



Hochschule Karlsruhe  
Technik und Wirtschaft  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

**ILIN** Institut für Lernen und  
Innovation in Netzwerken

 **Fraunhofer**  
ISI

# Wertschöpfungspotenziale 4.0

Bewertung der ungenutzten Wertschöpfungspotenziale der baden-württembergischen und deutschen Industrie in Zeiten der Digitalisierung der Wertschöpfung

Autoren

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft  
ILIN Institut für Lernen und Innovation in Netzwerken  
Steffen Kinkel, Sebastian Beiner, Arndt Schäfer

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI  
Heidi Heimberger, Angela Jäger

Mit freundlicher Unterstützung durch

 **infpro**  
Institut für  
Produktionserhaltung e.V.

Gefördert durch

  
**Baden-Württemberg**  
MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU





Hochschule Karlsruhe  
Technik und Wirtschaft  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

**ILIN** Institut für Lernen und  
Innovation in Netzwerken



## Wertschöpfungspotenziale 4.0

Bewertung der ungenutzten Wertschöpfungspotenziale der baden-württembergischen und deutschen Industrie in Zeiten der Digitalisierung der Wertschöpfung

### Autoren

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

ILIN Institut für Lernen und Innovation in Netzwerken

Steffen Kinkel, Sebastian Beiner, Arndt Schäfer

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Heidi Heimberger, Angela Jäger

Mit freundlicher Unterstützung durch:



Gefördert durch:



**Baden-Württemberg**

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU



# INHALT

---

<b>Executive Summary</b>	<b>7</b>
<b>1 Ausgangslage</b>	<b>11</b>
<b>2 Forschungsdesign</b>	<b>12</b>
<b>3 Stand der Forschung zum Zusammenspiel der Konzepte Lean und Industrie 4.0</b>	<b>14</b>
3.1 Lean-Prinzipien	14
3.2 Industrie 4.0	16
3.3 Kombination beider Konzepte – Stand der Forschung	17
3.3.1 Gemeinsamkeiten von Lean Prinzipien und Industrie 4.0-Methoden	17
3.3.2 Zusammenspiel beider Konzepte	19
<b>4 Breitenempirische Analyse zur Nutzung und zum Zusammenspiel von Lean und Industrie 4.0</b>	<b>22</b>
4.1 Fragestellungen und Datengrundlage der Untersuchung	22
4.1.1 Zielsetzung und Forschungsfragen des Kapitels	22
4.1.2 Hintergrund zur Datenerhebung	23
4.1.3 Maße für die Anwendung von Lean-Prinzipien	23
4.1.4 Maße für den Einsatz von I4.0-Befähigertechnologien	24
4.1.5 Weitere wichtige Kenngrößen	25
4.2 Lean-Prinzipien im Verarbeitenden Gewerbe	27
4.2.1 Verbreitung von Lean-orientierten Organisationskonzepten	27
4.2.2 Beschreibung des Lean-Index	30
4.2.3 Lean-Index im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands	31
4.2.4 Verbreitung nach Betriebs- und Produktionscharakteristika	32
4.2.5 Lean-Nutzung im regionalen Vergleich	37
4.3 Industrie 4.0-Readiness im Verarbeitenden Gewerbe	39
4.3.1 Grundsätzlicher Verbreitungsgrad I4.0-naher Technologien	39
4.3.2 Beschreibung des Industrie 4.0-Readiness Index	40

4.3.3	I4.0-Readiness Index im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands	42
4.3.4	I4.0-Readiness nach Branche, Betriebs- und Produktionsgröße	43
4.3.5	Industrie 4.0-Readiness im regionalen Vergleich	46
<b>4.4</b>	<b>Zusammenspiel von Lean-Prinzipien und I4.0-Readiness</b>	<b>47</b>
<b>4.5</b>	<b>Lean-Prinzipien und betriebliche Performance</b>	<b>50</b>
<b>4.6</b>	<b>Zwischenfazit</b>	<b>56</b>
<hr/>		
<b>5</b>	<b>Resultate der Experteninterviews</b>	<b>58</b>
<b>5.1</b>	<b>Vorgehensweise und befragte Unternehmen</b>	<b>58</b>
5.1.1	Charakterisierung der Produktionen	59
5.1.2	Aktuelle Herausforderungen	60
5.1.3	Produktivitätssteigerung	61
5.1.4	Wertschöpfungstiefe	63
<b>5.2</b>	<b>Lean Production</b>	<b>64</b>
5.2.1	Anwendung von Lean Production	64
5.2.2	Ungenutzte Potenziale von Lean-Prinzipien	65
5.2.3	Effekte der Umsetzung von Lean Production	67
5.2.4	Lean Prinzipien und deren Anwendung	68
5.2.5	Fördernde und hemmende Faktoren bei der Einführung von Lean-Prinzipien	70
5.2.6	Lean in indirekten Bereichen	74
5.2.7	Ökologische Auswirkungen des Einsatzes von Lean-Prinzipien	76
<b>5.3</b>	<b>Industrie 4.0 – Digitalisierung der Produktion</b>	<b>77</b>
5.3.1	Anwendung und Umsetzung von Industrie 4.0	78
5.3.2	Barrieren und Erfolgsfaktoren der Einführung von Industrie 4.0	81
<b>5.4</b>	<b>Zusammenspiel der Konzepte</b>	<b>84</b>
5.4.1	Die Anwendung von Lean-Prinzipien vor der Digitalisierung von Produktionsprozessen	85
5.4.2	Der Einsatz von digitalen Technologien vor der Anwendung von Lean-Prinzipien	86
5.4.3	Die parallele Anwendung von Lean-Prinzipien und digitalen Technologien	87
5.4.4	Fazit Experteninterviews allgemein	87

---

6	Stand und Entwicklung der Produktivität im deutschen und baden-württembergischen Verarbeitenden Gewerbe	90
6.1	Wertschöpfungsstruktur	90
6.2	Arbeitsproduktivität	91
6.2.1	Nach Regionen	92
6.2.2	Nach Branchen	94
6.3	Extrapolation der Potenziale des Einsatzes von Lean-Prinzipien für Produktivität und Wertschöpfung	95

---

7	Fazit	98
	Glossar	101
	Literaturverzeichnis	105
	Anhang	112

## TABELLENVERZEICHNIS

---

Tabelle 4-1:	Lineare Regression der Bestimmungsfaktoren auf Betriebsebene für Arbeitsproduktivität (als Logarithmus)	51
Tabelle 4-2:	Niveau der Arbeitsproduktivität (Wertschöpfung je Mitarbeiter) in Abhängigkeit von der Ausschöpfung der Lean-Potenziale	53
Tabelle 4-3:	Lineares Regressionsmodell der Bestimmungsfaktoren auf Betriebsebene für den Logarithmus Ausschussquote	54
Tabelle 5-1:	Übersicht über Branche, Mitarbeiterzahl und Umsatz der befragten Fabriken, bzw. Unternehmen	59
Tabelle 5-2:	Charakterisierung der Produktionen	59
Tabelle 5-3:	Aktuelle Herausforderungen der Unternehmen	60
Tabelle 5-4:	Übersicht über angewendete Lean Prinzipien	69
Tabelle 6-1:	Niveau der Arbeitsproduktivität (Wertschöpfung je Mitarbeiter) in Abhängigkeit von der Ausschöpfung der Lean-Potenziale	96



## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

---

Abbildung 3-1: Gemeinsamkeiten von Lean Manufacturing und Industrie 4.0	18
Abbildung 4-1: Regionale Abgrenzung der Bundesländer Deutschlands	26
Abbildung 4-2: Nutzung und geplante Nutzung der Lean-Prinzipien im Verarbeitenden Gewerbe Deutschland	28
Abbildung 4-3: Einführungsjahr der Lean-Organisationskonzepte im Verarbeitenden Gewerbe	29
Abbildung 4-4: Bewertung entlang des Lean-Index im Verarbeitenden Gewerbe	30
Abbildung 4-5: Verteilung des Lean-Index im Verarbeitenden Gewerbe	31
Abbildung 4-6: Umsetzung von Lean-Prinzipien nach Betriebsgröße.	32
Abbildung 4-7: Umsetzung von Lean-Prinzipien nach Seriengröße	34
Abbildung 4-8: Umsetzung von Lean-Prinzipien nach Fertigungsart	35
Abbildung 4-9: Umsetzung von Lean-Prinzipien nach Branchen	36
Abbildung 4-10: Index der Lean-Nutzung nach Regionen	38
Abbildung 4-11: Nutzung und geplante Nutzung der Digitalisierungstechnologien im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands	39
Abbildung 4-12: Einführungsjahr der Digitalisierungstechnologien im Verarbeitenden Gewerbe	40
Abbildung 4-13: Schematische Darstellung des I4.0-Readiness-Index mit Hauptgruppen und individuellen Stufen	41
Abbildung 4-14: I4.0-Index im Verarbeitenden Gewerbe	42
Abbildung 4-15: I4.0-Bereitschaft nach Betriebsgröße	44
Abbildung 4-16: I4.0-Bereitschaft nach Produktkomplexität	44
Abbildung 4-17: I4.0-Bereitschaft nach Branchen	45
Abbildung 4-18: Vergleich der I4.0-Basisanwender und Spitzengruppe innerhalb der Industrieregionen	46
Abbildung 4-19: Umsetzung von Lean-Prinzipien und I4.0-Readiness	48
Abbildung 4-20: Mittleres Einführungsjahr [Median] der Lean-Organisationskonzepte und I4.0- Befähigertechnologien	50
Abbildung 5-1: durchschnittliche, jährliche Produktivitätssteigerung	62
Abbildung 5-2: Wertschöpfungstiefe der befragten Unternehmen	63
Abbildung 5-3: Lean-Production Umsetzungsgrad der befragten Unternehmen	65

Abbildung 5-4: Maßnahmen und Lean Prinzipien sowie deren Einflüsse auf ökologische Faktoren	76
Abbildung 5-5: Industrie 4.0 - Umsetzungsgrad	78
Abbildung 6-1: Wertschöpfungsstruktur des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland	91
Abbildung 6-2: Arbeitsproduktivität (Bruttowertschöpfung zu Herstellkosten je Erwerbstätigem) des Verarbeitenden Gewerbes, aufgeteilt nach Regionen in Deutschland	92
Abbildung 6-3: Verlauf der Arbeitsproduktivität (Bruttowertschöpfung zu Herstellungspreisen je Beschäftigtem) des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland, aufgeschlüsselt nach Branchen	94

## Executive Summary

### HINTERGRUND UND ZIEL DER STUDIE: WELCHE POTENZIALE BIETEN LEAN-PRINZIPIEN UND INDUSTRIE 4.0 ZUR STEIGERUNG VON PRODUKTIVITÄT UND WERTSCHÖPFUNG?

Der Industrielle Sektor hat für die deutsche Wirtschaft, insbesondere für Baden-Württemberg eine besondere Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit und Innovationskraft. Um im Hochlohnland Deutschland umfassend Wertschöpfung betreiben und hochwertige Produkte zu konkurrenzfähigen Preisen herstellen zu können, ist eine hohe Produktivität von großer Wichtigkeit und somit wesentlich für den Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit.

Der stetige Produktivitätszuwachs der deutschen Industrie der letzten Jahre<sup>1</sup> findet seit 2018 ein Ende. Die Arbeitsproduktivität geht von 2017 bis 2019 um etwa 1% pro Jahr zurück. **Diese stagnierende und sogar rückläufige Produktivitätsentwicklung im deutschen Verarbeitenden Gewerbe stellt eine große Herausforderung** für den sekundären Sektor dar. Von umso größerer Bedeutung ist es, Konzepte zu prüfen und umzusetzen, die eine nachhaltige und dauerhafte Steigerung der Produktivität versprechen. Dieses Streben entgegen des dargelegten Trends gewinnt weiter an Wichtigkeit, werden die mittel- und langfristigen Auswirkungen der aktuellen Gesundheits- und Wirtschaftskrise infolge der Covid-19 Pandemie in Betracht gezogen.

Vor diesem Hintergrund untersucht vorliegende Studie in einem Mixed-Methods-Ansatz<sup>2</sup> die Wertschöpfungspotenziale, welche durch den konsequenten Einsatz von Konzepten des Lean Managements und der Industrie 4.0 zusätzlich zu realisieren wären. Dazu wurden zum einen qualitative Experteninterviews mit Vertretern von acht exzellenten Produktionsunternehmen geführt. Zum anderen wurde eine breitenempirische Erhebung mit Angaben von insgesamt 1.256 Betrieben in Deutschland, durchgeführt vom Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI, zur Abschätzung der Effekte einer umfänglichen Anwendung genannter Konzepte ausgewertet. Die ermittelten Effekte dienen als Grundlage zur Extrapolation von ungenutzten Wertschöpfungspotenzialen zur Verbesserung der gesamtwirtschaftlichen Produktivitätsentwicklung in Deutschland.

Die Erkenntnisse der Studie zeigen deutlich, dass wesentliche Wertschöpfungspotenziale in der deutschen Industrie schlummern, welche bisher noch nicht gehoben wurden. Der Einsatz von Lean-Prinzipien wie auch Industrie 4.0-Technologien ist noch nicht konsequent genug ausgeschöpft. Vor allem durch die konsequente Nutzung von Lean-Prinzipien im Produktionsumfeld, so zeigen es die Analysen, **können Wertschöpfungspotenziale von bis zu 95 Mrd. € erzielt werden.**

---

<sup>1</sup> Im Mittel etwa 2% pro Jahr über die Jahre 2010-2018.

<sup>2</sup> Mixed-Methods-Ansätze beschreiben die Kombination verschiedener empirischer Methoden (quantitativ und qualitativ). Im Fall dieser Studie sind dies ein leitfadengestützte Experteninterviews mit einer quantitativen Umfrage.

Durch den Einsatz in indirekten Bereichen und die sinnhafte Implementierung von Technologien der Industrie 4.0 können diese zudem noch bedeutend erhöht werden.

### LEAN-PRINZIPIEN BERGEN NOCH ERHEBLICHE WERTSCHÖPFUNGSPOTENZIALE

Der **durchschnittliche Lean-Umsetzungsgrad** der Betriebe des deutschen Verarbeitenden Gewerbes liegt auf einer Skala von 0 bis 7 bei 2,2 – also **gerade einmal etwa 30%**. Bemerkenswert ist zudem, dass fast 20% der deutschen Industriebetriebe keines der sieben abgefragten Lean-Konzepte nutzen. Auch Unternehmen, die für exzellente Wertschöpfungskonzepte und die konsequente Umsetzung der verschwendungsfreien Produktion ausgezeichnet wurden, sehen mit einem mittleren Lean-Umsetzungsgrad von 67% noch Potenziale bei der Umsetzung von Lean-Prinzipien. Insgesamt wird damit überaus deutlich, dass in der deutschen Industrie hier noch **beträchtliche unausgeschöpfte Umsetzungspotenziale** bestehen.

Über die Wertschöpfungspotenziale der Anwendung von Lean in der Produktion hinaus bestätigen die befragten Experten weitere Potenziale, welche in der **Anwendung in indirekten Bereichen** liegen. Neben ökonomischen Auswirkungen können Lean-Prinzipien zudem auch zur **Erreichung ökologischer Ziele** dienen, beispielsweise durch Reduktion von Maschinenleerläufen, geringeren Energieverbrauch oder gesteigerte Ressourceneffizienz.

### TECHNOLOGIEN DER INDUSTRIE 4.0 WERDEN IN GERINGEREM AUSMASS GENUTZT

Im Vergleich zur Anwendung von Lean-Prinzipien in der Produktion liegt die **Umsetzung von Industrie 4.0 Technologien**, beziehungsweise Technologien zur digitalen Vernetzung in der Produktion, **noch zurück**. Dies betrifft sowohl die als Vorreiter identifizierten Unternehmen, als auch den Bundesdurchschnitt des Verarbeitenden Gewerbes. Lediglich 18% der deutschen Industriebetriebe finden sich in der Spitzengruppe der Technologienutzung, welche die Stufen 4 und 5 (von den möglichen Stufen 0 bis 5) umfasst. Dies liegt u.a. an der schwierigen Abschätzung von Kosten und Nutzen potenzieller Anwendungen von Industrie 4.0 Technologien, welche die Durchdringung insbesondere in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) noch zu hemmen scheint.

### DIE KONZEPTE LEAN UND INDUSTRIE 4.0 ERGÄNZEN SICH GUT

Die Kombination beider Konzepte ist sinnvoll und verspricht in besonderem Maße, Wertschöpfungspotenziale zu realisieren. **Hierbei stellt Lean in den meisten Anwendungsfällen das führende Konzept dar**, welches durch den Einsatz digitaler Technologien unterstützt, erweitert und verstärkt wird. Die Digitalisierung der Produktion, unabhängig von Prozessverbesserungen mittels Lean-Prinzipien, führt nicht zwangsläufig zu Produktivitätszuwächsen. Einfach formuliert ist es weder sinnvoll noch vorteilhaft, schlecht organisierte Prozesse mit hohem Verschwendungsanteil zu digitalisieren, denn die **Digitalisierung ineffizienter Prozesse führt zu schlechten digitalen**

**Prozessen.** Für die Beziehung zwischen Lean-Prinzipien und Industrie 4.0 lässt sich für die Industriebetriebe in Deutschland feststellen: **Je höher der Lean-Einsatz in einem Unternehmen, desto höher dessen I4.0-Anwendung und umgekehrt.**

Wesentliche **Erfolgsfaktoren**, als auch Hindernisse bei der Implementierung beider Konzepte sind primär im personellen Bereich zu verorten. Die **Mitnahme und Beteiligung der Beschäftigten** durch Führungskräfte und die **Etablierung und das Vorleben einer Leitkultur** sind elementar. Zudem müssen eine gewisse **Beharrlichkeit, Durchhaltevermögen und Risikobereitschaft** an den Tag gelegt werden, da monetäre Auswirkungen in vielen Fällen erst mittelfristig sichtbar werden.

### **BADEN-WÜRTTEMBERG BEFINDET SICH SOWOHL BEI DER UMSETZUNG DER KONZEPTE, ALS AUCH BEI DER PRODUKTIVITÄT IN EINER SPITZENPOSITION**

Es zeigt sich, dass **Baden-Württemberg** bei der Umsetzung der Konzepte im Vergleich zu den anderen Regionen und Bundesländern eine führende Rolle einnimmt. So steht das Bundesland bei der **Nutzung von Lean-Prinzipien** in der Produktion mit einem mittleren Lean-Indexwert von 2,6 (Mittelwert insgesamt: 2,2) **an erster Stelle**. Bei der Anwendung von Industrie 4.0 nahen Technologien findet sich Baden-Württemberg in den Top Drei wieder.

Die Untersuchung der durchschnittlichen Arbeitsproduktivität der Bundesländer im Verarbeitenden Gewerbe zeigt deutlich, dass Baden-Württemberg auch hier eine der ersten drei Positionen einnimmt. Diese Rolle ist u.a. auf die hohe Forschungsintensität und besondere Branchenstruktur des Bundeslandes zurückzuführen. Trotz der bereits umfänglichen Nutzung der Lean-Konzepte sowie der hohen Arbeitsproduktivität **ergeben sich aber auch für Baden-Württemberg noch erhebliche Wertschöpfungspotenziale** durch den erweiterten Einsatz von Lean-Prinzipien.

### **LEAN KANN DIE PRODUKTIVITÄT UND QUALITÄT POSITIV BEEINFLUSSEN**

Die Nutzung von Lean-Prinzipien wirkt sich sowohl **positiv auf die Qualität der Produktion, als auch auf die Arbeitsproduktivität aus**. Für die Produktionsqualität stellt der Grad der Einführung von Lean-Prinzipien nach der Branche des Betriebs sowie der Fertigungsart den dritt wichtigsten Erklärungsfaktor dar. Für die Produktivität des Arbeitseinsatzes stellt die Nutzung von Lean-Prinzipien einen von mehreren identifizierten Erklärungsfaktoren mit einem signifikant positiven Einfluss dar.

