# 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

iit – Institut für Innovation und Technik
in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Steinplatz 1
10623 Berlin

# Impressum


## Herausgeber
Begleitforschung PAiCE
iit-Institut für Innovation und Technik in der VDI / VDE Innovation + Technik GmbH
Peter Gabriel
Steinplatz 1
10623 Berlin
gabriel@iit-berlin.de

## Autoren
Dr. Inessa Seifert
Dr. Matthias Bürger
Dr. Leo Wangler
Dr. Stephanie Christmann-Budian
Dr. Marieke Rohde
Peter Gabriel
Guido Zinke

## Gestaltung
Loesch*Hund*Liepold
Kommunikation GmbH
Hauptstraße 28 | 10827 Berlin
paice@lhlk.de

## Stand
Juli 2018

## Bilder
Begleitforschung PAiCE

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

# Inhalt

Management Summary . . . . . 5

**1 Einleitung . . . . . 8**

**2 Studiendesign . . . . . 10**

2.1 Analytisches Vorgehen . . . . . 10
2.2 Analysedimensionen . . . . . 11
2.2.1 Wertschöpfungsstufen des produzierenden Gewerbes . . . . . 12
2.2.2 KI-Anwendungen . . . . . 13
2.2.3 KI-Technologien . . . . . 14

**3 Studien zum wirtschaftlichen Potenzial der KI . . . . . 16**

3.1 KI-Einsatz in der Wirtschaft . . . . . 16
3.1.1 Zentrale KI-Einsatzfelder . . . . . 16
3.1.2 Aktueller Einsatz von KI-Technologien in zentralen KI-Anwendungen . . . . . 17
3.2 Potenzial künstlicher Intelligenz für Wertschöpfung und Produktivität . . . . . 18
3.3 Hochrechnung des KI-induzierten Wachstumspotenzials . . . . . 19

**4 Einschätzungen und Erwartungen von KI-Anbietern und -Anwendern im produzierenden Gewerbe . . . . . 21**

4.1 Potenziale von KI-Anwendungen und -Technologien . . . . . 21
4.1.1 Potenzial der KI-Anwendungen . . . . . 21
4.1.2 Zuordnung von KI-Technologien und KI-Anwendungen . . . . . 23
4.2 Der aktuelle Einsatz von KI im produzierenden Gewerbe . . . . . 24
4.2.1 Derzeitiger Einsatz von KI entlang der Wertschöpfungskette . . . . . 24
4.2.2 Kooperation mit externen Dienstleistern . . . . . 27
4.2.3 Relevante Systemvoraussetzungen . . . . . 28
4.3 Auswirkungen des KI-Einsatzes . . . . . 32
4.3.1 Erwartungen zum zukünftigen Einsatz entlang der Wertschöpfungskette . . . . . 32
4.3.2 Erwartungen an die Kooperation mit externen Dienstleistern . . . . . 35
4.3.3 Einschätzung der Akteure zur Wettbewerbsfähigkeit . . . . . 36

**5 Der Technologietransfer für KI in Deutschland . . . . . 39**

5.1.1 Wissenschaftlicher Output . . . . . 39
5.1.2 Start-ups . . . . . 40
5.1.3 Räumliche Verteilung von Akteuren der Grundlagenforschung und des Technologietransfers . . . . . 42

**6 China im Fokus . . . . . 45**

6.1 Wichtige Planungs- und Programmdokumente . . . . . 47

**7 Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen . . . . . 51**

7.1 Stärken/Schwächenanalyse . . . . . 51
7.2 Empfehlungen an die Politik . . . . . 52
7.2.1 Technologische Potenziale . . . . . 52
7.2.2 Wertschöpfungspotenziale . . . . . 53
7.2.3 Technologietransfer . . . . . 54
7.2.4 Systemvoraussetzungen . . . . . 54
7.2.5 Internationale Wettbewerbsfähigkeit . . . . . 55

**A Appendix - Nähere Beschreibung der KI-Technologien . . . . . 56**

A.1 Verhaltensorientierte KI-Technologien . . . . . 57
A.2 Rational denkende und handelnde Systeme . . . . . 60
A.3 Biologisch inspirierte Hardware-Systeme . . . . . 62

**Literaturverzeichnis . . . . . 63**

# Management Summary

Die Künstliche Intelligenz (KI) gilt gemeinhin als zukünftige Schlüsseltechnologie und birgt als solche ein erhebliches volkswirtschaftliches Potenzial. Unterschiedliche Studien zielen bereits darauf ab, dieses Potenzial zu erfassen. Keine dieser Untersuchungen fokussiert jedoch bisher explizit das produzierende Gewerbe in Deutschland, obwohl dieses eine der wichtigen Säulen der deutschen Volkswirtschaft darstellt. Die vorliegende Studie hat daher zum Ziel, die Potenziale der KI im produzierenden Gewerbe in Deutschland zu erfassen. Zu diesem Zweck werden die Einschätzungen von KI-Anbietern, potenziellen KI-Anwendern[1] (Großunternehmen und KMU des produzierenden Gewerbes) sowie von Forscherinnen und Forschern auf dem Gebiet der KI gegenübergestellt. Im Unterschied zu vorherigen Untersuchungen wird dabei zwischen den grundlegenden KI-Technologien, den konkreten KI-Anwendungen und den Wertschöpfungsstufen des produzierenden Gewerbes differenziert. So ermöglicht die Studie eine Bestandsaufnahme der derzeitigen Implementierung der KI, die Erfassung relevanter Systemvoraussetzungen sowie die Identifizierung der wichtigsten Wertschöpfungspotenziale innerhalb der nächsten fünf Jahre. Die Ergebnisse sind abschließend in einer Analyse der Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken für das verarbeitende Gewerbe in Deutschland zusammengefasst und in Handlungsempfehlungen gebündelt.

Die zentralen Ergebnisse der Studie lauten wie folgt:

- Die KI weist ein hohes Potenzial für die zukünftige Wertschöpfung im produzierenden Gewerbe auf. Innerhalb der nächsten fünf Jahre ist mit dem Einsatz der KI im produzierenden Gewerbe in Deutschland eine zusätzliche Bruttowertschöpfung in Höhe von ca. 31,8 Mrd. Euro verbunden. Dies entspricht etwa einem Drittel des gesamten Wachstums des produzierenden Gewerbes in Deutschland innerhalb dieses Zeitraums.

- Forschung und Entwicklung (FuE), Service/Kundendienst, Produktion, Marketing/Vertrieb und Planung sind die wichtigsten zukünftigen Anwendungsbereiche innerhalb der Wertschöpfungskette des produzierenden Gewerbes.

- Das größte Potenzial bieten dabei die KI-Anwendungen Predictive Analytics, Intelligente Assistenzsysteme, Robotik, Intelligente Automatisierung sowie Intelligente Sensorik.

- Computer Vision, Machine Learning sowie Aktionsplanung und Optimierung sind als Querschnittstechnologien von besonderer Bedeutung. Vor allem Machine Learning spielt in allen KI-Anwendungen eine entscheidende Rolle.

- Durchschnittlich 25 % der Großunternehmen (GU) aber nur 15 % der KMU geben an, in den jeweiligen Wertschöpfungsstufen bereits KI-Technologien einzusetzen. Die Mehrheit der Unternehmen des produzierenden Gewerbes rechnet mit einem stark wachsenden Einsatz von KI-Technologien in allen Wertschöpfungsstufen in den nächsten 5 Jahren.

- Der Automatisierungsgrad zur Steuerung der Prozesse durch autonom entscheidende Systeme auf Basis von KI ist bisher noch äußerst gering. Insgesamt wird

1 Die Begriffe Anbieter und Anwender werden im Rahmen dieser Studie zur Bezeichnung und Abgrenzung von Unternehmen, nicht aber von Personen verwendet. Im nachfolgenden Text wird daher ausschließlich die männliche Form benutzt

der Automatisierungsgrad aber über alle Wertschöpfungsstufen hinweg deutlich zunehmen.

- Großunternehmen setzen insbesondere in Produktion und Logistik sowie in der F&E auf externe KI-Anbieter. KMU sind diesbezüglich noch deutlich zurückhaltender.

- Zentrale Systemvoraussetzungen für den Einsatz der KI im verarbeitenden Gewerbe sind Robustheit der Algorithmen, Datenqualität, Datenhoheit und -zugang, Sicherheit sowie die Nutzung von Sensorik und Cloud Computing. Anwender betonen zudem Aspekte wie Sicherheit und Interoperabilität. Ein zentrales Hemmnis für den Einsatz der KI ist der Mangel an Fachkräften und internen Kompetenzen.

- Die Unternehmen des produzierenden Gewerbes rechnen daher mit einer starken Zunahme der Zusammenarbeit mit externen KI-Anbietern. Insbesondere KMU wünschen sich eine europäische Technologiesouveränität und bevorzugen deutlich die Kooperation mit Anbietern aus Deutschland oder Europa. Doch nur die wenigsten Anbieter sind sich dieses Standortvorteils bewusst.

- Nach Einschätzung der befragten Akteure ist Deutschland im internationalen Vergleich bei den KI-Anwendungen Qualitätskontrolle, Intelligente Automatisierung und Intelligente Sensorik führend. Den USA wird insbesondere bei den KI-Anwendungen Predictive Analytics, Intelligente Assistenzsysteme, Wissensmanagement sowie Autonomes Fahren und Fliegen eine führende Rolle zugesprochen.

- Bei der Forschung zu KI-Technologien sind die USA in nahezu allen Bereichen sehr gut aufgestellt, allein beim Natural Language Processing und der Kognitiven Modellierung sehen die Forscherinnen und Forscher Deutschland in einer führenden Rolle. Damit sind die USA der Hauptwettbewerber mit Blick auf das Angebot an KI-Produkten und Dienstleistungen. Eine Intensivierung des Wettbewerbs wird zukünftig jedoch im Wesentlichen von Anbietern aus China erwartet.

- Die Studie verdeutlicht Stärken im Bereich der Grundlagenforschung in Deutschland, insbesondere in den Bereichen Natural Language Processing sowie Kognitive Modellierung. Als Schwäche lässt sich jedoch zum Teil der Transfer der Forschungsergebnisse in die Wirtschaft erkennen. Eine zentrale Schwachstelle bilden dabei insbesondere die sehr geringen Ausgründungen aus dem Wissenschaftssystem heraus. Gerade im internationalen Vergleich wird diese Schwäche offensichtlich.

- Deutschland fällt aktuell im internationalen Vergleich der KI-Publikationen leicht zurück. Andere Länder scheinen ihre FuE-Bemühungen im Bereich KI derzeit stärker zu forcieren als es in Deutschland der Fall ist.

Damit ergeben sich folgende Handlungsbedarfe:

- Um die internationale Wettbewerbsfähigkeit des deutschen Innovationssys-

tems weiterhin zu gewährleisten, sind auch in Deutschland die Forschungsaktivitäten weiter zu verstärken. Dabei sind KI-Technologien mit Querschnittscharakter (Computer Vision, Maschinelles Lernen, Aktionsplanung und Optimierung) gezielt zu fördern.

- Dabei sollten die spezifischen Belange von KMU gezielt adressiert werden, etwa die für sie wichtigen KI-Anwendungen wie Wissensmanagement und Qualitätskontrolle.
- Im Hinblick auf die Stärkung der Anbieterseite gilt es insbesondere Unternehmensgründungen im Bereich KI zu unterstützen.
- Darüber hinaus ist es notwendig, die Informationslage zu Anbietern, Dienstleistern und FuE-Kooperationspartnern gezielt zu verbessern und gebündelte Informationen zu Use-Cases und Best-Practices zur Verfügung zu stellen.
- Bei der Planung von politischen Programmen und Initiativen muss der Fokus darauf liegen, bestehende Umsetzungshemmnisse zu reduzieren. Hierbei sollten insbesondere Themen wie Datenzugang, Datenqualität, IT-Sicherheit und Interoperabilität als zentrale Systemvoraussetzungen adressiert werden.
- Zusätzlich sollte der schnelle Auf- und Ausbau der beruflichen und akademischen Bildung sowie von Weiterbildungs- und Schulungsangeboten für KI-Themen fokussiert werden.
- Deutsche KI-Anbieter sollten verstärkt in geförderte Verbundvorhaben sowie Leuchtturmprojekte einbezogen werden, um die Technologiesouveränität im Bereich KI zu gewährleisten.

| Kennzahl | Wert |
|---|---|
| Mittleres KI-induziertes jährliches Wachstum im produzierenden Gewerbe in Deutschland bis 2023 | 0,69 % |
| Zusätzliche Bruttowertschöpfung aufgrund des KI-Einsatzes im produzierenden Gewerbe in Deutschland (kumuliert bis 2023) | 31,8 Mrd. € |
| Anteil der befragten Unternehmen im produzierenden Gewerbe in Deutschland, die bereits heute in den jeweiligen Wertschöpfungsstufen KI-Technologien einsetzen | 8 % (Finanzen/Steuern/Recht) bis 36 % (FuE) |
| Anteil der Unternehmen, die bis 2023 in den jeweiligen Wertschöpfungsstufen den Einsatz von KI-Technologien planen | 40 % (Finanzen/Steuern/Recht) bis 69 % (Service/Kundendienst, FuE) |
| Anteil der Unternehmen, die derzeit in den jeweiligen Wertschöpfungsstufen mit externen KI-Dienstleistern arbeiten, insofern sie KI-Technologien einsetzen | 19 % (Personalwirtschaft) bis 40 % (Marketing/Vertrieb) |
| Anteil aller Unternehmen, die bis 2023 in den einzelnen Wertschöpfungsstufen planen mit externen KI-Dienstleistern zu arbeiten | 53 % (Planung, Finanzen/Steuern/Recht) bis 68 % (Service/Kundendienst) |

Tabelle 1: Zentrale Kennzahlen zum Einsatz von KI im produzierenden Gewerbe in Deutschland

# 1 Einleitung

Im Einsatz der Künstlichen Intelligenz (KI) im produzierenden Gewerbe, einem der führenden Wirtschaftszweige in Deutschland, liegt ein erhebliches Wachstumspotenzial. Ein wesentlicher Grund dafür ist die Digitalisierung der industriellen Produktion, die in den vergangenen Jahren unter dem Leitbild Industrie 4.0 von Wirtschaft, Politik und Wissenschaft massiv vorangetrieben wurde. Bedeutendes Charakteristikum der voranschreitenden Digitalisierung in der industriellen Produktion ist die horizontale und vertikale Vernetzung von Produktions- und Nutzungsprozessen, und das über Unternehmensgrenzen hinweg. Statt eines zentralisierten Planungssteuerungssystems erhält nun jedes Bauteil in einer intelligenten Fabrik ein Produktgedächtnis, welches eine hohe Flexibilität durch eine dynamische dezentrale Optimierung der einzelnen Produktions- und Nutzungsprozesse ermöglicht. Insgesamt können die Unternehmen so besser auf Marktveränderungen und Kundenwünsche reagieren.

Dabei fallen beachtliche Datenmengen an, die für die Prozesse im Unternehmen, die Entwicklung neuer Produkte und/oder neuer Geschäftsmodelle einen hohen Mehrwert stiften.[2] Aufgrund der Masse an Daten und der gestiegenen Komplexität der Prozesse ist eine Auswertung mit herkömmlichen Analyse- und Optimierungsverfahren nicht mehr zu bewerkstelligen. Um dieses Innovationspotenzial zu heben, sind die zentralen Eigenschaften von Systemen mit KI wie Lern- und Adaptionsfähigkeit gefordert.

Allgemein wird von Systemen mit Künstlicher Intelligenz ein Verhalten erwartet, das bisher in erster Linie Wesen mit natürlicher Intelligenz und insbesondere Menschen zu eigen war. Entscheidend ist dabei die Fähigkeit, mit neuen Situationen erfolgreich umzugehen, neue Daten oder neue Informationen zu verarbeiten, aus dem verfügbaren Wissen zu schlussfolgern und damit neues Wissen zu generieren, neue Aufgaben zu lösen oder auch in neuen, zuvor unbekannten Umgebungen selbstständig zu agieren. Genau diese Fähigkeit unterscheidet KI-Systeme von klassischen regelbasierten IT-Systemen, die bei jeder kleinsten Veränderung der Aufgabenstellung neu programmiert werden müssen.[3]

Wie groß ist aber tatsächlich das Potenzial der KI für das produzierende Gewerbe, jenseits aller hehren Zukunftsvisionen? Zwar gibt es bereits eine Reihe aktueller Studien zum Einsatz von Künstlicher Intelligenz in der Wirtschaft, die die Wirkungen auf die einzelnen Branchen analysieren und das Potenzial in verschiedenen Anwendungsfeldern adressieren, u. a. von Sopra Steria Consulting (2017), Purdy und Daugherty (2017) und Chen et al. (2017), noch fehlt aber eine intensive Betrachtung des verarbeitenden Gewerbes. An dieser Stelle setzt diese Studie an und stellt den Einsatz der KI in den produzierenden Unternehmen in den Fokus.

Bei Schlüsseltechnologien wie der Künstlichen Intelligenz kommt für eine Volkswirtschaft auch deren Beherrschung eine große Bedeutung zu, um Abhängigkeiten zu vermeiden oder zumindest zu mildern. Die Studie betrachtet daher auch die Rolle der deutschen KI-Anbieter für das produzierende Gewerbe im internationalen Wettbewerb. Um die aktuelle Diskussion der technologischen Leistungsfähigkeit für KI aufzugreifen, wird abschließend der Blick etwas geweitet und nach den Besonderheiten des Transfers dieser Technologie von der Forschung in die Wirtschaft in Deutschland gefragt.

2 Dabei handelt es sich insbesondere um sogenannte Maschinendaten, welche kontinuierlich durch Produktions- und Nutzungsprozesse anfallen.

3 Im Anhang werden die Ansätze in der KI-Forschung differenziert erläutert, wobei insbesondere auch auf ihre Reichweite und Beschränkungen eingegangen wird.

Zentrale Leifragen der Studie sind damit:

- Welche KI-Anwendungen und -Technologien sind bereits heute im produzierenden Gewerbe in Deutschland im Einsatz und wie verändert sich dieses Bild in Zukunft?
- Welche Voraussetzungen müssen gegeben sein, damit der breite KI-Einsatz bei den Unternehmen des produzierenden Gewerbes tatsächlich stattfinden kann?
- Wie wird die Rolle deutscher KI-Technologieanbieter in diesem Anwendungsfeld wahrgenommen?
- Gibt es im Bereich der KI im internationalen Vergleich deutsche Besonderheiten beim Technologietransfer von der Forschung in die Wirtschaft?

Der Kern der Studie ist ein systematisches Mapping von KI-Technologien und KI-Anwendungen auf die verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette im produzierenden Gewerbe. Auf dieser konzeptionellen, methodischen Basis wurden produzierende Unternehmen, Technologieanbieter sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Dezember 2017 und Januar 2018 in einer Online-Umfrage nach ihren Einschätzungen befragt.

Die Studie erhebt nicht den Anspruch, die Potenziale der KI allumfassend zu analysieren und darzustellen. Themen wie die Auswirkungen der KI auf den Arbeitsmarkt oder auch ethische Fragestellungen in Bezug auf den Einsatz von KI, Nachvollziehbarkeit der KI-Verfahren zum Maschinellen Lernen und damit zusammenhängende rechtliche Haftungsfragen werden in der Literatur und im öffentlichen Diskurs bereits diskutiert. Aufgrund der Breite der Thematik bleiben diese und weitere Themen wie bspw. KI-spezifische Geschäftsmodelle (z. B. Machine Learning as a Service), in der vorliegenden Studie unberücksichtigt. Ein Kapitel widmet sich aber dem Thema KI in China. China wandelt sich zu einem modernen Industriestandort und setzt dabei auch massiv auf den Einsatz Künstlicher Intelligenz. Diese Entwicklung, die in der öffentlichen Debatte gelegentlich etwas untergeht, ist gerade für Deutschland von hohem Interesse.

Im folgenden Kapitel 2 wird zunächst das Studiendesign und dessen analytischer Rahmen vorgestellt. Kapitel 3 präsentiert die Erkenntnisse bisher veröffentlichter Studien zum Einsatz von KI in der Wirtschaft sowie zu den sich daraus ergebenden Wertschöpfungspotenzialen. Darauf aufbauend wird eine Hochrechnung des KI-induzierten Wachstumspotenzials im produzierenden Gewerbe in Deutschland für die nächsten fünf Jahre abgeleitet. Die Ergebnisse der Online-Befragung werden in Kapitel 4 vorgestellt. Kapitel 5 beleuchtet den Technologietransfer von der Forschung in die Wirtschaft für künstliche Intelligenz in Deutschland. Kapitel 6 beleuchtet aktuelle Entwicklungen zur KI in China. Kapitel 7 schließt mit einer Zusammenfassung in Form einer SWOT-Analyse und liefert Handlungsempfehlungen.

Die Autorinnen und Autoren danken allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern der Online-Befragungen sowie den Expertinnen und Experten, die in Telefoninterviews Auskunft bzw. in einem Validierungs-Workshop wertvolles Feedback gegeben haben.

# 2 Studiendesign

## 2.1 Analytisches Vorgehen

Um die für die Studie definierten Ziele zu erreichen, wurden unterschiedliche, aufeinander aufbauende Methoden angewendet, welche in Abbildung 1 dargestellt sind. Zunächst waren im Rahmen einer Umfeldanalyse relevante ökonomische Studien und KI-Fachpublikationen auszuwerten. Für die Analyse der KI-Forschungs- und Start-up-Landschaft in Deutschland erwiesen sich zudem zentrale Datenbanken wie das Web of Science, der Förderkatalog des Bundes und die Datenbasis der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) sowie die Start-up-Datenbank Crunchbase als wichtige Quellen. Ergänzend dazu wurden im September und Oktober 2017 standardisierte Telefoninterviews mit insgesamt 22 Vertreterinnen und Vertretern aus der KI-Forschung, dem verarbeitenden Gewerbe sowie KI-Technologieanbietern und relevanten Multiplikatoren durchgeführt.

Aus der Umfeldanalyse heraus waren die für die weitere Studie relevanten Begrifflichkeiten zu definieren. Dabei wurden zunächst die Akteure des KI-Innovationssystems in Deutschland sowie wichtige Systemvoraussetzungen für den Einsatz von KI im produzierenden Gewerbe benannt. Außerdem wurden die für die nachfolgende Online-Befragung zentralen Untersuchungsebenen bestimmt. Dies sind die Wertschöpfungsstufen des verarbeitenden Gewerbes, die KI-Anwendungen, welche dort zum Einsatz kommen (können) sowie die KI-Technologien, auf denen diese Anwendungen beruhen.

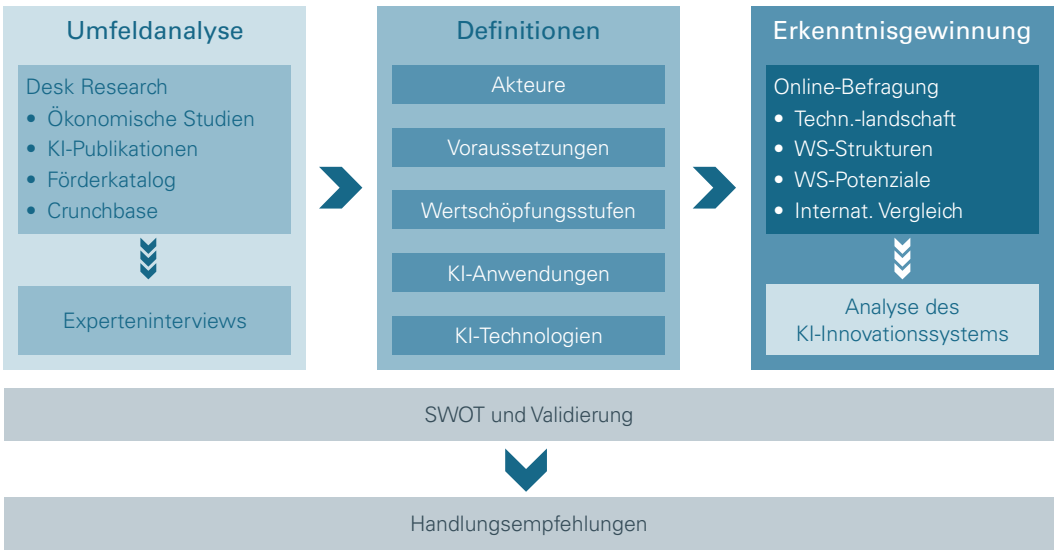



Abbildung 1: Vorgehensweise bei der Erstellung der Studie

Von Dezember 2017 bis Ende Januar 2018 fand schließlich die eigentliche Online-Befragung statt. Befragt wurde eine repräsentative Stichprobe bestehend aus 230 Personen, von denen 90 Anwender aus dem verarbeitenden Gewerbe, 63 Anbieter von KI-Technologien sowie 77 Vertreterinnen und Vertreter aus der Wissenschaft waren. Die Zuordnung erfolgte durch Filterfragen zu Beginn des Fragebogens. Zur Akquise der Befragungsteilnehmerinnen und -teilnehmer wurden drei Quellen genutzt:

- die Markus-Datenbank von Creditreform[4], um Kontaktinformationen zu Unternehmen zu erhalten,
- Verteiler der Wirtschaftsverbände bzw. der technisch-wissenschaftlichen Vereine Bitkom (Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien), VDI (Verein Deutscher Ingenieure), VDE (Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik) und ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie) sowie
- ein Verteiler der Teilnehmerinnen und Teilnehmer der vom BMWi geförderten Technologieprogramme PAiCE, Smart Service Welt und AUTONOMIK für Industrie 4.0[5].

Ergänzend konnten verschiedene forschungsorientierte Institutionen aus dem Umfeld des iit, wie z. B. acatech (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften) und die Mitglieder verschiedener Exzellenzcluster für die Verbreitung des Online-Fragebogens gewonnen werden.

Aufbauend auf den Erkenntnissen der Online-Befragung sowie der vorhergehenden Umfeldanalyse konnte letztlich eine Analyse des KI-Innovationssystems in Deutschland vorgenommen werden. Der Anspruch hierbei war jedoch nicht die vollständige Abbildung dieses Innovationssystems. Vielmehr lag der Fokus auf dem Technologietransfer aus der Wissenschaft in die Wirtschaft.

Im Februar 2018 wurden die gewonnenen Erkenntnisse im Rahmen eines Workshops ausgewählten Expertinnen und Experten aus Wissenschaft und Wirtschaft präsentiert und im Diskurs validiert. Aus den Ergebnissen aller Teilschritte heraus wurden abschließend konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet.

## 2.2 Analysedimensionen

Den Einsatz der KI in der Wirtschaft charakterisiert ein hoher Komplexitätsgrad, da die KI als Querschnittstechnologie zu verstehen ist, welche in ganz unterschiedlichen Unternehmensbereichen zum Einsatz kommen kann. Auch die Anwendungsgrade können sich dabei zum Teil erheblich voneinander unterscheiden. Um trotz dieser Komplexität den Einsatz der KI im produzierenden Gewerbe erfassen zu können, wurde im Rahmen dieser Studie ein Stufenmodell entwickelt (vgl. Abbildung 2). Dieses Stufenmodell bildet die Ausgangsbasis zur Strukturierung des Online-Fragebogens und grenzt dabei drei KI- bzw. unternehmensbezogene Ebenen voneinander ab: Wertschöpfungsstufen, KI-Anwendungen und KI-Technologien. Auf Basis dieser Unterscheidung lässt sich der Einsatz der KI im produzierenden Gewerbe näher betrachten. In den folgenden Unterabschnitten werden die hier dargestellten Ebenen genauer definiert.

4 https://www.creditreform.de/leistungen/marketing-services/neukundengewinnung/markus.html
5 Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Technologieprogramme können teilweise als Early Adopters bezeichnet werden, was zu einem gewissen Bias führt. Jedoch ist davon auszugehen, dass diese Unternehmen als Trendsetter eine Richtung vorgeben, welche andere Firmen später ebenfalls einschlagen werden.

