

I4.0-Readiness – Baden-Württemberg auf dem Weg zur Industrie 4.0?

Christian Lerch, Angela Jäger, Niclas Meyer

Fraunhofer-Institut für System und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48
76227 Karlsruhe

Studie im Auftrag des

Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau
Baden-Württemberg

Karlsruhe, Juli 2016

Inhalt

Schlaglichter zur I4.0-Readiness	1
1 Einleitung und Überblick der I4.0-Readiness-Studie.....	1
2 Hintergrund zur Untersuchung der I4.0-Readiness	3
2.1 Bedeutung der Industrie 4.0.....	3
2.2 Hintergrund zur ISI-Erhebung <i>Modernisierung der Produktion</i> 2015	3
2.3 Beschreibung der Indikatoren der I4.0-Befähigertechnologien	4
3 Verbreitung von I4.0-Befähigertechnologien im Verarbeitenden Gewerbe.....	6
3.1 Grundsätzlicher Verbreitungsstand.....	6
3.2 Verbreitung der I4.0-Befähigertechnologien nach Branche, Betriebs- und Produktionscharakteristika	7
3.3 Verbreitung der I4.0-Befähigertechnologien nach Industrieregionen	8
3.4 Mittelstand I4.0 im regionalen Vergleich.....	10
4 I4.0-Readiness: Übersicht und Status Quo	12
4.1 Beschreibung des I4.0-Readiness Index.....	12
4.2 I4.0-Readiness im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands	14
4.3 I4.0-Readiness nach Branche, Betriebs- und Produktionscharakteristika	15
5 I4.0-Entwicklungsstand Baden-Württembergs im nationalen Vergleich.....	20
5.1 Industrieregionen im I4.0-Vergleich.....	20
5.2 Der Mittelstand im I4.0-Regionenvergleich.....	23
6 Zusammenfassung und Fazit.....	26
6.1 Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse	26
6.2 Innovationspolitische Implikationen.....	27
7 Literatur	28

Abbildungen

Abbildung 1:	Trendradar für Produkte, Produktion und produktionsnahe IKT (Quelle: Fraunhofer IOSB).....	4
Abbildung 2:	Nutzung und geplante Nutzung der I4.0- Befähigertechnologien im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands	6
Abbildung 3:	Bewertung entlang des I4.0-Readiness-Index, mit Hauptgruppen und individuellen Stufen	13
Abbildung 4:	I4.0-Readiness-Profil des deutschen Verarbeitenden Gewerbes: Verteilung der Betriebe nach I4.0-Readiness- Stufen in Deutschland	14
Abbildung 5:	I4.0-Readiness nach Betriebsgröße	16
Abbildung 6:	Grundstufen und Spitzengruppe im Branchenvergleich	17
Abbildung 7:	I4.0-Readiness-Profil Baden-Württembergs: Verteilung der Betriebe auf die I4.0-Readiness-Stufen	20
Abbildung 8:	Vergleich der Basis (Stufen 1 bis 3) und der Spitze (Stufen 4 und 5) zwischen den Industrieregionen	22
Abbildung 9:	Vergleich der Spitzengruppe und der Nicht-Nutzer zwischen den fünf Industrieregionen	23
Abbildung 10:	Regionaler Vergleich des Mittelstands (KMU) in den oberen drei I4.0-Readiness-Stufen.....	24

Tabellen

Tabelle 1:	I4.0-Befähigertechnologien zur Beschreibung der Bereitschaft zur digital vernetzten Produktion nach Technologiefeldern.....	5
Tabelle 2:	Nutzung der I4.0-Befähigertechnologien nach Industrieregionen (Top-Wert je Technologie in fett)	9
Tabelle 3:	Geplante Nutzung der I4.0-Befähigertechnologien im Mittelstand nach Industrieregionen.....	11

Schlaglichter zur I4.0-Readiness

- Die acht in der Studie untersuchten I4.0-Befähigertechnologien werden aktuell noch zögerlich von deutschen Industriebetrieben eingesetzt. Sechs der acht betrachteten Technologien bewegen sich beim Verbreitungsgrad zwischen 10 und 33 Prozent. Lediglich 12 Prozent der Betriebe setzen mehr als vier dieser I4.0-Befähigertechnologien gleichzeitig ein.
- Fast ein Viertel aller Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands (23 Prozent) setzt aktuell keine dieser I4.0-Befähigertechnologien ein. In Baden-Württemberg ist dies immerhin nur ein Sechstel aller Betriebe.
- Die breite Masse der Betriebe (60 Prozent) setzt zwar vereinzelte oder teilweise kombinierte IT-nahe Prozesse ein, von einer vernetzten Produktion i.S. der Industrie 4.0 sind diese aber noch weit entfernt.
- Eine kleine Spitzengruppe, etwa jedes siebte Unternehmen (16 Prozent), kombiniert mehrere I4.0-ähnliche Prozesse und ist gleichzeitig in mehreren Technikfeldern der digitalen Fabrik aktiv. Nur diese Betriebe scheinen sich aktuell i.S. der Industrie 4.0 auf eine digital vernetzte Produktion vorzubereiten.
- Die Elektronikbranche übernimmt eine klare Vorreiterrolle und besitzt den höchsten I4.0-Entwicklungsstand aller Branchen. Der Fahrzeugbau weist eine ausgeprägte Spitzengruppe auf, der Maschinenbau ist im Gegensatz dazu durch eine starke Basis geprägt. Die Textil- und Lederbranche sowie die Nahrungs- und Genussmittelbranche weisen den geringsten I4.0-Entwicklungsstand auf. Die restlichen Branchen verteilen sich dazwischen.
- Größere Betriebe mit mehr als 250 Beschäftigten nehmen eine Vorreiterrolle auf dem Weg zu einer digital vernetzten Produktion ein, 40 Prozent davon gehören der Spitzengruppe an. Kleinere Betriebe hingegen sind noch sehr zögerlich. Ein großer Teil der kleinen Betriebe setzt entweder noch gar keine der untersuchten I4.0-Befähigertechnologien ein (37 Prozent) oder nur sehr vereinzelt.
- Bei der Betrachtung der Produktionscharakteristika der Betriebe zeigt sich, dass mit steigender Produktkomplexität ein größerer I4.0-Entwicklungsstand festzustellen ist und Betriebe mit Großserienfertigung besonders häufig in der Spitzengruppe zu finden sind. Außerdem weisen Zulieferer ein höheres Maß an Bereitschaft zur I4.0 auf, als Nicht-Zulieferer. Dies gilt ebenfalls für Betriebe mit einer eigenen Produktentwicklung, die einen höheren I4.0-Entwicklungsstand aufweisen, als Betriebe ohne eigene Produktentwicklung.
- Die Betriebe aus Baden-Württemberg weisen im nationalen Vergleich einen insgesamt etwas höheren I4.0-Entwicklungsstand auf. Der Industriestandort Baden-Württemberg hat gemeinsam mit Nordrhein-Westfalen die größte Spitzengruppe und verfügt zugleich über die breiteste Basis bei den Anfänger- bis Fortgeschrittenenbetrieben. Ebenfalls hat Baden-Württemberg den kleinsten Anteil an Betrieben ohne jegliche Nutzung von I4.0-Befähigertechnologien.
- Der Mittelstand in Baden-Württemberg ist im Vergleich zu den anderen Industrieregionen am besten aufgestellt. Der baden-württembergische Mittelstand ist geprägt von vergleichsweise wenigen Betrieben ohne I4.0-Befähigertechnologien sowie von einem

hohen Anteil an Betrieben in der Gruppe der Fortgeschrittenen. Hierdurch kommt insgesamt ein überdurchschnittlicher I4.0-Entwicklungsstand zustande.

Insgesamt zeigt sich, dass der I4.0-Entwicklungsstand eines Betriebs maßgeblich durch strukturelle Produktions- und Betriebscharakteristika geprägt ist und insgesamt ein starkes "digitales Gefälle" zwischen Betrieben existiert. Nach vorliegenden Befunden besteht möglicherweise die Gefahr einer zukünftigen Schere und der Entwicklung zweier gegensätzlicher Produktionswelten (ressourcenstarke Großunternehmen mit Großserienproduktion und sehr hohem digitalem Vernetzungsgrad gegenüber KMU mit manueller Kleinserienfertigung und traditionell-bewährten Produktionsprozessen). Innovationspolitische Gestaltungsoptionen sollten mit Blick auf die gewonnenen Erkenntnisse daher folgende Punkte berücksichtigen:

- (1) Stärkung und Unterstützung insbesondere der kleinen Betriebe beim Wandel zur digital vernetzten Produktion, insbesondere durch KMU-spezifische I4.0-Lösungen;
- (2) Entwicklungsfokus auf technologische I4.0-Lösungen auch jenseits automatisierter Großserienproduktion; Berücksichtigung mehrerer verschiedener Anwendungsfelder und individueller I4.0-Lösungen innerhalb der Betriebe (Flexibilisierung, Wandlungsfähigkeit, neue Innovationspotenziale);
- (3) Stärkung der digitalen Vernetzung von ganzen Wertschöpfungsketten und deren Schnittstellen, vom großen Endprodukthersteller bis zum KMU-Zulieferbetrieb am Anfang der Wertschöpfungskette;
- (4) Stärkung der breiten Masse an Betrieben einerseits (Überwindung anfänglicher Hürden, Einsatz kombinierter I4.0-Befähigertechnologien, Ressourcen- und Know-how-Zugang) sowie der Spitze andererseits (digitale Pilotprojekte, Vernetzung von Forschung und Vorreiterunternehmen, Anwendungsorientierung neuer I4.0-Lösungen).

1 Einleitung und Überblick der I4.0-Readiness-Studie

Die digitale Vernetzung und drahtlose Kommunikation von Maschinen und Anlagen in der Produktion wird eine der großen Herausforderungen in den kommenden Jahren sein. Die sogenannte Industrie 4.0 birgt für Industriebetriebe große Innovations- und Wettbewerbspotenziale. Insbesondere für Baden-Württemberg als führenden Industriestandort gehen mit der Industrie 4.0 große Chancen, aber auch Risiken einher. Für die baden-württembergische Wirtschaft und Politik stellt sich die Frage, inwieweit Ansätze der Industrie 4.0 bereits umgesetzt werden, welche Stärken die Industrie diesbezüglich am Standort Baden-Württemberg aufweist und wo Potenziale existieren, die noch zu heben sind.

Aus diesem Grund wurde das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg beauftragt, die "Readiness" der Produktionsbetriebe in Baden-Württemberg hinsichtlich einer aufkommenden Industrie 4.0 im nationalen Vergleich zu erfassen und zu bewerten. Die "Readiness" wird in dieser Studie definiert, als *die aktuelle Bereitschaft und Fähigkeit von Betrieben zur konkreten Umsetzung der Industrie 4.0* und prüft, welche I4.0-Befähigertechnologien in der Produktion derzeit bereits eingesetzt werden.

Hierfür wurde die repräsentative Befragung *Modernisierung der Produktion* eingesetzt, die seit 1993 in regelmäßigen Abständen vom Fraunhofer ISI durchgeführt wird. Die aktuelle Erhebungsrunde wurde 2015 durchgeführt und für die Analysen dieser Studie herangezogen. Die Studie besteht aus zwei Teilen:

- *Benchmark für Industriebetriebe*: Parallel zu diesem Bericht wurde vom Fraunhofer ISI ein I4.0-Readiness Benchmarking-Tool entwickelt. Es erlaubt produzierenden Betrieben ihre aktuelle Bereitschaft und Fähigkeit zur konkreten Umsetzung der Industrie 4.0 mit anderen Betrieben mit ähnlichen Produktionsbedingungen zu vergleichen und zu bewerten. Auf Basis dieser Positionsbestimmung können Betriebe entsprechende Handlungsbedarfe identifizieren und ggf. Modernisierungsstrategien ableiten. Das Industriebenchmark des Fraunhofer ISI wird interessierten Betrieben über ein internetbasiertes Portal zur Verfügung gestellt.

Link: www.industriebenchmarking.eu

- *Bericht zum Status Quo der I4.0-Readiness*: Der zweite Teil der Studie umfasst den vorliegenden Bericht zur I4.0-Readiness. Hierbei werden auf Basis einer breitenempirischen Analyse die Stärken und noch bestehenden Potenziale der Betriebe hinsichtlich der I4.0 identifiziert und auch ein Vergleich des Industriestandorts Baden-Württemberg zu anderen nationalen Industrieregionen vorgenommen.

