Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND TOURISMUS

ALLIANZ Industrie 4.0 BADEN-WÜRTTEMBERG

Fraunhofer ISI

KI-Readiness im Verarbeitenden Gewerbe:

Stand und Perspektiven für Baden-Württemberg

Christian Lerch, Heidi Heimberger, Angela Jäger, Djerdj Horvat, Josefine Bitter

Ort: Karlsruhe

Datum: Dezember 2021

Impressum

KI-Readiness im Verarbeitenden Gewerbe: Stand und Perspektiven für Baden-Württemberg

Projektleitung (Kontakt)

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe
Dr. Christian Lerch, christian.lerch@isi.fraunhofer.de

Autor:innen

Christian Lerch
Heidi Heimberger
Angela Jäger
Djerdj Horvat
Josefine Bitter

Auftraggeber

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg
Theodor-Heuss-Straße 4, 70174 Stuttgart

Bildnachweis

Titelbild: shutterstock.com/anttoniart

Zitierempfehlung

Lerch, Christian; Heimberger, Heidi; Jäger, Angela; Horvat, Djerdj; Bitter, Josefine (2021): KI-Readiness im Verarbeitenden Gewerbe: Stand und Perspektiven für Baden-Württemberg; Studie im Auftrag für das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg, Karlsruhe.

Veröffentlicht

Dezember 2021

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Überblick der KI-Readiness Studie 1

2 Grundlagen zur KI-Readiness im Verarbeitenden Gewerbe 3

2.1 Künstliche Intelligenz: Grundlagen und Bedeutung für das Produktionsumfeld ... 3

2.2 Erhebung Modernisierung der Produktion 2018 des Fraunhofer ISI ... 5

2.3 Indikatoren als Basis der KI-Readiness ... 6

2.4 Index des Fraunhofer ISI zur Bewertung der KI-Readiness ... 8

3 Technologien und Maßnahmen der KI-Readiness: Verbreitung und strukturelle Abhängigkeiten 10

3.1 Verbreitung von KI-nahen Technologien und Maßnahmen: Baden-Württemberg und Deutschland im Vergleich ... 10

3.2 Bereiche der KI-Readiness und deren Zusammenspiel zur Branche und Betriebsgröße 12

4 Überblick zur KI-Readiness im Verarbeitenden Gewerbe 16

4.1 KI-Readiness nach Betriebs- und Produktionscharakteristika ... 17

4.2 KI-Readiness: Baden-Württemberg im regionalen Vergleich ... 21

5 Muster der KI-Readiness im Verarbeitenden Gewerbe 24

5.1 Überblick der in der Praxis existierenden KI-Muster ... 24

5.2 Besonderheiten Baden-Württembergs und Entwicklungsrichtungen bei KI-Mustern ... 26

6 Zusammenfassung und innovationspolitische Implikationen 29

7 Literaturverzeichnis 32

Executive Summary

- Zur Messung der Künstlichen Intelligenz (**KI**)**-Readiness** in Betrieben des Verarbeitenden Gewerbes werden **16 verschiedene KI-nahe Technologien und Maßnahmen** herangezogen. Diese umspannen das Produktionsumfeld eines Betriebs und werden zu drei Bereichen zusammengefasst: **(1) Digitales Produkt-Service Angebot, (2) Digitale Produktion, (3) Daten und Sicherheit**. Jeder dieser drei Bereiche besteht aus zwei Technologiefeldern, in denen KI zur betrieblichen Anwendung kommen kann. Für jedes Technologiefeld, in dem ein Betrieb aktiv ist, erhält dieser einen Punkt. Der KI-Index reicht somit von null (ohne jegliche KI-Bereitschaft) bis hin zu sechs Punkten (maximale KI-Bereitschaft).

- Die 16 KI-nahen **Technologien und Maßnahmen** sind im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands sehr **unterschiedlich stark verbreitet**. Diese reichen von einem Nutzungsgrad von vier bzw. fünf Prozent bei Big Data-Analysen bzw. mobilen Robotern bis hin zu rund 60 Prozent bei Datenspeicherung und dem Einsatz von digitalen Elementen im Kernprodukt. Jedoch **setzen nur wenige Betriebe mehrere KI-nahe Technologien und Maßnahmen gleichzeitig ein**. So ist nur ein knappes Drittel (31%) in mehr als zwei der sechs möglichen Technologiefelder aktiv.

- Im Vergleich zu anderen Regionen Deutschlands weist Baden-Württemberg einen signifikant höheren Verbreitungsgrad bei den KI-nahen Technologien und Maßnahmen, Big Data-Analysen (Bereich Digitales Produkt-Service Angebot), bei CPS-nahen Produktionssystemen, bei intelligenten Robotern (beide Bereich Digitale Produktion) sowie bei der Datenspeicherung (Bereich Daten und Sicherheit) auf. **Baden-Württembergs spezifische Stärke** liegt **im Bereich der Digitalen Produktion** und hier deutlich über dem bundesweiten Durchschnitt. In den beiden anderen Bereichen liegt Baden-Württemberg im bzw. leicht über Durchschnitt.

- Gemäß des für diese Studie entwickelten KI-Readiness-Index weisen lediglich **fünf Prozent** der Industriebetriebe Deutschlands eine **hohe KI-Readiness** auf (5 bzw. 6 Punkte), während die breite Masse von knapp **70 Prozent keine oder** lediglich eine **geringe Bereitschaft** aufweist (0 bzw. 1 bis 2 Punkte). Dennoch sind 26 Prozent aller Industriebetriebe Deutschlands bei einer mittleren KI-Readiness vorzufinden (3 bzw. 4 Punkte), was Hoffnungen weckt, dass der Anteil der Spitzengruppe und somit auch die grundsätzliche KI-Readiness in näherer Zukunft ansteigt.

- Die KI-Readiness eines Betriebs wird zudem stark von dessen Produktions- und Betriebscharakteristika determiniert. So existiert ein starker Zusammenhang zur **Produktkomplexität** sowie zur **Seriengröße** eines Betriebs. Je komplexer das gefertigte Produkt bzw. je größer die produzierte Serie eines Betriebs, desto höher ist auch dessen KI-Readiness. Ebenso geht eine zunehmende **Unternehmensgröße** mit einer **höheren KI-Readiness** einher.

- Der **Maschinenbau** und die **Elektroindustrie** sind die beiden mit Abstand **führenden Branchen** bei der KI-Readiness. Der **Automobilbau** weist zudem die **drittgrößte Spitzengruppe** aller Branchen des Verarbeitenden Gewerbes auf. Demgegenüber steht die Metallbranche, die Holz- und Papierindustrie, die Nahrungs- und Getränkeindustrie sowie die Textil- und Lederindustrie mit einer insgesamt unterdurchschnittlichen KI-Readiness.

- Mit Blick auf die KI-Readiness ist **Baden-Württemberg deutlich stärker aufgestellt als die restlichen Regionen Deutschlands**. So weist Baden-Württemberg mit sieben Prozent die **mit Abstand größte Spitzengruppe** auf (5 bzw. 6 KI-Punkte; 4% in Gesamtdeutschland). Zugleich hat Baden-Württemberg mit 18 Prozent die zweitkleinste Gruppe an Nicht-Nutzern (0 KI-Punkte; Durchschnitt Deutschland 22%). Ebenso verfügt Baden-Württemberg mit 30 Prozent über eine deutlich größere

Verfolgergruppe (3 bzw. 4 KI-Punkte) als das restliche Deutschland mit 25 Prozent. **Baden-Württemberg** beherbergt damit nicht nur die größte Spitzengruppe, sondern **zugleich das größte Potenzial an Betrieben, die** in näherer Zukunft **in die Spitzengruppe aufschließen** könnten.

- **Baden-Württembergs besondere Stärke** bei der KI-Readiness kommt durch den dort beheimateten Maschinen- und Automobilbau, die **ausgeprägten Ausrüster- und Systemzulieferstrukturen** im Land, sowie den **KI-stärksten Mittelstand** Deutschlands zustande. Eine besondere Führungsrolle nimmt Baden-Württemberg im Bereich der Digitalen Produktion ein, welche den Einsatz von CPS-nahen Produktionssystemen sowie intelligenten Robotern umfasst.

- Die größte Spitzengruppe, gepaart mit der zugleich größten Verfolgergruppe, verleiht **Baden-Württemberg** die **Spitzenposition in Deutschland**, was die Bereitschaft von KI-Anwendungen im Produktionsumfeld angeht. Baden-Württemberg erreicht insgesamt einen **KI-Index** von **2,05 Punkten (Platz 1)**, während der Durchschnitt in Deutschland bei 1,85 Punkten liegt. Dies ergibt etwa einen Vorsprung von rund zehn Prozent gegenüber dem Durchschnitt Deutschlands.

1 Einleitung und Überblick der KI-Readiness Studie

Die digitale Transformation der Industrie stellt derzeit eine der größten Herausforderungen des Produktionsstandorts Baden-Württemberg dar. Der Digitalisierungsstand der Industriebetriebe schreitet nicht nur im Südwesten, sondern auch bundesweit stetig voran. Zudem kommt in jüngerer Vergangenheit der KI eine immer stärkere Bedeutung zu. Auf Basis von Algorithmen, die nicht mehr regel- sondern lern- und erfahrungsbasiert ablaufen (Demary et al. 2020; Kreutzer und Sirrenberg 2019; Vöpel 2018), ergeben sich auch für Produktionsbetriebe völlig neue Innovations- und Wettbewerbspotenziale (Dukino et al. 2019; Graeber et al. 2019; Hecker et al. 2017). Insbesondere für Baden-Württemberg, als weltweit führenden Industriestandort, gehen mit dem Einsatz von KI im Produktionsumfeld große Chancen, aber auch Risiken einher. Für die baden-württembergische Wirtschaft und Politik stellt sich somit die Frage, inwieweit KI-nahe Technologien und Maßnahmen bereits umgesetzt werden, welche Stärken und Schwächen die Industrie im Südwesten aufweist und welche weiteren Entwicklungspotenziale existieren, die noch zu heben sind.

In diesem Kontext wurde das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg beauftragt, die "*Readiness*" der Produktionsbetriebe in Baden-Württemberg hinsichtlich des Einsatzes von KI im Produktionsumfeld im nationalen Vergleich zu erfassen und zu bewerten. Die "KI-Readiness" wird in dieser Studie definiert als *die aktuelle Bereitschaft und Fähigkeit von Industriebetrieben zur konkreten Umsetzung von KI-nahen Technologien und Maßnahmen im Produktionsumfeld*. Das Produktionsumfeld bezieht sich dabei auf das Produkt-Service Angebot der Industriebetriebe sowie auf Technologien und organisatorische Maßnahmen in der Produktion.

Hierfür wurde die repräsentative Befragung *Modernisierung der Produktion* 2018 (Jäger und Maloca 2019) eingesetzt, die seit 1993 in regelmäßigen Abständen vom Fraunhofer ISI durchgeführt wird. Die aktuelle Erhebungsrunde wurde 2018 durchgeführt und für die Analysen dieser Studie herangezogen. Das Ziel des vorliegenden Berichts ist es, Erkenntnisse über die Verbreitung von KI-nahen Technologien und Maßnahmen aus einer produktionsspezifischen Perspektive heraus zu generieren und den Stand Baden-Württembergs im nationalen Vergleich zu identifizieren. Auf Basis dieser Ergebnisse lassen sich dann innovationspolitische Handlungsoptionen für Politik und Wirtschaft ableiten.

Vor diesem Hintergrund waren für die vorliegende Studie folgende Forschungsfragen leitend:

1. Wie lassen sich KI-nahe Technologien und Maßnahmen zu einem KI-Readiness-Index zusammenfassen, um die Bereitschaft von Industriebetrieben hinsichtlich des Einsatzes von KI im Produktionsumfeld messen zu können?
2. Wie verbreitet sind diese KI-nahen Technologien und Maßnahmen in der Produktion, die Betriebe zu KI-Anwendungen im Produktionsumfeld befähigen?
3. Welche strukturellen Unterschiede bestehen grundsätzlich zwischen den Industriebetrieben bei der KI-Readiness?
4. Wie schneiden die Betriebe Baden-Württembergs im Vergleich zu denen anderer Regionen hinsichtlich der KI-Readiness ab und wie lässt sich ein für Baden-Württemberg spezifisches KI-Profil darstellen?

Um diese Leitfragen zu beantworten, ist die Studie wie folgt gegliedert: In Kapitel 2 wird auf die Grundlagen des KI-Readiness-Index eingegangen. Zum einen werden die Grundlagen der repräsentativen Betriebsbefragung *Modernisierung der Produktion* 2018 des Fraunhofer ISI dargelegt, zum anderen die KI-nahen Technologien und Maßnahmen spezifiziert, die für die Konstruktion des KI-Indexes herangezogen wurden. Kapitel 3 zeigt den Verbreitungsstand der KI-nahen Technologien und Maßnahmen in Deutschland und Baden-Württemberg im Vergleich auf sowie strukturelle Abhängigkeiten beim Einsatz der

Technologien und Maßnahmen in den Produktionsbetrieben. Die KI-Readiness der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes Deutschlands wird in Kapitel 4 betrachtet. Hierbei wird analysiert, welche Betriebe eine Vorreiterrolle beim Einsatz von KI einnehmen sowie die KI-Readiness der Betriebe Baden-Württembergs im nationalen Vergleich bewertet. In Kapitel 5 wird auf die Besonderheiten Baden-Württembergs beim Einsatz von KI im Produktionsumfeld eingegangen sowie ein spezifisches baden-württembergisches KI-Muster dargestellt. Auf Basis dieser Erkenntnisse werden in Kapitel 6 abschließend Handlungsfelder für innovationspolitische Maßnahmen für die Wirtschaft und Politik Baden-Württembergs aufgezeigt.

2 Grundlagen zur KI-Readiness im Verarbeitenden Gewerbe

Kapitel 2 legt die Grundlagen für die Messung der KI-Readiness im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands. In einem ersten Abschnitt wird zunächst kurz auf Grundlegendes und die Bedeutung von Künstlicher Intelligenz in der Produktion eingegangen und eine Übersicht zu den bisherigen empirischen Befunden gegeben, die zu KI-Anwendungen in der Produktion aktuell vorliegen. In den Abschnitten 2.2 bis 2.4 wird auf die empirische Basis der vorliegenden Studie eingegangen. Hierzu gehört nicht nur die Beschreibung der verwendeten Datenbasis, sondern auch die Deskription der Indikatoren der KI-Readiness sowie des daraus entwickelten Indexes.

2.1 Künstliche Intelligenz: Grundlagen und Bedeutung für das Produktionsumfeld

Obwohl KI in den verschiedensten Bereichen des Lebens bereits in aller Munde ist, existiert derzeit keine allgemeingültige Definition bzw. Grundverständnis für den Begriff (Dukino et al. 2019; Demary et al. 2020; Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 2018; Ahlborn et al. 2019). Um eine klare Abgrenzung vornehmen zu können, legen wir folgendes Verständnis fest, welches auf den Definitionsversuchen von Hirsch-Kreinsen et al. (2019), Dukino et al. (2019), Demary et al. (2020), Ahlborn et al. (2019), Magagnoli (2019) und Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) et al. (2020) basiert:

KI, ein Teilgebiet der Informatik, bezeichnet intelligente und lernfähige Systeme bzw. Technologien, die eigenständig handeln und entscheiden können.

Der Ursprung des Begriffs und Forschungsgebiets Künstliche Intelligenz geht auf die Dartmouth Conference im Jahr 1956 zurück, als John McCarthy von der Entwicklung von Maschinen sprach, die zur Simulation menschlicher kognitiver Funktionen in der Lage sind (Dukino et al. 2019; Demary et al. 2020; Magagnoli 2019). KI zeichnet sich durch eine Reihe von Spezifikationen aus, die im Folgenden kurz erläutert werden.

So gibt es die Differenzierung hinsichtlich der Stärke der KI. *Schwache KI* bezeichnet die Simulation von Intelligenz, bei der die Entscheidungsfindung auf Informationen aus der Vergangenheit basiert. Demgegenüber steht die *starke KI*, unter der die Duplikation und Abbildung menschlicher Intelligenz auf einer höheren Stufe und Autonomie verstanden wird (Magagnoli 2019; Demary et al. 2020; Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 2018; Hatiboglu et al. 2019; Ahlborn et al. 2019). Zum aktuellen Zeitpunkt fallen (höchstwahrscheinlich alle) KI-Anwendungen in den Bereich der schwachen KI (Demary et al. 2020; Magagnoli 2019). Die zeitliche Entwicklung von schwacher zu starker KI wird auch als ein Prozess mit verschiedenen Wellen beschrieben: Vom Internet zu Algorithmen, über die Augmentation bis hin zur Welle der Autonomie (Hatiboglu et al. 2019).

Zusätzlich zur Stärke lässt sich KI nach drei Lerntypen des im Hintergrund stehenden technischen Systems unterscheiden. Die einfachste Variante ist das sogenannte *überwachte Lernen*, bei dem der Mensch dem System klare Vorgaben über die Daten (Eingabe) und die zu erarbeitenden Zusammenhänge (Ausgabe) erteilt. Eine fortgeschrittene Variante stellt das *unüberwachte Lernen*, bei dem das System eigenständig die verfügbaren Daten verarbeitet und daraus Muster und Zusammenhänge erkennt. Die intelligenteste Variante ist das *bestärkende Lernen* (engl. reinforcement learning), das ein selbstständiges Erlernen des Systems auf Basis unklassifizierter Daten bezeichnet. Bei einem solchen System handelt es sich um ein hochintelligentes und selbstlernendes KI-gestütztes System (Magagnoli 2019; Ahlborn et al. 2019; Heintel et al. 2019).

Grundsätzlich gelten Daten als der wichtigste „Rohstoff" für KI, da die Technologie auf große Datenmengen angewiesen ist, um Muster zu erkennen und Entscheidungen ableiten zu können (Demary et al. 2020). Erst die Arbeit mit großen Datenmengen (Big Data) in Echtzeit ermöglicht es einem KI-gestützten

System über selbstlernende Algorithmen situationsgenau und schnell auf sich verändernde Parameter und Eingaben zu reagieren und sich damit für die Lösung diverser Aufgaben problemspezifisch einzustellen (Kleesiek et al. 2020). Aus diesem Grund stellt die Bereitstellung der Daten oder der Zugang zu den benötigten Daten(-mengen) die Basis für jede KI-Anwendung dar.

Im Produktionsumfeld lassen sich unterschiedliche Anwendungsfelder für KI identifizieren, bspw. in der Instandhaltung, Logistik, Qualitätsmanagement und -kontrolle, oder bei der Produkt- und Prozessentwicklung. Anwendungsbereiche sind bspw. Digitale Assistenzsysteme, Prozessoptimierung und –steuerung, Ressourcenplanung und Automatisierung (Hatiboglu et al. 2019). So sind im Qualitätsmanagement bspw. KI-Werkzeuge denkbar, die Produktionsteile bspw. durch Unterstützung von Bild- oder Sensordaten auf Mängel überprüfen können (Seifert et al. 2018).

Mithilfe verschiedener KI-Werkzeuge lässt sich KI in die vorgestellten Anwendungsfelder in der Produktion integrieren. Hatiboglu et al. (2019) klassifizieren dafür sechs relevante KI-Werkzeuge.