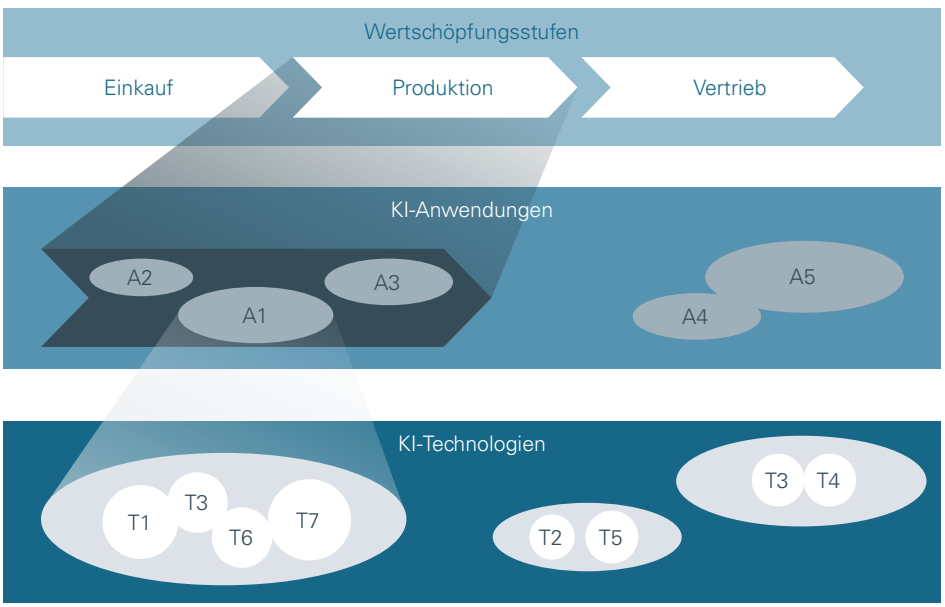



Abbildung 2: Stufenmodell des KI-Einsatzes im produzierenden Gewerbe (Quelle: iit)

### 2.2.1 Wertschöpfungsstufen des produzierenden Gewerbes

Zur Erfassung der Potenziale der KI mit Blick auf die unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen der Unternehmen wurde eine an Porter (1985) angelehnte Wertschöpfungskette definiert. Diese unterscheidet zwischen Querschnittsaktivitäten und Kernaktivitäten. Als Querschnittsaktivitäten sind Aktivitäten zu verstehen, die für alle Bereiche der Unternehmung relevant sind (z. B. Forschung und Entwicklung). Die Kernaktivitäten wiederum sind Aktivitäten, die sequentiell aufeinander aufbauend den Produktionsprozess abbilden (z. B. Einkauf/Beschaffung, Produktion etc.). Abbildung 3 stellt die Wertschöpfungskette grafisch dar.[6]

Abbildung 3: Wertschöpfungsstufen des produzierenden Gewerbes (Quelle: iit, in Anlehnung an Porter 1985)

6 Im Unterschied zu Porter (1985) wird in dieser Studie die Logistik nicht in Eingangs- und Ausgangslogistik unterteilt, sondern vielmehr als Inter- und Intralogistik im Sinne einer Querschnittsaktivität verstanden. Da für die operative und strategische Planung ggf. andere KI-Systeme zum Einsatz kommen als im Bereich Finanzen, Steuern und Recht, wurden letztere auch als getrennte bereichsübergreifende Querschnittsaktivitäten definiert. Ein weiterer Unterschied zu Porter besteht in der Definition von Einkauf und Beschaffung als Kernaktivität der Unternehmung. Dadurch lässt sich der Produktionsprozess als zeitliche Abfolge der Kernaktivitäten interpretieren.

### 2.2.2 KI-Anwendungen

Die zweite relevante Ebene zur Erfassung der Potenziale der KI bilden die KI-Anwendungen. Da in der Literatur die Begriffe Anwendungen und Technologien häufig synonym Verwendung finden, wurden für die Zwecke dieser Studie KI-Anwendungen wie folgt definiert:

> KI-Anwendungen sind für die Wertschöpfung des verarbeitenden Gewerbes relevante Anwendungsfälle Künstlicher Intelligenz, die auf mindestens einer KI-Technologie beruhen.

Auf dieser Definition aufbauend wurden neun relevante KI-Anwendungen identifiziert.[7] Deren Definition erfolgte dabei bewusst Wertschöpfungsstufen-übergreifend. Beispielsweise lassen sich Vorhersagemodelle (sog. Predictive Analytics) nicht nur im Bereich Wartung (als Predictive Maintenance), sondern auch zur Beschaffung oder Produktionsplanung einsetzen. Durch diese Überschneidungen lässt sich das Potenzial der KI-Anwendungen wertschöpfungsspezifisch erfassen. Tabelle 2 listet die für die Studie relevanten KI-Anwendungen auf und verdeutlicht, welche weiteren Unteranwendungen jeweils darunter subsummiert wurden.

7 Die KI-Anwendungen wurden anhand der Analyse der relevanten Fachpublikationen sowie der Experteninterviews herausgearbeitet.

| KI-Anwendungen | Beispielanwendungen |
|---|---|
| Predictive Analytics | • Überwachung und Wartung der Produktionsanlagen, um auf der Basis von Sensordaten auf kritische Zustände wie Überhitzung einer Produktionsanlage Rückschlüsse ziehen und proaktiv auf mögliche Ausfälle reagieren zu können<br>• Beschaffungsplanung unter der Berücksichtigung der Absatzschwankungen |
| Optimiertes Ressourcenmanagement | • Optimierung von Produktions- und Fertigungsplänen<br>• Personalplanung<br>• Optimierung von Prozessen in der Ein- und Ausgangslogistik |
| Qualitätskontrolle | • Prüfung der Beschaffenheit von Bauteilen oder sonstigen Produktionsstoffen<br>• Überprüfung von Korrektheit der Montageprozesse anhand von Video-, Bild- oder auch Sensordaten |
| Intelligente Assistenzsysteme | • Einarbeitung in Verwaltungsprozesse<br>• Montageeinleitungen<br>• Unterstützung bei Fertigungsprozessen<br>• Unterstützung in der Weiterbildung |
| Wissensmanagement | • Management von unternehmensinternen Informationen und Prozessen<br>• Datenmodelle für komplexe Engineering-Prozesse<br>• Produktkonfigurationen und Beschreibung von Schnittstellen zwischen verschiedenen Bauteilen und Produkten |
| Robotik | • Adaptive, lernende industrielle Robotersysteme in der Produktion und Fertigung<br>• Adaptive Service-Roboter<br>• Lernende, selbstregulierende Greifsysteme und Montageroboter |
| Autonomes Fahren und Fliegen | • Fahrerlose Transportsysteme wie Reinigungsroboter oder autonom fliegende Drohnen für Bestückung von Regalen in Lagerhallen |
| Intelligente Automatisierung | • Automatisierung von Routineprozessen in Fertigung und Montage durch selbstregulierende Anpassung der Steuerungsparameter<br>• Automatisierung von Arbeitsschritten in IT-gestützten Unternehmensprozessen (Robotic Process Automation) inklusive Entscheidungen, die bisher nur von Menschen getroffen wurden, wie E-Mail-Antworten auf Kundenanfragen |
| Intelligente Sensorik | • Umgebungswahrnehmung (Bild, Laserscan) und Vorverarbeitung der Daten für Kollisionsvermeidung der fahrerlosen Transportsysteme<br>• Vorverarbeitung der Daten beim Monitoring von Produktionsanlagen |

Tabelle 2: KI-Anwendungen und Beispiele (Quelle: iit)

### 2.2.3 KI-Technologien

Die oben beschriebenen KI-Anwendungen basieren auf einzelnen KI-Technologien, welche die dritte zentrale Ebene der vorliegenden Studie bilden. Für den weiteren Verlauf der Studie sind KI-Technologien wie folgt definiert:

> KI-Technologien sind als Methoden und Verfahren zu verstehen, die es technischen Systemen ermöglichen, ihre Umwelt wahrzunehmen, das Wahrgenommene zu verarbeiten, und selbständig Probleme zu lösen, Entscheidungen zu treffen, zu handeln und aus den Konsequenzen dieser Entscheidungen und Handlungen zu lernen. (Russell und Norvig 1995)

Auf Basis dieser Definition wurden sieben KI-Technologien identifiziert (Tabelle 3).[8] Dabei lassen sich KI-Technologien in verhaltensorientierte und rational inspirierte Technologien unterscheiden. Verhaltensorientierte KI-Technologien versuchen das menschliche Verhalten in seinen Stärken und auch Schwächen nachzubilden. Sie werden oft dort verwendet, wo Maschinen mit Menschen interagieren oder anderweitig variablen, schwer messbaren und unvorhersehbaren Anforderungen ausgesetzt sind. Semantische Technologien, Natural Language Processing und Kognitive Modellierung sind in ihrer Ausrichtung verhaltensorientiert. Rationale KI-Technologien werden hingegen mit der Zielrichtung entwickelt, eine Kostenfunktion zu optimieren und kommen bevorzugt dort zum Einsatz, wo ein messbares, objektives Kriterium für erfolgreiches Verhalten oder Informationsverarbeitung formal definiert werden kann. Die KI-Technologien Computer Vision, Machine Learning und Aktionsplanung und Optimierung werden meist dem rationalen Ansatz folgend entwickelt.

| | KI-Technologien | Zugehörige Verfahren und Methoden |
|---|---|---|
| verhaltensorientierter Ansatz | Kognitive Modellierung | • Simulation der Aufmerksamkeit und Entscheidungsfindung beim Menschen; Erfassung, Interpretation und Generierung von Emotionsausdruck; Simulation menschlichen Problemlösens und Abschätzung der kognitiven Last |
| | Natural Language Processing | • Frage-Antwort- und Dialogsysteme, Umwandlung von Texten in eine Audioausgabe (Text-to-Speech), Verstehen von Texten und Anfragen in natürlicher Sprache, maschinelle Übersetzung |
| | Semantische Technologien | • Ontologien, Semantic Web (z. B. Linked Open Data), Wissensrepräsentation (z. B. Knowledge Graphs) |
| rationaler Ansatz | Computer Vision | • Objekterkennung in Bildern, Erkennung von Handlungen in Videos, Umgebungserkennung |
| | Machine Learning | • Überwachte und nicht überwachte Lernverfahren, bestärktes Lernen, Künstliche Neuronale Netze, Deep Learning, statistische Modelle, ML Ensembles |
| | Aktionsplanung und Optimierung | • Bewegungsplanung und Motorkontrolle, Selbstorientierung und Kartierung von Umgebungen (z. B. Simultaneous Localization and Mapping), Navigieren, Routenplanung, Prozessoptimierung |
| | Neuromorphic Computing[a] | • Hardwarearchitekturen nach dem Vorbild des Gehirns oder Neuronaler Netze |

Tabelle 3: Darstellung der relevanten KI-Technologien[b] (Quelle: iit)

8 Eine trennscharfe Abgrenzung zwischen den einzelnen Technologien ist oft nicht möglich. Beispielsweise haben statistische Verfahren zur Bedeutungsanalyse von Texten sowohl Aspekte von Natural Language Processing, Semantischen Technologien und auch Machine Learning. Der Übergang zwischen den Technologien ist daher fließend, woraus sich explizit Überschneidungen ergeben. Tabelle 4 im Anhang auf S. 63 ff. liefert eine nähere Umschreibung zu den jeweiligen Technologien.

a Biologisch inspirierter Ansatz.

b Die KI-Technologien wurden anhand der Analyse der relevanten Fachpublikationen sowie der Experteninterviews herausgearbeitet.

# 3 Studien zum wirtschaftlichen Potenzial der KI

Aufgrund der zunehmenden Bedeutung der KI finden sich immer mehr Studien, die sich mit deren betriebs- und volkswirtschaftlichen Potenzialen befassen. Dieses Kapitel fasst die zentralen Aussagen aus diesen Studien zusammen und bündelt sie in einer Hochrechnung des KI-induzierten Wachstumspotenzials.

## 3.1 KI-Einsatz in der Wirtschaft

Zunächst stellt sich die Frage nach den möglichen Einsatzfeldern der KI sowie dem aktuellen KI-Einsatz innerhalb der Wirtschaft. Einzelne Studien liefern hierzu bereits erste Ergebnisse.

### 3.1.1 Zentrale KI-Einsatzfelder

Die wirtschaftlichen Einsatzfelder für KI sind äußerst vielfältig. Einerseits findet sich KI in Form von Komponenten in Endprodukten und Dienstleistungen, etwa im Bereich des autonomen Fahrens. Andererseits – und dort mit großem Automatisierungspotenzialen verbunden – in den produktiven Kern- als auch Unterstützungsprozessen innerhalb der Unternehmen. Im Produktionsprozess entfalten sich Potenziale insbesondere im Bereich der Systeme zur Anlagen- und Maschinenwartung sowie in der Fertigung, wenn kollaborierende und kontextsensitive Robotik zum Einsatz kommt. Darüber hinaus kann KI Prozessoptimierungen unterstützen, z. B. in der Fertigungs- und Kapazitätsplanung sowie in der Qualitätskontrolle. Ebenfalls große Potenziale ergeben sich überdies in den betrieblichen Unterstützungsprozessen. Hier in erster Linie im Wertschöpfungsmanagement, in Forschung und Entwicklung sowie innerhalb administrativer Prozesse.

McKinsey (2017) identifiziert vier zentrale Kernbereiche innerhalb der Produktionsprozesse, in denen KI zukünftig über die üblichen Maße hinaus zum Einsatz kommen wird:

- KI-basierte prädiktive Wartungssysteme: Die durch KI verbesserte prädiktive Wartung ermöglicht eine bessere Vorhersage und Vermeidung von Maschinenausfällen durch die Kombination von Daten aus Sensoren und Wartungsprotokollen sowie externen Datenquellen.
- Kollaborative und kontextsensitive Robotik: Kollaborative und kontextabhängige Roboter werden den Produktionsdurchsatz in arbeitsintensiven Bereichen deutlich verbessern. Dadurch steigt die Produktivität – auch wenn diese nicht voll automatisierbar sind.
- Effizienz- und Ertragssteigerungen: Die Verknüpfung und Auswertung zahlreicher Daten über Maschinengruppen und Produktionssysteme hinweg führt zur Verringerung von Ausschussraten und Prüfkosten.
- KI-basierte Qualitätskontrolle: Verbesserte, vor allem effizientere, zuverlässigere und integrierte Datenverarbeitung (insb. maschinelles Lernen) sichert eine stetige Verbesserung der Produkt- und Dienstleitungsqualitäten. Die Verbesserung in der Fertigung führt zu einer Verringerung der Ausschussraten und Prüfkosten.

Im Bereich des autonomen Fahrens zeichnen sich daneben hohe Potenziale für das produzierende Gewerbe ab, insb. auch hinsichtlich der Auswirkungen auf die Güter- und Personenlogistik. Aktuell wird davon ausgegangen, dass zunächst der Güter- und erst später der Personenverkehr breit automatisiert werden kann. Doch auch über das autonome Fahren hinaus bieten sich in der Logistik, insbesondere im Bereich des Supply Chain Managements, große Potenziale durch die Nutzung von KI-Technologien.

### 3.1.2 Aktueller Einsatz von KI-Technologien in zentralen KI-Anwendungen

Laut einer aktuellen Befragung von Unternehmensentscheidern des Beratungsunternehmens Sopra Steria Consulting (2017) setzt jedes zweite deutsche Unternehmen (46 %) bereits KI-Technologien ein und vier von zehn planen dies.

Im Fokus stehen momentan KI-Anwendungen wie Robotic Process Automation (d. h. die Automatisierung von IT-gestützten Arbeitsprozessen z. B. Kundenbetreuung, Buchhaltung etc.). Zunehmend kommen aber auch intelligente Automatisierung (d. h. die Automatisierung von Routineprozessen in Fertigung und Montage) und digitale Assistenten (z. B. Siri, Cortana oder Alexa) zum Einsatz. Die Einsatzbreite von KI-Technologien variiert dabei zwischen den einzelnen Branchen. Generell ist das produzierende Gewerbe der Wirtschaftszweig mit der größten Einsatzdichte für KI-Anwendungen.

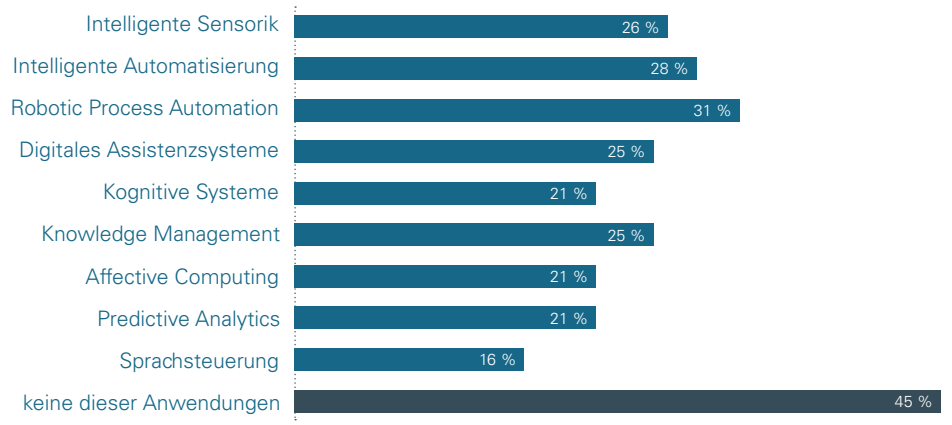



Abbildung 4: Eingesetzte KI-Anwendungen in deutschen Unternehmen im produzierenden Gewerbe (Quelle: iit in Anlehnung an Sopra Steria Consulting 2017)

Am relevantesten sind gemäß der Ergebnisse von Sopra Steria Consulting (2017) derzeit Anwendungen zur intelligenten Automatisierung allgemein sowie Robotic Process Automation. Aber auch die im produzierenden Gewerbe genutzte intelligente Sensorik findet laut der Studie bereits sehr breite Anwendung. Zentral ist hierbei die intelligente Vorverarbeitung von Messwerten, etwa in der Anlagensteuerung oder bei der Messung von Echtzeitwerten. Digitale Assistenzsysteme und kognitive Systeme (das sind laut Sopra Steria Systeme, die aus der Interaktion mit dem Menschen lernen) gewinnen daneben immer mehr an Bedeutung. Ebenso Affectice-Computing-Systeme (Systeme, die menschliche Gefühlsäußerungen erkennen) und Predictive Analytics (d. h. Prognosemodelle) (vgl. Abbildung 4).

Das größte technologische Potenzial versprechen laut Sopra Steria Consulting (2017) vor allem digitale Assistenten und Knowledge Managementsysteme, gefolgt wiederum von Robotic Process Automation für IT-gestützte Arbeitsprozesse in Unternehmen und intelligenter Sensorik (Abbildung 5).

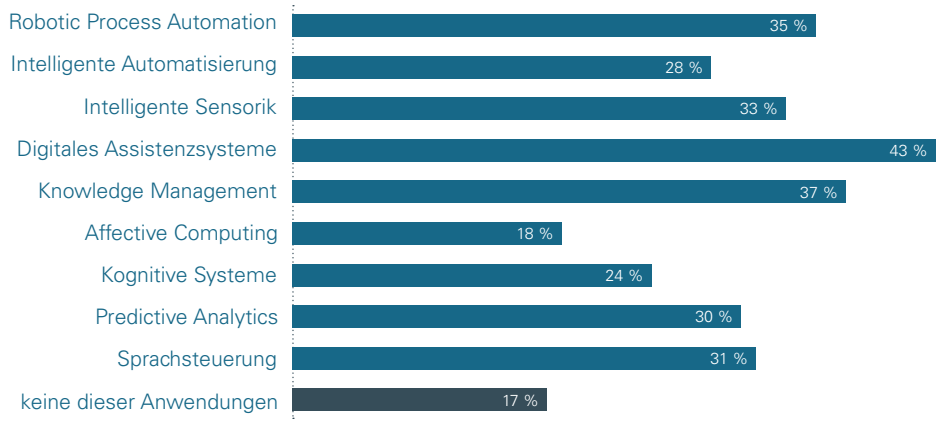



Abbildung 5: KI-Anwendungen mit dem größten technologischen Potenzial in deutschen Unternehmen (in Prozent) (Quelle: iit, in Anlehnung an Sopra Steria Consulting 2017)

## 3.2 Potenzial künstlicher Intelligenz für Wertschöpfung und Produktivität

Während Studien aus dem Jahr 2009 noch keine einheitlichen Einschätzungen bezüglich des gesamtwirtschaftlichen Potenzials der Digitalisierung liefern (vgl. z. B. Qiang und Rosotto 2009 und Koutroumpis 2009), gehen jüngere Studien von zunehmend hohen Wachstumseffekten aus. Zentraler Treiber hierfür ist der Einsatz der KI in der Wirtschaft. Besonders hohe Wachstumsimpulse sind dabei vom Einsatz der KI in reifen, hochtechnisierten Volkswirtschaften zu erwarten.

Eine Untersuchung von Purdy und Daugherty (2017) geht davon aus, dass bis zum Jahr 2035 durch den Einsatz von KI ein zusätzliches jährliches Wachstum der Bruttowertschöpfung von bis zu 2 % ausgelöst werden kann. Als wichtigsten Wachstumstreiber nennen die Autorinnen und Autoren dabei die Automatisierung, aufgrund derer Produktivitätssteigerungen von bis zu 37 % realisiert werden könnten. Für Deutschland nennt die Studie ein mögliches zusätzliches Wachstum von 1,6 % p. a. und einen Anstieg der Arbeitsproduktivität von 29 % (Abbildung 6).

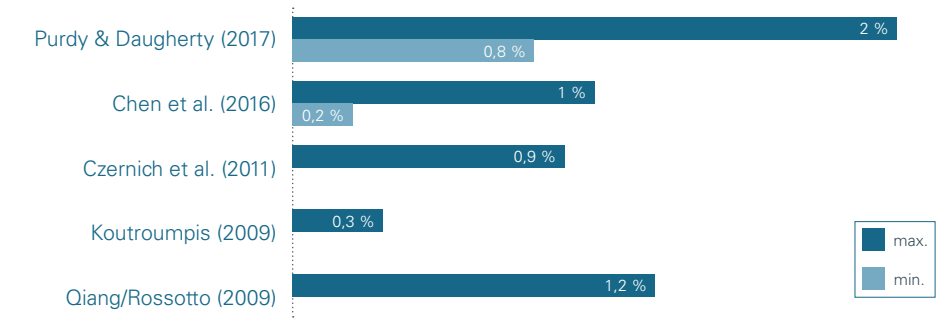



Abbildung 6: KI-induziertes Wachstum (in Prozent) (Quelle: iit in Anlehnung an Qiang und Rossotto 2009, Koutroumpis 2009, Czernich et al. 2011, Chen et al. 2016, Purdy und Daugherty 2017

Die hohen Erwartungen resultieren mitunter daraus, dass die KI für nahezu alle Wirtschaftsbereiche relevant ist (vgl. Abbildung 7). Die stärksten Impulse werden dabei jedoch im produzierenden Gewerbe erwartet.

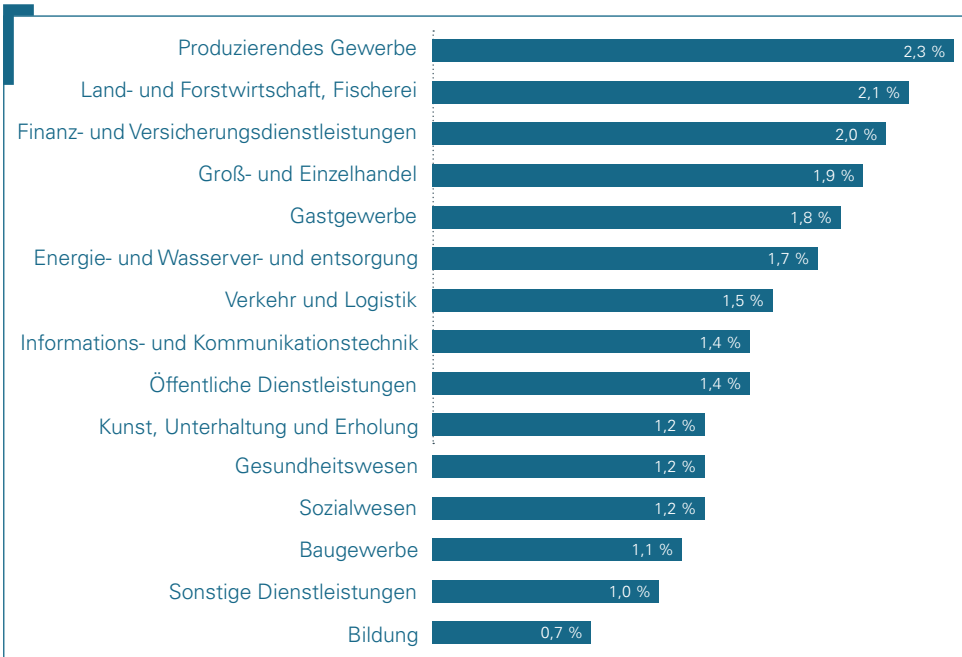



Abbildung 7: KI-induziertes Wachstum p.a. der Bruttowertschöpfung in ausgewählten Wirtschaftszweigen reifer Volkswirtschaften (in Prozent) (Quelle: iit, in Anlehnung an Purdy und Daugherty 2017).

## 3.3 Hochrechnung des KI-induzierten Wachstumspotenzials

Die Studien von Purdy und Daugherty (2017) sowie Chen et al. (2016) dienen als Ausgangsbasis für eine zusammenfassende Schätzung der zusätzlichen KI-induzierten Wertschöpfung in den nächsten fünf Jahren. Beide Studien nutzen sehr unterschiedliche Ansätze, kommen dennoch im Ergebnis auf vergleichbare Werte.

Chen et al. (2016) kombinieren dabei zwei Ansätze. Einerseits nutzen die Autoren KI-Investitionen (privatwirtschaftliche und Venture Capital Investitionen) für ihre Schätzung. Andererseits fließen historische Daten in die Berechnung ein, auf deren Basis die Einflüsse früherer Technologien (z. B. Mobiltelefone, Breitbandinternet und Industrieroboter) auf das Wirtschaftswachstum analysiert werden. Die Autorinnen und Autoren errechnen so, je nach Methode, ein zusätzliches jährliches KI-induziertes Wachstum zwischen 0,2 % und 1,0 % des Bruttoinlandsprodukts (BIP) bis 2025.

Purdy und Daugherty (2017) kalkulieren das KI-induzierte Wachstum dagegen auf Basis eines makroökonomischen Modells, das in der Lage ist, 12 Länder und 16 Wirtschaftszweige abzubilden. Die Autorinnen und Autoren errechnen dabei eine zusätzliche jährliche Bruttowertschöpfung durch KI in Höhe von 1,6 % für die gesamte deutsche Wirtschaft bzw. von 2,3 % für das weltweite produzierende Gewerbe im Jahr 2035. Der relativ lange Zeithorizont der Studie ist der Annahme der Autorinnen und Autoren geschuldet, dass die Technologie so lange benötigen wird, um ihre volle Tragweite zu entfalten.

Durch lineare Interpolation der von Purdy und Daugherty (2017) errechneten Wachstumsraten bis 2023 ergibt sich auf Basis eigener Berechnungen ein mittleres KI-induziertes jährliches Wachstum im produzierenden Gewerbe in Deutschland in Höhe von 0,69 %.[9] Legt man ein moderates KI-unabhängiges jährliches Wachstum von 1,5 % zugrunde, führt dies innerhalb des für diese Studie relevanten Betrachtungszeitraums von 2019 bis 2023 zu einer zusätzlichen Bruttowertschöpfung im produzierenden Gewerbe in Deutschland in Höhe von 31,8 Mrd. Euro. Dies entspricht etwa 1/3 des gesamten künftigen Wachstums (siehe Abbildung 8).