Das Ziel des vorliegenden Berichts ist es, Erkenntnisse über die aktuelle Verbreitung verschiedener I4.0-Befähigertechnologien im deutschen Verarbeitenden Gewerbe, unter besonderer Berücksichtigung des Industriestandorts Baden-Württemberg, zu erhalten. Hieraus lässt sich schlussfolgern, in welchem Umfang bereits Ansätze der I4.0 in der Praxis existieren und schließlich, wie hoch die Fähigkeit und Bereitschaft von Betrieben für eine

zukünftige Umsetzung der Industrie 4.0 ist. Auf Basis dieser Ergebnisse lassen sich dann innovationspolitische Handlungsoptionen für Politik und Wirtschaft ableiten. Aus diesem Erkenntnisinteresse wurden für den weiteren Gang der Untersuchung folgende Leitfragen formuliert, welche den Gang der Untersuchung bestimmen:

- Wie verbreitet sind die verschiedenen I4.0-Befähigertechnologien derzeit in der deutschen Industrie?
- Welche Betriebe und Branchen nehmen eine Vorreiterrolle auf dem Weg in eine digital vernetzte Produktion ein?
- Wie hoch lässt sich die I4.0-Readiness bei deutschen Industriebetrieben einschätzen, wo liegen die Stärken und Schwächen und welche innovationspolitischen Implikationen ergeben sich hieraus?
- Wie ist die Industrie in Baden-Württemberg auf dem Weg zur digital vernetzten Produktion im nationalen Vergleich aufgestellt?

Um diese Leitfragen nacheinander zu behandeln wird in Kapitel 2 zunächst der inhaltliche und methodische Hintergrund zum vorliegenden Bericht erläutert. Danach folgt eine Analyse zur allgemeinen Verbreitung von I4.0-Befähigertechnologien im deutschen Verarbeitenden Gewerbe, aufgeschlüsselt nach verschiedenen Produktions- und Betriebscharakteristika (Kap. 3). In Kapitel 4 erfolgt die Bildung eines I4.0-Readiness Indikators, der auf das Verarbeitende Gewerbe Deutschlands angewendet wird. Abschließend wird in Kapitel 5 der I4.0-Entwicklungsstand im nationalen Vergleich unter besonderer Berücksichtigung des Industriestandorts Baden-Württemberg analysiert. Schließlich werden in Kapitel 6 eine Zusammenfassung mit Schlussfolgerungen diskutiert.

2 Hintergrund zur Untersuchung der I4.0-Readiness

2.1 Bedeutung der Industrie 4.0

Die aufkommende Industrie 4.0 birgt für Produktionsbetriebe große Innovationspotenziale und Wettbewerbsvorteile. Technischer Kern und wesentliche Innovationstreiber der Industrie 4.0-Zukunftsvision sind softwareintensive, auf modernen IuK-Techniken basierende, eingebettete, mechatronische Produktionssysteme, die daher als "Cyber-physische Systeme" (CPS) bezeichnet werden (Bildstein/Seidelmann 2014).

Die sich derzeit in der Entwicklung befindenden technischen CPS-Lösungen sollen dazu beitragen, Produktionssysteme und komplette Wertschöpfungsnetze zu planen, auszugestalten und zu steuern, indem eine intelligente horizontale wie auch vertikale digitale Vernetzung in den Wertschöpfungsprozessen realisiert wird. Die erwarteten Effekte und Nutzen sind ebenso vielfältig, bisweilen sogar radikal. Neben grundlegenden Produktivitätsfortschritten werden auch sprunghafte Verbesserungen der Flexibilitäts- und Wandlungsfähigkeit bis hin zu Ressourceneinsparungen erwartet (Jaspernite 2012; Spath et al. 2013; Heng 2014; Kagermann 2014).

Bislang bestehen aber nur vage Vorstellungen darüber, welche Nutzenpotenziale konkret erschlossen werden können und in welcher Konfiguration die neuen CPS-Techniken ihren Einsatz in der industriellen Praxis finden werden (Heng 2014; Geissbauer et al. 2014). Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass der Einsatz der neuen CPS-Techniken vor allem davon abhängig sein werden, welche Nutzen die Unternehmen im Hinblick auf strategische Wettbewerbspositionen und ihre Position in der Wertschöpfungskette erwarten und verwirklichen können (Kinkel/Maloca 2009; Som 2012). Um die erwarteten Potenziale von Industrie 4.0 für die zukünftige Sicherung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der Industrie in Baden-Württemberg realisieren zu können, ist die Verbreitung von I4.0-Befähigertechnologien in der Spitze und in der Breite, vor allem auch im industriellen Mittelstand, entscheidend.

2.2 Hintergrund zur ISI-Erhebung *Modernisierung der Produktion 2015*

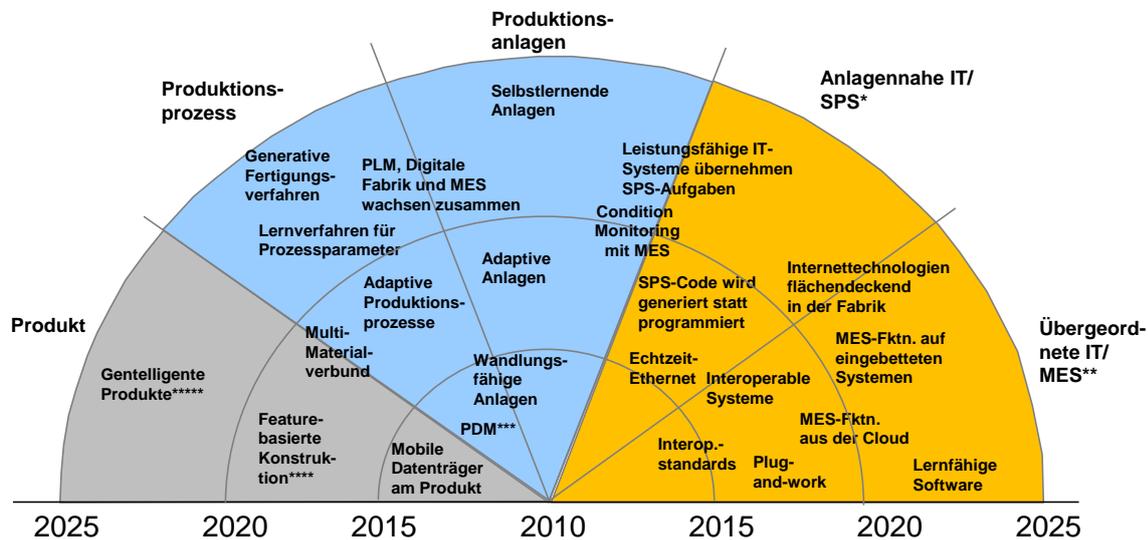
Alle in diesem Bericht vorgestellten Analysen und Ergebnisse zur I4.0-Readiness beruhen auf den Auswertungen der ISI-Erhebung *Modernisierung der Produktion 2015*. Die Erhebung *Modernisierung der Produktion* wird seit 1993 regelmäßig alle drei Jahre vom Fraunhofer ISI durchgeführt und fokussiert Themen zur Wertschöpfung und Innovation in der Produktion. Dabei werden deutschlandweit Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes zum Stand ihrer Produktion und ihrer Innovationsaktivitäten befragt. Die Erhebung richtet sich an Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes in der Bundesrepublik Deutschland und deckt seit 2006 alle Branchen des Verarbeitenden Gewerbes ab. Ausgehend von einer repräsentativen Stichprobe wird regelmäßig einen Rücklauf von zwischen 1.300 und 1.600 Betrieben erreicht. Die Erhebung *Modernisierung der Produktion* ist damit die breit-

este und umfangreichste Befragung zu Modernisierungsprozessen im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland.

Die letzte Erhebungswelle fand im Jahr 2015 statt und enthält unter anderem Fragen und Indikatoren zu den Themen Industrie 4.0, Digitalisierung und digitale Fabrik. Eine Darstellung der davon verwendeten Indikatoren folgt weiter unten. Die Erhebung *Modernisierung der Produktion 2015* umfasst die Angaben von insgesamt 1.282 zufällig ausgewählten Betrieben (Jäger/Maloca 2016). Sie bietet dabei ein repräsentatives Abbild des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland hinsichtlich Größenklassen, Branchenstruktur und regionaler Verteilung. Die Umfrage adressierte alle Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes (WZ 2008-Klassen 10 bis 33 mit mindestens 20 Beschäftigten).

2.3 Beschreibung der Indikatoren der I4.0-Befähigertechnologien

Zur Messung der Fähigkeit und der Bereitschaft von Betrieben, erste Ansätze der Industrie 4.0 umzusetzen, wurden zunächst verschiedene Technologiefelder identifiziert. Dabei wurde sich am vom Fraunhofer IOSB entwickelten Technologieradar (vgl. Abbildung 1) orientiert. Entlang von fünf zentralen Handlungsfeldern – Produktionsprozesse, Produkt, Produktionsanlagen, anlagennahe IT und übergeordnete IT (vgl. Abbildung 1) – wurden wichtige Kerntechniken erfasst, die als Voraussetzung zur Anwendung von Industrie 4.0 dienen, und die bereits heute in den Betrieben Anwendung finden können.



*SPS: Speicherprogrammierbare Steuerung

**MES: Manufacturing Execution Systems

***PDM: Integriertes Produkt- und Prozessdatenmanagement

****SFB 374 „Entwicklung und Erprobung innovativer Produkte“

*****SFB 653 „Gentelligente Bauteile - Neue Wege in der Produktionstechnik“

Abbildung 1: Trendradar für Produkte, Produktion und produktionsnahe IKT (Quelle: Fraunhofer IOSB)

Um hinsichtlich des Entwicklungsstands der digitalen Fabrik bzw. einer vernetzten Produktion innerhalb der Betriebe Erkenntnisse zu erlangen, wurden auf Basis des Technologieradars insgesamt acht I4.0-Befähigertechnologien identifiziert (vgl. Tabelle 1).

I4.0-Befähigertechnologien (i.S.v. vorbereitenden Technologien für die Industrie 4.0)	
1	IT-gestützte Produktionsplanung: Einsatz von Softwaresystemen zur Produktionsplanung und -steuerung (z. B. ERP-System)
2	Echtzeitnahes Produktionsleitsystem: Einsatz von Echtzeitnahen Produktionsleitsystemen (z. B. Systeme mit zentraler Maschinen-/Prozessdatenerfassung, MES)
3	IT-System für Supply-Chain-Management: Digitaler Datenaustausch mit Zulieferern bzw. Kunden (Supply-Chain-Management-Systeme)
4	IT-System für Product Lifecycle Management: Product Lifecycle Management-Systeme (PLM) oder ggf. auch Produkt-Prozessdaten-Management
5	IT-gestützte Steuerung der internen Logistik: Einsatz von Techniken zur Automatisierung und Steuerung der internen Logistik (z. B. Lagerverwaltungssysteme, RFID)
6	Mobile/drahtlose Programmierung von Maschinen: Einsatz von mobilen/drahtlosen Geräten zur Programmierung und Bedienung von Anlagen und Maschinen (z. B. Tablets)
7	Sichere Mensch-Maschine-Kooperation: Anwendung von Technologien für eine sichere Mensch-Maschine-Kooperation (z. B. kooperative Roboter, "zaunfreie" Stationen etc.)
8	Mobiler/drahtloser Zugang zu Arbeitsanweisungen: Einsatz von digitalen Lösungen zum Bereitstellen und Nutzen von Zeichnungen, Arbeitsplänen oder Arbeitsanweisungen direkt am Arbeitsplatz des Werkers (z. B. Tablets, Smartphones)

Tabelle 1: I4.0-Befähigertechnologien zur Beschreibung der Bereitschaft zur digital vernetzten Produktion nach Technologiefeldern

Diese acht Technologien wurden in der Erhebung *Modernisierung der Produktion 2015* berücksichtigt. Konkret wurden die teilnehmenden Betriebe befragt, ob sie entsprechende Technologien bereits einsetzen oder planen diese einzusetzen. Diese Fragestellung wurde in dieser Studie mit Blick auf Produktions- und Betriebsmerkmale sowie die regionale Verteilung der Betriebe hin untersucht.

3 Verbreitung von I4.0-Befähigertechnologien im Verarbeitenden Gewerbe

3.1 Grundsätzlicher Verbreitungsstand

Beim Blick auf die einzelnen I4.0-Befähigertechnologien zeigt sich, dass diese eine stark unterschiedliche Verbreitung in der deutschen Produktion aufweisen. Der Anteil an Betrieben, die diese Technologien in ihrer Produktion einsetzen, schwankt von lediglich 3 Prozent bei der "sicheren Mensch-Maschine-Kooperation" bis zu 67 Prozent bei "Softwaresystemen zur Produktionsplanung und -steuerung". Insgesamt wird dabei deutlich, dass bis auf Softwaresysteme, die immerhin schon zwei von drei Unternehmen anwenden, die sonstigen I4.0-Befähigertechnologien im Verarbeitenden Gewerbe eher gering verbreitet sind (vgl. Abbildung 2).