- Mittels *Text- und Sprachverarbeitung* lassen sich bspw. Texte erkennen, auswerten oder generieren sowie Sprache erzeugen und verarbeiten. Auch die natürliche Sprachverarbeitung (Natural Language Processing NLP) ist diesem Werkzeug zugeteilt.
- Die *Bild- und Tonverarbeitung* wird oftmals als Computer Vision bezeichnet und ist dazu in der Lage, bestimmte Eigenschaften von Objekten in dem zur Verfügung stehenden Material zu erkennen. Die Algorithmen basieren auf vorgegebenen Rahmenbedingungen und verbessern sich zunehmend.
- Bei der *Emotionserkennung und Absichtsanalyse* lassen sich bspw. bestimmte Signale oder Muster erkennen, die dann als Indikator für Belastungserkennungen dienen. Im Produktionsumfeld ist dieses Werkzeug aktuell noch nicht stark verbreitet. Es ist im engeren Sinne auch der Text- und Sprachverarbeitung zuzuordnen.
- Mithilfe der *Multidimensionalen Mustererkennung* lassen sich heterogene Datensätze auswerten. Dabei wird vorab kein bekannter Zusammenhang vorgegeben, dieser ist vielmehr das gewünschte Ergebnis der Analyse. Somit sollen Muster bei Entwicklungen frühzeitig erkannt werden.
- Bei der *Wissensrepräsentation und Semantik* entstehen dynamische Wissensnetze, die aus großen, verknüpften Datenmengen bestehen und die Zusammenhänge zwischen Informationen abbilden können. Aus diesen vernetzten Daten lassen sich Schlussfolgerungen treffen und explizites Wissen erzeugen.
- Die *Aktionsplanung und Optimierung* dient der allgemeinen Verbesserungen von Prozessen, bspw. durch Fehlervermeidung oder andere Optimierungen. Basierend auf Trainingsdaten und Entscheidungsregeln können Systeme in bestimmten Szenarien Situationen datenbasiert lösen und Entscheidungen selbst treffen.

Zum Thema KI in der Industrie existieren bereits vereinzelte empirische Studien und Analysen. Dennoch wird deutlich, dass dabei oftmals der Fokus nicht explizit auf der Produktion liegt, sondern vielmehr Analysen in unterschiedlichen Kontexten durchgeführt werden.

Im April 2019 veröffentlichte Bitkom die Ergebnisse einer Befragung von 555 Industrieunternehmen zum Thema Industrie 4.0 mit KI. Neben Industrie 4.0-Fragestellungen, bspw. zu Industrie 4.0-Anwendungen, vernetzten Maschinen und Investitionen, wurden auch der Einsatz von KI in der Fabrik sowie die Vorteile der KI im Kontext Industrie 4.0 beleuchtet (Berg 2019). Dabei wurden jedoch nicht bestimmte Produktionsbereiche im Detail betrachtet.

Das Institut für Innovation und Technik (iit) führte im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) eine Studie über die Potenziale der KI im Produzierenden Gewerbe in Deutschland durch, die im Juli 2018 veröffentlicht wurde. Die Online-Befragung mit einer Stichprobe von 230 Personen (KI-Anwendern aus dem Verarbeitenden Gewerbe, KI-Anbietern und Wissenschaftsvertreter:innen) sowie die Analyse der Ergebnisse haben ebenfalls keinen Produktionsfokus. Vielmehr wurde KI entlang der Wertschöpfungskette des Produzierenden Gewerbes analysiert. Ein Ergebnis ist, dass bei den befragten

Unternehmen insbesondere im Bereich der Produktion, im Vergleich zu anderen Wertschöpfungsstufen, bereits verschiedene KI-Anwendungen verstärkt zum Einsatz kommen (Seifert et al. 2018).

Das Institut der deutschen Wirtschaft (IW) führte im Auftrag des Bundesverbands Digitale Wirtschaft (BVDW) einen KI-Monitor durch, der Deutschlands aktuellen Stand und Entwicklungen von KI messen sollte. Die Studie wurde im September 2020 veröffentlicht. Der entwickelte KI-Index ist eher allgemein und hat keinen Produktionsfokus. Er setzt sich aus den drei Kategorien Rahmenbedingungen, Wirtschaft und Gesellschaft zusammen. Aus den Befragungsergebnissen im Bereich Wirtschaft wurden auch Einschätzungen zur Bedeutung und dem Einsatz von KI in Industrieunternehmen und industrienahen Dienstleistungen vorgenommen. Die Datenbasis für die Industrie-Indikatoren ist das IW Zukunftspanel 2019, mit dem zweimal pro Jahr Geschäftsführer:innen von Industrieunternehmen und industrienahen Dienstleistungen befragt werden. Die Befragten gaben ihre Einschätzung zu den Potenzialen der KI für ihr Unternehmen, ihre Branche und die Gesamtwirtschaft (Demary et al. 2020).

Das Fraunhofer IAO publizierte im Januar 2020 eine Studie zum Thema KI in der Unternehmenspraxis. Auch diese Studie hat keinen Produktionsfokus, knapp über ein Drittel (36%) der befragten Unternehmen sind jedoch im Sekundärsektor tätig. Für die Studie wurde ein Mixed-Method-Ansatz gewählt, bestehend aus einer quantitativen (online) Erhebung mit einer Fallzahl von 303 Betrieben, qualitativen Experteninterviews und Use Cases. Es wurden verschiedene Aspekte abgefragt wie beispielsweise die Bedeutung von KI im Unternehmen, die Auswirkungen von KI auf Mensch und Arbeit, Erfahrungen mit KI-Anwendungen sowie der Unterstützungsbedarf (Dukino et al. 2019).

Das ZEW führte im Jahr 2019 eine Studie zum KI-Einsatz in der deutschen Wirtschaft durch, die im März 2020 veröffentlicht wurde. Die Datengrundlage für die Analysen bilden die „Sonderauswertung der Deutschen Innovationserhebung 2019" und eine Zusatzbefragung von insgesamt 368 KI einsetzenden Unternehmen. Auch diese Befragung hat keinen Produktionsfokus und bietet deshalb nur oberflächliche Informationen zum Einsatz von KI in der Produktion. Laut Rammer et al. (2020) setzen 57% der Unternehmen der IKT-Branche KI in der Produktion und Dienstleistungserbringung ein (Rammer et al. 2020).

2.2 Erhebung Modernisierung der Produktion 2018 des Fraunhofer ISI

Alle in diesem Bericht vorgestellten Analysen und Ergebnisse beruhen auf den Auswertungen der Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2018 des Fraunhofer ISI. Diese Erhebung wird seit 1993 regelmäßig alle drei Jahre vom Fraunhofer ISI durchgeführt und fokussiert Themen zur Wertschöpfung und Innovation in der Produktion. Dabei werden deutschlandweit Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes zum Stand ihrer Produktion und ihrer Innovationsaktivitäten befragt, seit 2006 deckt die Erhebung alle Branchen des Verarbeitenden Gewerbes ab. Angeschrieben werden jeweils zufällig ausgewählte Betriebe mit mindestens 20 Beschäftigten. Ausgehend von einer repräsentativen Stichprobe wird dabei regelmäßig ein Rücklauf von zwischen 1.200 und 1.500 Betrieben erreicht. Für die verschiedenen Erhebungswellen gilt, dass die realisierten Stichproben in Bezug auf die regionale Verteilung eine sehr gute Abdeckung der Grundgesamtheit darstellen. Ebenso beinhalten die Daten bezüglich der Unternehmensgröße und Branchenabdeckung jeweils einen für das jeweilige Erhebungsjahr repräsentativen Querschnitt der Grundgesamtheit. Die Erhebung *Modernisierung der Produktion* ist damit die breiteste und umfangreichste Befragung zu Modernisierungsprozessen im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland.

Die aktuellste Erhebungswelle fand von Herbst 2018 bis Frühjahr 2019 statt. Auf einzelbetrieblicher Ebene wurden wieder Informationen zur wirtschaftlichen und technologischen Lage, zu Innovations- und Modernisierungsaktivitäten in der Produktion sowie zu detaillierten strukturellen Betriebscharakteristika erfasst. Im Ergebnis liegen die Angaben von insgesamt 1.256 Betrieben vor, welche einen repräsentativen Querschnitt der Grundgesamtheit hinsichtlich der Größenklassen und regionaler Verteilung sowie ein gutes Abbild der industriellen Branchenstruktur des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland bieten

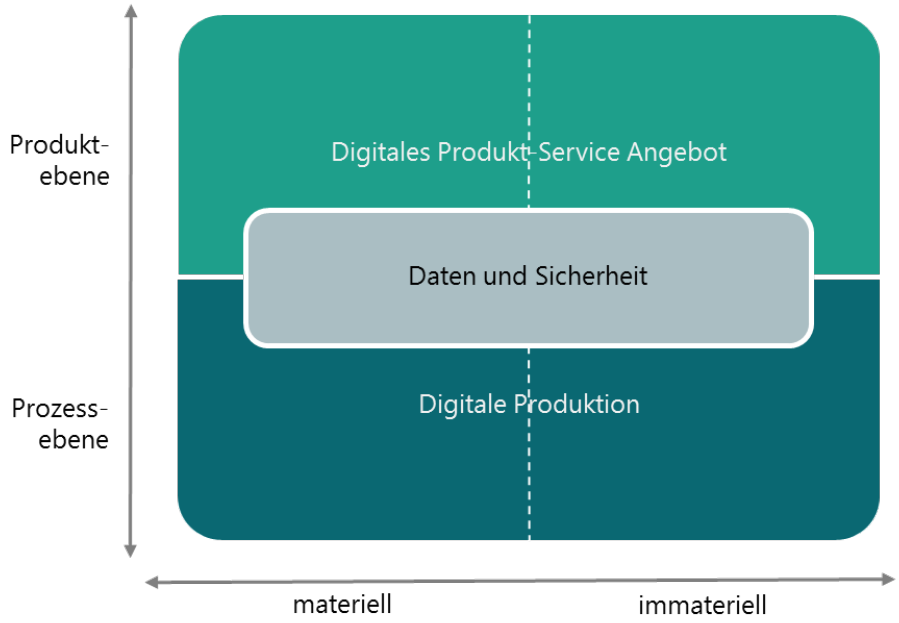
(Jäger und Maloca 2019). Die Daten erlauben so, ein einzigartiges und differenziertes Bild zum technologischen und organisatorischen Stand der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes zu zeichnen und damit eine Grundlage für die differenzierte Untersuchung zur Bereitschaft für den Einsatz von KI im Kontext der Produktion zu legen. Die Verknüpfung mit Informationen zu Betriebscharakteristika wie Größe, Produktionsstruktur und der Stellung in der Wertschöpfungskette ermöglichen dabei differenzierte und vertiefende Analysen. In Verbindung mit ausgewählten Leistungskennziffern können zudem die ökonomischen Effekte abgeschätzt werden.

2.3 Indikatoren als Basis der KI-Readiness

Zur Analyse der Bereitschaft der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes für den Einsatz von KI werden drei übergeordnete Bereiche betrachtet: Mit dem Bereich *Digitales Produkt-Service Angebot* wird zum einen die Bereitschaft für den Einsatz von KI mit Blick auf die Produktpalette erfasst. Zum anderen wird im Bereich *Digitale Produktion* die KI-Readiness mit Blick auf die Produktionsprozesse berücksichtigt und schließlich die Bereitschaft für den Einsatz von KI in Hinsicht auf den abgesicherten Umgang mit digitalen Daten mit dem Bereich *Daten und Sicherheit* abgedeckt.

Für die Herleitung dieser drei Bereiche dienen die grundsätzlichen Überlegungen zur Digitalisierung der Produktion, wie diese in der Studie Industrie 4.0-Readiness der IMPULS-Stiftung des VDMA (Lichtblau et al. 2015) zur Evaluation der Industrie 4.0-Readiness im Maschinen- und Anlagenbau dargelegt wurden. In der Verknüpfung der beiden grundlegenden Dimensionen Gestaltung des Produkts und Gestaltung der Produktion wurden hier vier Dimensionen betrachtet: Smart Factory, Smart Products, Smart Operations und Data-driven Services. Werden diese vier Dimensionen in Bezug zu den Möglichkeiten des KI-Einsatzes betrachtet, ergibt sich die in Abbildung 1 dargestellte Logik. Um konsequent die KI-Readiness in diesen Bereichen untersuchen zu können, werden die beiden aggregierten Ebenen Produkt und Prozess betrachtet und auf die Trennung zwischen physischer und virtueller Realisierung verzichtet.

Abbildung 1: Verständnis der KI-Readiness im Verarbeitenden Gewerbe



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Frietsch et al. (2020), Lichtblau et al. (2015) und Kinkel et al. (2004)

Die Operationalisierung dieser drei Bereiche beruht auf den in Tabelle 1 aufgelisteten Indikatoren der Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2018. Im Bereich *Digitales Produkt-Service Angebot* werden

neben der Digitalisierung der physischen Produkte auch das Angebot an datenbasierten Dienstleistungen betrachtet. Einerseits wird berücksichtigt, ob die angebotenen physischen Produkte und Produktneuheiten aufgrund von digitalen Komponenten zur Erfassung und Kommunikation von Daten in der Lage sind. Andererseits wird erfasst, ob Dienstleistungen, welche auf der Analyse prozesshaft entstandener Daten beruhen, im Angebotsportfolio enthalten sind. Konkret berücksichtigt wird dabei das Angebot digitaler (Fern-)Überwachung des Betriebszustands (z.B. Condition Monitoring, Predictive Maintenance) sowie datenbasierte Dienstleistungen auf Basis von Big-Data-Analysen. Somit lassen sich Aussagen zum Digitalisierungsgrad des Produktportfolios der Betriebe treffen.

Der Bereich *Digitale Produktion* erfasst den Einsatz von zwei spezifischen CPS-nahen Anwendungen sowie den Einsatz intelligenter Robotertechnologie. Diese sind Ausdruck einer vertieften technologischen Digitalisierung im Produktionsumfeld, gehen einher mit den damit erworbenen Kompetenzen zum produktiven Einsatz dieser Technologien und eröffnen den Zugang zu den mit einer hochautomatisierten Produktion einhergehenden Möglichkeiten in der Smart Factory (Lichtblau et al. 2015).

Daten und Sicherheit gelten als Grundlage und Voraussetzung für den Einsatz von KI (Demary et al. 2020) und werden daher im dritten Bereich berücksichtigt. Zum einen gilt die Verfügbarkeit von Daten als technische Grundvoraussetzung für die Nutzung von KI (Rammer et al. 2020), zum anderen sind auch Schutz und Sicherheit der Daten in den Betrieben eine Systemvoraussetzung für KI (Seifert et al. 2018). Dies wird im Sinne einer umfassenden Implementierung von Sicherheitsmaßnahmen berücksichtigt.

Tabelle 1: Indikatoren zu den drei Bereichen zur Bewertung der KI-Readiness

Digitales Produkt-Service Angebot	
Ausstattung des Hauptprodukts mit digitalen Elementen • Identifizierungsinformationen (z.B. RFID-Tag, QR-/Bar-Code) • Sensortechniken, Steuerungselemente für digitale Zusatzfunktionen des Produkts • Schnittstellen mit Internet-/Netzwerkverbindung zum automatisierten Datenaustausch (in Echtzeit) • Interaktive Schnittstellen zum Anwender (z.B. Gegensteuerung, Spracheingaben, Datenbrillen, VR/AR) • Andere digitale Elemente	Ja/nein-Antwort getrennt für jedes digitale Element
Digitale Produktinnovation • Aktuelle Innovation basiert (auch) auf einer digitalen Produkterweiterung oder einer wesentlichen Verbesserung bestehender digitaler Produktelemente	Ja/nein-Antwort
Angebot digitaler Lösungen im Rahmen des Dienstleistungsangebots • Digitale (Fern-)Überwachung des Betriebszustands (z.B. Condition Monitoring, Predictive Maintenance) • Datenbasierte Dienstleistungen auf Basis von Big-Data-Analysen	Ja/nein-Antwort getrennt für jede digitale Lösung
Digitale Produktion	
CPS-nahe Technologien im Produktionsbereich • Echtzeitnahes Produktionsleitsystem (z.B. Systeme mit zentraler Maschinen-/Prozessdatenerfassung (MES)) • Techniken zur Automatisierung und Steuerung der internen Logistik (z.B. Lagerverwaltungssysteme (RFID))	Ja/nein-Antwort getrennt für jede Technologie
Einsatz intelligenter Industrieroboter in der Produktion • Mobile Roboter • Kollaborierende Roboter	Mindestens eines der drei Kriterien

• Autonome Roboter	
Daten und Sicherheit	
Automatisierte Datenspeicherung • Maschinen oder Anlagen in der Produktion, die automatisiert Betriebsdaten speichern	Ja/nein-Antwort
Maßnahmen zur Sicherung von Betriebsdaten der Maschinen/Anlagen • Regelmäßige Sensibilisierung der Beschäftigten • Spezielle organisatorische Maßnahmen bspw. Stören des WLAN-Zugangs/Funkempfangs, räumliche Zugangsbeschränkungen • Einsatz spezieller Softwarelösungen (zur Kontrolle der Datenzugriffe, -nutzung, -volumina, Übertragungsraten etc.) • Einsatz spezieller Hardwarelösungen (getrennte Netzwerke, vom Internet getrennte Subnetze (DMZ) etc.)	Mindestens drei der vier Arten von Maßnahmen im Einsatz

2.4 Index des Fraunhofer ISI zur Bewertung der KI-Readiness

Um die Bereitschaft der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes für den Einsatz von KI abbilden zu können, wurde ein metrischer Index entwickelt. Dafür wurden die Bewertungen zu den drei Bereichen *Digitales Produkt-Service Angebot*, *Digitale Produktion* sowie *Daten und Sicherheit* zusammengefasst.

