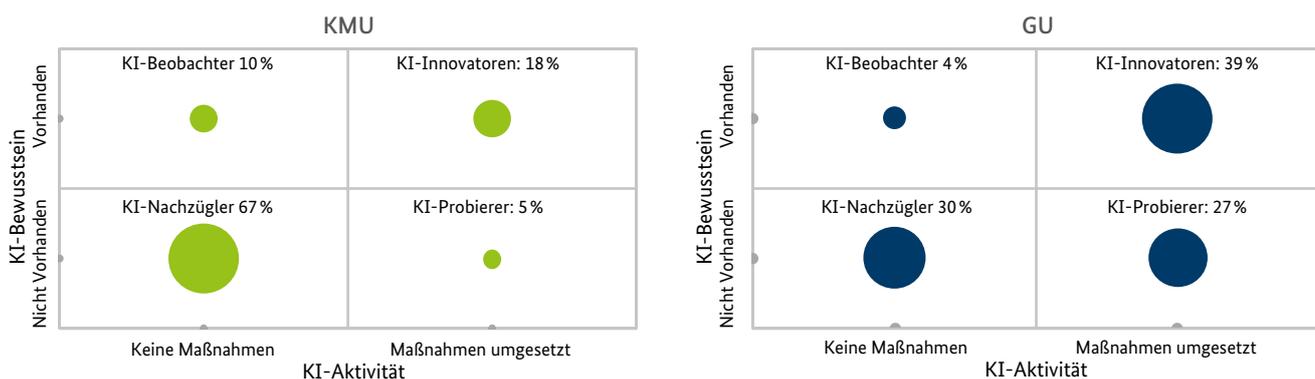
Bereits zu Beginn dieser Expertise wurde untersucht, wie stark sich KI einerseits in der strategischen Ausrichtung von Unternehmen widerspiegelt und andererseits beim Einsatz von Beschäftigten und der Entwicklung ihrer Kompetenzen Berücksichtigung findet. Nach Aggregation der Daten der Online-Befragung lassen sich diese beiden Aspekte in die beiden Bereiche **KI-Aktivität** und **KI-Bewusstsein**

aufteilen (siehe Abbildung 21). Während das *KI-Bewusstsein* die Unterstützung des Top-Managements sowie die Einbindung in Geschäftsmodelle und Unternehmensstrategien beinhaltet, wird im Bereich *KI-Aktivität* erfasst, ob bereits notwendige Kompetenzen im Unternehmen vorhanden sind beziehungsweise am Aufbau ebendieser gearbeitet wird.

Es gilt ein *KI-Bewusstsein* als vorhanden beziehungsweise entsprechende Maßnahmen als umgesetzt, sofern wenigstens eine der zugehörigen Antworten (siehe Abbildung 21) mit „Ja“ angegeben wurde. Dabei ist festzustellen, dass der überwiegende Anteil der KMU (67 Prozent) der Gruppe der *KI-Nachzügler* zugeordnet werden kann. Diese zeichnet sich dadurch aus, dass weder ein Bewusstsein für KI im Unternehmen existiert noch konkrete Aktivitäten zum Aufbau von KI-Kompetenzen bestehen. Die Gruppe der *KI-Beobachter*, die 10 Prozent der befragten KMU ausmacht, verfügt im Gegensatz zu den *KI-Nachzüglern* zumindest über ein Bewusstsein für die Technologie. Nur ein niedriger Anteil der KMU (18 Prozent) ist der Gruppe der *KI-Innovatoren* zuzuordnen, die über ein KI-Bewusstsein verfügt und gleichzeitig Kompetenzen in diesem Bereich ausbaut und KI-Anwendungen umsetzt. Bei den GU ist diese Gruppe mit einem Anteil von 39 Prozent deutlich stärker repräsentiert, wohingegen die Gruppe der *KI-Nachzügler* (30 Prozent) wesentlich kleiner ist. Auffällig ist hier der Teil der *KI-Probierer* (27 Prozent), bei denen bereits Kompetenzen bestehen oder aufgebaut werden, jedoch noch keine Einbindung in Geschäftsmodelle und Unternehmensstrategien besteht.

Es lässt sich zusammenfassen, dass sowohl große Teile der GU (61 Prozent) als auch der KMU (82 Prozent) in wenigstens einem der Bereiche *KI-Aktivität* oder *KI-Bewusstsein* Potenziale für eine zielgerichtete Förderung zur Steigerung des Einsatzes von KI-Technologien aufweisen. Öffentliche Fördermaßnahmen bieten Unternehmen die Möglichkeit,

Abbildung 21: Gegenüberstellung: KI-Aktivitäten und KI-Bewusstsein von Unternehmen



in Kooperation mit Forschungseinrichtungen und anderen Industriepartnern neue Technologien für sich zu erschließen. Durch die Förderung können entsprechende Vorhaben mit einem reduzierten finanziellen Risiko durchgeführt und der Kompetenzaufbau beschleunigt werden. Trotz der bereits beschriebenen, stark angestiegenen Fördersummen und der breiten thematischen Aufstellung der Förderprogramme gehen immer noch nur wenige KMU das Thema KI proaktiv an.

Potenziale für die Verbesserung der Rahmenbedingungen zukünftiger Förderinitiativen

Im Kontext des Fragebogens werden die Unternehmen zu ihren eigenen Erfahrungen mit öffentlich geförderten Forschungsprojekten befragt. Dabei gibt etwa die Hälfte der KMU an, bereits an einem solchen beteiligt gewesen zu sein (21 Prozent) oder sich mit der Teilnahme beschäftigt zu haben (28 Prozent). Hinsichtlich der Zufriedenheit mit dem Verfahren der Antragsstellung ergibt sich ein differenziertes Bild zwischen GU und KMU. Während die Antworten hinsichtlich der Zufriedenheit bei den KMU gleichverteilt sind, geben 42 Prozent der GU an, eher unzufrieden (39 Prozent) oder sehr unzufrieden (3 Prozent) mit der Antragsstellung zu sein.

Abbildung 22 stellt die Bereiche dar, in denen Unternehmen, die bereits Erfahrungen mit öffentlichen Antragsverfahren haben, Verbesserungspotenziale sehen. Demnach sehen KMU das größte Potenzial in einer Vereinfachung der aufwendigen Antragsstellung (64 Prozent). Dabei handelt es sich in der Regel um einen mehrstufigen Prozess, bei dem nach Erfüllung bestimmter Anforderungen über die weitere Berücksichtigung eingereicherter Antragsskizzen entschieden wird. Die Unternehmen sehen vor allem dahingehend Handlungsbedarf, dass die Beantragung der Fördergelder schneller und unkomplizierter ermöglicht werden sollte. Aufgrund langwieriger Antragsprozesse muss für die Durchführung von Forschungsprojekten mit bis zu einem Jahr zwischen Antragsstellung und Förderzusage gerechnet werden. 39 Prozent der befragten KMU geben an, dass sie Verbesserungspotenzial bei der Dauer bis zur Entscheidung über die eingereichten Anträge sehen. Bei den GU sehen sogar 54 Prozent der Befragten diesen Zeitraum als problematisch an.

Thomas Hagemann (b_digital):

„Die Förderung mit öffentlichen Maßnahmen ist ein Hemmschuh bei uns. Wir haben auch in anderen Projekten versucht, direkt mit Universitäten zusammenzuarbeiten. In der Vergangenheit war es leider nicht möglich, an Förderprogrammen teilzunehmen, da wir als Gesellschaft einer Firmengruppe nicht mehr als KMU gelten.“

Weiterhin empfinden 57 Prozent der Befragten von KMU, dass es zu schwierig ist, Ausschreibungen und Bekanntmachungen für geeignete Forschungsprojekte zu finden. Dieser Prozentsatz liegt signifikant über dem Wert für die GU. Zwar stellt das BMWi mit seiner Förderdatenbank eine Suchmaschine für die Förderprogramme von Bund, Ländern und EU zur Verfügung. Dennoch müssen weitergehende Informationen zu den einzelnen Programmen und aktuellen Schwerpunktthemen oftmals über die Webseiten der jeweiligen Fördergeber beschafft werden. Hieraus geht hervor, dass das bestehende Informationsportal bei den Unternehmen bisher noch nicht ausreichend beworben zu sein scheint. Zwar bestehen Möglichkeiten, dass interessierte Unternehmen in Form eines Newsletters oder einer Suchbenachrichtigung zeitnah über passende, aktuelle Fördermöglichkeiten informiert werden⁴¹, diese scheinen den befragten Unternehmen jedoch oftmals nicht bekannt zu sein.

Dr.-Ing. Eike Permin (SMS-Digital):

„Es kann sich alles auch schon mal ein halbes Jahr verschieben, weil man vom Projektträger nichts hört.“

Dr.-Ing. Vitali Dejkun (Coherent):

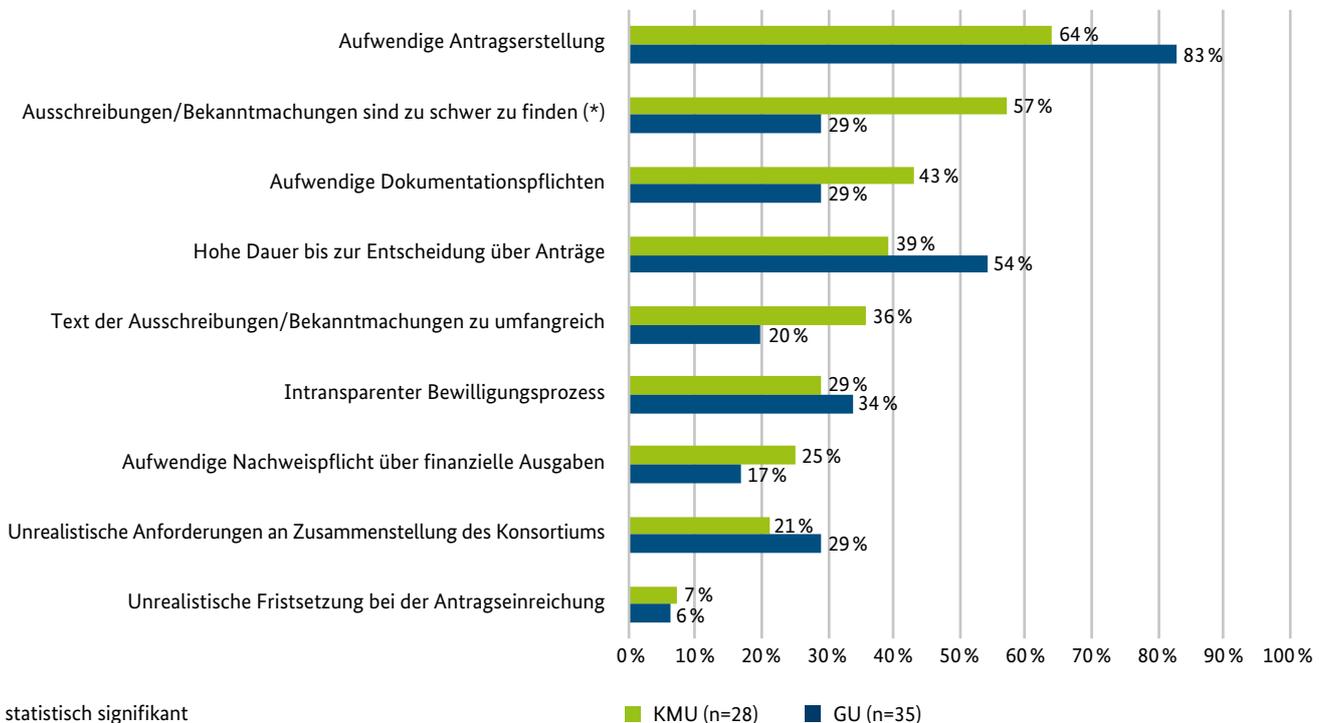
„Und bis man diesen Projektantrag geschrieben hat, bis man alles gemacht hat, was dafür notwendig ist, braucht man in der Regel ein bis zwei Jahre.“

42 Prozent der befragten KMU geben an, dass sie die vorgegebenen Dokumentationspflichten während des Förderzeitraums als zu aufwendig erachten. Im Rahmen von öffentlich geförderten Forschungsprojekten müssen zu definierten

41 Vgl. Bundesanzeiger 2021, Elfi.info 2021.

Abbildung 22: Verbesserungspotenziale bei Fördermaßnahmen

In welchen Bereichen sehen Sie Verbesserungspotenzial?



Quelle: eigene Darstellung

Zeitpunkten des Projekts Zwischen- und Abschlussberichte durch die Projektbeteiligten angefertigt werden. Die geforderten Inhalte umfassen neben der Beschreibung des Projektfortschritts unter anderem auch Stellungnahmen zu Abweichungen in der Zeit- und Mittelkalkulation, Maßnahmen zur Öffentlichkeitsarbeit und -verwertung sowie dem erwarteten Projekterfolg. Der Umfang eines solchen Berichts hängt dabei stark vom jeweiligen Projektträger und dem Umfang des Projekts ab. Weiterhin gibt etwa ein Viertel (24 Prozent) der befragten KMU an, dass sie die aufwendige *Nachweispflicht über finanzielle Ausgaben* als Hemmnis bei der Durchführung von Forschungsprojekten ansehen. Die im Rahmen des Projekts getätigten Ausgaben müssen mit den Angaben aus der Antragsstellung übereinstimmen und durch die Tätigkeiten im Projekt gerechtfertigt sein. Kommt es im Laufe des Projekts zu Abweichungen, müssen Projektmittel oftmals umgewidmet werden. Dieser Vorgang ist in der Regel mit einem hohen bürokratischen Aufwand verbunden. Auch hier variiert der Umfang der geforderten Nachweise abhängig vom Projektträger.