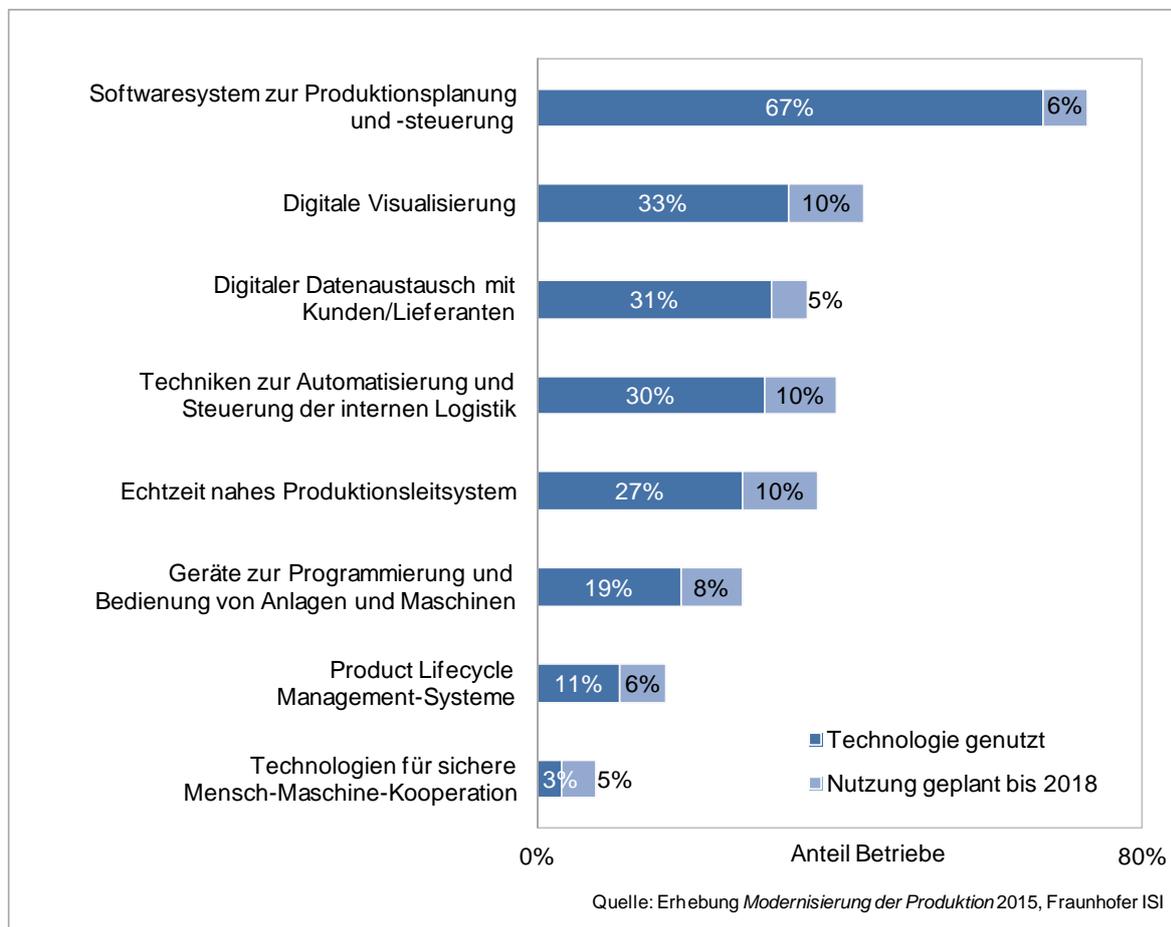


Abbildung 2: Nutzung und geplante Nutzung der I4.0-Befähigertechnologien im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands

Zu knapp einem Drittel werden die "Digitale Visualisierung", der "Digitale Datenaustausch mit Kunden/Lieferanten" und die "Automatisierung der Logistik" genutzt. Das "Echtzeitnahe Produktionsleitsystem" kommt knapp dahinter auf 27 Prozent an Anwenderbetrieben. "Technologien für sichere Mensch-Maschine-Kooperation" werden von gerade einmal 3

Prozent der Betriebe, "Product Lifecycle Management-Systeme" von 11 Prozent und Geräte zur "Programmierung und Bedienung von Anlagen und Maschinen" immerhin von 19 Prozent genutzt.

Die Anteile der Betriebe, die planen eine der acht Technologien bis 2018 einzuführen, liegen relativ gleichmäßig über die I4.0-Befähigertechnologien verteilt zwischen jeweils 5 und 10 Prozent. Entsprechend ist auch in den nächsten drei Jahren kein überproportional dynamischer Anstieg der Verbreitung dieser Technologien zu erwarten.

Bei der Interpretation dieser ersten Befunde ist zu berücksichtigen, dass aufgrund spezifischer Produktionscharakteristika nicht jede Technologie für jeden Betrieb eine notwendige bzw. sinnvolle technische Lösung für die Produktion darstellt. Betriebe mit manueller Fertigung und Kleinserienproduktion werden aufgrund ihrer Produktionsbedingungen kaum eine automatisierte Logistik oder ein echtzeitnahes Produktionsleitsystem einsetzen. Betriebe mit hohem Automatisierungsgrad und Großserienproduktion hingegen werden diese Technologien eher nutzen.

Insgesamt wird aus den dargestellten Ergebnissen deutlich, dass der grundsätzliche Verbreitungsgrad der I4.0-Befähigertechnologien eher gering ausfällt. Bestärkt wird diese Diagnose dadurch, dass 23 Prozent der Betriebe keine einzige dieser I4.0-Befähigertechnologien und 38 Prozent der Betriebe lediglich eine oder zwei dieser Technologien einsetzen. Ebenfalls liegen auch die Anteile der Betriebe, die die Einführung einer dieser Technologien planen, im einstelligen Prozentbereich. Damit lässt sich für das Verarbeitende Gewerbe in Deutschland aktuell festhalten: Von einer digital vernetzten Produktion i.S. einer Industrie 4.0 ist die breite Masse der Betriebe derzeit, und vermutlich auch in den nächsten Jahren, noch deutlich entfernt.

3.2 Verbreitung der I4.0-Befähigertechnologien nach Branche, Betriebs- und Produktionscharakteristika

Weiterführende Auswertungen zeigen deutliche Unterschiede in der Verbreitung einzelner I4.0-Befähigertechnologien in den verschiedenen Branchen. Beispielhaft wird die Situation in den Branchen der Hersteller von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen, im Fahrzeugbau und im Maschinenbau dargestellt:

Unter *Herstellern von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen* sind "Softwaresysteme zur Produktionsplanung und -steuerung", "Product Lifecycle Management Systeme" und die "digitale Visualisierung" überdurchschnittlich stark verbreitet. Was die restlichen Befähigertechnologien betrifft, liegt diese Branche mit den anderen gleich auf. Nur bei der Nutzung von "Geräten zur Programmierung von Anlagen und Maschinen" liegt der Nutzeranteil unter dem Durchschnitt.

Im *Fahrzeugbau* sind Systeme zum "digitalen Datenaustausch mit Kunden und Lieferanten" mit 59 Prozent deutlich stärker verbreitet als in den anderen Branchen, was sich

durch die starke Vernetzung der Automobilhersteller und ihrer Zulieferer erklären mag. Darüber hinaus sind "Technologien für sichere Mensch-Maschine-Kooperation" im Fahrzeugbau mit 11 Prozent drei bis vier Mal häufiger verbreitet als in allen anderen Branchen, was eng mit der starken Automatisierung im Fahrzeugbau und dem vergleichsweise hohen Robotereinsatz zusammenhängt. Im Fahrzeugbau sind auch die stärksten Wachstumsraten in der Verbreitung der I4.0-Befähigertechnologien zu erwarten: In keiner anderen Branche geben die Betriebe häufiger an, eine Nutzung der jeweiligen Technologien zu planen.

Im *Maschinenbau* kommen vergleichsweise häufig die "digitale Visualisierung", die "Geräte zur Programmierung von Maschinen und Anlagen" und die "PLM-Systeme" zum Einsatz. Im Gegensatz dazu werden die "Echtzeitnahen Produktions-Leitsysteme" und "Techniken zur Automatisierung der internen Logistik" im Vergleich zum restlichen Verarbeitenden Gewerbe seltener genutzt. *Hersteller von elektronischen Erzeugnissen* nutzen "Techniken zur Automatisierung und Steuerung der internen Logistik" sowie die "PLM-Systeme" deutlich häufiger als Betriebe aus allen anderen Branchen. Die stark unterschiedliche Verbreitung der I4.0-Befähigertechnologien in den einzelnen Branchen unterstreicht nochmals, dass der Einsatz maßgeblich durch die Produktionscharakteristika der Betriebe bestimmt wird. Manche I4.0-Befähigertechnologien scheinen sich für einige Produktionsprozesse besser zu eignen als für andere.

Auch entlang der *Betriebsgröße* sind relevante Unterschiede in der Nutzung der I4.0-Befähigertechnologien festzustellen. In Großbetrieben mit 250 und mehr Beschäftigten werden diese Technologien deutlich häufiger eingesetzt als bei mittleren Betrieben mit 50 bis 249 Beschäftigten. Am seltensten kommen die I4.0-Befähigertechnologien in kleinen Betrieben mit bis zu 50 Beschäftigten zum Einsatz. Frühere Studien zeigen bereits, dass viele mittelständische Industrieunternehmen noch nicht optimal für den durch CPS-Technologien induzierten Strukturwandel gerüstet sind (Zanker et al. 2014). Für diese Gruppe wird es entscheidend sein, die Anschlussfähigkeit an CPS-Technologien durch geeignete Maßnahmen auf Ebene der Produktionsprozesse, der Softwareentwicklung, der Organisation als auch der Qualifikation und Interdisziplinarität der Beschäftigten zu erhöhen.

3.3 Verbreitung der I4.0-Befähigertechnologien nach Industrieregionen

Die Daten der Erhebung *Modernisierung der Produktion* erlauben auch Auswertungen auf regionaler Ebene. Im Folgenden werden die Angaben der Betriebe aus Baden-Württemberg mit denen der Betriebe aus den Bundesländern Bayern und Nordrhein-Westfalen sowie der Industrieregion Sachsendreieck verglichen, wobei die Industrieregion Sachsendreieck die sächsischen Ballungsräumen Chemnitz-Zwickau, Dresden und Leipzig-Halle sowie auch Teile von Thüringen und Sachsen-Anhalt umfasst. Die übrigen Regionen Deutschlands wurden zu "andere Regionen" zusammengefasst.

	Baden-Württemberg	Bayern	NRW	Sachsen-dreieck	andere Regionen
Softwaresystem zur Produktionsplanung und -steuerung	77%	67%	64%	68%	62%
Echtzeitnahes Produktionsleitsystem	29%	27%	31%	24%	25%
Digitaler Datenaustausch mit Kunden/Lieferanten	38%	32%	35%	28%	25%
Techniken zur Automatisierung und Steuerung der internen Logistik	36%	28%	33%	38%	25%
Geräte zur Programmierung und Bedienung von Anlagen und Maschinen	20%	19%	22%	22%	17%
Product-Lifecycle-Management-Systeme	12%	12%	12%	5%	10%
Technologien für sichere Mensch-Maschine-Kooperation	1%	6%	4%	3%	2%
Digitale Visualisierung	37%	32%	37%	35%	29%

Quelle: Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2015, Fraunhofer ISI

Anmerkung: Top-Wert je Technologie ist in fett hervorgehoben.

Tabelle 2: Nutzung der I4.0-Befähigertechnologien nach Industrieregionen (Top-Wert je Technologie in fett)

Im Vergleich zu den anderen Industrieregionen zeigt sich, dass Baden-Württemberg hinsichtlich der Verbreitung einzelner I4.0-Befähigertechnologien überdurchschnittlich gut aufgestellt ist (vgl. Tabelle 2). Bei der Nutzung von "Softwaresystemen zur Produktionsplanung und -steuerung" führt Baden-Württemberg das Feld mit einigem Abstand an (77 Prozent). Auch Technologien zum "digitalen Datenaustausch mit Kunden und Lieferanten" nutzt ein größerer Teil der Betriebe aus Baden-Württemberg (38 Prozent) als in den anderen Regionen. Beim Einsatz "Echtzeitnaher Produktionsleitsysteme" und "Techniken zur Automatisierung und Steuerung der internen Logistik" liegt Baden-Württemberg nur hinter dem Bundesland Nordrhein-Westfalen bzw. der Industrieregion Sachsendreieck.

Bei der Nutzung der "digitalen Visualisierung" liegt Baden-Württemberg nur knapp vor Nordrhein-Westfalen und dem Sachsendreieck, bei der Nutzung von "Product Lifecycle Management-Systemen" knapp hinter Bayern. Lediglich beim Einsatz von "Geräten zur

Programmierung und Bedienung von Anlagen und Maschinen" sowie der Nutzung von "Technologien für die sichere Mensch-Maschine-Kooperation" ist Baden-Württemberg nicht auf den vorderen beiden Plätzen zu finden. Bayern und Nordrhein-Westfalen scheinen ebenfalls überdurchschnittlich aufgestellt zu sein und auch die Industrieregion Sachsendreieck nimmt in zwei Kategorien eine führende Position ein. Insgesamt sind die Unterschiede zwischen den Industrieregionen bei den einzelnen I4.0-Befähigertechnologien allerdings nicht besonders groß.