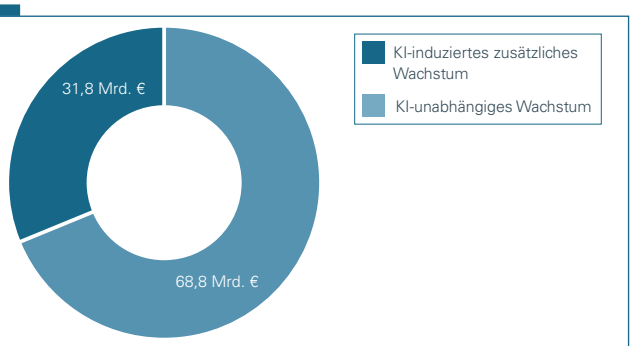



Abbildung 8: Schätzung des zusätzlichen KI-induzierten Wachstums von 2019-2023 im produzierenden Gewerbe (Quelle: iit)

9 Zur Plausibilisierung dieses Wertes sei darauf verwiesen, dass dieser innerhalb des von Chen et al. (2016) errechneten Intervalls liegt.

# 4 Einschätzungen und Erwartungen von KI-Anbietern und -Anwendern im produzierenden Gewerbe

Das in Abschnitt 2.2 dargestellte Stufenmodell bildet den Rahmen für die hier dargestellte Online-Befragung. Im Zuge dieser wurden sowohl Anbieter von KI-Technologien als auch Anwender aus dem produzierenden Gewerbe sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf dem Gebiet der KI befragt. Zentral ist dabei die Annahme, dass jede dieser Befragungsgruppen unterschiedliche Kompetenzschwerpunkte aufweist. So sind die Anwender in erster Linie mit der Wertschöpfungs- und Anwendungsebene vertraut. Die Expertise der Anbieter liegt dagegen zusätzlich auf der Technologieebene, da sie KI-Technologien nutzen, um Anwendungen für ganz bestimmte Wertschöpfungsstufen ihrer Kunden zu entwickeln. Die Sicht der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unterscheidet sich von der Anwender- und Anbietersicht dahingehend, dass hier die Kompetenzvermutung vor allem auf der Anwendungs- und Technologieebene liegt. Für die einzelnen Befragungsgruppen wurden daher unterschiedliche Fragebögen ausgearbeitet.

## 4.1 Potenziale von KI-Anwendungen und -Technologien

Dieser Abschnitt analysiert zunächst das zukünftige Potenzial der einzelnen KI-Anwendungen. Darüber hinaus wird eine Verortung durchgeführt, die aufzeigt, welche KI-Technologien in welchen KI-Anwendungen zum Einsatz kommen. Dies wiederum ermöglicht Rückschlüsse auf die strategische Bedeutung einzelner KI-Technologien.

### 4.1.1 Potenzial der KI-Anwendungen

Im Rahmen der Online-Befragung wurden zunächst Anbieter und potenzielle Anwender zum disruptiven Potenzial[10] einzelner KI-Anwendungen befragt. Der Zeithorizont beträgt dabei fünf Jahre. Abbildung 9 stellt die Prozentanteile der Anbieter und Anwender gegenüber, die den jeweiligen Anwendungen ein hohes bis sehr hohes Potenzial zusprechen. Beide Gruppen nennen Predictive Analytics, Intelligente Assistenzsysteme, Intelligente Automatisierung, Robotik sowie Intelligente Sensorik als die relevantesten KI-Anwendungen.

Aus der Abbildung wird zudem ersichtlich, dass die Einschätzungen von Anwendern und Anbietern sehr homogen sind. Dementsprechend reihen sich die Datenpunkte entlang der 45°-Diagonale, welche den Bereich markiert, in dem gleich viele Anwender und Anbieter der jeweiligen KI-Anwendung ein hohes bis sehr hohes Potenzial zusprechen.

Mit Blick auf Abbildung 9 fällt auf, dass der Anwendung des Autonomen Fahrens und Fliegens im produzierenden Gewerbe nur rund die Hälfte der befragten Anbieter und Anwender ein hohes bis sehr hohes Potenzial einräumt. Gleiches gilt für das Optimierte Ressourcenmanagement. Schlusslicht bildet in der Befragung der Anwendungsbereich der Qualitätskontrolle. Diesen erachten nur rund 40 % der Anbieter und 45 % der Anwender als besonders potenzialträchtig.

10 Das disruptive Potenzial ist hierbei zu verstehen als das Potenzial zur Veränderung bestehender Strukturen, Prozesse und Geschäftsmodelle. Diese Definition wurde den Teilnehmerinnen und Teilnehmern der Befragung ebenfalls zur Seite gestellt.

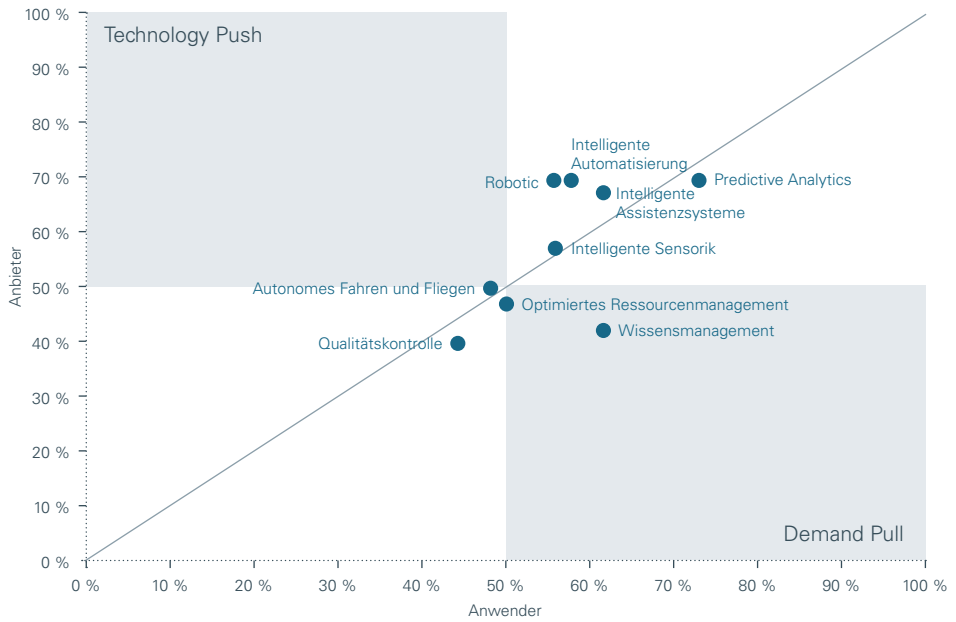



Abbildung 9: Anteil der Befragten Anwender und Anbieter, die den jeweiligen KI-Anwendungsfeldern in fünf Jahren ein hohes bis sehr hohes disruptives Potenzial beimessen (Quelle: iit)

Auch kleine und mittlere Unternehmen (KMU) und Großunternehmen (GU) kommen in bestimmten Bereichen zu unterschiedlichen Einschätzungen hinsichtlich des zukünftigen Einsatzpotenzials der KI. Abweichungen finden sich für die Bereiche Robotik sowie dem Optimierten Ressourcenmanagement, denen GU ein größeres Potenzial zusprechen. KMU dagegen fokussieren stärker die Bereiche Wissensmanagement und Qualitätskontrolle (vgl. Abbildung 10).

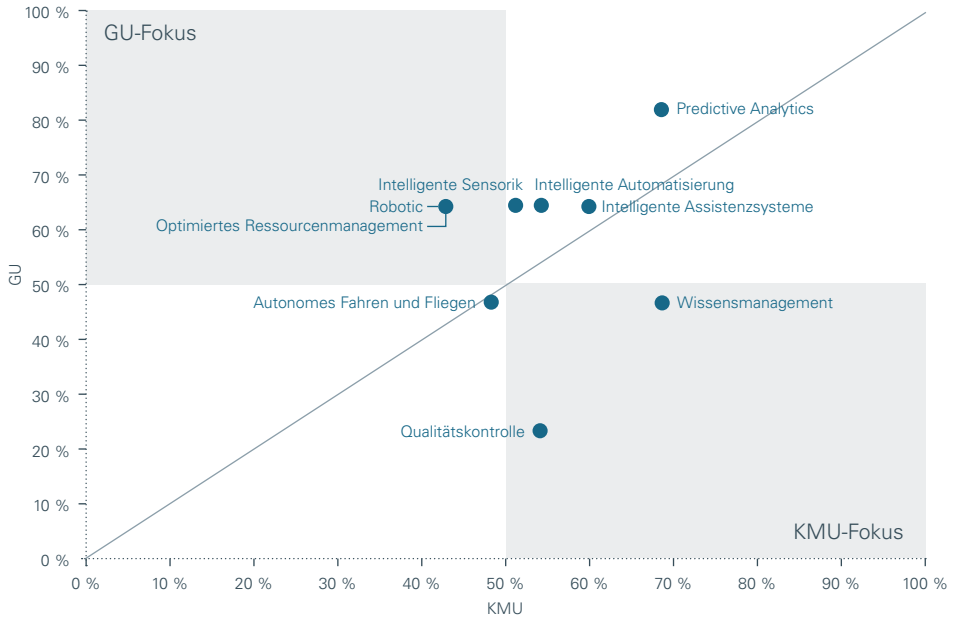



Abbildung 10: Anteil der befragten Anwender in Großunternehmen und kleinen und mittleren Unternehmen, die den jeweiligen KI-Anwendungen ein hohes bis sehr hohes disruptives Potenzial zusprechen (Quelle: iit)

### 4.1.2 Zuordnung von KI-Technologien und KI-Anwendungen

In diesem Abschnitt steht die Frage im Vordergrund, auf welchen KI-Technologien die jeweiligen KI- Anwendungen beruhen. Die Ergebnisse basieren dabei sowohl auf den Einschätzungen der Anbieter von KI-Technologien als auch der Forscherinnen und Forscher.

Abbildung 11 stellt die Verteilung der Antworten als Heat Map dar. Je dunkler die Farbe, desto größer ist dabei der Anteil der Forscherinnen und Forscher sowie KI-Technologieanbieter, die die jeweilige Technologie der entsprechenden Anwendung zugeordnet haben. Daraus lässt sich einerseits ablesen, welche Technologien in welchen Anwendungen zum Einsatz kommen. Andererseits lassen sich aber auch wichtige Querschnittstechnologien identifizieren, welche für viele unterschiedliche Anwendungen von Bedeutung sind.

Anhand Abbildung 11 wird deutlich, dass manche Anwendungen auf wenigen einzelnen Technologien beruhen, andere wiederum auf einem breiten Spektrum an zugrundeliegenden Technologien. Diese Unterschiede finden sich auch zwischen den oben identifizierten potenzialträchtigsten KI-Anwendungen. So basiert Predictive Analytics fast ausschließlich auf Machine Learning. Wohingegen für Intelligente Assistenzsysteme alle KI-Technologien mit Ausnahme des Neuromorphic Computing relevant sind. Für die Robotik sind Computer Vision, Machine Learning sowie Aktionsplanung & Optimierung aber auch kognitive Modellierung von Bedeutung. In der Intelligenten Automatisierung kommen in erster Linie Machine Learning und Aktionsplanung und Optimierung sowie zu einem geringeren Teil auch Computer Vision zum Einsatz. Intelligente Sensorik fußt dagegen vor allem auf Machine Learning und Computer Vision.

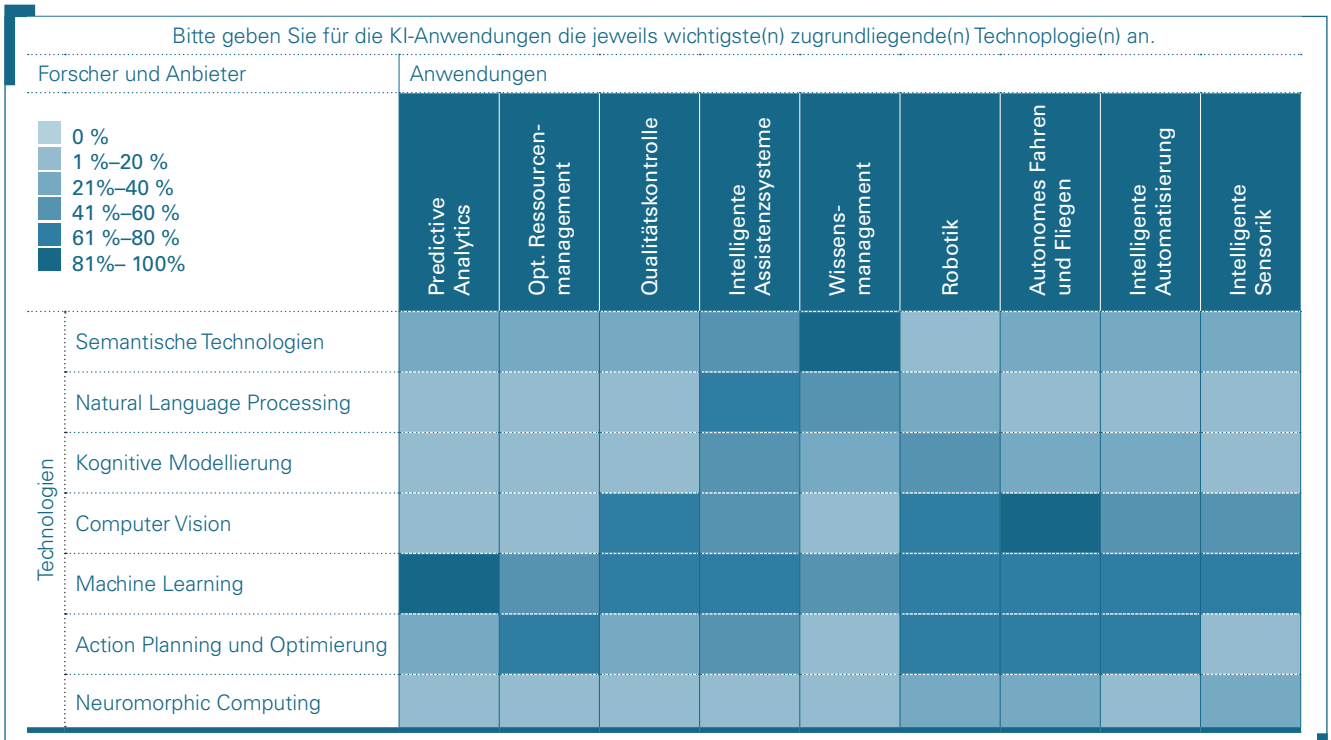



Abbildung 11: Anteil der Anbieter sowie Forscherinnen und Forscher, die die jeweiligen KI-Technologien den entsprechenden KI-Anwendungen zugeordnet haben (Quelle: iit)

Abbildung 11 lässt zudem gut erkennen, dass die KI-Technologien, welche dem rationalen Ansatz zuzurechnen sind (Computer Vision, Machine Learning, Aktionsplanung und Opti-

mierung, vgl. Abschnitt 2.2.3) in vielen verschiedenen KI-Anwendungen gleichermaßen zum Einsatz kommen und somit wichtige Querschnittstechnologien mit strategischer Bedeutung sind. Insbesondere Machine Learning spielt eine wichtige Rolle in ausnahmslos allen KI-Anwendungen. Die verhaltensorientierten Technologien werden hingegen spezifisch dort eingesetzt, wo die direkte Interaktion mit dem Menschen im Mittelpunkt steht. Dies ist in erster Linie in den Anwendungsfeldern Intelligente Assistenzsysteme und Wissensmanagement der Fall. Nur den Semantischen Technologien kann zusätzlich auch ein gewisser Querschnittscharakter zugesprochen werden, wenn auch auf einem deutlich niedrigeren Niveau. Das biologisch inspirierte Neuromorphic Computing hat dagegen relativ geringe Bedeutung für alle KI-Anwendungen. Diese Hardware-Technologie ist in vielerlei Hinsicht noch in der Entwicklung begriffen und hat, im Gegensatz zu den meisten anderen KI-Technologien, in den letzten Jahren keinen durch die Verfügbarkeit großer Datenmengen und erhöhter Rechenleistung getriebenen Wachstumsschub erlebt.

## 4.2 Der aktuelle Einsatz von KI im produzierenden Gewerbe

In diesem Abschnitt wird aufgezeigt, in welchem Umfang heute bereits KI im produzierenden Gewerbe eingesetzt wird. Weitere Analyseschwerpunkte bilden die Kooperation von Anwendern mit externen Anbietern sowie relevante Systemvoraussetzungen.

### 4.2.1 Derzeitiger Einsatz von KI entlang der Wertschöpfungskette

Um den derzeitigen Stand des Einsatzes von KI-Technologien im verarbeitenden Gewerbe in Deutschland zu skizzieren, wurden die Anwender zum aktuellen KI-Einsatz in den unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen befragt. Dabei gaben für die insgesamt neun Wertschöpfungsstufen durchschnittlich 25 % der Großunternehmen und 15 % der KMU an, mindestens in geringem Umfang KI-Technologien einzusetzen.

Großunternehmen nennen dabei als bisherige Einsatzfelder der KI vor allem die Bereiche Forschung und Entwicklung, Logistik sowie Service/Kundendienst, Marketing/Vertrieb und Planung. Ähnlich wie die Großunternehmen arbeiten KMU bisher vor allem in den Bereichen Forschung und Entwicklung, Service/Kundendienst, Marketing/Vertrieb und Planung mit KI-Technologien. Die größten Unterschiede ergeben sich in den Bereichen Logistik und Produktion, in denen lediglich 6 % bzw. 8 % der KMU mit KI-Technologien arbeiten (vgl. Abbildung 12).[11]

11 Bei der Einordnung des teilweise sehr hohen Anteils der Unternehmen, die angeben, in den jeweiligen Wertschöpfungsstufen bereits KI-Technologien einzusetzen, müssen zwei Gegebenheiten berücksichtigt werden. Einerseits ist davon auszugehen, dass durch die Einbeziehung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer der BMWi-geförderten Technologie-Programme die Early Adopter neuer Technologien innerhalb der Gruppe der Befragten stärker vertreten sind als in der Grundgesamtheit der Unternehmen des produzierenden Gewerbes. Andererseits beinhaltet Abbildung 12 auch jene Unternehmen, welche nur in sehr geringem Umfang KI-Technologien einsetzen bzw. mit diesen lediglich experimentieren.

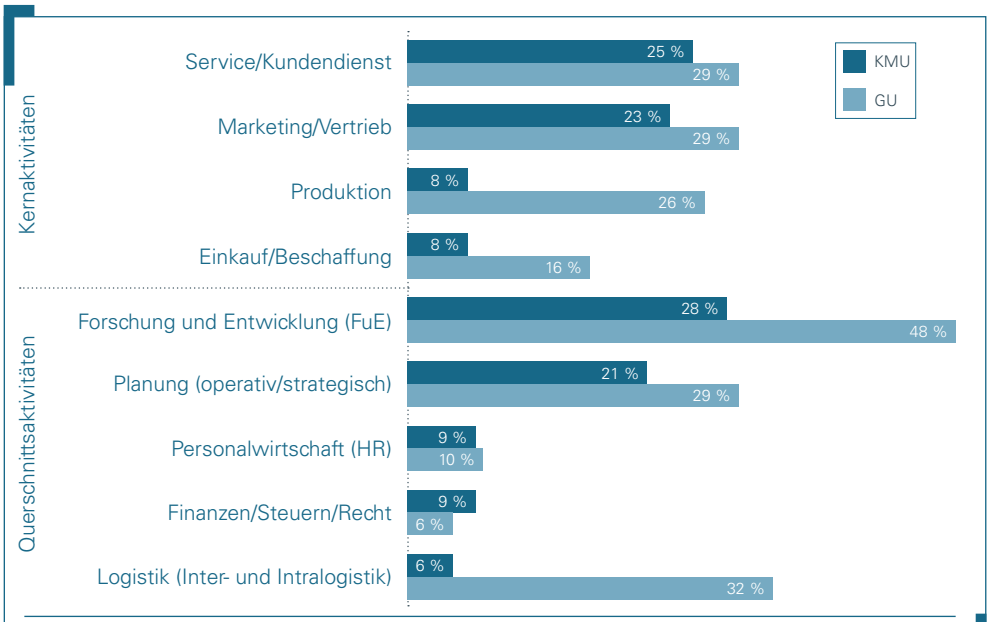



Abbildung 12: Anteil der Großunternehmen und KMU, die in den jeweiligen Wertschöpfungsstufen bereits heute mindestens in geringem Umfang KI-Technologien einsetzen (Quelle: iit)

Auf den Ergebnissen aufbauend wurden die Anwender gefragt, welchen Anteil der Tätigkeiten in ihrem Unternehmen heute KI-Systeme übernehmen. Dabei wurde explizit auf den Automatisierungsgrad der Entscheidungen abgestellt. Ein Automatisierungsgrad von 0 % bedeutet dabei, dass der Mensch allein die Entscheidungen zur Prozessoptimierung trifft. 100 % dagegen entsprechen dem Fall völlig autonom entscheidender Systeme zur Steuerung der Prozesse mit Künstlicher Intelligenz.

Abbildung 13 fasst die Antworten der Anwender in einer Heat Map zusammen. Dabei wird deutlich, dass bei der überwiegenden Mehrheit der KMU noch keine Tätigkeiten in den jeweiligen Wertschöpfungsstufen autonom durch Maschinen ausgeführt werden.[12] Lediglich eine Minderheit der KMU gibt an, dass 10 % und mehr der Entscheidungen zur Steuerung der Prozesse autonom durch Systeme mit KI übernommen werden.

Bei den Großunternehmen ist der Anteil der Unternehmen, bei denen 10 % oder mehr der Entscheidungen zur Prozessoptimierung automatisiert werden, in vielen Wertschöpfungsstufen etwas höher als bei den KMU. Jedoch gibt auch die Mehrheit der Großunternehmen an, bisher keine Entscheidungen zur Prozessoptimierung autonom durch Systeme mit KI ausführen zu lassen.

12 Dies bedeutet natürlich nicht, dass diese Unternehmen noch keinerlei Automatisierung vorweisen. Allerdings werden bei der Automatisierung weiterhin alle anfallenden Entscheidungen durch den Menschen und nicht durch Systeme mit KI getroffen.

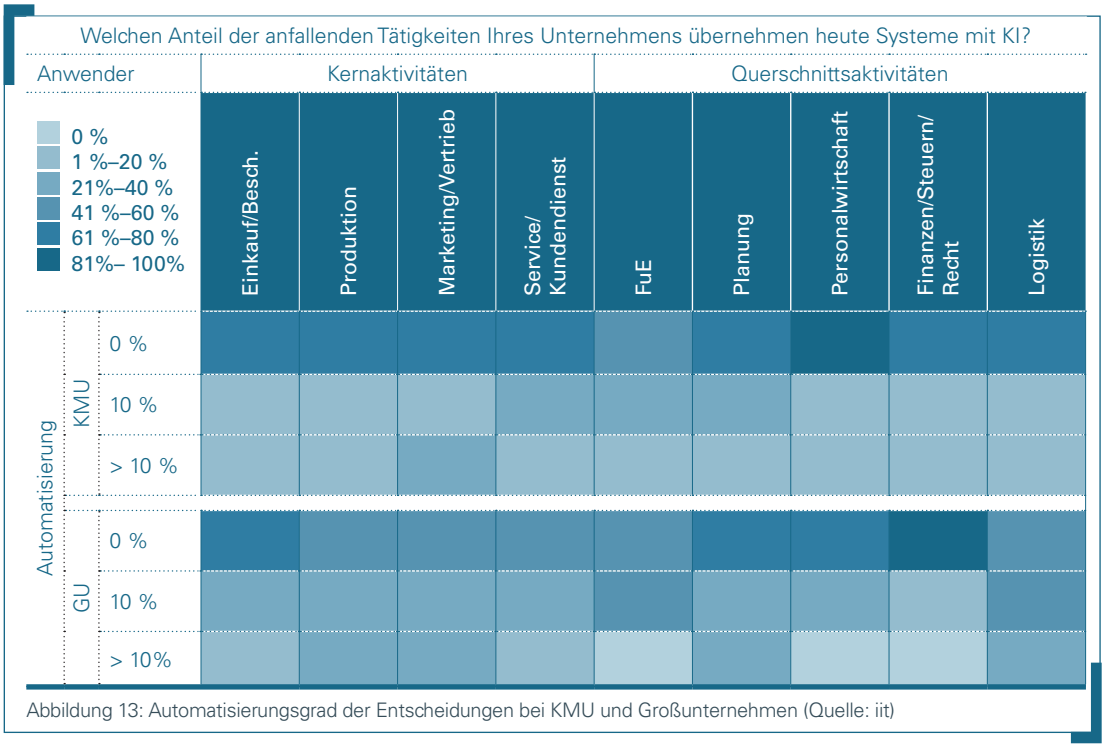



Abbildung 13: Automatisierungsgrad der Entscheidungen bei KMU und Großunternehmen (Quelle: iit)

Um zu bestimmen, welche KI-Anwendungen in den einzelnen Wertschöpfungsstufen zum Einsatz kommen, wurden die Anbieter nach deren maßgeblichen Einsatzgebieten befragt. Abbildung 14 stellt diese Zuordnung in Form einer Heat Map dar. Dabei ergibt sich je nach Wertschöpfungsstufe und KI-Anwendung ein differenziertes Bild.

Obwohl aus Abbildung 12 deutlich wurde, dass die Produktion als Einsatzbereich für KI bei Großunternehmen erst an sechster Stelle und bei KMU an siebter Stelle liegt, ergeben sich für diese Wertschöpfungsstufe potenziell die meisten Einsatzmöglichkeiten für KI-Anwendungen. Darüber hinaus ergeben sich im Bereich Service/Kundendienst sowie in der Logistik breite Einsatzmöglichkeiten für KI-Anwendungen. Gleiches gilt für die Forschung und Entwicklung, jedoch auf deutlich geringerem Niveau. Dagegen finden im Marketing vor allem das Wissensmanagement, Intelligente Assistenzsysteme und Predictive Analytics Anwendung. In der Planung werden in erster Linie Optimiertes Ressourcenmanagement, Predictive Analytics und Wissensmanagement eingesetzt. Die geringsten Einsatzmöglichkeiten bieten sich bisher für die Bereiche Einkauf/Beschaffung, Personalwirtschaft sowie Finanzen/Steuern/Recht. Dieses Ergebnis spiegelt sich u. a. auch in Abbildung 12 in den geringen Anteilen der Unternehmen wider, die in diesen Wertschöpfungsstufen bisher KI-Technologien einsetzen.