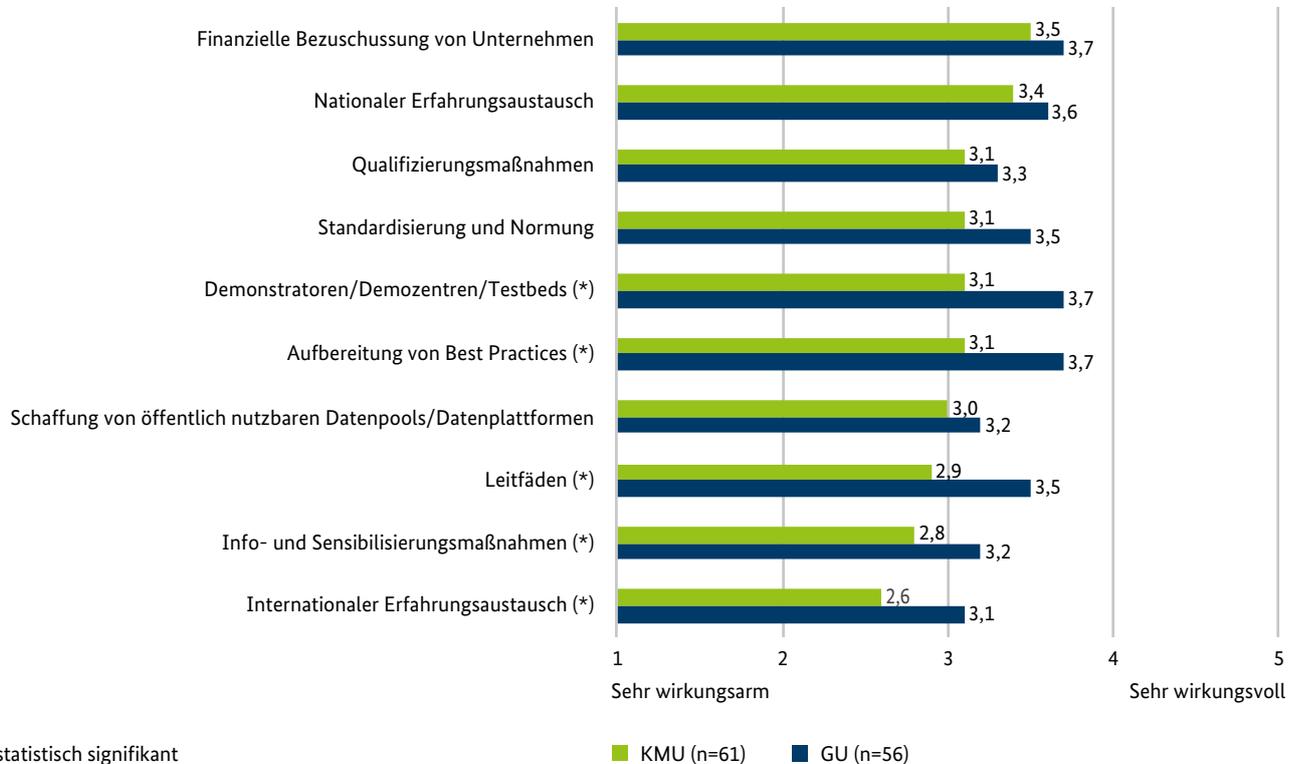
Beurteilung der Wirksamkeit von Fördermaßnahmen

Die Unternehmen wurden außerdem gefragt, wie sie die Wirksamkeit bestimmter Maßnahmen in Bezug auf die Förderung des Einsatzes von KI in ihren Unternehmen einschätzen (siehe Abbildung 23). Die höchste Wirksamkeit sprechen sowohl Befragte von KMU als auch von GU einer *finanziellen Bezuschussung von Unternehmen* zu. Gleich darauf folgt aus Sicht von KMU der *nationale Erfahrungsaustausch*. Offenbar sind die Erfahrungen anderer KMU besonders wertvoll und motivieren zu eigenen Aktivitäten.

Es folgen in der Wirksamkeitseinschätzung der KMU *Qualifizierungsmaßnahmen* sowie *Standardisierung/Normung*. Die niedrigste Wirksamkeit wird hingegen bei *Informations- und Sensibilisierungsmaßnahmen* sowie im *internationalen Erfahrungsaustausch* gesehen. Unterschiede zwischen KMU und GU lassen darauf schließen, dass KMU Maßnahmen zum *Aufbau von Know-how* im eigenen Unternehmen eher als wirkungsvoll einstufen. Die Bewertungen der GU dagegen zielen in Richtung der *praktischen Umsetzung von KI*. Auffällig ist, dass der Großteil der zur Auswahl stehenden Kategorien seitens der KMU mit drei bewertet wurde. Es besteht auch hier die Vermutung, dass es KMU ohne den entsprechenden Erfahrungshintergrund schwerfällt, Einschätzungen abzugeben.

Abbildung 23: Wirksamkeit öffentlicher Maßnahmen für die Förderung des Einsatzes von KI

Wie bewerten Sie die Wirksamkeit der folgenden öffentlichen Maßnahmen und deren Ergebnissen für die Förderung des Einsatzes von KI in Ihrem Unternehmen?



Quelle: eigene Darstellung

Potenziale für die inhaltliche Ausrichtung zukünftiger Förderinitiativen

Im Folgenden sollen weitere Potenziale für die Gestaltung zukünftiger Förderinitiativen aufgezeigt werden, indem die Ergebnisse der Datenanalyse der Online-Befragung durch Erkenntnisse aus den Interviews mit Expertinnen und Experten ergänzt werden. So wurde durch die Datenanalyse schon aufgezeigt, dass produzierende Mittelständler Hemmnisse bei der erfolgreichen Einführung von KI-Technologien insbesondere im *fehlenden Know-how* respektive dem *fehlenden Fachpersonal in den Unternehmen* sehen sowie in einer *mangelnden Datenbasis* und einer *unzureichenden digitalen Infrastruktur* (Abbildung 5). Diese Einschätzung deckt sich mit den Aussagen der befragten Forschenden. Sie weisen unter anderem darauf hin, dass viele Beschäftigte in produzierenden KMU nur geringe Kenntnisse über die Möglichkeiten von KI-Anwendungen haben. In aktuellen Fördermaßnahmen sehen sie zudem fehlende Praxisnähe, worunter die Übertragbarkeit einer KI-Lösung auf den jeweiligen Unternehmenskontext leide. Um der oberen und mittleren Führungsebene von KMU mehr Orientierung zu bieten, könnten Leitfäden zur Einführung von KI

helfen. Allerdings bestehe auch hier die zuvor beschriebene Notwendigkeit der Einbeziehung praxisnaher Beispiele.

Dr. Rene Fassbender (OLT):

„Der große Payback von KI-Anwendungen kommt in den nächsten fünf bis zehn Jahren.“

Dr.-Ing. Eike Permin (SMS-Digital):

„Es wäre einfacher gewesen, Leute mit zwanzig Jahren Prozessenerfahrungen zu nehmen und denen Machine Learning beizubringen, als Machine Learning-Experten zu nehmen und denen das Domänenwissen beizubringen.“

Christian Büttner (Altair):

„Wir wollen die Expertise nicht wegnehmen, wir wollen dem Facharbeiter sein Prozesswissen nicht nehmen, wir wollen ihn unterstützen.“

Hinsichtlich weiterer Anwendungsbereiche für KI-Lösungen sehen die Befragten mittelständischer Unternehmen, Potenzial vor allem in ihren *Produkten und Dienstleistungen*, der *Automatisierungstechnik* und der *Ressourcenplanung* (siehe Abbildung 3 und Abbildung 4). Um vermehrt KI-Anwendungen in den Mittelstand zu bringen, erscheint eine Fokussierung von Förderinitiativen auf diese Bereiche sinnvoll sowie die Aufbereitung praxisnaher Anschauungsbeispiele. KI-Anwendungen sollten in den Bereichen gefördert werden, in denen KMU selbst einen Bedarf sehen.

Rene Buß (Sensitec):

„Das ist ein bisschen ein Henne-Ei-Problem: Wenn der Bedarf nicht konkret da ist, will natürlich eine Geschäftsführung auch die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter nicht unbedingt auf eine Schulung schicken. Ich gehe mal davon aus, wenn wir konkret in die eigene Produktentwicklung starten, dann werden wir unsere Beschäftigten auf Schulung schicken müssen.“

Dr. Sven Spieckermann (SimPlan):

„Da muss sich erst mal jemand die Leitfäden nehmen, muss sich in die Unterlagen eindenken, muss dann abstrahieren und das Ganze auf seinen Fall anwendbar machen.“

Thomas Fröse (atlan-tec):

„Wo ich richtig viel Bedarf sehe, ist, dass interessante Programme aufgelegt werden müssen, die Anreize schaffen: Wenn du eine KI-Anwendung realisierst, lieber Mittelständler, kannst du die in diesem Jahr komplett von der Steuer absetzen.“

Darüber hinaus vertreten die befragten Forschenden die Ansicht, dass vermehrt KI-Trainerinnen und -Trainer benötigt werden, die die Implikationen einer KI-Anwendung in die Unternehmen tragen können. Die Aussagen der Beschäftigten von IT-Dienstleistern deuten darauf hin, dass im Bereich der mittelständischen Unternehmen ein fokussiertes ROI-Denken vorherrscht. Demnach setzten Mitarbeitende in entscheidungsrelevanten Positionen eine zu geringe Zeitspanne an, bis zu der sich KI-Projekte amortisiert haben sollten. Diese kurze Zeitspanne könne oftmals nicht garantiert beziehungsweise realisiert werden. Die KI-Trainerinnen und -Trainer sollten entsprechend in der Lage sein, die Beschäftigten auf den Einsatz der KI-Anwendung vorzubereiten und die Unternehmensführung über realistische Zeithorizonte hinsichtlich einer Amortisation aufzuklären.

Weiterhin betonen Befragte von IT-Dienstleistungsunternehmen, dass KI-Technologien Facharbeiterinnen und Facharbeiter nicht ersetzen, sondern diese vielmehr in ihrer Leistungsfähigkeit unterstützen sollten. Wichtig ist ihnen in diesem Kontext, dass Ängste hinsichtlich der Einführung abgebaut werden. Damit allerdings Budgets und Mitarbeitende bereitgestellt werden, bestehe Sensibilisierungsbedarf aufseiten des Top-Managements über die Möglichkeiten und finanziellen Zugewinne von KI-Anwendungen. Schließlich, so sind sich die interviewten Expertinnen und Experten aus Forschung und Unternehmen einig, wären KI-Projekte nur unter der Voraussetzung erfolgreich, dass das Top-Management diese auch unterstütze.

Hinsichtlich des Datenmangels für die Entwicklung von KI-Technologien werden von den befragten Expertinnen und Experten verschiedene Lösungsansätze gesehen. So erachten einige einen Austausch von Daten vergleichbarer Unternehmen für sinnvoll. Dies böte den Vorteil, dass mehr Daten aus vergleichbaren Anwendungsfeldern generiert werden könnten. Entsprechend bestehe Bedarf in der Entwicklung sicherer und zuverlässiger Austauschplattformen sowie schneller Infrastruktursysteme, damit ein Austausch erfolgen könne. Diese Maßnahme wird mit der Entwicklung der EU-weiten Initiative GAIA-X⁴² bereits thematisiert.

Dr.-Ing. Eike Permin (SMS-Digital):

„Ich glaube, dass das Thema GAIA-X noch einen gewissen Hebel haben kann, da das eine Infrastruktur ist, der Menschen eher vertrauen als einer amerikanischen AWS- oder Google-Infrastruktur.“

Klaus Bauer (TRUMPF Werkzeugmaschinen):

„Das Datenbereitstellen, das Datenteilen muss man in den internen Regularien, aber auch in den politischen Regularien hinkriegen.“

Als wichtige Herausforderung für die Forschung sieht ein Experte zudem die sogenannte datenarme KI. Diese kann aus kleinen Datensätzen bereits hinreichend gute Schlussfolgerungen auch für bisher unbekannte Daten ziehen. Dadurch wird ein vereinfachter Zugang für KI-Technologien in Bereichen möglich, die momentan durch Datenarmut geprägt sind. Gleichwohl decken oben beschriebene Maßnahmen lediglich die Quantität der Daten ab. Davon abzugrenzen ist die Qualität der verfügbaren Trainings- und Testdaten. Hierzu bietet sich nach Ansicht der Expertinnen und Experten beispielsweise die Generierung synthetischer Datensätze für verschiedene Anwendungsfelder an.

Im Folgenden werden die Schlüsselerkenntnisse des vorangehenden Abschnitts zusammengefasst:

Identifikation von Potenzialen zukünftiger Förderinitiativen

- Verbesserungspotenziale werden vor allem in einer vereinfachten Antragsstellung, der schnelleren Entscheidung über die Bezuschussung, der besseren Auffindbarkeit von Ausschreibungen und der Vereinfachung von Dokumentations- und Nachweispflichten gesehen.
- Bedarf haben KMU gemäß den Umfrageergebnissen an Maßnahmen der finanziellen Bezuschussung von Unternehmen, des nationalen Erfahrungsaustauschs, der Qualifizierung von Beschäftigten sowie der Standardisierung/Normung.
- Nach Ansicht der befragten Expertinnen und Experten werden praxisnahe Lösungen, gegebenenfalls in Form von Leitfäden, benötigt, die eine einfache Übertragbarkeit auf die Unternehmenssituationen gewährleisten.
- Zukünftige Förderinitiativen sollten KI-basierte Produkte und Dienstleistungen der Unternehmen fokussieren.
- Weiterhin bedarf es Trainerinnen und Trainer, die KI-Projekte in die Unternehmen tragen und sich dort mit den Spezifika und Hindernissen auseinandersetzen können.
- Es besteht Forschungsbedarf in den Bereichen datenarme und erklärbare KI und in der Entwicklung synthetischer Daten, sodass die oft fehlende Datenbasis überwunden werden kann.

7 Handlungsoptionen zum erfolgreichen Einsatz von KI-Technologien

Angesichts der Erkenntnisse, die durch die Befragung von Unternehmen sowie Expertinnen und Experten aus der Wissenschaft gewonnen wurden, stellt sich die Frage, welche übergeordneten Implikationen und Handlungsoptionen sich für KMU ergeben. Im Folgenden werden diese Handlungsoptionen zur erfolgreichen Einführung und Anwendung von KI im produzierenden Mittelstand entwickelt. Dazu wird zunächst eine SWOT-Analyse für den Einsatz von KI in KMU auf Grundlage der bereits gewonnenen Erkenntnisse durchgeführt. Im Anschluss werden in einem Leitfaden grundlegende Schritte dargelegt, um von einer

vorhandenen Problemstellung aus der Produktion zu einer erfolgreich implementierten KI-Lösung zu gelangen.