Auch **der Einsatz von Industrie 4.0 Technologien hat einen positiven, im Vergleich zu den Potenzialen der Lean-Prinzipien aber limitierten Einfluss auf die Arbeitsproduktivität**. Die Qualität der Produktion, abgebildet durch die Ausschussquote, ist nicht abhängig von der digitalen Vernetzung.

## **DIE UMFÄNGLICHE NUTZUNG VON LEAN-PRINZIPIEN IM VERARBEITENDEN GEWERBE BIRGT EIN UNGESCHÖPFTES WERTSCHÖPFUNGSPOTENZIAL VON ETWA 95 MILLIARDEN €**

Mittels der unausgeschöpften Potenziale der Umsetzung von Lean-Prinzipien werden Wertschöpfungspotenziale des deutschen Verarbeitenden Gewerbes extrapoliert. **Bei einer umfangreichen Ausschöpfung der Lean-Potenziale liegt der Vorsprung bei der Arbeitsproduktivität gegenüber einem durchschnittlichen Betrieb bei etwa 14 %.** Dies entspräche bei einem mittleren jährlichen Produktivitätszuwachs von 2,2 % im deutschen Verarbeitenden Gewerbe einem Produktivitätsvorsprung von etwa 6,5 Jahren. Bei einer Bruttowertschöpfung zu Herstellungspreisen im deutschen Verarbeitenden Gewerbe von etwa 667 Milliarden € im Jahr 2019 lässt sich daraus ein **unausgeschöpftes Wertschöpfungspotenzial von etwa 95 Milliarden €** abschätzen. In Abhängigkeit von der Beschäftigungsentwicklung nach der COVID-19-Krise scheint damit durch umfangreiche Lean-Nutzung ein Wertschöpfungspotenzial von etwa 81 bis 101 Milliarden € realistisch.

## **DIE ANWENDUNG VON LEAN PRINZIPIEN IN INDIREKTEN BEREICHEN BIRGT NOCH WEITERE WERTSCHÖPFUNGSPOTENZIALE**

Neben dem ermittelten Wertschöpfungspotenzial der Anwendung von Lean-Prinzipien in der Produktion bestätigen die befragten Experten weitere Potenziale, welche in der **Anwendung in indirekten Bereichen** liegen. Der bisher geringere Durchdringungsgrad von solchen Organisationsprinzipien in Bereichen wie etwa Entwicklung, Auftrags- und Vertriebsmanagement, Controlling oder Entwicklung lässt **noch weitergehende, erhebliche Wertschöpfungspotenziale vermuten.**

# 1 Ausgangslage

Die Zukunftssicherung der Industrie in Baden-Württemberg ist ein äußerst wichtiges Anliegen. Denn die produzierende Industrie spielt in Baden-Württemberg eine zentrale Rolle für die Wettbewerbsfähigkeit und Innovationskraft des Landes. So trägt das Produzierende Gewerbe (ohne Baugewerbe) in Baden-Württemberg 33,7 % (2019) zur Bruttowertschöpfung des Landes bei, während es in Deutschland insgesamt einen Anteil von 24,2 % an der gesamtwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung aufweist (Statistisches Bundesamt, 2020b). Dies ist ein klares Indiz für die hohe Bedeutung der Industrie in Baden-Württemberg. Um im Hochlohnland Deutschland mehr Wertschöpfung zu betreiben, bzw. Produkte zu konkurrenzfähigen Preisen anbieten zu können, ist eine hohe Produktivität von großer Wichtigkeit und somit wesentlich für den Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit.

Der stetige Produktivitätszuwachs der deutschen Industrie der letzten Jahre findet seit 2018 ein Ende. Die Arbeitsproduktivität geht von 2017 bis 2019 um 1% pro Jahr zurück. Von umso größerer Wichtigkeit ist es, Konzepte zu prüfen und umzusetzen, die eine nachhaltige und dauerhafte Steigerung der Produktivität versprechen. Dieses Streben, entgegen des dargelegten Trends, gewinnt weiter an Wichtigkeit, werden die mittel- und langfristigen Auswirkungen der aktuellen Gesundheits- und Wirtschaftskrise infolge der Covid-19 Pandemie in Betracht gezogen.

Die Industrie in Baden-Württemberg verfügt dazu über hervorragende Voraussetzungen. Diese beruhen zum einen auf der grundsätzlichen Innovationsstärke der baden-württembergischen Industrie. So geht die überlegene FuE-Intensität von Baden-Württemberg mit 4,76 % (Statistisches Bundesamt, 2020a) fast ausschließlich auf die Wirtschaft zurück. In Baden-Württemberg kommen 84 % der FuE-Ausgaben aus der Wirtschaft (2018), verglichen mit 69 % in Deutschland (Statistisches Bundesamt, 2020a). Hinzu kommt ein starker Maschinen- und Anlagenbau, der im Zusammenspiel mit einer vorrangig industriell ausgerichteten Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) als führender „Fabrikaurüster der Welt“ gilt. Dies belegt die hohe Innovationskraft und die guten Voraussetzungen Baden-Württembergs für einen erfolgreichen Wandel hin zu einer „Industrie 4.0“.

Aktuelle Studien zeigen, dass die erfolgreiche Implementierung und Nutzung von Technologien und Systemen der Industrie 4.0 nicht ohne eine konsequente Nutzung von Lean-Prinzipien in der Produktion geht und dies eine wesentliche Voraussetzung zur erfolgreichen Einführung von Industrie 4.0 darstellt (BearingPoint, 2017; Dombrowski & Richter, 2016; Kinkel et al., 2016a; Staufen AG / PTW, 2016

## 2 Forschungsdesign

Vor dem dargestellten Hintergrund ist es Ziel dieser Studie, den Einsatz und die Nutzungsintensität sowohl von Lean-Prinzipien, als auch von Industrie 4.0 Anwendungen qualitativ und quantitativ zu ermitteln. Hierbei gilt es auch zu untersuchen, welche Muster und Zusammenhänge sich bei der Kombination beider Konzepte ergeben.

Des Weiteren stellen sich folgende Fragen: Welche Auswirkungen bringt ein umfassender Einsatz von Lean-Prinzipien und Industrie 4.0 Anwendungen mit sich? Mit welchen Performanceindikatoren kann der Erfolg gemessen werden? Welche Kennzahlen werden positiv, welche ggf. negativ beeinflusst? Welche Hindernisse müssen exzellente Unternehmen bei der Implementierung überwinden?

Aus diesen Fragen ergeben sich Beispiele „guter Praxis“ als anspornender „Benchmark“ für andere Unternehmen. Es sollen die Effekte der Nutzung beider Konzepte ermittelt und daraus die ungenutzten Potenziale für die verschiedenen Bereiche der Produktion abgeleitet werden. Die resultierenden Produktivitätseffekte und erschließbaren Wertschöpfungspotenziale für die gesamte baden-württembergische und deutsche produzierende Industrie sollen auf die volkswirtschaftliche Ebene hochgerechnet werden.

Mit den Ergebnissen sollen die vermuteten, erheblichen Wertschöpfungspotenziale von Lean-Prinzipien in der deutschen Industrie schlüssig und nachweisbar aufgezeigt werden. Diese bilden eine enorme Chance zur Steigerung der Produktivität, der Wettbewerbsfähigkeit und dienen somit der Standortsicherung und dem Erhalt von Arbeitsplätzen.

Zur Erreichung der Ziele sind im Rahmen der vorliegenden Studie zunächst einschlägige Literatur, relevante Publikationen und Studien, beziehungsweise Erfahrungsberichte zur Nutzung von Lean-Prinzipien sowie deren Zusammenspiel mit Industrie 4.0-Aktivitäten untersucht worden.

Weiterhin ist die aktuelle Erhebung *Modernisierung der Produktion 2018* des Fraunhofer Instituts für System- und Innovationsforschung ISI ausgewertet worden. Diese breiteste Erfassung von Modernisierungstrends im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands führt das Fraunhofer ISI regelmäßig seit 1995 durch. Die repräsentative Stichprobe von 1.256 Betrieben gibt Aufschluss über den Stand und die Entwicklung wichtiger Indikatoren in unterschiedlichen Innovationsfeldern und Modernisierungsbereichen. Dadurch kann ein belastbares Bild der baden-württembergischen und deutschen Industrie, was den Einsatz von Lean-Prinzipien und Industrie 4.0 betrifft, gezeichnet werden.

Bestandteil der Studie sind zudem leitfadengestützte Experteninterviews mit exzellenten Industrieunternehmen und Vorreitern bei der erfolgreichen Umsetzung innovativer Organisationskonzepte. Dadurch wird deutlich, wie die Umsetzung solcher Konzepte gelingen kann und was nötig ist, um möglichst positive Effekte realisieren zu können.



Anhand von Daten des statistischen Landes- und Bundesamtes wird eine Analyse der Arbeitsproduktivität und Gesamtfaktorproduktivität des baden-württembergischen und deutschen verarbeitenden Gewerbes durchgeführt. Diese Analysen bilden die Basis, um die einzelbetrieblich abgeschätzten Produktivitätseffekte und deren Aggregate für Branchen und Bundesländer dann auf das gesamte deutsche Verarbeitende Gewerbe hochrechnen zu können.

Zuletzt werden die ermittelten positiven Effekte der Nutzung von Lean-Prinzipien und Industrie 4.0 Aktivitäten auf das gesamte Verarbeitende Gewerbe Deutschlands extrapoliert. Dadurch entsteht eine Abschätzung möglicher, durch die Anwendung von Lean-Konzepten realisierbarer und bisher ungenutzter Wertschöpfungspotenziale.

### 3 Stand der Forschung zum Zusammenspiel der Konzepte Lean und Industrie 4.0

→ Glossar

Seit Beginn der 90er Jahre sind *Lean-Prinzipien* zu einem zentralen Baustein für die Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen geworden (Dombrowski & Mielke, 2015; Dreher et al., 1995; Lay et al., 1996; Pfeiffer & Weiß, 1994; Staufen AG / PTW, 2016; Womack et al., 1991). Weitreichende Bekanntheit erreichten Lean-Prinzipien durch die Veröffentlichung der Ergebnisse der 10-jährigen, großen MIT-Studie in der Automobilindustrie mit dem Titel „The machine that changed the world“ (Womack et al., 1991). Damals wurden durch umfangreiche Fallstudien in der Automobilindustrie die großen Potenziale dieser Prinzipien offengelegt. Demnach sei mit diesen Methoden das Doppelte an Output mit der Hälfte des Ressourceneinsatzes und in der halben Zeit möglich (Womack et al., 1991). Daraufhin wurde Lean Production zum neuen Gral der Verbesserung und Optimierung der Produktion. Manager und Berater pilgerten nach Japan und ließen sich live die Lean-Prinzipien und ihre Funktionsweise erläutern. Durch konsequente Anwendung dieser Prinzipien schafften dann auch viele westliche Firmen den Weg zur Exzellenz. Als Beispiel sei nur Porsche genannt, dass sich mit Lean-Prinzipien vom schuldengeplagten Übernahmekandidaten zum profitabelsten Automobilhersteller der Welt wandelte.

→ Glossar

Insbesondere Technologien und Systemen der sogenannten *Industrie 4.0* werden heutzutage in der öffentlichen Debatte eine zentrale Rolle für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit der Industrie in Deutschland und Baden-Württemberg eingeräumt (Bauernhansl, 2014; Bühler & Bauer, 2014; Dworschak & Zaiser, 2014; Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013; Sandler, 2013; Spath et al., 2013).

#### 3.1 Lean-Prinzipien

Dieses Kapitel soll nicht nur eine kurze Charakterisierung von Lean-Prinzipien darlegen, sondern auch aufzeigen, in welchem Umfang die Anwendung von Lean-Prinzipien in deutschen Unternehmen Verbreitung findet. Dazu lässt sich das Anwenden von Lean-Prinzipien bzw. Lean-Management anhand seines zentralen Ziels beschreiben, bei dem es sich um die Vermeidung von Verschwendung in Unternehmen handelt. In der Theorie werden hierzu *sieben Arten der Verschwendung* (Transport, Bestände, Bewegung, Warten, Überproduktion, Über-komplexe Produkte/Prozesse, Ausschuss/Nacharbeit) unterschieden.

→ Glossar

##### Lean-Prinzipien

- Kontinuierliche Verbesserung
- Standardisierung
- Fluss-Prinzip
- Takt-Prinzip
- Mitarbeiterbeteiligung und zielorientierte Führung
- Null-Fehler Prinzip
- Visuelles Management

(VDI/VDE-Gesellschaft, 2012)

Zur Vermeidung ebendieser werden grundlegende Lean-Prinzipien angewendet.

In diesem Kontext stellt sich die Frage, ob und in welchem Umfang Firmen Lean-Prinzipien anwenden, um von den Vorteilen zu profitieren, die dadurch ermöglicht werden. Ein Blick in die Vergangenheit zeigt, dass bereits seit Mitte der 90er Jahre verschiedene Studien zur Diffusion von Lean-Prinzipien und neuen Produktionskonzepten in der deutschen Industrie durchgeführt wurden (Dreher et al., 1995; Kinkel & Wengel, 1997). Im Kern stellte sich immer wieder heraus, dass einige Vorreiterunternehmen diese Prinzipien bereits umfangreich nutzen, in der Breite der Betriebe aber noch erhebliche Nutzungspotenziale schlummerten. So zeigte sich beispielsweise Mitte der 90er Jahre, dass etwa 20-40 Prozent der deutschen Industriebetriebe einzelne Lean-Prinzipien nutzten, eine flächendeckende Nutzung der einzelnen Elemente aber nur in 5-20 Prozent der befragten Betriebe stattfand (Kinkel & Wengel, 1997).

Auch heute noch gibt es spürbare Unterschiede zwischen guten Unternehmen und Lean-Champions, was die Stringenz und Intensität des Vorgehens und teilweise auch die Auswahl der eingesetzten Methoden betrifft. Eine Studie der Staufen AG kommt zu dem Schluss, dass sich 28 Prozent der Unternehmen derzeit noch auf Stufe 1 der Lean-Umsetzung befinden und bisher lediglich einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess eingeführt haben. Bei lediglich 20 Prozent der befragten Unternehmen werden Lean-Prinzipien inzwischen auch in den indirekten Unternehmensbereichen genutzt (Staufen AG / PTW, 2016). Demnach fokussiert sich das Lean Management noch immer überwiegend auf die Produktion und auf produktionsnahe Bereiche wie die Logistik oder die Instandhaltung. Die restlichen Bereiche werden bislang selten miteinbezogen, sollen aber in den nächsten 10 Jahren verstärkt auch Lean-Prinzipien umsetzen, z.B. im Einkauf, der Administration und in der Entwicklung (Staufen AG / PTW, 2016).

Andere Untersuchungen widmen sich aus einer wissenschaftlichen Perspektive heraus der Frage, welche Potenziale durch die konsequente und ganzheitliche Nutzung von Lean-Prinzipien in Unternehmen erschlossen werden können. Die Einschätzung der erzielbaren Effekte ist fast durchweg positiv, allerdings werden diese selten konkret quantifiziert. In einer Studie der Staufen AG geben mehr als 90 Prozent der Befragten an, dass Lean Management die Produktivität und die Durchlaufzeit der internen Prozesse positiv beeinflusst (Staufen AG / PTW, 2016). Veröffentlichungen in internationalen, akademischen Zeitschriften zeigen zumeist anhand von Befragungsdaten, dass die Nutzung von Lean-Prinzipien in der Produktion die finanzielle Performance eines Unternehmens verbessert. Dies können direkte positive Auswirkungen auf die Rentabilität eines Unternehmens sein, gemessen als Umsatzrendite (Fullerton & Wempe, 2009), oder indirekte Wirkungen, indem die Produktivität erhöht und das gebundene Kapital reduziert (Yang et al., 2011) bzw. die Betriebskosten gesenkt werden (Hofer et al., 2012). Quantifizierungen der Effekte bleiben aber zumeist recht vage. Shah und Ward zeigen beispielsweise, dass die Umsetzung systemischer Bündel von Lean-Praktiken alleine etwa 23 % der operativen Performance von Industriebetrieben erklärt, auch wenn gleichzeitig auf andere Variablen wie der Branche oder Betriebsgröße kontrolliert wird (Shah & Ward, 2003). Die klarste Quantifizierung der mit

Lean-Methoden erzielbaren Effekte liefert eine Studie des Fraunhofer ISI aus dem Jahr 1996: Demnach erzielen Betriebe, die einzelne Lean-Praktiken in der Produktion nutzen, einen Produktivitätsvorsprung von 7 bis 19 Prozent gegenüber Betrieben, welche die jeweilige Methode nicht nutzen. Haben Betriebe mehrere zusammengehörende Lean-Elemente gleichzeitig realisiert, so beläuft sich der Produktivitätsvorsprung auf mehr als 30 Prozent. Gleichzeitig lässt sich auch die Ausschussquote in der Produktion um 30-40 Prozent sowie die Reichweite des Materialbestands um etwa 20 Prozent reduzieren (Dreher et al., 1995). Dies zeigt, dass die Nutzung von Lean-Prinzipien in der Produktion erhebliche Potenziale zur gleichzeitigen, systemischen Verbesserung der Produktivität, Qualität und Flexibilität impliziert.

Diese Potenziale als solches, aber auch die Synergieeffekte im Zusammenspiel mit der Anwendung digital vernetzter Produktionsprozessen (Industrie 4.0) zu quantifizieren, ist zentrales Ziel vorliegender Studie. Daher ist analog zu ergründen, worin die Potenziale digitaler Vernetzung in Fabriken liegen.

#### Säulen der Industrie 4.0

- Augmented reality
- Internet of Things
- Autonome Roboter
- Künstliche Intelligenz
- Big Data
- Simulation
- Cyber-Sicherheit
- Cloud-Computing
- Additive Fertigung (bspw. 3D-Druck)

(Mostafa et al., 2019; Shrouf et al., 2014; Smit et al., 2016; Vaidya et al., 2018)

## 3.2 Industrie 4.0

Der Begriff Industrie 4.0, ursprünglich als Kooperationsprojekt der deutschen Regierung mit Forschung und Wirtschaft ausgegeben, hat das Ziel durch Digitalisierung eine Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der inländischen Industrie.

Hierbei sollen autonome Netzwerke von Produktionsressourcen erforscht werden, welche in der Lage sind, auf verschiedene Situationen selbstständig und wissensbasiert zu reagieren. Die Produktionsressourcen sind räumlich dezentral verteilt, mit Sensoren ausgestattet und durch entsprechende Planungs- und Managementsoftware organisiert (Kagermann, Helbig et al., 2013; Kang et al., 2016).

Solche Systeme, bestehend aus physischen und Informationstechnischen Elementen, werden Cyber-Physische Systeme (CPS) genannt. Bei Implementierung von CPS in der Fabrik wird häufig von Smart Factory gesprochen. Diese intelligente Fabrik ist in der Lage, wesentliche Technologien der Industrie 4.0 in sich zu vereinen. Darüber hinaus zeichnet sich die Smart Factory durch die Vernetzung von Betriebsmitteln, Werkstücken und Werkern aus, sodass eine permanente Kommunikation der Elemente und dadurch eine sich selbst-organisierende sowie sich selbst optimierende Produktion ermöglicht wird (Benotsmane et al., 2019; Kovacs & Kot, 2016).

Deren Anwendung zielt auf eine Vielzahl ökonomischer und sozialer Effekte. So wird mittels einer Smart Factory angestrebt, die teils beträchtliche Komplexität zu beherrschen und die Flexibilität und Wandlungsfähigkeit zu steigern. So kann es gelingen, die Produktivität trotz volatiler externer Einflüsse zu erhöhen (Frank, 2014). Das Ziel von Smart Factories, ist ferner, die Produktion ressourceneffizient, nachhaltig, kundenorientiert und dadurch wettbewerbsfähig auszurichten (Lee et al., 2015; Stock & Seliger, 2016).