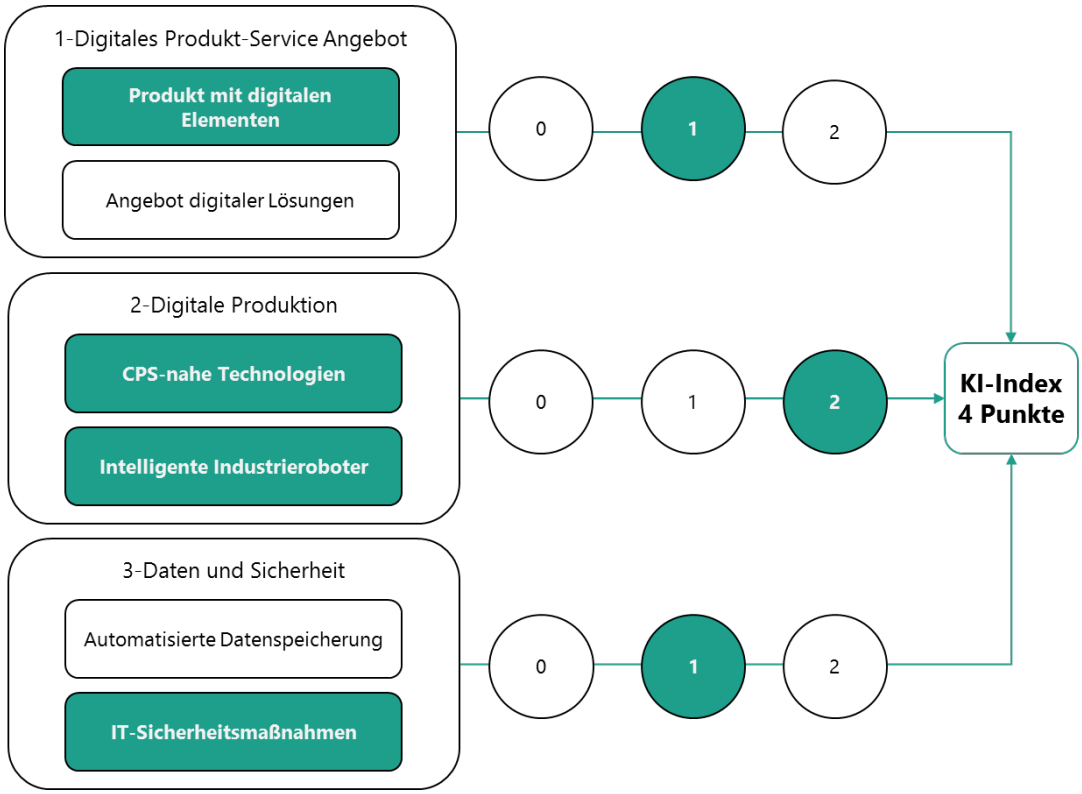
Für jeden der drei Bereiche lassen sich maximal zwei Punkte erreichen. Die Vergabe folgt der folgenden Logik: Im Bereich *Digitales Produkt-Service Angebot* wird eine Punktzahl von Null vergeben, wenn das Produkt eines Betriebs kein digitales Element beinhaltet und keine der beiden datenbasierten Dienstleistungen angeboten werden. Ein Punkt ist erreichbar, wenn das Produkt mit mindestens einem digitalen Element ausgestattet ist, und zwei Punkte, falls darüber hinaus auch mindestens ein digitaler Service angeboten wird.

Für die Kategorie *Digitale Produktion* werden im Falle, dass weder CPS-nahe Technologien noch avancierte Robotik eingesetzt werden, null Punkte vergeben. Nutzen die Betriebe entweder mindestens eine der CPS-nahen Technologien oder setzen Robotertechnologie mit mindestens einem Merkmal intelligenter Robotik ein, so erhalten sie einen Punkt. Zwei Punkte erreichen nur diejenigen Betriebe, die sowohl CPS-nahe Technologien als auch intelligente Robotertechnologie in der Produktion verwenden.

Im Bereich *Daten und Sicherheit* erhalten diejenigen Betriebe null Punkte, die Betriebsdaten der Maschinen und Anlagen nicht automatisiert speichern und keine Maßnahmen für die Sicherung ihrer digitalen Betriebsdaten einsetzen. Ebenfalls null Punkte erreichen die wenigen Betriebe, die zwar die Daten automatisiert speichern, aber keinerlei Sicherheitsmaßnahmen dafür umsetzen. Ein Punkt wird an diejenigen Unternehmen vergeben, die mindestens drei der vier Sicherheitsmaßnahmen umsetzen, um die zwar nicht automatisiert gespeicherten, aber digital vorliegenden Produktionsdaten zu sichern, oder die Betriebsdaten automatisiert speichern und zugleich wenigstens eine Sicherheitsmaßnahme implementiert haben. Zwei Punkte können in dieser Kategorie nur erreicht werden, wenn ein Betrieb sowohl mindestens drei der vier Sicherheitsmaßnahmen einsetzt als auch Betriebsdaten automatisiert speichert.

Die Logik des KI-Readiness-Index ist nochmals in Abbildung 2 anhand eines Beispiels visualisiert. Die dunkel markierten Felder geben an, in welchem Bereich der fiktive Betrieb bereits aktiv ist. Dieser fiktive Betrieb würde sowohl beim *Digitalen Produkt-Service Angebot* als auch bei *Daten und Sicherheit* jeweils einen Punkt erzielen und bei der *Digitalen Produktion* zwei Punkte. Hieraus würde sich ein Indexwert von vier Punkten bei der KI-Readiness ergeben.

Abbildung 2: Logik des KI-Readiness-Index mit Beispiel



In Kombination der drei Bereiche kann sich der Indexwert für die KI-Readiness von Null (keine KI-Readiness) bis maximal sechs Punkte (hohe KI-Readiness) erstrecken. Darauf aufbauend lassen sich vier Gruppen der KI-Readiness unterscheiden: Keine Bereitschaft, geringe Bereitschaft, mittlere Bereitschaft und hohe Bereitschaft.

- **Keine KI-Readiness (Indexwert 0):** Ein Indexwert von Null entspricht der Gruppe der Betriebe, die keine KI-Bereitschaft zeigen und in keinem der drei Bereiche einen Punkt erreicht haben. Die Betriebe haben weder ein digitales Produkt-Service Angebot, noch eine digitale Produktion oder einen sicheren Umgang mit digitalen Betriebsdaten implementiert.
- **Geringe KI-Readiness (Indexwert 1-2):** Die Betriebe in der Gruppe mit geringer Bereitschaft haben ebenfalls noch einen weiten Weg bis zur Anwendung von KI vor sich und lediglich erstes Know-how realisiert. In mindestens einem der drei Bereiche erfolgte noch keine Implementierung der Technologien bzw. Maßnahmen.
- **Mittlere KI-Readiness (Indexwert 3-4):** Die Gruppe der Betriebe mit einer mittleren KI-Readiness hat in mindestens zwei der drei Bereiche bereits förderliche Grundlagen geschaffen. Erste Ansätze für einen Ausbau des digitalen Know-hows sind erkennbar.
- **Hohe KI-Readiness (Indexwert 5-6):** Mit einem KI-Index von fünf bzw. sechs zeichnet sich diese Gruppe durch eine hohe KI-Readiness aus, die sich durch alle drei Bereiche zieht. In mindestens zwei der drei Bereiche konnte die volle Punktzahl erreicht werden.

3 Technologien und Maßnahmen der KI-Readiness: Verbreitung und strukturelle Abhängigkeiten

Die Bewertung der KI-Readiness beruht auf den in Abschnitt 2.3 vorgestellten Indikatoren. Einführend hilft der Blick auf die durchschnittliche Verbreitung dieser Technologien und Maßnahmen, um eine erste Einschätzung zur Produktionswirklichkeit im Verarbeitenden Gewerbe zu entwickeln. Hierfür werden in Abschnitt 3.1 die Verbreitungsquoten der Technologien und Maßnahmen von Baden-Württemberg und dem Rest Deutschlands im Vergleich betrachtet. In Abschnitt 3.2 hingegen ist der Zusammenhang des Einsatzes der KI-vorbereitenden Technologien und Maßnahmen mit den gängigen Produktionscharakteristika analysiert, um Aussagen hinsichtlich struktureller Abhängigkeiten zu generieren.

3.1 Verbreitung von KI-nahen Technologien und Maßnahmen: Baden-Württemberg und Deutschland im Vergleich

Die spezifische Situation in Baden-Württemberg wird in Tabelle 2 sichtbar, welche eine Übersicht über die durchschnittliche Nutzung der Technologien und Maßnahmen in Baden-Württemberg im Vergleich zur Implementierungsquote unter den Betrieben aus den restlichen Bundesländern zusammenfasst. Statistisch signifikante Unterschiede zwischen Baden-Württemberg und dem restlichen Deutschland sind jeweils markiert.

Mit Blick auf den ersten Bereich, dem *Digitalen Produkt-Service Angebot*, wird die große Bedeutung von digitalen Produkten deutlich. Über die Hälfte der Betriebe bietet Produkte an, welche über digitale Elemente verfügen. Hingegen bietet nur etwa jeder sechste Betrieb eine der beiden datenbasierten Dienstleistungen an. Mit Blick auf das Angebot einer digitalen Lösung sticht hervor, dass sieben Prozent der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes in Baden-Württemberg datenbasierte Dienstleistungen auf Basis von Big-Data-Analysen anbieten, während es im Rest von Deutschland durchschnittlich nur vier Prozent sind. Mit Blick auf digitale Produkte zeigt sich, dass baden-württembergische Produzenten deutlich aktiver im Bereich digitale Produktinnovation sind als die Betriebe der anderen Bundesländer im Durchschnitt. Insgesamt lassen sich im Vergleich statistisch signifikante Unterschiede jedoch nur bei den Big-Data-Analysen feststellen.

Im Bereich der *Digitalen Produktion* sind Betriebe aus Baden-Württemberg hingegen deutlich aktiver als der bundesweite Schnitt. Bei den CPS-nahen Technologien sticht Baden-Württemberg insbesondere beim Einsatz von echtzeitnahen Produktionsleitsystemen heraus, die durchschnittlich fast jeder dritte baden-württembergische Betrieb nutzt. Im Vergleich dazu ist es im Rest Deutschlands durchschnittlich ca. jeder vierte Produktionsbetrieb. Auch mit Blick auf den Einsatz intelligenter Robotik sticht Baden-Württemberg hervor. Insbesondere beim Einsatz kollaborierender Roboter, die durchschnittlich in zwölf Prozent der Betriebe in Baden-Württemberg genutzt werden, während die Verbreitung außerhalb Baden-Württembergs fünf Prozentpunkte darunterliegt, lassen sich relevante Unterschiede erkennen. Im Bereich der digitalen Produktion lassen sich für beide Kategorien statistisch signifikante Unterschiede feststellen, wodurch sich schlussfolgern lässt, dass Baden-Württemberg hier stärker aufgestellt ist als der Rest Deutschlands.

Im Bereich *Daten und Sicherheit* wird nur mit Blick auf die automatisierte Betriebsdatenspeicherung ein relevanter Unterschied sichtbar. In Baden-Württemberg haben durchschnittlich sechs von zehn Betrieben Maschinen oder Anlagen, die automatisiert Betriebsdaten speichern, während es im Rest Deutschlands 52 Prozent sind. Die Verbreitung der Maßnahmen zur Sicherung digitaler Betriebsdaten hingegen fällt in Baden-Württemberg nicht entsprechend höher aus. Interessant für das Verarbeitende Gewerbe insgesamt ist allerdings, dass einerseits fast jeder sechste Betrieb Maßnahmen zur Sensibilisierung der

Beschäftigten nutzt, allerdings weniger als ein Drittel der Betriebe auf spezifische Software- bzw. Hardwarelösungen zurückgreift. Sogar nur jeder fünfte Betrieb hat zusätzliche organisatorische Maßnahmen wie räumliche Zugangsbeschränkungen oder WLAN-Beschränkungen eingeführt.

Tabelle 2: Durchschnittliche Verbreitung der Technologien und Maßnahmen der KI-Readiness in Baden-Württemberg im Vergleich zum Rest Deutschlands

Bereiche und Kategorien	Baden-Württemberg	Andere Bundesländer
Digitales Produkt-Service Angebot		
Digitales Produkt	***60%***	***55%***
Hauptprodukt mit digitalem Element	59%	53%
Produktinnovation durch digitale Elemente	32%	24%
Angebot digitaler Lösungen	***21%***	***17%***
Big-Data-Analysen**	7%	4%
Monitoring des Betriebszustands	19%	15%
Digitale Produktion		
CPS-nahe Technologien*	***45%***	***37%***
Automatisierung und Steuerung der internen Logistik	29%	27%
Echtzeitnahes Produktionsleitsystem**	31%	23%
Intelligente Industrieroboter*	***16%***	***10%***
Autonome Roboter	10%	8%
Kollaborierende Roboter**	12%	7%
Mobile Roboter	8%	5%
Daten und Sicherheit		
Datenspeicherung*	***60%***	***52%***
Umfassend organisatorische IT-Sicherheit	***20%***	***18%***
Sensibilisierung der Beschäftigten	58%	58%
Spezielle Hardwarelösungen	31%	30%
Spezielle organisatorische Maßnahmen	17%	18%
Spezielle Softwarelösungen	34%	31%

Anmerkung: ** statistisch signifikante Gruppenunterschiede bei einem Signifikanzniveau p< 0,05

Quelle: Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2018, Fraunhofer ISI

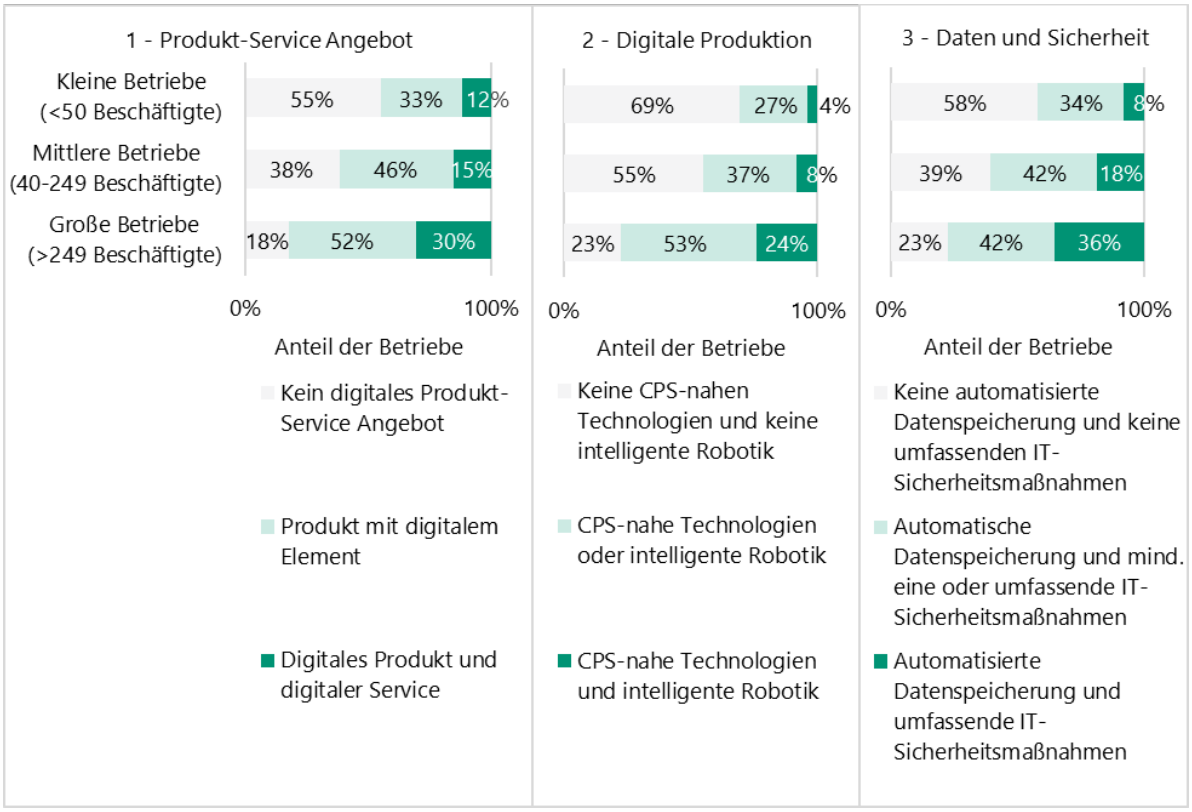
Die Ergebnisse sprechen für eine starke Position Baden-Württembergs mit Blick auf den Einsatz der zugrundeliegenden Technologien und Maßnahmen für die KI-Readiness. Insbesondere bei der Nutzung avancierter Technologien in der digitalen Produktion wird der Unterschied deutlich. Festgehalten werden kann, dass sich Betriebe Baden-Württembergs in allen drei Bereichen durch eine vergleichbare oder stärkere Verbreitung als im durchschnittlichen Rest Deutschlands auszeichnen. Grund dafür kann die generell starke Digitalisierung Baden-Württembergs aufgrund von strukturellen Vorteilen, wie der Art der Produktion, sowie dem spezifischen Branchenmix gegenüber anderen Bundesländern sein (Lerch et al. 2016).

3.2 Bereiche der KI-Readiness und deren Zusammenspiel zur Branche und Betriebsgröße

Um die strukturellen Unterschiede zwischen der Nutzung der relevanten Technologien und Maßnahmen für die Bewertung der KI-Readiness zu analysieren, werden im Folgenden die drei Bereiche des KI-Index untersucht.

Eine Übersicht über die Unterschiede nach der Größe der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes gibt Abbildung 3 wieder. Für jeden Bereich werden die Anteile der Betriebe mit null, einem bzw. zwei Bewertungspunkten für drei verschiedene Größenklassen dargestellt. Die Visualisierung verdeutlicht die unterschiedliche Verbreitung entlang der Betriebsgrößenklassen: So wird ersichtlich, dass die Anteile der Betriebe mit null Punkten für größere Betriebe deutlich geringer ausfallen bzw. die Anteile der Betriebe mit ein oder zwei Indexpunkten deutlich größer sind. Interessanterweise gilt dieser grundsätzliche Befund gleichermaßen für alle drei Bereiche, wenn auch einige Unterschiede zwischen den Anteilen je Betriebsgröße existieren.

Abbildung 3: Überblick der KI-Bereiche nach Betriebsgröße



Insbesondere viele große Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes erreichen die volle Punktzahl in allen drei Bereichen. Knapp ein Viertel der Unternehmen setzen CPS-nahe Technologien und Robotik ein. 30 Prozent der Großbetriebe erreichen volle Punktzahl im digitalen Produkt-Service Angebot, sogar 36 Prozent der großen Betriebe ist sehr aktiv im Bereich Daten und Sicherheit, was die besondere Bedeutung dieses Bereichs unterstreicht. Dieser Befund zeigt sich auch darin, dass weniger als ein Viertel aller großen Betriebe mit einer Punktzahl von Null eingestuft sind.

Unter den Unternehmen mittlerer Größe fallen die Anteile an Spitzenbewertungen deutlich niedriger aus. So liegen die Anteile an zwei Punkten in allen drei Bereichen lediglich zwischen acht Prozent (Digi-

tale Produktion) und 18 Prozent (Daten und Sicherheit). Einen Punkt erreichen etwa vier aus zehn mittelgroßen Unternehmen, besonders im Bereich Digitales Produkt-Service Angebot sowie dem Bereich Daten und Sicherheit. Der Anteil mit Null Punkten liegt hier auf dem gleichen Niveau. Im Bereich der Digitalen Produktion erhalten allerdings sogar über die Hälfte der mittelgroßen Betriebe keine Punkte, sie nutzen also keine CPS-nahen Technologien und keine intelligente Robotik. Hier ist der Abstand zu den Großbetrieben enorm.

Bei den kleinen Betrieben verschiebt sich die stufenartige Verteilung noch weiter. Mindestens 55 Prozent der kleinen Betriebe erreichen in allen drei Bereichen null Punkte. Im Bereich der Digitalen Produktion sind dies sogar 69 Prozent, d.h., der Großteil der kleinen Unternehmen implementiert keine der untersuchten KI-Readiness Technologien oder Maßnahmen. Entsprechend gering sind auch die Anteile der Betriebe mit voller Punktzahl. Dieser fällt im Bereich Digitales Produkt-Service Angebot mit 12 Prozent am größten aus. Im Bereich Digitale Produktion erreichen allerdings lediglich vier Prozent der kleinen Betriebe dieses Niveau.