3.4 Mittelstand I4.0 im regionalen Vergleich

Bei einem Vergleich zwischen den Industrieregionen ist es jedoch wichtig, die unterschiedliche Industriestruktur der Regionen zu berücksichtigen. Die Auswertungen aus den vorangegangenen Abschnitten haben gezeigt, dass Branche, Unternehmensgröße, die Stellung der Unternehmen in der Wertschöpfungskette und die Produktkomplexität einen entscheidenden Einfluss auf die Verbreitung der I4.0-Befähigertechnologien haben. Aufgrund der herausragenden Bedeutung des Mittelstands in Baden-Württemberg, wurden die Daten der Erhebung für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) separat ausgewertet (vgl. Tabelle 3).

Auch auf der Ebene der mittelständischen Unternehmen zeigt sich, dass Baden-Württemberg im Vergleich zu den anderen Industrieregionen gut aufgestellt ist. In vier von acht Kategorien liegt Baden-Württemberg in führender Position und hält auch in den anderen Bereichen Anschluss an die jeweils führende Vergleichsregion. Insgesamt sind jedoch auch hier die Unterschiede sehr gering, sodass nicht von einem tatsächlichen regionalen Unterschied hinsichtlich der Verbreitung von I4.0-Befähigertechnologien ausgegangen werden sollte.

	Baden-Württemberg	Bayern	NRW	Sachsen-dreieck	andere Regionen
Softwaresystem zur Produktionsplanung und -steuerung	73%	62%	58%	67%	58%
Echtzeitnahes Produktionsleitsystem	25%	22%	27%	22%	23%
Digitaler Datenaustausch mit Kunden/Lieferanten	33%	24%	29%	24%	22%
Techniken zur Automatisierung und Steuerung der internen Logistik	29%	23%	28%	38%	23%
Geräte zur Programmierung und Bedienung von Anlagen und Maschinen	20%	16%	19%	17%	15%
Product-Lifecycle-Management-Systeme	8%	6%	9%	5%	9%
Technologien für sichere Mensch-Maschine-Kooperation	2%	5%	3%	3%	2%
Digitale Visualisierung	37%	29%	32%	33%	28%

Quelle: Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2015, Fraunhofer ISI

Anmerkung: Top-Wert je Technologie ist in fett hervorgehoben.

Tabelle 3: Geplante Nutzung der I4.0-Befähigertechnologien im Mittelstand nach Industrieregionen

4 I4.0-Readiness: Übersicht und Status Quo

4.1 Beschreibung des I4.0-Readiness Index

Um eine Gesamtbewertung der I4.0-Readiness von Betrieben, Branchen oder Industrieregionen darzustellen, wird im Folgenden eine eigens für diese Studie entwickelte Systematik genutzt.

Die Logik des Fraunhofer I4.0-Readiness-Index erfolgt gemäß Abbildung 3 und basiert auf den oben in ihrer Verbreitung detailliert dargestellten I4.0-Befähigertechnologien: Da die verschiedenen Technologien stark prozess- und betriebsabhängig sind und sich auch in verschiedenen Technologiefeldern bewegen, ist ein bloßes Abzählen der eingesetzten Technologien als wenig zielführend für einen I4.0-Readiness-Index anzusehen. Vielmehr werden die I4.0-Befähigertechnologien in drei Technologiefelder eingeteilt. Dabei bleibt die Technologie der "sicheren Mensch-Maschine-Interaktion" aufgrund der sehr geringen Verbreitung und der sehr starken Robotikorientierung im I4.0-Readiness-Index unberücksichtigt.

Für die Erstellung eines I4.0-Readiness-Index wurden die Technologien zu folgenden Feldern zusammengefasst:

- A. *Digitale Managementsysteme*: Das erste Technologiefeld wird gebildet durch "Softwaresysteme zur Produktionsplanung und -steuerung" und den "Product-Lifecycle-Management-Systemen". Diese werden als Grundlagentechnologien der IT und Digitalisierung eingestuft und werden somit den IT-nahen Prozessen zugeordnet.
- B. *Drahtlose Mensch-Maschine-Kommunikation*: Im zweiten Technologiefeld wird die "Digitale Visualisierung" mit den "Mobilen Endgeräten" zusammengefasst. Auch dieses Feld wird den I4.0-Grundlagentechnologien und somit den IT-nahen Prozessen zugeordnet.
- C. *Cyber-Physical-System (CPS)-nahe Prozesse*: Das dritte Technologiefeld berücksichtigt das "Echtzeitnahe Produktionssystem", die "Automatisierung der Logistik" und den "Digitalen Datenaustausch mit Zulieferern und Kunden". Diese Technologien weisen bereits Produktionselemente der Cyber-physischen Systeme auf, und werden daher zu den fortgeschrittenen I4.0-Technologien gezählt.

Während die beiden Technologiefelder A und B IT-nahe Prozesse (I4.0-Grundlagentechnologien) abdecken und noch eine deutliche Distanz zur I4.0 aufweisen, enthält das Technologiefeld C bereits erste Ansätze der vernetzten Produktion (fortgeschrittene I4.0-Befähigertechnologien) und ist daher als I4.0-näher einzustufen als die beiden anderen Technologiefelder.

Unter Verwendung dieser Gruppierung sind diejenigen Betriebe als I4.0-näher einzustufen, die zum einen mehrere Technologiefelder in der Produktion nutzen und diese kombinieren und zum anderen mehrere der CPS-nahen Prozesse in ihrer Produktion einsetzen.

Entsprechend ergibt sich ein I4.0-Readiness-Index mit den folgenden Hauptgruppen und Stufen:

Nicht-Nutzer, die (noch) keine Bereitschaft für eine I4.0 aufweisen:

- Stufe 0: Betriebe die keine der untersuchten I4.0-Befähigertechnologien einsetzen, und tendenziell noch auf traditionelle Produktionsprozesse setzen.

Grundstufen, als Basis auf dem Weg zur I4.0, mit noch geringer Bereitschaft:

- Stufe 1 (Anfänger): Betriebe, die IT-nahe Prozesse *in einem* der drei Technologiefelder einsetzen.
- Stufe 2 (Fortgeschrittene Anfänger): Betriebe, die *in zwei* der drei Technologiefelder IT-nahe Prozesse einsetzen.
- Stufe 3 (Fortgeschrittene): Betriebe, die die *in allen drei* Technologiefeldern aktiv sind und sowohl IT-nahe Prozesse als auch CPS-nahe Prozesse einsetzen.

Spitzengruppe, als Vorreiter auf dem Weg zur I4.0, mit etwas höherer Bereitschaft:

- Stufe 4: Betriebe, die in allen Technologiefeldern aktiv sind und mindestens *zwei* Technologien der CPS-nahen Prozesse einsetzen.
- Stufe 5: Betriebe, die in allen Technologiefeldern aktiv sind und mindestens *drei* Technologien der CPS-nahen Prozesse einsetzen.

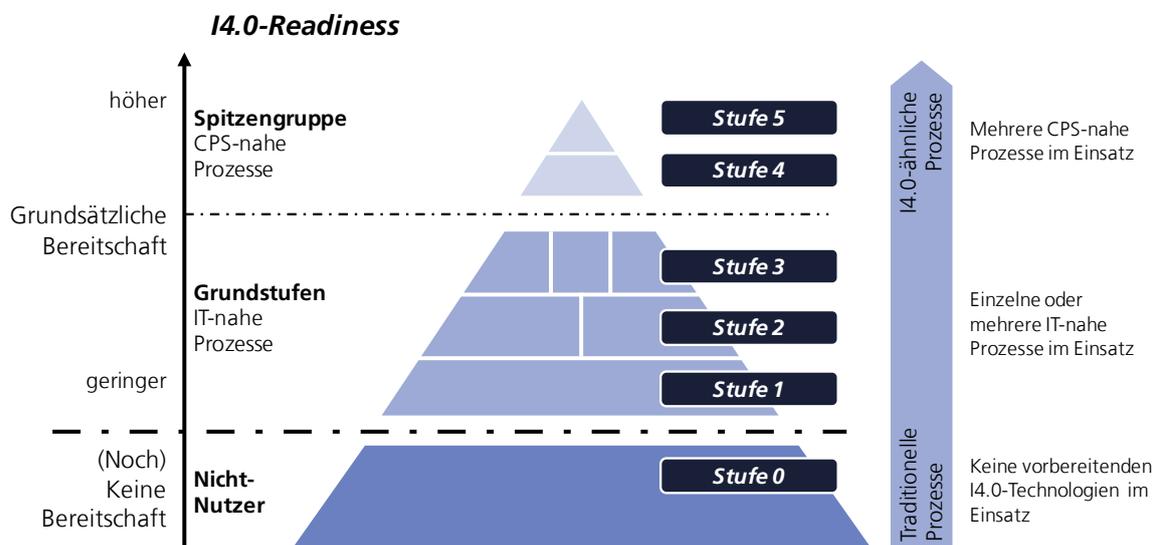


Abbildung 3: Bewertung entlang des I4.0-Readiness-Index, mit Hauptgruppen und individuellen Stufen

Mit jeder Stufe erhöht sich der I4.0-Readiness-Status bzw. verringert sich die Distanz zur vernetzten Produktion. Während in Stufe 0 (noch) keine Bereitschaft für I4.0 vorliegt, weisen Betriebe der Stufen 1 bis 5 eine grundsätzliche Bereitschaft auf. Betriebe, die bereits IT-nahe Prozesse nutzen (Stufe 1 und 2), weisen allerdings eine höhere I4.0-Distanz auf, als Betriebe der Stufen 3 bis 5, die bereits erste Elemente der vernetzten Produktion umsetzen. Allerdings ist auch bei den Stufen 4 und 5 nicht davon auszugehen, dass die

Schwelle zur I4.0 tatsächlich schon durchbrochen ist. Vielmehr hat sich nur die Distanz zur vernetzten Produktion verringert. Mithilfe dieses I4.0-Readiness-Index kann damit gut der Wandel von der traditionellen Produktion zu einer I4.0-nahen Produktion abgebildet werden. Betriebe mit einer höheren Stufe haben den Übergang bereits stärker vollzogen als Betriebe in den unteren Stufen.

4.2 I4.0-Readiness im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands

Wird der I4.0-Readiness-Index auf das Verarbeitende Gewerbe Deutschlands angewendet ergibt sich eine Verteilung auf die verschiedenen Stufen gemäß Abbildung 4. Ein recht hoher Anteil, fast ein Viertel aller Betriebe (23 Prozent) setzt bislang keinerlei I4.0-Befähigertechnologien in der Produktion ein. 62 Prozent aller Betriebe verfügen bereits über IT-nahe Prozesse in ihrer Produktion und bilden die Grundstufen. Diese Gruppe umfasst allerdings eine hohe Bandbreite. Hierunter fällt die Gruppe der Anfänger, die lediglich Technologien aus einem Feld einsetzen (20 Prozent; Stufe 1), die fortgeschrittenen Anfänger, die in zwei Technologiefeldern agieren (30 Prozent; Stufe 2), aber auch die bereits fortgeschrittenen Betriebe, die in allen drei Technologiefeldern aktiv sind und Techniken kombinieren (12 Prozent; Stufe 3).

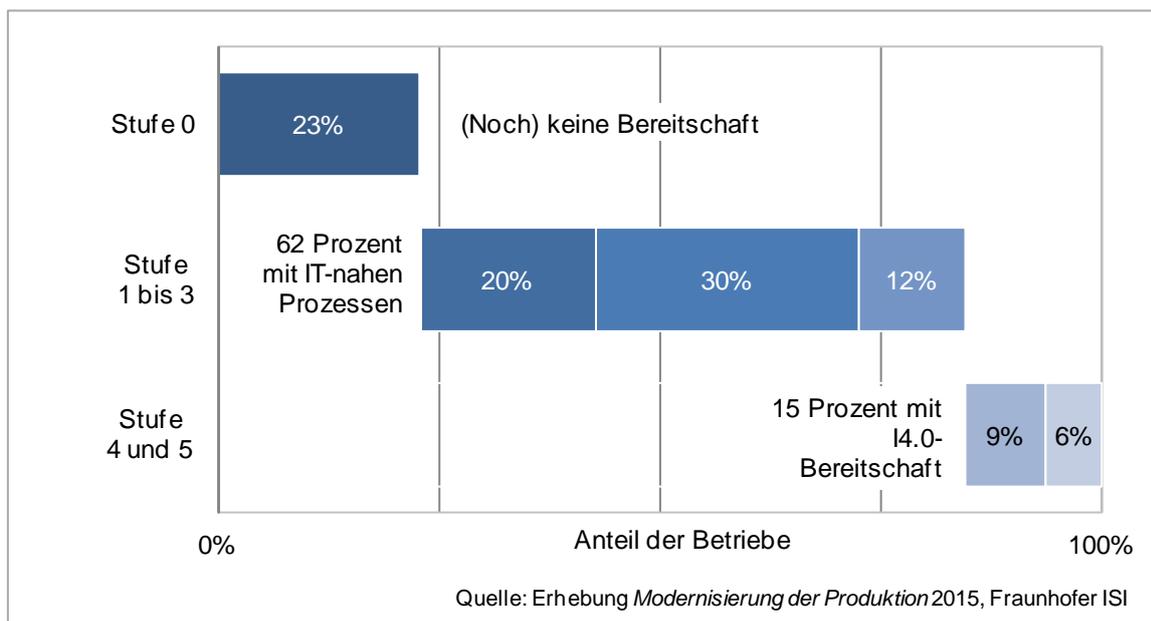


Abbildung 4: I4.0-Readiness-Profil des deutschen Verarbeitenden Gewerbes: Verteilung der Betriebe nach I4.0-Readiness-Stufen in Deutschland

In den beiden höchsten Stufen 4 und 5 setzt sich die Spitzengruppe von insgesamt 15 Prozent aller Betriebe ab. Etwa jedes sechste Unternehmen ist folglich in allen drei Technologiefeldern aktiv, und setzt nicht nur IT-nahe Prozesse, sondern auch mehrere CPS-nahe Prozesse gleichzeitig ein. Stufe 4 weist mit 9 Prozent einen etwas höheren Anteil an Betrieben auf als Stufe 5 mit 6 Prozent.