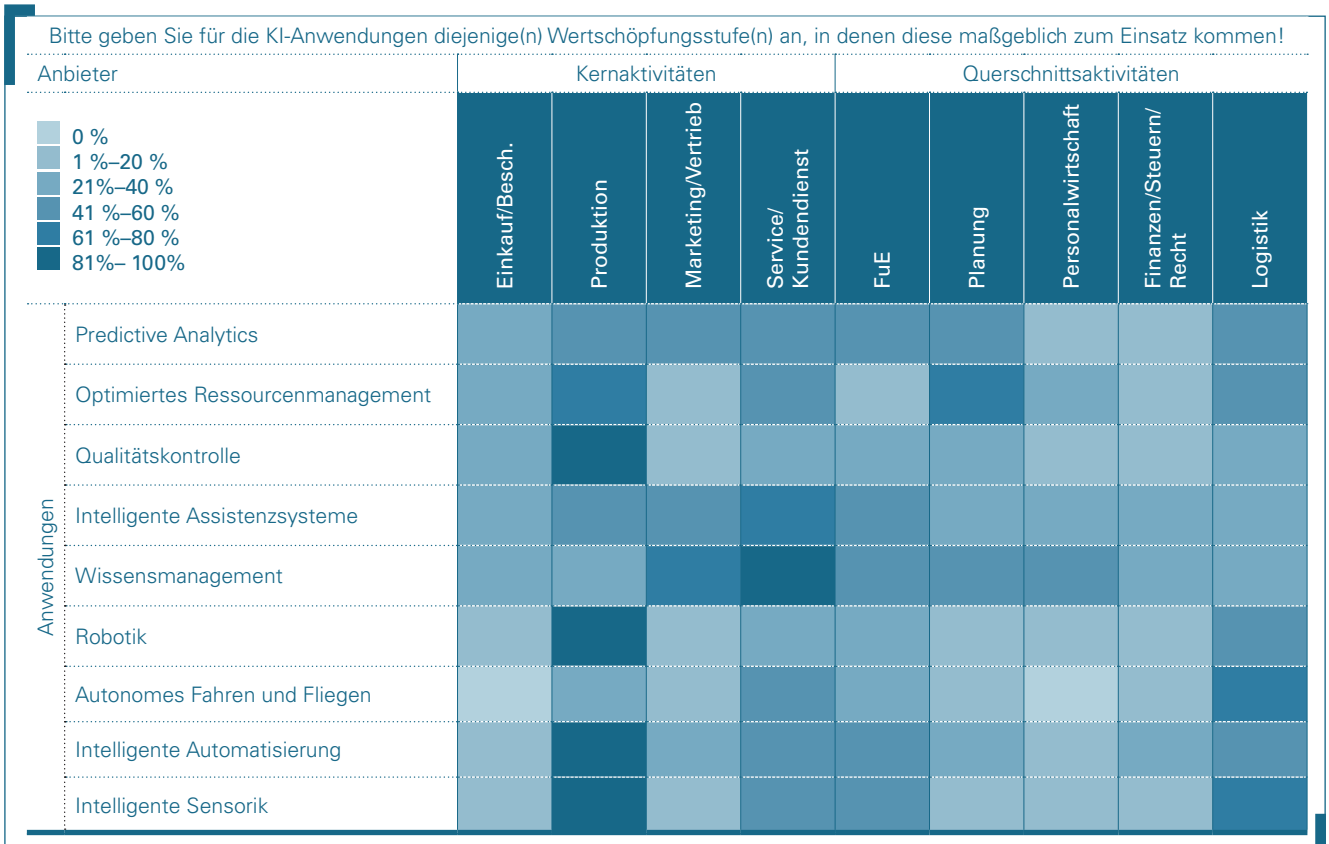



Abbildung 14: Einsatz von KI-Anwendungen innerhalb der einzelnen Wertschöpfungsstufen (Quelle: iit)

### 4.2.2 Kooperation mit externen Dienstleistern

Um ein möglichst umfassendes Bild des bisherigen Einsatzes von KI-Technologien im produzierenden Gewerbe zeichnen zu können, bildet die Unterscheidung zwischen In-house-Entwicklungen und die Zusammenarbeit mit externen Dienstleistern einen weiteren Schwerpunkt der Analyse. Hierfür wurden die Anwender, welche angegeben haben, in den jeweiligen Wertschöpfungsstufen KI-Technologien einzusetzen, aufgefordert, jene Wertschöpfungsstufen zu benennen, in denen sie mit externen KI-Anbietern zusammenarbeiten (vgl. Abbildung 15).

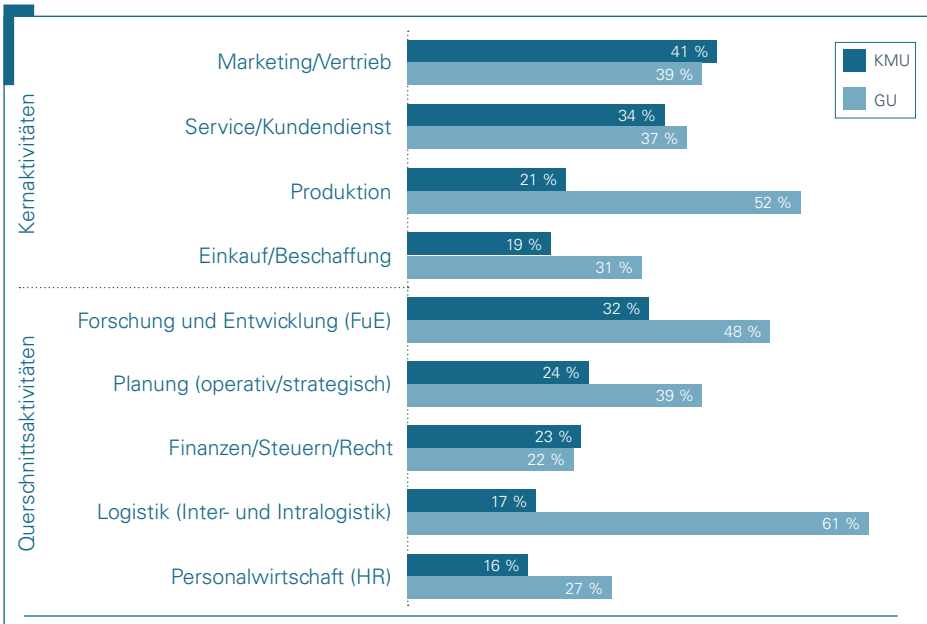



Abbildung 15: Anteil der befragten KMU und Großunternehmen, die in den jeweiligen Wertaschöpfungsstufen bereits mit externen KI-Anbietern arbeiten, insofern sie die KI-Technologien einsetzen (Quelle: iit)

Beim Vergleich zwischen KMU und Großunternehmen werden dabei wesentliche Unterscheidungsmerkmale deutlich. Während lediglich 21 % bzw. 17 % der KMU, die in Produktion bzw. Logistik KI-Technologien einsetzen, auch mit externen KI-Dienstleistern kooperieren, sind es bei den Großunternehmen mit jeweils 52 % bzw. 61 % deutlich mehr als die Hälfte der Unternehmen. Auch in den Bereichen Forschung und Entwicklung sowie Planung arbeiten mehr Großunternehmen mit externen Dienstleistern als dies bei den KMU der Fall ist. Dieses Ergebnis ist insofern beachtlich, weil grundsätzlich davon auszugehen ist, dass Großunternehmen ein höheres Potenzial für In-house Entwicklungen haben. Großunternehmen scheinen externen Dienstleistern insgesamt mehr zu vertrauen als das bei KMU der Fall ist.

### 4.2.3 Relevante Systemvoraussetzungen

Ein weiteres Ziel der vorliegenden Studie war die Identifizierung und Bewertung relevanter Systemvoraussetzungen für den Einsatz von KI-Technologien. Hierfür wurden die Befragten gebeten, die in den Experteninterviews benannten Voraussetzungen entsprechend ihre Relevanz zu bewerten. Tabelle 4 beschreibt die identifizierten Systemvoraussetzungen.

| Systemvoraussetzungen | Erläuterung |
|---|---|
| Cloud Computing | Bereitstellung der leistungsfähigen IT-Infrastruktur für aufwendige Berechnungen, Datenspeicherung und Ausführung über das Internet bezogener Softwareanwendungen |
| Sensorik | Technogien zur Wahrnehmung, Messung und Kontrolle von Veränderungen in der Umgebung oder in einem technischen System |
| Edge Computing | IT-Infrastrukturen, die eine dezentralisierte Datenspeicherung und -verarbeitung realisieren |
| Datenhoheit, -zugang | Rechtliche Regulierungen die die Nutzung, Zugang und Verwertung von Daten bestimmen |
| Datenqualität | Vollständigkeit der Daten, einheitliche Formatierung oder Detailierungsgrad, unterbrechungsfreie Datenaufnahmen |
| Robustheit der Algorithmen (Reaktion auf unerwartete Situationen) | Zuverlässigkeit der Ergebnisse der Datenanalyse, Reaktion auf die Ausreißer und unerwartete Situationen |
| Trainingsdauer und Aufwand für Algorithmen | Zeit- und Personalaufwand für eine zuverlässige Erkennung von Objekten oder Handlungen, die durch das Sammeln und Annotieren von Trainingsdaten entsteht |
| Rechenaufwand/Energieeffizienz | Aufwendige Berechnungen der Bewegungsabläufe während Aktionsplanung, Prozess- oder Parameteroptimierung unter Berücksichtigung von mehreren Optimierungskriterien |
| IT Sicherheit (Security) | Schutz von sensiblen Unternehmensdaten vor Cyberangriffen |
| Funktionale Sicherheit (Safety) | Zuverlässiger und sicherer Betrieb von industriellen Systemen, Minimierung von Verletzungsrisiken und Personenschäden |
| Interoperabilität der KI-Verfahren und Daten | Übertragbarkeit der KI-Verfahren auf andere Datenquellen, Einheitlichkeit der Datenmodelle und Formate für die Wiederverwendung der Daten und Algorithmen |

Tabelle 4: Systemvoraussetzungen für den effizienten Einsatz von KI (Quelle: iit)

Abbildung 15 zeigt die Einschätzung der Anbieter und Anwender zu den Systemvoraussetzungen. Gegenübergestellt sind dabei jeweils der Anteil der Anwender und Anbieter, die die entsprechenden Systemvoraussetzungen als bedeutend bis sehr bedeutend eingeschätzt haben. Die Einschätzungen der Anbieter und Anwender sind insgesamt sehr homogen und unterstreichen die Relevanz der zuvor identifizierten Systemvoraussetzungen. Die meisten der Voraussetzungen werden von der Mehrheit der Befragten als bedeutend oder sehr bedeutend eingeschätzt. Als wichtigste Voraussetzungen werden von beiden Seiten die Robustheit der Algorithmen, Datenqualität, Sensorik sowie Datenhoheit und -zugang genannt. Die Anwender betonen im Vergleich mit den Anbietern zudem stärker IT-Sicherheit und funktionale Sicherheit sowie die Interoperabilität von KI-Verfahren und Daten. Die Gegenüberstellung der Einschätzungen von KMU und Großunternehmen auf Anwenderseite ergab dagegen keine wesentlichen Unterschiede.

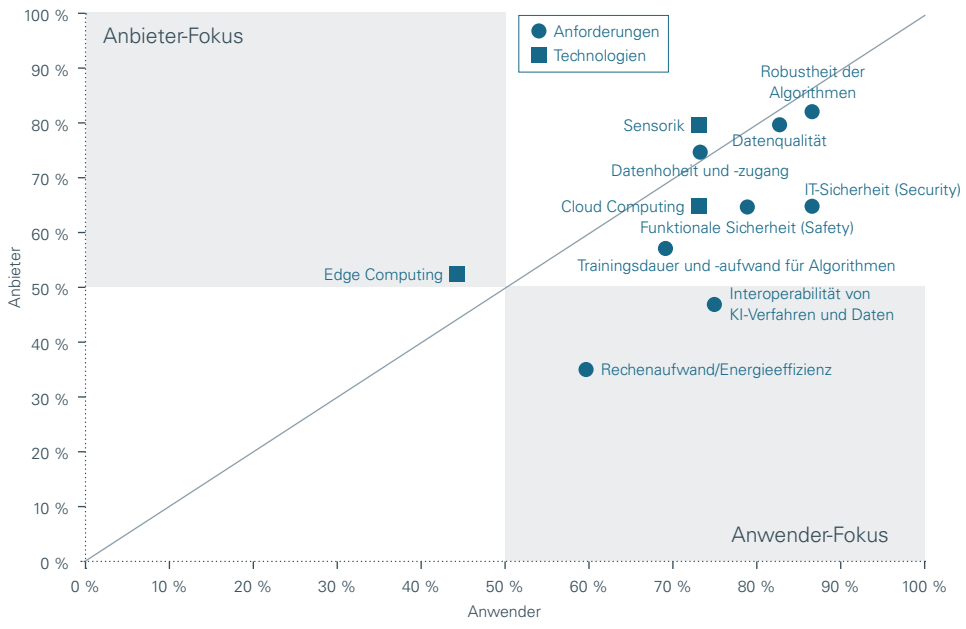
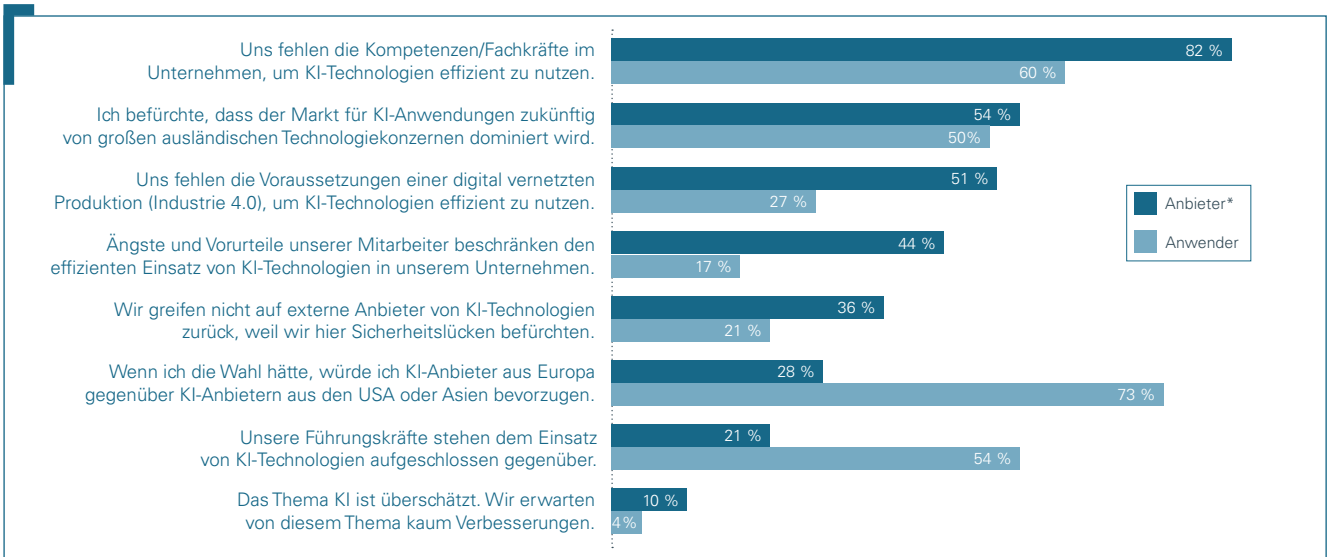



Abbildung 16: Anteil der befragten Anbieter und Anwender, die für den Einsatz von KI die jeweiligen Systemvoraussetzungen als bedeutend bis sehr bedeutend einschätzen. (Quelle: iit)

Aus den Experteninterviews ergaben sich zudem weitere mögliche Erfolgsfaktoren und Hemmnisse für den effizienten Einsatz von KI sowie Einstellungen und Vorurteile auf Anwenderseite, welche ebenfalls bewertet werden sollten.




* Leicht veränderte Fragestellung: Den Anbietern wurde die Frage in Bezug auf die Gesamtheit der Unternehmen des produzierenden Gewerbes gestellt.

Abbildung 17: Anteil der befragten Anbieter und Anwender, die den jeweiligen Aussagen zustimmen bzw. voll und ganz zustimmen. (Quelle: iit)

Abbildung 17 zeigt, dass fehlende interne Kompetenzen und Fachkräfte im verarbeitenden Gewerbe eines der größten Hemmnisse beim Einsatz von KI-Technologien darstellen. Anwender und Anbieter sind sich zudem einig in der Befürchtung, dass der Markt für KI-An-

wendungen zukünftig durch große ausländische Konzerne dominiert werden könnte, wobei jeweils rund die Hälfte der befragten Unternehmen dieser Aussage zustimmt.

Interessante Einsichten ergeben sich jedoch vor allem aus den Abweichungen zwischen den Angaben der Anwender und Anbieter. So bemängelt gut die Hälfte der Anbieter, dass im produzierenden Gewerbe die notwendigen Voraussetzungen einer digital vernetzten Produktion fehlen. Dagegen teilen lediglich 27 % der befragten Anwender diese Sichtweise. Dies deutet darauf hin, dass die Unternehmen des produzierenden Gewerbes zum Teil die notwendigen Voraussetzungen für den Einsatz von KI unterschätzen, so dass sich hier ein gewisser Aufklärungsbedarf ergibt.[13]

Darüber hinaus geben 44 % der befragten Anbieter an, dass Ängste und Vorurteile der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Unternehmen des produzierenden Gewerbes den effizienten Einsatz von KI in diesen Unternehmen beschränken. Jedoch schätzen lediglich 17 % der Anwender, dass dies auf sie zutrifft. Ein ähnliches Bild ergibt sich für die Aufgeschlossenheit der Führungskräfte. 54 % der Anwender gehen davon aus, dass ihre Führungskräfte dem Einsatz von KI aufgeschlossen gegenüber stehen. Dagegen sehen nur 21 % der Anbieter diese Aufgeschlossenheit im produzierenden Gewerbe als gegeben an. Auch wenn ein möglicher Early Adopter Bias unter den Anwendern die Unterschiede evtl. größer erscheinen lässt als sie tatsächlich sind, sollten die Einschätzungen der KI-Anbieter in Deutschland diesbezüglich ernst genommen werden.

Aufschlussreich ist zudem die Tatsache, dass sich die befragten Anbieter von KI-Technologien ihres Wettbewerbsvorteils als deutsche Unternehmen kaum bewusst sind. Nur 28 % der befragten Anbieter gehen davon aus, dass die Firmen des produzierenden Gewerbes europäische Anbieter solchen aus den USA oder Asien vorziehen würden. Jedoch zeigen 73 %

13 Der Vollständigkeit halber wird an dieser Stelle noch einmal auf den Early Adopter Bias innerhalb der Anwender-Stichprobe hingewiesen. Es ist daher nicht auszuschließen, dass der Anteil unter den befragten Anwendern, der tatsächlich die notwendigen Voraussetzungen erreicht hat, größer ist als in der Grundgesamtheit der Unternehmen des produzierenden Gewerbes.

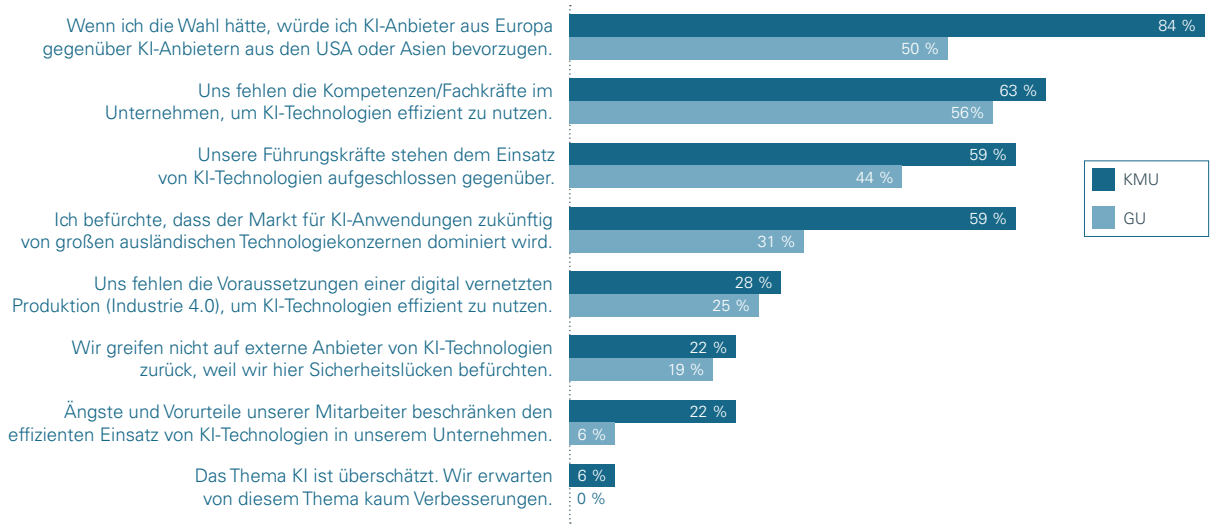



Abbildung 18: Anteil der befragten Anwender (GU und KMU), die den jeweiligen Aussagen zustimmen bzw. voll und ganz zustimmen. (Quelle: iit)

der befragten Anwender genau diese Präferenz und geben damit ein starkes Votum für eine technologische Souveränität ab. Offensichtlich nehmen aber die Anbieter ihren bestehenden Wettbewerbsvorteil, ein europäisches Unternehmen zu sein, nicht immer wahr.

Auch zu den Erfolgsfaktoren und Hemmnissen wurden die Aussagen der KMU mit denen der Großunternehmen verglichen (vgl. Abbildung 18). Hier wird deutlich, dass KMU stärker als Großunternehmen europäische KI-Anbieter bevorzugen. Bei den Großunternehmen gilt dies nur für die Hälfte der Befragten. Zudem fürchten KMU eher die Dominanz großer internationaler Konzerne auf dem Markt für KI-Anwendungen. Dies unterstreicht die Vermutung, dass KMU insgesamt skeptischer sind, was die Sicherheit von KI-Anwendungen angeht und daher Kooperationen scheuen.

## 4.3 Auswirkungen des KI-Einsatzes

Die folgende Analyse befasst sich näher mit den Erwartungen zum zukünftigen Einsatz der KI. Die zukünftige Zusammenarbeit mit externen Dienstleistern sowie die Einschätzung der Akteure zur aktuellen und zukünftigen Wettbewerbsfähigkeit bilden weitere Analysethemen.

### 4.3.1 Erwartungen zum zukünftigen Einsatz entlang der Wertschöpfungskette

Dieser Abschnitt zeigt die Ergebnisse zu den erwarteten Veränderungen der industriellen Wertschöpfung, die von der KI ausgehen. Abbildung 19 stellt die Anteile der Unternehmen gegenüber, die angegeben haben, bereits heute und voraussichtlich in fünf Jahren in den einzelnen Wertschöpfungsstufen KI-Technologien einzusetzen. Das Ergebnis zeigt deutlich, dass die Unternehmen des produzierenden Gewerbes in ausnahmslos allen Wertschöpfungsstufen planen, zukünftig verstärkt KI-Technologien einzusetzen. In allen Kernaktivitäten rechnen jeweils mehr als die Hälfte der Unternehmen damit, in 5 Jahren KI-Technologien zu nutzen. Die meisten Unternehmen erwarten dies im Bereich Service/Kundendienst sowie Marketing/Vertrieb. Für die Querschnittsaktivitäten erwarten jeweils mindestens 40 % der

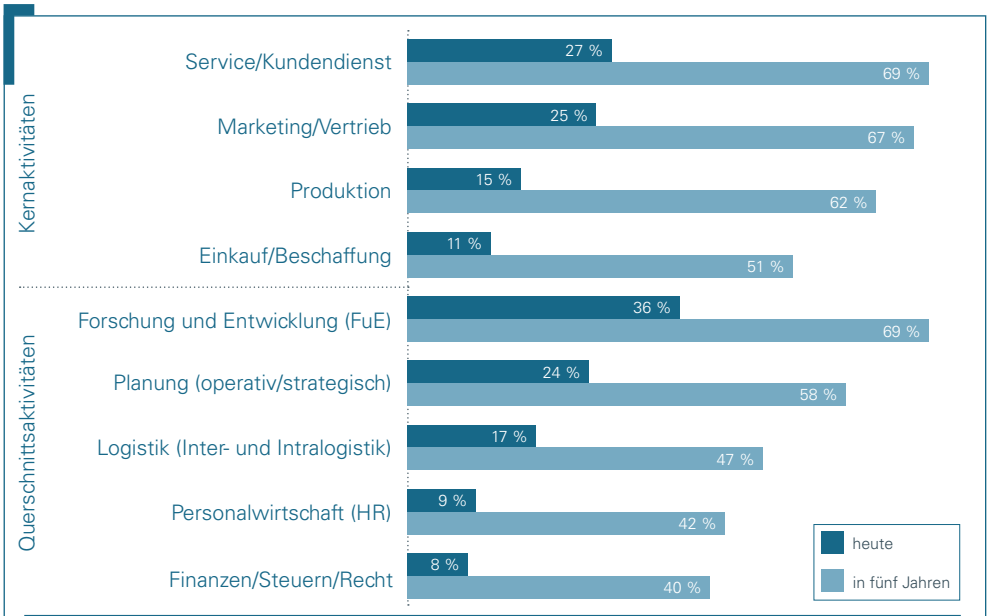



Abbildung 19: Anteil der befragten Anwender, die in den jeweiligen Wertaschöpfungsstufen heute und voraussichtlich in fünf Jahren mindestens in geringem Umfang KI-Technologien einsetzen (Quelle: iit)

Unternehmen in fünf Jahren KI-Technologien zu nutzen. Die Mehrheit der Unternehmen erwartet dies im Bereich Forschung und Entwicklung sowie in der Planung.

Für ein differenzierteres Bild werden in Abbildung 20 die Erwartungen von Großunternehmen und KMU gegenübergestellt. Dabei ist für jede Wertschöpfungsstufe der Anteil der Großunternehmen und KMU abgebildet, die mit dem Einsatz von KI-Technologien in fünf Jahren rechnen. Insgesamt erweisen sich die Erwartungen für die Mehrzahl der Wertschöpfungsstufen als sehr homogen. Jeweils mehr als die Hälfte der KMU und der Großunternehmen geht davon aus, in fünf Jahren in der Forschung und Entwicklung, im Marketing/Vertrieb, in der Produktion, im Service/Kundendienst sowie in der Planung KI-Technologien zu nutzen. Darüber hinaus liegt der Fokus der Großunternehmen stärker auf Logistik sowie Einkauf/Beschaffung. Für beide Bereiche rechnen jeweils deutlich mehr als die Hälfte der Großunternehmen, aber weniger als die Hälfte der KMU mit dem Einsatz von KI-Technologien.

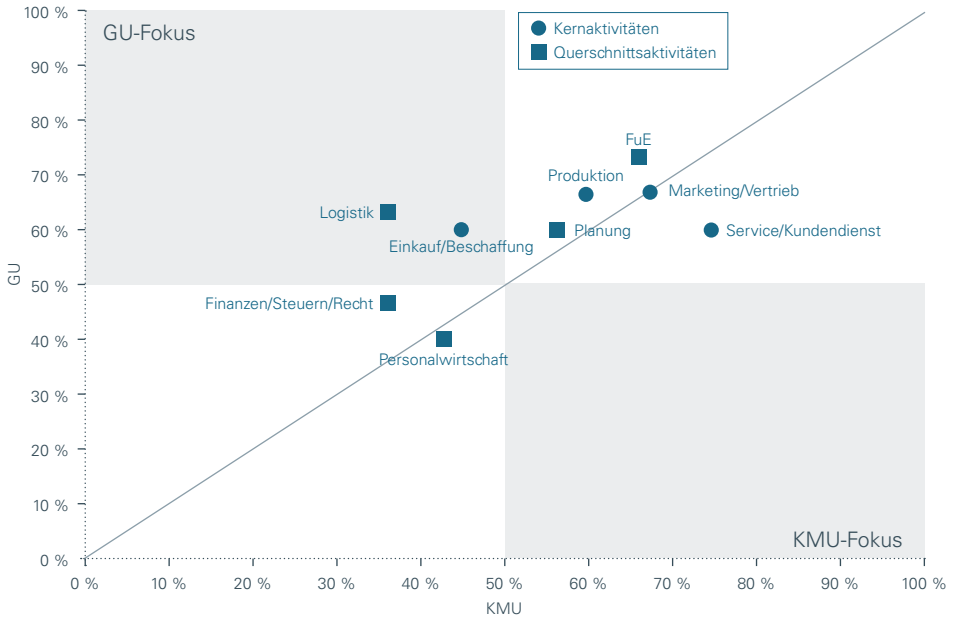



Abbildung 20: Anteil der befragten Anwender (GU und KMU), die voraussichtlich in fünf Jahren in den jeweiligen Wertschöpfungsstufen mindestens in geringem Umfang KI-Technologien einsetzen (Quelle: iit)

Zur Verdeutlichung des geplanten Umfangs des Einsatzes von KI-Technologien sind in Abbildung 21 die Medianwerte des zukünftig erwarteten KI-Einsatzes entlang der Wertschöpfungskette der Anwender dargestellt.[14] Aus Abbildung 21 lässt sich dabei gut erkennen, dass über alle Wertschöpfungsstufen hinweg die Hälfte der befragten Unternehmen mindestens einen mittleren KI-Einsatz plant. Die höchsten Werte erzielen dabei Produktion, Marketing/Vertrieb, Service/Kundendienst sowie Forschung und Entwicklung.