In der Praxis der Anwenderunternehmen erweist es sich als eine Herausforderung, einen Mehrwert aus dem Einsatz von Industrie 4.0 Technologien zu erkennen und zu generieren. (Dombrowski et al., 2015) Zudem stellt die adäquate und rational sinnvolle Einführung und praktische Anwendung einige Unternehmen vor große Hürden (Sanders et al., 2016; Schuh et al., 2019). Daher findet sich in der Literatur häufig die Empfehlung, Technologien der Industrie 4.0 im Zusammenspiel mit Prinzipien der Lean Production zu betrachten (Frank, 2014).

### 3.3 Kombination beider Konzepte – Stand der Forschung

Die beiden Konzepte Lean Production und Industrie 4.0 versprechen, Ansätze zur Lösung der zukünftigen Herausforderungen im Produktionsumfeld zu bieten. Es liegt nahe, dass in der Kombination beider Konzepte zusätzliche Potenziale bestehen, die über die separaten Vorteile von Lean Production und Industrie 4.0 hinausgehen. Hierzu ist eine gezielte Kombination beider Konzepte notwendig. In diesem Zusammenhang rückt die Frage in den Fokus, ob und wie sich beide Konzepte gegenseitig beeinflussen, so dass sie vorteilstiftend eingesetzt werden können (Kaspar & Schneider, 2015; Mayr et al., 2018). Hierfür stellt die Forschungsliteratur, welche sich auf die Interaktion beider Konzepte konzentriert, erste Antworten zur Verfügung (Ma et al., 2017; Sanders et al., 2016). Beispielsweise befassen sich aktuelle Studien mit dem Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) im Bereich des Lean Managements. Bei der Rezeption der Forschungsliteratur fällt allerdings auf, dass es weniger Erkenntnisse darüber gibt, wie sich die Einführung von Industrie 4.0 Technologien auf Fabriken auswirken, in denen bereits erfolgreiches Lean Management betreiben wird oder wie sich bereits durch Lean-Prinzipien verschlankte Prozesse auf die Einführung von Industrie 4.0 auswirken (Buer et al., 2018; Kang et al., 2016). Dies unterstreicht die Notwendigkeit, vor allem die Effekte auf die operative Performance von Produktionsprozessen, welche durch die Verbindung der beiden Konzepte entstehen, zu untersuchen (Tortorella & Fettermann, 2018).

#### 3.3.1 Gemeinsamkeiten von Lean Prinzipien und Industrie 4.0-Methoden

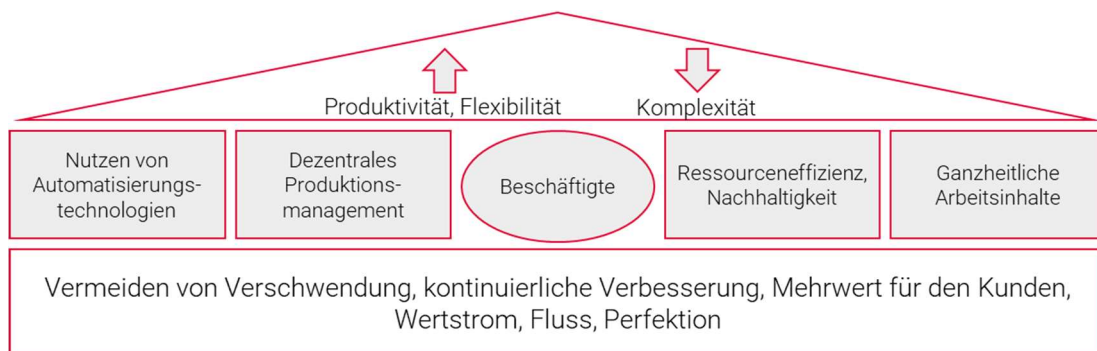
---

Betrachtet man den Einsatz von Lean-Prinzipien und Industrie 4.0-Methoden in Unternehmen, so fällt zunächst auf, dass beide Konzepte eine Vielzahl an Gemeinsamkeiten aufweisen. Dies liegt für Schuh et al. (Schuh et al., 2019) bereits daran, dass bei der Einführung von Industrie 4.0

→ Glossar

in der Produktion nicht nur die Digitalisierung und Vernetzung eine Rolle spielen, sondern auch die Berücksichtigung und Umsetzung von Lean-Prinzipien ohnehin wesentliche Gedanken darstellen. Entsprechend sind in einer Erhebung von Romberg (Romberg, 2016) 90 % der Manager der Meinung, dass sich Lean und Industrie 4.0 gut ergänzen. Es lassen sich auch konkrete Beispiele finden, welche die Gemeinsamkeiten zwischen beiden Konzepten genauer veranschaulichen. Beispielsweise gelten *Cyber Physische Systeme* und *Internet of Things (IoT)* als Kernkomponenten von Industrie 4.0. Sie stellen dezentral und autonom Berechnungen an und treffen Entscheidungen. Um Komplexität zu reduzieren und somit Ressourcen zu schonen, greift das Lean-Managements ebenfalls darauf zurück, Prozesse dezentral und autonom zu steuern (Buer et al., 2018; Kaspar & Schneider, 2015). Darüber hinaus verfolgen beide Prinzipien das Ziel, Produktivität sowie Flexibilität zu steigern (Kaspar & Schneider, 2015) und die Wertschöpfung zu optimieren (Müller & Müller, 2018). Sanders et al. (Sanders et al., 2016) hält insgesamt fest, dass sich Lean und Industrie 4.0 gegenseitig nicht ausschließen, sondern für ein erfolgreiches Produktionsmanagement integriert werden können. Anhand von Abbildung 3-1 lässt sich an dieser Stelle verdeutlichen, in welchen Zielen und Methoden die beiden Konzepte übereinstimmen.

Abbildung 3-1: Gemeinsamkeiten von Lean Manufacturing und Industrie 4.0



Quelle: eigene Darstellung nach Mayr et al. 2018

Das übergeordnete Ziel von Produktionsverbesserungen ist, die Produktivität und Flexibilität zu steigern, während die Komplexität reduziert wird. Prinzipien, die beiden Konzepten mit diesem Ziel verhelfen, sind die Nutzung von Automatisierungstechnologie, dezentrale Produktionsplanung und -steuerung, ressourceneffiziente Prozesse sowie ganzheitlich organisierte Arbeitsaufgaben (weniger kleinteilige Arbeitsaufgaben). Bei der Umsetzung sind die Bedürfnisse der Beschäftigten zentral zu beachten. Die Methoden zur Erreichung der Ziele (Vermeidung von Verschwendung, kontinuierliche Verbesserung, etc.) sind vor allem aus dem Lean Management bekannt, finden jedoch auch sinnvolle Anwendung in der Umsetzung von Industrie 4.0. Abbildung 3-1 veranschaulicht daher deutlich die Gemeinsamkeiten beider Konzepte in deren Zielen sowie die zugrundeliegenden Prinzipien zur Zielerreichung.

### 3.3.2 Zusammenspiel beider Konzepte

---

Um Kombinationsmöglichkeiten zwischen Lean-Prinzipien und Industrie 4.0 Methoden in der Produktion zu identifizieren, gilt es zu verstehen, ob und wie sich beide Konzepte gegenseitig beeinflussen. Außerdem stellt sich die Frage, welche direkten Effekte sich aus einer Kombination beider Konzepte ergeben. Aus diesem Grund werden die in der Forschung bereits beschriebenen Interdependenzen von Lean Production und Industrie 4.0 dargelegt und davon ausgehend auf die Implikationen für die Anwendung der beiden Konzepte eingegangen.

#### 3.3.2.1 Lean als Voraussetzung für Industrie 4.0

Während Lean bereits zu Beginn der 90er Jahre erfolgreich umgesetzt wurde, erhielt Industrie 4.0 erst ca. 20 Jahre später Einzug in die Produktion von Unternehmen. Dieser historische Umstand lässt vermuten, dass die Anwendung von Lean-Prinzipien im Vergleich zu Industrie 4.0 Technologien eine ausgiebigere und frühere Verbreitung in den Produktionsprozessen von Unternehmen erhalten hat. Eine erst später einsetzende Digitalisierung von Produktionsprozessen hätte demnach Prozesse betroffen, die – zumindest theoretisch – bereits mit Hilfe von Lean-Prinzipien optimiert wurden. In diesem Sinne würde ein Verhältnis vorliegen, in welchem Lean-Prinzipien dem Einsatz digitaler Technologien vorausgegangen sind. Unabhängig von dem frühzeitigeren Auftreten von Lean-Prinzipien, finden sich in der Forschungsliteratur einige Argumente, die Lean-Prinzipien auch als Voraussetzung für eine Digitalisierung von Produktionsprozessen identifizieren. Dabei fällt vor allem auf, dass Lean-Prinzipien Vorteile für die anschließende Umsetzung von digitalen Technologien bieten, da sie deren Einführung erheblich erleichtern. Beispielsweise reduziert der vorgelagerte Einsatz von Lean-Methoden die Komplexität von Prozessen. Dies erleichtert die Einführung von Industrie 4.0-Technologien, da schlanke und besser standardisierte Produktionsprozesse digital vernetzt und anschließend in Regelkreisen abgebildet werden können (Bick, 2014; Huber, 2016; Kletti, 2017; Romberg, 2016). Außerdem ist das Einführen von Industrie 4.0 Maßnahmen in ineffizienten und ineffektiven Prozessen nicht zielführend, denn der Einsatz von IKT soll nicht dem Selbstzweck, sondern der Prozessverbesserung dienen (Kaspar & Schneider, 2015; Schuh et al., 2019). Somit liegt es nahe, dass Industrie 4.0-Maßnahmen besonders dann vielversprechend sind, wenn die Prozesse bereits durch Lean-Methoden optimiert wurden (Schuh et al., 2019). So zeigt auch eine Studie der Impuls-Stiftung, dass die Wahrscheinlichkeit einer Nutzung von digitalen Technologien in unterschiedlichen Bereichen (Produktionssteuerung, interne/externe Logistik, Produktplanung, Mensch-Maschine Interaktion) signifikant höher ist, wenn bereits Lean-Methoden zur Produktionsorganisation und zum Produktionscontrolling eingesetzt werden (Kinkel et al., 2016b). Schlanke, geordnete Prozesse nach Lean-Prinzipien scheinen demnach eine wichtige Voraussetzung zu sein, um digitale Technologien in der eigenen Produktion erfolgreich einsetzen zu können.

### 3.3.2.2 14.0 Technologien als Grundlage und Unterstützung von Lean Prinzipien

Die Mehrzahl der Verweise in der wissenschaftlichen Literatur weisen darauf hin, dass Lean-Prinzipien eher vor der Einführung von digitalen Technologien zur Anwendung kommen. Dennoch stellt sich die Frage, ob Industrie 4.0-Technologien in einigen Fällen doch sinnvollerweise vor Lean-Prinzipien umgesetzt werden sollten.

Dies kann bei Unternehmen der Fall sein, die zwar bereits Lean Prinzipien in der Produktion angewendet haben, jedoch durch den Einsatz von digitalen Technologien neue Impulse für potenzielle Prozessverbesserungen erfahren (Lorenz & Kaltenmark, 2017). Es werden Technologien der Industrie 4.0 vor Lean-Prinzipien angewandt, wenn sich durch ihre Anwendung weitere Umsetzungen von Lean-Prinzipien in der Produktion realisieren lassen bzw. unterstützt werden können. Hier stellen digitale Technologien Vorteile bereit, da das Konzept der Industrie 4.0 eine Vielzahl an technologischen Werkzeugen anbietet, die genutzt werden können (Dombrowski & Mielke, 2015; Sanders et al., 2016). Die Simulation von Produktionsprozessen kann hierfür als Beispiel angeführt werden. Durch sie können Auswirkungen von Lean-Maßnahmen frühzeitiger sichtbar gemacht und beurteilt werden, indem *Wertstromdesigns* modelliert und auf ihre Auswirkungen bezüglich Kennzahlen hin getestet werden. Damit lässt sich eine frühzeitige Überprüfung der Sinnhaftigkeit von Maßnahmen vor deren Implementierung realisieren, womit eine mögliche Verschwendung und ungeeignete Implementierungsversuche reduziert werden (Abele et al., 2011; Dombrowski & Mielke, 2015; Drees & Sack, 2011).

→ Glossar

Neben der Anwendung von Lean-Prinzipien kann also auch der Einsatz von digitalen Technologien dazu führen, Verschwendung sichtbar zu machen (Heston, 2010; Lorenz & Kaltenmark, 2017). Die Digitalisierung von Produktionsprozessen führt außerdem dazu, die Prozesstransparenz zu erhöhen und Daten in Echtzeit verfügbar zu machen. Deshalb ermöglichen es digitale Technologien, auch abseits von Simulationen die Flexibilität in schlanken Produktionssystemen zu erhöhen und Komplexität auf ein bewältigbares Maß zu reduzieren (Mayr et al., 2018; Metternich et al., 2017; Rüttimann & Stöckli, 2016). Beispielsweise führt die kontinuierliche Abbildung des Wertstroms dazu, Kennzahlen ständig und dynamisch interpretieren zu können. Neben der im Lean-Management üblichen Betrachtung von Momentaufnahmen, wird damit auch die Abbildung zeitlicher Verläufe in kurzen Zyklen oder Echtzeit ermöglicht. Die gesammelten Daten zu Prozesskennzahlen und ihren zeitlichen Verläufen können nicht nur zur Verbesserung des jeweiligen Prozesses genutzt werden, sondern zusätzlich auch für die Prozessplanung und -steuerung weiterer Produktionsprozesse (Drees & Sack, 2011). Des Weiteren lassen sich durch die intelligente Vernetzung einzelner Elemente Produktions- und Logistikprozesse bedarfsorientiert steuern, wodurch sich auch für schlanke Produktionsprozesse noch weitere Verbesserungspotenziale ergeben (Frank, 2014). Die Anwendung von Industrie 4.0 Methoden im Vorfeld von Lean Maßnahmen ist somit zwar in einigen Fällen sinnvoll, doch nennt keiner der Autoren



eine grundsätzliche Notwendigkeit der vorgelagerten Digitalisierung. Es handelt sich in den aufgezeigten Fällen vielmehr um ergänzende oder vorbereitende Maßnahmen zur Datengenerierung für konkrete Verbesserungsvorhaben mit Lean-Methoden.

### 3.3.2.3 Fazit zur wechselseitigen Ergänzung von Lean-Prinzipien und digitaler Vernetzung

Zusammenfassend lässt sich aus den bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnissen ableiten, dass die Anwendung von Lean-Prinzipien und der Einsatz von Technologien zur digitalen Vernetzung der Produktion Möglichkeiten bieten, miteinander kombiniert zu werden. Da Lean Production organisatorische Methoden beschreibt und Industrie 4.0 diese um eine technologische Komponente erweitert, ergänzen sich beide Konzepte in ihrer Kombination (Kolberg et al., 2017; Romberg, 2016). Die dabei entstehenden Synergien erweitern die Vorteile, die Unternehmen aus der einzelnen Umsetzung der beiden Konzepte schöpfen können und vergrößern deren Wirkungsraum (Buer et al., 2018; Frank, 2014). Aus der Literatur deutet sich des Weiteren an, dass für eine optimale Kombination beider Konzepte Lean-Prinzipien eher vor Industrie 4.0 Technologien in der Produktion umgesetzt werden sollten. Denn Lean-Prinzipien bereiten einerseits durch Verschlankeung und Vereinfachung Prozesse auf eine anschließende Integration von digitalen Technologien vor und erleichtern damit deren Einführung. Andererseits können digitale Technologien durch ihr Potenziale zur Generierung von Prozessdaten in Echtzeit dazu beitragen, bei bereits verschlankten Prozessen weiteres Potenzial für die Anwendung von Lean-Prinzipien aufzudecken. Ob Lean-Prinzipien grundsätzlich vor digitalen Technologien in Produktionsprozesse eingeführt bzw. angewandt werden sollten, kann mit Hilfe der gesichteten Literatur jedoch nicht abschließend geklärt werden.

Zudem geben z.B. Nyhuis et al. (Nyhuis et al., 2017) an, dass sich beide Konzepte iterativ beeinflussen und ein geeignetes Vorgehen bei der Einführung von Lean Production und Industrie 4.0 somit nicht zwangsläufig einen sequentiellen Charakter aufweisen muss. Aufgrund der Gemeinsamkeiten und der wechselseitigen Beeinflussung zwischen beiden Konzepten kann jedoch insgesamt festgehalten werden, dass beide Konzepte sich häufig ergänzen und selten widersprechen. Unternehmen, die bereits erste Lean-Prinzipien anwenden und ihre Produktion durch die Integration von digitalen Technologien weiterentwickeln wollen, sollten sich demnach von dem Gedanken einer Revolution durch Industrie 4.0-Technologien lösen und bei der Weiterentwicklung ihrer Produktion eher von einer Evolution ausgehen, deren Wurzeln in der Anwendung von Lean-Prinzipien liegen (Kaspar & Schneider, 2015).

## 4 Breitenempirische Analyse zur Nutzung und zum Zusammenspiel von Lean und Industrie 4.0

### 4.1 Fragestellungen und Datengrundlage der Untersuchung

#### 4.1.1 Zielsetzung und Forschungsfragen des Kapitels

Technologien und Systeme der sogenannten „Industrie 4.0“ bergen für Industrieunternehmen sowohl große Chancen als auch Herausforderungen. Aktuelle Studien zeigen aber auch, dass die erfolgreiche Implementierung und Nutzung von Digitalisierungstechnologien der „Industrie 4.0“ nicht ohne eine konsequente Nutzung von Lean-Prinzipien in der Produktion funktioniert und dies eine wesentliche Voraussetzung zur erfolgreichen Einführung von Industrie 4.0 darstellt (BearingPoint, 2017; Dombrowski & Richter, 2016; Kinkel et al., 2016b; Staufen AG, 2016).

Das Ziel des vorliegenden Kapitels ist es, Muster in der Verbreitung von Lean-Prinzipien und der Industrie 4.0 Readiness in der Industrie Deutschlands, unter besonderer Betrachtung der baden-württembergischen Industrie, aufzuzeigen. Von Interesse ist dabei auch das Zusammenspiel von Lean-Prinzipien und der Einführung von I4.0-nahen Technologien. Schließlich wird in diesem Kapitel untersucht, welchen Beitrag die Anwendung von Lean-Prinzipien auf die Performanz von Industriebetrieben leistet. Vor diesem Hintergrund werden für den vorliegenden Abschnitt folgende Leitfragen formuliert:

- Wie und in welchem Umfang nutzen die Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes Organisationskonzepte für die Umsetzung von Lean-Prinzipien?
- Welche strukturellen Einflussfaktoren sind für die Umsetzung der Lean-Prinzipien feststellbar? Wo steht Baden-Württemberg im regionalen Vergleich?
- Wie verbreitet ist die Anwendung verschiedener I4.0-naher Technologien in Betrieben des Verarbeitenden Gewerbes? Wie hoch lässt sich die I4.0-Readiness bei deutschen Industriebetrieben einschätzen?
- Welche strukturellen Merkmale sind für die I4.0-Readiness der Betriebe bestimmend?
- Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Anwendung der Lean-Prinzipien und der I4.0-Readiness?
- Welche Effekte hat die Umsetzung von Lean-Prinzipien auf die betriebliche Performance vor dem Hintergrund der Digitalisierung?

Abschnitt 4 beschreibt im Weiteren die Datengrundlage und methodische Herangehensweise der zu untersuchenden Fragestellungen. Im Anschluss geht Abschnitt 4.2 auf die Verbreitung der Lean-Prinzipien im Verarbeitenden Gewerbe ein. Dafür werden zunächst die Verbreitung einzelner Organisationskonzepte betrachtet und dann anhand eines Lean-Indexes die Verbreitung von Lean-Prinzipien auch hinsichtlich unterschiedlicher struktureller Charakteristika der Betriebe untersucht. In Abschnitt 4.3 steht die Analyse der I4.0-Readiness der Industriebetriebe im Mittelpunkt. Abschnitt 4.4 untersucht dann den Zusammenhang zwischen Lean-Prinzipien und

der Industrie 4.0-Readiness aus den beiden vorangegangenen Abschnitten, während die Effekte von Lean-Prinzipien auf die betriebliche Performanz schließlich in Abschnitt 4.5 dargestellt werden. Abschnitt 4.6 fasst die Ergebnisse zusammen und zieht ein Gesamtfazit.