Der Blick auf das Verarbeitende Gewerbe Deutschlands zeigt, dass eine breite Masse an Nicht-Nutzern existiert. Ein großer Anteil des deutschen Produktionsstandorts vertraut demnach immer noch stark auf traditionelle Produktionsprozesse. Die Hauptgruppe der deutschen Industriebetriebe hat bislang eher zögerlich damit begonnen IT-nahe Prozesse einzusetzen. In den Grundstufen muss jedoch genauer differenziert werden, da auf der einen Seite die Gruppe der Anfänger genauso dazu zählt, wie die Gruppe der Fortgeschrittenen, und zwischen diesen beiden Gruppen große Unterschiede bestehen. Während die Gruppe der Anfänger den Nicht-Nutzern von der Art der Produktionsprozesse deutlich näher steht, bilden die fortgeschrittenen Betriebe eine Art Unterbau der Spitzengruppe und treten als nächstes in diese ein.

Die Spitzengruppe ist nicht nur in jedem der drei Technologiefelder aktiv, sondern setzt auch noch mehrere CPS-nahe Prozesse ein. Diese Betriebe kombinieren Echtzeitnahe Leitsysteme mit automatisierten Logistikprozessen und nutzen digitalen Datenaustausch mit Zulieferern und Kunden. In dieser Gruppe scheint sich bereits eine gewisse Bereitschaft hin zur Digitalisierung etabliert zu haben. Insbesondere die oberen 7 Prozent scheinen sich auf eine I4.0-nahe Produktion vorzubereiten oder versuchen diese bereits ansatzweise umzusetzen.

4.3 I4.0-Readiness nach Branche, Betriebs- und Produktionscharakteristika

Beim Blick auf die Größenstruktur zeigt sich wie auch bei Betrachtung der Einzeltechnologien, dass zwischen den Betriebsgrößen starke Unterschiede im I4.0-Readiness-Status existieren (vgl. Abbildung 5). Grundsätzlich gilt, dass große Betriebe eine sehr viel höhere I4.0-Bereitschaft aufweisen als kleine oder mittlere Betriebe und umgekehrt. Besonders deutlich wird dieser Befund bei den Nicht-Nutzern (Stufe 0) und bei der Spitzengruppe (Stufe 4 und 5). So setzen aktuell 37 Prozent der kleinen Unternehmen keinerlei I4.0-Befähigertechnologien (Stufe 0) ein, während dies bei mittleren Betrieben bei nur 15 Prozent und bei großen Betrieben sogar nur bei 5 Prozent der Fall ist. Bei der Spitzengruppe verhält es sich genau umgekehrt. Fast 40 Prozent aller großen Betriebe weisen mehrere CPS-nahe Prozesse auf und gehören damit zu den Betrieben mit der größten I4.0-Orientierung. Etwa jedes sechste mittlere Unternehmen schafft den Sprung in die Spitzengruppe, während dies lediglich bei jedem 14ten kleinen Betrieb zutrifft. Mittlere Betriebe wiederum weisen mit 69 Prozent den größten Anteil in den drei Grundstufen auf.

Insgesamt wird deutlich, dass eine relativ breite Masse an großen Betrieben bereits eine gewisse I4.0-Bereitschaft in ihrer Produktion aufweist. Großbetriebe nehmen also aktuell eine technologische Vorreiterrolle auf dem Weg zu einer I4.0-nahen Produktion in Deutschland ein. Ebenfalls zeigt sich, dass Betriebe mit mittlerer Größe eine starke Basis aufweisen, sodass sie zwar nicht zur Spitzengruppe gehört, aber teilweise IT-nahe Prozesse miteinander kombinieren und vereinzelt sogar auf CPS-nahe Prozesse zurückgreifen. Der Mittelstand kann daher durch eine gewisse Grundbereitschaft zur I4.0 gekenn-

zeichnet werden, wobei einige Unternehmen auch in der Spitze anzutreffen sind. Demgegenüber zeigt sich, dass gerade kleine Betriebe sehr zurückhaltend beim Einsatz der aktuell verfügbaren I4.0-Befähigertechnologien sind. Nur ein geringer Anteil der kleinen Betriebe rangiert in der Spitzengruppe, die Masse der kleinen Betriebe ist insbesondere in den unteren Readiness-Stufen oder sogar in der Gruppe der Nicht-Nutzer vertreten.

Mögliche Erklärungen für die großen Unterschiede in der I4.0-Readiness sind darin zu finden, dass kleine Betriebe eine knappere Ressourcenausstattung als große Betriebe haben und entsprechend weniger in den Einsatz neuer Produktionstechniken investieren (können). Ebenfalls ist der Zugang zu digitalem Know-how für kleine Betriebe sehr viel schwieriger als für Großunternehmen. Gleichzeitig ist auch zu beachten, dass aktuelle technologische Lösungen nicht in jedem Fall für den Einsatz in kleineren Unternehmen ausgelegt sind und kleinere Betriebe daher auch weniger Vorteile mit ihrem Einsatz erwirtschaften können.

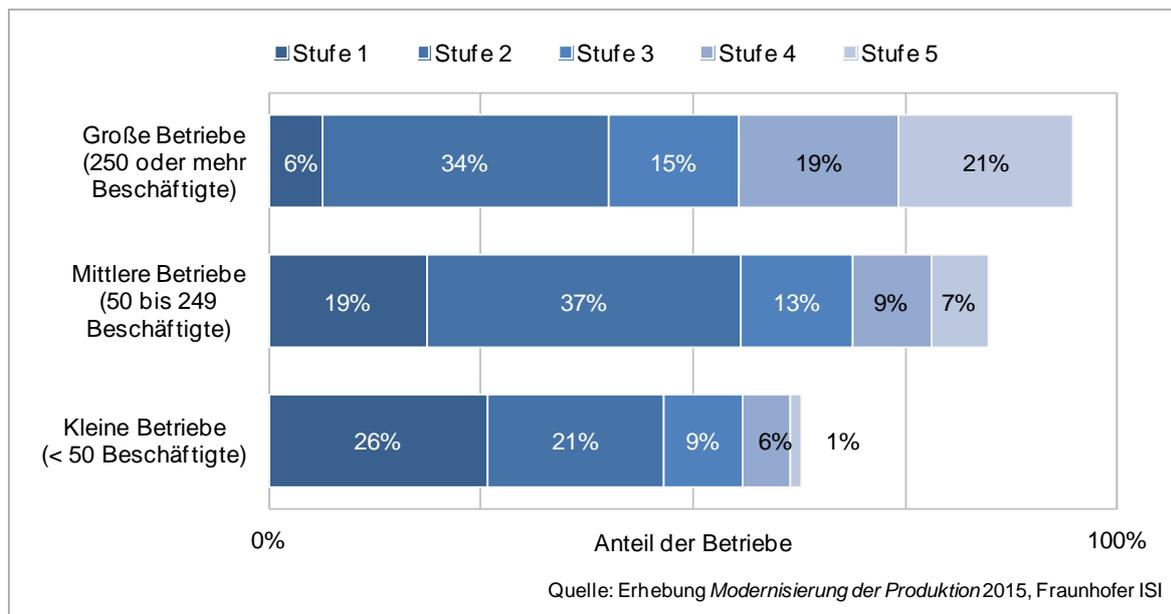


Abbildung 5: I4.0-Readiness nach Betriebsgröße

Auch im Branchenvergleich zeigen sich deutliche Unterschiede. In Abbildung 6 sind dazu die Anteile der Betriebe, die den drei Grundstufen (Stufe 1 bis 3) bzw. der Spitzengruppe (Stufe 4 und 5) zuzuordnen sind, für ausgewählte Branchengruppen dargestellt. Der fehlende, in der Grafik nicht dargestellte Anteil beschreibt entsprechend die Stufe 0 einer Branche. Wie aus der Abbildung hervorgeht, ist die Spitzengruppe jeweils besonders stark beim Fahrzeugbau, bei elektronischen und optischen Erzeugnissen und bei elektrischer Ausrüstung ausgeprägt. Hier liegen die Anteile der Spitzengruppe jeweils über 20 Prozent, was darauf hindeutet, dass in diesen Branchen bereits eine relativ hohe Bereitschaft zur I4.0 vorherrscht und diese eine entsprechende Vorreiterrolle einnehmen. Im mittleren Durchschnitt liegen mehrere Branchen, die von der Chemie und Maschinenbau (13 Prozent) bis zur Metallerzeugung und -bearbeitung (16, Prozent) reichen. Dahinter

folgen mit deutlichem Abstand die Hersteller von Nahrungs- und Genussmitteln mit 6 Prozent.

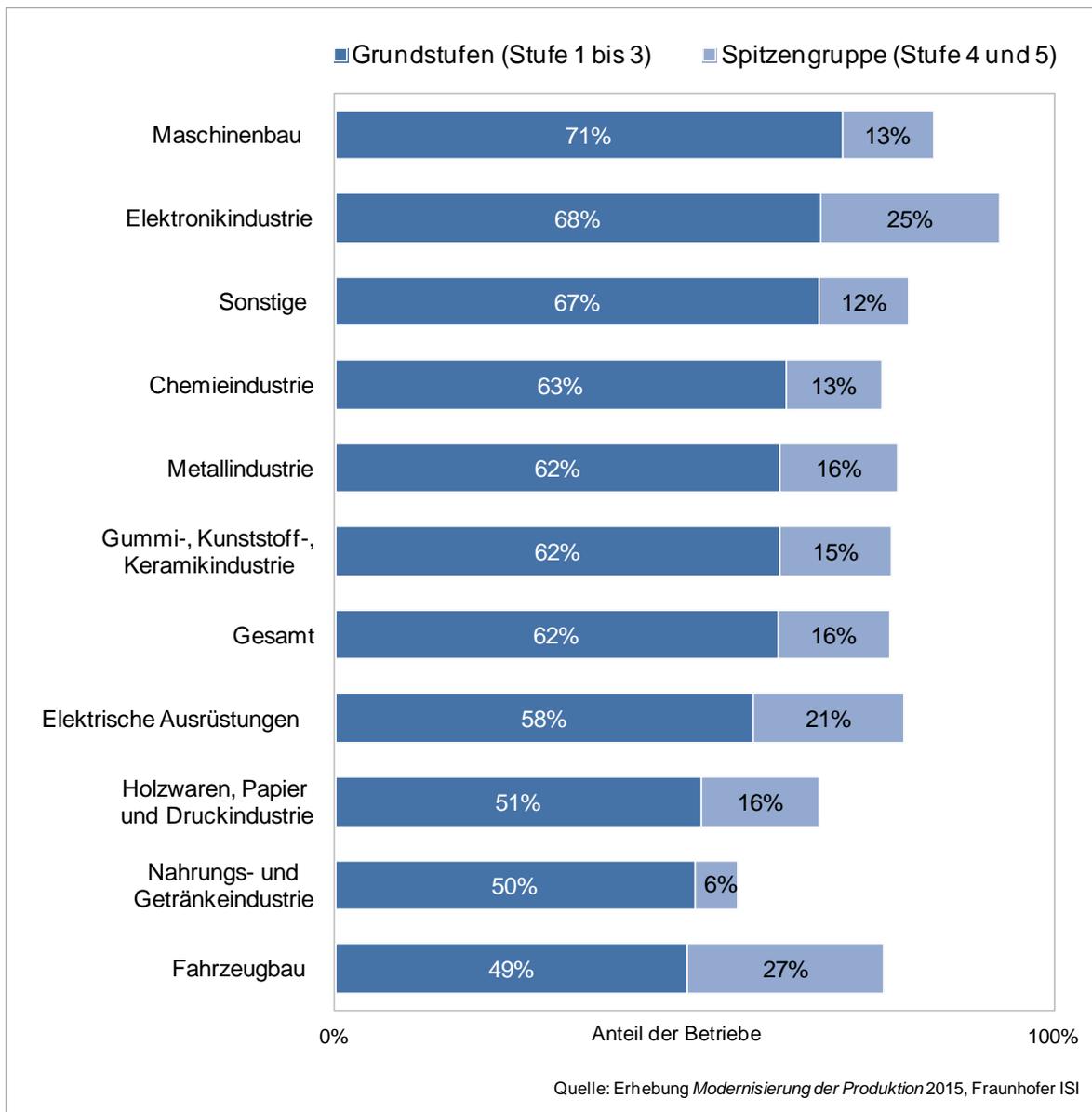


Abbildung 6: Grundstufen und Spitzengruppe im Branchenvergleich

In den Grundstufen ergibt sich bei einigen Branchen ein völlig anderes Bild. Eine besonders starke Mitte weist hier der Maschinenbau gemeinsam mit den Textil- und Lederwarenherstellern sowie den Herstellern von elektronischen und optischen Erzeugnissen auf. Bei diesen Branchen liegen die Anteile zwischen 67 und 73 Prozent. Im bundesweiten Vergleich liegen Branchen wie die Chemie, Gummi- und Kunststoffwaren oder Metallherzeugung und -bearbeitung im mittleren Durchschnitt. Mit teilweise deutlichem Abstand bilden das Schlusslicht der Fahrzeugbau, Nahrungs- und Genussmittel sowie Holz- und Papierwaren.