14 Der Median teilt die Gesamtheit der Respondenten in zwei gleich große Hälften, so dass die eine Hälfte einen geringeren Wert nennt, die andere Hälfte einen höheren.

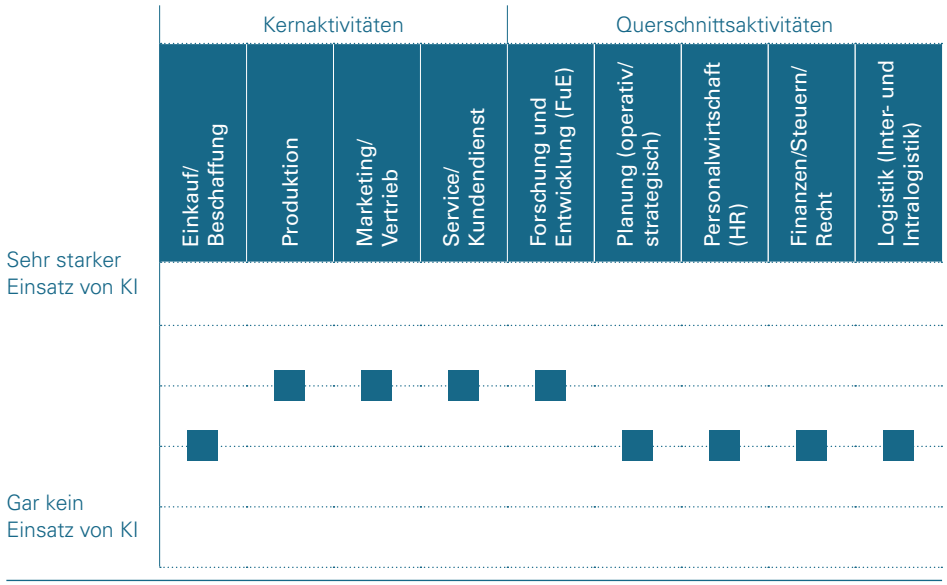



Abbildung 21: Mittelwert (Median) der befragten Anwender, die voraussichtlich in fünf Jahren in den jeweiligen Wertschöpfungsstufen KI-Technologien einsetzen werden (Quelle: iit)

Ein ähnliches Bild ergibt sich aus den Erwartungen der Unternehmen hinsichtlich des Anteils der Tätigkeiten in den Wertschöpfungsstufen, die zukünftig durch autonom handelnde Systeme übernommen werden. Liegt dieser, wie oben aufgezeigt wurde, aktuell noch bei der Mehrheit der Unternehmen bei 0 %, so rechnen die meisten Unternehmen in 5 Jahren mit einem Anteil von mehr als 10 % in fast allen Wertschöpfungsstufen (Abbildung 22).

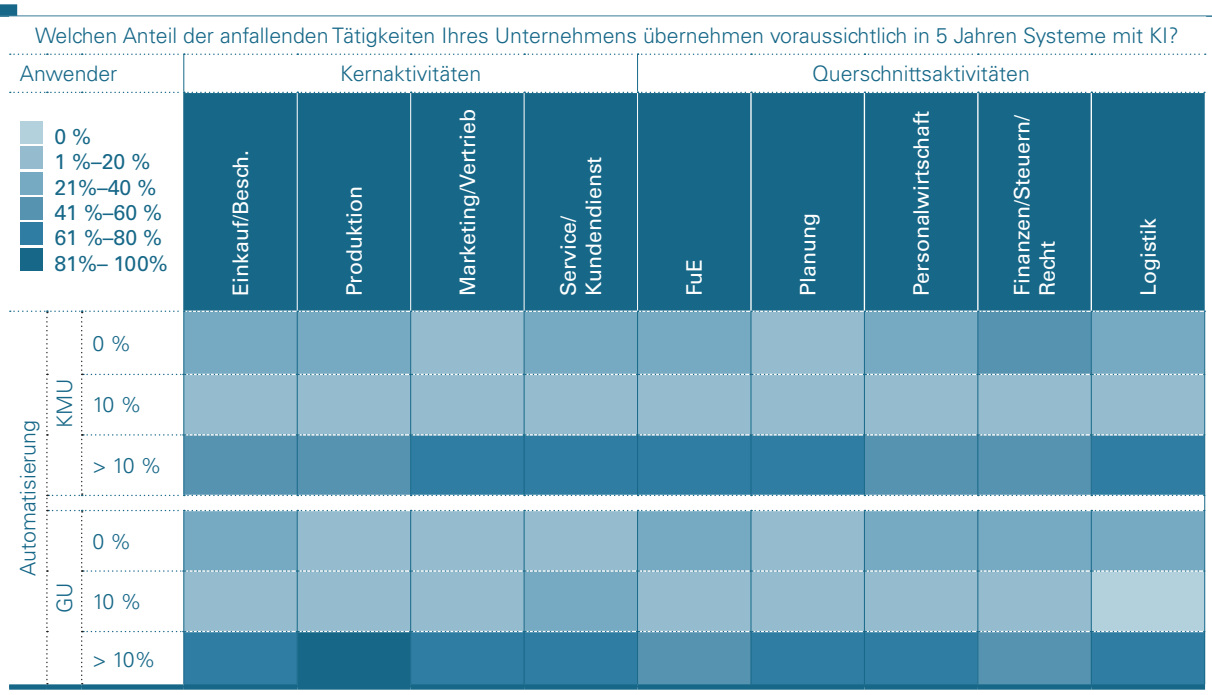



Abbildung 22: Zukünftig erwarteter Automatisierungsgrad der Entscheidungen (in fünf Jahren) (Quelle: iit)

### 4.3.2 Erwartungen an die Kooperation mit externen Dienstleistern

Nachdem im vorhergehenden Kapitel die fehlenden internen Kompetenzen und Fachkräfte als bedeutendes Hemmnis beim Einsatz von KI-Technologien identifiziert wurden, stellt sich die Frage, wie die oben dargestellten Erwartungen umgesetzt werden können. Eine Möglichkeit bietet sich durch Kooperationen mit externen KI-Dienstleistern. Wie oben dargestellt, wirken hierbei Sicherheitsbedenken für rund 20 % der Unternehmen als Hemmnis. Bei KMU sind diese wiederum größer als bei den Großunternehmen. Abbildung 23 stellt aus diesem Grund die heutige Bereitschaft zur Zusammenarbeit mit externen KI-Anbietern der zukünftig erwarteten Kooperationsneigung gegenüber. Dabei ist ein deutlicher Anstieg zu erkennen. Während bisher je nach Wertschöpfungsstufe 19 % bis max. 40 % der Unternehmen, die bereits KI nutzen, auf die Dienste externer Anbieter setzen, gehen deutlich mehr als die Hälfte aller Unternehmen davon aus, in fünf Jahren in sämtlichen Wertschöpfungsstufen mit externen Dienstleistern zu kooperieren. Es lässt sich somit festhalten, dass die Mehrzahl der Unternehmen bei der zukünftigen Implementierung von KI-Technologien eine Outsourcing-Strategie verfolgt.

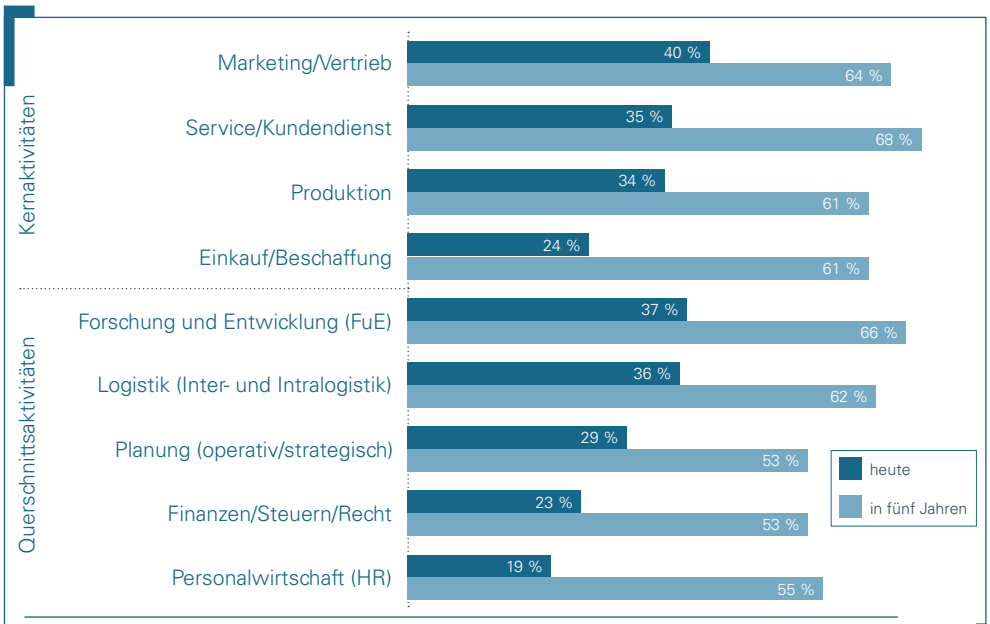



Abbildung 23: Anteil der befragten Anwender, die in den jeweiligen Wertaschöpfungsstufen heute und voraussichtlich in fünf Jahren mit externen KI-Anbietern arbeiten (Quelle: iit)

Der Vergleich zwischen Anwendern und Anbietern von KI-Technologien in Abbildung 24 zeigt wiederum, dass die Mehrzahl der Anwender und Anbieter mit einem erhöhten Einsatz von KI-Technologien in 5 Jahren in den Bereichen Forschung und Entwicklung, Service/Kundendienst, Produktion, Marketing/Vertrieb und Planung rechnen. Die Anbieter zeigen dabei naturgemäß eine etwas optimistischere Sichtweise, so dass sich alle Datenpunkte oberhalb der 45°-Diagonale befinden.

Ein Demand-Pull-Effekt, bei dem die Erwartungen der Anwender nicht durch ähnliche Erwartungen der Anbieter gespiegelt würden (rechter unterer Quadrant), ist somit nicht zu erkennen. Für die Bereiche Logistik, Personalwirtschaft und Finanzen/Steuern/Recht ist jedoch ein gewisses Technology-Push-induziertes Innovationspotenzial sichtbar (linker oberer Quadrant). Für diese Wertschöpfungsstufen rechnen weniger als die Hälfte der Anwender mit dem zukünftigen Einsatz von KI. Gleichzeitig erwartet jedoch eine deutliche Mehrheit der

Anbieter, dass in diesen Bereichen zukünftig KI-Technologien eingesetzt werden. Es ist daher davon auszugehen, dass die Anbieter entsprechende Produkte entwickeln und diese auf dem Markt platzieren werden.

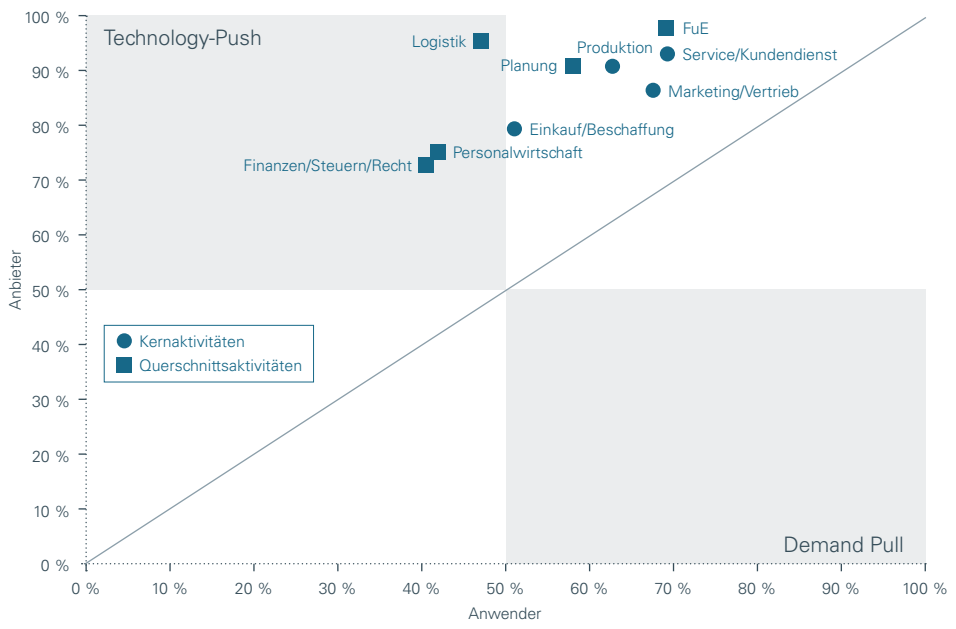



Abbildung 24: Anteil der Anbieter und Anwender, die in den nächsten fünf Jahren mit dem Einsatz von KI-Technologien in den jeweiligen Wertschöpfungsstufen rechnen (Quelle: iit)

### 4.3.3 Einschätzung der Akteure zur Wettbewerbsfähigkeit

Zur Verortung der aktuellen Wettbewerbsfähigkeit mit Blick auf die KI werden die Einschätzungen von KI-Anbietern und KI-Forschern gegenübergestellt. Der Vergleich vermittelt u. a. einen ersten Eindruck darüber, wie gut der Transfer der Forschungsergebnisse aus der Grundlagenforschung in die Anwendung gelingt. Hier wird deutlich, dass das Matching zwischen Forschungsergebnissen und Überführung dieser Ergebnisse in die Anwendung in einzelnen Forschungsbereichen mit Schwierigkeiten behaftet ist.

Dies zeigt sich daran, dass die Forscherinnen und Forscher Deutschland im Bereich Natural Language Processing und Kognitive Modellierung zwar als international führend einschätzen, diese Technologien jedoch nicht zu den Bereichen zählen, in denen die Anbieter Deutschland eine führende Rolle zusprechen. Wenn man davon ausgeht, dass beide Gruppen für sich jeweils zutreffende Einschätzungen abgegeben haben, liegt die Interpretation nahe, dass deutsche Forschungsergebnisse aus diesen beiden Bereichen zu wenig den Weg zu den deutschen Technologieanbietern finden. Mit Blick auf die USA fällt auf, dass den Anbietern eine hohe Wettbewerbsfähigkeit attestiert wird, die sich sehr gut mit der Exzellenz in der Forschung deckt. Die hohe Übereinstimmung deutet darauf hin, dass die Wirtschaft in den USA sehr gut in der Lage zu sein scheint, die Ergebnisse aus der Grundlagenforschung zu absorbieren (Abbildung 25).

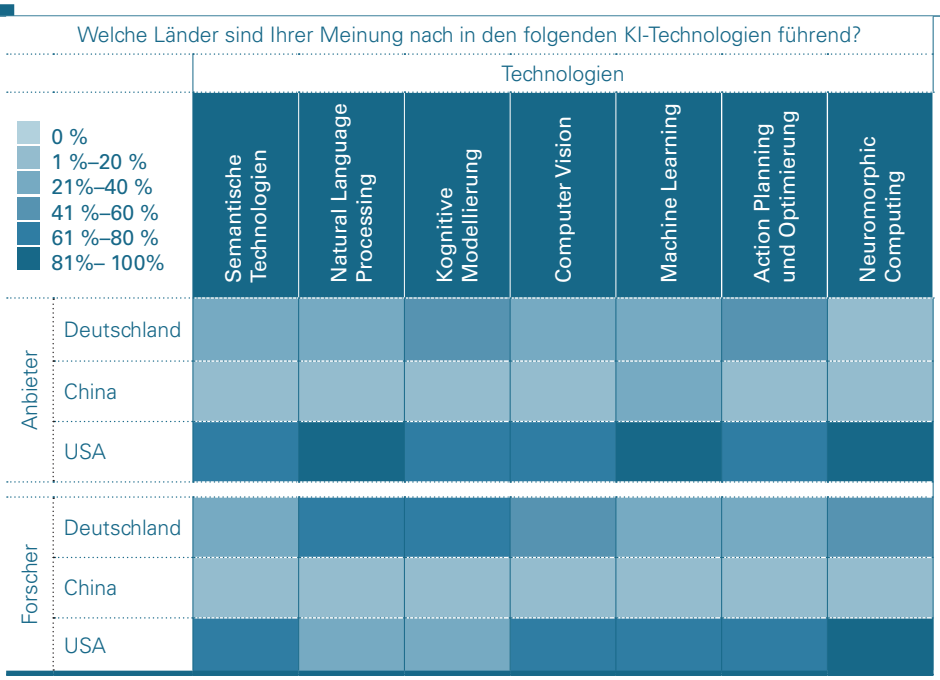



Abbildung 25: Führende Länder mit Blick auf die unterschiedlichen KI-Technologien (Einschätzung der Anbieter sowie Forscherinnen und Forscher) (Quelle: iit)

Dass der Transfer von Forschungsergebnissen in konkrete Anwendungen in Deutschland kein generelles Problem darstellt, zeigt sich beim Blick auf die KI-Anwendungen. Hier sehen sowohl die befragten Forscherinnen und Forscher als auch die Anbieter klare Vorteile

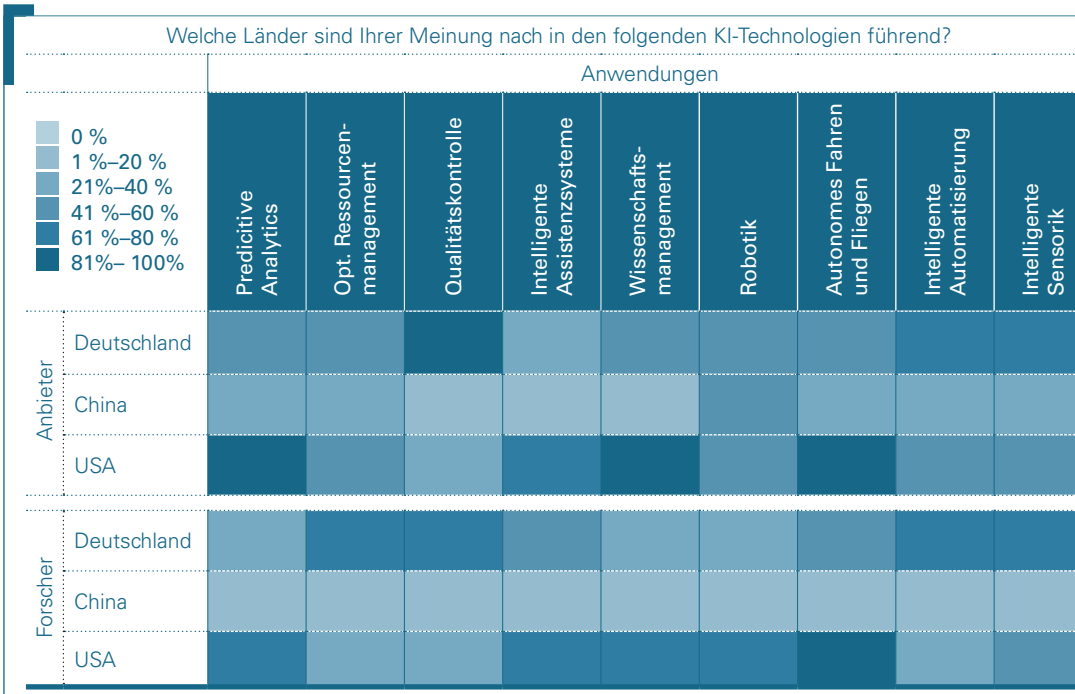



Abbildung 26: Führende Länder mit Blick auf die unterschiedlichen KI-Anwendungen (Einschätzung der Anbieter sowie Forscherinnen und Forscher) (Quelle: iit)

Deutschlands in den Bereichen Qualitätskontrolle, Intelligente Automatisierung und Intelligente Sensorik (Abbildung 26). Deutschland scheint in diesen Bereichen gut darin zu sein, KI-Technologien zu kombinieren und daraus Anwendungen zu generieren. Diese Fähigkeit, technische Innovationen in marktfähige Anwendungen und Produkte umzusetzen, zählt bekannterweise zu den zentralen Stärken des deutschen Innovationssystems.[15]

Die befragten Technologieanbieter nehmen aktuell die Unternehmen aus den USA als größte Konkurrenten wahr. Mit Blick auf China wird zwar zukünftig mit einer Zunahme des Wettbewerbs gerechnet, aktuell werden chinesische Unternehmen jedoch noch kaum als Wettbewerber wahrgenommen. Es wird aber erwartet, dass die Anbieter aus China zukünftig auch auf den deutschen Markt drängen werden (siehe Abbildung 27). Die Einschätzung der derzeitigen Bedeutung Chinas im Bereich der KI seitens der befragten Forscherinnen und Forscher sowie der Anbieter, wird jedoch zu einem gewissen Grad kontrastiert durch Chinas, in Kapitel 5 aufgezeigte, Publikationsstärke sowie die außergewöhnlich hohe Anzahl an chinesischen KI-Start-ups. Offensichtlich sehen die Befragten China derzeit trotz seines hohen Engagements noch nicht als einen führenden Standort für KI-Technologien und -Anwendungen im produzierenden Gewerbe an.

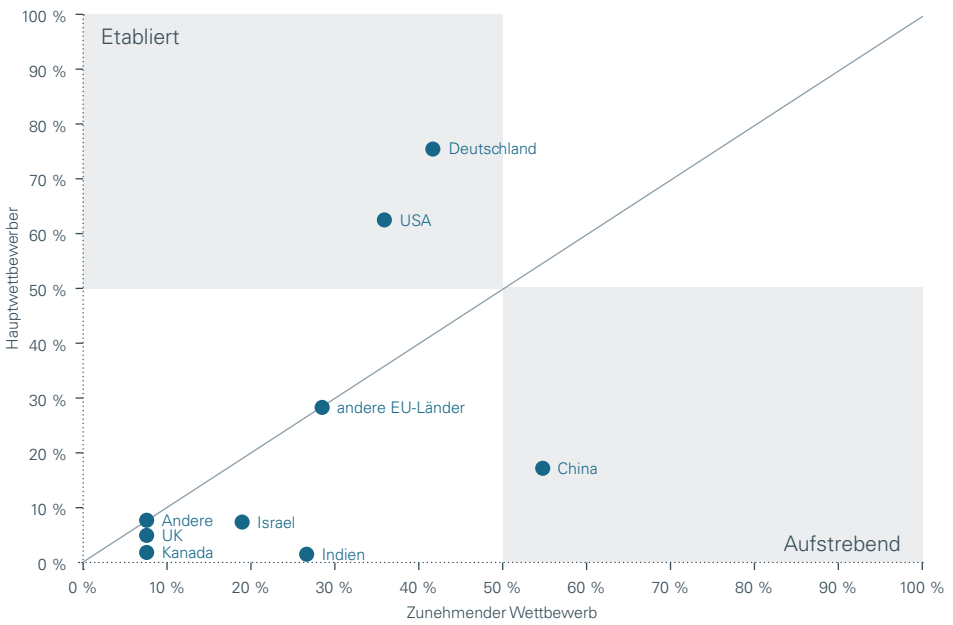



Abbildung 27: Anteil der Anbieter, die in den jeweiligen Ländern ihre Hauptwettbewerber verorten und mit zunehmendem Wettbewerb aus diesen Ländern rechnen (Quelle: iit)

15 Dies zeigt beispielsweise auch der iit-Indikator, der systematisch die Innovationsfähigkeit von Volkswirtschaften analysiert. Im aktuellen Ranking belegt Deutschland Rang vier (vgl. iit 2018).

# 5 Der Technologietransfer für KI in Deutschland

Für eine umfassende Beschreibung des Innovationssystems sei auf die EFI-Expertenkommission (2018) verwiesen, die in ihrem aktuellen Gutachten zu dem Schluss kommt, dass Deutschland bei der Grundlagenforschung gut aufgestellt ist, aber Schwächen beim Transfer der Forschungsergebnisse in die Wirtschaft zeigt. Dieser Aspekt soll daher noch einmal vertiefend untersucht werden, indem der Output des deutschen Wissenschaftssystems, das Start-ups-Ökosystem sowie die Regionalstruktur der Akteure des Technologietransfers im Bereich der KI betrachtet werden.

### 5.1.1 Wissenschaftlicher Output

Mit Blick auf das Wissenschaftssystem hat Deutschland den Vorteil, dass es in der KI-Grundlagenforschung gut aufgestellt ist. Nach dem Aufkommen der KI-Forschung in den 1970er und 1980er Jahren, fehlten lange Zeit relevante Anwendungsmöglichkeiten aufgrund mangelnder Rechenkapazitäten und zu weniger verfügbarer Daten. Während viele Länder daher die Forschung zur KI deutlich reduzierten, wurde sie in Deutschland über die Zeit hinweg aufrechterhalten, z. B. am seit 1988 bestehenden und an drei Standorten forschenden Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI).

Dies zeigt sich auch in den wissenschaftlichen Publikationen und Patenten zum Thema KI. Hier nimmt Deutschland gemeinsam mit anderen Nationen eine führende Rolle ein: 4,8 % der KI-Publikationen der letzten zehn Jahre stammen aus Deutschland.[16] Nur China (23,7 %), die USA (14,5 %), Indien (7,4 %) und Großbritannien (5,1 %) sind in diesem Bereich noch publikationsstärker. Die Leistungsfähigkeit des Wissenschaftssystem zeigt sich auch darin, dass 9,5 % der meist zitierten und damit einflussreichsten Beiträge auf renommierten KI-Konferenzen innerhalb der letzten zehn Jahre von Forscherinnen und Forschern aus Deutschland kamen. Deutschland ist damit mit Ländern wie den USA, China, Großbritannien, Frankreich und Kanada im Bereich der KI-Forschung führend (EFI-Expertenkommission 2018).

Aktuell fällt Deutschland im internationalen Vergleich jedoch leicht zurück. Während Forscherinnen und Forscher aus Deutschland vor fünf Jahren hinter den USA die meisten Konferenzbeiträge vorweisen konnten, liegt man aktuell nur noch auf dem fünften Rang. Im Zuge des aktuellen KI-Booms scheinen andere Länder ihre FuE-Bemühungen zum Thema KI stärker zu forcieren als es in Deutschland der Fall ist.

Mit Blick auf Patentanmeldungen für autonome Systeme ist Deutschland laut (EFI-Expertenkommission 2018) bei den Anwendungsfeldern autonomes Fahren und bei menschenfeindliche Umgebungen gut aufgestellt, bei Smart Home und in Industrieproduktion wiederum im Mittelfeld. Jedoch zeigt die vorliegende Studie, dass eine pauschale Betrachtungsweise gesamter Anwendungsfelder bzw. Branchen deren Komplexität nicht gerecht wird. Vielmehr ist eine Differenzierung hinsichtlich der unterschiedlichen KI-Anwendungen unumgänglich. Wie in Kapitel 4.3.3 gezeigt, sehen die befragten Forscherinnen und Forscher Deutschland in den für das produzierende Gewerbe wichtigen KI-Anwendungen Intelligente Automatisierung, Intelligente Sensorik, Qualitätskontrolle und Optimiertes Ressourcenmanagement als führend an. Dagegen sehen sie die USA in den Bereichen Predictive Analytics und Robotik in der Spitzenposition.

16 Datengrundlage: Web of Science (Clarivate Analytics 2018). Betrachtet wurden Publikationen seit 01.01.2008, die der Web-of-Science Category: „Computer Science, Artificial Intelligence" zugeordnet sind.

Insgesamt ist in Deutschland mit Blick auf die KI-Forschung damit eine solide Basis vorhanden, um die Innovationsanstrengungen zu forcieren. Gleichzeitig zeigt sich, dass andere Länder mehr in das Thema KI investieren als bisher. Um international wettbewerbsfähig zu bleiben, sind damit auch in Deutschland die Forschungsaktivitäten weiter zu verstärken.