Insgesamt scheint insbesondere die Realisierung einer Digitalen Produktion, charakterisiert durch CPS-nahe Technologien und die Nutzung intelligenter Robotik-Lösungen, für kleine und mittlere Betriebe eine große Herausforderung zu sein, die nur wenige Unternehmen umsetzen können. Auch für den Bereich Digitales Produkt-Service Angebot unterscheiden sich KMU deutlicher von größeren Betrieben. Der Anteil der Großunternehmen mit zwei Punkten und mit null Punkten unterscheidet sich deutlich. Größere Betriebe verfügen wohl über bessere Möglichkeiten für eine technologische Digitalisierung der Produktion und die Umstellung auf digitale Produkte oder Services bzw. nutzen diese häufiger, sei es aufgrund finanzieller Ressourcen, dem verfügbaren Know-how in den Betrieben und den Möglichkeiten des Know-how-Aufbaus.

Auch die Analyse der verschiedenen Teilbranchen des Verarbeitenden Gewerbes zeigt deutliche Unterschiede für die drei KI-Index-Bereiche (vgl. Abbildung 4). Ersichtlich wird, dass keine Branche in allen drei Bereichen vorne liegt. Vielmehr sind sehr unterschiedliche Muster für die drei Bereiche festzustellen.

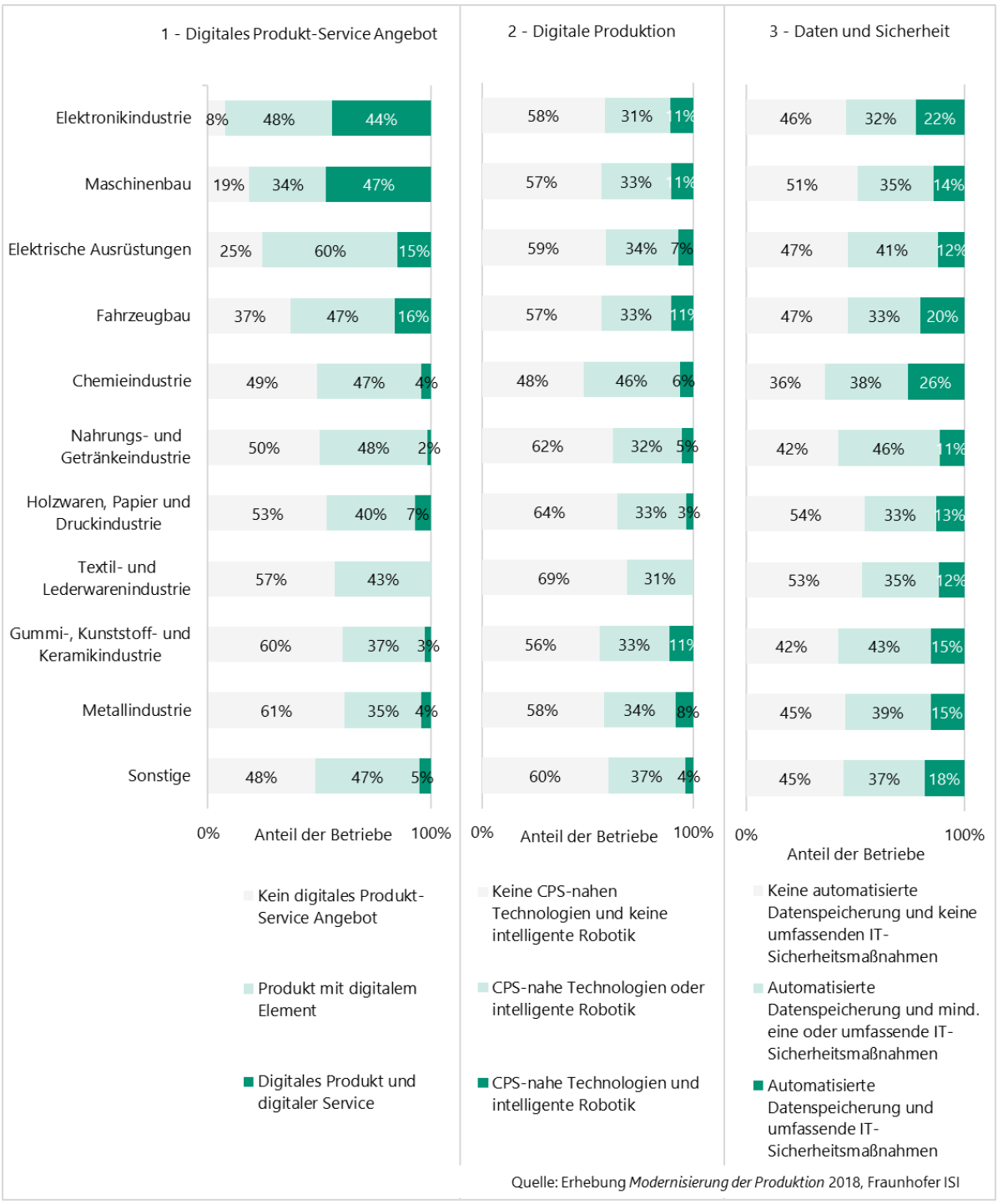
Die Verteilung im Bereich Digitales Produkt-Service Angebot ist hier am polarisiertesten. Digitale Produkte und digitale Dienstleistungen gehören in der Elektronikindustrie (44%) und dem Maschinenbau (47%) fast zum Standard, und werden immerhin noch von 15 Prozent der Fahrzeugbauer und Hersteller elektrischer Ausrüstungen angeboten. In den anderen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes wird diese duale Digitalisierung des Angebots fast nie erreicht.

Eine digitale Produktion hingegen ist eher im Fahrzeugbau und der Chemie-/ Pharmaindustrie anzutreffen. Nur in diesen beiden Branchen liegt der Anteil der Betriebe, die keine CPS-nahen Technologien oder intelligente Robotik-Lösungen in der Produktion einsetzen, bei unter 50 Prozent. Klar zurück liegen im Bereich der digitalen Produktion die Textil- und Lederwarenindustrie, die Holzwaren, Papier und Druckindustrie als auch die Nahrungs- und Getränkeindustrie. Über 60 Prozent der Unternehmen in diesen Branchen nutzen keine CPS-nahen Technologien und keine intelligente Robotik in der Produktion.

Im Bereich Daten und Sicherheit ist schließlich die Chemie-/Pharmaindustrie hervorzuheben. Diese Branche ist führend im Anteil der Anwendung umfassender IT-Sicherheitsmaßnahmen in Kombination mit automatisierter Speicherung von Betriebsdaten, zudem weist diese Branche den geringsten Anteil an Betrieben mit einer Bewertung von null Punkten auf.

Als Fazit zur Branchenanalyse lässt sich zum einen festhalten, dass die Branchen sehr spezifische Ausprägungen in den drei Bereichen aufweisen. Keine Branche ist in allen Bereichen führend, auch wenn einige Branchen, wie die Elektronikindustrie, der Maschinenbau, der Fahrzeugbau und auch die Chemieindustrie, in wenigstens zwei Bereichen im vorderen Drittel anzutreffen sind. Zum anderen kann konstatiert werden, dass im Bereich Daten und Sicherheit alle Branchen eine gewisse Grundlage geschaffen haben. Als Begründung ist hier sicher zu nennen, dass gerade dieser Bereich für weitere Digitalisierungsmaßnahmen von grundlegender Bedeutung ist. Zudem sind organisatorische Maßnahmen leichter realisierbar, da sie unabhängiger von der Ressourcenausstattung des Unternehmens sind.

Abbildung 4: Überblick der KI-Bereiche nach Branchen



Quelle: Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2018, Fraunhofer ISI

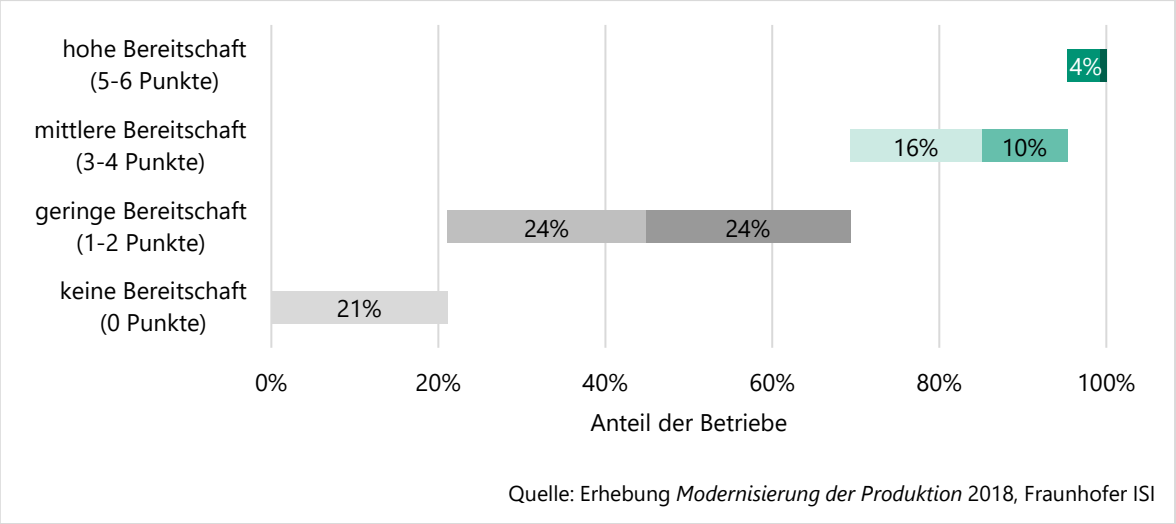
Die Polarisierung im Bereich Digitales Produkt-Service Angebot spiegelt schließlich den bekannten Befund wider, dass Betriebe im Maschinenbau als auch in der Elektronikindustrie eher sowohl digitale Produkte herstellen als auch entsprechende digitale Dienstleistungen anbieten (können). Predictive Maintenance-Lösungen sind für hergestellte Ausrüsterprodukte wie Maschinen oder Elektronikgeräte offensichtlich umsetzbarer als beispielsweise für Nahrungsmittel oder einfachere Metallerzeugnisse. Als Schlussfolgerung bleibt festzuhalten, dass Hersteller gewisser Produkte mehr Möglichkeiten für das Angebot digitaler Produkte und digitaler Services haben. Die generell geringe Verbreitung einer digitalen Produktion in Deutschland verdeutlicht den noch sehr weiten Weg zu einer vernetzten Produktion. Zwar liegen einige Branchen vorne, dennoch sind hier industrieweit noch deutliche Entwicklungen notwendig

und Erfahrungen mit einer digital vernetzten Produktion in keiner Branche Standard oder als Allgemeinwissen zugänglich.

4 Überblick zur KI-Readiness im Verarbeitenden Gewerbe

Wie in Kapitel 2.4 konzeptionell erläutert, bewertet der für diese Studie entwickelte KI-Readiness-Index die Bereitschaft eines Betriebs des Verarbeitenden Gewerbes für den Einsatz von KI. Die Zusammenfassung des Einsatzes von Technologie und Maßnahmen, differenziert nach drei Bereichen, bildet die technologische wie organisatorische Entwicklung von grundlegendem Know-how ab, welches für den produktiven Einsatz von KI in der Produktion oder am Produktionsstandort als Voraussetzung anzunehmen ist. Berücksichtigt werden dabei die Bereiche Digitales Produkt-Service Angebot, Digitale Produktion sowie Daten und Sicherheit, welche gleichgewichtet in den additiven Index einfließen.

Abbildung 5: Verteilung der KI-Readiness im Verarbeitenden Gewerbe nach KI-Bereitschaft



Quelle: Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2018, Fraunhofer ISI

Der KI-Readiness-Index reicht von null (keine KI-Readiness) bis maximal sechs (hohe KI-Readiness). Zur einfachen Darstellung der KI-Readiness werden im Folgenden vereinfacht vier Gruppen unterschieden, die zwischen Betrieben ohne Bereitschaft für den Einsatz von KI, Betrieben mit geringer bzw. mit mittlerer Bereitschaft bis hin zu Betrieben mit hoher Bereitschaft für den Einsatz von KI differenzieren.

Abbildung 5 visualisiert sowohl die Ausprägung des KI-Index im Verarbeitenden Gewerbe sowie die Gruppierung der Bereitschaft. Der Gruppe der Betriebe ohne KI-Readiness (Indexwert null) gehören insgesamt 21 Prozent an. Jeder fünfte Betrieb verfügt noch über keinerlei digitales Know-How, welches für den Einsatz von KI notwendige Voraussetzung ist. Mit 48 Prozent gehört fast jeder zweite Betrieb zu der Gruppe der Unternehmen mit einer geringen Bereitschaft (1 bis 2 Punkte). Im Detail sind dabei die Anteile der Betriebe mit einer Punktzahl von eins bzw. zwei mit jeweils 24 Prozentpunkten gleich groß. Innerhalb der Gruppe mit einer mittleren Bereitschaft (3 bis 4 Punkte) befindet sich knapp über ein Viertel der Betriebe (26%), während lediglich fünf Prozent der Hersteller mit fünf oder sechs Index-Punkten zu der obersten Gruppe (hohe KI-Readiness) zählen. Die maximale Bereitschaft von sechs Punkten hat nur ein Prozent der Betriebe erreicht.

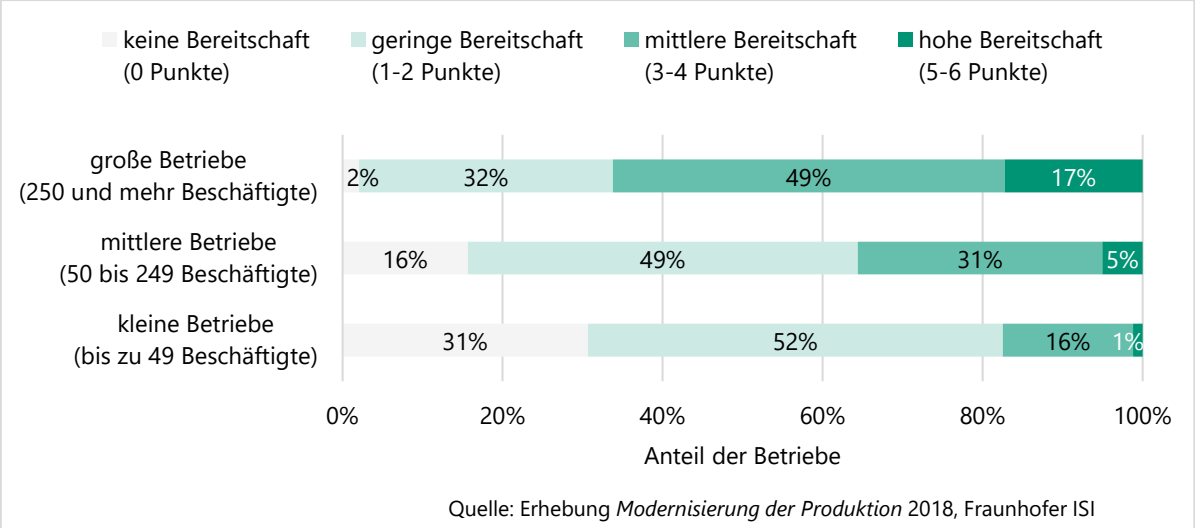
Insgesamt wird deutlich, dass ein Großteil der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes noch keine bzw. nur eine geringe KI-Bereitschaft erreicht hat. Fast die Hälfte aller Betriebe integriert die grundlegenden Technologien und Maßnahmen nur in einem sehr geringen Maße und geht dabei auch maximal zwei der drei Bereiche (Digitales Produkt-Service Angebot, Digitale Produktion oder Daten und Sicherheit) an. Nichtsdestotrotz verdeutlichen die zwei oberen Gruppen auch, dass sich über 30 Prozent der Unternehmen auf einem guten Wege befinden und ihr Produktionsumfeld auf KI vorbereiten. Die kleine Gruppe der Betriebe mit hoher Bereitschaft lässt darauf schließen, dass nur ein sehr geringer Anteil der

Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes bereits eine sehr stabile Grundlage für die Nutzung von KI in der Produktion geschaffen hat. Als Fazit lässt sich festhalten, dass die Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland noch einen weiten Weg in Richtung KI vor sich und dafür noch eine Reihe an Maßnahmen sowie Technologien zu realisieren haben.

4.1 KI-Readiness nach Betriebs- und Produktionscharakteristika

Die Analyse der KI-Gruppen nach Unternehmensgröße in Abbildung 6 zeigt starke Unterschiede zwischen der KI-Readiness der Betriebe verschiedener Betriebsgrößen. Die Grafik verdeutlicht, dass die KI-Readiness mit zunehmender Betriebsgröße höher ausfällt, d.h. große Betriebe erreichen wesentlich höhere Readiness-Werte als kleinere Betriebe. Während bei den kleinen Betrieben, mit weniger als 50 Beschäftigten, 31 Prozent der Unternehmen zu der Gruppe mit keiner KI-Bereitschaft zählen, sind es bei den mittelgroßen Betrieben 16 Prozent und bei den Großbetrieben, mit 250 oder mehr Beschäftigten, lediglich 2 Prozent. Auch bei der Gruppe der Betriebe mit geringer Bereitschaft zeigt sich ein ähnliches Bild: Über die Hälfte der kleinen Unternehmen, fast die Hälfte der mittelgroßen Betriebe und ungefähr jeder dritte Großbetrieb gehört zu dieser Gruppe. Von den großen Betrieben befinden sich 49 Prozent in der Gruppe mit mittlerer Bereitschaft, während es bei den mittleren nur 31 Prozent und bei den kleinen Betrieben lediglich 16 Prozent sind. Auch bei der Gruppe mit hoher Bereitschaft dominieren die Großunternehmen, die einen Anteil von 17 Prozent erreichen. Im Gegensatz dazu erreicht nur ein Prozent der Betriebe mit bis zu 49 Beschäftigten die höchste Gruppe.