SWOT-Analyse

Das sogenannte SWOT-Framework (*Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats; auf Deutsch: Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken*) wird als Hilfsmittel für die Strategieformulierung und Entscheidungsfindung des Managements verwendet.⁴³ Die SWOT-Analyse listet die Stärken und

Abbildung 24: SWOT-Matrix zur Nutzung von KI im Mittelstand

	Chancen <ul style="list-style-type: none"> • Produkt als Kommunikationsplattform mit dem Kunden nutzen • Vernetzte Produkte als Datenlieferanten einsetzen • Wertsteigernde, datenbasierte Dienstleistungen anbieten • KI in internen Schlüsselprozessen der Wertkette gezielt einsetzen 	Risiken <ul style="list-style-type: none"> • Fehlendes Bewusstsein für Einsatzmöglichkeiten von KI führt zur Vernachlässigung bei strategischer Planung • Fehlende KI- Aktivität birgt Gefahr, dass Anschluss an GU und Mitbewerber aus dem Ausland verloren wird • KI wird nicht als Kernkompetenz angesehen, sodass kein Aufbau von internem Know-how stattfindet
Stärken <ul style="list-style-type: none"> • Umfangreiches Domänenwissen und Produkt-Know-how in KMU • Gutes Verständnis von Kundenanforderungen und -problemen • Große Kompetenz in der Erstellung individueller Lösungen • KMU haben kurze Entscheidungswege. Sie sind flexibel und schnell in der Umsetzung 	Einsatz von Stärken zur Nutzung von Chancen KMU haben tiefes Domänenwissen (v. a. über Produkttechnologie und Wirkzusammenhänge) und einen intensiven Kundenkontakt. Dieses Wissen ist zu verwenden, um KI für die Steigerung des Produktnutzens einzusetzen bzw. Kunden neue Problemlösungen zu bieten.	Einsatz von Stärken zur Abwehr von Risiken KMU haben kurze Entscheidungswege, sind flexibel und schnell in der Umsetzung. Im lokalen Ökosystem aus Hochschulen, Technologiepartnern und Fördermittelgebern sollten Leuchtturmprojekte rasch umgesetzt werden, um Erfahrung zu sammeln und die Machbarkeit zu prüfen. Die Übertragbarkeit auf das eigene Unternehmen, wird durch die hohe Produkt- und Technologiekompetenz unterstützt.
Schwächen <ul style="list-style-type: none"> • Fehlendes KI-Know-how und fehlende Fachkräfte im Unternehmen • Mangelnde Datenbasis/Datenqualität erschwert den Einsatz von KI-Algorithmen • Unzureichende digitale Infrastruktur 	Abbau der Schwächen zur Nutzung von Chancen Datenverfügbarkeit ist eine Grundvoraussetzung des Einsatzes von KI. Kurzfristig sollten KI-Lösungen bevorzugt werden, die im Paket mit der IT-Lösung angeboten werden. Wird KI als strategisches Thema vertieft, ist eine eigene IT-Infrastruktur aufzubauen, um langfristig eigene KI-Anwendungen zu betreiben und ihre Weiterentwicklung zu ermöglichen.	Abbau der Schwächen zur Vermeidung von Risiken Das Know-how zum komplexen Zusammenspiel von Prozessen, Sensorik, digitaler Technologie und KI-Methoden ist in vielen KMU eher schwach ausgeprägt. Daher sind KI-Projekte zum Kompetenzaufbau bei den eigenen Beschäftigten zu nutzen. Ein Zukauf bietet nicht die Voraussetzung, KI-Lösungen aus eigener Kraft zu betreiben und weiterzuentwickeln. Wird KI als strategisches Instrument gesehen, sollten Kompetenzen durch Einstellung von Experten oder Weiterbildung aufgebaut werden.

Quelle: eigene Darstellung

43 Vgl. Pickton/Wright 1998.

Schwächen einer Organisation auf, indem sie ihre Ressourcen und Fähigkeiten analysiert. Gleichzeitig werden Chancen und Risiken im Umfeld identifiziert und analysiert.⁴⁴ In einer Matrix werden anschließend die internen Stärken und Schwächen und die externen Chancen und Risiken miteinander konfrontiert, um strategische Handlungsoptionen zu erkennen.⁴⁵ Die hier durchgeführte SWOT-Analyse betrachtet systematisch aus KMU-Sicht die verschiedenen relevanten Aspekte von KI im Kontext von Industrie 4.0. Die SWOT-Matrix (Abbildung 24) zeigt beispielhaft auf, wie Stärken zur Nutzung von Chancen und zur Abwehr von Risiken eingesetzt werden können. Zudem wird ermittelt, wie der Abbau von Schwächen zur Nutzung von Chancen und zur Vermeidung von Risiken erfolgen kann.

Leitfaden

Die geringe Verbreitung von KI-Anwendungen in KMU ist in vielen Fällen der fehlenden Orientierung seitens der Unternehmensleitung auf dem Themengebiet geschuldet. Ein verhältnismäßig niedriger Digitalisierungsgrad sowie mangelnde Kompetenzen im Umgang mit KI können zudem als verstärkende Faktoren für das unzureichende Bewusstsein über den Nutzen von KI-Anwendungen in der Produktion und dem damit verbundenen Aufwand angesehen werden. Die daraus resultierende, fehlende Einbindung von KI in die strategische Unternehmensplanung birgt die Gefahr, dass KMU zunehmend den Anschluss im in- und ausländischen Wettbewerb verlieren. Ein erster Schritt zur breiteren Akzeptanz und schnelleren Verbreitung von KI in

KMU ist es also, die Führungskräfte für diese Technologie zu sensibilisieren. Nur durch entsprechende Bekenntnisse und das Hinzufügen von KI zu den Kernkompetenzen eines Unternehmens kann nachhaltig internes Know-how im Unternehmen aufgebaut und somit die Wettbewerbsfähigkeit verbessert werden. Vor allem aufgrund der starken Produkt- und Dienstleistungsorientierung der KMU kommt KI ein hoher Stellenwert in Bezug auf ihre Zukunftsfähigkeit zu.

Der folgende Leitfaden richtet sich im Besonderen an das Führungspersonal in KMU des Maschinen- und Anlagenbaus (zum Beispiel Geschäftsführung, Abteilungsleitung) und zeigt dabei grundlegende Schritte sowie die notwendigen Erwägungen und Kompetenzen bei der Durchführung von KI-Projekten auf. Eine strukturierte Vorgehensweise bei der Einführung neuer Technologien in produzierenden Unternehmen gilt als Schlüsselfaktor für deren Erfolg. Die Besonderheit von KI-Anwendungen im Produktionsumfeld liegt im hohen Grad der Interdisziplinarität bei der Zusammenarbeit der Beteiligten sowie im hohen Bedarf an strategischen Ressourcen für die Umsetzung und den Betrieb.⁴⁶ Besonders für KMU gilt es daher zunächst abzuwägen, für welche Anwendungsfälle in der Produktion ein Einsatz sinnvoll ist (siehe Breakout-Kasten a).

Nachfolgend wird modellhaft ein Vorgehen dargestellt, das auf Grundlage der praktischen Erfahrungen aus Forschungs- und Industrieprojekten am PTW entwickelt wurde.⁴⁷ Mithilfe dieses Modells können geeignete Problemstellungen identifiziert und durch Anwendung von KI gelöst werden

KI-geeignete Probleme und strategische Ressourcen (Breakout-Kasten a)

Ein KI-geeignetes Problem liegt vor, wenn es

- wirtschaftlich relevant ist (entweder aus Effizienz- oder aus Marktperspektive),
- nicht durch klassische modell- oder wissensbasierte Verfahren gelöst werden kann,
- durch Daten messbar und damit quantifizierbar ist,
- Hypothesen über Wirkzusammenhänge zwischen Prozessverhalten und Prozessergebnis gibt, sodass dieses Problem mithilfe eines mathematischen Modells gelöst werden kann, das auf problemspezifischen Daten trainiert wird.

Analog zu anderen Technologien des Internet of Things (IoT) ist die Anwendung von KI in einem Unternehmen gekennzeichnet durch entsprechende infrastrukturelle Anforderungen. Für die notwendige Datenaufnahme, -speicherung und -verarbeitung muss eine geeignete digitale Infrastruktur vorhanden sein oder geschaffen werden. Dies kann entweder in Eigenleistung erfolgen oder mittels geeigneter Partnerunternehmen aus dem IoT- beziehungsweise KI-Bereich. Trotz sinkender Kosten für die Datenspeicherung und -verarbeitung ist der Aufbau einer ganzheitlichen Infrastruktur für den industriellen Bereich weiterhin mit einem erheblichen finanziellen und zeitlichen Aufwand verbunden. Entsprechende Planungen sollten daher auf strategischer Ebene erfolgen.⁴⁸

44 Vgl. Helms/Nixon 2010.

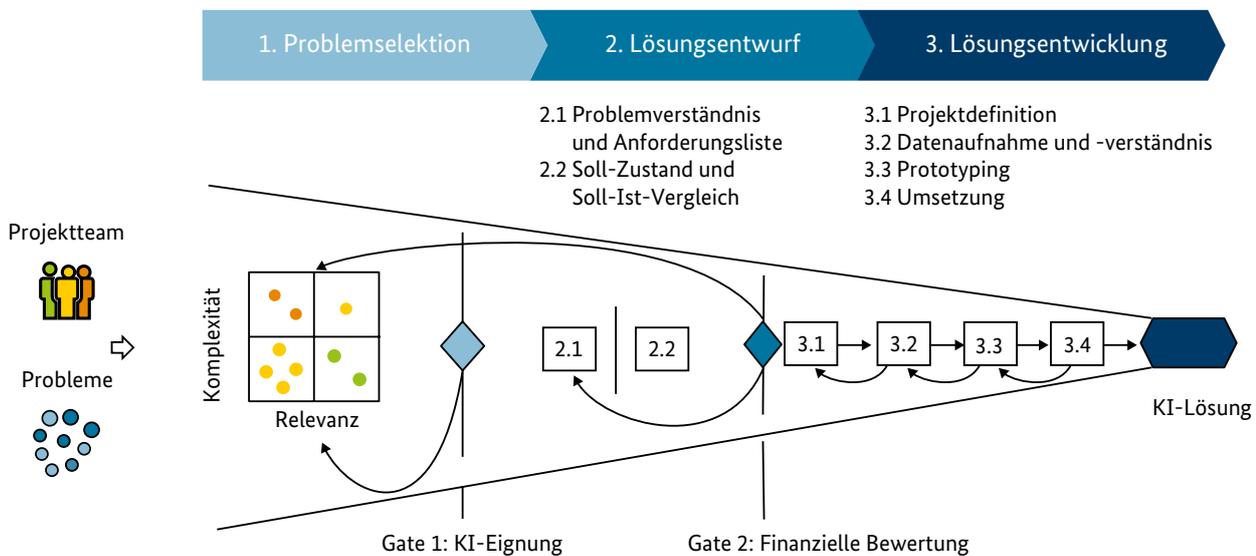
45 Vgl. Sarsby 2016.

46 Vgl. Stanula et al. 2018.

47 Vgl. Biegel et al. 2021.

48 Vgl. Kaufmann/Servatius 2020.

Abbildung 25: Prozess von der Problemauswahl bis zur Lösungsimplementierung



Quelle: eigene Darstellung

(siehe Abbildung 25). Dabei handelt es sich um einen dreistufigen Prozess, für den mehrere Ausfallpunkte definiert sind. An diesen Ausfallpunkten wird unter anderem geprüft, ob eine Anwendung von KI aus technischer und finanzieller Perspektive möglich ist. Der Prozess teilt sich in die Stufen

Problemselektion, Lösungsentwurf und Lösungsentwicklung auf. Ausgangspunkt ist eine Menge zuvor identifizierter, unternehmens- oder kundenspezifischer Probleme sowie ein interdisziplinäres Projektteam (siehe Breakout-Kasten b), das den Prozess gemeinsam durchläuft.

Projektteam (Breakout-Kasten b)

Das Ziel bei der Zusammenstellung eines Projektteams ist es, geeignete Kräfte zu identifizieren und die Verantwortlichkeiten hervorzuheben, die jede Person während des Projekts übernimmt. Dabei werden folgende Rollen unterschieden⁴⁹, wobei es möglich ist, dass eine Person mehr als eine Rolle übernehmen kann: Der/die Projektsponsor/-sponsorin sorgt dafür, dass das Projekt über genügend Ressourcen und Sichtbarkeit innerhalb des Unternehmens verfügt und stellt sicher, dass es mit der Strategie des Unternehmens konform ist. Aufgrund der hierfür benötigten Führungs- und Entscheidungskompetenz sollte diese Person Teil des Top-Managements sein.⁵⁰

Der/die Domänenexperte/-expertin arbeitet produktionsnah und ist mit dem Betrieb, den Prozessen und dem Anwendungsfall vertraut. Diese Person ist verantwortlich für die Erläuterung des Anwendungsfalls und die Identifizierung relevanter Datenquellen. Letztendlich bringt sie die Hypothesen über Zusammenhänge in das Projekt ein. Dadurch kann der/die Data Scientist deutlich zielgerichteter vorgehen.⁵¹

Der/die Data Scientist kann Daten für Geschäftsentscheidungen untersuchen und kennt Datenanalysemethoden und deren Einsatzmöglichkeiten. Diese Person verfügt über Kenntnisse zur Implementierung von Algorithmen, ist auf dem neuesten Stand der Forschung und kann Ideen aus akademischen Veröffentlichungen umsetzen.

Der/die Softwareingenieur/-ingenieurin ist für die Operationalisierung des KI-Modells verantwortlich. Diese Person kennt die IT-Infrastruktur des Unternehmens und verfügt über Kenntnisse in den Bereichen API-Entwicklung, Webentwicklung und Cloud-Computing. Sie erfüllt außerdem die Rolle des Bindeglieds zur IT-Abteilung. Die IT-Abteilung übernimmt wichtige Supportaufgaben bezüglich der Umsetzung und des Betriebs der KI-Lösung.

Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza (wbk KIT):
„Wenn KMU selbst KI entwickeln möchten, braucht es Experten, die sowohl die Algorithmen als auch das Domänenwissen in der Tiefe beherrschen.“

49 Vgl. Bretones Cassoli et al. 2021.

51 Vgl. Roscher et al. 2020.

50 Vgl. MIT Sloan Management Review and BCG 2019.

Die *Problemelektion* leitet den Prozess ein. Aufgrund der geringen Verfügbarkeit von Informationen zu Beginn eines KI-Vorhabens ist diese Phase geprägt durch ein hohes Maß an Unsicherheit bezüglich der zu treffenden Entscheidungen. Ziel der *Problemelektion* ist es, die vorhandenen Produktions- oder Kundenprobleme hinsichtlich unterschiedlicher Kriterien (unter anderem Relevanz und Komplexität) gegeneinander abzuwägen und schließlich auf eine Problemstellung zu reduzieren. In der anschließenden Phase des *Lösungsentwurfs* wird der vorhandene Ist-Zustand visualisiert und ein möglicher Soll-Zustand entworfen. Durch Gegenüberstellung der beiden Zustände werden notwendige Maßnahmen identifiziert und eine finanzielle Bewertung ermöglicht. Im Falle einer positiven Bewertung wird der Lösungsentwurf in der abschließenden Phase der *Lösungsentwicklung* bearbeitet. Ziel ist hier, nach Durchlaufen der Entwicklungsschritte, die resultierende Lösung umzusetzen.

1. Problemelektion

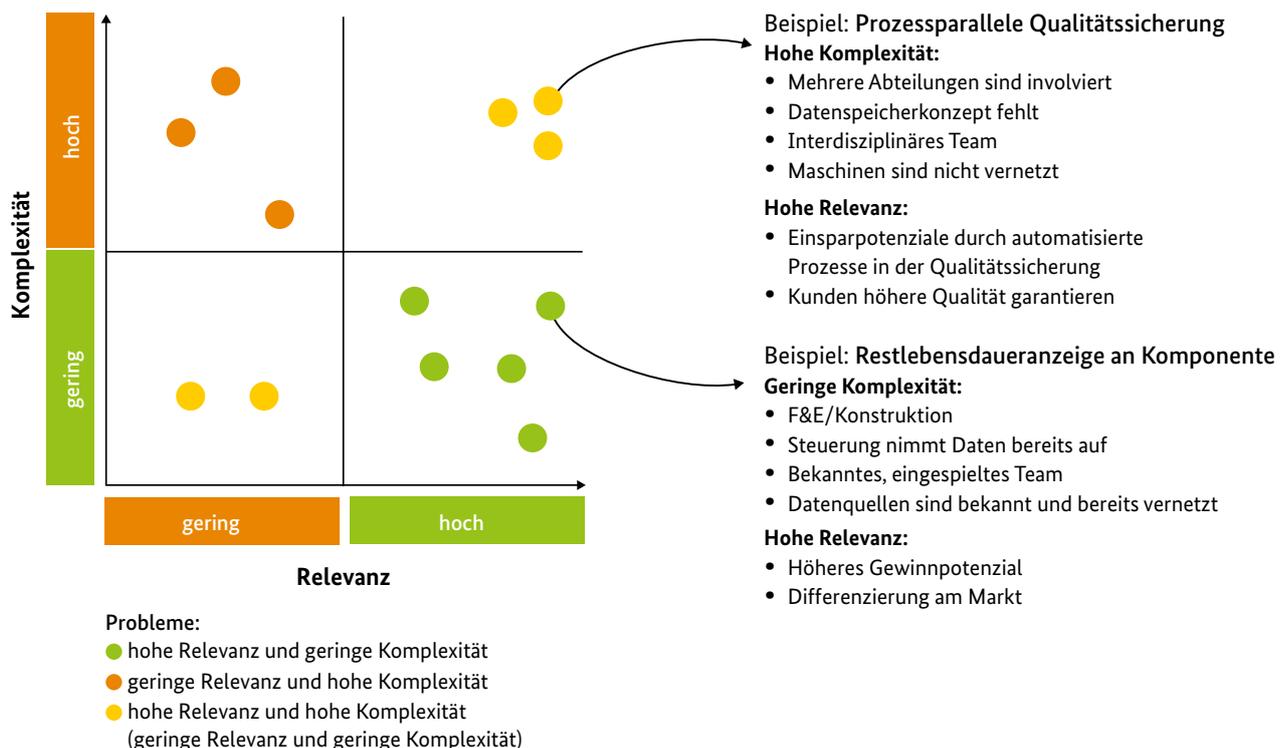
Zu Beginn der Problemelektion werden die identifizierten Problemstellungen des Unternehmens hinsichtlich ihrer **Relevanz** und **Komplexität** bewertet und klassifiziert. Als treibende Faktoren für die *Komplexität* gelten in diesem Kontext

- die Anzahl der Beteiligten,
- die notwendigen Ressourcen,
- das erforderliche Maß an Interdisziplinarität zur Lösung des Problems und
- die Komplexität der Datenbeschaffung.

Die *Relevanz* einer Problemstellung kann anhand

- monetärer Effekte, wie zum Beispiel Höhe des Einsparbeziehungsweise Gewinnpotenzials, oder
- nichtmonetärer Effekte, beispielsweise Differenzierungsmerkmale im Markt, gesteigert werden. Für die Ermittlung der beiden Dimensionen bieten sich bewährte Methoden wie die Nutzwertanalyse an. Zur Gegenüberstellung können die so bewerteten Problemstellungen in einer Portfoliomatrix eingeordnet werden. In Abbildung 26 sind zwei Probleme beispielhaft in der Matrix eingetragen, sowohl die prozessparallele Qualitätssicherung als auch die Restlebensdaueranzeige besitzen eine hohe Relevanz. Das Letztere weist im Beispiel eine geringere Komplexität auf, da Zusammenhänge bekannt sind und die erforderlichen Daten bereits erfasst werden. In diesem Beispiel ist das Vorhaben mit einer hohen Relevanz bei gleichzeitig geringer Komplexität zu priorisieren. Vorhaben mit geringer Relevanz und hoher Komplexität sollten vermieden werden.

Abbildung 26: Portfoliomatrix für die Problemelektion



Gate 1: KI-Eignung

Im weiteren Verlauf des Prozesses muss geprüft werden, ob eine so priorisierte Problemstellung für die Anwendung von KI-Methoden geeignet ist. Bei dieser Bewertung sind folgende Kriterien zu beachten.

- Grundlegende organisatorische Voraussetzungen:
 - ✓ Prozessstandards sind beschrieben
 - ✓ Normalzustand ist beschreibbar
- Rechtliche Aspekte:
 - ✓ Datenschutz kann gewährleistet werden
 - ✓ Vertragliche Vereinbarungen, beispielsweise zum Recht an den Daten, können festgelegt werden
- Technische und infrastrukturelle Voraussetzungen:
 - ✓ Datenerfassung ist im Problemkontext möglich
 - ✓ Technische Infrastruktur zur Erhebung, Speicherung und Verarbeitung von Daten ist vorhanden oder kann implementiert werden
 - ✓ Defizite in der digitalen Infrastruktur sind kompensierbar
 - ✓ Problemrelevante Daten sind in ausreichender Menge generierbar
- Alternative Lösungen:
 - ✓ Problem ist nicht durch konventionelle Ansätze technisch und/oder wirtschaftlich lösbar

2. Lösungsentwurf

Nach der Ermittlung einer geeigneten Problemstellung gilt es, einen entsprechenden Lösungsentwurf zu entwickeln. Während des Entwurfsprozesses müssen mehrere aufeinander aufbauende Schritte durchlaufen werden, die sich wie folgt aufteilen lassen:

- Aufbau eines tieferen Problemverständnisses und Erstellen einer Anforderungsliste
- Entwicklung des Soll-Zustands und Anstellen eines Soll-Ist-Vergleichs
- Finanzielle Bewertung der notwendigen Maßnahmen zur Erreichung des Soll-Zustands

2.1 Problemverständnis und Anforderungsliste

Der Schritt *Problemverständnis und Anforderungsliste* beinhaltet eine tiefergehende Analyse der betrachteten Problemstellung. Durch eine intensive Diskussion zwischen den unterschiedlichen Anspruchsgruppen wird ein detailliertes Verständnis über die zugrundeliegenden Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge erlangt. Hier ist vor allem das spezifische Wissen der Domänenexpertinnen und -experten relevant. Zur Erfassung der notwendigen Informationen bietet es sich an, dass das KI-Team die Anforderungen in einer Anforderungsliste erfasst. Auf der Grundlage der

erkannten Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge lässt sich die Erfüllbarkeit funktionaler und infrastruktureller Anforderungen überprüfen.

- Funktionale Anforderungen:
 - ✓ Kundenanforderungen (intern/extern) sind definiert und können erfüllt werden
 - ✓ Finanzieller Nutzen ist vorhanden
 - ✓ KI-Anwendung liefert absehbar ausreichende Güte
 - ✓ Unternehmensinterne Leistungskennzahlen – Overall Equipment Effectiveness (OEE), Return on Investment (ROI) und andere – werden erfüllt
- Infrastrukturelle Anforderungen:
 - ✓ Notwendige technische Infrastruktur ist definiert
 - ✓ Ressourcen für den Betrieb der KI-Anwendung sind vorhanden oder können beschafft werden

2.2 Soll-Zustand und Soll-Ist-Vergleich

Der Schritt *Soll-Zustand und Soll-Ist-Vergleich* ermöglicht eine Übersicht über die notwendigen Maßnahmen hinsichtlich Datenfluss, Schnittstellen und Ressourcen zur Lösung der vorhandenen Problemstellung mit KI. Zur strukturierten Abbildung des Ist-Zustands und der Erarbeitung des Soll-Zustands bietet sich die Verwendung eines Visualisierungstools an (siehe Breakout-Kasten c). Hierbei soll das Bewusstsein des Projektteams dafür geschärft werden, wie die einzelnen Elemente des betrachteten Systems interagieren. Auf dieser Grundlage kann ermittelt werden, welche Komponenten oder Veränderungen im Datenfluss notwendig sind, um die funktionalen und infrastrukturellen Anforderungen zu erfüllen. Es ist zu beachten, dass es unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten geben kann, die zu einem zufriedenstellenden Ergebnis führen, beispielsweise die Auswahl von Sensoren oder Algorithmen des maschinellen Lernens.

Gate 2: Finanzielle Bewertung

Die so entwickelte Architektur muss schließlich noch einer *finanziellen Bewertung* unterzogen werden. Ziel dieses Schritts ist es, den erwarteten Nutzen den anstehenden Kosten gegenüberzustellen und zu entscheiden, ob das Problem in die Lösungsentwicklungsphase übergeht. Mithilfe der bereits erlangten Kenntnisse ist es möglich, notwendige Investitionen abzuschätzen und zu ermitteln, ob sie im Verhältnis zum erwarteten Nutzen angemessen sind. Hierzu bieten sich

- Return on Investment (ROI),
- Amortisationszeit und
- Kapitalwert an.

Aufgrund der verbleibenden Unsicherheit zu diesem Zeitpunkt der Planungsphase ist eine Pro-/Contra-Entscheidung stets auch von der Risikoaversion des Führungspersonals abhängig.

Soll-Ist-Vergleich mit Zustandskarten (Breakout-Kasten c)

Zur Visualisierung der Ist- und Soll-Zustände wird ein Satz standardisierter Symbole verwendet, um Datenspeicher, Ressourcen, Schnittstellen, Kunden, Datenfluss und Systemgrenzen zu identifizieren (siehe hierzu Abbildung 27):

- Der *Datenspeicher* repräsentiert jede Instanz, in der Daten gespeichert werden, zum Beispiel Datenbanken.
- Eine *Ressource* ist ein allgemeines und flexibles Symbol, das zur Darstellung von datenerzeugenden Quellen, wie zum Beispiel Maschinen, verwendet wird.
- Die *Schnittstelle* stellt die Punkte im System dar, an denen eine Kommunikation und Interaktion mit infrastrukturellen Ressourcen oder Endnutzerinnen und -nutzern erforderlich ist.
- Der *Kunde* repräsentiert die Endnutzerinnen und -nutzer, die mit der KI-Lösung interagieren und deren Ergebnisse nutzen werden.
- Der *Datenfluss* zeigt den Austausch von Daten zwischen den Elementen des Systems.
- Die *Systemgrenze* grenzt das System ab und ermöglicht unter anderem die Unterscheidung zwischen lokalen und externen Servern.

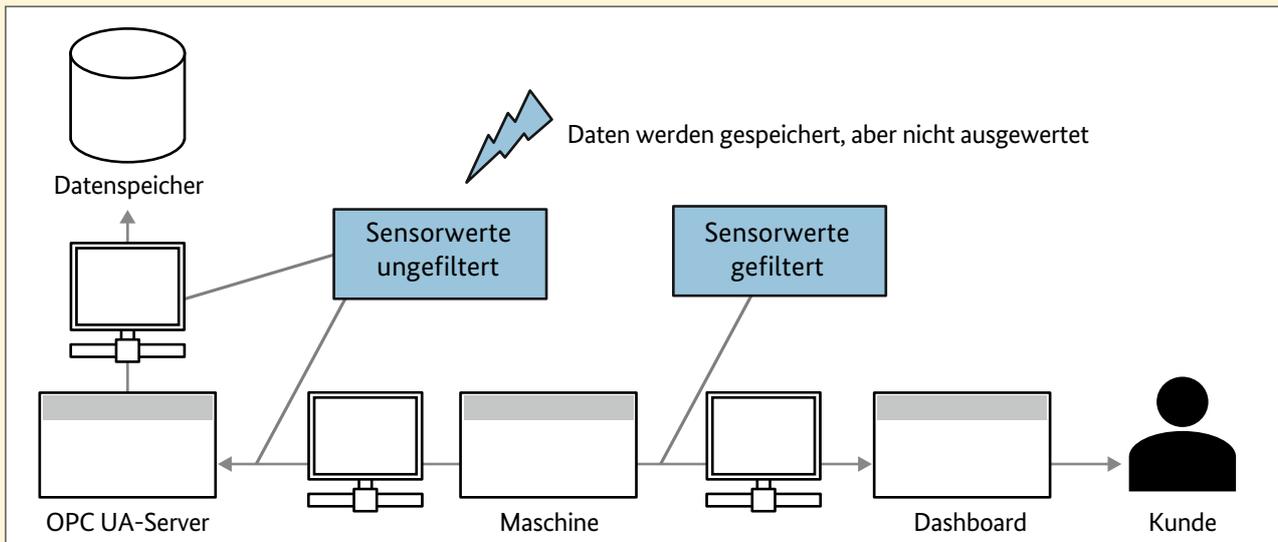
Abbildung 27: Zustandskarten-Symbole



Quelle: eigene Darstellung

Beispiele für Zustandskarten sind in Abbildung 28 und Abbildung 29 dargestellt. Sie ermöglichen die Visualisierung des Ist-Zustands und der notwendigen Entwicklungen zum Erreichen des gewünschten Soll-Zustands, in dem die KI-Lösung umgesetzt ist.