### 5.1.2 Start-ups

Entscheidend für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands ist die Dynamik im Gründungsgeschehen mit Schwerpunkt auf KI-Innovationen. Um hier einen Eindruck zu erhalten, wurden im Rahmen der Studie Daten zum KI-Gründungsgeschehen (auf Basis der Datenbank von Crunchbase 2018) ausgewertet. Neben der Anzahl der KI-Start-ups liefert die Datenbank auch Informationen zu den Unternehmensübernahmen, ein wichtiger Indikator zur Bedeutung und Qualität der gegründeten KI-Unternehmen.

Es zeigt sich, dass die USA im internationalen Vergleich sehr viele KI-Start-ups hervorbringen. In den USA entstehen rund eineinhalbmal so viele Start-ups mit KI-Bezug wie in der gesamten Europäischen Union und fast fünfzehnmal so viele wie in Deutschland (Abbildung 28).

Damit gelingt es den USA ausgesprochen gut, Ergebnisse aus der Grundlagenforschung über den Kanal der Unternehmensgründung in die Wirtschaft zu transferieren. Dass Deutschland hier ein Defizit hat, wird beim Vergleich zu Großbritannien deutlich, da beide Länder hinsichtlich Größe und Forschungsleistung vergleichbar sind. In Großbritannien lassen sich anhand der Datenbank etwa zweieinhalbmal so viele KI-Start-ups wie in Deutschland identifizieren. Lemaire

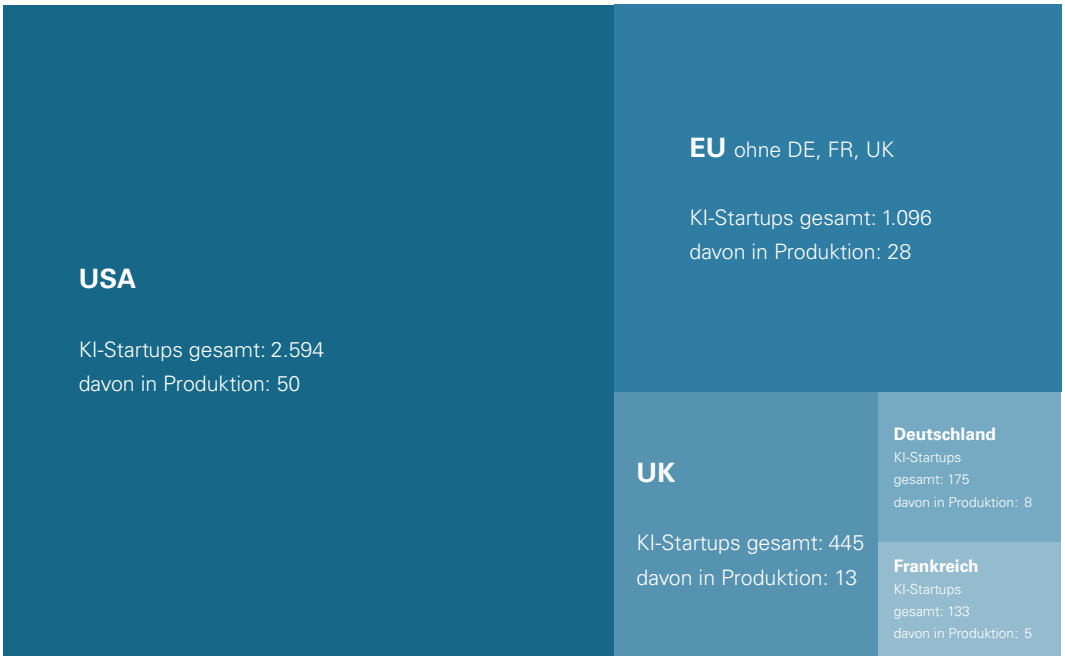



Abbildung 28: KI-Start-ups in den USA, Europa, UK, Deutschland und Frankreich und der EU (Quelle: iit, Datengrundlage: Crunchbase 2018)

et al. (2018) zeigen in ihrer Studie zum KI-Gründungsgeschehen unter Verwendung weiterer Quellen vergleichbare Relationen, verdeutlichen aber zudem die große Zahl chinesischer und israelischer Start-ups, die jeweils Platz zwei und drei hinter den USA einnehmen. Länderübergreifend lassen sich insgesamt nur relativ wenige KI-Start-ups direkt dem produzierenden Gewerbe zuordnen. In Deutschland sind dies bspw. insgesamt nur acht von 175 Start-ups.

Ein wichtiger Kanal für den Technologietransfer ist die Akquise von Start-ups von etablierten Unternehmen. Gerade für letztere kann es eine erfolgreiche Strategie sein, KI-relevantes Know-how durch die Übernahme von Start-ups in das eigene Unternehmen zu integrieren. Informationen zu den entsprechenden Unternehmensübernahmen liefert ebenfalls die Crunchbase-Datenbank. So wurden die Daten zu den Gründungen dezidiert nach der Häufigkeit der Übernahmen ausgewertet. Auch hier zeigt sich, dass US-Amerikanische Unternehmen sehr viel agiler sind. Sie stehen für gut 72 % der weltweiten KI-Start-up-Akquisitionen (Abbildung 29). Neben den führenden Internet-Konzernen finden sich weitere Akteure (z. B. Salesforce, Teradata), die gezielt in KI-Start-ups investieren. Angesichts der Dominanz US-amerikanischer Konzerne in der IT-Branche ist es wenig überraschend, dass Unternehmen aus Deutschland dagegen nur für ca. 3 % der in der Datenbank enthaltenen Übernahmen von KI-Start-ups stehen. Immerhin stellen sich aber die beiden großen deutschen Internetkonzerne SAP (drei Akquisitionen) und Software AG (zwei Akquisitionen) hier strategisch auf (vgl. Abbildung 29).

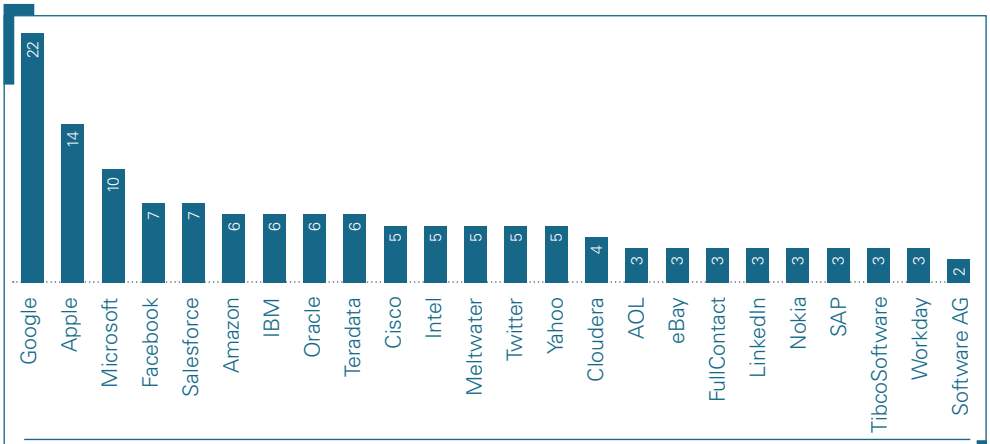



Abbildung 29: Firmen, die weltweit die meisten KI-Start-ups übernommen haben (Quelle: iit, Datengrundlage: Crunchbase 2018)

An der Anzahl der akquirierten Start-ups zeigt sich zum Teil auch der Innovationsgehalt bzw. die wirtschaftliche Attraktivität, die Investoren den Start-ups zusprechen. Auch hier spiegelt sich das hohe Potenzial der amerikanischen Start-up-Landschaft wider. Deutlich mehr als die Hälfte der übernommenen KI-Akquisitionen betreffen US-Start-ups. Mit großem Abstand folgen Großbritannien sowie Deutschland, Frankreich und Kanada.[17]

Der Technologietransfer zu KI-Start-ups und von KI-Start-ups zu etablierten IKT-Unternehmen zeigt damit im internationalen Vergleich eine zu geringe Wettbewerbsfähigkeit. Der Nachholbedarf beschränkt sich wiederum keineswegs allein auf Deutschland, vielmehr betrifft er auch andere europäische Staaten (EFI-Expertenkommission 2018).

17 Allerdings kann es bei der Suche nach externem Know-how zu einem sogenannten regionalen Bias kommen (vgl. Broekel und Binder 2007), so dass beispielsweise US-Konzerne zunächst auch auf US-Start-upss statt auf europäische Start-ups aufmerksam werden.

### 5.1.3 Räumliche Verteilung von Akteuren der Grundlagenforschung und des Technologietransfers

Trotz Mobilität und Digitalisierung ist der Technologietransfer immer noch auf die räumliche Nähe der Transferpartner angewiesen. Daher lohnt sich ein Blick auf die regionale Verteilung der Einrichtungen der Grundlagenforschung und der Orte, an denen der Wissenschaftstransfer stattfindet.[18]

Grundlagenforschung: Als Ausgangsbasis für die Ermittlung der Hauptakteure in der Grundlagenforschung dienen die Recherchen in der Datenbasis GEPRIS der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG 2018) als zentraler Fördergeber für die Grundlagenforschung für KI in Deutschland. Auch die staatlich geförderten Max-Planck-Institute mit den Schwerpunkten Informatik und intelligente Systeme sind Bestandteil der Analyse. Als wichtige Akteure der anwendungsorientierten KI-Forschung werden die Institute der Fraunhofer Gesellschaft berücksichtigt, die sich thematisch auf das Thema KI spezialisiert haben. Die Hauptforschungsaktivitäten in anwendungsnahen KI-Bereichen finden aber federführend im Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz statt, daher liegt hier ein weiterer Schwerpunkt der Analyse.

Abbildung 30 zeigt die lokale Konzentration der KI-Forschung in Deutschland, die auch weitere Forschungseinrichtungen wie beispielsweise Universitäten miteinschließt. Die blauen Kreise stehen für Forschungsstärke, gemessen an der Anzahl der KI-Publikationen in Web of Science (Clarivate Analytics 2018), und zeigen, dass die deutschen KI-Forschungskompetenzen breit gestreut sind und sich auf eine Reihe von Standorten verteilen.

Die verschiedenen Standorte sind heterogen in der Ausprägung der erforschten KI-Technologien und -Anwendungsfelder. Die unterschiedliche Spezialisierung von Universitäten und Forschungs-einrichtungen zeigt sich auch im Bereich der Fördermaßnahmen zum Thema KI. Beispielsweise fördert die DFG die KI-Forschung zum Thema Handlungsplanung und Optimierung (für Produktion) in Aachen (EXC 128), in Natural Language Processing in Saarbrücken (EXC 284), in Kognitiver Modellierung und Natural Language Processing für die Mensch-Maschine-Interaktion in Bielefeld (EXC 277) und in Handlungsplanung und Optimierung für die Logistik in Dortmund (SFB 876).

Die Max-Planck-Gesellschaft und das Land Baden-Württemberg fördern die Spezialisierung der Standorte Tübingen und Stuttgart in Maschinellem Lernen, Computer Vision und Robotik mit besonderem Augenmerk auf das Anwendungsgebiet Autonomes Fahren (Cyber Valley Initiative), die Fraunhofer Gesellschaft konzentriert ihre Bemühungen in Semantischen Technologien auf den Raum Bonn-Sankt Augustin (Fraunhofer Institut für Intelligente Analyse und Informationssysteme).[19] Die Publikationen sind erwartungsgemäß eng an die Wissenschaftsstandorte gebunden.

18 Die Analyse basiert auf unterschiedlichen Datenquellen. Die Unterscheidungen zwischen den verschiedenen Gruppen von Akteuren (KI-Forscherinnen und -Forscher, KI-Anbieter, KI-Anwender) konnte auf der zusammengeführten Datenbasis nicht immer trennscharf erfolgen. Angewandte Forschungsinstitute sind z. B. oft sowohl KI-Forscherinnen und -forscher als auch KI-Anbieter, viele Unternehmen (gerade GUs) sind forschungsaktiv und können somit nicht rein auf der Nachfrageseite (Anwender) gesehen werden. Die Ergebnisse stellen daher ein qualitatives Bild der Forschungsaktivitäten in Deutschland dar.

19 Eine systematische Analyse der lokalen Spezialisierung der deutschen KI-Forschungsstandorte würde weitere vertiefte Untersuchungen erfordern. Was jedoch ersichtlich wird ist, dass KI-Technologieexpertise in Deutschland grob auf eine kleine zweistellige Anzahl von Standorten verteilt ist, die sich durch eine lokale Spezialisierung auf bestimmte KI-Technologien und/oder Anwendungen auszeichnen.

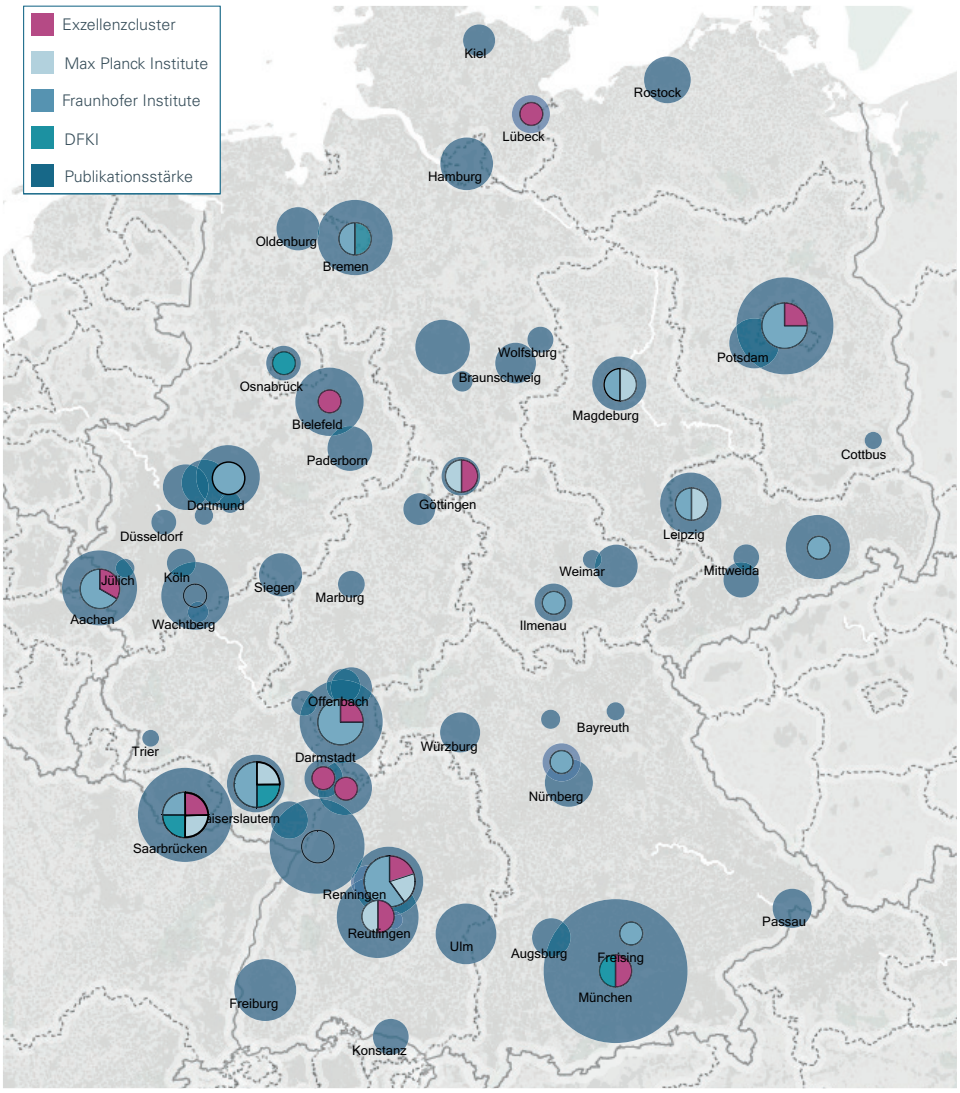



Abbildung 30: Regionale Publikationsstärke in KI der letzten 10 Jahre (Quelle: iit, Datenbasis: Web of Science: Clarivate Analytics 2018, GEPRIS: DFG 2018)

**Technologietransfer:** Typischerweise gibt es zwei wesentliche Quellen für den Technologietransfer: Verbundprojekte von Wissenschaft und Wirtschaft sowie Start-ups. Die räumliche Verteilung von KI-Start-ups kombiniert mit der Allokation von Fördergeldern wird in Abbildung 31 dargestellt. Enthalten sind die aktuell laufenden Projekte des BMWi (insgesamt 218), des BMBF (insgesamt 215) und der EU (insgesamt 87).[20]

20 Betrachtet werden allein die laufenden Projekte des BMBF mit Bezug zu intelligenten, lernenden Systemen und Projekte des BMWi mit Bezug zu intelligenten Systemen sowie Projekten, die im Rahmen der Technologieprogramme Smart Service Welt I & II und PAiCE gefördert werden, ohne dabei die Suche auf das produzierende Gewerbe einzuschränken. Die BMBF-Projekte wurden in die Auswertung mit einbezogen, weil der größere Teil von ihnen ebenfalls anwendungsnah ausgerichtet ist und ihre Aufteilung in Grundlagen- und angewandte Projekte eher willkürlich wäre. Die Auswahl der EU Projekte beinhaltet die Suchkriterien „smart" oder „intelligent" in der Zielsetzung sowie Einschränkung auf die Programme FoF 2015-17, ICT 2015-17 mit den Förderschemata „Innovation Action" und „Research Innovation Action". Die KI-Projekte, die durch weitere Akteure wie BMEL, BMVI oder BMJV, die Bundesländer und die EU gefördert werden, wurden wegen ihrer geringen Anzahl aus arbeitsökonomischen Gründen nicht mit aufgenommen.

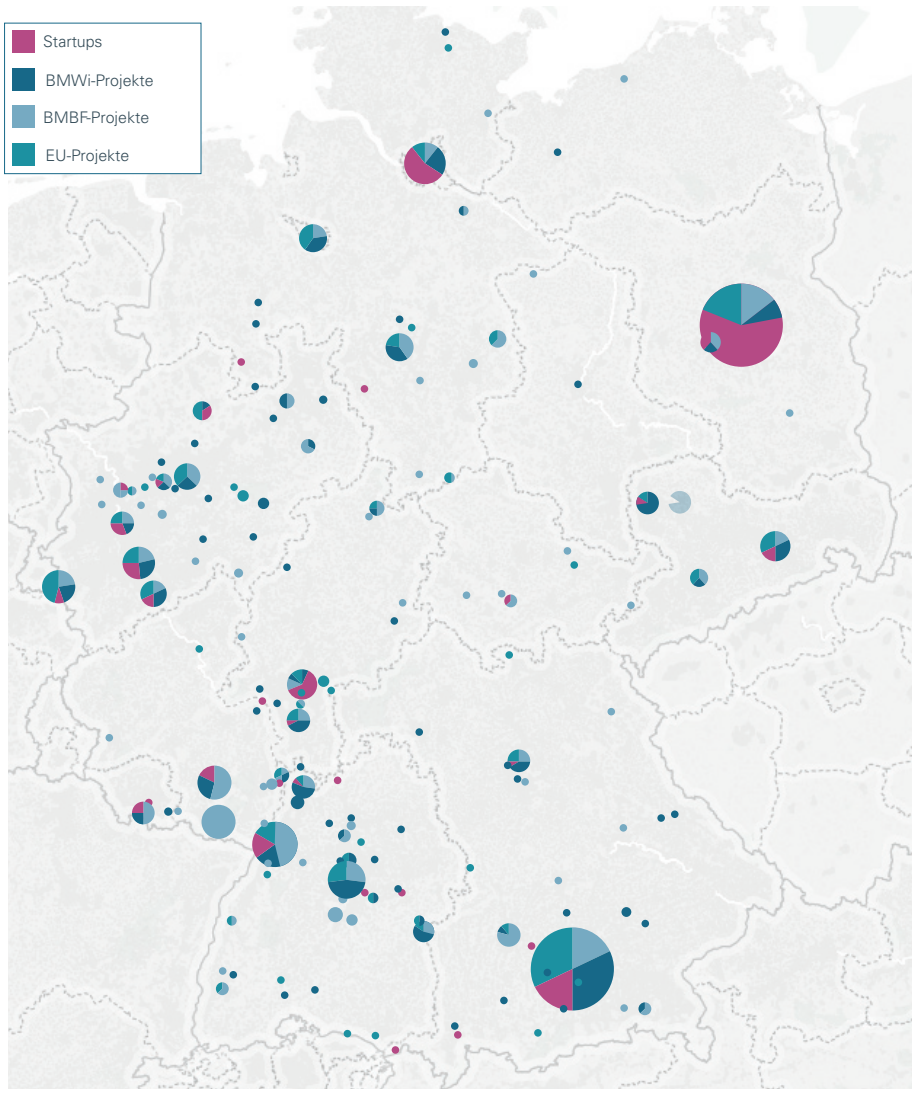



Abbildung 31: KI-Entwicklungsprojekte in Deutschland kombiniert mit der Anzahl der KI-Start-ups (Quelle: iit, Datengrundlagen: Förderkatalog der Bundesregierung: BMBF 2018, Crunchbase 2018, EU-Förderdatenbank CORDIS: Europäische Kommission 2018).

Zusätzlich sind die 169 KI-Start-ups der Crunchbase-Datenbank in die Abbildung integriert. Mit Blick auf die KI-Start-ups fällt auf, dass diese fast ausschließlich in den großen Städten (Berlin, München, Hamburg) und, in geringerem Maße, an Standorten (vgl. auch Abbildung 30) von großen KI-Forschungseinrichtungen, wie z. B. dem Karlsruher Institut für Technologie, zu finden sind. Eine starke Korrelation zwischen den Start-ups und den Förderprojekten wie auch Forschungseinrichtungen lässt sich dagegen nicht erkennen.

Die Analyse stärkt damit den entstandenen Eindruck, dass der Transfer von Ergebnissen aus der Grundlagenforschung in die Wirtschaft in Form von akademischen Spin-offs und angewandten Forschungsprojekten bisher nicht das volle Potenzial entfalten konnte. Hier besteht insgesamt Handlungsbedarf.

# 6 China im Fokus

Bei der Analyse der aktuellen Entwicklung zur KI in China zeigt sich, dass hier in den jüngsten politischen Programmen ganz massiv auf FuE zum Thema KI gesetzt wird. Die chinesische Zentralregierung erkennt KI als eine Schlüsseltechnologie an, um die wirtschaftliche Entwicklung des Landes zu forcieren. Hinzu kommt, dass die einzelnen Regionen Chinas umfassende Entscheidungskompetenzen haben und die Unternehmen in ihren wirtschaftlichen Aktivitäten unterstützen.

Doch auch auf Anbieterseite werden IT-Unternehmen aus China immer mächtiger. Obwohl Chinas Wirtschaft weiterhin relativ stark durch den politisch gelenkten Top-Down-Prozess der Regierung gesteuert ist, konnten chinesische (IT-)Unternehmen in jüngster Vergangenheit beachtliche Markterfolge erzielen. Heute werden IT-Konzerne wie Alibaba, Tencent oder Baidu als global agierende Unternehmen wahrgenommen. Sie sind aber weiterhin eng verknüpft mit Chinas politischer Führung, die die Unternehmen der definierten Schlüsseltechnologiebereiche mit vielfältigen Maßnahmen fördert.

Bei den adressierten Anwendungsbereichen und Forschungsschwerpunkten (siehe NSFC-Richtlinien) sind Überschneidungen zu den in Deutschland wie auch international adressierten Themen und Fragestellungen zu erkennen. Adressiert werden unter anderem Sprachtechnologien, Robotik, Autonomes Fahren und Cloud Computing.

China setzt bei aktuellen FuE-Programmen einen deutlichen Schwerpunkt beim Thema KI-Forschung. Beispielsweise wurde 2017 ein neuer Entwicklungsplan für die KI verabschiedet („Entwicklungsplan für eine neue Generation der künstlichen Intelligenz"). In diesem Rahmen wurde die Gründung eines gemeinsamen „Development Planning Office for a New Generation of Artificial Intelligence" (DPO-NGAI) bekannt gegeben, an dem sich die relevanten Ministerien und Forschungsinstitutionen des Landes beteiligen.

| Development Planning Office for a New Generation of Artificial Intelligence | |
|---|---|
| Verantwortliche Ministerien | • Ministry of Science and Technology (MOST)<br>• Ministry of Industry and Information Technologies (MIIT)<br>• National Development and Reform Commission (NDRC)<br>• Ministry of Education MOE (Hochschulen, Hochschulforschung/HS-Spin-Offs u. ä.) |
| Ministerien mit Ressortbezug | • Ministry of Transport (MOT)<br>• Ministry of Agriculture (MOA)<br>• Health and Family Planning Commission |
| Forschungsorganisationen | • Chinese Academy of Sciences CAS (inklusive Forschungsinstitute und Spin-Offs u.ä.)<br>• Chinese Academy of Engineering (CAE)<br>• National Natural Science Foundation of China (NSFC)<br>• China Association of Science and Technology (CAST) |
| Institutionen des Militärs | • Office of Central Military and Civilian Integrated Development Commission<br>• Equipment Development Department of the Central Military Commission<br>• Military Science and Technology Commission |

Tabelle 5: Mitglieder des chinesischen DPO-NGAI (Quelle: iit)

Die in Tabelle 5 enthaltenen Institutionen sind als die zentralen Stakeholder Chinas zu verstehen, die jeweils eigene Kompetenzen hinsichtlich der KI besitzen. Über die Einbindung des „Ministry of Education" (MOE) und die „Chinese Academy of Education" (CAS) sind

außerdem alle relevanten Hochschulen sowie außeruniversitäre Forschungseinrichtungen in den Prozess involviert (Manyika et al. 2017).

Eine wichtige Rolle bei der Umsetzung der aktuellen KI-Strategien der chinesischen Regierung werden natürlich auch die einschlägigen IT-Unternehmen Chinas einnehmen, von denen viele auch bereits international agieren, Dies sind bspw. Alibaba, Tencent, Baidu, iFlytek, Sogou, Didi Chuxing und Xinmeida (Global Times 2017) oder auch der Telekommunikationsriese Huawei.

Anders als in den meisten OECD-Ländern, und trotz der Betonung einer marktwirtschaftlichen Politik, übt die Politik weiterhin viel Einfluss auf die IT-Unternehmen aus China aus. Diese haben häufig keine Ausweichmöglichkeiten und sind aufgefordert, auch politisch umstrittene Belange der Politik umzusetzen. Dies wird immer wieder anhand einzelner Fälle deutlich, wie beispielsweise Alibabas Rolle bei der Entwicklung und Umsetzung des social credit systems (Gruber 2017), das die Bürgerinnen und Bürger Chinas einer digitalen Überwachung unterwirft. Diese starke Verquickung von Staat und Unternehmen kann sich auch innovationshemmend auswirken, was durch die Monopolstellungen im inländischen Markt jedoch oft kompensiert wird.

Westliche IT-Unternehmen, die in China aktiv sind, müssen sich in ihren Marktaktivitäten ebenso wie ihre chinesische Konkurrenz den strengen Regularien der Zentralregierung unterordnen. Gleichzeitig können im Vergleich zu den chinesischen IT-Unternehmen hingegen schwerer ihre eigenen Interessen durchsetzen.

Hinsichtlich aktueller Entwicklungen beim Thema KI lässt sich aktuell noch nicht abschließend abschätzen, ob es China durch die umfassenden Maßnahmen zum Thema KI gelingen kann, sich zum weltweit führenden KI-Land zu entwickeln. Die aktuellen Entwicklungen deuten jedoch darauf hin, dass es China gelingen kann, die noch existente Lücke zu den führenden Industrie-Ländern zu verringern.

Unterstützt wird der Aufholprozess durch Innovationskooperation mit den US-amerikanischen und deutschen Partnern beim Thema Industrie 4.0. Doch auch für Deutschland und die USA sind die internationalen Forschungskooperationen als Chance zu sehen, weil sich dadurch Standortvorteile und länderspezifische Schwerpunkte für beide Seiten gewinnbringend in die Unternehmen transferieren lassen. Im Ergebnis könnten beide Seiten davon profitieren.