Abbildung 6: KI-Readiness nach Betriebsgröße



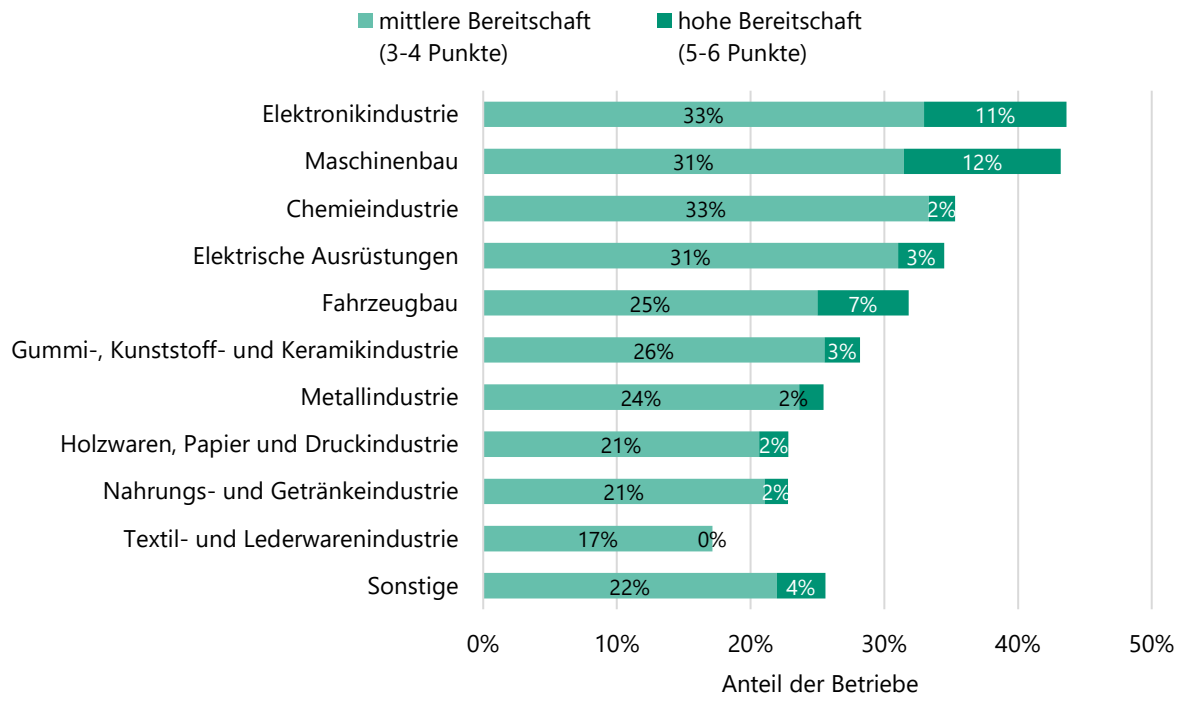
Quelle: Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2018, Fraunhofer ISI

Insgesamt lassen diese Ergebnisse darauf schließen, dass Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes erst eine gewisse Größe aufweisen müssen, um eine höhere KI-Readiness zu erreichen. Große Betriebe haben üblicherweise einen stärkeren Digitalisierungsgrad, verfügen über mehr Ressourcen (Lerch et al. 2016) und können entsprechend auch gezielter in die entsprechenden Bereiche investieren. Das wird insbesondere darin deutlich, dass im Gegensatz zu den kleinen Betrieben die Anteile der Unternehmen mit 250 und mehr Beschäftigten mit zunehmendem KI-Index steigen. Neben begrenzteren Ressourcen ist jedoch auch zu beachten, dass manche der Maßnahmen oder Technologien ggfs. für kleine Betriebe nicht wirtschaftlich sind.

Wie nach der Analyse der Teilbereiche zu erwarten war, fällt die KI-Readiness für verschiedene Teilbranchen des Verarbeitenden Gewerbes unterschiedlich aus. Abbildung 7 zeigt für die bessere Übersichtlichkeit nur die Anteile der Betriebe mit mittlerer und hoher Bereitschaft im Branchenvergleich. Damit wird deutlich, welche Branchen in Bezug auf die KI-Readiness als führend bezeichnet werden können.

In Bezug auf die Summe der Anteile aus hoher und mittlerer Bereitschaft führt die Elektronikindustrie, knapp vor dem Maschinenbau. Bei einer isolierten Betrachtung der Gruppe der hohen Bereitschaft sticht jedoch mit 12 Prozent der Maschinenbau heraus, dicht gefolgt von der Elektronikindustrie mit elf Prozent. Mit Anteilen von sieben bzw. drei Prozent in der höchsten Gruppe folgen der Fahrzeugbau sowie die Hersteller elektrischer Ausrüstungen und Gummi-, Kunststoff- und Keramikindustrie. Bei den Betrieben mittlerer KI-Bereitschaft haben sowohl die Chemieindustrie und die Elektronikindustrie (mit jeweils 33%) als auch der Maschinenbau und die Hersteller elektronischer Ausrüstung (jeweils 31%) relativ ähnliche Anteile. Zudem ist zu erwähnen, dass die Elektronikindustrie mit sechs Prozent den mit Abstand kleinsten Anteil an Betrieben mit keiner KI-Bereitschaft vorweist, während dieser Gruppe vier aus zehn Unternehmen der Textil- und Lederindustrie angehören. Auch ist festzuhalten, dass in jeder Branche der größte Anteil der Betriebe in der Stufe der geringen Bereitschaft zu finden ist (zwischen 43 Prozent und 54%).

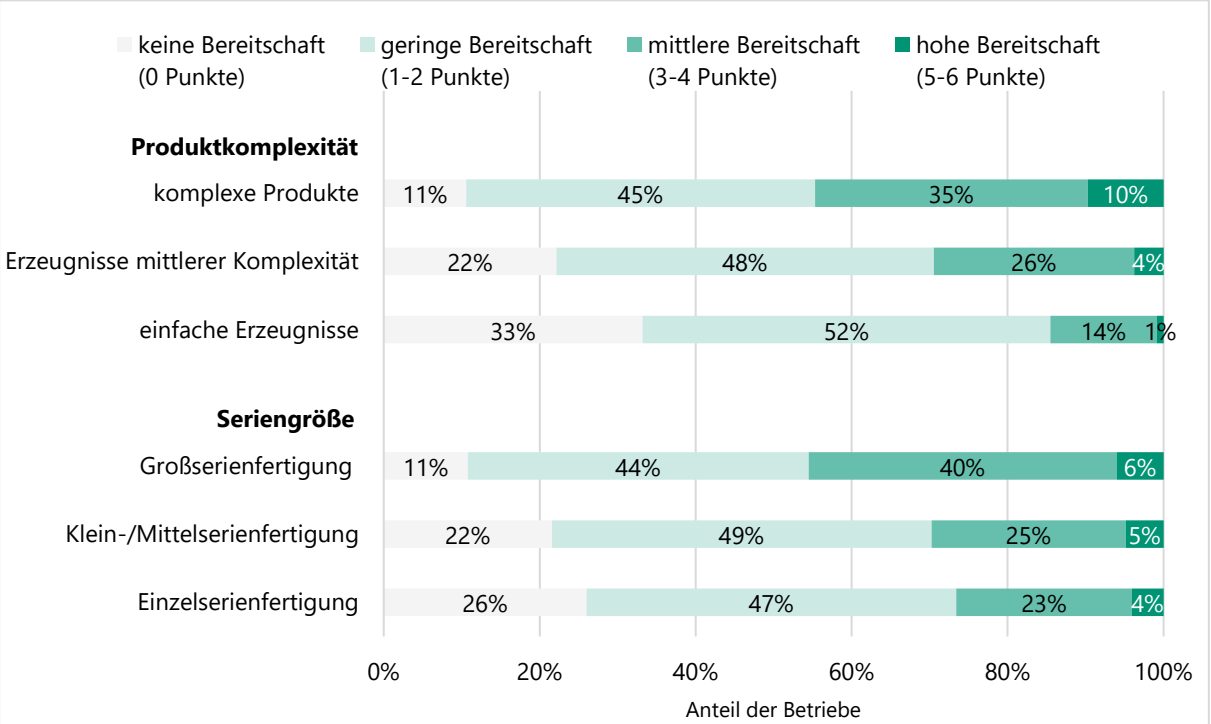
Abbildung 7: Mittlere und hohe KI-Readiness im Branchenvergleich



Quelle: Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2018, Fraunhofer ISI

Insgesamt lassen die Ergebnisse der Branchenanalyse große Unterschiede zwischen den verschiedenen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes und ihrer jeweiligen KI-Readiness erkennen. Als klarer Vorreiter der KI-Readiness stechen dabei jedoch die Ausrüsterbranchen Elektronikindustrie und Maschinenbau heraus, was Rückschlüsse auf die Digitalisierungsorientierung dieser Branche ziehen lässt. Da die Betriebe des Maschinenbaus und der Elektroindustrie sich sowohl durch eine komplexe Produktion als auch komplexe Produkte auszeichnen, scheinen sie insbesondere deshalb verstärkt digitale sowie datengetriebene Technologien und entsprechende Maßnahmen in Bezug auf Daten und Sicherheit einzusetzen. Als Fazit kann festgehalten werden, dass bei der KI-Readiness besonders diejenigen Branchen Vorreiterrollen einnehmen, deren Produkte und Produktion als stark komplex und digitalisiert gelten und entsprechend eine fundierte Grundlage für die Implementierung von KI bilden. Die Annahme struktureller Abhängigkeiten wird auch durch die weiteren Analysen der KI-Readiness hinsichtlich der Seriengröße und Komplexität der Produkte gestützt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 8 visualisiert.

Abbildung 8: KI-Readiness nach Seriengröße und Produktkomplexität



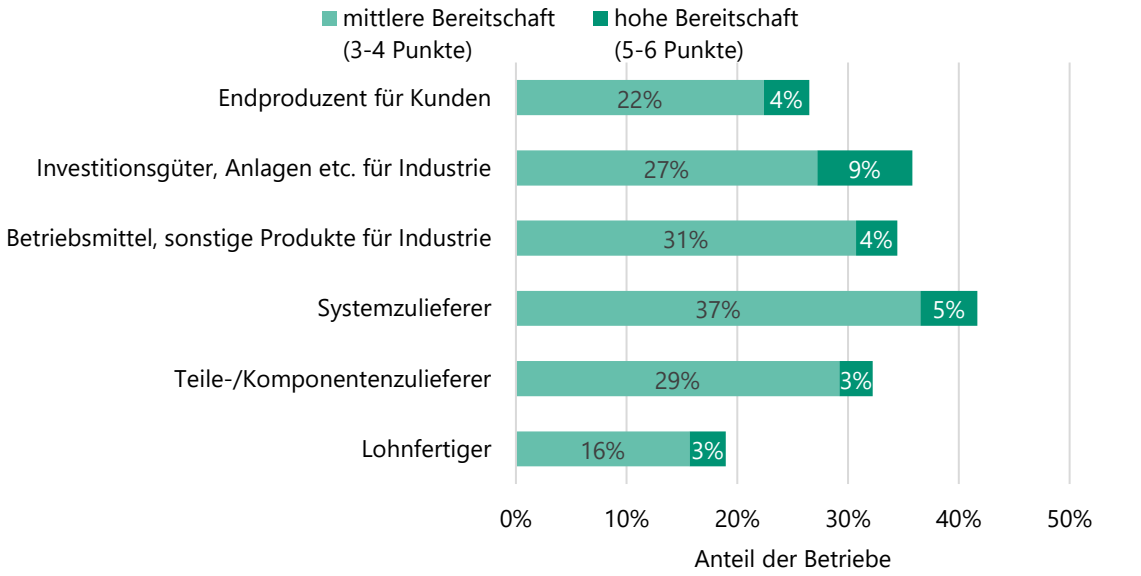
Quelle: Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2018, Fraunhofer ISI

Mit Blick auf die Seriengröße zeigt sich, dass die KI-Readiness bei einer Produktion in großen Serien deutlich höher ausfällt als bei Betrieben mit Einzelfertigung: Bei den Betrieben mit einer Einzelfertigung zählt rund ein Viertel der Unternehmen zu den Betrieben ohne KI-Readiness und fast die Hälfte zu den Betrieben mit geringer KI-Bereitschaft. 23 Prozent erreichen die Gruppe mittlerer Bereitschaft und lediglich vier Prozent die hohe Bereitschaft. Bei den Unternehmen mit einer Klein- bzw. Mittelserienfertigung ist die Verteilung vergleichbar mit etwas weniger Betrieben in der Gruppe ohne KI-Readiness. Bei den Großserienfertigern hingegen ist der Großteil der Unternehmen (44%) in der Gruppe mit geringer Bereitschaft, jedoch erreichen auch 40 Prozent die mittlere Bereitschaft. Auch hier gehören nur 6 Prozent zu der höchsten Gruppe, jedoch fällt die Gruppe ohne KI-Readiness mit elf Prozent am kleinsten aus.

Mit Blick auf die Produktkomplexität zeigt sich ebenfalls ein Zusammenhang zur KI-Readiness. Allerdings fallen die Unterschiede zwischen den Gruppen deutlich pointierter aus: Bei den Betrieben mit einfachen Erzeugnissen zählt jedes dritte Unternehmen zu der Gruppe ohne KI-Readiness und jedes zweite Unternehmen zur Gruppe der Betriebe mit geringer KI-Bereitschaft. Lediglich 14 Prozent erreichen die Gruppe der mittleren und nur ein Prozent die hohe Bereitschaft. Bei den Erzeugern von Produkten mit mittlerer Komplexität dominiert ebenfalls die Gruppe der geringen Bereitschaft mit 48 Prozent. Jedoch haben nur 22 Prozent der Betriebe keine KI-Bereitschaft. Auch gehört über ein Viertel der Hersteller mittlerer Produktkomplexität zu der mittleren Bereitschaftsgruppe. Immerhin vier Prozent dieser Betriebe erreicht die höchste KI-Bereitschaft. Bei den Betrieben, die komplexe Produkte herstellen, zählen nur elf Prozent zur Gruppe ohne KI-Bereitschaft, die Gruppe der mittleren Bereitschaft steigt auf 35 Prozent an und jedes zehnte Unternehmen ist durch eine hohe KI-Readiness charakterisiert.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass insbesondere Großserienfertiger sich bereits auf einem guten Weg in Richtung KI-Readiness befinden. Diese Betriebe scheinen entsprechende Technologien und Maßnahmen bereits weitgreifender implementiert zu haben und mussten vermutlich schon gezielter in digitale Automatisierungsmechanismen investieren, um die Wirtschaftlichkeit einer großen Serienfertigung zu erhöhen. Produzenten komplexer Produkte erreichen im Durchschnitt sogar eine noch größere KI-Bereitschaft. Die Anforderungen und Potenziale komplexer Produkte scheinen die Betriebe bereits zu einer stärker digitalisierten und datengetriebenen Entwicklung gebracht zu haben, während die Unternehmen mit einer geringen Produktkomplexität ggfs. noch weniger Notwendigkeit dafür gesehen haben.

Abbildung 9: KI-Readiness nach Position in der Wertschöpfungskette



Quelle: Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2018, Fraunhofer ISI

Ebenso wird die KI-Readiness von der Position innerhalb der Wertschöpfungskette, in der ein Betrieb ansässig ist, determiniert (vgl. Abbildung 9). Bei einer Unterscheidung in die sechs Hauptkategorien zeigen sich deutlich unterschiedliche Ausprägungen hinsichtlich der KI-Readiness. So weisen die Investitionsgüterhersteller mit neun Prozent die mit Abstand größte Spitzengruppe (hohe KI-Bereitschaft) auf, während die Systemzulieferer mit 37 Prozent über die deutlich größte Verfolgergruppe (mittlere KI-Bereitschaft) verfügen. Insgesamt erreichen bei den Systemzulieferern 42 Prozent aller Betriebe eine mittlere bzw. hohe KI-Readiness, was diese Position in der Wertschöpfungskette zur Führungsrolle macht. Die Investitionsgüterhersteller folgen an zweiter Stelle mit einigem Abstand, dicht gefolgt von den Herstellern von Betriebsmitteln und sonstigen Industrieprodukten mit einem Anteil von insgesamt 35 Prozent in den zwei höchsten Gruppen an Betrieben mit mittlerer (31%) oder hoher KI-Bereitschaft (4%). Teile- und Komponentenzulieferer liegen mit 29 Prozent sowie drei Prozent im Durchschnitt des Verarbeitenden Gewerbes (31%). Im Gegensatz dazu verfügen die Endprodukthersteller für Konsumenten über eine insgesamt geringere KI-Readiness. Diese weisen einen Anteil von vier Prozent in der Spitzengruppe sowie 22 Prozent in der Verfolgergruppe auf und liegen damit unter dem Durchschnitt. Mit großem Abstand am Ende dieser Rangfolge sind die Lohnfertiger. Hier sind lediglich drei Prozent in der Spitzengruppe sowie 16 Prozent in der Verfolgergruppe vertreten.

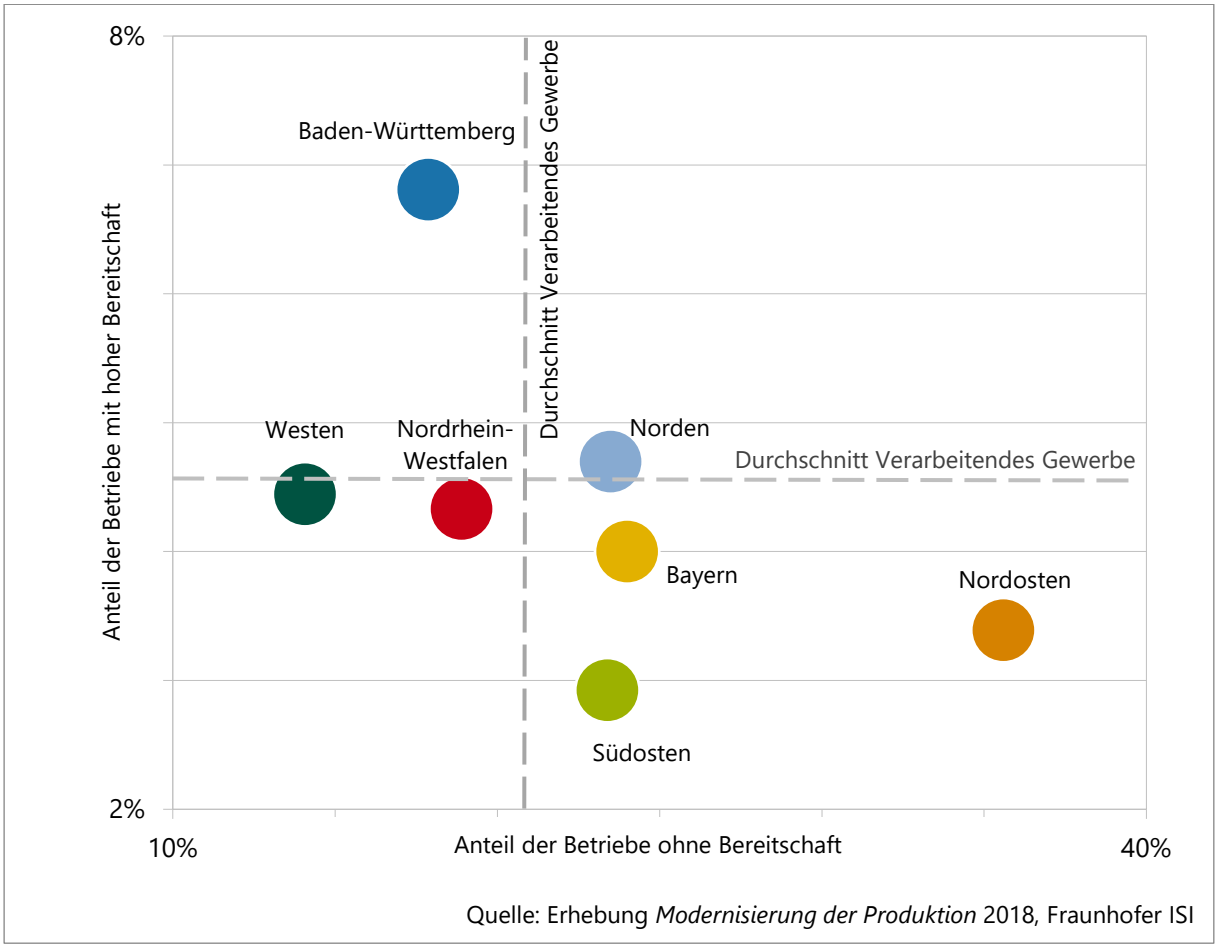
Dieser Befund lässt mehrere Schlüsse zu: Zum einen scheint das Ende von B2B-Wertschöpfungsketten (Ausrüster- und Systemzulieferstrukturen) das größte Potenzial für KI-Anwendungen im Produktionsumfeld zu besitzen, während die Tier 2 bzw. Tier 3-Ebenen eine eher geringere KI-Readiness (Teile- und Komponentenzulieferer, Lohnfertiger) aufweisen. Zum anderen liegt bei Produkten für den Endkonsumenten, und somit im B2C-Bereich, eine unterdurchschnittliche KI-Readiness vor. Dies legt den Schluss nahe, dass KI-Anwendungen bei Konsumprodukten noch ausbaufähig bzw. nicht ausreichend passfähig sind. Insgesamt wird damit deutlich, dass das größte Potenzial für KI-Anwendungen derzeit im B2B-Kontext und dort insbesondere im Bereich komplexer Ausrüster- und Systemprodukte liegt. Dies bestätigt nochmals den Befund aus der Branchenanalyse, wo die tendenziell von Ausrüstern und Systemzulieferern geprägten Branchen an der Spitze rangieren während Sektoren, die teilweise oder überwiegend den Konsumentenbereich bedienen, eher auf den hinteren Rängen liegen.