#### **4.1.2 Hintergrund zur Datenerhebung**

Alle in diesem Kapitel vorgestellten Analysen und Ergebnisse beruhen auf den Auswertungen der ISI-Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2018. Die Erhebung *Modernisierung der Produktion* wird seit 1993 regelmäßig im drei-Jahres-Rhythmus 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. 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 zum 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 & Maloca, 2019). Die Daten erlauben es dementsprechend, ein einzigartiges und differenziertes Bild der tatsächlichen Umsetzung von Lean-Prinzipien und der erreichten I4.0-Readiness im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands zu zeichnen. 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 von Innovationen in der Produktion aufgezeigt werden.

#### **4.1.3 Maße für die Anwendung von Lean-Prinzipien**

Zur Analyse der Umsetzung von Lean-Prinzipien in Industriebetrieben Baden-Württembergs und Deutschlands werden insgesamt sieben Organisationskonzepte herangezogen. Dabei handelt

### Sieben Organisationskonzepte

- Aufgabenintegration der Werker durch Erweiterung auf planende, steuernde oder kontrollierende Funktionen
- Standardisierte und detailliert beschriebene Arbeitsanweisungen
- Schautafeln und andere Formen des visuellen Managements
- Produktionssteuerung nach dem Pull-Prinzip
- Wertstromanalyse und weitere Maßnahmen zur Verbesserung der innerbetrieblichen Logistik
- Anwenden von Methoden der Rüstzeitoptimierung
- Implementierung von Instrumenten zur Sicherung von Qualität

es sich um verschiedene Methoden zur Arbeitsorganisation, Standardisierung, Fertigungsorganisation sowie der Eliminierung von Verschwendung (wie bspw. Material, Arbeitszeit oder Energie).

In der Erhebung wurden die Betriebe befragt, ob sie die benannten organisatorischen Maßnahmen einsetzen, in welchem Jahr dieses Organisationskonzept erstmals eingeführt wurde und in welchem Umfang sie dieses Organisationskonzept nutzen. Der Nutzungsumfang wurde dabei relativ zur maximal sinnvollen Nutzungsmöglichkeit im Betrieb erfasst. Dafür wurde nach einem "geringen" Nutzungsumfang für eine Anwendung erst in Ansätzen,

einem "mittleren" Nutzungsumfang für ein teilweise ausgeschöpftes Nutzungspotenzial und einer "hohen" Nutzung bei einer Ausschöpfung des Nutzungspotenzials in großem Umfang differenziert. Auf diesen Angaben beruhend kann über die Betrachtung einzelner Organisationskonzepte hinaus für jeden Betrieb die Umsetzung der Lean-Prinzipien insgesamt über einen Index abgebildet werden (vgl. 4.2.2ff.).

#### 4.1.4 Maße für den Einsatz von I4.0-Befähigertechnologien

Um die Verbreitung der Digitalisierungstechnologien im Verarbeitenden Gewerbe zu betrachten, wird auf den I4.0-Readiness Index des Fraunhofer ISI zurückgegriffen (Lerch et al., 2016, p. 5). Dabei wurde ein Mix aus bereits etablierten und sehr neuen Technologien gewählt, was wiederum eine große Bandbreite der I4.0-Readiness erfasst. Die dafür ausgewählten sieben Technologien können als I4.0 vorbereitende Technologien bzw. I4.0-Befähigertechnologien angesehen werden:

- Softwaresysteme zur Produktionsplanung und -steuerung (z.B. ERP-System)
- Product-Lifecycle-Management-Systeme (PLM) oder ggfs. auch Produkt-Prozessdaten-Management
- Digitale Lösungen zum Bereitstellen von Zeichnungen, Arbeitsplänen oder -anweisungen direkt am Arbeitsplatz des Werkers (z.B. Smartphones)
- Mobile/drahtlose Geräte für die Programmierung und Bedienung von Anlagen und Maschinen (z.B. Tablets)

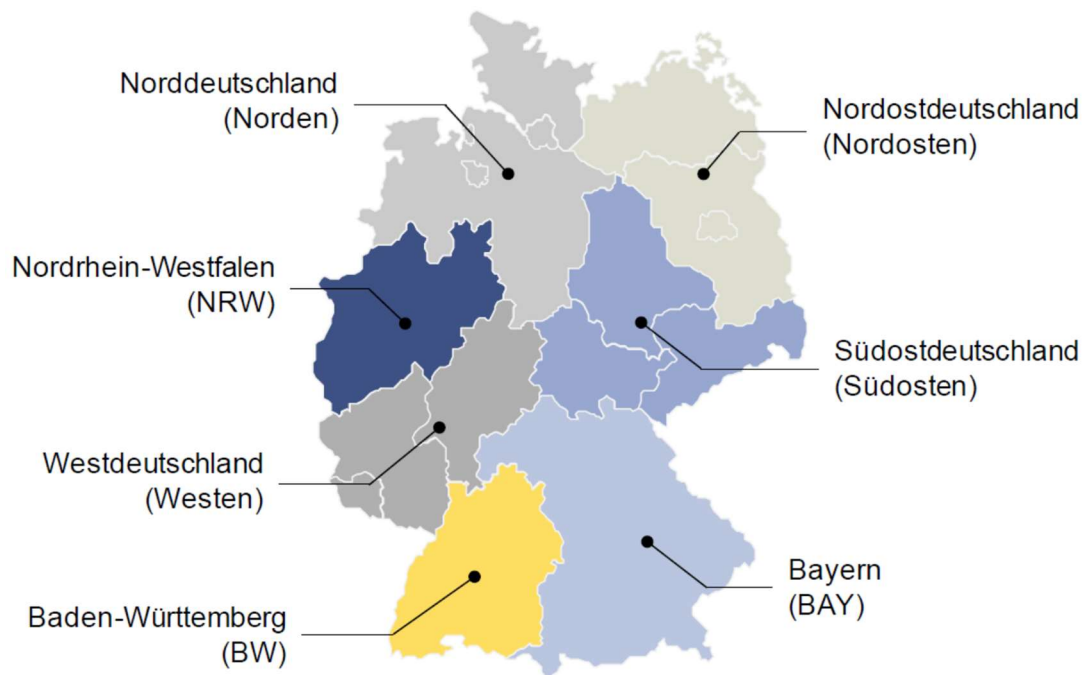
- Echtzeit nahes Produktionsleitsystem (z.B. Systeme mit zentraler Maschinen-/Prozessdatenerfassung, MES)
- Techniken zur Automatisierung und Steuerung der internen Logistik (z.B. Lagerverwaltungssysteme, RFID)
- Digitaler Austausch von Dispositionsdaten mit Zulieferern bzw. Kunden (Elektronischer Datenaustausch EDI)

Für den Produktionsstandort wurden die Betriebe jeweils gefragt, ob sie die entsprechende Technologie nutzen, ob ein Einsatz geplant ist, in welchem Jahr diese Technologie erstmals zum Einsatz kam und in welchem Umfang die Technologie in der Produktion eingesetzt wird. Relevant für diese Studie ist der Bericht über den aktuellen Einsatz der Technologien sowie deren mittelfristige Planung. Die Indikatoren zum Einsatz der Technologien bilden zudem die Basis für die Errechnung der Industrie 4.0-Readiness (vgl. Kapitel 4.3.2ff.).

#### **4.1.5 Weitere wichtige Kenngrößen**

Um Baden-Württemberg im Vergleich zu anderen Gebieten in Deutschland betrachten können, wird eine regionale Klassifikation für die Bundesländer Deutschlands vorgenommen. Dazu wird zwischen sieben Regionen unterschieden, die aus mindestens einem und teilweise aus mehreren Bundesländern bestehen. Die Zusammenfassung von Bundesländern zu einer Region erfolgt dabei sowohl unter der Berücksichtigung der Industriestruktur als auch der Gesamtgröße des industriellen Sektors. Wie in Abbildung 4-1 dargestellt, werden die Bundesländer Baden-Württemberg (n = 235), Bayern (n = 227) und Nordrhein-Westfalen (n = 256) separat betrachtet. Für die Region Norddeutschland (n = 151) sind Bremen, Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein zusammengeschlossen. Nordostdeutschland (n = 59) besteht in der Analyse aus Berlin, Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern. Die Bundesländer Thüringen, Sachsen und Sachsen-Anhalt bilden Südostdeutschland (n = 173) und Hessen, Rheinland-Pfalz sowie das Saarland Westdeutschland (n = 137).

Abbildung 4-1: Regionale Abgrenzung der Bundesländer Deutschlands



Quelle: Koch et al. 2019

Die Identifizierung und Quantifizierung der Auswirkungen von Lean auf die Entwicklung der Leistungsfähigkeit von Industrieunternehmen in den ausgewählten Regionen in Deutschland basiert auf modellgestützte statistische Analysen.

Die Leistungsfähigkeit der Produktion der Betriebe wird anhand *zweier Leistungskennzahlen* untersucht: Als erste Leistungskennziffer der Performanz wird die *Arbeitsproduktivität* eines Betriebes betrachtet. Die Wertschöpfung gilt als weit verbreitete Messgröße für die Arbeitsproduktivität von Produktionsunternehmen und wird operationalisiert als Gesamtumsatz abzüglich des Inputs pro Beschäftigtem. Dabei setzt diese Kennziffer den Wert des betrieblichen Outputs in Beziehung zum Arbeitseinsatz der Beschäftigten und ist damit gut über verschiedene Betriebsformen hinweg vergleichbar. In den vorliegenden Daten wurde die Arbeitsproduktivität anhand der einzelnen konstituierenden Teilwerte berechnet, die Einheit für diese Werte beträgt Tausend Euro.

→ *Glossar*

Als zweite Leistungskennziffer für die Performanz der Produktion wird die *Ausschussquote* betrachtet. Mit dieser Kennzahl lassen sich Aussagen über die Qualität des Produktionsprozesses treffen. Eine steigende Ausschussquote bedeutet demnach eine sinkende Qualität. Die Angaben in den vorliegenden Daten wurden direkt von den Produktionsleitungen als prozentualer Wert erfragt.

Um den Einfluss der Umsetzung von Lean-Prinzipien auf die Arbeitsproduktivität und die Qualität in Produktionsunternehmen zu testen, werden in Kapitel 4.5 nach einer deskriptiven Analyse multiple Regressionsmodelle geschätzt. Mittels der Schätzmodelle werden bekannte, zentrale

Determinanten von Arbeitsproduktivität und Ausschussquote kontrolliert, so dass die Bedeutung der Anwendung von Lean-Organisationskonzepten unabhängig davon belastbar bewertet werden kann. Als weitere Einflussgrößen wurden folgende Faktoren beachtet:

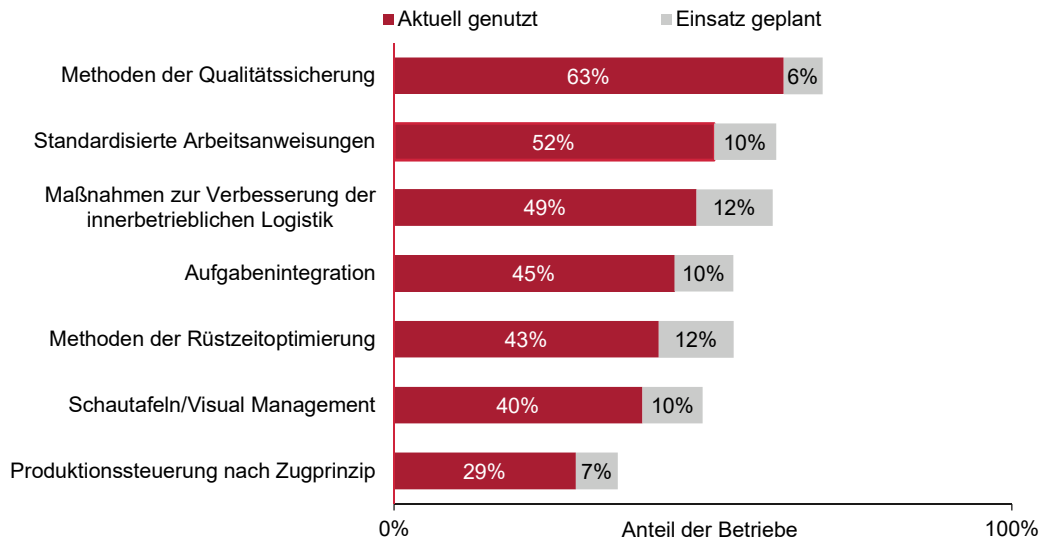
- Betriebsgröße als Anzahl der Beschäftigten im Betrieb (transformiert mittels des natürlichen Logarithmus zur Beachtung des sinkenden Einflusses steigender Anzahl)
- Branchenzugehörigkeit (basierend auf den Angaben zum Hauptprodukt und zum Hauptmarkt, kodiert entsprechend der Wirtschaftszweigklassifikation NACE Rev. 2, gruppiert in 9 Gruppen)
- Seriengröße zum Hauptprodukt (klassifiziert in drei Kategorien)
- Komplexität des Hauptprodukts (klassifiziert in drei Kategorien)
- Art der Produktion (klassifiziert in drei Kategorien)
- Position in der Wertschöpfungskette (Differenzierung nach Lieferanten von Teilen, Komponenten, Systemen in Abgrenzung zu Lohnfertigern und zu Endproduktherstellern)
- Qualifikation der Beschäftigten (wie im Modell angegeben, z.B. Anteil des Personals mit Hochschulabschluss oder Abschluss als Techniker oder Meister oder Anteil der ungelerten Arbeitskräfte)
- Wertschöpfungstiefe (Verhältnis des Gesamtumsatzes minus Input zum Gesamtumsatz, Wertebereich 0 bis 1)

## 4.2 Lean-Prinzipien im Verarbeitenden Gewerbe

### 4.2.1 Verbreitung von Lean-orientierten Organisationskonzepten

Abbildung 4-2 spiegelt die Verbreitung von sieben Lean-orientierten Organisationskonzepten (siehe Kapitel 4.1.3) wider. Dabei werden deutliche Unterschiede erkennbar. Die größte Verbreitung ist bei den „Methoden der Qualitätssicherung“ festzustellen. Diese werden bereits von 63 Prozent der Betriebe genutzt. Ebenfalls weit verbreitet sind die Anwendung „standardisierter Arbeitsanweisungen“ sowie „Maßnahmen zur Verbesserung der innerbetrieblichen Logistik“, die von etwa der Hälfte aller Betriebe angewandt werden. Die „Aufgabenintegration“, „Methoden zur Rüstzeitoptimierung“ sowie „Schautafeln bzw. Visual Management“ kommen immerhin in 40 bis 45 Prozent der Betriebe zum Einsatz. Die geringste Verbreitung war für das Konzept einer „Produktionssteuerung nach dem Zugprinzip“ festzustellen. Nur 29 Prozent der Betriebe steuern ihre Produktionsvorgänge in Abhängigkeit des Auftrags der Kunden, statt auf einen vorausschauenden Produktionsplan für alle Herstellungsschritte zu setzen.

Abbildung 4-2: Nutzung und geplante Nutzung der Lean-Prinzipien im Verarbeitenden Gewerbe Deutschland



Quelle: Erhebung Modernisierung der Produktion 2018, Fraunhofer ISI

Die Anteile der Betriebe, welche eines der Lean-Prinzipien bis 2021 in Anwendung bringen möchten, liegen zwischen 6 Prozent und 12 Prozent und fallen demnach für die sieben Lean-Prinzipien relativ ähnlich aus wie in Abbildung 4-2 sichtbar ist. Somit ist auch in absehbarer Zeit kein grundsätzlich anderes Bild in der Verbreitung der verschiedenen Organisationskonzepte zu erwarten. Eine Produktionssteuerung nach dem Zugprinzip wird weiterhin nur von etwa einem Drittel der Betriebe praktiziert, eine hohe Einführungsdynamik ist auch für die anderen Konzepte nicht zu erwarten.

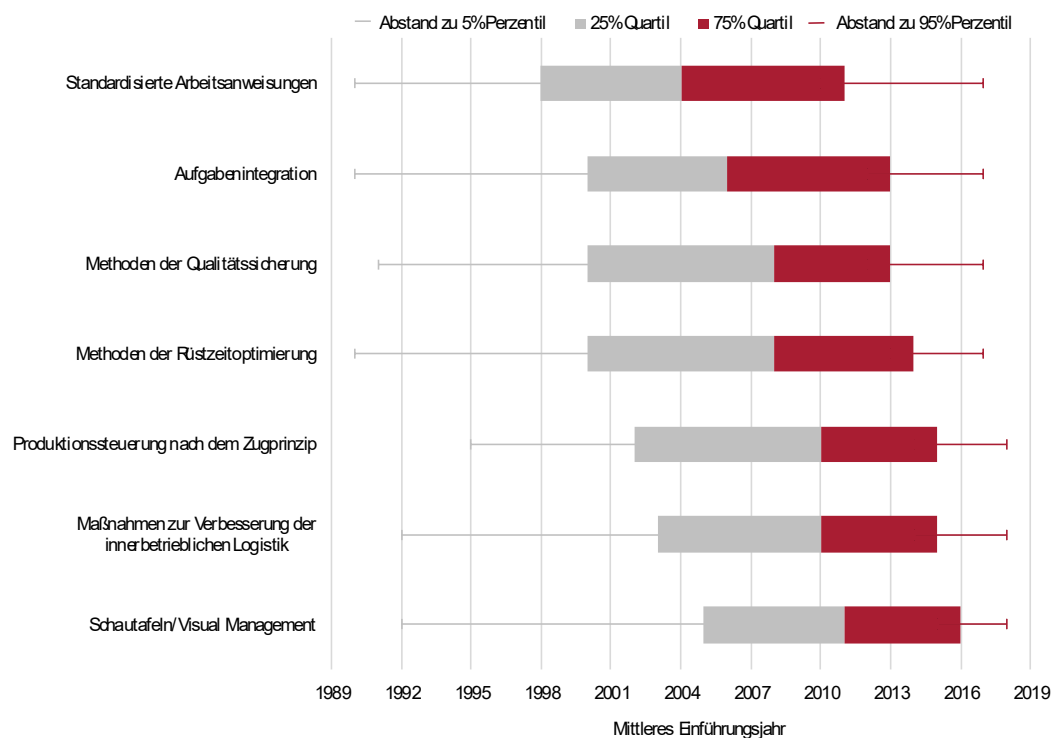
Insgesamt kann festgehalten werden, dass trotz der klaren Rangfolge in der Verbreitung der sieben Organisationskonzepte keines der Konzepte einen absoluten Standard unter den Betrieben des Verarbeitenden Gewerbes darstellt und dass auch keines der Organisationskonzepte nur von extrem wenigen Betrieben genutzt wird. Dies entspricht in gewissen Umfang auch der theoretischen Erwartung, dass nicht jedes Lean-Prinzip für jeden Betrieb eine vorteilhafte Lösung darstellt. So werden Betriebe mit einer Großserienproduktion ihre Produkte weiterhin fast ausschließlich auf Lager fertigen, eine *Produktionssteuerung nach dem Zugprinzip* wäre hier wahrscheinlich nicht angebracht. Angesichts der doch bereits langen Bekanntheit und Diffusion, sind manche Ergebnisse doch überraschend. Eine größere Verbreitung der Anwendung *standardisierter Arbeitsanweisungen* wäre auch im Zuge der Digitalisierung zu erwarten gewesen, ebenso wie eine weitere Verbreitung des Einsatzes digitaler Techniken zur Kommunikation auf dem Shop-Floor im Sinne eines visuellen Managements.