Die Differenzierung nach Grundstufen und Spitzengruppe macht im Branchenvergleich deutlich, dass auf dem Weg zur Industrie 4.0 zwischen der Basis und der Spitze differenziert werden muss. Erst diese Differenzierung erlaubt einen detaillierten Einblick in den aktuellen I4.0-Entwicklungsstand und bringt die Heterogenität der verschiedenen Branchen deutlich stärker zum Ausdruck.

Hersteller von elektronischen und optischen Erzeugnissen weisen sowohl eine starke Basis als auch eine starke Spitze auf, was sich darauf zurückführen lässt, dass diese Betriebe in ihrem Kerngeschäft grundsätzlich mit Elektronik und Automatisierung zu tun haben, und hierdurch gegenüber anderen Branchen im Vorteil sind. Die starke Spitze im Fahrzeugbau lässt sich sicherlich auch dadurch erklären, dass dort häufig große Betriebe in Großserien produzieren, wodurch ein struktureller Vorteil besteht. Darüber hinaus weist der Fahrzeugbau eine unterdurchschnittliche Basis auf. Die Chemiebranche, Gummi- und Kunststoffwaren sowie die Metallbranche liegen sowohl in der Spitzengruppe als auch in den Grundstufen im Durchschnitt. Der Maschinenbau weist eine schwache Spitze auf, dafür aber eine starke Basis und mit 17 Prozent einen sehr geringen Anteil an Betrieben ohne jegliche I4.0-Befähigertechnologien. Da der Maschinenbau eher durch mittelständische Strukturen geprägt ist und Betriebe häufig in Kleinserien produzieren, besteht für den Maschinenbau ein grundsätzlicher struktureller Nachteil, wodurch nur wenige Betriebe den Sprung in die Spitzengruppe schaffen. Ein insgesamt noch geringes Maß an grundsätzlicher Bereitschaft zur I4.0 ist bei Herstellern von Nahrungs- und Genussmitteln sowie von Textil- und Lederwaren festzustellen.

Neben der Branchen- und Größenbetrachtung existieren insbesondere noch produktionsstrukturelle Zusammenhänge zur I4.0-Readiness. Dies wird insbesondere bei der Produktkomplexität deutlich: Je komplexer die hergestellten Produkte, desto höher der Anteil der Betriebe in der Spitzengruppe. Ebenso ist der größte Anteil der Betriebe mit mittlerer Produktkomplexität in den drei Grundstufen zu finden und die breite Masse an Betrieben mit einfachen Produkten befindet sich in den unteren bis mittleren Stufen. 40 Prozent der Betriebe mit einfachen Produkten sind der Gruppe ohne jeglichen I4.0-Technologieeinsatz zugeordnet (Stufe 0). Entsprechend sind es lediglich 10 Prozent der Betriebe mit einfachen Produkten, die den Sprung in die Spitzengruppe schaffen (Stufe 4 und 5). Betriebe mit mittlerer Produktkomplexität befinden sich zu 65 Prozent in den Grundstufen und zu fast 14 Prozent in der Spitzengruppe. Bei Betrieben mit komplexen Produkten sind dies 15 Prozent (Stufe 0), 64 Prozent (Grundstufen) und 20 Prozent (Spitzengruppe).

Darüber hinaus ist ein unterschiedlicher I4.0-Readiness-Status in Abhängigkeit zur Seriengröße festzustellen. Betriebe mit Einzelfertigung sind nur zu geringen Anteilen in der Spitzengruppe zu finden (8 Prozent) und deutlich häufiger den Grundstufen oder der Stufe 0 zugeordnet. Betriebe mit Klein- und Mittelserienfertigung weisen immerhin einen Anteil von 13 Prozent in der Spitzengruppe auf, während es bei den Betrieben mit Großserienfertigung sogar 32 Prozent sind. Der I4.0-Readiness-Status nimmt also tendenziell mit zunehmender Seriengröße von Betrieben zu. Dies deutet darauf hin, dass Betriebe mit

großen Stückzahlen bessere Möglichkeiten zur Automatisierung und digitaler Vernetzung haben als Betriebe mit Einzelfertigung oder manueller Produktion.

Weiterhin ist ein Trend beim Unterschied zwischen Zulieferern und Nicht-Zulieferern festzustellen. Zulieferer sind zu 18 Prozent in der Spitzengruppe vertreten, während dies bei den Nicht-Zulieferern nur bei 13 Prozent der Fall ist. Dagegen sind 28 Prozent der Nicht-Zulieferer noch ohne jegliche I4.0-Bereitschaft (Stufe 0), während dies bei den Zulieferern lediglich 17 Prozent sind. Entsprechend lässt sich daraus ableiten, dass Zulieferer eine etwas höhere Bereitschaft zur Industrie 4.0 aufweisen als andere Betriebe.

Die beschriebenen Ergebnisse zeigen deutlich, dass der jeweilige I4.0-Readiness-Status eines Betriebs stark durch strukturelle Produktions- und Betriebscharakteristika geprägt ist. Für die einzelnen Betriebe existieren unterschiedliche strukturelle Vor- bzw. Nachteile beim Wandel zur I4.0. So nehmen große Betriebe eine Vorreiterrolle an der Spitze zur Vorbereitung auf die Industrie 4.0 ein, während kleine Betriebe sich eher noch auf die Basistechnologien fokussieren. Ebenso nimmt der Anteil der Betriebe mit einem hohen I4.0-Readiness-Status bei zunehmender Produktkomplexität und/oder Seriengröße zu. Betriebe mit komplexen Produkten oder Großserien weisen somit ein vergleichsweise höheres Maß an Bereitschaft für eine Industrie 4.0 auf als andere Betriebe. Diese strukturellen Zusammenhänge sind insbesondere auch bei einem Vergleich von Industrieregionen zu berücksichtigen und entsprechende Interpretationen bzgl. des I4.0-Entwicklungsstandes mit Blick auf die jeweilige Industriestruktur zu formulieren.

5 I4.0-Entwicklungsstand Baden-Württembergs im nationalen Vergleich

5.1 Industrieregionen im I4.0-Vergleich

Bei einem Vergleich verschiedener Industrieregionen lassen sich zwar Unterschiede feststellen, jedoch fallen diese insgesamt eher gering aus. In Abbildung 7 ist das I4.0-Readiness-Profil der baden-württembergischen Industrie dargestellt. Im Vergleich zum gesamten Verarbeitenden Gewerbe zeigt sich, dass insbesondere der Anteil der Betriebe, die noch ohne jegliche I4.0-Readiness sind (Stufe 0), in Baden-Württemberg deutlich kleiner ausfällt (16 ggü. 23 Prozent). Die Stufen 1 und 2, die Gruppen der Anfänger und der fortgeschrittenen Anfänger, liegen hingegen in Baden-Württemberg im nationalen Durchschnitt. Ein Unterschied existiert wieder bei den fortgeschrittenen Betrieben (Stufe 3), erneut zu Gunsten des baden-württembergischen Industriestandorts. Hier weist Baden-Württemberg einen Anteil von 17 Prozent auf und liegt damit 5 Prozentpunkte über dem nationalen Durchschnitt.

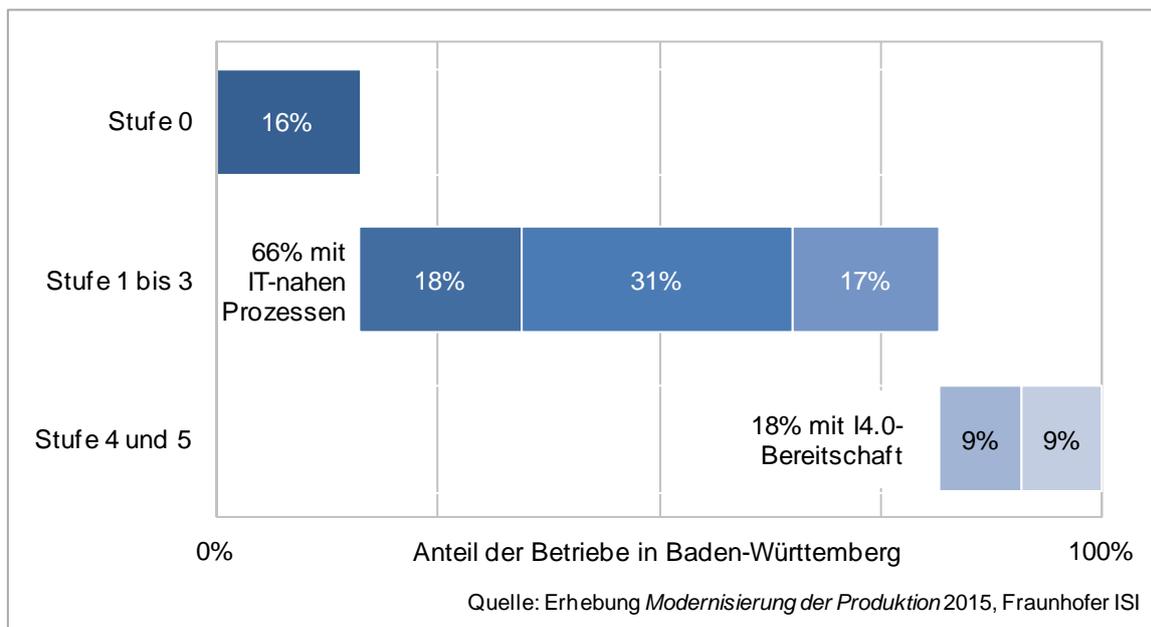


Abbildung 7: I4.0-Readiness-Profil Baden-Württembergs: Verteilung der Betriebe auf die I4.0-Readiness-Stufen

Eine Portfolio-Betrachtung wie in Abbildung 8 erlaubt einen deutlichen Vergleich zu anderen Industrieregionen Deutschlands. Die x-Achse bildet die Basis ab (Grundstufen), die y-Achse zeigt die Spitze der Betriebe auf dem Weg zur I4.0 (Spitzengruppe).

Diese Abbildung verdeutlicht, dass Baden-Württemberg die einzige Region ist, die sowohl in der breiten Basis als auch in der Spitze jeweils überdurchschnittlich vertreten ist. In Baden-Württemberg ist die Spitzengruppe nur etwas stärker ausgeprägt als im gesamten Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands. Immerhin 18 Prozent der baden-württem-

bergischen Betriebe schaffen den Sprung in die Spitze, während der nationale Vergleichswert hier bei 16 Prozent liegt. Dieser Unterschied kommt insbesondere durch den Anteil der Betriebe in Stufe 5 zustande, die in Baden-Württemberg überdurchschnittlich stark ausgeprägt ist. Im Vergleich zu den anderen Regionen nimmt Baden-Württemberg damit zusammen mit Nordrhein-Westfalen eine deutliche Spitzenstellung ein. In diesen beiden Industrieregionen schafft fast jedes fünfte Unternehmen den Sprung in die Spitzengruppe. Die Industrieregion Bayern und das Sachsendreieck erreichen hingegen nicht die 15 Prozentmarke. Auch die übrigen Regionen Deutschlands kommen in der Spitzengruppe durchschnittlich auf lediglich 13 Prozent.

Darüber hinaus wird mit dieser Portfolio-Betrachtung deutlich, dass verhältnismäßig mehr Betriebe in Baden-Württemberg bereits die anfänglichen Hindernisse auf dem Weg zur Industrie 4.0 überwunden haben als im nationalen Durchschnitt (vgl. Stufe 0). Auch gibt es einen höheren Anteil an Fortgeschrittenen (Stufe 3), also an Betrieben, die in allen drei Technologiefeldern aktiv sind und mehrere verschiedene I4.0-Befähigertechnologien miteinander kombinieren. Schließlich ist der Anteil der Betriebe, die mehrere CPS-nahe Prozesse einsetzen und kombinieren, also die Spitzengruppe, vergleichbar zum nationalen Durchschnitt ausgeprägter. Baden-Württemberg weist folglich mit weniger Nicht-Nutzern und einer breiteren Basis leichte Vorteile bzgl. der I4.0-Readiness gegenüber dem nationalen Durchschnitt auf.