4.2 KI-Readiness: Baden-Württemberg im regionalen Vergleich

Um einen nationalen Vergleich zwischen den Industrieregionen Deutschlands ziehen zu können, wird eine regionale Teilung in sieben Regionen aufgegriffen, die bereits in Koch et al. (2019) verwendet wurde. Die Zusammenfassungen werden so vorgenommen, dass die Regionen in ihrer Größe vergleichbar sind. Folgende Regionen werden für das Verarbeitende Gewerbe Deutschlands mithilfe der Daten aus der Erhebungswelle 2018 *Modernisierung der Produktion* verglichen:

- Bayern-Württemberg, n=235
- Bayern, n=227
- Nordrhein-Westfalen, n=256
- Südosten (Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen), n=173
- Westen (Hessen, Saarland und Rheinland-Pfalz), n=137
- Nordosten (Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Berlin), n=59
- Norden (Schleswig-Holstein, Hamburg, Bremen und Niedersachsen), n=151.

Abbildung 10: Vergleich der Betriebe ohne KI-Readiness und einer hohen KI-Readiness zwischen den Industrieregionen Deutschlands



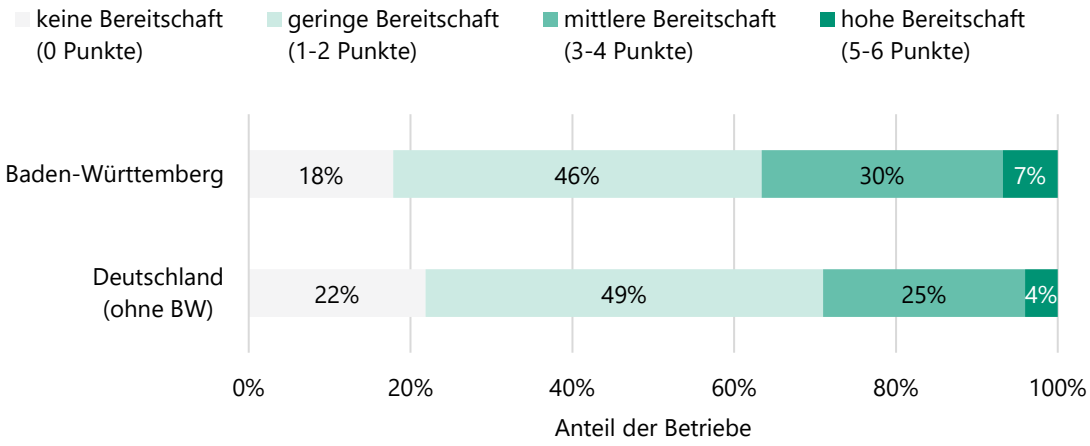
Quelle: Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2018, Fraunhofer ISI

Zur Verdeutlichung der regionalen Unterschiede in der KI-Readiness innerhalb Deutschlands sind in Abbildung 10 für jede Region die Anteile der Betriebe an der Gruppe ohne KI-Readiness (x-Achse) und die Anteile der Betriebe mit hoher KI-Readiness (y-Achse) in einem Portfolio abgetragen. Zusätzlich sind die bundesweiten Durchschnittswerte für diese beiden Anteile eingezeichnet. Im linken oberen Quadranten sind die Regionen mit einem großen Anteil an Betrieben mit hoher KI-Readiness und einem geringen Anteil an Betrieben ohne KI-Readiness zu finden. Im unteren rechten Quadranten hingegen sind die

Regionen einzutragen, die viele Betriebe ohne KI-Bereitschaft haben und wenige Betriebe mit hoher KI-Readiness.

Abbildung 10 zeigt deutlich die herausragende Rolle Baden-Württembergs in der KI-Readiness. Das Bundesland hat mit fast sieben Prozent den im Durchschnitt größten Anteil an Betrieben mit einer hohen KI-Readiness und beheimatet zugleich einen geringen Anteil an Unternehmen ohne jede KI-Readiness (18%). Lediglich in der Region Westen ist mit 14 Prozent ein geringerer Anteil an Betrieben ohne KI-Bereitschaft zu finden. Die Abbildung verdeutlicht auch, dass Baden-Württemberg als einzige Region in beiden Gruppen bessere Werte als der Durchschnitt Deutschlands erzielt. Analysiert man die Summe der Anteile in den zwei höchsten Gruppen (mittlere und hohe KI-Readiness), so ist Baden-Württemberg mit 37 Prozent ebenfalls führend, dicht gefolgt von dem Westen (36%) und auch dem Norden (34%). Ein klares Schlusslicht ist bei dieser Betrachtung der Nordosten mit lediglich 14 Prozent in den beiden oberen KI-Readiness-Gruppen.

Abbildung 11: KI-Readiness im Vergleich zwischen Baden-Württemberg und dem Rest Deutschlands



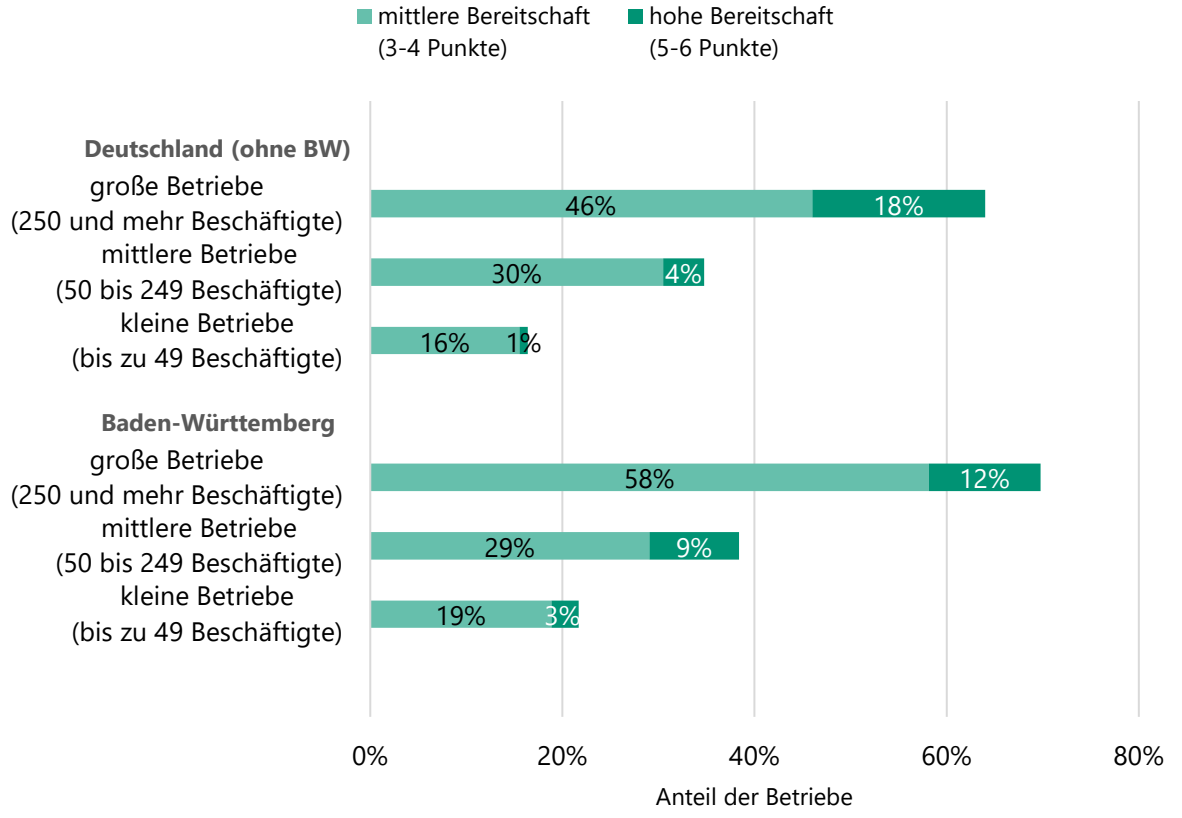
Quelle: Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2018, Fraunhofer ISI

Auch die detailliertere Betrachtung der vier KI-Readiness-Stufen im regionalen Vergleich verdeutlicht die Stellung Baden-Württembergs. Abbildung 11 stellt dafür die KI-Readiness Baden-Württembergs im Vergleich zu der durchschnittlichen Bereitschaft im Rest Deutschlands dar. Während im Rest von Deutschland 22 Prozent aller Betriebe ohne KI-Readiness einzustufen sind, sind es in Baden-Württemberg nur 18 Prozent. Im Gegensatz dazu befinden sich in Baden-Württemberg sieben Prozent in der Gruppe mit hoher Bereitschaft, während es im Rest von Deutschland nur vier Prozent in diese Gruppe schaffen. Auch ein detaillierter Blick auf die zwischengelagerten KI-Stufen bestätigen dieses Bild. Während in Baden-Württemberg drei aus zehn Betrieben des Verarbeitenden Gewerbes in mittlere KI-Bereitschaft einzustufen sind, sind es im Rest von Deutschland nur ein Viertel aller Betriebe. Die Gruppe mit geringer KI-Readiness fällt außerhalb Baden-Württembergs mit fast der Hälfte der Betriebe sehr groß aus, doch auch in Baden-Württemberg fallen 46 Prozent aller Betriebe in dieser Gruppe.

Vertiefende Analysen verweisen darauf, dass zur Stellung Baden-Württembergs insbesondere ein starker Mittelstand beiträgt (vgl. Abbildung 12). So erreichen in Baden-Württemberg neun Prozent der mittelgroßen Betriebe (50 bis 249 Beschäftigte) eine hohe KI-Readiness, während es im Rest Deutschlands durchschnittlich nur vier Prozent sind. Auch die kleinen Betriebe Baden-Württembergs sind im Vergleich etwas stärker aufgestellt. Hier weisen 22 Prozent aller Betriebe in Baden-Württemberg eine mittlere bis hohe KI-Readiness auf, während es im bundesweiten Durchschnitt nur 17 Prozent sind. Im Gegensatz dazu sind unter den großen Betriebe Baden-Württembergs (250 und mehr Beschäftigte) mit 12 Prozent

ein kleinerer Anteil an Betrieben mit hoher KI-Readiness anzutreffen als im restlichen Deutschland (18%). Jedoch weisen die Großbetriebe Baden-Württembergs mit 58 Prozent eine deutlich größere Verfolgergruppe mit einer mittleren KI-Readiness auf als der Durchschnitt Deutschlands und damit einen insgesamt größeren Anteil an Betrieben mit einer mittleren bis hohen KI-Readiness (70% ggü. 64%). Der Vergleich der KI-Readiness nach Unternehmensgröße macht deutlich, dass die überproportional große Spitzengruppe (hohe Bereitschaft) Baden-Württembergs insbesondere vom Mittelstand getragen wird, aber auch kleine Betriebe mit weniger als 50 Beschäftigten leicht über Durchschnitt abschneiden. Weiteres Potenzial für Baden-Württemberg besteht also insbesondere bei den KI-Spitzenanwendungen von Großbetrieben.

Abbildung 12: KI-Readiness nach Unternehmensgröße und regionalem Vergleich



Quelle: Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2018, Fraunhofer ISI

Als Fazit kann festgehalten werden, dass der Industriestandort Baden-Württemberg im Durchschnitt eine höhere KI-Readiness (innerhalb aller drei Größenklassen) aufweist als der Rest Deutschlands. Dies lässt sich sicher auch auf die Branchenstruktur Baden-Württembergs zurückführen. Baden-Württemberg ist insbesondere durch einen starken Maschinen- und Fahrzeugbau geprägt. Die Branchenanalyse in Kapitel 4.1 zeigt insbesondere im Maschinenbau einen großen Anteil an Betrieben mit mittlerer und hoher KI-Bereitschaft. Der regional spezifische Industriemix ist auch der Grund dafür, dass gerade auch kleine und mittelständische Unternehmen in Baden-Württemberg eine größere KI-Bereitschaft aufweisen.

5 Muster der KI-Readiness im Verarbeitenden Gewerbe

5.1 Überblick der in der Praxis existierenden KI-Muster

Nachdem die Analysen aus Kapitel 3 und 4 detaillierte Einblicke in die KI-Readiness des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland sowie die Verbreitung der zugrundeliegenden Technologien und Maßnahmen gegeben haben, sollen in Kapitel 5 die verschiedenen Ausprägungen noch einmal spezifiziert und charakteristische Gruppen in Form von KI-Mustern für Industriebetriebe gebildet werden. Dafür wurden erneut die 16 KI-nahen Technologien und Maßnahmen aus den drei Bereichen des KI-Index (1) Digitales Produkt-Service Angebot, (2) Digitale Produktion sowie (3) Daten und Sicherheit betrachtet. Anhand dieser drei Bereiche zeigten die Ergebnisse der KI-Readiness-Analyse, dass die Unternehmen häufig bestimmte Schwerpunkte in einzelnen Bereichen aufzeigen. Daraufhin war es möglich, die Betriebe nach ihren unterschiedlichen Schwerpunkten zu trennen und auf Basis von zu definierenden KI-Mustern voneinander abzugrenzen und zu typisieren.

Da für die drei Bereiche jeweils drei unterschiedliche Punktezahlen (0, 1, 2) erreicht werden konnten, folgt eine theoretische Anzahl von 27 KI-Mustern (3x3x3) für Unternehmen. Die Analyse der verschiedenen Punkteverteilungen führte jedoch lediglich zu 13 verschiedenartigen Mustern, die in der Praxis tatsächlich anzutreffen und empirisch beobachtbar waren. Die restlichen (theoretischen) 14 KI-Muster existieren in dieser Form im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands nicht bzw. wurden nicht beobachtet. Dies verdeutlicht, dass einerseits in der Praxis dominante KI-Muster existieren und andererseits nicht jedes KI-Muster in der Realität für Betriebe Sinn macht. In Tabelle 3 sind die 13 im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands empirisch anzutreffenden KI-Muster mit ihrer jeweiligen KI-Readiness sowie mit der einzelnen Punkteverteilung in den drei Bereichen zur Bewertung der KI-Readiness dargestellt.

Tabelle 3: KI-Muster und deren KI-Readiness mit Anteilen im Verarbeitenden Gewerbe

KI-Cluster	KI-Readiness je Bereich*			Anteil am Verarbeitenden Gewerbe
	Produkt-Service	Produktion	Daten und Sicherheit	
Nicht-Nutzer	0	0	0	**21%**
Anfänger Produkt	1	0	0	**18%**
Produktspezialist	2	0	0	**6%**
Produktspitze	2	0	2	**1%**
Anfänger Produktion	0	1	1	**11%**
Produktionsspezialist	0	2	1	**2%**
Produktionsspitze	0	2	2	**1%**
Anfänger Sicherheit	0	0	1	**9%**
Sicherheitsspezialist	0	0	2	**6%**
Riskanter Experimentierer	1	1	0	**6%**
Generalist	1	1	1	**6%**
Fortgeschrittener Generalist	1 oder 2	1 oder 2	1 oder 2	**9%**
Spitze	2	2	2	**5%**

* Mediane

Quelle: Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2018, Fraunhofer ISI

Die beiden Extrema, d.h. die Gruppe der Nicht-Nutzer mit einer KI-Readiness von null Punkten sowie die Spitzengruppe mit der maximalen KI-Readiness (6 Punkte) sind in allen drei Bereichen gleichermaßen schwach bzw. stark entwickelt. In allen drei Bereichen werden diesen null Punkte bzw. die volle Punktzahl zwei zugewiesen. Im Gegensatz zu dieser gleichmäßigen Punkteverteilung mit Extremwerten werden Spezialisierungen der Betriebe hinsichtlich jeweils eines Bereichs oder mehrerer Bereiche deutlich. Erstens gibt es produktspezifische Muster, die sich von den Anfängern über Produktspezialisten bis hin zur Produktspitze erstrecken. Die Betriebe verzeichnen in diesen drei Mustern im Bereich Digitales Produkt-Service Angebot jeweils Punktewerte von einem (Anfänger Produkt) oder zwei Punkten (Produktspezialist und –spitze). Die Gruppe der Produktspitze charakterisiert sich zusätzlich durch eine maximale Punkteanzahl im Bereich Daten und Sicherheit, weshalb sie als maximal fortgeschrittenes Muster mit einem Fokus auf das Digitale Produkt-Service Angebot gilt. Für alle drei Muster ist dabei im Bereich Produktion hingegen keine Digitalisierung festzustellen.

Zweitens ist die gleiche Musterstruktur auch für den Bereich Digitale Produktion erkennbar. Auch hier erstrecken sich die Muster, angelehnt an die Produktperspektive, von den Anfängern über Produktionsspezialisten bis hin zur Produktionsspitze. Die avancierteste Gruppe ist erneut durch eine volle Punktzahl im Bereich der Digitalen Produktion sowie bei Daten und Sicherheit charakterisiert. Dabei lassen diese drei Muster jeweils keine Digitalisierung des Produkts erkennen.

Neben den produkt- und produktionsspezifischen Mustern konnten, drittens, auch Betriebe typisiert werden, die sich insbesondere auf Daten und Sicherheit fokussieren und im Gegensatz dazu noch keine KI-Readiness in den Bereichen Digitales Produkt-Service Angebot oder Digitale Produktion erreicht haben. Während die Anfänger im Bereich Daten und Sicherheit lediglich einen Punkt erreichen, implementieren die Sicherheitsspezialisten umfangreiche IT-Sicherheitsmaßnahmen und speichern ihre Betriebsdaten automatisiert (2 Punkte). Diese beobachteten KI-Muster mit dem Fokus auf Daten und Sicherheit erreichen in den anderen Bereichen jedoch keine Punkte.