Die größte Herausforderung Chinas mit Bezug zur KI liegt letztendlich in den wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen. Die starke Regulierung des Internets führt dazu, dass auch formal private Unternehmen nicht wirklich frei agieren können. Das Innovationspotenzial für KI wird durch die sich verstärkenden politischen Kontrollen bei Wissenschaft und Unternehmen unter Präsident Xi Jinping neuen Risiken ausgesetzt.

Damit bleiben die innovationspolitischen Rahmenbedingungen trotz der umfangreichen Forschungsförderung unvorteilhaft, wodurch u. a. Ineffizienzen hinsichtlich der staatlichen FuE-Investitionen zu erwarten sind. Insbesondere die stringente Top-Down-Planung und -Findung von Innovationsthemen sind hier zu nennen. Auch die Bildungs-, Wissenschafts- und Arbeitsmarktpolitik sind durch die starken regulatorischen Vorgaben weiterhin innovationshemmend. So liegt die Vermutung nahe, dass das mit der KI verbundene Innovationspotenzial in China langsamer zur Entfaltung kommt als in weniger stark regulierten OECD-Ländern.

Gleichzeitig sind die Ambitionen Chinas groß. Hierdurch eröffnen sich Chancen für Akteure aus Deutschland, durch FuE-Kooperationen von den FuE-Programmen und der Dynamik in China zu profitieren. Möglichkeiten hierfür sind gegeben: Beispielsweise bietet die laufende Kooperation zum „Deutsch-Chinesischen Industrie 4.0 Projekt" mögliche Anknüpfungsmöglichkeiten um in bestimmten Anwendungs- bzw. Technologiebereichen, die bereits existierenden Kooperationen auf KI-relevante Fragestellungen zu übertragen.

## 6.1 Wichtige Planungs- und Programmdokumente

Auf der Ebene der strategischen Planung zur Förderung der KI in China sind insbesondere folgende Planungs- und Programmdokumente relevant:

| Strategische Pläne der Chinesischen Regierung | Jahr der Veröffentlichung |
|---|---|
| Mittel-Langfrist-Plan für die Entwicklung von Wissenschaft und Technologie (2006-2020) | 2006 |
| Made in China 2025 | 2015 |
| Action Plan to Promote the Development of Big Data, State Council | 2015 |
| Internet + KI Drei-Jahres-Aktions- und Umsetzungsplan | 2015 |
| National Development Plan for Robotics (2016-2020) | 2015 |
| Entwicklungsplan für eine neue Generation der künstlichen Intelligenz | 2017 |

Tabelle 6: Strategische Pläne der Chinesischen Regierung (Quelle: iit)

Im Mittel-Langfristplan 2006-2020 wird künstliche Intelligenz zwar noch nicht direkt benannt, doch wird das Thema indirekt durch den Fokus auf das Thema KI-Robotik adressiert. Die KI-Robotik wurde zum zentralen Bestandteil Chinas "leapfrogging strategy" wie auch der Strategie zum Thema "Indigenious Innovation", die das Ziel verfolgte, eigenständige, global führende Innovationen mit chinesischem Schutz- und Urheberrecht zu realisieren. Der Nationale Entwicklungsplan für Robotik (2016-2020) sieht vor, dass China weiter Kompetenzen im Bereich Industrierobotik aufbaut und die relevanten Investitionen tätigt, um selbst Industrieroboter herzustellen. Diese sollen technisch und qualitativ einen internationalen Entwicklungsstand erreichen. Bis 2020 soll der Marktanteil chinesischer Unternehmen bei der High-End-Robotik 45 Prozent betragen (Molnar 2017).

Der „Entwicklungsplan für eine neue Generation der KI" von 2017 hat einen hohen FuE-politischen Stellenwert. Folgende Ziele bilden hier den Schwerpunkt:

Die KI soll das chinesische Wirtschaftswachstum unterstützen und bis 2020 zu einer Expansion von verwandten Industrien auf mehr als 1 Billion Yuan (ca. 128 Mrd. €) beitragen. Bis 2030 ist eine Expansion des Investitionsvolumens auf über 10 Billionen Yuan (ca. 1,28 Billionen €) vorgesehen.

Um das zu erreichen ist eine Reihe von Zwischenzielen definiert:

- China soll bis zum Jahr 2020 mit den Weltmarktführern zum Thema KI-Technologien und -anwendungen gleichziehen. Der Wert der KI-Unternehmen aus China soll im Jahr 2020 bei >150 Milliarden Yuan (ca. 19 Mrd. €) liegen, bis 2025 soll das Volumen gar auf 400 Milliarden Yuan (ca. 51 Mrd. €) ansteigen. Die Wachstumsvorgaben liegen damit bei durchschnittlichen 50 Prozent pro Jahr. Bereits die für 2020 definierte Steigerung bedeutet gegenüber 2017 in etwa eine Verzehnfachung des Investitionsvolumens (Jia und Zhanqi 2017).
- Parallel dazu soll die KI-Forschung gestärkt werden. Bis 2025 gehört es zum erklärten Ziel Chinas, weitere Durchbrüche in der Forschung zur KI zu erzielen. Darauf aufbauend möchte das Land bis 2030 zu einem weltweit anerkannten Zentrum für KI-Innovationen, Technologien und Anwendungen werden.

Welche Anwendungsbereiche hierzu gefördert werden, wird in den übergreifenden Strategien genannt. Laut „Internet+ und KI Drei-Jahres-Aktions- und Umsetzungsplan" des " Ministry of Industry and Information Technology" (MIIT) von 2015 haben die folgenden KI-Themen einen besonders hohen Stellenwert:

- Beschleunigter Aufbau von Text-, Sprach-, Video-, Landkarten- u. a. Dateien in öffentlichen Repositorien für Großgruppen-Training und öffentliche Vollservice-Plattformen für Basisressourcen, Aufbau/Unterstützung von Computing-Cluster neuen Typs für Large-Scale Deep Learning,
- Schaffung und Etablierung öffentlicher Dienstleistungsplattformen für die Industrie,
- Erforschung von Full Life Cycle Service für Netzwerk-Sicherheit,
- Integration von Cloud-Diensten und Netzwerktechnologien
- Integrierte Sicherheitsdienste,
- Entwicklung und Einsatz von intelligenter Bild- und Spracherkennung in der Industrie,
- Biometrische Erkennungsverfahren,
- Natural Language Processing,
- Intelligente Entscheidung und Steuerung
- Technologien für Mensch-Maschine-Interaktion.

Beim Agenda-Setting zu den FuE-Förderschwerpunkten haben die Vertreterinnen und Vertreter der führenden IT-Unternehmen die Möglichkeit der Partizipation. Die FuE-Politik wird somit gezielt eingesetzt, um die Unternehmen in ihrer Wettbewerbsfähigkeit zu unterstützen. Die Überführung dieser Themen in politische Programme erfolgt über die zuständigen Ministerien und Organisationen (z. B. MOST, MIIT, CAS, NSFC usw.). Die für diese Studie identifizierten KI-Anwendungen und KI-Technologien sind allesamt für die FuE-Förderung Chinas von Bedeutung (vgl. Tabelle 7). Schwerpunkte bilden (Stand 2017) Predictive Analytics, Qualitätskontrolle, Robotik, Autonomes Fahren, Intelligente Automatisierung und Intelligente Sensorik.

Gefördert werden die Themen in unterschiedlichen Programmen. Die Themen Qualitätskontrolle, Robotik und intelligente Sensorik sind bisher insbesondere auf der übergeordneten Programmebene von "Made in China 2025" relevante Zielbereiche. Predictive analytics (mit besonderem Schwerpunkt in den Bereichen autonomes Fahren und intelligente Automatisierung) sind bereits in existierende Programme eingebunden. So ist das Thema KI beispielsweise in den Förderleitfaden der "National Natural Science Foundation of China"

(NSFC) im Jahr 2017 aufgenommen worden (dieses ist als Pendant zur US-amerikanischen National Science Foundation oder der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) zu betrachten). Konkretere Technologiebereiche, deren Entwicklung gezielt vorangetrieben werden sollen, finden sich außerdem auch in dem o.g. Entwicklungsplan für eine neue Generation der künstlichen Intelligenz.

**National Natural Science Foundation of China: artificial intelligence research project guide**

| Forefront of AI : | Intelligent autonomous mobile robots: | Theories and key technologies intelligent decision-making in complex manufacturing processes: |
|---|---|---|
| • Cross-domain collaborative multi-modal efficient perception and augmented intelligence<br>• Machine understanding of perception and behavior under uncertainty in an open environment<br>• Complex tasks planning and reasoning of new methods<br>• New mechanisms of machine learning theory and methods<br>• (e.g., deep reinforcement learning, adversal learning, brain-like learning)<br>• Brain-inspired new computing architectures and methods<br>• New methods of man-machine cooperation mixed intelligence<br>• Chinese semantic computing and deep understanding (such as machine reading comprehension and creation, man-machine-dialog)<br>• New artificial intelligent-oriented computing devices and chips<br>• Intelligent computing methods and platforms for heterogeneous public core parallel<br>• Machine intelligence for test models and evaluation methods | • Cognitive modelling and learning of intelligent autonomous mobile agents in open environment<br>• Cross-media integrated reasoning for environment / scene adaptation<br>• Interaction models and methods of intelligent autonomous mobile agents<br>• Cognitive computing for "people in the loop" (hybrid enhanced intelligence) multiple autonomous intelligent motion agents<br>• Intelligent evaluation systems and methods for intelligent autonomous mobile agents | • Intelligent modelling of complex dynamic processes with combined data and mechanism analysis<br>• Intelligent prediction and self-healing control for abnormal conditions<br>• Endpoint prediction and visualization analysis with artificial intelligence-driven performance indicators<br>• Decision knowledge feature extraction and knowledge discovery based on multi-source heterogeneous data<br>• Intelligent decision making architecture and methods with predictive and self-optimizing functions<br>• Man-machine cooperation for optimized decision making and mutual learning in uncertain, open environments<br>• New approaches for artificial intelligence-driven automation |

Tabelle 7: NSFC-Richtlinien (Quelle: Global Times 2017)

Eine Kurzstudie von Global Times (2017) analysiert die Wettbewerbsfähigkeit chinesischer Unternehmen zum Thema KI. Die adressierten Schwerpunkte sind machine translation, speech recognition, image recognition, cloud computing, autonomous driving und big data. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass Baidu in seinen Entwicklungsaktivitäten für alle

genannten Bereiche am breitesten und insgesamt am stärksten aufgestellt ist. Doch auch andere chinesische IT-Unternehmen weisen Stärken aus, so z. B. Alibaba im Bereich Cloud Computing und Big Data. iFlytek hat unter den chinesischen Unternehmen die Führung in den Bereichen von Übersetzung und Spracherkennung. Sense Time folgt auf Platz 2 nach Baidu im Bereich der Bilderkennungs-Technologien (Global Times 2017).

Anhand der Analyse wird das Potenzial Chinas beim Thema KI deutlich. Auf der einen Seite erfährt das Thema von staatlicher Seite umfassende Unterstützung und auf der anderen Seite sind einzelne IT-Unternehmen des Landes äußerst leistungsfähig. Nachteilig könnte sich allerding die geringe Unabhängigkeit der Unternehmen auswirken. Unter den starken regulatorischen Eingriffen leidet außerdem deren Innovationskraft. Es bleibt daher abzuwarten, welche wirtschaftlichen Impulse die Investitionen der chinesischen Regierung in die KI tatsächlich entfalten können.

# 7 Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen

Drei zentrale Fragestellungen bilden die Schwerpunkte der Studie: Welche konkreten Technologien und Anwendungen stehen hinter KI-Systemen? Wo kommen sie bisher zum Einsatz? In welchen Wertschöpfungsstufen entfalten sie ihr größtes Potenzial? Die Antworten auf diese Leitfragen der Studie finden sich in den vorherigen Kapiteln. Dieser abschließende Teil fasst die zentralen Erkenntnisse in Form einer SWOT-Analyse (Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken) zusammen und überführt die Erkenntnisse in Handlungsempfehlungen, die sich an Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger der Politik richten.

## 7.1 Stärken/Schwächenanalyse

**Stärken:** Mit Blick auf die KI zählt zu den zentralen Stärken des produzierenden Gewerbes in Deutschland, dass die Unternehmen KI-Anwendungen erproben, wenn auch auf einem sehr geringen Niveau. Die deutschen Anbieter weisen Stärken in den wichtigen KI-Anwendungen intelligente Automatisierung und intelligente Sensorik vor. Insgesamt ist die Breite der Forschung zum Thema KI ebenfalls als Stärke zu interpretieren. Die Forschung aus Deutschland zeigt im internationalen Vergleich eine beachtliche Publikationsleistung. Nach Einschätzung der befragten Forscherinnen und Forscher sind die Institute bei den KI-Technologien Natural Language Processing und Kognitive Modellierung international führend.

**Schwächen:** Neben den benannten Stärken zeichnen sich jedoch auch Schwächen ab. So zeigen sich für KMU größere Hürden hinsichtlich der Implementierung von KI-Anwendungen im Unternehmen. Bei wichtigen Querschnittstechnologien wie Computer Vision, Aktionsplanung & Optimierung und vor allen Dingen im Maschinellen Lernen wird Deutschland hinter den USA gesehen. Die überwiegende Mehrheit der Unternehmen bemängelt darüber hinaus die Verfügbarkeit von Fachkräften. Gleichzeitig ist das Potenzial für KI-Anbieter aus Deutschland und/oder Europa groß, doch nur die wenigsten KI-Anbieter sind sich der Tatsache eines solchen Standortvorteils bewusst. Der Transfer der Forschungsergebnisse in die Wirtschaft (in Form von Unternehmensgründungen, Verbundprojekten, etc.) ist als eine weitere Schwäche zu werten. In vielen Regionen spiegeln sich zu wenige Forschungsleistungen in Transferleistungen wider.

**Chancen:** Der Markt für KI in Deutschland bietet erhebliche Chancen und ein beachtliches Wertschöpfungspotenzial. Studien gehen davon aus, dass KI zukünftig für etwa ein Drittel des durchschnittlichen Wirtschaftswachstums verantwortlich sein wird. Chancen bieten sich über die gesamten Wertschöpfungsstufen hinweg. Dabei bildet die industrielle Produktion den Kern für KI-Anwendungen, doch auch unterstützende Bereiche wie beispielsweise Marketing und Vertrieb, Personalwirtschaft oder auch Kundendienst profitieren von KI. Die Unternehmen haben dieses Potenzial erkannt und setzen auf den verstärkten Einsatz von KI im Unternehmen. Insgesamt ist von einem wachsenden Markt für KI-Technologien und KI-Anwendungen auszugehen. Anbieter aus Deutschland und der EU genießen beim Thema KI einen Vertrauensvorschuss. Diese Chance gilt es zu nutzen.

**Risiken:** Die marktbezogenen Risiken resultieren auch aus dem starken Wettbewerb um zukünftige Marktanteile. Technologisch sind Anbieter aus den USA insgesamt überlegen, beziehungsweise werden so wahrgenommen. Aufstrebende Länder wie beispielsweise China werden zunehmend zu ernsthaften Konkurrenten. Dass Anbieter aus Deutschland aus einer technologischen Betrachtung heraus Nachholbedarf haben, zeigt sich darin, dass die USA bei zentralen KI-Anwendungen wie Predictive Analytics und Intelligente Assistenzsysteme wie auch bei relevanten Querschnittstechnologien wie Computer Vision, Aktionsplanung

und Optimierung sowie Maschine Learning führend sind. Ein mögliches Risiko besteht darin, dass Unternehmen (insbesondere auch die Anbieter) aus Deutschland nicht ausreichend in die KI investieren und damit Gefahr laufen, aus einer internationalen Perspektive den Anschluss zu verpassen.

Auf Basis dieser zentralen Studienergebnisse lassen sich Handlungsempfehlungen ableiten. Die gewonnenen Erkenntnisse sind entlang folgender Dimensionen ausgerichtet: technologische Potenziale, Wertschöpfungspotenziale, Innovationssystem, Systemvoraussetzungen und Internationaler Wettbewerb.

## 7.2 Empfehlungen an die Politik

Der KI kommt für das zukünftige Wachstum des produzierenden Gewerbes in Deutschland eine entscheidende Rolle zu. Dies wird sowohl von KI-Anbietern als auch von potenziellen Anwendern erkannt. Dabei gilt es für die Unternehmen in einem starken internationalen Wettbewerb zu bestehen. Hier zeigt die vorliegende Studie einige strukturelle Schwächen Deutschlands auf.

- Der Technologietransfer aus der Wissenschaft zu Start-ups und KI-Technologieanbietern und letztlich hin zu den Unternehmen des produzierenden Gewerbes ist zu zögerlich.
- Der Fachkräftemangel stellt ein entscheidendes Hemmnis für den Einsatz von KI-Technologien in den Unternehmen dar.
- KI-Anbieter beklagen bei ihren Kunden aus dem produzierenden Gewerbe in Deutschland eine teilweise geringe Aufgeschlossenheit der Führungskräfte sowie bestehende Ängste und Vorurteile der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.
- Die Unternehmen des produzierenden Gewerbes äußern zwar deutlich den Wunsch zur Zusammenarbeit mit europäischen KI-Anbietern und optieren damit für eine Technologiesouveränität. Allerdings sind sich die KI-Anbieter in Deutschland dieses Wettbewerbsvorteils kaum bewusst.

Insgesamt führt dies zu einer verlangsamten Adaption der KI-Technologien im produzierenden Gewerbe in Deutschland. Diese strukturellen Schwächen gilt es mit staatlicher Unterstützung zu überwinden.

### 7.2.1 Technologische Potenziale

KI-Anwendungen unterscheiden sich hinsichtlich des Mehrwerts, den sie in den verschiedenen Anwendungsbereichen stiften. Gleichzeitig existieren KI-Anwendungen, die auf mehreren KI-Technologien aufbauen (beispielsweise basiert Predictive Analytics im Wesentlichen auf Machine Learning, während Intelligente Assistenzsysteme und Robotik auf viele verschiedene KI-Technologien zurückgreifen). Die Studie hat darüber hinaus deutlich gemacht, dass eine Stärke der Unternehmen aus Deutschland darin besteht, Technologien zu Anwendungen zusammenzuführen. Diese Stärke gilt es zu nutzen.

Es empfiehlt sich, gezielt die Kompetenzen im Bereich autonomer (Assistenz-)Systeme in der Produktion in den Vordergrund zu rücken. Hierzu ist es möglich, auf eine gut aufgestellte Community aus Forscherinnen und Forschern sowie Technologieanbietern zurückzugreifen, die in industriegeführten Verbundprojekten Innovationsprozesse voranbringen.

Computer Vision, Machine Learning sowie Aktionsplanung und Optimierung sind KI-Technologien mit besonderem Querschnittcharakter. Semantische Technologien besitzen ebenfalls Querschnittscharakter, werden aber vorrangig im Wissensmanagement und bei Intelligenten Assistenzsystemen eingesetzt. Auch Semantische Technologien haben ein großes Potenzial für die Wirtschaft, weil sie für die Interoperabilität von KI-Systemen immer wichtiger werden.

Es empfiehlt sich, KI-Technologien mit Querschnittscharakter Computer Vision, Machine Learning sowie Aktionsplanung und Optimierung gezielt zu fördern. So lässt sich eine Vielzahl von unterschiedlichen Anwendungen adressieren. Volkswirtschaftlich gesehen generieren diese Querschnittstechnologien die höchsten Erträge aus den FuE-Investitionen. Dabei ist eine schnelle Diffusion in die Breite sicherzustellen.

### 7.2.2 Wertschöpfungspotenziale

Der Anteil der Unternehmen, die momentan KI-Technologien einsetzen, ist noch zu gering. Der Einsatz von KI-Technologien ruft große Veränderungen in allen Wertschöpfungsstufen und Unternehmensstrukturen hervor. Die interviewten Expertinnen und Experten bemängelten, dass diese Veränderungsprozesse sowohl in den KMU als auch in den Konzernen zu langsam stattfinden. Gleichzeitig zeigt die Analyse zur Wertschöpfung, dass etwa ein Drittel des durchschnittlichen Wachstums in der Wirtschaft in Verbindung mit KI zu sehen ist. Dieses Potenzial wird von der Wirtschaft in hohem Maße gesehen und die Akteure signalisieren eine hohe Bereitschaft, in KI-Anwendungen und KI-Technologien zu investieren. Diesen „Schwung" in der Wirtschaft im Allgemeinen und im produzierenden Gewerbe im Speziellen gilt es aufzugreifen und mit Hilfe staatlicher Unterstützung zu hebeln.

Nach Einschätzung der Anbieter und Anwender bestehen Unterschiede in der Bedeutung einzelner KI-Technologien und -Anwendungen. Beispielsweise wird ein sehr hohes Potenzial in den KI-Anwendungen Predictive Analytics, Intelligente Assistenzsysteme, Intelligente Automatisierung und Robotik wie auch Intelligente Sensorik gesehen.

Es empfiehlt sich dafür eine KI-Strategie zu entwickeln, die in der Lage ist, die Potenziale und Herausforderungen in den einzelnen Wirtschaftssektoren gezielt zu adressieren. Hierzu ist ein rascher Dialog zwischen Politik, Wirtschaft und Forschung zu organisieren, um die geplanten Maßnahmen zu priorisieren und koordiniert umzusetzen.

Bei der Priorisierung einzelner KI-Technologien sind Unterschiede zwischen Großunternehmen und kleinen und mittleren Unternehmen zu erkennen. Während GU aktuell stärker die KI-Anwendungen Robotik und Optimiertes Ressourcenmanagement adressieren, sind es bei den KMU dagegen Wissensmanagement und Qualitätskontrolle.

KMU bilden aufgrund ihrer herausragenden Bedeutung für die deutsche Volkswirtschaft den Schwerpunkt der deutschen Förderpolitik. Es empfiehlt sich somit, auch bei einer zukünftigen KI-Förderung gezielt die Belange der KMU zu adressieren.

Trotzdem wiesen Expertinnen und Experten in den Interviews und Workshops darauf hin, dass auch Projekte in den Blickpunkt rücken sollten, die ein besonders großes Wertschöpfungspotenzial erwarten lassen und aufgrund ihres Leuchtturmcharakters ein hohes Transferpotenzial über Unternehmen und Branchen hinweg besitzen. Um dabei die speziellen Belange von KMU zu berücksichtigten, ist deren aktive Einbindung von Bedeutung.

### 7.2.3 Technologietransfer

Durch die Förderung der KI-Grundlagenforschung mitunter durch die DFG sind zahlreiche Exzellenzcluster, Sonderforschungsbereiche und Graduiertenkollegs entstanden, die eine herausragende Kompetenz sowohl in der Publikationsstärke als auch der Qualität dieser wissenschaftlichen Arbeiten aufweisen können. Auch die außeruniversitären Forschungseinrichtungen wie die Max-Planck-Institute sind bei der Erforschung der KI-Technologien sehr gut aufgestellt. Hinzu kommen das DFKI sowie die auf KI spezialisierten Fraunhofer Institute, die insbesondere im Bereich der anwendungsnahen Forschung in der Lage sind, den Transfer in die Wirtschaft zu unterstützen. Dies kann einerseits durch Forschungskooperationen andererseits durch Ausgründungen aus den Instituten gelingen. Die Start-ups sind dann selbst als Anbieter von KI-Technologien und KI-Anwendungen aktiv und stärken so den Produktionsstandort Deutschland. Insbesondere der Vergleich mit anderen Ländern hat gezeigt, dass Deutschland beim Transfer der Forschungserkenntnisse in die Anwendung weiterhin Nachholbedarf hat. Gemessen an der wirtschaftlichen Bedeutung der KI und gemessen an der Leistungsfähigkeit des Forschungssystems ist die Anzahl der KI-Start-ups deutlich zu gering.

Es empfiehlt sich durch Förderprogramme zum Gründungsgeschehen gezielt Start-ups mit KI-Bezug zu adressieren.

Die Unternehmen des produzierenden Gewerbes als potenzielle Anwender von KI-Technologien gehen von einem erheblichen Zuwachs an Kooperationen mit externen KI-Anbietern aus. Aus Anwendersicht könnten sich hier Informationsdefizite hinsichtlich des Anbietermarktes als hemmend erweisen.

Es empfiehlt sich daher, gezielt die Informationslage zu verbessern und für KI-Anwender notwendige Informationen zu KI-Anbietern zur Verfügung zu stellen. Zentrale Informationen zu Anbietern, Dienstleistern und FuE-Kooperationspartnern können beispielsweise in Form einer Publikations-/Informationsbroschüre sowie einer KI-Landkarte zur Verfügung gestellt werden. Durch die Aufbereitung von Use-Cases bzw. Best-Practices wird es Anwendern leichter gemacht, die Potenziale der KI zu erkennen. Insbesondere KMU würden von einem solchen Produkt profitieren.

### 7.2.4 Systemvoraussetzungen

Wichtigste Voraussetzungen für den Einsatz von KI sind Robustheit der Algorithmen, Datenqualität, Datenhoheit und -zugang, Sicherheit sowie Sensorik und Cloud Computing. Dabei betonen Anwender stärker Aspekte wie Sicherheit und Interoperabilität. Zentral sind transparente Verfahren zur Validierung und Verifikation von KI-gestützten Systemen und insbesondere die Nachvollziehbarkeit der Machine-Learning Verfahren, um den Einsatz über alle Wertschöpfungsstufen hinweg und insbesondere in autonom entscheidenden Systemen zu ermöglichen. Die Datenqualität sowie Zugang zu den Daten ist eine wichtige Voraussetzung für die KI-basierte Optimierung. Die IT-Sicherheit der vernetzten Systeme ist die Basis nicht nur für den Einsatz von KI, sondern für die Vernetzung der IT-Systeme. Eine besondere Bedeutung liegt in der Interoperabilität, z. B. um auf Trainingsdaten basierte KI-Modelle übergreifend nutzen zu können. Die Interoperabilität der KI-Modelle ermöglicht es, bereits kalibrierte Modelle bei verschiedenen Unternehmen einzusetzen und damit auch die Trainingszeiten, Anpassungsaufwand und schließlich auch Kosten zu sparen. Ein großes Hemmnis beim Einsatz von KI stellen derzeit auch fehlende interne Kompetenzen und Fachkräfte dar. Sowohl KI-Anbieter als auch KI-Anwender sind auf hochqualifiziertes Personal mit KI-Bezug angewiesen.

In den Experteninterviews und im Validierungs-Workshop gab es zu all diesen Punkten detaillierte Handlungsvorschläge:

Es empfiehlt sich, bei der Planung von politischen Programmen und Initiativen diese zentralen Systemvoraussetzungen im Blick zu behalten und insbesondere Themen wie Datenzugang, Datenqualität, IT-Sicherheit und Interoperabilität zu adressieren. Aus Anwendersicht wären hier entsprechende Leitfäden hilfreich.

Mit Blick auf die Stärkung des Datenzugangs und der Datenqualität ist die Empfehlung, bestehende Initiativen zu Open Data um spezifische KI-Anforderungen zu erweitern. Es ist weiter daran zu arbeiten, öffentliche Daten und Forschungsdaten als Trainingsdaten frei zugänglich zu machen.

Zur Stärkung der Interoperabilität ist es ratsam, das Thema noch stärker als bisher auf EU-Ebene zu adressieren. Auch hier empfiehlt es sich, auf bestehenden Initiativen aufzubauen. Beispielsweise lässt sich hierzu die Plattform Industrie 4.0 nutzen und um die Belange der KI erweitern.

Zusätzlich wird der schnelle Auf- und Ausbau der beruflichen und akademischen Bildung sowie von Weiterbildungs- und Schulungsangeboten mit Bezug zum Thema KI empfohlen.