In den Grundstufen (Stufen 1 bis 3) liegen alle Regionen zwischen 58 und 66 Prozent. Baden-Württemberg weist neben einer ausgeprägten Spitzengruppe auch die bereiteste Basis der Industrieregionen auf (66 Prozent). Mit etwas Abstand liegen Bayern und Sachsen nahezu gleich auf (61 bzw. 63 Prozent) dahinter. Nordrhein-Westfalen hingegen weist trotz einer großen Spitzengruppe eine vergleichsweise kleine Basis auf. Diese liegt mit 59 Prozent auf ähnlichem Niveau wie die der restlichen Regionen Deutschlands.

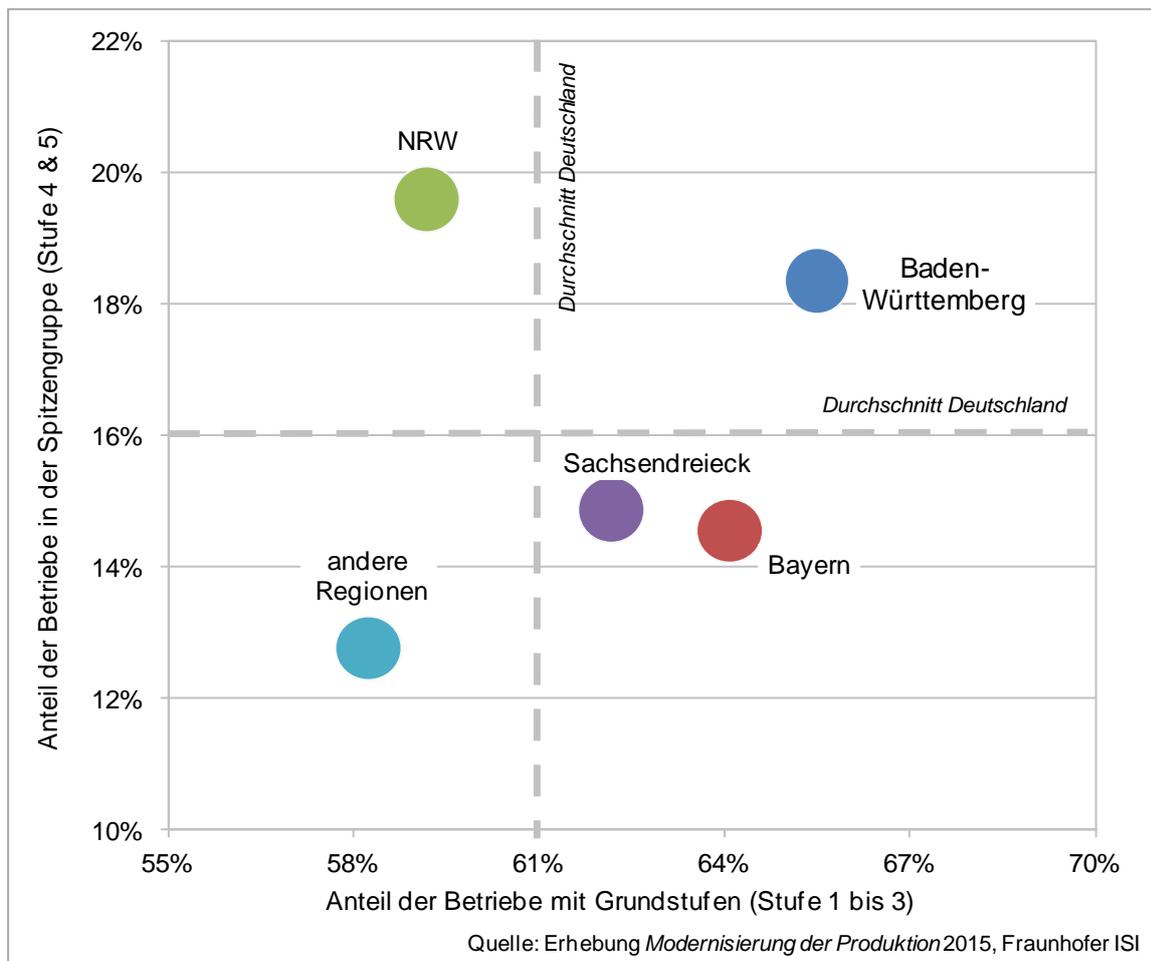


Abbildung 8: Vergleich der Basis (Stufen 1 bis 3) und der Spitze (Stufen 4 und 5) zwischen den Industrieregionen

Insgesamt wird mit der Portfolio-Betrachtung der I4.0-Charakter der verschiedenen Regionen zueinander deutlich. Baden-Württemberg ist demnach die einzige Region, die sowohl in der breiten Basis als auch in der Spitze jeweils überdurchschnittlich vertreten ist. Nordrhein-Westfalen weist zwar die stärkste Spitze auf, aber eine vergleichsweise schwache Basis. Bayern und das Sachsen-dreieck liegen in der Basis leicht über dem Durchschnitt, während die restlichen Regionen Deutschlands in der Spitze und bei der Basis unter dem Durchschnitt liegen.

Die gute Stellung Baden-Württembergs ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass die Gruppe der Nicht-Nutzer vergleichsweise klein ist. Baden-Württemberg ist die Industrieregion, in der die wenigsten Betriebe noch gar keine I4.0-Befähigertechnologien einsetzen. In allen anderen Industrieregionen liegt dieser Wert deutlich über 20 Prozent. Noch beeindruckender wird dieser Sachverhalt, wenn man die Spitzengruppe und die Gruppe der Nicht-Nutzer miteinander ins Verhältnis setzt (vgl. Abbildung 9). Hier zeigt sich, dass Baden-Württemberg das deutlich beste Verhältnis zugunsten der Spitzengruppe aufweist und mehr Vorreiterbetriebe dort angesiedelt sind als Nicht-Nutzer. Diese Struktur verhilft

dem Industriestandort zu einem insgesamt leicht überdurchschnittlichen Readiness-Status.

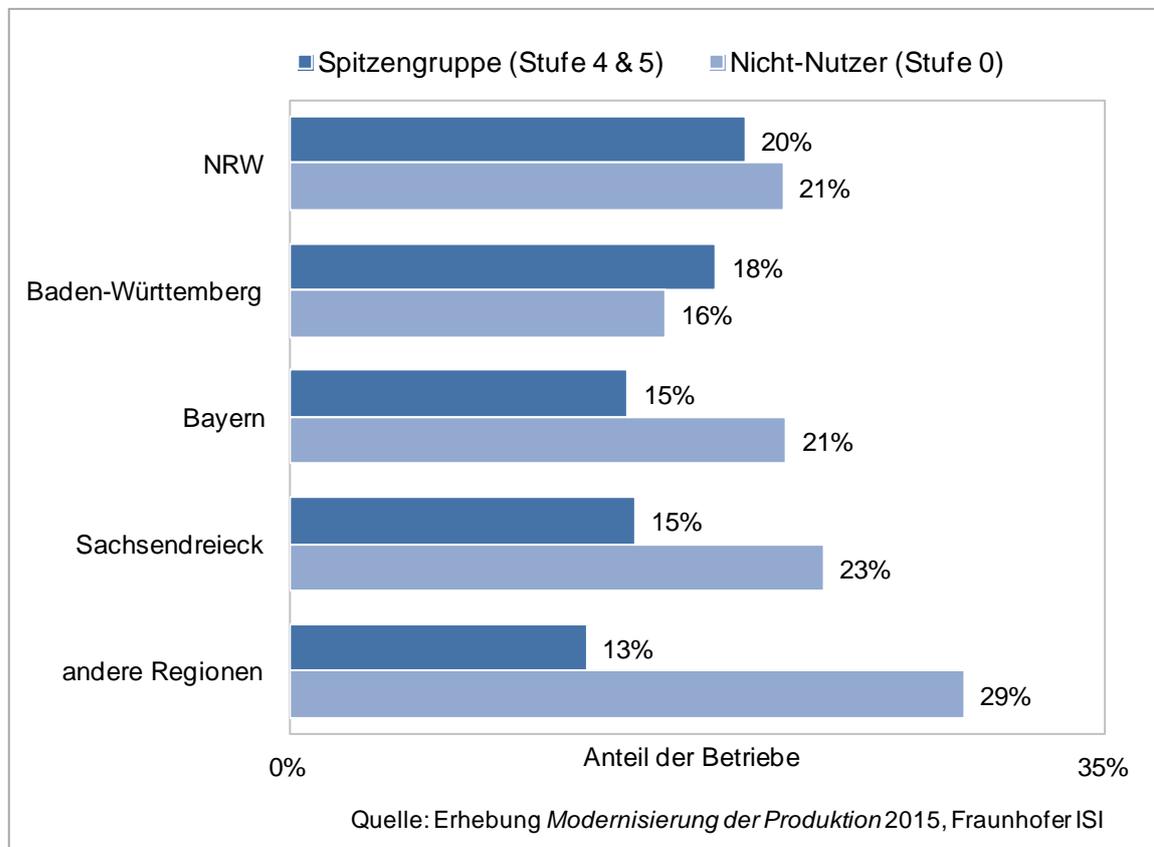


Abbildung 9: Vergleich der Spitzengruppe und der Nicht-Nutzer zwischen den fünf Industrieregionen

Diese vergleichsweise gute Position Baden-Württembergs lässt sich grundsätzlich auf die Industriestruktur zurückführen. Traditionell in Baden-Württemberg angesiedelte Branchen wie der Fahrzeug- und Maschinenbau prägen die Industrie. Wie sich bei der Branchenbetrachtung zeigte, ist der Maschinenbau stark in der Basis, der Fahrzeugbau hingegen stark in der Spitze. Entsprechend lässt sich schlussfolgern, dass durch den Maschinenbau Baden-Württemberg vor allem in der Basis gut aufgestellt ist, während der Fahrzeugbau insbesondere für eine gut ausgeprägte Spitze sorgt. Die Metallbranche, die ebenfalls breit in Baden-Württemberg vertreten ist, liegt jeweils im Durchschnitt. Durch diese Branchenstruktur hat die Industrieregion Baden-Württemberg strukturelle Vorteile und kommt zu einem insgesamt etwas über dem Durchschnitt liegenden I4.0-Readiness-Status.

5.2 Der Mittelstand im I4.0-Regionenvergleich

Auch der in Baden-Württemberg angesiedelte Mittelstand (KMU) ist im regionalen Vergleich gut aufgestellt. 14 Prozent des baden-württembergischen industriellen Mittelstands schaffen den Sprung in die Spitzengruppe. Gemeinsam mit Nordrhein-Westfalen liegt Baden-Württemberg damit wieder an der Spitze der Regionen. Bayern fällt bzgl. der Spit-

zengruppe bei der Mittelstands-Betrachtung ab, und sogar hinter den Durchschnitt der verbleibenden Regionen Deutschlands (9 Prozent bzw. 11 Prozent). Der Mittelstand in Sachsen ist ebenfalls relativ gut aufgestellt und hat einen Anteil von über 12 Prozent der Betriebe in der Spitzengruppe vertreten.

Baden-Württemberg weist beim Mittelstand zwei Auffälligkeiten auf. Zum einen ist die Gruppe der Nicht-Nutzer (Stufe 0) von allen Regionen am geringsten ausgeprägt. Lediglich 19 Prozent der kleinen und mittelständischen Betriebe setzen keine vorbereitenden I4.0-Technologien ein. Die Werte der anderen Regionen liegen hier zwischen 23 und 32 Prozentpunkten. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass bereits vier von fünf KMU in Baden-Württemberg zumindest IT-nahe Prozesse einsetzen und erste Schritte für eine digitale Vernetzung ihrer Produktion gegangen sind.

Zum anderen ist die Gruppe der Fortgeschrittenen (Stufe 3) mit großem Abstand am stärksten ausgeprägt. Hier stehen 18 Prozent deutlich geringeren Anteilen in den anderen Regionen gegenüber (8 und 14 Prozent). Das bedeutet, dass der "Unterbau" der Spitzengruppe bzw. diejenige Gruppe, die als nächstes in die Spitzengruppe vordringt, im baden-württembergischen Mittelstand am stärksten von allen Regionen ausgeprägt ist. Jedes dritte KMU (32 Prozent) ist in den drei oberen Readiness-Stufen zu finden. In Nordrhein-Westfalen und im Sachsendreieck ist dies zum Vergleich etwa ein Viertel der Betriebe, und in Bayern sowie in den restlichen Regionen Deutschlands nicht ganz ein Fünftel der Betriebe (vgl. Abbildung 10).