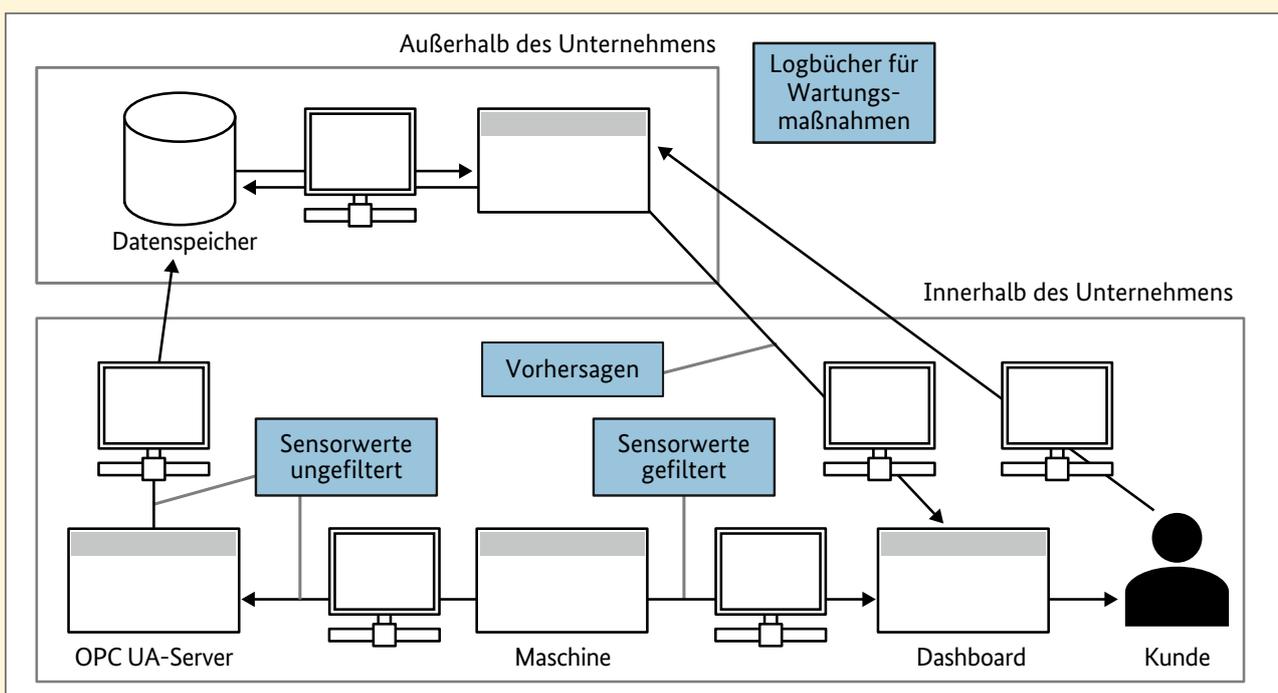
Abbildung 28: Ist-Zustand in der Zustandskarte



Quelle: eigene Darstellung

Ziel des Vorgehens ist es, den Soll-Zustand für die KI-Lösung auf Basis des Ist-Zustands und der im Problemverständnis gesammelten initialen Anforderungen zu konzipieren. Das KI-Team identifiziert dabei, welche Komponenten notwendig sind, um die im Problemverständnis abgeleiteten funktionalen und infrastrukturellen Anforderungen zu erfüllen. So müssen Datenspeicher, Ressourcen (zum Beispiel Maschinen), Schnittstellen, Kunden, Datenflüsse und Systemgrenzen geändert, entfernt oder hinzugefügt werden. Abbildung 29 zeigt ein Beispiel für einen Soll-Zustand eines cloudbasierten KI-Modells für die vorausschauende Instandhaltung. Der Ist-Zustand in Abbildung 28 zeigt, dass Daten von einer Maschine erfasst, in einem Dashboard angezeigt und in einem Datenspeicher bevorratet werden. Eine Verwendung für weitergehende Analysen ist nicht vorgesehen. Im Soll-Zustand in Abbildung 29 werden zusätzliche Schnittstellen zur Implementierung einer Lösung zur vorausschauenden Instandhaltung hinzugefügt. Das KI-Modell wird in der Cloud, außerhalb der Unternehmensserver, gespeichert. Die Vorhersagen werden den Personen, die die Maschinen bedienen, in einem Dashboard angezeigt.

Abbildung 29: Soll-Zustand in der Zustandskarte



Quelle: eigene Darstellung

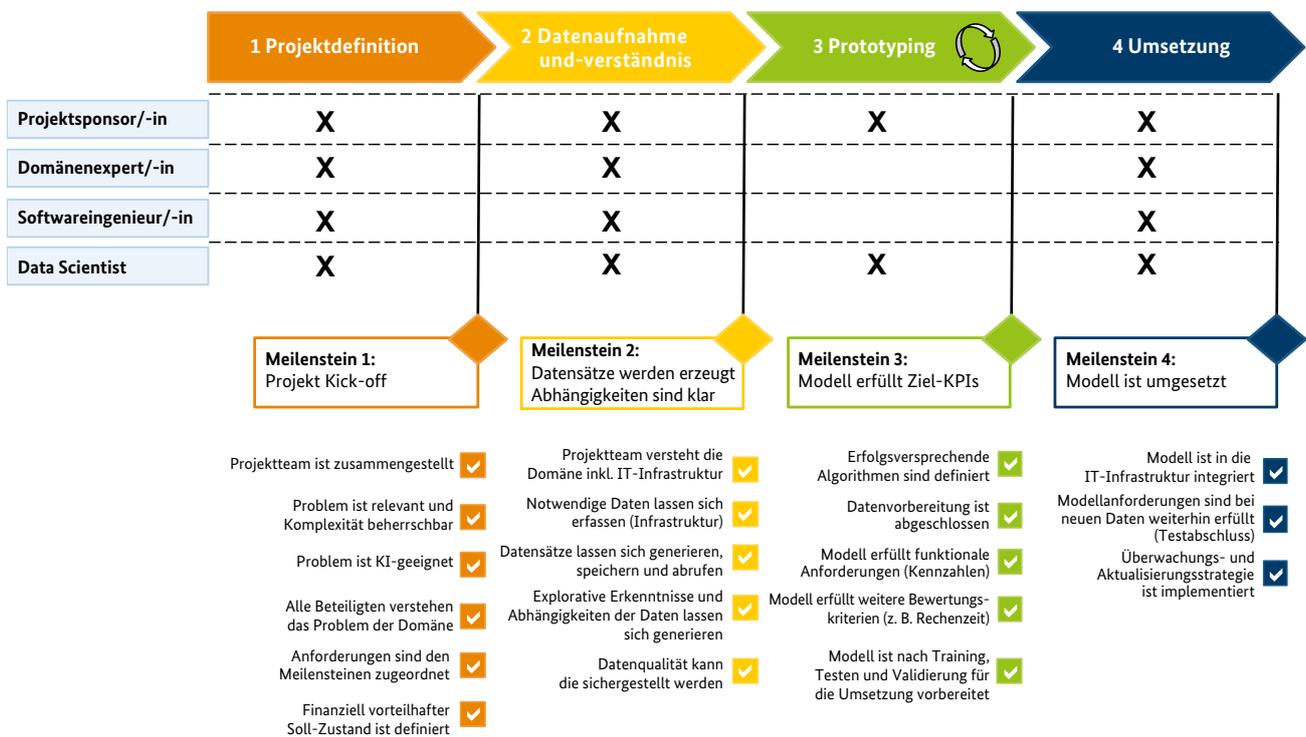
3. Lösungsentwicklung

Die *Lösungsentwicklung* hat zum Ziel, den Soll-Zustand zu erreichen. Sie umfasst eine erste *Projektdefinition*, die *Datenaufnahme und das -verständnis*, das *Prototyping* und die *Umsetzung*. Jedem der vier Schritte werden Aufgaben zugeordnet, die das Projektteam abschließen muss. Die Übersicht über die Lösungsentwicklung, inklusive einer Checkliste der Aufgaben, ist in Abbildung 30 dargestellt.

3.1 Projektdefinition

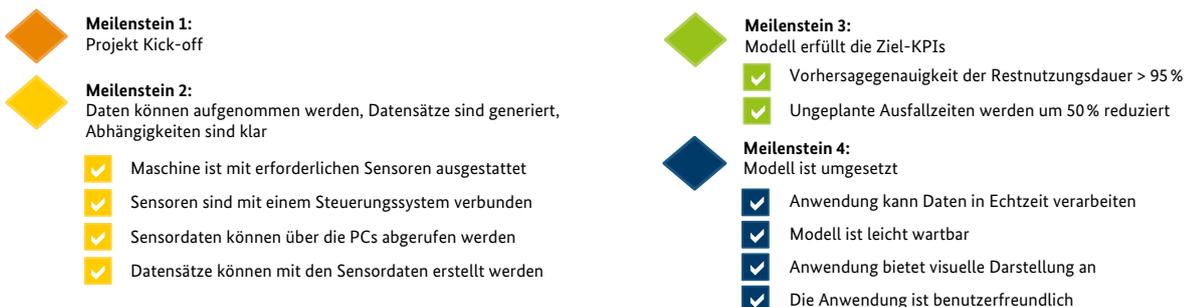
In der *Projektdefinition* ordnet das Projektteam die funktionalen und infrastrukturellen Anforderungen den Projektmeilensteinen zu. Die Ergebnisse der Projektdefinition sind in Abbildung 31 beispielhaft dargestellt.

Abbildung 30: Lösungsentwicklung bestehend aus vier Schritten inklusive Checkliste



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 31: Beispielhafte Darstellung der Projektdefinition



Quelle: eigene Darstellung

3.2 Datenaufnahme und Datenverständnis

Nach der *Projektdefinition* beginnen *Datenaufnahme und Datenverständnis*. Dabei sind zwei Schritte zu berücksichtigen:

- *Domänenverständnis*: Domänenexpertinnen und -experten erklären den Data Scientists den Prozess, die Datenquellen und Abhängigkeiten für die Definition der IT-Infrastruktur (einschließlich der erforderlichen Sensorik). Anschließend erfolgt die Datenerfassung.
- *Explorative Datenanalyse*: Erste Erkenntnisse über die Daten und ihre Qualität sind bekannt, Datensätze werden zusammengefasst, die Datenverteilung visualisiert, Ausreißer identifiziert und behandelt.

3.3 Prototyping

Durch das *Prototyping* lässt sich feststellen, ob die verfügbaren Daten und entwickelten Modelle das Problem lösen können. Hier ist folgendes Vorgehen sinnvoll:

- Vorauswahl von Algorithmen
- Durchführen der Datenvorbereitung
- Bewerten der Modellierung sowie der ausgewählten Algorithmen anhand der zuvor definierten Leistungskennzahlen

- Auswahl des besten Modells anhand von Bewertungsmetriken sowie weiterer Faktoren (zum Beispiel Rechenzeit, Latenzzeit)
- Vorbereitung des ausgewählten Modells nach Training, Testen und Validierung für die Umsetzung
- Das Prototyping sollte iterativ durchgeführt werden, zum Beispiel mit dem agilen Projektmanagementansatz (siehe Breakout-Kasten d).

3.4 Umsetzung

Im Rahmen der *Umsetzung* wird folgendes Vorgehen vorgeschlagen:

- Integration des Modells in die IT-Infrastruktur: Das integrierte Modell wird getestet und parallel ausgeführt.
- Abschluss des Testens, sobald das Modell neue, unbekannte Daten erhält und seine Ergebnisse genauso gut sind wie diejenigen, die beim *Prototyping* erzeugt wurden.
- Überwachung und Aktualisierung sind Aufgaben, die während des laufenden Betriebs des Modells kontinuierlich durchgeführt werden müssen.

Agiles Projektmanagement (Breakout-Kasten d)

Der agile Projektmanagement-Ansatz wird für das Prototyping und die Umsetzung aus zwei Hauptgründen empfohlen: Erstens helfen die kurzen Iterationszyklen und klar definierten Ergebnisse, Risiken zu minimieren und mehrere Lösungswege vorzusehen. Zweitens spart die direkte Kommunikation mit internen Partnern (zum Beispiel Domänenexpertinnen und -experten) Zeit bei der Projektdokumentation und ermöglicht dem Team eine schnelle Anpassung an sich ändernde Anforderungen.⁵² Der bekannteste agile Ansatz ist Scrum und nutzt kurze, sich wiederholende Iterationen (auch „Sprints“ genannt, die meist zwei Wochen dauern), um lange Entwicklungsprojekte zu untergliedern.⁵³ Dies erlaubt ein schnelles Feedback, einen intensiven Austausch zwischen Mitarbeitenden und eine übersichtliche, flexible Projektsteuerung, beispielsweise durch Kanban-Boards.

Im Prototyping ist im agilen Ansatz darauf zu achten, dass die kreative Lösungsfindung nicht durch standardisierte und strikt nach Zeit organisierte Sprints behindert wird. Dieser Schritt ist durch einen offenen Forschungscharakter gekennzeichnet, in dem die Lösungsfindung großen Unsicherheiten unterliegt (beispielsweise unsichere Datenqualität oder Aussagekraft vorhandener Daten).