### 7.2.5 Internationale Wettbewerbsfähigkeit

Die Anwender fürchten insgesamt die Dominanz internationaler IT-Konzerne. Gleichzeitig beginnt der Markt für KI-Technologien aktuell erst damit sich zu entwickeln, so dass auch für Unternehmen aus Deutschland oder Europa die Chance besteht, sich gegen die internationale Konkurrenz durchzusetzen. Die existierende Präsenz internationaler KI-Anbieter sollte nicht als Bedrohung, sondern als Herausforderung gesehen werden.

Deutsche KI-Anbieter sollten verstärkt in geförderte Verbundvorhaben sowie Leuchtturmprojekte einbezogen werden, um die Technologiesouveränität im Bereich KI zu gewährleisten.

# A Appendix – Nähere Beschreibung der KI-Technologien

KI-Technologien lassen sich grob durch zwei Dimensionen beschreiben, die von Russell und Norvig (1995) in ihrem Buch „AI a Modern Approach" charakterisiert sind. Zum einen gibt es KI-Systeme, deren Denken oder Handeln den Menschen imitiert (hier: „menschenartige KI"). Zum anderen gibt es Systeme, die rational denken oder handeln (hier: „rationale Systeme"). Auf diese Unterscheidung zwischen menschenartigen und rationalen KI-Systemen konzentrieren wir uns hier.

In der Geschichte der KI existiert eine lange Tradition, Wesen mit natürlicher Intelligenz als Vorbilder für die Entwicklung von künstlichen intelligenten Systeme zu nehmen. Einerseits als wissenschaftliches Instrument, um den Mensch zu verstehen und andererseits als Inspiration, um intelligente Systeme zu bauen, die ähnlich flexibel mit uneindeutigen, sich wandelnden und unvorhersehbaren Umständen umgehen zu können wie der Mensch. Der Ansatz „menschenartige KI" beschäftigt sich dementsprechend mit Systemen, die die menschlichen Denkprozesse, Wissensrepräsentationen und damit verbundenen Handlungen bei Entscheidungsfindungen bzw. beim Problemlösen nachbilden. Dabei werden die mentalen Einschränkungen und systematischen Fehler des menschlichen Hirns mituntersucht und in künstlichen kognitiven, komputationalen Modellen nachgebaut. Einschränkungen und Fehler, wie sie sich beispielsweise bei den Limitationen des menschlichen Körpers in Form von Wahrnehmungsillusionnen zeigen (Geisler und Kersten 2002), sind oft Ausdruck optimaler Strategien und zeigen Mechanismen auf, wie ein System intelligent mit fehlerhaften oder unzuverlässigen Daten umgehen kann. Auch stehen die besonderen Eigenschaften der mentalen Wissensrepräsentationen und Problemlösestrategien im Fokus der kognitiven Modellierung.

Künstliche Systeme haben jedoch nicht immer die gleichen Grenzen oder Herausforderungen wie der Mensch. Der rationale Ansatz verfolgt das Ziel, mathematische und überwiegend statistische Methoden so anzuwenden, dass sie ungeachtet des menschlichen Vorbilds möglichst optimal und situationsangemessen handeln, oder anders ausgedrückt, stets das „Richtige" tun. KI-Forscherinnen und -forscher, die dem rationalen Ansatz folgen, greifen bei der Umsetzung dieser Systeme auf alle verfügbaren Methoden und Werkzeuge der Ingenieurswissenschaften, Mathematik und Informatik zu, um sowohl die Hardware- als auch die Softwarekomponenten der intelligenten Agenten so zu realisieren, dass eine Aufgabe gemäß vordefinierter Kriterien optimal erfüllt wird. So konnte beispielsweise der IBM Schachcomputer Deep Blue 1997 den Weltmeister Gary Kasparov dadurch besiegen, dass er 12 Millionen mögliche Schachzüge pro Minute auswertete, was einem Menschen schlichtweg unmöglich ist (Krauthammer 1997). Solche KI-Systeme sind nicht menschenartig aber dennoch intelligent, weil sie rational denken oder handeln.

Abseits des Klassifikationssystems von Russell und Norvig (1995) haben wir hier als dritte Kategorie die biologisch inspirierten Hardware-Systeme aufgeführt, die die Mechanismen biologischer Intelligenz imitieren, um die Vorteile biologischer Systeme zu erschließen, die in mancherlei Hinsicht den existenten Hardware Systemen, meist von-Neumann Architekturen, überlegen sind. Diese biologische „Intelligenz" kann jedoch nicht an einem Verhaltenserfolg (rational oder menschenartig) gemessen werden, da es dabei zunächst nur um eine Hardware Architektur geht, die keinen Code ausführt und vor Einbindung in eine Anwendung keine intelligente Funktion erfüllt. Diese Systeme können deswegen weder den menschenartig denkenden und handelnden noch den rational denkenden und handelnden Systemen zugeordnet werden.

## A.1 Verhaltensorientierte KI-Technologien

### Semantische Technologien

Digitale Informationsverarbeitung beruht auf dem Ausführen von syntaktischen Regeln. Im Normalfall hat ein Computer kein Verständnis dessen, was er verarbeitet. Manchmal ist es jedoch notwendig, dass Computer auch inhaltliche Schlussfolgerungen ziehen, z. B. für Suchmaschinen (ähnliche Themen identifizieren), bei zielgerichteter Werbung (relevante Kunden identifizieren) oder bei der Beantwortung von inhaltlichen Fragen durch Assistenzsysteme. Um die Bedeutung – die Semantik – von Informationen zu berücksichtigen, verfügen KI-Systeme über eine Wissensbasis, die die semantischen Zusammenhänge zwischen Fakten, Ereignissen, Konzepten, Dingen und Klassen von Dingen mit Hilfe von Relationen und Funktionen miteinander verknüpft oder mit Hilfe von statistischen Verfahren aus großen Datenmengen ableitet. Die strukturierte Repräsentation von Informationen wird in der Informatik Ontologie genannt. Der entscheidende Vorteil von Ontologien liegt darin, dass man mittels sogenannter Inferenzregeln neues Wissen aus dem bereits vorhandenen Wissen über die Verknüpfungen, seien es Funktionen oder Relationen, zwischen den einzelnen Dingen und Klassen von Dingen ableiten kann.

Das Prinzip der semantischen Wissensrepräsentation findet Anwendung in verschiedenen Gebieten wie Medizin, Chemie und seit einigen Jahren auch in der Industrie 4.0. So beschreibt der Produktdatenstandard „eCl@ss“ (eCl@ss 2018) die Beziehungen zwischen den einzelnen Bestandteilen einer Produktionsanlage z. B. Sensoren mit mechatronischen Komponenten wie Zylinder oder Stopper. Welche Bestandteile zueinanderpassen und zusammengesetzt werden können, wird in dieser Ontologie für Industrie 4.0 mittels Funktionen wie beispielweise „Anschluss“ beschrieben.

Vor ca. zehn Jahren waren die semantischen Wissensrepräsentationen insbesondere der Begriff Semantic Web und die semantische Suche in aller Munde. Auch in Deutschland wurde das Thema im Rahmen des Technologieprogramms Theseus (BMWi 2018) intensiv beforscht. Die Suchergebnisse im Semantic Web gehen über die herkömmlichen wortgenaueren Trefferlisten hinaus. Die semantischen Verknüpfungen erweitern den gesuchten Begriff um seine Bedeutung, so dass auch der Kontext der Suche, z. B. Bauteile für einen speziellen Montageschritt und auch Synonyme des gesuchten Begriffs, in der Trefferliste erscheinen.

Das US amerikanische Unternehmen Google hat vor einigen Jahren das ursprüngliche Konzept der semantischen ontologiebasierten Wissensrepräsentationen um weitere multimediale Inhalte wie Bilder, Videos und Audio-Dateien erweitert und mit der geographischen Dimension verknüpft. Die Fusionierung von semantischem Faktenwissen mit visueller Darstellung und Geoinformationen wird Knowledge Graph genannt. Dank der semantischen Verknüpfung lassen sich nun im Internet nicht nur Webseiten sondern auch Bilder finden, die mit dem gesuchten Begriff zusammenhängen. So werden beispielsweise die Adressinformationen mit der eindeutigen Position auf einer geografischen Karte zusammengebracht. Die Konzepte und die Implementierung von Knowledge Graphs wurden von Google als Open Source der weltweiten Entwickler-Community zur Verfügung gestellt. Die Knowledge Graphs kommen in den modernen wissensbasierten Systemen weltweit zum Einsatz.

## Natural Language Processing

Das Verstehen und die Interpretation der natürlichen Sprache ist ein sehr gut etabliertes Forschungsfeld im Bereich Künstliche Intelligenz. Menschen tauschen Informationen in erster Linie durch Sprache (gesprochen oder geschrieben) aus und diese natürliche Sprache unterscheidet sich in vielerlei Hinsicht von den formalen, auf Befehlen und Ausführungsbedingungen basierten Sprachen, die Computer zum Informationsaustausch verwenden. So nutzen Menschen zur Kommunikation Ironie, Metaphern und Vergleiche, die auf einem semantischen Verständnis der Sprache – Bedeutung - beruhen, welches Computern fehlt. Die Besonderheit der natürlichen Sprache ist die Mehrdeutigkeit einiger Wörter oder Begriffe. Der englische Satz „Time flies like an arrow but fruit flies like a banana" bedeutet auf Deutsch übersetzt: „Die Zeit fliegt wie ein Pfeil, aber Fruchtfliegen mögen eine Banane". Die Wörter „flies" und „like" haben komplett unterschiedliche Bedeutungen in den beiden Teilsätzen („flies": „fliegt" und „Fliege"; „like": „wie" und „mögen"). Solche Ambiguitäten in natürlicher Sprache sind für Algorithmen sehr schwer zu bewältigen. Natural Language Processing (NLP) Techniken haben zum Ziel, alle Aspekte der menschlichen Sprachverarbeitung nachzubilden, wie z. B. Texterkennung aus Sprache und Sprachgenerierung aus Text, Maschinelles Übersetzen, Bedeutungserkennung im Kontext (Semantik, Pragmatik), Grammatikverständnis und –Korrektur, etc. Die Übersetzungssysteme sind inzwischen so weit, dass einfache Dialoge in verschiedenen Sprachen durchgeführt werden können. Allerdings stoßen die Übersetzungssysteme immer noch an ihre Grenzen: so übersetzte Microsoft's Suchmaschine Bing in der Ansprache des französischen Präsidenten Macron an seine Bürger „Mes chers compatriotes" (liebe Mitbürgerinnen und Mitbürger) als „Dear fellow Americans" (liebe Amerikanische Mitbürgerinnen und Mitbürger", weil in den zumeist amerikanischen Trainingsdaten statistisch betrachtet „Mitbürgerinnen und Mitbürger" fast immer „Amerikanische Mitbürgerinnen und Mitbürger" bedeutet (Bryson 2017). Der Erfolg der NLP-Systeme ist seit über 60 Jahren der Gegenstand des berühmten Turing-Tests: eine menschliche Testperson kommuniziert in einem geschlossenen Raum über einen Bildschirm gleichzeitig mit einem NLP-System und mit einem Menschen. Die Testperson erhält keine Informationen darüber, wer/was sich hinter dem Bildschirm als Gesprächspartner verbirgt. Am Ende der Untersuchung soll die Testperson entscheiden, welcher der beiden Dialogpartner nun einem Menschen und welcher einem NLP-System zuzuordnen ist. Bis jetzt hat noch kein NLP-System den Turing-Test erfolgreich bestanden.

## Kognitive Modellierung

Kognitive Modelle steigen tiefer in das Verständnis der menschlichen Intelligenz ein und streben die Abbildung der Arbeitsweise der menschlichen kognitiven Prozesse, wie beispielsweise Arbeits- und Langzeitgedächtnis, Logisches Denken und Schlussfolgerung, an. Kognitive Modellierung hat maßgeblich zum Verständnis der menschlichen Wahrnehmungs- und Informationsverarbeitungsprozesse beigetragen. Interessanterweise validieren die Kognitionswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler die kognitiven Modelle anhand von Fehlern, die Menschen beim Lösen von bestimmten Aufgaben systematisch begehen, da systematische Fehler Rückschlüsse über die in der menschlichen Informationsverarbeitung implementierten Regeln gewähren. Um dies an einem Beispiel zu erläutern: Betrachten Sie die Frage: "Wie viele Tiere von jeder Art nahm Moses auf seiner Arche mit?" Obwohl es allgemein bekannt ist, dass Noah und nicht Moses die Arche baute und die Tiere rettete, beantworten viele Menschen die Frage mit „zwei". Dieses als „Die Moses Illusion" in der kognitionswissenschaftlichen Literatur bekannte Phänomen (Park und Reder 2004) ist ein Beispiel dafür, dass Menschen Begriffe, die einander semantisch ähneln, oft miteinander verwechseln, wodurch offensichtlich wird, dass Menschen bei der Informationsverarbeitung

immer auch semantische Informationen und insbesondere semantische Distanz in Betracht ziehen. Ein reguläres (oder rationales) Software-System würde versuchen, diesen objektiven Fehler zu korrigieren, ein kognitives Modell würde versuchen, solche Fehler durch Simulation des unterliegenden Prozesses (verrauschte Schlussfolgerung im semantischen Raum) zu replizieren.

Solche komputationalen kognitiven Modelle, die kognitionswissenschaftliche Phänomene in Form von Software aber auch Hardware nachbilden, werden zur Simulation des menschlichen Verhaltens eingesetzt oder z.T. auch zur Problemlösung in dynamischen und durch offene Anforderungen geprägten Anwendungsgebieten verwendet, wo menschliche heuristische Problemlösestrategien wie beispielsweise Wegfindung und Orientierung modernen Computern nach wie vor überlegen sind.

## A.2 Rational denkende und handelnde Systeme

### Computer Vision

Beim Maschinellen Sehen (Computer Vision) geht es um die Erkennung von Objekten in Bildern und auch in Videos, was traditionell viele Verarbeitungsschritte beinhaltet, die dem Menschen intuitiv einfach erscheinen wie Feature-Erkennung (Ecken, Kanten), dann Segmentierung (Unterteilen des Bildes in zusammenhängende Regionen trotz Verdeckung, Schattenwurf, variablen Lichtverhältnissen, unter Ignorierung von Textur), Unterteilung in Vordergrund und Hintergrund, Inferenz von Tiefeninformation (3D Rekonstruktion), Farberkennung trotz variabler Lichtverhältnisse, Objekterkennung (welche Regionen gehören zusammen und was stellen sie dar?). Besonders anspruchsvoll ist die Erkennung von Handlungen in Kameraaufnahmen d. h. Bewegungserkennung und das in Echtzeit.

Im Bereich Computer Vision haben Deep Neural Networks, d. h. vielschichtige neuronale Netze, in den letzten Jahren viele bislang als nur unzureichend lösbar geltende Computer Vision Probleme (insbesondere Objekterkennung) gelöst.

### Maschinelles Lernen

Als maschinelles Lernen (ML) bezeichnet man Verfahren und Computer-Algorithmen, die sich aus Daten heraus ein möglichst optimales oder Erfolg bringendes Verhalten antrainieren bzw. lernen können, ohne dass jeder Einzelfall explizit programmiert werden muss. Momentan gewinnen folgende Verfahren immer mehr an Relevanz und Bedeutung.

Das sognenannte überwachte Lernen (Supervised Learning) wird für die Klassifikation von Daten oder auch für Vorhersagen anhand von bereits erfassten Beispielen eingesetzt.

Die überwachten Lernverfahren benötigen Trainingsdaten, die mit der Bedeutung der Daten, sogenannten „labels“ versehen sind. Die Labels müssen meist von menschlicher Hand an Datensätze vergeben werden, die zum Training der Algorithmen verwendet werden, wie z. B. bei der Emotionserkennung auf Gesichtsbildern, oder sie können in der Umgebung gemessen werden, wie z. B. bei der Kursentwicklung von Aktien.

Im Gegensatz zum überwachten Lernen benötigt unüberwachtes Lernen (unsupervised Learning) keine annotierten Trainingssätze, sondern erkennt automatisch statistische Strukturen in den Daten. Diese Verfahren werden meistens zur Erkennung von Mustern durch z. B. Clustering der vorliegenden Daten eingesetzt (z. B. Kohortenerkennung im Marketing: der Algorithmus weiß vor dem Training weder wie viele noch welche durch unterschiedliches Verhalten gekennzeichnete Benutzergruppen es gibt).

Das sogenannte verstärkende Lernen (reinforcement learning) ermöglicht es, mittels einer Feedbackfunktion selbständig eine Strategie für das Lösen eines Problems oder einer Aufgabe zu erlernen. Die Feedbackfunktion ist an ein Belohnungssystem gekoppelt, das das erfolgreiche Verhalten des intelligenten Systems bestimmt. Die Feedbackfunktion kann sowohl negative als auch positive Erfahrungen des intelligenten Agenten abbilden. Im industriellen Kontext findet reinforcement learning zunehmend in Kombination mit Deep Learning verfahren Anwendung in realistischen Szenarien wie „Dübel ins Loch stecken“ („peg-in-hole“) im Rahmen von Montageaufgaben, die eine besonders hohe Präzision erfordern (Inoue et al. 2017).

Es gibt verschiedene Klassen von maschinellen Lernverfahren, die sich durch unterschiedliche Architekturen, Stärken, Schwächen und Grundannahmen auszeichnen. So bestehen neuronale Netze aus Recheneinheiten, die den menschlichen Gehirnzellen („Neuronen"), die für die Signalübertragung im menschlichen Körper zuständig sind, nachempfunden sind und wie diese in einer Netzwerkstruktur gegenseitig Impulse austauschen. In der KI spricht man von künstlichen neuronalen Netzen, die die biologische Funktion der Neuronen simulieren. Künstliche neuronale Netze werden sowohl im Rahmen von überwachtem Lernen für Klassifikationsaufgaben, Text, Schrift oder Objekterkennung als auch für unüberwachtes Lernen – zur Erkennung von Mustern eingesetzt.

Deep Neural Networks sind neuronale Netzwerke mit sehr vielen Schichten von Neuronen, was es schwierig macht, sie zu trainieren (hoher Rechenaufwand, große Trainingssets), welche es Ihnen aber ermöglichen, sehr abstrakte Relationen von Eingabedaten zur gewünschten Ausgabe zu erlernen (z. B. Objekterkennung in Computer Vision oder Bedeutungserkennung im Natural Language Processing).

Es gibt jedoch auch eine Vielzahl von maschinellen Lernverfahren neben neuronalen Netzen, wie z. B. Baummodelle, bei denen Entscheidungsbäume gelernt werden, statistische Verfahren wie Bayes Klassifikatoren oder Support Vector Machines, evolutionäre Algorithmen, die die natürliche Auslese nachahmen und dann auch Ensemble Methods, die verschiedene maschinelle Lernverfahren parallel ausführen und dann deren Entscheidungen intelligent miteinander kombinieren.

## Aktionsplanung und Optimierung

Die Bewegungsabläufe eines Industrieroboters ohne KI werden in der Konstruktionsphase einer Produktionsanalage aufwendig mittels Befehlssequenzen für Handlungen wie beispielsweise Greifen, Bewegen, Verschieben programmiert. KI-basierte Ansätze hingegen können Bewegungen, wie z. B. das Greifen eines Objekts in einem Regal oder das Verladen des Objekts in eine Kiste, selbständig berechnen oder anhand von Trainingsdaten lernen. Für die Berechnung der korrekten Bewegungsabläufe werden klassische Computer Vision Verfahren zur Erkennung der Objekte benutzt und mit Verfahren zum Lernen der Motorkontrolle kombiniert (z. B. regelungstechnische Verfahren oder spezielle Motorlernalgorithmen für Roboter).

Robotic Process Automation (RPA) ist eine Technologie für die Automatisierung und Optimierung der IT-gestützten Prozesse in Unternehmen. RPA wurde von der industriellen Automatisierung inspiriert. Die einzelnen Interaktionen der Unternehmensmitarbeiterinnen und -mitarbeiter mit den IT-basierten Tools und Kommunikationssystemen im Unternehmen werden mithilfe eines RPA-Systems erfasst und digitalisiert. Die gespeicherten Interaktionen und Vorgänge werden im RPA-System so verknüpft, dass bestimme Routinevorgänge (wie E-Mail verschicken oder Aktivierung einer Erinnerungsfunktion, Terminfindung unter mehreren Kolleginnen und Kollegen oder Projektpartnern) automatisch ausgelöst und erledigt werden können. Ermöglicht wird dies mittels einer intelligenten Wissensbasis, die als Grundlage für die Prozessoptimierung und Automatisierung genutzt wird.

## A.3 Biologisch inspirierte Hardware-Systeme

Das Neuromorphic Computing unterscheidet sich von den anderen KI-Technologien dadurch, dass es nicht primär darum geht, intelligente Funktionen (menschenartig oder rational) zu erzielen. Neuromorphic Computing empfindet die Strukturen des Wirbeltiergehirns rein mechanisch in Form von Hardware nach. Solche Neuromorphic Systems sind „künstlich intelligent" weil sie, wie das Wirbeltiergehirn, Informationen parallel und analog verarbeiten und so für bestimmte Aufgaben eine sehr viel höhere Rechenleistung als traditionelle Computer auf der Basis der von-Neumann Architektur erzielen können. Das Neuromorphic Computing steckt in vielerlei Hinsicht noch in der Entwicklung und hat nicht im gleichen Maße wie die anderen KI-Technologien von „Big Data" und den Fortschritten in der Rechenkapazität von klassischen Computern profitiert. Insofern ist das Neuromorphic Computing eher als Zukunftstechnologie zu betrachten, weswegen es auch in der Technologie-Anwendungszuordnung noch bei keiner Anwendung konkret zum Tragen kommt.

# Literaturverzeichnis

BMBF (2018): Förderkatalog. Datenbank zur Projektförderung des Bundes. www.foerderportal.bund.de/foekat [18.07.2018].

BMWi (2018): THESEUS - Neue Technologien für das Internet der Dienste. www.bmwi.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Digitale-Welt/foerderthemen-bis-2015.html?cms_artId=217952 [18.07.2018].

Broekel, Tom und Martin Binder (2007): The Regional Dimension of Knowledge Transfers - A Behavioral Approach. In: Industry and Innovation 14 (2), S. 151–175.

Bryson, Joanna (2017): Why you can't „just fix" machine bias derived from ordinary language. Adventures in NI. www.joanna-bryson.blogspot.de/2017/05/why-you-cant-just-fix-machine-bias.html [22.02.2018].

Chen, Nicholas / Christensen, Lau / Gallagher, Kevin / Mate, Rosamond / Rafert, Greg (2016): Global Economic Impacts Associated with Artificial Intelligence. Analysis Group. www.analysisgroup.com/uploadedfiles/content/insights/publishing/ag_full_report_economic_impact_of_ai.pdf [18.07.2018]. Clarivate Analytics (2018): Web of Science. www.wokinfo.com/ [13.07.2018].

Crunchbase (2018): Crunchbase. Discover innovative companies and the people behind them. www.crunchbase.com/ [01.05.2018]. Cyber Valley Initiative (2018): Cyber Valley. www.cyber-valley.de/de [01.05.2018].

Czernich, Nina / Falck, Oliver / Kretschmer, Tobias / Woessmann, Ludger (2011): Broadband Infrastructure and Economic Growth. In: The Economic Journal 121, S. 505–532. eCl@ss (2018): eCl@ss classification and product description. www.eclass.eu [13.07.2018]. DFG (2018): GEPRIS. Geförderte Projekte Informationssystem. gepris.dfg.de/gepris/OCTOPUS [18.07.2018].

EFI-Expertenkommission (2018): Jahresgutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2018. www.e-fi.de/fileadmin/Gutachten_2018/EFI_Gutachten_2018.pdf [18.07.2018].

Europäische Kommission (2018): CORDIS - EU research projects under Horizon 2020. data.europa.eu/euodp/de/data/dataset/cordisH2020projects [18.07.2018].

Geisler, Wilson S. und Daniel Kersten (2002): Illusions, perception and Bayes. In: Nature Neuroscience 5 (6), S. 508–510.

Global Times (2017): Artificial Intelligence Enterprise Research Report. tech.huanqiu.com/original/2017-07/10930656.html [13.07.2018].

Gruber, Angela (2017): Volle Kontrolle. Chinas Social Credit System. Spiegel Online. www.spiegel.de/netzwelt/netzpolitik/china-social-credit-system-ein-punktekonto-sie-alle-zu-kontrollieren-a-1185313.html [13.07.2018]. iit (2018): Innovationsfähigkeitsindikator. Länderananalyse. www.iit-berlin.de/de/indikator/laenderanalyse/2018/@@idb-ranking [13.07.2018]

Inoue, Tadanobu / De Magistris, Giovanni / Munawar, Asim / Yokoya, Tsuyoshi / Tachibana, Ryuki (2017): Deep Reinforcement Learning for High Precision Assembly Tasks. www.arxiv.org/pdf/1708.04033.pdf [18.07.2018].

Jia, Denise und Ye Zhanqi (2017): China Outlines Ambitions to Become World Leader in AI by 2025. Caixin. www.caixinglobal.com/2017-07-21/101119663.html [18.07.2018].

Koutroumpis, Pantelis (2009): The economic impact of broadband on growth. A simultaneous approach. In: Telecommunications Policy 33 (9), S. 471–485. Krauthammer, Charles (1997): Be Afraid. The Weekly Standard. www.weeklystandard.com/be-afraid/article/9802 [01.05.2018].

Lemaire, Axelle / Lucazeau, Romain / Rappers, Tobias / Westerheide, Fabian / Howard, Carly (2018): Artificial Intelligence – A strategy for European startups. Recommendations for policymakers. München: Roland Berger. www.asgard.vc/wp-content/uploads/2018/05/Artificial-Intelligence-Strategy-for-Europe-2018.pdf [18.07.2018].

Manyika, James / Chui, Michael / Miremadi, Mehdi / Bughin, Jacques / George, Katy / Willmott, Paul / Dewhurst, Martin (2017): A Future that Works. Automation, Employment and Productivity. McKinsey Global Institute. www.handelsblatt.com/downloads/19337114/1/mgi.pdf [18.07.2018].

McKinsey (2017): Smartening up with Artificial Intelligence (AI) - What's in it for Germany and its Industrial Sector? www.mckinsey.com/industries/semiconductors/our-insights/smartening-up-with-artificial-intelligence [13.07.2018].

Molnar, Margit (2017): Boosting firm dynamism and performance in China. OECD. www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ECO/WKP(2017)40&docLanguage=En [13.07.2018].

Park, H. und L. M. Reder (2004): Moses illusion: Implication for human cognition. In: R. F. Pohl Park (Hg.): Cognitive Illusions. Hove: Psychology Press, S. 275–291. memory.psy.cmu.edu/downloadPaper.php?name=04Park_Reder_Moses [13.07.2018].

Porter, Michael E. (1985): Competitive advantage. Creating and sustaining superior performance. New York: Free Press.

Purdy, Mark und Paul Daugherty (2017): How AI Boosts Industry Profits and Innovation. Accenture. www.accenture.com/t20171005T065812Z__w__/us-en/_acnmedia/Accenture/next-gen-5/insight-ai-industry-growth/pdf/Accenture-AI-Industry-Growth-Full-Report.pdfla=en?la=en [16.01.2018].

Qiang, C. Z. und C. M. Rossotto (2009): Economic Impacts of Broadband. In: Khalil, Mohsen A. / Dongier, Philippe / D'Costa, Valerie / Zhen-Wei Qiang, Christine / Smith, Peter L / Sudan, Randeep / Swanson, Eric / Wellenius, Bjorn: Extending reach and increasing impact. Information and communications for development. Washington, DC : World Bank , S. 35–50.

Russell, Stuart J. und Peter Norvig (1995): Artificial intelligence. A modern approach. Upper Saddle River: Prentice Hall.

Sopra Steria Consulting (2017): Potenzialanalyse Künstliche Intelligenz. www.soprasteria.de/newsroom/publikationen/studie/potenzialanalyse-künstliche-intelligenz [18.07.2018].

www.paice.de