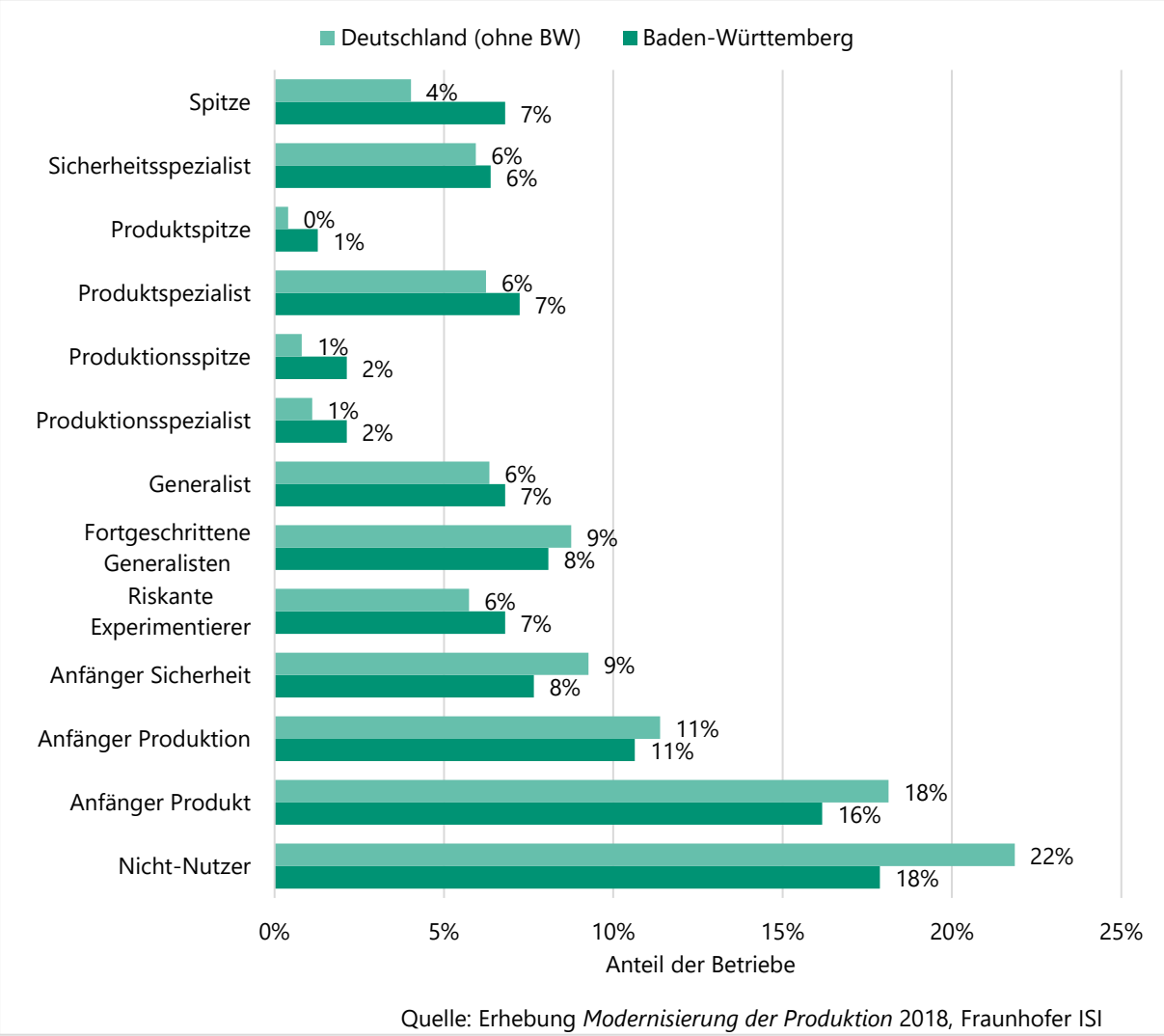
Jenseits der Spezialisierungsmuster lassen sich, viertens, auch Generalisten identifizieren. Bei den KI-Mustern in der Gruppe der Generalisten ist kein klarer Fokus auf einen der drei KI-Bereiche zu erkennen. Bei den Generalisten erreicht die Digitalisierung in allen drei Bereichen Mittelmaß, bei den Fortgeschrittenen Generalisten ist sogar in einem bzw. zwei der drei Bereiche die volle Punktzahl festzustellen. Als riskante Experimentierer werden schließlich jene Betriebe bezeichnet, die zwar einen Fokus auf das Digitale Produkt-Service Angebot und die digitale Produktion legen, jedoch weder ausreichend Sicherheitsmaßnahmen implementieren noch ihre Betriebsdaten automatisiert speichern. Sie werden als riskant eingestuft, da die Verfügbarkeit von Daten sowie die Sicherung der IT eine wesentliche Grundlage für die KI-Readiness sind und diese, im Gegensatz zu den anderen Bereichen, in dieser Gruppe (noch) keine nennenswerte Beachtung gefunden hat.

Die Verteilung der KI-Muster im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland zeigt nochmals die große Diversität in der KI-Readiness; gleichzeitig werden klare favorisierte Muster sichtbar. Es zeigt sich, dass sechs von zehn Industriebetrieben in Deutschland den Nicht-Nutzern bzw. den drei Anfängermustern (Anfänger Produkt, Anfänger Produktion, Anfänger Sicherheit) zuzuordnen sind. Dabei ist ein erster Schritt in Richtung KI-Readiness deutlich häufiger in Bezug auf das herzustellende Produkt anzutreffen als in Bezug auf die Produktion selbst. Daneben stellen die beiden Muster der (fortgeschrittenen) Generalisten mit ausgeglichener KI-Readiness insgesamt 15 Prozent aller Betriebe. Im Vergleich der drei KI-Bereiche zeigt sich die große Bedeutung des Produkt-Service Angebots, ein Viertel aller Industriebetriebe setzt mit ihren KI-Entwicklungen maßgeblich auf diesen Bereich (25%). Im Gegensatz dazu fokussieren deutlich weniger Betriebe in Deutschland ihre Aktivitäten auf den Bereich Digitale Produktion (14%) oder auf den Bereich Daten und Sicherheit (15%). Darüber hinaus wird auch die Verknüpfung der drei Bereiche deutlich, eine Spitzenposition in nur zwei der drei Bereichen ist sehr selten anzutreffen (1%).

5.2 Besonderheiten Baden-Württembergs und Entwicklungsrichtungen bei KI-Mustern

Die Verbreitung der verschiedenen KI-Muster erlaubt auch eine weitere differenzierte Perspektive auf die Besonderheiten Baden-Württembergs gegenüber dem restlichen Deutschland. Hierfür sind in Abbildung 13 die jeweiligen Anteile der 13 KI-Muster von Baden-Württemberg und den Betrieben im restlichen Deutschland im Vergleich dargestellt. Die größten Unterschiede zwischen Baden-Württemberg und dem restlichen Deutschland sind im Anteil der Spitzengruppe (7% ggü. 4%) und im Anteil der Nicht-Nutzer (18% ggü. 22%) zu finden. Zusammengefasst begründet dies auch im Wesentlichen die KI-Vorreiterrolle Baden-Württembergs. Gleichzeitig wird deutlich, dass Baden-Württemberg über alle Anfängergruppen in den drei Bereichen hinweg geringere bzw. gleich viele Anteile aufweist wie die Betriebe aus den anderen Regionen Deutschlands. Im Gegensatz dazu sind bei der Verbreitung der Muster der (fortgeschrittenen) Generalisten sowie bei den riskanten Experimentierern und Sicherheitsspezialisten keine nennenswerten Unterschiede zwischen dem Bundesland und restlichem Deutschland festzustellen.

Abbildung 13: Vergleich der durchschnittlichen Anteile der Betriebe an den KI-Mustern zwischen Baden-Württemberg und dem restlichen Deutschland



Quelle: Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2018, Fraunhofer ISI

Wie bereits in der Gesamtsicht deutlich wurde, spielen die Produktionsspezialisten sowie die Produktions- und Produktspitze im Vergleich zu den anderen KI-Mustern hinsichtlich ihrer Bedeutsamkeit für das Verarbeitende Gewerbe in Deutschland nur eine sehr untergeordnete Rolle. Interessanterweise kommt

jedoch im Schnitt gut jeder dritte Betrieb, der einem dieser drei KI-Muster angehört, aus Baden-Württemberg. Wenn dies auch nur ein anekdotischer Befund ist, so ist dieser durchaus ein Indiz für eine Spezialisierung in diesen Bereichen. Hingegen bei den KI-Mustern mit einem Fokus auf Daten und Sicherheit ist Baden-Württemberg durchschnittlich aufgestellt, hier sind keine nennenswerten Abweichungen gegenüber dem Bundesdurchschnitt feststellbar.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Industriebetriebe Baden-Württembergs eher in den stärkeren KI-Mustern vertreten sind, als in den schwächeren. Zudem weist Baden-Württemberg die Besonderheit auf, dass sich einige Betriebe durchaus auf einen bestimmten KI-Bereich spezialisieren.

Jenseits dieser Regionalperspektive erlaubt die Analyse der KI-Muster auch einen Blick auf mögliche Entwicklungspfade der Betriebe. Unter der Annahme eines schrittweisen Ausbaus der KI-Bereiche lassen sich mögliche Entwicklungspfade abbilden, was auf gewisse Pfadabhängigkeiten zwischen den verschiedenen KI-Mustern schließen lässt: Verstärkt ein Betrieb jeweils einen Bereich durch zusätzliche KI-nahe Technologien oder Maßnahmen und erreicht hierdurch einen Punkt mehr, entstehen einige typische Entwicklungsrichtungen beim Ausbau von KI im Produktionsumfeld. So ist es bspw. für einen Produktspezialisten (2, 0, 0) durch den zusätzlichen Einsatz von KI-Anwendungen nicht mehr möglich zum Produktions- oder Sicherheitsspezialisten zu werden, da dieser im Bereich Digitales Produkt-Service Angebot schon zu weit fortgeschritten ist. Der Produktspezialist kann hingegen nur noch über die Produktspitze oder als fortgeschrittener Generalist bis in die Spitzengruppe vordringen. Werden diese Pfadabhängigkeiten für die 13 verschiedenen KI-Muster durchdekliniert, entsteht eine Grafik, welche die tendenziellen KI-Entwicklungsrichtungen von Produktionsbetrieben aufzeigt (vgl. Abbildung 14). Die 13 KI-Muster sind entsprechend ihrer jeweiligen Verbreitung im Verarbeitenden Gewerbe abgebildet und entsprechend mit Pfeilen miteinander verbunden. Die Pfeile stellen die Entwicklungsmöglichkeiten und wahrscheinlichen Pfadabhängigkeiten zwischen den KI-Mustern dar, wobei ein dunklerer Pfeil eine häufiger anzutreffende Entwicklungsmöglichkeit darstellt und ein hellerer Pfeil einen selteneren Entwicklungspfad. Dabei gilt anzumerken, dass die Pfade nicht zwangsläufig vollständig durchlaufen werden müssen. Betriebe können sehr wohl durchaus in einem bestimmten KI-Muster verharren. Zudem ist denkbar, dass die KI-Muster nicht sequentiell durchlaufen werden, sondern auch Zwischenschritte übersprungen werden könnten. Darüber hinaus ist zu betonen, dass die dargestellten KI-Muster derzeit lediglich in der Praxis existieren und empirisch beobachtet wurden. Zukünftig können durchaus neue, derzeit noch nicht existierende, KI-Muster entstehen und somit auch neue Pfadabhängigkeiten und Entwicklungsrichtungen auftreten.

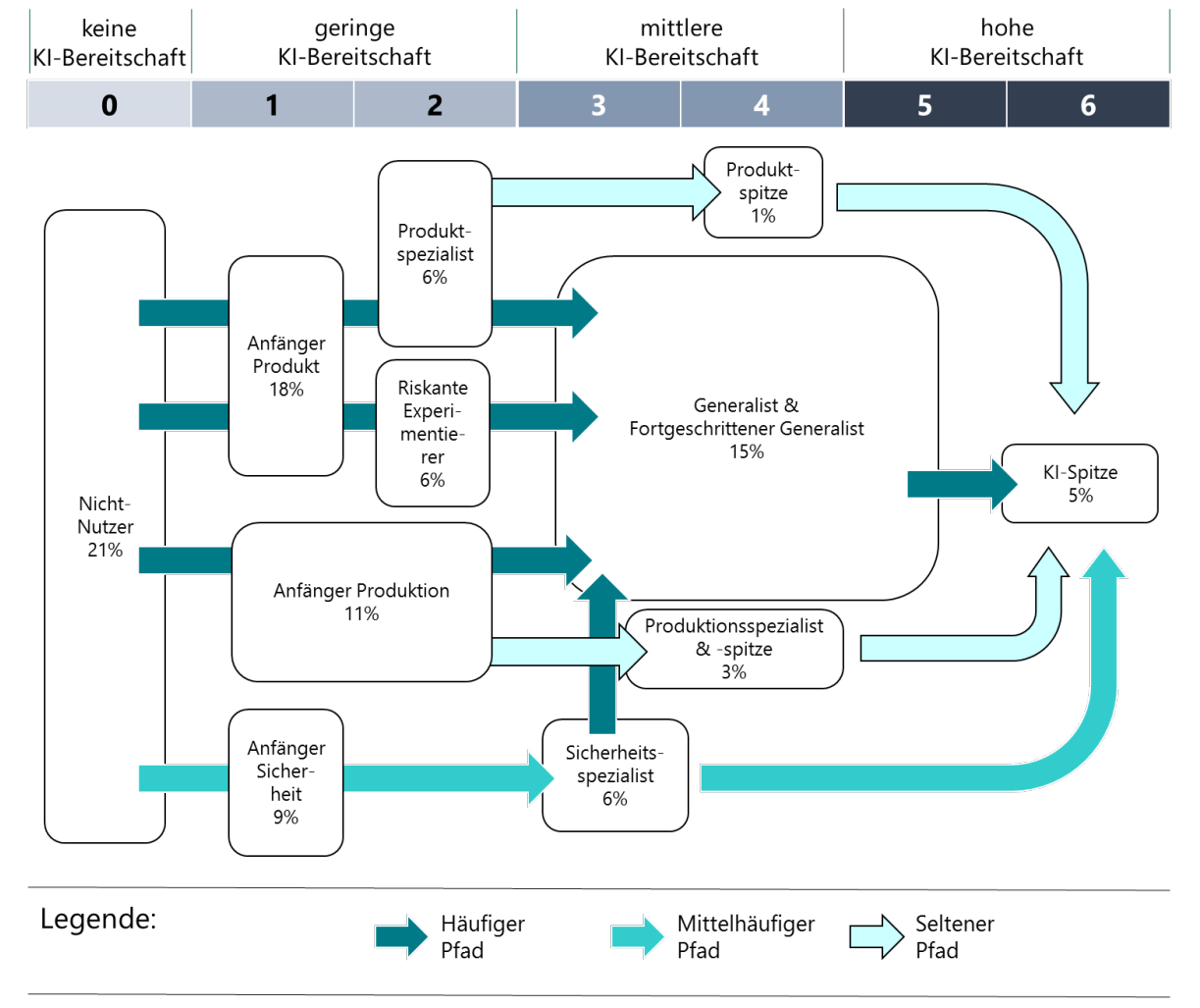
In Abbildung 14 ist abgebildet, dass sich Nicht-Nutzer (wahrscheinlich) zum Anfänger in einen der drei KI-Bereiche entwickeln werden. Als Anfänger im Produktbereich führt der Pfad dann wahrscheinlich entweder über die riskanten Experimentierer oder die Produktspezialisten hin zu den (fortgeschrittenen) Generalisten. Aufgrund der vergleichsweise hohen Anteile, die diese vier KI-Muster jeweils in der Praxis aufweisen (18%, 6%, 6%, 15%), kann davon ausgegangen werden, dass dies die häufigste Entwicklungsrichtung auf dem Weg in die Spitzengruppe darstellt. Denn in den KI-Mustern dieses Pfads befinden sich aktuell knapp die Hälfte aller Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands (ohne Nicht-Nutzer und ohne Spitzengruppe). Eine andere Entwicklungsrichtung, die vom Produktspezialisten über die Produktspitze bis in die Spitzengruppe führt, kommt hingegen deutlich seltener vor. Dabei sind unter den wenigen Betrieben auf diesem Pfad Betriebe aus Baden-Württembergs sowohl bei den Produktspezialisten als auch der Produktspitze überproportional vertreten.

Ausgehend vom KI-Muster Anfänger Produktion ergibt sich ebenso ein häufigerer und ein seltenerer Pfad in die höheren KI-Readiness Gruppen. Der häufigere Pfad führt erneut über die (fortgeschrittenen) Generalisten in die Spitze. Dessen KI-Muster machen ein Viertel aller Industriebetriebe Deutschlands aus. Der seltenere Pfad führt über die Produktionsspezialisten sowie die Produktionsspitze in die Spitzengruppe. Auch bei dieser Entwicklungsrichtung sind die Betriebe Baden-Württembergs überproportional in den jeweiligen KI-Mustern vertreten, wodurch auch dieser Pfad für Baden-Württemberg eine größere Bedeutung hat als für das restliche Deutschland.

Eine dritte große Entwicklungsrichtung führt über den Bereich Daten und Sicherheit. Hier beginnt der Pfad vom KI-Muster Anfänger Sicherheit zum Sicherheitsspezialisten. Von der Gruppe der Sicherheitsspezialisten kann dann entweder ein nächster Schritt zu den (fortgeschrittenen) Generalisten erfolgen oder mit einem größeren Entwicklungsschritt direkt in die Spitzengruppe. Da sich auf diesem Pfad derzeit 15 Prozent der Industriebetriebe befinden, lässt sich dies als mittelhäufige Entwicklungsrichtung identifizieren. Anders als bei den anderen Entwicklungspfaden, spielen Betriebe Baden-Württembergs auf diesen beiden Pfaden keine besondere Rolle.

Insgesamt lässt sich aus den naheliegenden Entwicklungspfaden und möglichen Pfadabhängigkeiten ableiten, dass Betriebe mehrheitlich in einem bestimmten KI-Bereich beginnen und sich später zum (fortgeschrittenen) Generalisten entwickeln., was dann zuletzt in die Spitzengruppe führen kann. Die Entwicklungsrichtungen, die nicht über die Generalisten führen, sondern auf Spezialisierungen in den Bereichen Digitales Produkt-Service Angebot bzw. Digitale Produktion beruhen (Produkt- bzw. Produktionsspitze), werden nur von sehr wenigen Betrieben beschritten (seltener Pfad). Allerdings sind es gerade diese selteneren Entwicklungsrichtungen, die stärker von baden-württembergischen Betrieben genutzt werden.