Interessant für die Bewertung der derzeitigen Diffusion der Organisationskonzepte ist auch eine zeitliche Betrachtung. Dafür bietet Abbildung 4-3 eine Übersicht über das mittlere Einführungsjahr, in dem die Betriebe das jeweilige Lean-Organisationskonzept implementierten. Die Abbildung visualisiert dabei für jedes Organisationskonzept den Zentralwert der Verteilung auf dem



Schnittpunkt zwischen der roten und grauen Fläche. Die graue Fläche spiegelt das Quartil unterhalb des Medians wider, die rote Fläche das Quartil oberhalb des Medians. Die angrenzenden Linien zeigen die Spannweite der Verteilung bis jeweils zum 5-Prozent-Perzentil bzw. zum 95 Prozent-Perzentil.

Abbildung 4-3: Einführungsjahr der Lean-Organisationskonzepte im Verarbeitenden Gewerbe



Quelle: Erhebung Modernisierung der Produktion 2018, Fraunhofer ISI

Zunächst zeigt sich, dass die Hälfte der heutigen Nutzer bereits im Jahr 2004 *Standardisierte Arbeitsanweisungen* einsetzte. Zu den Organisationskonzepten mit einer frühen Dynamik gehört außerdem die *Aufgabenintegration* mit einem mittleren Einführungsjahr 2006. Das mittlere Einführungsjahr für die Implementierung der *Methoden der Rüstzeitoptimierung* sowie *Methoden der Qualitätssicherung* liegt bei 2008. Im Schnitt wurde die *Produktionssteuerung nach dem Zugprinzip* sowie *Maßnahmen zur Verbesserung der innerbetrieblichen Logistik* im Jahr 2010 eingeführt. Die Hälfte der heutigen Anwender implementiert hingegen *Schautafeln/Visual Management* erst im Jahr 2011. Deutlich wird in der Abbildung auch, dass die ersten Anwender bei allen Organisationskonzepten bereits zwischen 1989 und 1993 das jeweilige Organisationskonzept implementierten. Lediglich die Einführung einer *Produktionssteuerung nach dem Zugprinzip* begann erst im Jahre 1995.

Darüber hinaus ist hervorzuheben, dass sowohl die Maßnahmen zur *Verbesserung der innerbetrieblichen Logistik* als auch die *Methoden der Qualitätssicherung* trotz der relativ späten Dynamik heutzutage von sehr vielen Betrieben genutzt werden. Dies weist daraufhin, dass sich die Möglichkeiten für die Betriebe mit dem Einsatz digitaler Technologien deutlich veränderten und

die Anwendung dieser Organisationskonzepte wahrscheinlich erleichterten. Ganz anders fällt das Ergebnis bei der Betrachtung der Verantwortungsübernahme durch die Werker aus. Die *Aufgabenintegration* weist eine relativ frühe Verbreitungsdynamik auf, jedoch ist hier weiterhin eine relativ geringe Verbreitung festzustellen.

Schließlich ist festzuhalten, dass die meisten der betrachteten Organisationskonzepte eine höhere Dynamik in den jüngeren Jahren aufweisen. Der rote Balken ist bei den meisten Lean-Konzepten deutlich kürzer als der graue Balken. Lediglich die Verbreitung der *Standardisierten Arbeitsanweisungen* und der *Aufgabenintegration* war zu Beginn der 2000er Jahre dynamischer.

#### 4.2.2 Beschreibung des Lean-Index

Um die Umsetzung der Lean-Prinzipien in den Betrieben des Verarbeitenden Gewerbes Deutschlands zu bewerten, wurde ein metrischer Index entwickelt, der die Nutzung der in Abschnitt 4.1.3 beschriebenen Organisationskonzepte gewichtet nach dem Anwendungsumfang zusammenfasst. Für die Berechnung des Lean-Indexes wird folgende Bewertung für jedes Organisationskonzept vorgenommen: Nutzt ein Betrieb das jeweilige Konzept nicht, wird dies mit dem Wert 0 berücksichtigt. Falls der Betrieb das Konzept nutzt, wird zusätzlich der Umfang des genutzten Potenzials in die Berechnung aufgenommen. Nutzt ein Betrieb das Konzept nur im geringen Umfang, wird dies mit dem Wert 1 berücksichtigt, wird das Konzept im mittleren Umfang genutzt, erhält es den Wert 2, und wird das Konzept im hohen Umfang im Betrieb eingesetzt, dann schlägt sich dies mit dem Wert 3 nieder. Somit wird für jedes Organisationskonzept eine gewichtete Nutzung berücksichtigt. Zur Berechnung des Lean-Indexes werden diese sieben gewichteten Nutzungen aufsummiert. Zur einfacheren Betrachtung wird diese Summe wieder auf den Wertebereich 0 bis 7 reduziert, indem die Summe durch 3 dividiert wird. Die möglichen Ausprägungen sind in Abbildung 4-4 in Form eines Beispiels dargestellt und im Wertebereich angegeben.

Abbildung 4-4: Bewertung entlang des Lean-Index im Verarbeitenden Gewerbe

Lean-Organisationskonzept	Genutztes Potential			Gewichtung
	gering	mittel	hoch	
Aufgabenintegration				1/3
Standardisierte Arbeitsanweisungen				1
Schautafeln/Visual Management				1/3
Produktionssteuerung nach dem Zug-Prinzip				0
Maßnahmen zur Verbesserung der innerbetrieblichen Logistik				2/3
Methoden der Rüstzeitoptimierung				1
Methoden der Qualitätssicherung				0
<b>Index der Lean-Nutzung</b>				<b>3 1/3</b>

Quelle: eigene Darstellung. Beispiel, Wertebereich von 0 bis 7 in 1/3-Schritten

Im Ergebnis kann der Lean Index Werte zwischen 0 und 7 annehmen. Der Wert 0 gibt an, dass keines der Konzepte im Einsatz ist. Ein Wert von 7 bedeutet entsprechend, dass ein Betrieb alle sieben Organisationskonzepte anwendet und dabei das Potenzial aller sieben Organisationskonzepte im hohen Umfang nutzt. Ein mittlerer Wert kann durch die Anwendung vieler Organisationskonzepte im mittleren Umfang oder durch die Anwendung ausgewählter Konzepte im großen Umfang erreicht werden. Grundsätzlich gilt: Je höher der Index, desto größer die Umsetzung der Lean-Prinzipien im Betrieb.

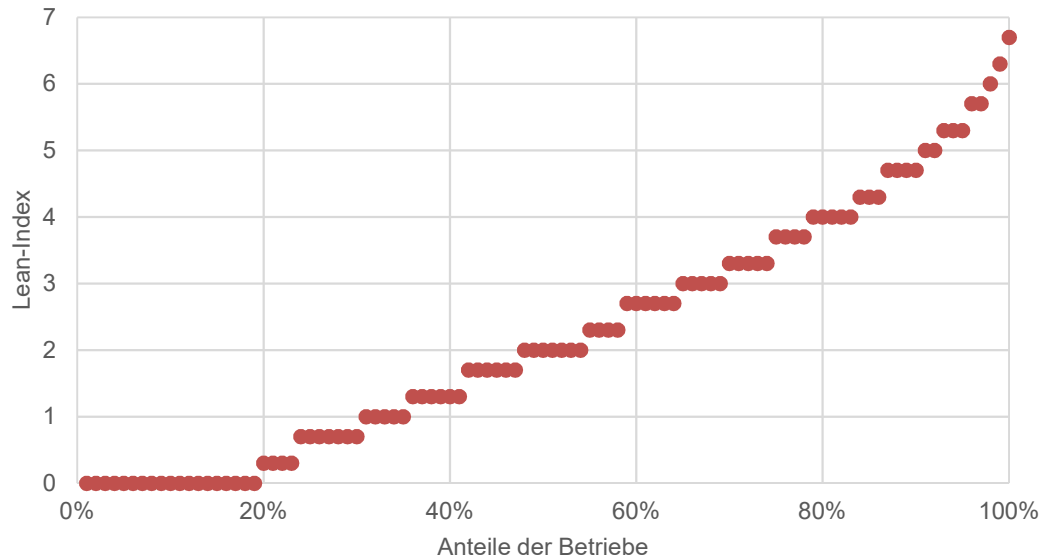
Abbildung 4-4 visualisiert die Berechnung des Lean-Index anhand eines Beispiels. Das fiktive Unternehmen nutzt zwei der betrachteten Organisationskonzepte nicht (*Methoden der Qualitätssicherung* sowie *Produktionssteuerung nach dem Zugprinzip*), weshalb dafür der Wert 0 in den Lean-Index eingeht. Die „Aufgabenintegration“ und „Schautafeln/Visual Management“ werden mit einem geringen Potenzial genutzt und deshalb jeweils mit dem Faktor  $1/3$  gewichtet. Die *Maßnahmen zur Verbesserung der innerbetrieblichen Logistik* sind mit einem mittleren genutzten Potenzial, d.h. Faktor  $2/3$  gewichtet. *Standardisierten Arbeitsanweisungen*, *Methoden der Rüstzeitoptimierung* werde in hohem Umfang eingesetzt und sind deshalb mit dem Faktor 1 gewichtet. Daraus ergibt sich im Beispiel ein Wert von  $1 + 2/3 + 1 + 1/3 + 0 + 1/3 + 0 = 3\ 1/3$  für den Lean-Index dieses fiktiven Betriebes.

### 4.2.3 Lean-Index im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands

Der Grad der Umsetzung der Lean-Prinzipien im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands liegt mit einer Ausprägung von 2,2 im Lean-Index auf einem eher niedrigen Niveau. Abbildung 4-5 stellt die Verteilung des Lean-Index für alle Betriebe (100%) im Verarbeitenden Gewerbe dar. Aus der Abbildung wird deutlich, dass fast zwei von zehn Betrieben keines der sieben Lean-Organisationskonzepte einsetzen (Lean-Index 0). Der Lean-Index liegt bei der Hälfte der Betriebe zwischen 0 und 2,0 und bei der anderen Hälfte liegt er zwischen 2,0 und 7,0. Das obere Viertel der Betriebe erreicht einen Index von 3,7 oder höher. Lediglich 5 Prozent der Betriebe weisen einen Lean-Index von mindestens 5,7 auf. Insgesamt ist vor diesem Hintergrund festzuhalten, dass noch viel Potenzial für die weitere Umsetzung der Lean-Prinzipien im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands besteht.

---

Abbildung 4-5: Verteilung des Lean-Index im Verarbeitenden Gewerbe

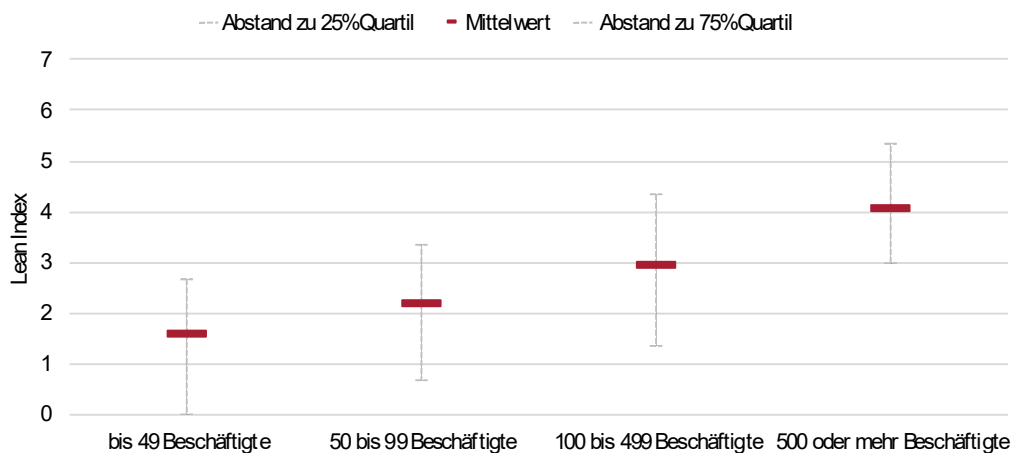


Quelle: Erhebung Modernisierung der Produktion 2018, Fraunhofer ISI.

#### 4.2.4 Verbreitung nach Betriebs- und Produktionscharakteristika

Bei der Umsetzung der Lean-Prinzipien zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Betriebsgrößenklassen (Abbildung 4-6). Hervorstechend ist, dass große Betriebe mit 500 oder mehr Beschäftigten zu einem deutlich höheren Anteil Lean-Organisationskonzepte anwenden als kleine Unternehmen mit bis zu 49 Beschäftigten. Während der durchschnittliche Lean-Index bei den kleinen Betrieben lediglich 1,6 beträgt, liegt dieser bei den Unternehmen mit über 499 Beschäftigten im Durchschnitt bei 4,3. Das bedeutet auch, dass große Betriebe im Schnitt einen höheren Lean-Index erreichen als die obersten 5 Prozent der kleinen Betriebe. Auch bei den mittelständischen Betrieben ist dieser Größenunterschied festzustellen. Während der Lean-Index im Durchschnitt der Betriebe mit 50 bis 99 Beschäftigten 2,2 beträgt, liegt dieser bei den Unternehmen mit 100 bis 499 Beschäftigten bei 2,9.

Abbildung 4-6: Umsetzung von Lean-Prinzipien nach Betriebsgröße.



Quelle: Erhebung Modernisierung der Produktion 2018, Fraunhofer ISI.

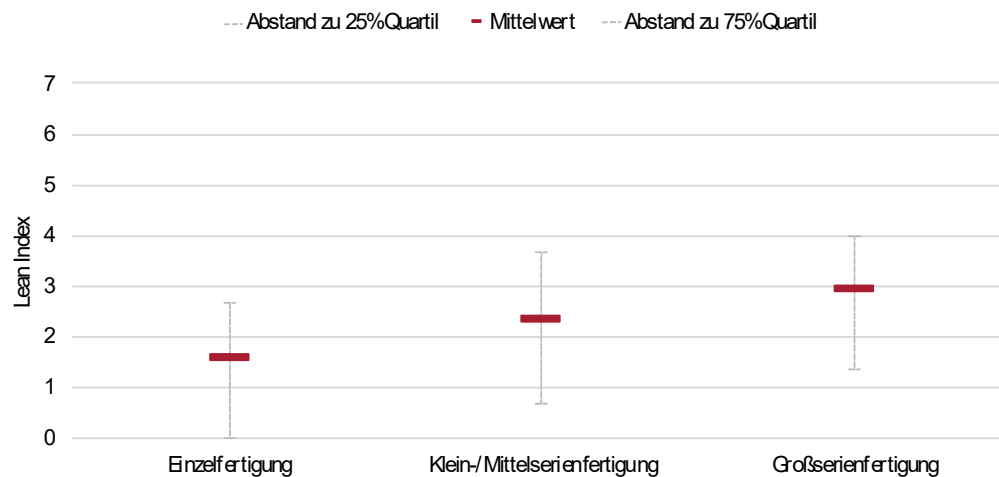
Diese große Varianz zwischen den Betriebsgrößenklassen verweist auf zwei grundsätzliche Argumente. Zum einen verfügen größere Betriebe über mehr Ressourcen und möglicherweise auch über mehr Know-how, um Lean-Prinzipien systematisch in den Betriebsablauf zu integrieren. Zum anderen scheinen kleinere Betriebe die Implementierung von Lean-Prinzipien auch stärker zu scheuen, da formale Arbeitsstrukturen weniger verbreitet sind. Häufig bestehen Bedenken, dass explizite Organisationsabläufe die Flexibilität der Unternehmen beschneidet. Weiterhin lassen sich weitere Gründe für die verringerte Leandurchdringung in kleineren Betrieben vermuten. Geringe Veränderungsbereitschaft der Belegschaft, fehlende Informationen und Qualifikation sowie das Bestreben, solche Veränderungsprozesse aus Kostengründen intern umzusetzen, statt externe Unterstützung zu suchen, sind mögliche Faktoren. Es ist anzunehmen, dass kleine und kleinere mittelständische Betriebe hier Einsparungspotenzial verschenken, welches durch die möglicherweise größere Flexibilität nicht ausgeglichen werden kann. So besteht die Gefahr, dass sie den Anschluss gerade im Bereich der Standardisierung und expliziten Beschreibung und Erfassung von Arbeitsabläufen an die großen Betriebe verlieren und dabei auch die notwendige Voraussetzung für Digitalisierung verpassen.

Auch bei einem Blick auf Betriebe mit verschiedenen Seriengrößen werden Unterschiede im Lean-Index deutlich. Wie Abbildung 4-7 zeigt, fällt der durchschnittliche Lean-Index bei Betrieben mit Einzelfertigung deutlich geringer aus als für Betriebe mit einer Klein- und Mittelserienfertigung wie auch als Betriebe mit Großserienfertigung. Während der Index bei Betrieben mit Einzelfertigung im Durchschnitt 1,6 beträgt, liegt er bei den Betrieben mit Großserienfertigung bei durchschnittlich 2,9. Ein Viertel der Betriebe die Großserien fertigen, erreichen sogar einen Lean-Index von 4 oder höher. dahingegen weisen die oberen 25 Prozent aller Unternehmen mit Einzelfertigung lediglich einen Lean-Wert von mindestens 2,7 auf. Die Unternehmen mit einer Klein- oder Mittelserienfertigung erreichen einen durchschnittliche Lean-Index von 2,3. Insgesamt deuten die Ergebnisse darauf hin, dass sich für Betriebe mit höheren Stückzahlen bzw. größeren

Losgrößen schlanke Organisationskonzepte in größerem Ausmaß rentieren und daher von diesen vermehrt implementiert werden.

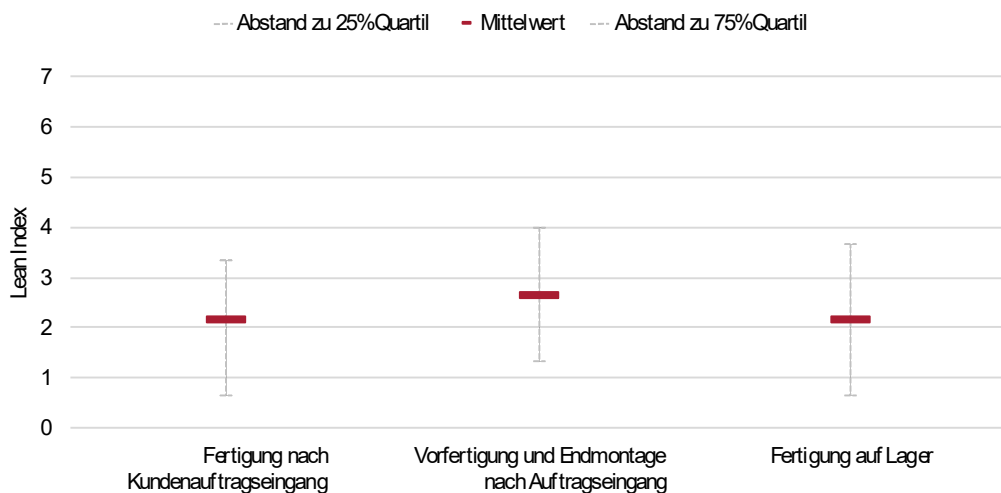
Neben der Analyse der Umsetzung der Lean-Prinzipien in Betrieben verschiedener Betriebsgröße und mit der Produktion verschiedener Seriengrößen ist zudem ein Blick auf die Fertigungsart der Betriebe interessant. Wie Abbildung 4-8 zeigt, liegt der Lean-Index bei den Betrieben mit Vorfertigung und folgender Endmontage nach Auftragseingang bei durchschnittlich 2,6 und ist damit deutlich über dem Durchschnitt. Ein Viertel aller Unternehmen mit dieser Fertigungsart erreichen sogar einen Lean-Index von 4,0 oder höher. Bei den Betrieben sowohl mit einer Fertigung nach Kundenauftrag als auch mit einer Fertigung auf Lager beträgt der Lean-Index im Mittel 2,1, d.h. Betriebe, die auf Lager produzieren bzw. erst nach Kundenauftrag fertigen, haben seltener die Lean-Prinzipien durch konkrete Organisationskonzepte umgesetzt als Betriebe, die vorfertigen und die Endmontage nach Kundenauftrag durchführen.