52 Vgl. Cooper/Sommer 2018.

53 Vgl. Cervone 2011.

Standpunkte aus der Forschung



© Reiner Bez

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl
(IFF Universität Stuttgart,
Fraunhofer IPA)

„Wenn KI komplex ist, dann trauen sich KMU da nicht ran. Das heißt, es muss eigentlich intuitiv funktionieren, ohne dass Expertenwissen notwendig ist.“

„Was ich auch für sehr wichtig halte, ist, dass man Lösungen entwickelt, die mit wenigen Daten klarkommen. Zudem braucht es für die Akzeptanz einer KI-Lösung, insbesondere bei KMU, eine erklärbare KI. Man muss aus der Blackbox eine Whitebox machen.“

„Was ich hilfreich finden würde, wären junge Ingenieurinnen und Ingenieure, die sich viel Wissen aneignen zum Thema KI und dann sogenannte KI-Technology-Scouts werden. Ich kann mir das so vorstellen, dass jemand sagt: ‚Ich habe den Ehrgeiz, an dem Thema KI an der Spitze mitzuarbeiten. Ich kenne die Technologien.‘ Eine qualifizierte Person, die zu Unternehmen geht – vielleicht sogar staatlich gefördert – und sich anschaut, wo es Defizite und Potenziale gibt.“

„KI-Trainerinnen und Trainer wären für mich eine wirklich hoffnungsvolle Maßnahme. Hundert junge Leute in Deutschland in Instituten auszubilden, die sagen: ‚Ich bin hochqualifiziert im Bereich KI.‘“



© Eva Speith

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele
(PTW TU Darmstadt – emeritus)

„Ich glaube, dass wenn man von Handlungsbedarf spricht, man zunächst erst einmal die Digitalisierung vollziehen muss. KI ist dann ein Tool innerhalb der Digitalisierung.“

„Was die Wissenschaft machen muss? Ganz klar: erklärbare KI. Und erklärbare KI beschreibt nicht nur das, was in der Informatik passieren muss, sondern es sind eigentlich Personen erforderlich, die übersetzen können, sogenannte Produktionsinformatikerinnen und -informatiker.“

„Das Aufbauen von KI-Modellen macht ein Mittelständler mit Sicherheit nur auf der Produktseite, nicht auf der Produktionsseite. Denn er lebt nicht von der Produktion, er lebt von seinem Produkt.“



© Karlsruher Institut für Technologie

Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza
(wbk Karlsruher Institut für
Technologie)



© C. Mikes

Prof. Dr.-Ing. Wilfried Sihn
(IMW TU Wien)

„Wir nutzen KI, und zwar ganz speziell im KMU-Bereich, viel zu wenig. Wenn wir uns KI-Anwendungen außerhalb der Produktion und Logistik anschauen – also im klassischen Marketingbereich, Handelsbereich etc. – sind uns Amerika und China Lichtjahre voraus. Wenn man sich aber die Produktion und Logistik anschaut, sieht die Welt anders aus: Da hat Europa nach wie vor die Nase vorne. Aber inzwischen wirklich nur noch die Nase. Die anderen haben massiv aufgeholt. Das ist eine Chance für unsere Industrie und da insbesondere für die KMU.“

„Der größte Ansatzpunkt oder die größte Herausforderung im Bereich künstliche Intelligenz und KMU ist das Begreifbarmachen der Möglichkeiten und vor allem des Nutzens, sodass eine Person, die sich nicht tagtäglich mit dem Thema befasst, die vielleicht auch gar nicht die Ausbildung hat, die Möglichkeiten verstehen kann. Viele Menschen, gerade in der Führungsebene mittelständischer Unternehmen, haben nicht unbedingt Maschinenbau studiert, sondern vielleicht eine Meisterausbildung absolviert und sind darüber in ihre Positionen hineingewachsen und machen einen großartigen Job. Aber mit modernen Technologien haben sie noch nie etwas zu tun gehabt.“

„Seitens der Forschung sollten wir daran arbeiten, KI-Toolboxen zu bauen. Mithilfe dieser Toolboxen können wir dann Problemstellungen charakterisieren und gleich die passenden KI-Anwendungen identifizieren, die wir vorkonfiguriert bereitstellen. Und dann braucht der Industrieanwender eigentlich nur noch die Daten reinzuladen, ein paar erklärte Einstellungen treffen und erhält den Output.“

„Wir brauchen eine embedded KI – sozusagen eine Digitalisierung mit KI on board.“

„Sie brauchen an der Spitze eines Unternehmens eine Persönlichkeit, die nach vorne schaut und auch mal etwas probiert. Und es braucht die Bereitschaft, das, was man probiert hat, auch wieder in die Tonne zu werfen. Von fünf ausprobierten Lösungen bleibt dann eine richtig erfolgreich.“

„Ich glaube, was am meisten hilft, sind Unternehmen, die KI schon mit Erfolg angewendet haben und die davon anderen Unternehmen erzählen.“



© PTW der TU Darmstadt

Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich
(PTW der TU Darmstadt)



© Gregor Schuster

Prof. Dr. Kristian Kersting
(Artificial Intelligence and Machine
Learning Lab TU Darmstadt)

„Eine große Revolution wird darin bestehen, dass wir durch KI lernen, anders über unsere Probleme zu denken. Dazu gehört das Verständnis, dass gewisse hierarchische Strukturen nicht mehr die Zukunft sind, sondern wir uns als Teil eines Systems sehen, das aus Prozessen, aus Algorithmen, aus Daten besteht. Und weiterhin zu verstehen, dass Innovationen innerhalb eines Jahres stattfinden können und dass damit aus einem kleinen Player ein Global Player werden kann.“

„Der Transfer zwischen einzelnen Disziplinen muss verstärkt werden. Es geht nicht um Alleingänge im Maschinenbau oder der Informatik, auch nicht darum, den öffentlichen Sektor gegen die Industrie auszuspielen. Die zunehmende Verbreitung von KI ist eine Aufgabe, die nur gemeinsam realisiert werden kann. In Darmstadt arbeiten wir derzeit daran, ein solches Ökosystem bestehend aus verschiedenen Disziplinen aufzubauen.“

8 Diskussion und Ausblick

Die vorliegende Expertise wirft ein Schlaglicht auf den Einsatz von KI in produzierenden KMU. Sie untersucht den Umfang eingesetzter KI-Lösungen, Hemmnisse des Einsatzes sowie Potenziale für eine Ausweitung. Um Spezifika von KMU besser herausarbeiten zu können, wurden große Unternehmen ebenso befragt und die Ergebnisse mit den Ergebnissen für KMU verglichen.

Es überrascht nicht, dass KMU KI insgesamt weniger einsetzen als GU, sowohl in internen als auch externen Prozessen. Bemerkenswert ist dennoch das Ausmaß, in dem KMU im Rückstand sind. Eine wichtige Erkenntnis dieser Expertise ist, dass in vielen KMU die digitalen Grundlagen für den Einsatz von KI schlicht noch nicht geschaffen wurden. Während große Unternehmen hier bereits Fortschritte aufgrund umfassender Digitalisierungsmaßnahmen gemacht haben, die eine automatisierte Datenaufnahme ermöglichen, erfolgt die Datenerfassung in KMU häufig noch immer manuell. KI-Initiativen in KMU – egal welcher Art – müssen daher meist auch mit dem Schaffen einer digitalen Infrastruktur verbunden sein. Problematisch sind vor allem die signifikanten Unterschiede zwischen GU und KMU in der strategischen Verankerung von KI-Lösungen und der Wahrnehmung von Chancen durch KI für das eigene Geschäftsmodell. Denn hier besteht durchaus die Gefahr, dass Marktchancen nicht erkannt oder Bedrohungen nicht wahrgenommen werden. Konsequenterweise priorisieren KMU auch deutlich seltener einen systematischen Kompetenzaufbau zum Thema KI in ihren Belegschaften.

Hervorzuheben ist die Tatsache, dass produzierende Unternehmen, die bereits KI-basierte Anwendungen im Einsatz haben – darunter auch einige wenige KMU – von sehr positiven Erfahrungen berichten. Dort wo KI angewendet wird, erzeugt sie mehrheitlich einen wirtschaftlichen Nutzen. Bemerkenswert ist auch die Erkenntnis, dass viele Unternehmen neue KI-Anwendungen in einer Pilotierungsphase haben. Es wird spannend sein zu beobachten, wie sich dies

in den kommenden Jahren in Prozessen und Produkten niederschlagen wird.

Da KMU die Potenziale des Einsatzes von KI-Lösungen durchaus realisieren, sollte den identifizierten Hemmnissen entsprechend entgegengewirkt werden, um die Verbreitung von KI im deutschen Mittelstand weiterzuentwickeln. Während die Förderinitiativen zur KI-Entwicklung bundesweit im Rahmen der *KI-Strategie der Bundesregierung*⁵⁴ in den letzten Jahren deutlich erweitert wurden, gibt es im Mittelstand dennoch Bedarfe im Bereich von Erfahrungsaustausch und Praxisbezug sowie bei der Qualifizierung. Um die sich hier auftuenden Potenziale zu erschließen, sollen auch zukünftig flankierende Fördermaßnahmen, beispielsweise die *Mittelstand 4.0-Kompetenzzentren*⁵⁵, angeboten werden. Diese Art der Förderung bietet – über konkret beantragte Förderprojekte hinaus – den Vorteil, dass fehlende Kompetenzen im Unternehmen identifiziert, kurzfristig durch externe Fachleute überbrückt und anschließend durch langfristige Maßnahmen wie Neueinstellung oder Weiterbildung zielgerichtet überwunden werden können.

Soll KI im Mittelstand in der Breite zur Anwendung kommen, braucht es eine Plug-and-Play-Hardware, die bereits mit leicht konfigurierbaren Algorithmen ausgestattet ist. Die Notwendigkeit einer erklärungsarmen, leicht verständlichen KI, die ohne erweiterte programmiertechnische Kenntnisse auf einen Anwendungsfall angepasst werden kann, wird von vielen der befragten Expertinnen und Experten hervorgehoben. Darüber hinaus kann forschungsseitig das Problem weniger beziehungsweise mangelhafter Daten durch die Entwicklung datenarmer KI oder synthetischer Daten gelöst werden. Die praxisnahe Forschung im ingenieurwissenschaftlichen Bereich kann dies leisten und stellt ein wichtiges Bindeglied zwischen der Entwicklung abstrakter Algorithmen und ihrem Einsatz in der produzierenden Praxis dar. Diese Brücke zu schlagen, ist das definierte Ziel aktueller und zukünftiger Produktionsforschung.

54 Vgl. Bundesregierung 2018.

55 Vgl. BMWi 2021d.

Anhang

Abbildungen

Abbildung 1: Aufteilung der an der Online-Befragung teilnehmenden Unternehmen in GU und KMU (links) und nach Umsatz (rechts)	9
Abbildung 2: Einsatz von KI, aufgeteilt nach GU und KMU	11
Abbildung 3: Aktueller Einsatz von KI anhand verschiedener Anwendungsbereiche	12
Abbildung 4: Geplanter Einsatz von KI anhand verschiedener Anwendungsbereiche	13
Abbildung 5: Hemmnisse für den Einsatz von KI in KMU und GU	14
Abbildung 6: Datenerfassung und -nutzung in einzelnen Unternehmensbereichen	15
Abbildung 7: Digitalisierungsmatrizen für KMU und GU	16
Abbildung 8: Einfluss von KI auf die strategische Ausrichtung und Kompetenzentwicklung	18
Abbildung 9: Empfundener Mehrwert von KI-Anwendungen für KMU und GU	19
Abbildung 10: Nutzung von Cloud-Anbietern für die Umsetzung von KI-Anwendungen	20
Abbildung 11: Reifegrade der eingesetzten KI-Anwendungen für KMU und GU	21
Abbildung 12: Autonomiegrade der eingesetzten KI-Anwendungen für KMU und GU	22
Abbildung 13: Potenzial von KI-Anwendungen in verschiedenen Anwendungsbereichen	23
Abbildung 14: Mehrwert von KI-Anwendungen für KMU und GU in verschiedenen Bereichen	24
Abbildung 15: Prognose für die weitere Entwicklung des KI-Einsatzes in KMU und GU	25
Abbildung 16: Kategorien der Forschungsprogramme	34
Abbildung 17: Anteil der Vorhaben mit KI-Bezug 2010–2020	35
Abbildung 18: Verteilung der Fördergeber nach Fördersumme	35
Abbildung 19: Verteilung der Fördersumme von Fördervorhaben in Bezug auf KI	36
Abbildung 20: Verteilung der Fördersumme von Förderprogrammen in Bezug auf KI	37
Abbildung 21: Gegenüberstellung: KI-Aktivitäten und KI-Bewusstsein von Unternehmen	38
Abbildung 22: Verbesserungspotenziale bei Fördermaßnahmen	40
Abbildung 23: Wirksamkeit öffentlicher Maßnahmen für die Förderung des Einsatzes von KI	41
Abbildung 24: SWOT-Matrix zur Nutzung von KI im Mittelstand	44
Abbildung 25: Prozess von der Problemauswahl bis zur Lösungsimplementierung	46
Abbildung 26: Portfoliomatrix für die Problemselektion	47
Abbildung 27: Zustandskarten-Symbole	49
Abbildung 28: Ist-Zustand in der Zustandskarte	50
Abbildung 29: Soll-Zustand in der Zustandskarte	50
Abbildung 30: Lösungsentwicklung bestehend aus vier Schritten inklusive Checkliste	51
Abbildung 31: Beispielhafte Darstellung der Projektdefinition	51

Verteilung der Branchen der Teilnehmenden

Branche	Anteil der Teilnehmenden
Maschinenbau	31,9%
Herstellung von elektrischen/elektronischen Komponenten/Produkten	11,6%
Herstellung von Metallerzeugnissen	6,6%
Metallerzeugung und -bearbeitung	6%
Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen	5,3%
Luft- und Raumfahrttechnik	4,7%
Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen	4,7%
Sonstiger Fahrzeugbau	3%
Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	3%
Herstellung von chemischen Erzeugnissen	2,7%
Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	1,7%
Herstellung von Druckerzeugnissen	1,7%
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	1,7%
Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, optischen Erzeugnissen	1,3%
Getränkeherstellung	1,3%
Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	1,3%
Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln	1%
Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	1%
Herstellung von sonstigen Waren	1%
Herstellung von Textilien	0,7%
Herstellung von Bekleidung	0,3%
Herstellung von Leder, Lederwaren und Schuhen	0,3%
Tabakverarbeitung	0,3%
Sonstiges	7,0%

Ergebnisse der statistischen Auswertungen des Fragebogens

Für die Durchführung der Signifikanztests wird auf den Zweistichproben t-test und den exakten Fisher Test zurückgegriffen. Alle Aussagen werden unter dem Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ getestet. Es wird auf die Gleichheit der Mittelwerte getestet. **Statistisch signifikante Aussagen sind mit einem Asterisk (*) gekennzeichnet.**

Haben/Hatten Sie in Ihrem Unternehmen KI-Anwendungen im Einsatz oder planen konkret diese einzusetzen?

Kategorie	p-Werte
KMU versus GU	0,00841

Wozu werden aktuell KI-Anwendungen in Ihrem Unternehmen verwendet?