Abbildung 14: Entwicklungsrichtungen und Pfadabhängigkeiten entlang der KI-Muster



Quelle: *Modernisierung der Produktion* 2018, Fraunhofer ISI

6 Zusammenfassung und innovationspolitische Implikationen

Insgesamt zeigt die vorliegende Studie, dass KI-nahe Technologien und Maßnahmen noch eher selten von Industriebetrieben im Produktionsumfeld eingesetzt werden. Zwar erreichen einzelne Technologien und Maßnahmen einen Verbreitungsgrad von bis zu 60 Prozent, allerdings setzen nur sehr wenige Betriebe mehrere Technologien und Anwendungen gleichzeitig ein bzw. sind in unterschiedlichen KI-Bereichen aktiv. So beschäftigt sich mittlerweile zwar die Mehrheit der Produktionsbetriebe mit der Digitalisierung, eine höhere Bereitschaft zum Einsatz von KI-Anwendungen stellt aber bei den Unternehmen bislang noch die Ausnahme im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands dar. Gemäß des entwickelten KI-Readiness-Index weisen lediglich fünf Prozent der Betriebe eine hohe Bereitschaft für KI-Anwendungen auf, während die breite Masse von knapp 70 Prozent über keine oder lediglich eine geringe Bereitschaft verfügt. Dennoch sind 26 Prozent aller Industriebetriebe Deutschlands bei einer mittleren KI-Readiness vorzufinden, was Hoffnungen weckt, dass der Anteil der Spitzengruppe und somit auch die grundsätzliche KI-Bereitschaft in der Industrie in näherer Zukunft ansteigen wird.

Baden-Württemberg ist die führende Region in Deutschland, was den Einsatz von KI-nahen Technologien und Maßnahmen im Verarbeitenden Gewerbe angeht. Nirgendwo sonst ist die Spitzengruppe größer, nur im Westen der Republik gibt es einen noch kleineren Anteil an Nicht-Nutzern. Dieser Befund gilt auch für den Mittelstand, denn im Südwesten weist der Mittelstand die höchste KI-Readiness im Vergleich mit dem Mittelstand der anderen Regionen auf. Dies ist sicher auch in dem besonderen industriellen Schwerpunkt Baden-Württembergs, den KI-Vorreiterbranchen Maschinen- und Fahrzeugbau sowie Elektroindustrie, begründet, welcher dem Südwesten einen strukturellen Vorteil mit Blick auf die KI-Readiness im Produktionsumfeld verleiht. Insgesamt zeigt sich, dass Baden-Württemberg ein spezifisches KI-Profil und somit auch besondere Entwicklungsperspektiven im Vergleich zum restlichen Deutschland aufweist.

Mit Blick auf die vier Forschungsfragen aus Kapitel 1 lassen sich einige detaillierte Erkenntnisse darstellen sowie innovationspolitische Implikationen ableiten:

1. Wie lassen sich KI-nahe Technologien und Maßnahmen zu einem KI-Readiness-Index zusammenfassen, um die Bereitschaft von Industriebetrieben hinsichtlich des Einsatzes von Künstlicher Intelligenz im Produktionsumfeld messen zu können?

Insgesamt wurden 16 Indikatoren für den KI-Readiness-Index herangezogen. Diese 16 Indikatoren umfassen die im Rahmen der repräsentativen ISI-Betriebsbefragung *Modernisierung der Produktion* 2018 verwendeten KI-nahen Technologien und Maßnahmen aus dem Produktionsumfeld eines Betriebs. Diese wurden getrennt für drei Unternehmensbereiche (1) Digitales Produkt-Service Angebot, (2) Digitale Produktion sowie (3) Daten und Sicherheit zusammengefasst. Jeder dieser drei Bereiche umfasst dabei zwei Technologiefelder, sodass für Betriebe insgesamt sechs Technologiefelder identifiziert werden, in denen KI-nahe Technologien und Anwendungen zum Einsatz kommen (können). Sobald ein Betrieb in einem Technologiefeld eine vordefinierte Aktivität aufweist, erhält dieser einen Punkt, sodass der KI-Readiness-Index insgesamt von null bis zu sechs Punkten reicht. Hierdurch lassen sich die Betriebe in vier Gruppen einteilen: Von keiner Bereitschaft (0 Punkte), über eine geringe (1, 2 Punkte) und mittlere Bereitschaft (3, 4 Punkte) bis hin zu einer hohen Bereitschaft (5, 6 Punkte). Durch die verschiedenen Aggregationsebenen, von einzelnen KI-nahen Technologien und Maßnahmen, über KI-Bereiche bis hin zum KI-Readiness-Index sowie den KI-Readiness-Mustern lassen sich somit auch Aussagen auf unterschiedlichen Ebenen treffen.

2. Wie verbreitet sind diese KI-nahen Technologien und Maßnahmen in der Produktion, die Betriebe zu KI-Anwendungen im Produktionsumfeld befähigen?

Hinsichtlich der Verbreitung der KI-nahen Technologien und Maßnahmen bestehen große Unterschiede. Diese reichen von vier bzw. fünf Prozent bei Big-Data-Analysen bzw. mobilen Robotern bis hin zu rund

60 Prozent bei der Datenspeicherung sowie beim Einsatz von digitalen Elementen am Kernprodukt. Insgesamt sind KI-nahe Technologien und Maßnahmen im Bereich Digitales Produkt-Service Angebot sowie bei Daten und Sicherheit im Schnitt etwas häufiger verbreitet als im Bereich Digitale Produktion. Die Betriebe Baden-Württembergs weisen einen signifikant höheren Einsatz bei Big-Data-Analysen, CPS-nahen Technologien, intelligenten Robotern und bei der Datenspeicherung auf. In den restlichen Bereichen sind hingegen keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Verbreitung festzustellen. Insgesamt verschafft dies Baden-Württemberg jedoch eine Spitzenposition im bundesweiten Regionenvergleich.

3. Welche strukturellen Unterschiede bestehen grundsätzlich zwischen den Industriebetrieben bei der KI-Readiness?

Die KI-Readiness wird stark durch strukturelle Merkmale wie Produktions- und Betriebscharakteristika determiniert. So weisen große Betriebe mit mehr als 250 Beschäftigten einen deutlich höheren KI-Readiness auf als mittlere (50 bis 249 Beschäftigte) oder gar kleine Betriebe (bis zu 49 Beschäftigten). Dies ist insbesondere auf die bessere Ressourcenausstattung der Großbetriebe zurückzuführen, die weniger Schwierigkeiten haben, Investitionen in KI zu tätigen, bzw. die bereits das Know-how für den Einsatz KI-naher Technologien und Maßnahmen besitzen. Ebenso gibt es große Unterschiede zwischen den einzelnen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes. So nehmen der Maschinenbau und die Elektronikindustrie mit deutlichem Abstand die beiden Spitzenpositionen ein. Keine andere Branche beherbergt solch große Anteile an Betrieben mit einer hohen KI-Bereitschaft. Dies ist sicherlich auf den Ausrüstungscharakter der Unternehmen dieser beiden Branchen zurückzuführen, was den Einsatz von KI-nahen Technologien und Maßnahmen in Produkten wie in Produktionsprozessen erleichtert. Demgegenüber steht die Metallbranche, die Holz- und Papierindustrie, die Nahrungs- und Getränkeindustrie sowie die Textil und Lederindustrie mit einer insgesamt unterdurchschnittlichen KI-Readiness. Als maßgeblich entscheidendes strukturelles Unterscheidungsmerkmal für die KI-Readiness stellt sich die Produktkomplexität sowie die Seriengröße eines Betriebs heraus. Je höher die Komplexität des hergestellten Produkts bzw. je größer die Serie in der Produktion, desto höher ist auch die KI-Readiness des Betriebs. Demnach lässt sich schlussfolgern, dass die Fähigkeit bzw. die Bereitschaft eines Betriebs KI-Anwendungen einzusetzen, maßgeblich von dessen Produkt- und Produktionscharakteristika abhängt. Diese strukturellen Eigenschaften sowie die vergleichsweise Stärke des Maschinen- und Fahrzeugbaus sowie der Elektronikindustrie bei KI-nahen Anwendungen erklären die Spitzenposition Baden-Württembergs innerhalb Deutschlands.

4. Wie schneiden die Betriebe Baden-Württembergs im Vergleich zu denen anderer Regionen hinsichtlich der KI-Readiness ab und wie lässt sich ein für Baden-Württemberg spezifisches KI-Profil darstellen?

Baden-Württembergs Führungsposition bei der KI-Readiness im Produktionsumfeld ergibt sich insbesondere durch den im Südwesten überdurchschnittlich häufig ansässigen Maschinen- und Automobilbau, die Ausrüster- und Zulieferbetriebe mit ihren komplexen, technisch anspruchsvollen Produkten sowie den mit Blick auf die KI-Bereitschaft stärksten Mittelstand Deutschlands. Dies beschert Baden-Württemberg die größte Spitzengruppe bundesweit sowie den zweitkleinsten Anteil an Nicht-Nutzern KI-naher Technologien und Maßnahmen nach der Region Westen. Eine besondere Stärke bei der KI-Readiness ergibt sich für Baden-Württemberg im Bereich der Digitalen Produktion. Sowohl bei den CPS-nahen Produktionstechnologien als auch beim intelligenten Robotereinsatz weist Baden-Württemberg eine signifikant höhere Verbreitung auf als das restliche Deutschland.

Diese zentralen Erkenntnisse lassen für Baden-Württemberg folgende Implikationen und Handlungsoptionen für innovationspolitische Maßnahmen in den Vordergrund rücken:

Eine erste Handlungsoption besteht darin, *spezielle Fördermaßnahmen und -programme für kleine und mittlere Unternehmen* in Baden-Württemberg zu schaffen bzw. weiter auszubauen. Hierdurch können

KMU beim Aufbau von Ressourcen und Know-how hinsichtlich des Einsatzes von KI-Anwendungen unterstützt werden. Dabei sollten auch KI-Entwicklungsunternehmen involviert werden, um von Beginn an passfähige Lösungen für kleine und mittelgroße Produktionsbetriebe zu schaffen.

Eine zweite Handlungsoption liegt für Baden-Württemberg und seine Betriebe sicherlich darin, den Fokus nicht nur auf den KI-Einsatz innerhalb der technischen Produktionsprozesse zu legen, sondern den *Fokus auf das gesamte Produktionsumfeld auszuweiten*. Wie die vorliegende Studie zeigt, ist Baden-Württemberg im Bereich Digitale Produktion führend und überdurchschnittlich stark aufgestellt. Jedoch gibt es noch Potenziale insbesondere im Bereich Daten und Sicherheit, aber auch beim Digitalen Produkt-Service Angebot. Im Zuge der digitalen Transformation spielt die Sicherheit digitaler Systeme sowie die produktive Verwendung von Daten eine zentrale Rolle und bildet sicher das Rückgrat für weitere Entwicklungen. KI-Anwendungen beim Digitalen Produkt bieten zudem weitreichende Möglichkeiten für neue Geschäftsmodelle und Smart Services, die die Wettbewerbsfähigkeit stärken.

Eine dritte Handlungsoption stellt die *Schaffung neuer KI-Anwendungsfälle*, auch jenseits der klassischen Ausrüsterindustrie und der Großserienproduktion, dar. Auch hier können über gemeinsame Forschungsprojekte mit KI-Entwicklern und KI-Anwendern Leuchttürme und neue Anwendungsfelder aufgebaut und getestet werden. Dabei kann insbesondere auch die Prozessindustrie sowie Betriebe mit einfacheren Produkten und kleineren Losgrößen unterstützt werden. Gerade für diese Betriebsstrukturen stellen KI-Anwendungen möglicherweise das größere Potenzial dar, da gerade in diesen Produktionsabläufen Anwendungen jenseits der reinen Produktionseffizienz benötigt werden.

Eine vierte Handlungsoption setzt an den Wertschöpfungsketten Baden-Württembergs an. Hier ist es sicherlich notwendig *entlang der gesamten Wertschöpfungskette*, also unternehmensübergreifend vom kleinen Zulieferer bis hin zum großen Endproduktthersteller, KI-Lösungen aufzubauen und zu integrieren. Hierdurch wird die gesamte Wertschöpfungskette gestärkt und das Potenzial von KI-Anwendungen nicht nur innerbetrieblich, sondern auch überbetrieblich abgerufen. Ohne diese vertikale Integration droht sich die jetzt schon bestehende "digitale Kluft" zwischen kleinen Betrieben mit traditionellen Produktionsstrukturen einerseits und Großbetrieben mit intelligenten Produktionssystemen andererseits durch den Einsatz von KI-Lösungen noch weiter zu vergrößern.

7 Literaturverzeichnis

Ahlborn, Klaus; Bachmann, Gerd; Biegel, Fabian; Bienert, Jörg; Falk, Svenja; Fay, Alexander et al. (2019): Technologieszenario „Künstliche Intelligenz in der Industrie 4.0". Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) Indutrie 4.0. Online verfügbar unter https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/KI-industrie-40.html, zuletzt geprüft am 26.10.2020.

Berg, Achim (2019): Industrie 4.0 - jetzt mit KI , 2019. Online verfügbar unter https://www.bitkom.org/sites/default/files/2019-04/bitkom-pressekonferenz_industrie_4.0_01_04_2019_prasentation_0.pdf, zuletzt geprüft am 27.10.2020.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hg.) (2018): Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung. Online verfügbar unter https://www.bmbf.de/files/Nationale_KI-Strategie.pdf, zuletzt geprüft am 29.10.2020.

Demary, Vera; Engels, Barbara; Goecke, Henry; Koppel, Oliver; Mertens, Armin; Rusche, Christian et al. (2020): KI-Monitor. Status quo der Künstlichen Intelligenz in Deutschland. Hg. v. Bundesverband Digtiale Wirtschaft (BVDW) e.V. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bvdw.org/themen/publikationen/detail/artikel/ki-monitor-2020/, zuletzt geprüft am 27.10.2020.

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR); VDI Technologiezentrum GmbH (VDI TZ); Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hg.) (2020): Digitaler Wandel durch Bildung, Forschung und Innovation. Globaler Wettbewerb und internationale Leitplanken. 14. Schwerpunktausgabe (ITB infoservice, 01/20). Online verfügbar unter https://www.kooperation-international.de/fileadmin/public/downloads/itb/info_20_01_27_SAG.pdf, zuletzt geprüft am 26.10.2020.

Dukino, Claudia; Friedrich, Michaela; Ganz, Walter; Hämmerle, Moritz; Kötter, Falko; Meiren, Thomas et al. (2019): Künstliche Intelligenz in der Unternehmenspraxis. Studie zu Auswirkungen auf Dienstleistung und Produktion. Hg. v. Moritz Hämmerle. Online verfügbar unter https://www.digital.iao.fraunhofer.de/de/publikationen/KlinderUnternehmenspraxis.html, zuletzt geprüft am 26.10.2020.

Graeber, Matthias; Griesser, Marcus; Hefti, Simon; Heinatz, Gundula; Holitscher, Marc; Horn, Claus et al. (2019): Künstliche Intelligenz in Industrie und Dienstleistungen. Hg. v. Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften SATW. Online verfügbar unter https://www.satw.ch/fileadmin/user_upload/documents/02_Themen/08_Kuenstliche-Intelligenz/SATW_Kurzstudie_KI_Industrie_Dienstleistung.pdf, zuletzt geprüft am 27.10.2020.

Hatiboglu, Bumin; Schuler, Sven; Bildstein, Andreas; Hämmerle, Moritz (2019): Einsatzfelder von künstlicher Intelligenz im Produktionsumfeld. Kurzstudie im Rahmen von „100 Orte für Industrie 4.0 in Baden-Württemberg". Hg. v. Allianz Industrie 4.0 Baden-Württemberg. Online verfügbar unter http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-5491073.pdf, zuletzt geprüft am 27.10.2020.

Hecker, Dirk; Döbel, Inga; Rüping, Stefan; Schmitz, Velina; Voss, Angi (2017): Künstliche Intelligenz und die Potenziale des maschinellen Lernens für die Industrie (9), S. 26–35. Online verfügbar unter https://link.springer.com/article/10.1007/s35764-017-0110-6, zuletzt geprüft am 27.10.2020.

Heintel, Markus; Houdeau, Detlef; Klasen, Wolfgang; Kosch, Bernd; Ruppert, Markus; Schmitt, Michael et al. (2019): Umgang mit Sicherheitsrisiken industrieller Anwendungen durch mangelnde Erklärbarkeit von KI-Ergebnissen. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) Indutrie $.0. Online verfügbar unter https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Umgang-mit-Sicherheitsrisiken.html, zuletzt geprüft am 26.10.2020.

Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Kubach, Uwe; Stark, Rainer; Wichert, Georg von; Hornung, Simone; Hubrecht, Lisa et al. (2019): Themenfelder von Industrie 4.0. Forschungs- und Entwicklungsbedarfe zur erfolgreichen Umsetzung von Industrie 4.0. Hg. v. Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0. Online verfügbar unter https://www.acatech.de/publikation/themenfelder-industrie-4-0/, zuletzt geprüft am 26.10.2020.

Jäger, Angela; Maloca, Spomenka (2019): Dokumentation der Umfrage Modernisierung der Produktion 2018. Fraunhofer ISI.

Kleesiek, Jens; Murray, Jacob M.; Strack, Christian; Kaissis, Georgios; Braren, Rickmer (2020): Wie funktioniert maschinelles Lernen? In: *Der Radiologe* 60 (1), S. 24–31. DOI: 10.1007/s00117-019-00616-x.

Koch, Andreas; Lerch, Christian; Rammer, Christian; Klee, Günther; Meyer, Niclas (2019): Die Bedeutung der industrienahen Dienstleistungen in Baden-Württemberg unter besonderer Berücksichtigung der Digitalisierung. IAW; Fraunhofer ISI; ZEW. Tübingen, Karlsruhe, Mannheim. Online verfügbar unter https://www.iaw.edu/tl_files/dokumente/20190117_Endbericht_IndDLBW_final.pdf, zuletzt geprüft am 16.03.2021.

Kreutzer, Ralf T.; Sirrenberg, Marie (2019): Künstliche Intelligenz verstehen. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Lerch, Christian; Jäger, Angela; Meyer, Niclas (2016): I4.0-Readiness – Baden-Württemberg auf dem Weg zur Industrie 4.0? Hg. v. Fraunhofer ISI. Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg, zuletzt geprüft am 01.03.2021.

Lichtblau, Karl; Stich, Volker; Bertenrath, Roman; Blum, Matthias; Bleider, Martin; Millack, Agnes et al. (2015): Industrie 4.0-Readiness. Hg. v. IMPULS-Stiftung. VDMA. Aachen, Köln, zuletzt geprüft am 22.02.2021.

Magagnoli, Ralf (2019): Was ist KI? In: ayway media GmbH (Hg.): Handbuch KI. Smarte Technologien für die Wirtschaft.

Rammer, Christian; Bertschek, Irene; Schuck, Bettina; Demary, Vera; Goecke, Henry (2020): Einsatz von Künstlicher Intelligenz in der Deutschen Wirtschaft. Stand der KI-Nutzung im Jahr 2019. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/einsatz-von-ki-deutsche-wirtschaft.html, zuletzt geprüft am 27.10.2020.

Seifert, Inessa; Bürger, Matthias; Wangler, Leo; Christmann-Budian, Stephanie; Rohde, Marieke; Gabriel, Peter; Zinke, Guido (2018): 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. Hg. v. Begleitforschung PAiCE. Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/potenziale-kuenstlichen-intelligenz-im-produzierenden-gewerbe-in-deutschland.pdf?__blob=publicationFile&v=8, zuletzt geprüft am 27.10.2020.

Vöpel, Henning (2018): Wie künstliche Intelligenz die Ordnung der Wirtschaft revolutioniert. In: *Wirtschaftsdienst* 98 (11), S. 828–830. DOI: 10.1007/s10273-018-2373-9.