Abbildung 4-7: Umsetzung von Lean-Prinzipien nach Seriengröße



Quelle: Erhebung Modernisierung der Produktion 2018, Fraunhofer ISI

Abbildung 4-8: Umsetzung von Lean-Prinzipien nach Fertigungsart



Quelle: Erhebung Modernisierung der Produktion 2018, Fraunhofer ISI

Dieses Ergebnis in Bezug auf die Fertigungsart legt den Schluss nahe, dass Lean-Organisationskonzepte besondere Bedeutung gewinnen, wenn sowohl die Automatisierung und Standardisierung als auch die Entwicklung flexibler Prozesse in Einklang zu bringen sind und besonderen Nutzen der Implementierung von Lean-Organisationskonzepten versprechen.

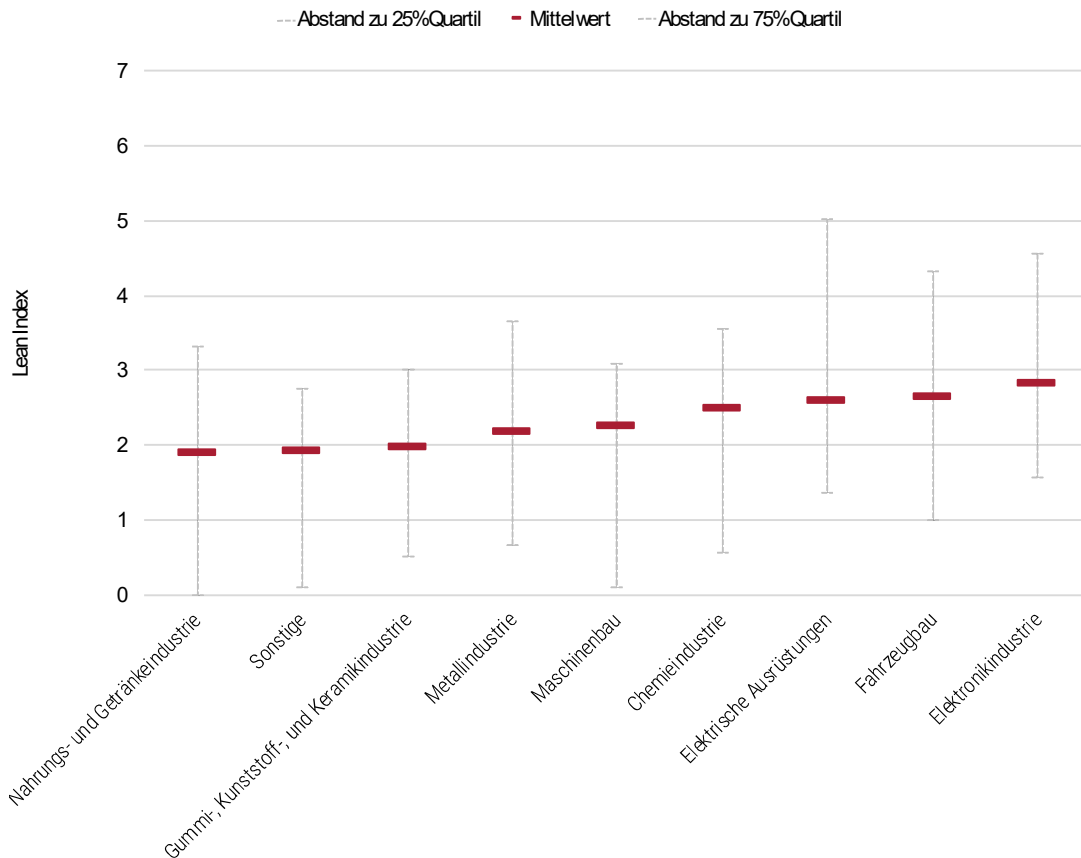
Denn einerseits besteht bei Betrieben mit einer Fertigung auf Lager oft wenig Raum für Flexibilität, sie planen ihre Fertigung vorab optimiert und relativ unabhängig vom Kundenauftrag, Gleichzeitig zeichnen sie sich daher oft durch viele Möglichkeiten der Standardisierung sowie Automatisierung aus. Im Gegensatz dazu verfügen andererseits Betriebe, die nach dem Eingang eines Kundenauftrags fertigen (Pull-Prinzip), über weniger Standardisierungsmöglichkeiten in der Fertigung und damit einhergehend auch über geringere Möglichkeiten für Automatisierung. Gleichzeitig zeichnen sich jedoch diese Betriebe durch eine erhöhte Flexibilität aus. Erst die Kombination von Vorfertigung und Endmontage nach Auftragsingang scheint ausreichend Raum für die Kombination sowohl für die Automatisierung von Prozessen und standardisierten Abläufen als auch für die Entwicklung flexibler Prozesse zu bieten, der die besonderen Potenziale für die Implementierung von Lean-Organisationskonzepten offenkundig werden lässt.

Die vorgestellte unterschiedliche Verbreitung von Lean-Prinzipien in Abhängigkeit von der Betriebsgröße, Seriengröße und Fertigungsart spiegeln sich auch in Branchenunterschieden wider. Der durchschnittliche Wert im Lean-Index ist für die verschiedenen Branchen in Abbildung 4-9 dargestellt. Die Werte liegen zwischen 1,9 bei den Herstellern in der Nahrungs- und Getränkeindustrie bis zu 2,8 bei den Betrieben der Elektronik-Branche. Dazwischen sind sieben weitere Branchengruppen mit ihren Durchschnittswerten in absteigender Reihenfolge abgebildet.

Mit einem Lean-Index von durchschnittlich 2,6 folgen im oberen Bereich zudem der Fahrzeugbau sowie die Hersteller elektrischer Ausrüstungen sowie mit 2,5 die Chemiebranche. Mit 2,3

liegt zudem der Maschinenbau über dem Durchschnitt von 2,2 im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands. Insgesamt verdeutlicht der Vergleich der Branchen, dass Betriebe in der Elektronikindustrie, im Fahrzeugbau, in der Elektroindustrie und in der Chemieindustrie bereits stark auf Lean-Prinzipien setzen.

Abbildung 4-9: Umsetzung von Lean-Prinzipien nach Branchen



Quelle: Erhebung Modernisierung der Produktion 2018, Fraunhofer ISI.

Auch bei einer multiplen Betrachtung bleiben die Unterschiede entlang der betrachteten strukturellen Merkmale bestehen. Anhand einer linearen Regression zur Schätzung des Lean-Index wurde unter gleichzeitiger Beachtung der verschiedenen Betriebs- und Produktionskriterien nochmals geprüft, inwieweit diese Merkmale einen unabhängigen Erklärungsbeitrag für den Lean-Index liefern. Das passende Schätzmodell ist in Anhang 1 dargestellt.

Im Ergebnis der Schätzung lässt sich festhalten, dass die Betriebsgröße den größten Erklärungsbeitrag für den Grad der Umsetzung von Lean-Prinzipien liefert im Vergleich zum Einfluss von Branche, Produktionskriterien und Qualifikation der Beschäftigten. Je mehr Beschäftigte ein Standort aufweist, desto mehr Umsetzung von Lean-Prinzipien ist festzustellen. Ebenfalls stellt



#### Erklärungsgrößen für die Lean-Umsetzungsgrad

- Anzahl der Beschäftigten
- Seriengröße
- Produktkomplexität
- Qualifikation der Beschäftigten
- Fertigungsart

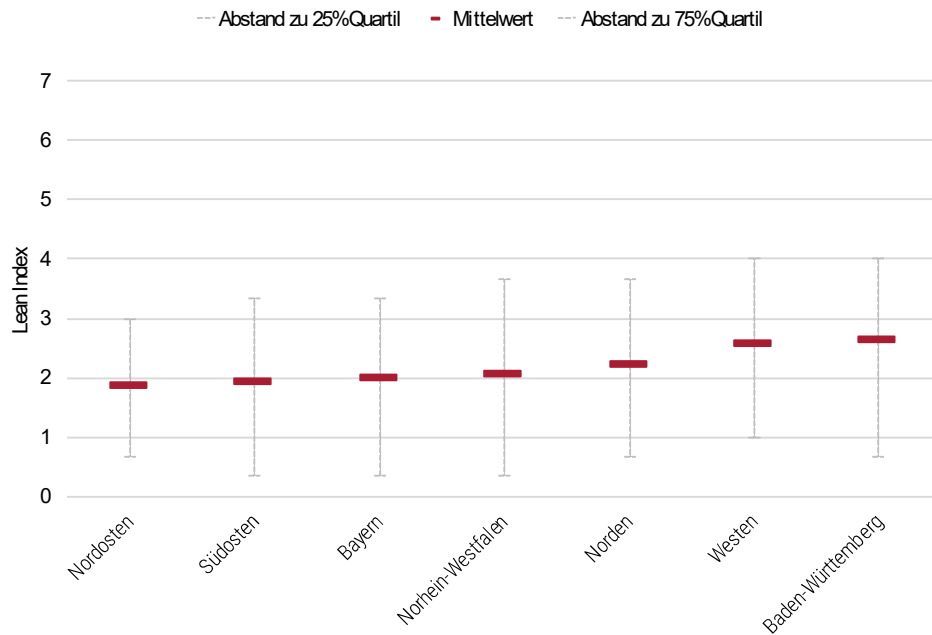
die Seriengröße einen wichtigen Erklärungsfaktor dar, wobei Betriebe mit einer Großserienfertigung oder einer Klein-/ bzw. Mittelserienfertigung deutlich eher Lean-Prinzipien durch konkrete Organisationskonzepte umsetzen als Betriebe mit einer Einzelfertigung. Zudem trägt die Komplexität des hergestellten Produkts statistisch signifikant zu einer Verbesserung des Modells bei wie auch die Qualifikation der Beschäftigten, und zwar ins-

besondere mit Blick auf den Anteil des höher qualifizierten Personals am Standort. Ebenfalls bedeutungsvoll für das Modell ist die Berücksichtigung der Fertigungsart. Die Stellung in der Wertschöpfungskette wie auch in der Branche stellen im Gegensatz dazu keine relevanten Prädiktoren des Grads der Umsetzung der Lean-Prinzipien dar, wenn die anderen Strukturmerkmale gleichzeitig beachtet werden. Die beobachteten Unterschiede zwischen den Branchen sind somit wesentlich auf die typischerweise unterschiedlichen Produktions- und Qualifikationsstrukturen und marktbedingten Betriebsgrößen zurückzuführen.

#### 4.2.5 Lean-Nutzung im regionalen Vergleich

Im regionalen Vergleich zeigen sich ebenfalls Unterschiede (Abbildung 4-10). So erreichen Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes in Baden-Württemberg durchschnittlich 2,6 Punkte im Lean-Index. 25 Prozent der baden-württembergischen Betriebe erreichten sogar Werte von 4,0 oder mehr Punkten. Für die Region Westen sind die gleichen Werte zu verzeichnen. Im Vergleich zum bundesweiten Durchschnitt liegen damit Baden-Württemberg und der Westen an der Spitze hinsichtlich der Nutzung von Lean-Prinzipien.

Abbildung 4-10: Index der Lean-Nutzung nach Regionen



Quelle: Erhebung Modernisierung der Produktion 2018, Fraunhofer ISI.

Abbildung 4-10 bietet einen Überblick über den gesamten Vergleich. Demnach variiert der Durchschnitt der Industrieregionen Deutschlands im Lean-Index zwischen 1,9 und 2,6. Mit einem Wert von 1,9 liegen die nord- sowie südöstlichen Regionen Deutschlands, gefolgt von Bayern und NRW mit 2,0 vergleichsweise in der unteren Hälfte. Demnach wenden in diesen Regionen die Industriebetriebe im Schnitt weniger Lean-Prinzipien an als in den anderen Regionen. Mit einem Indexwert von 2,2 liegt der Norden im deutschlandweiten Durchschnitt. Nur in Baden-Württemberg und dem Westen liegen diese Werte über dem bundesweiten Durchschnitt, wonach die Betriebe in diesen Bundesländern mit Abstand einen höheren Grad der Nutzung von Lean Prinzipien aufweisen.

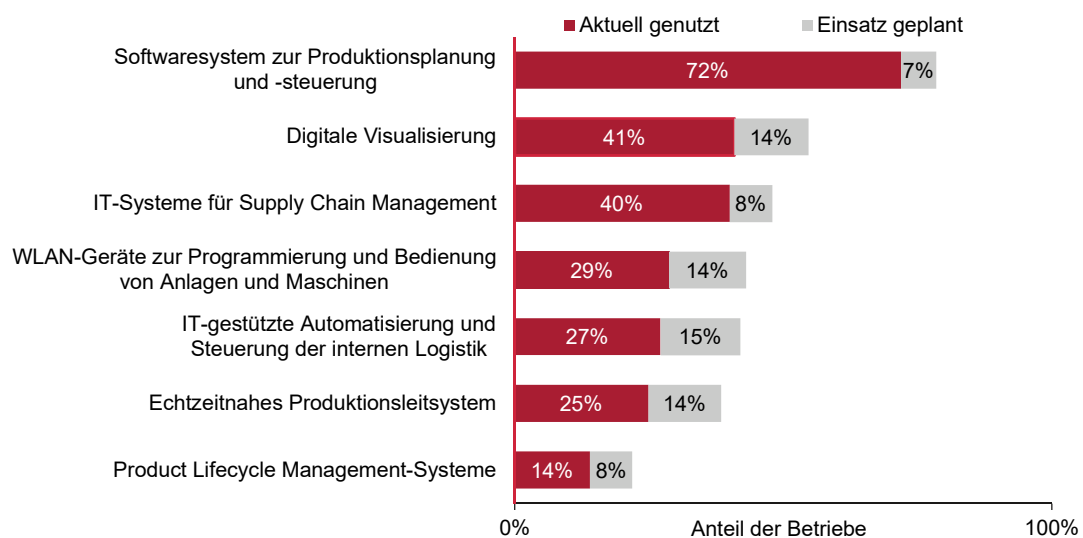
Insgesamt fallen die Differenzen vergleichsweise gering aus. Angesichts der relevanten Unterschiede in der Industriestruktur zwischen den verschiedenen Regionen ist anzumerken, dass die beobachtete Vorreiterrolle Baden-Württembergs wesentlich in der Spezialisierung und Strukturierung des dortigen Verarbeitenden Gewerbes begründet ist. Dies wird auch bei einer multivariaten Betrachtung sichtbar: Die regionale Verortung des Betriebs liefert keinen relevanten Erklärungsbeitrag. Der Grad der Umsetzung der Lean-Prinzipien wird vielmehr wesentlich durch die Möglichkeiten bedingt, die Produktionsstruktur, Ressourcenausstattung und Fertigungsart bieten. Dennoch scheint noch erhebliches Potenzial in Bezug auf die Umsetzung von Lean-Prinzipien zu bestehen, auch unter Beachtung der unterschiedlichen Voraussetzungen und Möglichkeiten.

## 4.3 Industrie 4.0-Readiness im Verarbeitenden Gewerbe

### 4.3.1 Grundsätzlicher Verbreitungsgrad I4.0-naher Technologien

Die Verbreitung der sieben, in dieser Studie betrachteten, digitalen Technologien im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands ist sehr unterschiedlich. Der Anteil der Betriebe, die die sieben digitalen Technologien in ihren Wertschöpfungsprozessen nutzt, bewegt sich zwischen 14 bis 72 Prozent (vgl. Abbildung 4-11).

Abbildung 4-11: Nutzung und geplante Nutzung der Digitalisierungstechnologien im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands



Quelle: Erhebung Modernisierung der Produktion 2018, Fraunhofer ISI.

Die mit 72 Prozent am weitesten verbreitete Technologie ist das *Softwaresystem zur Produktionsplanung und -steuerung*. Dahinter folgen mit 41 Prozent *Digitale Visualisierungen* sowie *IT-Systeme für Supply Chain Management*. Etwas mehr als ein Viertel der Betriebe nutzen *WLAN-Geräte zur Programmierung und Bedienung von Anlagen und Maschinen* (29 Prozent) und *IT-Unterstützung für die interne Logistik* (27 Prozent). Ein Viertel der Betriebe hat ein *echtzeitnahes Produktionsleitsystem* im Einsatz. Nur ein sehr geringer Anteil der Betriebe nutzt *Product Lifecycle Management Systeme* (14 Prozent).

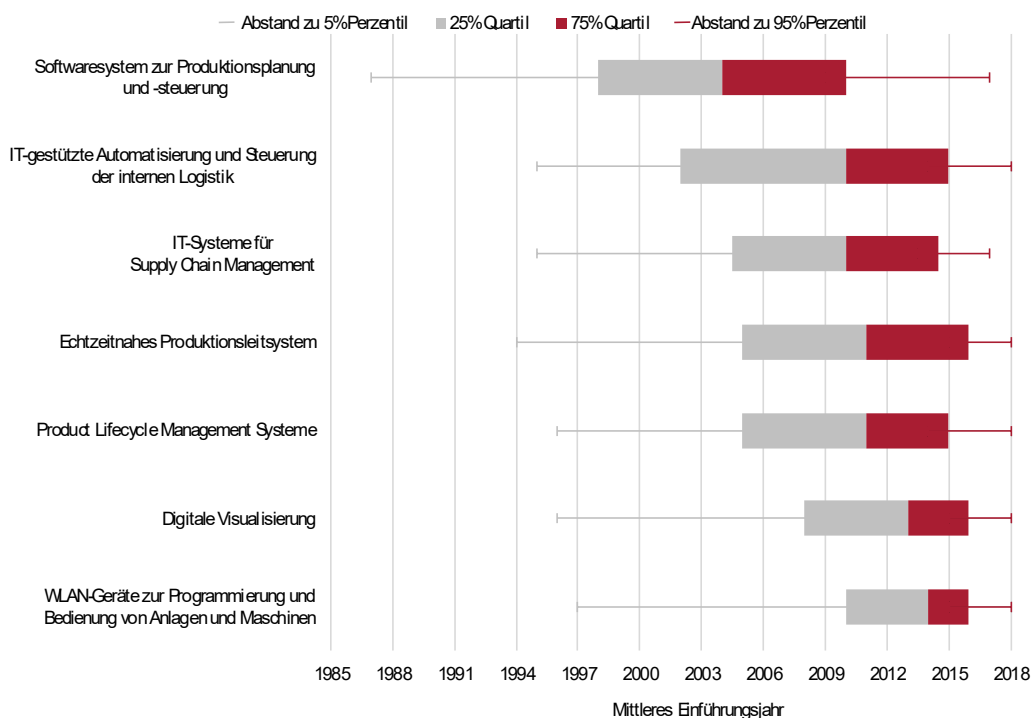
Der Anteil der Produktionsbetriebe, die den Einsatz einer der digitalen Technologien bis 2021 planen, liegt zwischen 8 und 15 Prozent. Innerhalb der nächsten Jahre ist demnach kein übermäßiger Anstieg im Verbreitungsgrad zu erwarten. Die geringe Dynamik ist dabei insbesondere für die eher klassischen Management-Tools festzustellen.

In Abbildung 4-12 ist das mittlere Einführungsjahr für die sieben digitalen Technologien illustriert. Hervorstechend ist, dass Betriebe im Schnitt *Softwaresysteme zur Produktionsplanung und -steuerung* mit Abstand früher einführen als alle anderen Technologien. Die Betriebe setzen

diese Technologie im Mittel bereits seit 2004 ein. Die Einführung der anderen I4.0-Befähigertechnologien erfolgte im Durchschnitt erst ab 2010. 2010 ist das durchschnittliche Einführungsjahr für *IT-Systeme für Supply Chain Management* und eine *IT-gestützte Automatisierung und Steuerung der internen Logistik*, gefolgt von *echtzeitnahe Produktionsleitsysteme* sowie *Product Lifecycle Management Systeme* im Jahr 2011. Entsprechend der technologischen Entwicklung folgten die Einführungen *Digitale Visualisierung* im Jahr 2013 sowie *mobile Geräte zur Programmierung und Bedienung von Anlagen und Maschinen* im Jahr 2014.