Kategorie	p-Werte
Produkte und Dienstleistungen	0,680402
Automatisierungstechnik (Robotik, Steuerungstechnik, Regelungstechnik, ...)	0,247388
Produktionssteuerung	0,475668
Digitale Assistenzsysteme (Chatbot, Werkerassistenz, ...)	0,475668
Instandhaltung	0,475668
Ressourcenplanung (Produktionsplanung, Nachfrageprognose, Auftragsplanung, Risikomanagement, ...)	0,29003
Produktentwicklung (Konstruktion, Engineering, ...)	0,063948
Qualitätsmanagement und Qualitätskontrolle	0,074288
Logistik (*)	0,038455

Wie schätzen Sie die folgenden Hemmnisse bezüglich der Nutzung von KI in Ihrem Unternehmen ein?

Kategorie	t-Werte	p-Werte
Fehlendes Know-how/fehlende Fachkräfte im Unternehmen	0,279978	0,779997
Mangelnde Datenbasis/Datenqualität	-0,86928	0,386504
Unzureichende digitale Infrastruktur	0,237363	0,812798
Mangelnde Standardisierung und Normung	0,633628	0,527582
Fehlende Marktreife von KI-Lösungen	1,223776	0,223538
Begrenzte finanzielle Ressourcen	-0,07866	0,937438
Fehlende individuelle Lösungen/Standardlösungen sind nicht anwendbar	0,985759	0,326321
Fehlende Geschäftsmodelle	1,409402	0,161415
Verfügbarkeit von KI-Expertinnen und Experten am Arbeits- oder Dienstleistungsmarkt (*)	-2,46997	0,014981
Mangelnde Akzeptanz von KI-Anwendungen unter den Mitarbeitenden	0,314745	0,753525
Datensicherheitsbedenken (*)	-2,54289	0,012322
Fehlende Einbringungsmöglichkeiten/Kommunikationskanäle für Mitarbeitende bei der Auswahl von Anwendungsfeldern	0,679441	0,498224
Fehlende Anwendungsmöglichkeiten (*)	2,089418	0,038875
Mangelnder Support durch das Top-Management des Unternehmens	0,158522	0,874324
Existierende Rechtslage (*)	-2,11294	0,036769
Mangelnde Akzeptanz unter den Kunden	0,889348	0,375673

Digitalisierung in den internen Prozessen versus Digitalisierung in den Produkten und Dienstleistungen

Kategorie	t-Werte	p-Werte
KMU versus GU	-4,27	3,99e-5
KI im Einsatz versus KI nicht im Einsatz	6,53	1,8e-9

Welche der nachfolgend aufgeführten Punkte sind für Ihr Unternehmen zutreffend?

Kategorie	p-Werte
KI hat Einfluss auf unser(e) Geschäftsmodell(e) (*)	0,00834
Der Einsatz von KI ist Teil der Unternehmensstrategie/Vision (*)	0,008717
Das Top-Management unterstützt den Einsatz von KI aktiv (*)	0,002803
Der Aufbau von KI-Kompetenzen bei Mitarbeitenden wird aktiv gefördert	0,120673
Es existiert ein Team/eine Abteilung für die Umsetzung von KI-Projekten (*)	0,000183
Es existieren Expertinnen und Experten für den Einsatz von KI in unserem Unternehmen (*)	4,82E-09
Es wird aktiv auf dem Arbeitsmarkt nach KI-Fachkräften gesucht (*)	1,61E-05

Inwiefern profitiert Ihr Unternehmen vom Einsatz von KI-Anwendungen?

Kategorie	p-Werte
Verbesserung der Arbeitsqualität (*)	0,018965
Gesteigerte Prozesseffizienz	1
Produktinnovation	0,711011
Reduzierung der (Prozess-)Komplexität (*)	0,001184
Verbesserte Außendarstellung gegenüber dem Kunden	1
Entwicklung neuer Geschäftsmodelle	1
Reduzierung von Qualitätskosten (Rückruf, Gewährleistung, Ausschuss)	0,265744
Verbesserte Attraktivität des Unternehmens auf dem Arbeitsmarkt	0,416124



Inwiefern profitiert Ihr Unternehmen vom Einsatz von KI-Anwendungen?

Kategorie	p-Werte
Verringerung des Personalaufwandes	0,716427
Reduzierung von Materialkosten	0,66857
Erschließung neuer Märkte	1
Erhöhung Material- und Energieeffizienz	1
Steigerung der Flexibilität	0,692697
Verbesserte Kommunikation zwischen den Prozessbeteiligten in der Wertschöpfungskette (intern/extern)	0,692697
Optimierung der Preisgestaltung	0,571616
Optimierung der Distribution und Logistik	1
Verbesserter Kundenservice (*)	0,008362

Wie bewerten Sie das Potenzial des Einsatzes von KI-Anwendungen in verschiedenen Anwendungsbereichen?

Kategorie	t-Werte	p-Werte
Produkte und Dienstleistungen (*)	-2,35212	0,020367
Automatisierungstechnik (Robotik, Steuerungstechnik, Regelungstechnik, ...) (*)	-2,32747	0,02169
Ressourcenplanung (Produktionsplanung, Nachfrageprognose, Auftragsplanung, Risikomanagement, ...)	-1,95804	0,052648
Qualitätsmanagement und Qualitätskontrolle (*)	-2,4119	0,017451
Produktionssteuerung	-1,97815	0,050303
Instandhaltung	-1,9654	0,051779
Logistik (*)	-3,97948	0,000121
Digitale Assistenzsysteme (Chatbot, Werkerassistenz, ...) (*)	-2,42388	0,016914
Produktentwicklung (Konstruktion, Engineering, ...) (*)	-2,32684	0,021724

Welche der nachfolgenden Punkte erachten Sie als Mehrwert einer KI-Anwendung für Ihr Unternehmen?

Kategorie	t-Werte	p-Werte
Gesteigerte Prozesseffizienz	-1,35014	0,179621
Reduzierung von Qualitätskosten (Rückruf, Gewährleistung, Ausschuss)	-1,07917	0,282769
Verbesserter Kundenservice (*)	-2,70034	0,007973
Verbesserte Außendarstellung gegenüber dem Kunden	0,075854	0,939667
Verbesserte Kommunikation zwischen den Prozessbeteiligten in der Wertschöpfungskette (intern/extern)	-1,29739	0,197093
Verbesserung der Arbeitsqualität	-1,46567	0,145468
Entwicklung neuer Geschäftsmodelle (*)	-2,72795	0,007373
Produktinnovation	-1,55074	0,123712
Optimierung der Distribution und Logistik (*)	-2,3555	0,020191
Reduzierung der (Prozess-)Komplexität	-0,24707	0,805298
Steigerung der Flexibilität (*)	-2,76968	0,006544
Erschließung neuer Märkte	-1,44985	0,149823
Verringerung des Personalaufwandes (*)	-2,08859	0,038951
Erhöhung Material- und Energieeffizienz (*)	-2,49976	0,013838
Verbesserte Attraktivität des Unternehmens auf dem Arbeitsmarkt	-1,0826	0,281252
Reduzierung von Materialkosten	-1,09565	0,27552
Optimierung der Preisgestaltung (*)	-2,40897	0,017585

In welchen Bereichen sehen Sie Verbesserungspotenzial?

Kategorie	p-Werte
Aufwendige Antragserstellung	0,144732
Ausschreibungen/Bekanntmachungen sind zu schwer zu finden (*)	0,038507
Aufwendige Dokumentationspflichten	0,292259
Hohe Dauer bis zur Entscheidung über Anträge	0,311765
Text der Ausschreibungen/Bekanntmachungen zu umfangreich	0,253125
Intransparenter Bewilligungsprozess	0,786357
Aufwendige Nachweispflicht über finanzielle Ausgaben	0,537037
Unrealistische Anforderungen an Zusammenstellung des Konsortiums	0,572173
Unrealistische Fristsetzung bei der Antragseinreichung	1

Wie bewerten Sie die Wirksamkeit der folgenden öffentlichen Maßnahmen und deren Ergebnisse für die Förderung des Einsatzes von KI in Ihrem Unternehmen?

Kategorie	t-Werte	p-Werte
Finanzielle Bezuschussung von Unternehmen	-1,00916	0,315016
Nationaler Erfahrungsaustausch	-1,07074	0,286528
Qualifizierungsmaßnahmen	-0,94416	0,347065
Standardisierung und Normung	-1,8613	0,065255
Demonstratoren/Demozentren/Testbeds (*)	-3,1442	0,002119
Aufbereitung von Best Practices (*)	-3,02118	0,003104
Schaffung von öffentlich nutzbaren Datenpools/Datenplattformen	-1,06974	0,286976
Leitfäden (*)	-3,1702	0,001953
Info- und Sensibilisierungsmaßnahmen (*)	-2,30844	0,022762
Internationaler Erfahrungsaustausch (*)	-3,36067	0,001056

Literatur

acatech 2020

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften: *Künstliche Intelligenz in der Industrie (acatech HORIZONTE)*, 2020. URL: www.acatech.de/publikation/acatech-horizonte-ki-in-der-industrie/ [Stand: 23.01.2021].

Bauer et al. 2019

Bauer, W./Ganz, W./Hämmerle, M./Renner, T. (Hrsg.): *Künstliche Intelligenz in der Unternehmenspraxis. Studie zu Auswirkungen auf Dienstleistung und Produktion*, 2019. URL: <https://biec.iao.fraunhofer.de/content/dam/iao/biec/documents/Digitalfestival-BeSmart/kuenstliche-intelligenz-in-der-unternehmenspraxis.pdf> [Stand: 24.02.2021].

Biegel et al. 2021

Biegel, T./Bretones Cassoli, B./Hoffmann, F./Jourdan, N.: *AI Management Model*. TU Darmstadt, i. E., 2021.

Bitkom 2020

Bitkom: „Unternehmen tun sich noch schwer mit Künstlicher Intelligenz“ (Pressemitteilung vom 08.06.2020). URL: www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Unternehmen-tun-sich-noch-schwer-mit-Kuenstlicher-Intelligenz [Stand: 07.02.2021].

BMBF 2016

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hrsg.): *Vorfahrt für den Mittelstand: Das Zehn-Punkte-Programm des BMBF für mehr Innovation in kleinen und mittleren Unternehmen*, 2016. URL: www.softwaresysteme.pt-dlr.de/media/content/KMU-Konzept_Vorfahrt_fuer_den_Mittelstand_final.pdf [Stand: 24.02.2021].

BMBF 2018

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hrsg.): *Forschung und Innovation für die Menschen*, 2018. URL: www.hightech-strategie.de/hightech/de/hightech-strategie-2025/hightech-strategie-2025_node.html [Stand: 29.06.2021].

BMWi o. J.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): *Förderdatenbank*, o. J. URL: www.foerderdatenbank.de [Stand: 24.02.2021].

BMWi 2017

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hrsg.): *Richtlinie über die Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung*, 2017. URL: www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/1/igf-richtlinie.pdf?blob=publicationFile&v=6 [Stand: 03.08.2021].

BMWi 2019

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hrsg.): *Wirtschaftsmotor Mittelstand*, 2019. URL: www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Mittelstand/wirtschaftsmotor-mittelstand-zahlen-und-fakten-zu-den-deutschen-kmu.pdf?blob=publicationFile&v=36 [Stand: 24.02.2021].

BMWi 2021a

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hrsg.): *GAIA-X*, 2021. URL: www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/gaia-x.html [Stand: 18.01.2021].

BMWi 2021b

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hrsg.): *go-digital. Den Mittelstand auf dem Weg in die digitale Zukunft begleiten*, 2021. URL: www.innovation-beratung-foerderung.de/INNO/Navigation/DE/go-digital/go-digital.html [Stand: 30.06.2021].

BMWi 2021c

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hrsg.): *go-inno. Schnell von der guten Idee zur erfolgreichen Beratung*, 2021. URL: www.innovation-beratung-foerderung.de/INNO/Navigation/DE/go-inno/go-inno.html [Stand: 30.06.2021].

BMWi 2021d

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hrsg.): *Mittelstand 4.0-Kompetenzzentren unterstützen vor Ort. Informieren, reflektieren, digitalisieren*, 2021. URL: www.mittelstand-digital.de/MD/Redaktion/DE/Artikel/Mittelstand-4-0/mittelstand-40-kompetenzzentren.html [Stand: 30.06.2021].

Bretones Cassoli et al. 2021

Bretones Cassoli, B./Ziegenbein, A./Metternich, J.: *Getting Started: KI zum Nutzen der Industrie vorantreiben*, 2021. URL: www.ingenieur.de/fachmedien/vdi-z/industrie-4-0/getting-started-ki-zum-nutzen-der-industrie-vorantreiben/ [Stand: 10.02.2021].

Bundesanzeiger 2021

Bundesministerium für Justiz und Verbraucherschutz (BMJV): *Bundesanzeiger*, 2021. URL: www.bundesanzeiger.de [Stand: 30.06.2021].

Bundesregierung o. J.

Bundesregierung: *Förderkatalog*, o. J. URL: <https://foerderportal.bund.de/foekat/jsp/StartAction.do> [Stand: 24.02.2021].

Bundesregierung 2018

Bundesregierung: *Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung*, 2018. URL: www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Technologie/strategie-kuenstliche-intelligenz-der-bundesregierung.html [Stand: 03.08.2021].

Bundesregierung 2020

Bundesregierung: „Kabinett beschließt Fortschreibung der KI Strategie der Bundesregierung – KI-Mittel werden von drei auf fünf Milliarden Euro bis 2025 erhöht“ (Pressemitteilung vom 02.12.2020). URL: www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2020/12/20201202-kabinett-beschliesst-fortschreibung-ki-strategie-bundesregierung.html [Stand: 10.02.2021].

Bundesregierung 2021

Bundesregierung: *Digital made in de*, 2021. URL: www.digital-made-in.de/dmide [Stand: 30.06.2021].

BVMW/Mittelstand 4.0 Kompetenzzentrum Berlin 2020

Bundesverband mittelständische Wirtschaft (BVMW)/Mittelstand 4.0 Kompetenzzentrum Berlin: *Anwendung von Künstlicher Intelligenz in KMU*, 2020. URL: https://gemeinsam-digital.de/app/uploads/2020/07/ki-umfrage_bvwm_gd.pdf [Stand: 07.01.2021].