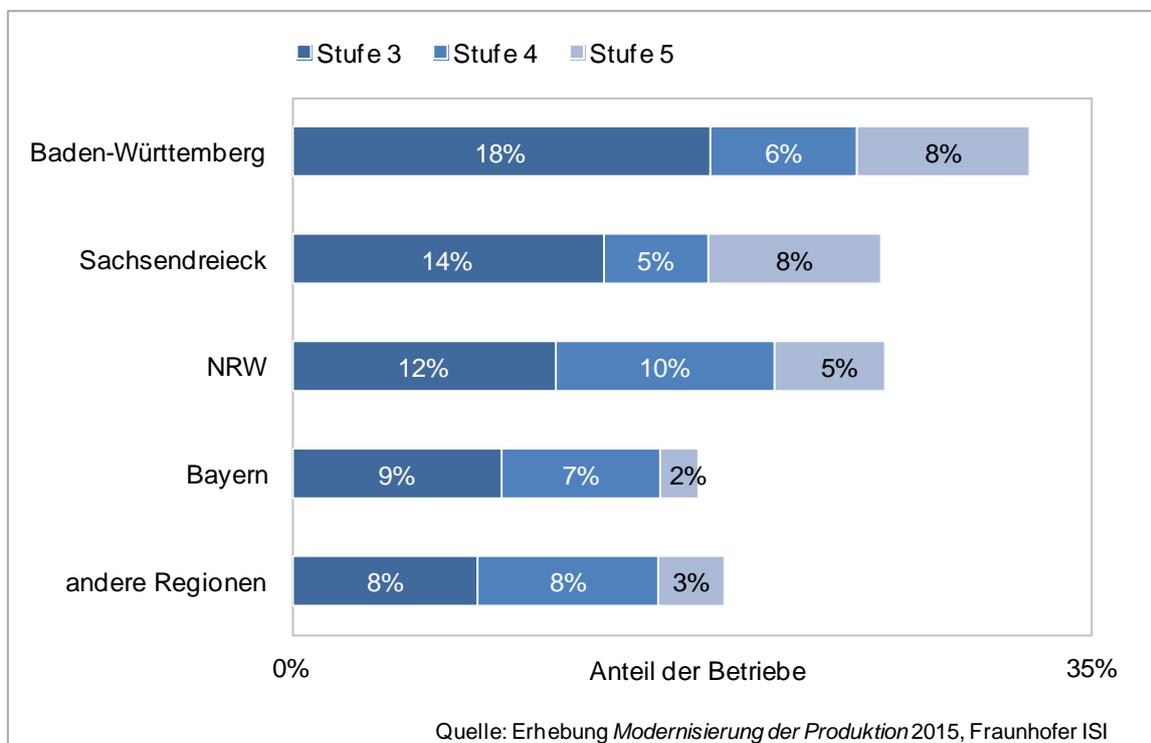


Abbildung 10: Regionaler Vergleich des Mittelstands (KMU) in den oberen drei I4.0-Readiness-Stufen.

Der baden-württembergische Mittelstand zeichnet sich also insgesamt durch eine gut ausgeprägte Spitzengruppe mit starkem Unterbau sowie gleichzeitig mit einem nur geringen Anteil an Nicht-Nutzern aus. Diese Verteilung führt folglich auch beim Mittelstand zu einem überdurchschnittlichen I4.0-Entwicklungsstand. Auch für die gute Position des Mittelstands ist auf die strukturellen Vorteile Baden-Württembergs zu verweisen, die sich durch die Branchen- und Betriebsstruktur ergeben (vgl. oben).

6 Zusammenfassung und Fazit

6.1 Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse

Insgesamt zeigt die vorliegende Studie, dass die Mehrheit der Betriebe erst damit begonnen hat bzw. sich noch sehr zögerlich verhält, den Wandel zur digital vernetzten Produktion anzugehen. Etwa ein Viertel der Betriebe weist noch keinerlei Vorbereitungsaktivitäten auf, 60 Prozent der Betriebe haben begonnen erste IT-nahe Prozesse einzusetzen. Lediglich 15 Prozent der Betriebe scheinen sich i.S. der Industrie 4.0 auf eine digital vernetzte Produktion vorzubereiten. Bei der großen Mehrheit der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland kann also, abgesehen von einigen Ausnahmen, von einer tendenziell geringen I4.0-Vorbereitungsaktivität gesprochen werden.

Einer der zentralen Befunde dieser Studie liegt darin, dass der I4.0-Entwicklungsstand eines Betriebs stark durch strukturelle Produktions- und Betriebscharakteristika geprägt ist. Große Unternehmen haben aufgrund ihres einfacheren Zugangs zu finanziellen Ressourcen und digitalem Know-how deutliche Vorteile gegenüber kleinen Betrieben und setzen dementsprechend sehr viel häufiger I4.0-Befähigertechnologien ein. Weiterhin haben Betriebe mit einer Großserienproduktion ein deutlich höheres Automatisierungspotenzial und ein entsprechend höheres Verwertungspotenzial für I4.0-Technologien als Betriebe mit manueller Kleinserienfertigung. Insbesondere die genauere Betrachtung der Spitzengruppe sowie der Gruppe der Nicht-Nutzer führt dabei zu zwei grundsätzlichen Schlussfolgerungen:

Zum Ersten fokussieren I4.0-Technologien derzeit darauf, noch brach liegende Automatisierungspotenziale zu heben. Entsprechend werden Lösungen insbesondere für große Unternehmen angeboten, die Endprodukte in Großserien herstellen. Weitere Anwendungsmöglichkeiten der I4.0 insbesondere für KMU und Betriebe mit Kleinserienfertigung scheinen derzeit noch zu fehlen. In diesen Produktionsbereichen kommen nur vereinzelte IT-nahe Prozesse zum Einsatz, die von einer digital vernetzten Produktion aber noch weit entfernt sind.

Zum Zweiten ist zu befürchten, dass KMU mit manueller Einzelfertigung oder höherer Arbeitsintensität von der digitalen Vernetzung und dem digitalen Wandel abgekoppelt werden. Entsprechend besteht die Gefahr, dass sich zwei gegensätzliche Produktionswelten entwickeln und zukünftig eine Schwere zwischen Industrie 4.0 einerseits und traditionellen Produktionsprozessen andererseits entsteht.

Sollte sich die Entwicklung der beiden angesprochenen Gruppen (Nicht-Nutzer bzw. Spitzengruppe) so fortsetzen, würde eine digital vernetzte Produktion insbesondere bei großen Endproduktherstellern entstehen, mit hohem Automatisierungsgrad und Großserienfertigung. KMU, die hingegen eher am Anfang von Wertschöpfungsketten angesiedelt sind und in Einzelfertigung oder in manueller, arbeitsintensiverer Produktion arbeiten, verbleiben hingegen bei den traditionell bewährten Produktionsprozessen. Dieses starke

"digitale Gefälle" wäre dann nicht nur zwischen Unternehmensgruppen, sondern vermutlich auch vom Anfang bis zum Ende der Wertschöpfungskette vorhanden. Ob solch eine Entwicklung negative Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit des Industriestandorts Deutschland hätte, lässt sich anhand dieser Untersuchung nicht weiter spezifizieren.

Zum Dritten ergibt sich für den Industriestandort Baden-Württemberg im deutschlandweiten Vergleich ein vergleichsweise guter I4.0-Entwicklungsstand. Baden-Württemberg weist die deutlich kleinste Gruppe an Nicht-Nutzern, d.h. an Betrieben ohne jegliche I4.0-Vorbereitungsaktivitäten, auf. Allerdings ist diese insbesondere auf die industrielle Struktur und die in Baden-Württemberg traditionell angesiedelten Branchen zurückzuführen.

Auch der in Baden-Württemberg angesiedelte Mittelstand ist überdurchschnittlich aktiv bei I4.0-Vorbereitungen. Jedes dritte KMU setzt bereits CPS-nahe Prozesse ein. Durch die relativ kleine Gruppe an Nicht-Nutzern und einem relativ starken Mittelstand ist Baden-Württemberg aktuell nicht ganz so stark vom "digitalen Gefälle" betroffen wie andere Industrieregionen Deutschlands. Je nach branchenspezifischer Dynamik oder bei einer beschleunigenden Entwicklung kann sich dies aber auch relativ schnell wieder ändern.

6.2 Innovationspolitische Implikationen

Anhand der Erkenntnisse dieser Untersuchung lassen sich drei verschiedene Gestaltungsfelder für innovationspolitische Handlungsoptionen ableiten:

Ein erstes Handlungsfeld besteht sicherlich darin, insbesondere kleine, aber auch mittlere Unternehmen beim digitalen Wandel stärker zu unterstützen. Mögliche Maßnahmen hierfür wären dabei sicherlich anfängliche Hürden und Barrieren zu überwinden, mehrere IT-nahe Prozesse miteinander zu vernetzen und Zugang zu digitalem Know-how sicherzustellen.

Ein weiteres Handlungsfeld stellt die Schaffung neuer I4.0-Anwendungsfelder jenseits der I4.0-dominierten automatisierten Großserienfertigung dar. Während aktuelle Lösungen insbesondere darauf abzielen, Automatisierungspotenziale zu heben, könnten neue Anwendungsfelder sich einer stärkeren Flexibilisierung von Kleinserien, einer stärkeren Wandlungsfähigkeit der Produktion oder der Schaffung neuer Innovationspotenziale durch datenbasierte Geschäftsmodelle widmen.

Ein drittes Handlungsfeld ist sicherlich darin zu sehen, das bereits stark vorhandene "digitale Gefälle" zwischen Betrieben und innerhalb von Wertschöpfungsketten einzudämmen bzw. zu versuchen abzubauen. Eine zentrale Lösung besteht dabei sicherlich darin, einerseits KMU-spezifische I4.0-Lösungen zu unterstützen und andererseits eine ganzheitliche Digitalisierung innerhalb der gesamten Wertschöpfungskette voranzutreiben. Hierdurch kann gegebenenfalls ein stärkeres Auseinanderklaffen zweier Produktionswelten verhindert werden.

7 Literatur

- Bauernhansl, T. (2014): Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma, In: Bauernhansl, T./ten Hompel, M./Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer, 5-35.
- Beckert, B./Buschak, D./Hägele, M./Jäger, A./Moll, C./Schmoch, U./Wydra, S. (2015): Automatisierung und Robotik-Systeme. In *Studien zum deutschen Innovationssystem* Nr. X-2016.
- Bildstein, A. (2014): Industrie 4.0-Readiness: Migration zur Industrie 4.0-Fertigung, In: Bauernhansl, T./ten Hompel, M./Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer, 581-597.
- Broy, M. (Hg.) (2010): *Cyber-physical systems. Innovation durch softwareintensive eingebettete Systeme*. Berlin, Heidelberg: Springer (Acatech diskutiert).
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2014): *BMBF-Foresight Zyklus II, Forschungs- und Technologieperspektiven 2030*. Zwischenergebnis 3, Berlin 2014.
- Geissbauer, R./Schrauf, S./Koch, V./Kuge S. (2014): *Industrie 4.0 - Chancen und Herausforderungen der vierten Industriellen Revolution*. Frankfurt: PricewaterhouseCoopers Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (Hrsg.).
- Gram, M./Gugg, C. (2013): Einsatzmöglichkeiten von Cyber-Physical Systems im Lebenszyklusmanagement von Anlagen, *Industrie Management*, 29, 39-43.
- Heng, S. (2014): *Industrie 4.0 - Upgrade des Industriestandorts Deutschland steht bevor*. DB Research Management: Aktuelle Themen. Frankfurt 2014.
- Hutle, M. (2013): Zukunft der Industriesysteme. Vernetzung und Sicherheit, *Industrie Management*, 29, 62-64.
- Jasperneite, J. (2012): Alter Wein in neuen Schläuchen? *Computer & Automation 12/2012*, WEKA FACHMEDIEN GmbH, Haar.
- Kagermann, H./Wahlster, W./Helbig, J. (2013): *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0*. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Hg. v. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V. Frankfurt am Main.
- Kagermann, H. (2014): Chancen von Industrie 4.0 nutzen, In: Bauernhansl, T./ten Hompel, M./Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer, 603-603.

- Kinkel, S./Maloca, S. (2010): Flexibilitäts- und Stabilitätsstrategien in der deutschen Industrie. Muster und Erfolgsfaktoren verschiedener Betriebstypen, Mitteilungen aus der ISI-Erhebung *Modernisierung der Produktion*, Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Kletti, J. (2013): Das MES der Zukunft. MES 4.0 unterstützt Industrie 4.0, *Productivity Management*, 18, 17–20.
- Jäger, A./Maloca, S. (2016): *Dokumentation der Umfrage Modernisierung der Produktion 2015*, Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Som, O. (2012): *Innovation without R&D – Heterogeneous Innovation Patterns of Non-R&D-Performing Firms in the German Manufacturing Industry*. Wiesbaden: SpringerGabler.
- Spath, D. (Hg), Oliver Ganschar, Stefan Gerlach, Moritz Hämmerle, Tobias Krause, Sebastian Schlund (2013): *Studie Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Tukker, A. (2004): Eight types of product–service system. *Business Strategy and the Environment*, 13, 246–260.
- Zanker, C./Som, O./Buschak, D. (2014): *Industrieller Mittelstand: Spitzenstellung in Gefahr? Analyse der Innovationsfähigkeit kleiner und mittlerer Unternehmen in der Metropolregion Stuttgart*. Stuttgart: IHK Stuttgart (Hrsg.).