In der Abbildung werden die technologischen Sprünge gut sichtbar. Für fast alle Technologien war die Einführungsdynamik in den letzten Jahren deutlich höher. Erste Anwendungen der Technologien reichen hierbei allerdings zurück bis Mitte der 1990er Jahre. Damit wird zum einen die lange Historie der Digitalisierung im Verarbeitenden Gewerbe sichtbar, zum zweiten wird auch die lange Zeitspanne für eine breitere Diffusion neuer Technologien in der Industrie deutlich. Insgesamt tritt der große Entwicklungsschub in der Anwendung digitaler Technologien ab 2010 deutlich hervor.

Abbildung 4-12: Einführungsjahr der Digitalisierungstechnologien im Verarbeitenden Gewerbe



Quelle: Erhebung Modernisierung der Produktion 2018, Fraunhofer ISI.

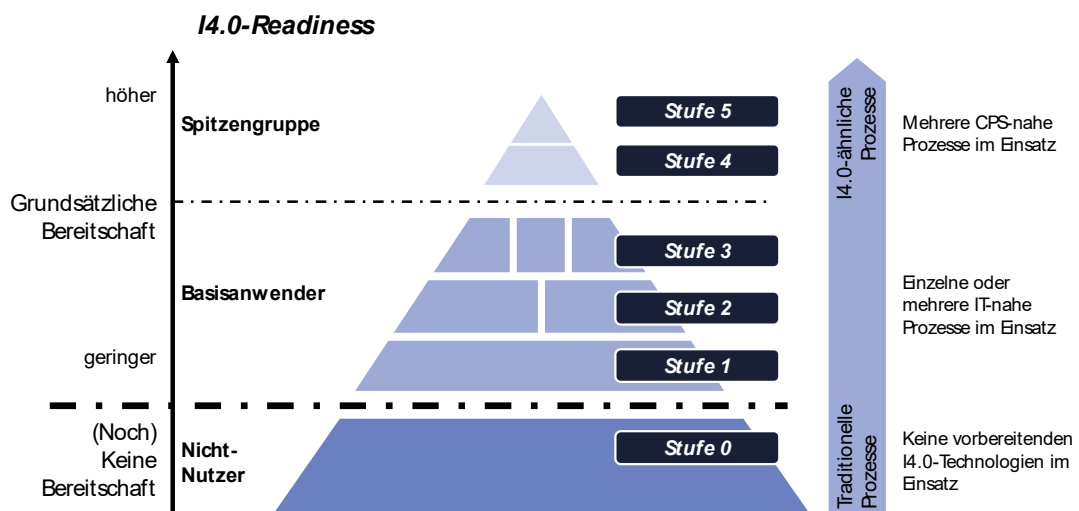
### 4.3.2 Beschreibung des Industrie 4.0-Readiness Index

Der vom Fraunhofer ISI entwickelte I4.0-Readiness Index bewertet den Stand des Verarbeitenden Gewerbes auf dem Weg hin zur Umsetzung von Industrie 4.0 (Lerch et al., 2016). Durch die Berücksichtigung der simultanen Nutzung verschiedener Technologien aus mehreren Techno-

logiefeldern wird der Digitalisierungsgrad der Betriebe erfasst, sodass die Industrie 4.0-Readiness von Betrieben, Branchen oder Industrieregionen vergleichend untersucht werden kann. Die betrachteten Technologien werden dafür in drei Felder eingeteilt: Die Technologiefelder *Digitale Managementsysteme* und *Drahtlose Mensch-Maschine-Kommunikation* werden dabei IT-nahen Prozessen zugeordnet und können als Grundlagetechnologien auf dem Weg zu Industrie 4.0 betrachtet werden. Die Technologien im dritten Technologiefeld *Cyber-Physical-System (CPS)-nahe Prozesse* enthalten erste Ansätze einer vernetzten Produktion und bedeuten einen größeren Eingriff in traditionelle Produktionsabläufe und -technologien.

Die technologische Ausstattung in den drei Technologiefeldern bildet die Grundlage für den I4.0-Readiness Indexes. Der I4.0-Readiness Index teilt dabei Betriebe, je nach Nutzung und Kombination der Technologiefelder in der Produktion, in verschiedene Hauptgruppen und -stufen ein. Wie in Abbildung 4-13 dargestellt, kann dabei zwischen sechs Stufen unterschieden werden, welche wiederum in drei grundlegende Gruppen zusammengefasst werden können: Nicht-Nutzer, Basisanwender und Spitzengruppe. Als Nichtnutzer (*Stufe 0*) werden jene Betriebe klassifiziert, die keine der untersuchten digitalen Technologien einsetzen und tendenziell noch auf traditionelle Produktionsprozesse setzen. Als Basisanwender werden die *Stufen 1, 2 und 3* zusammengefasst. Sie bilden ab, ob ein Betrieb Technologien aus einem, zwei oder drei Technologiefeldern anwendet. Die Spitzengruppe (*Stufe 4 und 5*) zeigt, dass ein Betrieb Technologien aus allen drei Technologiefeldern nutzt und zudem zwei (*Stufe 4*) bzw. drei (*Stufe 5*) CPS-nahe Prozesse in der Produktion implementiert hat. Der I4.0-Readiness-Index gibt somit Auskunft über das Potenzial eines Betriebs für eine I4.0-nahe Produktion. Je höher die Stufe desto höher die I4.0-Readiness, Abbildung 4-13 bietet hierzu eine schematische Darstellung. Eine detailliertere Beschreibung der I4.0-Readiness-Stufen sowie der Gruppierung ist Lerch et al., 2016 zu entnehmen.

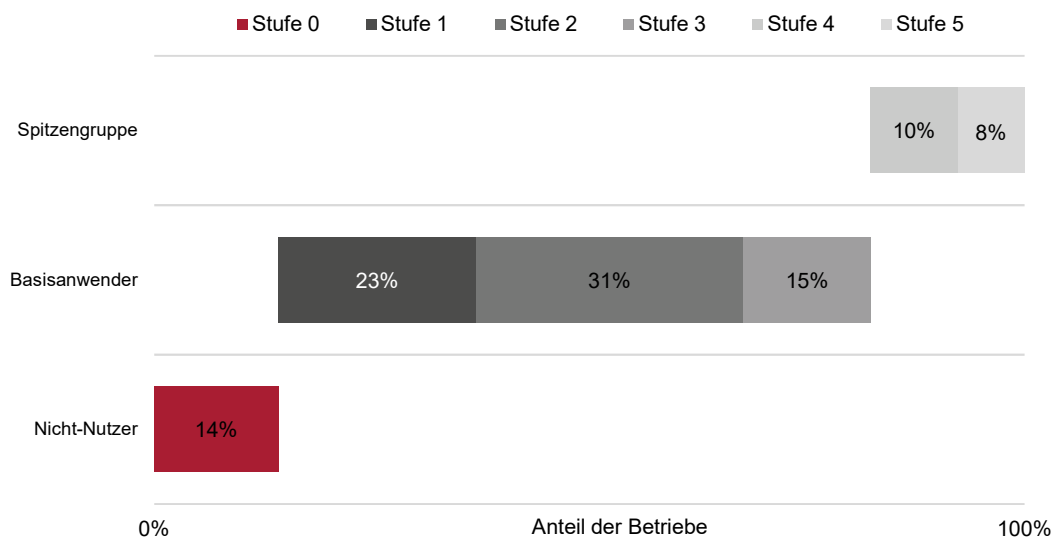
Abbildung 4-13: Schematische Darstellung des I4.0-Readiness-Index mit Hauptgruppen und individuellen Stufen



### 4.3.3 I4.0-Readiness Index im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands

Die Gruppierung der Betriebe des Verarbeitende Gewerbes in Deutschland in die Gruppen des I4.0-Readiness-Index mit seinen sechs Stufen ist in Abbildung 4-14 dargestellt. Der Gruppe der Nicht-Nutzer, die (noch) keine digitalen Anwendungen nutzen und damit keine Bereitschaft zu einer Produktionsorganisation im Sinne von Industrie 4.0 zeigen, gehören 14 Prozent der Betriebe (*Stufe 0*). Erste Ansätze einer I4.0-Readiness zeigen die Betriebe der Basisanwender, welche bereits einige digitale Technologien nutzen. Mit insgesamt 69 Prozent ist dabei die Mehrzahl der Betriebe den Basisanwendern zuzuordnen. Davon sind 23 Prozent der Betriebe als digitale Anfänger (*Stufe 1*) zu bewerten. Die fortgeschrittenen Anfänger (*Stufe 2*) machen mit 31 Prozent den größten Anteil der Basisanwender aus. Immerhin 15 Prozent aller Betriebe befinden sich in *Stufe 3*. Der Spitzengruppen können insgesamt 18 Prozent der Betriebe zugeordnet werden. 10 Prozent der Betriebe nutzt neben der Digitalisierung in allen drei Technologiefeldern zwei der drei betrachteten CPS-nahen Prozesse (*Stufe 4*), 8 Prozent hat sogar alle drei CPS-nahen Prozesse implementiert (*Stufe 5*).

Abbildung 4-14: I4.0-Index im Verarbeitenden Gewerbe



Quelle: Erhebung Modernisierung der Produktion 2018, Fraunhofer ISI.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass über die Hälfte aller Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes auch im Jahr 2018 digitale Technologien nur in ein oder zwei der drei Technologiefelder einsetzten. Diese Betriebe haben demnach die Digitalisierung der Produktion nur in Ansätzen realisiert und vertrauen weiterhin sehr stark auf traditionelle Produktionsprozesse. Die selbstverständliche Nutzung IT-naher Prozesse in der Produktion kann noch nicht als allgemeingültiger Standard für Industriebetriebe Deutschland angesehen werden. Im Vergleich zum Jahr 2015 (Lerch et al., 2016) ist allerdings der Anteil der Nicht-Nutzer deutlich zurückgegangen. Nur noch

jeder siebente Betrieb nutzt keine der digitalen Lösungen. Gleichzeitig hat ein Drittel der Industriebetriebe bereits eine breite Digitalisierung begonnen und nutzt CPS-nahe Prozesse für die Produktion. Jedoch ist der Anteil der Betriebe in der Spitzengruppe mit einer höheren Bereitschaft hin zu Industrie 4.0 in den letzten Jahren nur leicht gestiegen. Die dynamische Entwicklung der Digitalisierung ist derzeit besonders im Bereich der Basisanwendungen zu finden. Insgesamt ist das Gros der Industriebetriebe Deutschlands noch weit entfernt von der Idee einer digitalisiert vernetzten Produktion im Sinne von Industrie 4.0.

#### 4.3.4 I4.0-Readiness nach Branche, Betriebs- und Produktionsgröße

Bei der Analyse der I4.0-Readiness für Betriebe unterschiedlicher Betriebsgrößen werden große Unterschiede sichtbar: Abbildung 4-15 verdeutlicht, dass besonders der Anteil der Betriebe in der Spitzengruppe zwischen den verschiedenen Betriebsgrößen sehr unterschiedlich ausfällt. Große Betriebe haben eine weitaus höhere I4.0-Einsatzbereitschaft als kleine Unternehmen. Während die Hälfte der Betriebe mit 500 oder mehr Beschäftigten der Spitzengruppe zugeordnet werden, sind es bei den Anwenderbetrieben von bis zu 49 Mitarbeitern lediglich 9 Prozent. Auch bei den mittleren bzw. den kleineren mittleren Betrieben schwankt dieser Anteil von 30 Prozent bei 100 bis 499 Beschäftigten zu 14 Prozent bei 50 bis 99 Beschäftigten. Somit lässt sich deutlich erkennen, dass der Einsatz von CPS-nahen Prozessen mit zunehmender Betriebsgröße deutlich ansteigt. Diese Entwicklung ist auch bei dem Anteil der Nicht-Nutzer (*Stufe 0*) sichtbar: Während ein Fünftel der kleinen Betriebe keine der untersuchten digitalen Technologien nutzen, sind es bei den großen Betrieben lediglich 3 Prozent. Bei allen Betriebsgrößen, mit der Ausnahme der großen Betriebe, sind über zwei Drittel der Betriebe den Basisanwendern (*Stufe 1* bis *Stufe 3*) zuzuordnen.

Diese systematischen Unterschiede entlang der Betriebsgröße verweisen wieder auf die unterschiedliche Ressourcenausstattung der Betriebe. Darüber hinaus ist zu vermuten, dass bei steigender Beschäftigtenzahl im Betrieb eher qualifiziertes Know-how im Umgang mit digitalen Technologien zu finden ist und damit die Einführung digitaler technologischer Anwendungen noch zusätzlich erleichtert wird. Gleichzeitig ist zudem zu bedenken, dass einige Technologien erst ab einem bestimmten Produktionsvolumen bzw. einer bestimmten Variantenvielfalt erfolgsbestimmend und profitabel wirksam sind und eine Einführung dieser Technologien für kleinere Betriebe ggfs. weniger vorteilhaft wäre.

Ein Blick auf die Komplexität des hergestellten Produkts offenbart ebenfalls Unterschiede in der I4.0-Bereitschaft der Betriebe (Abbildung 4-16). Insbesondere Produzenten einfacher Erzeugnisse und Produzenten komplexer Produkte unterscheiden sich deutlich. Während bei den Betrieben mit komplexen Produkten 22 Prozent zu der Spitzengruppe gehören, sind es bei Betrieben mit einfachen Erzeugnissen lediglich 13 Prozent. Der Anteil an Nicht-Nutzern hingegen liegt bei den Betrieben mit komplexen Produkten bei lediglich bei 9 Prozent, bei Herstellern einfacher Erzeugnisse jedoch bei 23 Prozent. Der Anteil der Betriebe der Basisanwender fällt mit etwa

zwei Dritteln vergleichsweise ähnlich aus. Am größten ist diese Gruppe unter den Betrieben mit Erzeugnissen mittlerer Qualität. Die hier betrachteten Technologien sind demnach besonders für die Produktion komplexer Produkte von Vorteil. Eine grundlegende Digitalisierung scheint jedoch auch für Hersteller einfacher Erzeugnisse von Vorteil zu sein.

Abbildung 4-15: I4.0-Bereitschaft nach Betriebsgröße

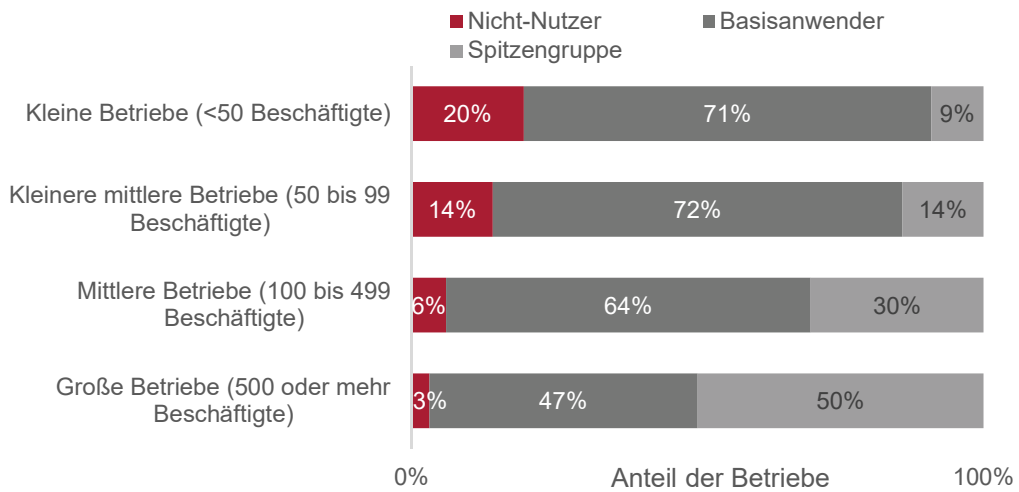
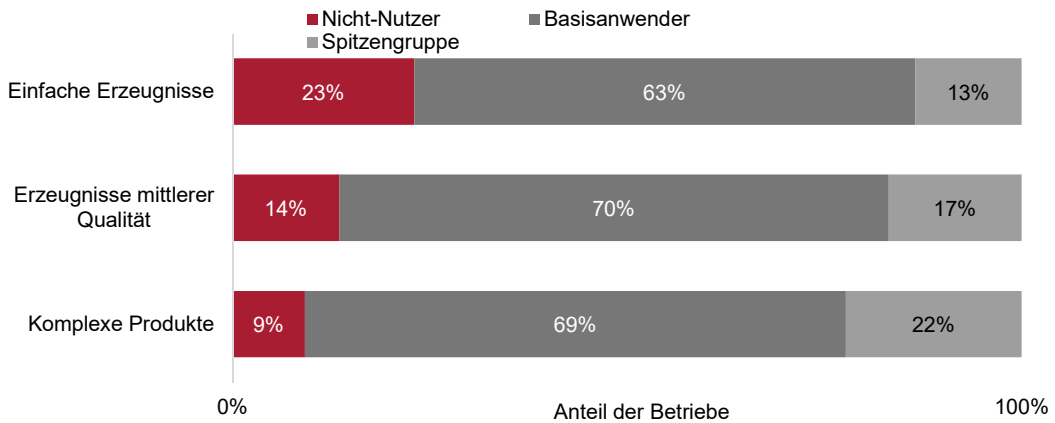


Abbildung 4-16: I4.0-Bereitschaft nach Produktkomplexität



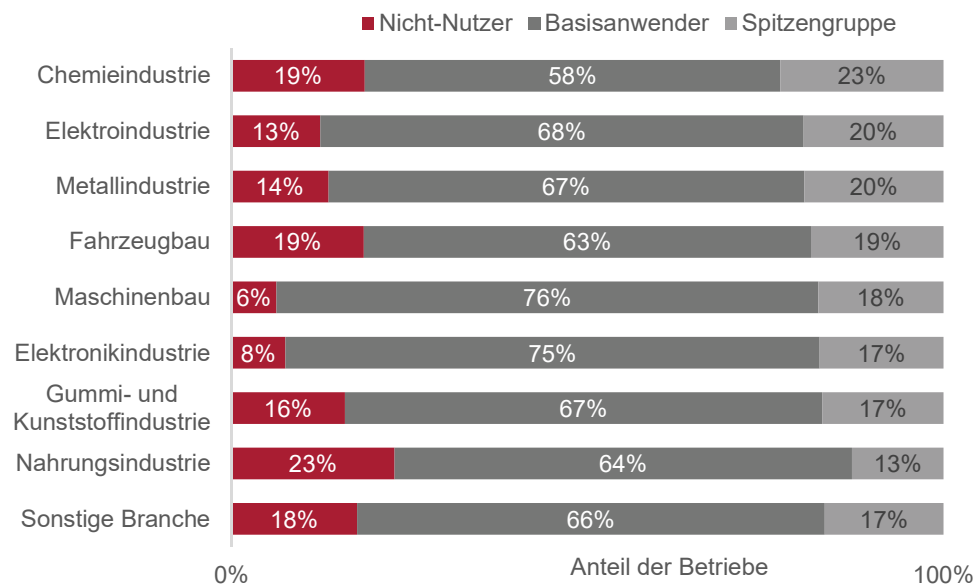
Quelle: Erhebung Modernisierung der Produktion 2018, Fraunhofer ISI.