Cervone 2011

Cervone, H.: „Understanding agile project management methods using Scrum“. In: *OCLC Systems & Services: International digital library perspectives*, 27: 1, 2011, S. 18-22. URL: <https://people.eecs.ku.edu/~hossein/Teaching/Sp18/811/Lectures/Misc/Agility/agile-understanding.pdf> [Stand: 30.06.2021].

Cooper/Sommer 2018

Cooper, R./Sommer, A.: „Agile-Stage-Gate for Manufacturers: Changing the Way New Products Are Developed Integrating Agile project management methods into a Stage-Gate system offers both opportunities and challenges“. In: *Research-Technology Management* 61: 2, 2018, S. 17-26.

Deloitte 2020

Deloitte GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft: *State of AI in the Enterprise – 3rd Edition. Ergebnisse der Befragung von 200 AI-Experten zu Künstlicher Intelligenz in deutschen Unternehmen*, 2020. URL: www.deloitte-mail.de/cust-loads/141631293/md_1759242.pdf?sc_src=e-mail_4411477&sc_lid=184874087&sc_uid=dltv01bWv4&sc_lid=1390 [Stand: 24.06.2021]

Destatis 2008

Statisches Bundesamt (Destatis): *Klassifikation der Wirtschaftszweige*, 2008., URL: www.destatis.de/static/DE/dokumente/klassifikation-wz-2008-3100100089004.pdf [Stand: 15.10.2020].

Destatis 2020

Statisches Bundesamt (Destatis): *Produzierendes Gewerbe*, 2020. URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/inhalt.html#sprg236230> [Stand: 07.02.2021].

Elfi.info 2021

ELFI Gesellschaft für Forschungsdienstleistungen mbH: *Servicestelle für Elektronische Forschungsförderinformationen*, 2021. URL: www.elfi.info [Stand: 30.06.2021].

Forschungsbeirat/acatech 2019a

Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0/acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): *Vorstudie zur Entwicklung einer bedarfs- und nutzergerechten Unterstützung von KMU bei der Einführung und Anwendung von Industrie 4.0*, 2019. URL: www.acatech.de/publikation/unterstuetzung-von-kmu-auf-dem-weg-zur-industrie-4-0/ [Stand: 14.01.2021].

Forschungsbeirat/acatech 2019b

Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0/acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): *Themenfelder Industrie 4.0*, 2019. URL: www.acatech.de/publikation/themenfelder-industrie-4-0/ [Stand: 05.10.2021].

Hatiboglu et al. 2019

Hatiboglu, B./Schuler, S./Bildstein, A./Hämmerle, M.: *Einsatzfelder von Künstlicher Intelligenz im Produktionsumfeld*, 2019. URL: http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-5491073.pdf [Stand: 23. Januar 2021].

Helms/Nixon 2010

Helms, M./Nixon, J.: „Exploring SWOT analysis–where are we now? A review of academic research from the last decade“. In: *Journal of strategy and management* 3: 3, 2010, S. 215-251.

Kaufmann/Servatius 2020

Kaufmann, T./Servatius, H.-G.: *Das Internet der Dinge und Künstliche Intelligenz als Game Changer*. Wiesbaden: Springer, 2020, S. 42-49.

Lundborg/Märkel 2019

Lundborg, M./Märkel, C.: *Künstliche Intelligenz im Mittelstand*, 2019. URL: www.mittelstand-digital.de/MD/Redaktion/DE/Publikationen/kuenstliche-intelligenz-im-mittelstand.pdf?blob=publicationFile&v=5 [Stand: 08.12.2020].

McCarthy et al. 2006

McCarthy, J./Minsky, M./Rochester, N./& Shannon, C.: „A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence, August 31, 1955“. In: *AI Magazine* 27: 4, 2006.

MIT Sloan Management Review and BCG 2017

MIT Sloan Management Review and Boston Consulting Group (BCG) (Hrsg.): *Reshaping Business With Artificial Intelligence*, 2017. URL: https://image-src.bcg.com/Images/Reshaping%20Business%20with%20Artificial%20Intelligence_tcm9-177882.pdf [Stand: 10.10.2020].

MIT Sloan Management Review and BCG 2019

MIT Sloan Management Review and Boston Consulting Group (BCG) (Hrsg.): *Winning With AI*, 2019. URL: <https://sloanreview.mit.edu/projects/winning-with-ai/> [Stand: 10.10.2020].

Mittelstand 4.0 Kompetenzzentrum Dortmund 2020

Mittelstand 4.0 Kompetenzzentrum Dortmund: *Künstliche Intelligenz im Mittelstand*, 2020. URL: www.mittelstand-digital.de/MD/Redaktion/DE/Publikationen/zentrum-dortmund-ki-im-mittelstand.pdf?__blob=publicationFile&v=2 [Stand: 15.01.2021].

PAiCE 2018

Begleitforschung PAiCE (Hrsg.): *Potenziale der Künstlichen Intelligenz im produzierenden Gewerbe in Deutschland. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen der Begleitforschung zum Technologieprogramm PAiCE – Platforms | Additive Manufacturing | Imaging | Communication | Engineering*, 2018. URL: www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/potenziale-kuenstlichen-intelligenz-im-produzierenden-gewerbe-in-deutschland.pdf?__blob=publicationFile&v=8 [Stand: 24.06.2021].

Pfohl et al. 2021

Pfohl, H.-C./Ballarini, K./Bamberger, I.: *Betriebswirtschaftslehre der Mittel- und Kleinbetriebe. Größenspezifische Probleme und Möglichkeiten zu ihrer Lösung*, Erich Schmidt Verlag 2021.

Pickton/Wright 1998

Pickton, D./Wright, S.: „What's swot in strategic analysis?“. In: *Strategic change* 7: 2, 1998, S. 101–109.

PwC 2018

PricewaterhouseCoopers GmbH (PwC): *Künstliche Intelligenz in Unternehmen*, 2018. URL: www.pwc.de/de/business-analytics/sizing-the-price-final-juni-2018.pdf [Stand: 07.09.2020].

PwC 2019

PricewaterhouseCoopers GmbH (PwC): *Künstliche Intelligenz in Unternehmen. Eine Befragung von 500 Entscheidern deutscher Unternehmen zum Status quo - mit Bewertungen und Handlungsoptionen von PwC*, 2019. URL: www.pwc.de/de/digitale-transformation/kuenstliche-intelligenz/studie-kuenstliche-intelligenz-in-unternehmen.pdf [Stand: 24.06.2021].

Roscher et al. 2020

Roscher, R./Bohn, B./Duarte, M./Garcke, J.: „Explainable machine learning for scientific insights and discoveries“. In: *IEEE Access* 8, 2020, S. 42200–42216.

Russell et al. 2016

Russell, S./Norvig, P. (Hrsg.): *Artificial intelligence. A modern approach. Third Edition*. Boston: Pearson 2016.

Sarsby 2016

Sarsby, A.: *SWOT analysis: A Guide to Swot for business studies students*. Spectaris Ltd. 2016, S. 13–15.

Stanula et al. 2018

Stanula, P./Ziegenbein, A./Metternich, J.: „Machine learning algorithms in production: A guideline for efficient data source selection“. In: *Procedia CIRP* 78, 2018, S. 261–266.

Wangermann 2020

Wangermann, T.: *KI in KMU. Rahmenbedingungen für den Transfer von KI-Anwendungen in kleine und mittlere Unternehmen*, 2020. URL: www.kas.de/de/analysen-und-argumente/detail/-/content/ki-in-kmu [Stand: 07.02.2021].

Web of Science 2021

Web of Science: *Anzahl der Publikationen in Bezug auf künstliche Intelligenz*, 2021. URL: https://apps.webofknowledge.com/RAMore.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=D5KiS3x7r4t8yPj1urt&qid=1&ra_mode=more&ra_name=PublicationYear&col_Name=WOS&viewType=raMore [Stand: 25.02.2021].

Autorinnen und Autoren

Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich ist seit 2012 Leiter des PTW an der Technischen Universität Darmstadt. Nach seiner Promotion am PTW arbeitete er in verschiedenen leitenden Funktionen in der Industrie im Bereich des Produktionsmanagements. Zuletzt war er Leiter des globalen Produktionssystems bei der Knorr-Bremse AG in München. Prof. Metternich ist Sprecher des Kompetenzzentrums Mittelstand 4.0 Darmstadt.

Tobias Biegel, M. Sc., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am PTW in der Forschungsgruppe Center für industrielle Produktivität (CiP) der Technischen Universität Darmstadt. Im Forschungsschwerpunkt „Data Science und Künstliche Intelligenz in der Produktion“ untersucht er den Einsatz von Deep Learning zur multivariaten statistischen Prozessüberwachung in der diskreten Fertigung.

Beatriz Bretones Cassoli, M. Sc., ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am PTW in der Forschungsgruppe Management industrieller Produktion (MiP) der Technischen Universität Darmstadt. Im Forschungsschwerpunkt „Datengestützte Wertstrom- und Geschäftsmodellinnovation“ beschäftigt sie sich mit der Einführung und Nutzung von Machine Learning in Produktionsprozessen.

Felix Hoffmann, M. Sc., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am PTW in der Forschungsgruppe Management industrieller Produktion (MiP) der Technischen Universität Darmstadt. Im Forschungsschwerpunkt „Datengestützte Wertstrom- und Geschäftsmodellinnovation“ entwickelt er KI-basierte Geschäftsmodelle für die Produktion.

Nicolas Jourdan, M. Sc., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am PTW in der Forschungsgruppe Center für industrielle Produktivität (CiP) der Technischen Universität Darmstadt. Im Forschungsschwerpunkt „Data Science und Künstliche Intelligenz in der Produktion“ beschäftigt er sich mit dem Einsatz von Machine Learning zur Prozessüberwachung und -optimierung.

Jannik Rosemeyer, M. Sc., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am PTW in der Forschungsgruppe Center für industrielle Produktivität (CiP) der Technischen Universität Darmstadt. Im Forschungsschwerpunkt „Data Science und Künstliche Intelligenz in der Produktion“ entwickelt er Ansätze zur Befähigung produktionsnaher Mitarbeiter und Führungskräfte für den Einsatz von KI-Technologien.

Patrick Stanula, M. Sc., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am PTW in der Forschungsgruppe Management industrieller Produktion (MiP) der Technischen Universität Darmstadt. Im Forschungsschwerpunkt „Datengestützte Wertstrom- und Geschäftsmodellinnovation“ erarbeitet er verschleißbasierte Bezahlmodelle für Werkzeugmaschinen.

Amina Ziegenbein, M. Sc., M. Sc., ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am PTW in der Forschungsgruppe Management industrieller Produktion (MiP) der Technischen Universität Darmstadt. Im Forschungsschwerpunkt „Datengestützte Wertstrom- und Geschäftsmodellinnovation“ beschäftigt sie sich mit dem Einsatz von KI-gestützter Datenanalyse im Bereich der Qualitätssicherung.

Befragte Expertinnen und Experten

Prof. Eberhard Abele, PTW TU Darmstadt

Prof. Thomas Bauernhansl, IFF Universität Stuttgart und Fraunhofer IPA

Prof. Kristian Kersting, Artificial Intelligence and Machine Learning Lab TU Darmstadt

Prof. Gisela Lanza, wbk Karlsruher Institut für Technologie

Prof. Joachim Metternich, PTW TU Darmstadt

Prof. Wilfried Sihn, IMW TU Wien

Dr. Alexander Arndt, Laserline GmbH

Dr. Jörg Baldauf, Adesso Mobile Solutions GmbH

Klaus Bauer, TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG

Rene Buß, Sensitec GmbH

Christian Büttner, Altair Engineering GmbH

Dr. Vitali Dejkun, Coherent Inc.

Dr. Rene Fassbender, OmegaLambdaTec GmbH

Thomas Fröse, atlan-tec Systems GmbH

Thomas Hagemann, b_digital Unternehmensgruppe

Dr. Werner Kraus, Fraunhofer IPA

Dr. Jens Ottnad, Trumpf Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG

Dr. Eike Permin, SMS-Digital GmbH

Dr. Rolf Slatter, Sensitec GmbH

Dr. Sven Spieckermann, SimPlan AG

Mitglieder des Forschungsbeirats

Vertreterinnen und Vertreter der Wissenschaft

Prof. Reiner Anderl, TU Darmstadt

Prof. Thomas Bauernhansl, Universität Stuttgart/
Fraunhofer IPA

Prof. Manfred Broy, TU München

Prof. Angelika Bullinger-Hoffmann, Technische
Universität Chemnitz

Prof. Claudia Eckert, TU München/Fraunhofer AISEC

Prof. Ulrich Epple, RWTH Aachen

Prof. Alexander Fay, Helmut-Schmidt-Universität
Hamburg

Prof. Jürgen Gausemeier, Universität Paderborn

Prof. Hartmut Hirsch-Kreinsen, TU Dortmund

Prof. Gerrit Hornung, Universität Kassel

Prof. Gisela Lanza, Karlsruher Institut für Technologie

Prof. Peter Liggesmeyer, TU Kaiserslautern/Fraunhofer
IESE

Prof. Wolfgang Nebel, Universität Oldenburg/OFFIS

Prof. Sabine Pfeiffer, Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Prof. Frank Piller, RWTH Aachen

Prof. Thomas Schildhauer, Alexander von Humboldt
Institut für Internet und Gesellschaft/Institute of
Electronic Business

Prof. Rainer Stark, TU Berlin/Fraunhofer IPK

Prof. Michael ten Hompel, TU Dortmund/Fraunhofer IML

Prof. Wolfgang Wahlster, Deutsches Forschungszentrum
für Künstliche Intelligenz GmbH

Vertreterinnen und Vertreter der Industrie

Klaus Bauer, TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH &
Co. KG

Wilfried Bauer, T-Systems International GmbH

Stefan-Maria Creutz, BIZERBA SE & Co. KG

Dr. Jan-Henning Fabian, ABB AG

Dr. Ursula Frank, Beckhoff Automation GmbH & Co. KG

Dr. Christina Franke, Robert Bosch GmbH

Dietmar Goericke, Verband Deutscher Maschinen und
Anlagenbau e. V.

Prof. Torsten Kröger, Intrinsic

Dr. Uwe Kubach, SAP SE

Prof. Peter Post, Festo AG & Co. KG

Dr. Harald Schöning, Software AG

Dr. Georg von Wichert, Siemens AG

Dr. André Walter, Airbus Operations GmbH