Ein Vergleich der I4.0-Readiness entlang der verschiedenen industriellen Branchen ist in Abbildung 4-17 visualisiert. Den größten Anteil der Unternehmen in der Spitzengruppe weisen die Hersteller von chemischen Erzeugnissen mit fast einem Viertel aller Betriebe auf, gefolgt von den Betrieben der Metallindustrie und der Elektroindustrie mit jeweils 20 Prozent. Dahingegen erreichen lediglich 13 Prozent der Betriebe in der Nahrungsmittelindustrie diese Kategorie. Auch mit Blick auf die Nicht-Nutzer werden einige Unterschiede deutlich. Hier ist der Anteil im Maschinenbau sowie in der Elektronikindustrie am niedrigsten, während er bei den Herstellern von Nahrungs- und Genussmitteln mit fast 23 Prozent am größten ausfällt. In allen Branchen stellen



die Grundgruppen die Mehrheit dar, im Maschinenbau und in der Elektronikindustrie ist diese Gruppe jedoch mit Abstand am häufigsten anzutreffen. Ein Mindestmaß an Digitalisierung ist hier als Standard anzusehen. Insgesamt wird aus den Ergebnissen deutlich, dass zwischen unterschiedlichen Branchen deutliche Unterschiede in der Industrie 4.0-Readiness der Betriebe bestehen und insbesondere die Betriebe in der Chemie-, Elektro- sowie der Metallindustrie eine Vorreiterrolle auf dem Weg zu Industrie 4.0 einnehmen.

Abbildung 4-17: I4.0-Bereitschaft nach Branchen



Quelle: Erhebung Modernisierung der Produktion 2018, Fraunhofer ISI.

Bei einer multiplen Betrachtung der verschiedenen strukturellen Merkmale wird deutlich, dass insgesamt der Unterschied zwischen den Basisanwendern und der Spitzengruppe, wesentlich in den unterschiedlichen Ressourcen aufgrund der Betriebsgröße zurückzuführen sowie in den unterschiedlichen Anforderungen der einzelnen Branchen begründet ist (vgl. Anhang 2, rechtes Modell). Bei einer gleichzeitigen Betrachtung der strukturellen Faktoren bleiben diese beiden Einflussgrößen statistisch signifikant. Größere Betriebe weisen typischerweise eine höhere I4.0-Readiness auf, ebenso ist für Betriebe der Prozessindustriebereichen im Durchschnitt unter Kontrolle der anderen Betriebs- und Produktionscharakteristika ein höherer Wert der I4.0-Readiness festzustellen.

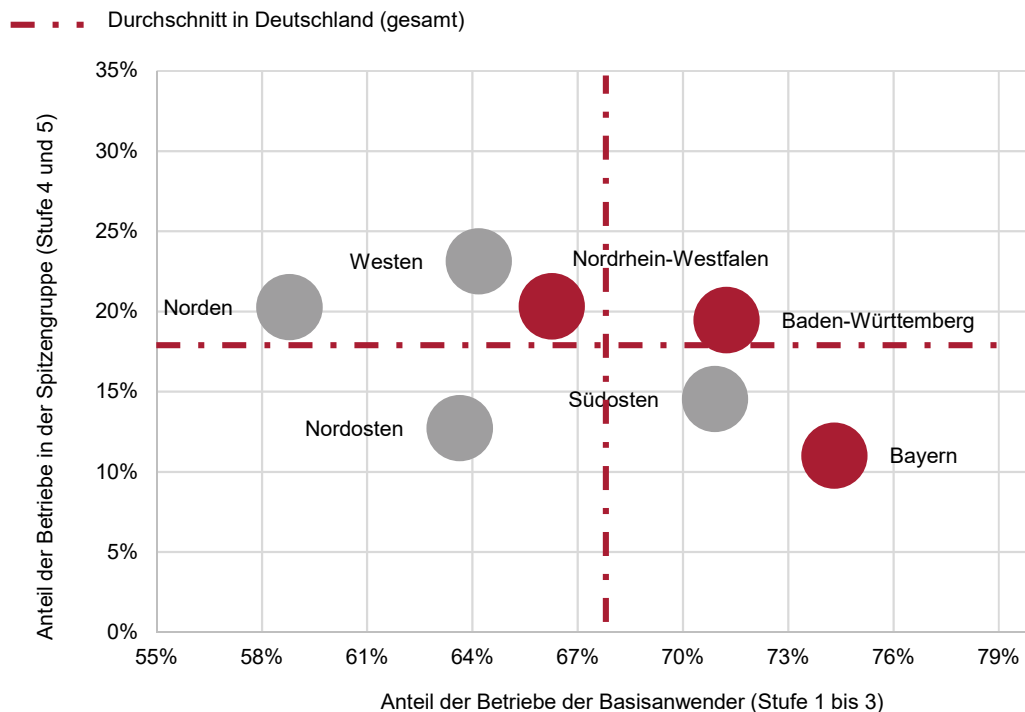
Der Unterschied zwischen Nicht-Nutzern und den Betrieben der Basisanwender hingegen ist neben dem Einfluss der Betriebsgröße wesentlich durch die Fertigungsart und das Qualifikationsniveau der Beschäftigten bestimmt. Laut der Schätzung des multiplen Modells (vgl. Anhang 2, linkes Modell) setzen Betriebe mit einer Vorfertigung und folgender Endmontage nach Auftragseingang eher auf die grundlegende Digitalisierung als Betriebe, die auf Lager fertigen, bzw. als Betriebe, die das ganze Produkt erst nach Kundenauftragseingang herstellen. Dabei fördert

ein größerer Anteil an hochqualifizierten Beschäftigten diese Chance, digitale Basistechnologien und -anwendungen einzusetzen.

#### 4.3.5 Industrie 4.0-Readiness im regionalen Vergleich

Angesichts dieser strukturellen Einflüsse werden auch zwischen den Regionen Deutschlands Unterschiede in der I4.0-Readiness der Industriebetriebe deutlich sichtbar. Abbildung 4-18 bildet die Anteile der I4.0-Basisanwender (*Stufe 1 bis Stufe 3*) und die Anteile der Spitzengruppe (*Stufe 4 und Stufe 5*) für die sieben Industrieregionen Deutschlands ab und stellt zusätzlich die jeweiligen Durchschnittswerte für Deutschland dar.

Abbildung 4-18: Vergleich der I4.0-Basisanwender und Spitzengruppe innerhalb der Industrieregionen



Quelle: Erhebung Modernisierung der Produktion 2018, Fraunhofer ISI.

Der Anteil der Betriebe, die zu den Basisanwendern gehören, ist auf der x-Achse abgebildet und liegt deutschlandweit zwischen 59 Prozent und 74 Prozent. Betriebe aus Bayern haben mit über 74 Prozent genauso wie Betriebe aus Baden-Württemberg und dem Südosten mit über 71 Prozent die größten Anteile in der Basisgruppe auf dem Weg zur Industrie 4.0. In der Spitzengruppe, dargestellt auf der y-Achse, weist die Industrieregion Westen mit über 23 Prozent der Betriebe den größten Anteil auf. Über dem deutschlandweiten Durchschnitt der Spitzengruppe bewegen sich zudem NRW, der Norden sowie Baden-Württemberg.

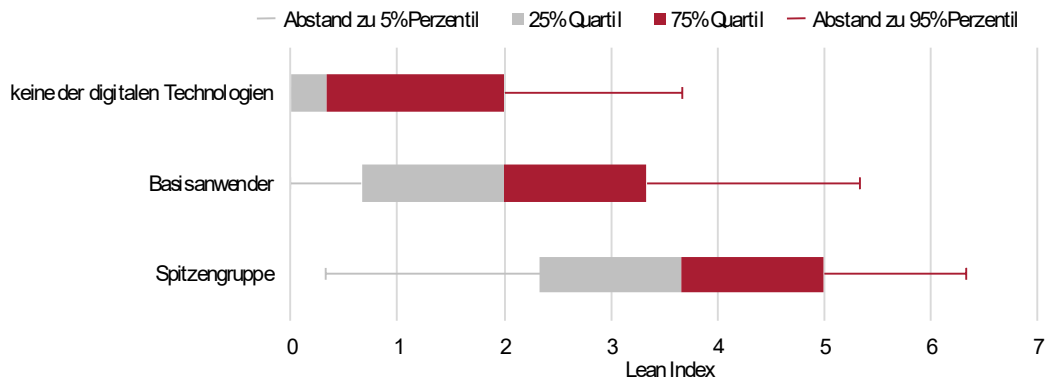
In der Kombination beider Größen können Baden-Württemberg gefolgt von NRW und der Westen als Vorreiter angesehen werden. Insbesondere Baden-Württemberg liegt mit über 71 Prozent in der Grundgruppe sowie zwei von zehn Betrieben in der Spitzengruppe als einziges Bundesland in beiden Anteilen über dem bundesdeutschen Durchschnitt. Auch der Anteil der Nicht-Nutzer ist entsprechend im Vergleich für den Industriestandort Baden-Württemberg mit 9 Prozent aller Betriebe am niedrigsten. Während im nationalen Durchschnitt 14 Prozent aller Betriebe in der Stufe 0 eingeordnet sind, liegt nur der Anteil Baden-Württembergs eindeutig unter dem Durchschnitt. Die grundlegende Digitalisierung der Produktion ist damit in dieser Region am weitesten verbreitet. Allerdings sind die Abstände zu den folgenden Regionen nur graduell. Der größte Aufholbedarf ist für die Regionen Norden und Nordosten festzustellen.

## 4.4 Zusammenspiel von Lean-Prinzipien und I4.0-Readiness

Von großem Interesse ist eine Analyse hinsichtlich des Zusammenspiels der Umsetzung von Lean-Prinzipien sowie der Industrie 4.0-Readiness der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes: Zunächst lässt sich feststellen, dass zwischen der Umsetzung der Lean-Prinzipien (Index von 0 bis 7) und der Industrie 4.0-Readiness (3 Stufen: Nicht-Nutzer, Basisanwender und Spitzengruppe) bei den Betrieben des Verarbeitenden Gewerbes Deutschlands im Durchschnitt eine positive Korrelation von 0,403 mit einer statistischen Signifikanz von  $p < 0,001$  festzustellen ist. Wird für die Berechnung der Korrelation die sechs-stufige Skala des I4.0-Indizes herangezogen, beträgt die Korrelation sogar 0,490 ( $p < 0,001$ ). Für die Beziehung zwischen Lean-Prinzipien und Industrie 4.0 lässt sich somit für die Industriebetriebe in Deutschland Folgendes ableiten: Je höher der Lean-Index, desto höher deren I4.0-Readiness und umgekehrt.

Abbildung 4-19 visualisiert diese Beziehung zwischen Lean-Index (x-Achse) und der I4.0-Readiness (y-Achse). Die positive Korrelation zwischen den beiden Indizes wird deutlich sichtbar: Während die Nicht-Nutzer digitaler Anwendungen lediglich einen mittleren Lean-Index von 0,3 (Median) erreichen, beträgt der Grad der Umsetzung der Lean-Prinzipien in der I4.0-Spitzengruppe im Mittel 3,6. Dazwischen liegen mit einem Lean-Index von 2,0 jene Betriebe, die zu den I4.0-Basisanwendern eingeordnet sind. Auch eine detailliertere Betrachtung der sechs I4.0-Stufen bestätigt diese Beziehung. Während die Nicht-Nutzer (*Stufe 0*) einen Wert von 0,3 beim Lean-Index aufweisen, beträgt dieser Wert bei den Basisanwendern bereits 1,0 (*Stufe 1*), 2,0 (*Stufe 2*) und 3,0 (*Stufe 3*). Die Betriebe der *Stufe 4* weisen einen Lean-Index von 3,0 auf, Betriebe der *Stufe 6* sogar einen mittleren Wert des Lean-Index von 4,7.

Abbildung 4-19: Umsetzung von Lean-Prinzipien und I4.0-Readiness



*Erhebung Modernisierung der Produktion 2018, Fraunhofer ISI.*

Auch bei einer zusätzlich gleichzeitigen Berücksichtigung verschiedener betrieblicher Merkmale, welche die I4.0-Readiness und den Grad der Umsetzung der Lean-Prinzipien bestimmen, bleibt dieser positive Zusammenhang bestehen. Wie in den im Anhang 3 dargestellten Schätzmodellen abgebildet, liefert der Grad der Umsetzung von Lean-Aktivitäten einen eigenständigen Erklärungsbeitrag zusätzlich zu den anderen betrieblichen Merkmalen.

Deutlich wird zum einen die Chance, dass ein Betrieb zur Gruppe der Basisanwender statt zur Gruppe der Nicht-Nutzer zu zählen ist, wenn er wesentlich vom Grad der Umsetzung der Lean-Prinzipien bestimmt wird. Die Effektkoeffizienten zeigen an, dass der Lean-Index den größten Einfluss hat. Bei einem höheren Lean-Index ist auch die relative Wahrscheinlichkeit gegeben, dass ein Betrieb Basisanwender ist bzw. zur Spitzengruppe gehört, deutlich größer. Zusätzlich dazu sind die Erklärungsfaktoren Fertigungsart, Betriebsgröße und Qualifikation der Beschäftigten relevant in diesem Modell. Anzumerken ist zudem, dass der Einfluss der Betriebsgröße bei Beachtung des Lean-Index deutlich kleiner ausfällt als ohne diesen Faktor, was nicht verwunderlich ist, da auch die Implementierung von Lean-Organisationskonzepten von der Betriebsgröße beeinflusst ist.

Zum anderen ergibt das Modell zur Schätzung, ob ein Betrieb der Spitzengruppe zuzurechnen ist oder der Gruppe der Basisanwender, sodass der Lean-Index neben der Branchenzuordnung und der Betriebsgröße nur eine zusätzliche Erklärungsgröße darstellt (vgl. ebenfalls Anhang 3). Der wichtigste Erklärungsfaktor in diesem Modell ist die Betriebsgröße. Der Einfluss der Betriebsgröße fällt zwar auch hier bei Beachtung des Lean-Index deutlich kleiner aus als ohne Beachtung der Lean-Aktivitäten, jedoch bleibt diese der entscheidende Faktor zur Erklärung, welche Betriebe zur Spitzengruppe gehören und welche Betriebe zu den Basisanwendern zählen.

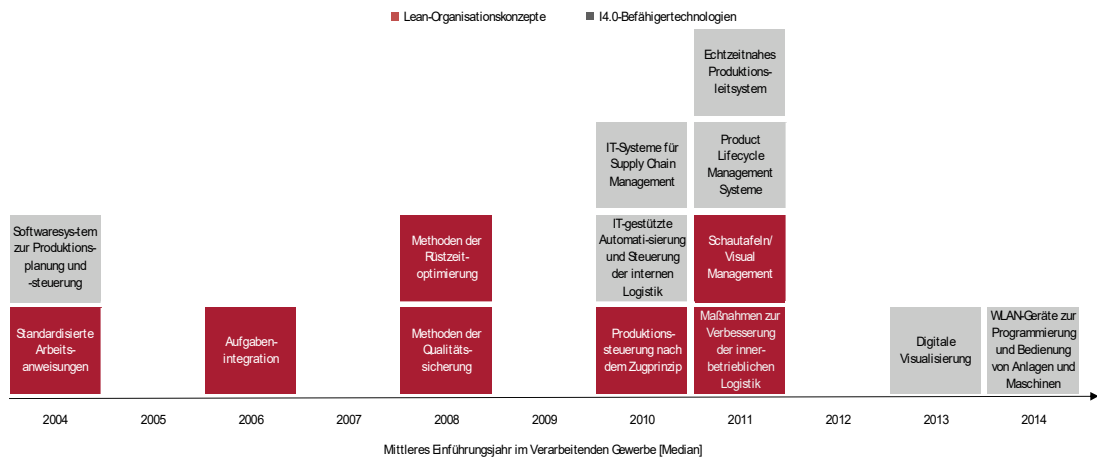
Insgesamt lässt sich zusammenfassen, dass Betriebe mit einer höheren Umsetzung der Lean-Prinzipien im Durchschnitt auch eine höhere Industrie 4.0-Readiness aufweisen. Aus dieser positiven Korrelation lässt sich deuten, dass eine schlanke Organisation, im Sinne von Lean, die

Einführung von Industrie 4.0-Technologien in den Unternehmen erleichtern. Der Grad der Umsetzung der Lean-Prinzipien ist insbesondere für die Schwelle zwischen Nicht-Nutzern und digitalen Beginnern die wichtigste Einflussgröße. Für die Schwelle vom digitalen Beginner zur Spitzengruppe bleibt die Betriebsgröße entscheidend, zusätzlich bestimmt der Grad der Umsetzung der Lean-Prinzipien die Chance der Spitzengruppe zuzugehören.

Die vorliegenden Querschnittsdaten erlauben keine direkte Kontrolle des zeitlichen Abstands zwischen der Einführung der Lean-Organisationskonzepte und der folgenden Einführung der I4.0-nahen Technologien in den multiplen Regressionen. Die in den Modellen getesteten Korrelationen könnten daher auch die gegenteilige Interpretation erlauben, dass Lean-Prinzipien erst nach der Einführung von I4.0-nahen Technologien eingeführt wurde. Jedoch sprechen die Daten im Durchschnitt für die dargestellte Interpretation, dass ein höherer Lean-Index zu einer höheren I4.0-Readiness führt. Denn es konnte gezeigt werden, dass die einzelnen Lean-Organisationskonzepte im Durchschnitt früher implementiert wurden als die betrachteten Industrie 4.0-Befähigungstechnologien (vgl. Abbildung 4-12).

Abbildung 4-20 visualisiert nochmals zusammenfassend die mittleren Einführungsjahre (Median) der Lean-Organisationskonzepte und der digitalen Produktionstechnologien im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands. Das durchschnittliche Einführungsjahr aller analysierten Konzepte bzw. Technologien liegt zwischen 2004 und 2014, d.h. innerhalb von 10 Jahren. Die Abbildung verdeutlicht, dass die Betriebe die Organisationskonzepte sichtbar vor den I4.0-Technologien einführen – mit einer Ausnahme der *Softwaresysteme zur Produktionsplanung und -steuerung*, die gleichzeitig mit der zunehmenden Standardisierung der Arbeit im Mittel bereits im Jahr 2004 eingeführt wurde. Das mittlere Einführungsjahr der Organisationskonzepte erstreckt sich von 2004 bis 2011. Konkret führte bis 2004 bereits die Hälfte aller Betriebe, die heute *Standardisierte Arbeitsanweisungen* nutzen, dieses Konzept ein. Mit Blick auf die Digitalisierungstechnologien liegen die mittleren Einführungsjahre zwischen 2010 und 2014 und damit deutlich später, wenn der Einsatz von *Softwaresystemen zur Produktionsplanung und -steuerung* unbeachtet bleibt.

Abbildung 4-20: Mittleres Einführungsjahr [Median] der Lean-Organisationskonzepte und I4.0-Befähigertechnologien



Quelle: Erhebung Modernisierung der Produktion 2018, Fraunhofer ISI.

Die vorliegenden Ergebnisse belegen den Zusammenhang der Umsetzung von Lean-Prinzipien und der Digitalisierung eines Industriebetriebs. Zudem verdeutlichen sie, dass Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland Lean-Organisationskonzepte im Schnitt zeitlich vor der Implementierung der betrachteten Digitalisierungstechnologien einführen. Dieser zeitliche Abstand kann als ein Indiz angesehen werden, dass Lean-Prinzipien eine Grundlage für die Digitalisierung der Betriebe darstellt und Betriebe mit einem höheren Umsetzungsgrad der Lean-Prinzipien besser für die Einführung digitaler Produktionstechnologien und IT-Managementkonzepten befähigt sind.

Unabhängig davon wird in der zeitlichen Abfolge auch deutlich, dass Digitalisierungstechnologien erst im Laufe des letzten Jahrzehnts für einen größeren Anteil der Industrie rentabel wurde bzw. für eine praktische Anwendung auf den Markt kam. Die konsequente Umsetzung eines *Visuellen Managements* als eines der schlanken Organisationskonzepte wird wiederum sicher durch die Nutzung digitaler Technologien erleichtert. Diese wird ein Grund für die im Vergleich zu den anderen Organisationskonzepten später einsetzende Einführungsdynamik.

## 4.5 Lean-Prinzipien und betriebliche Performance

Zuletzt stellt dieser Abschnitt den Zusammenhang der Nutzung von Lean-Organisationskonzepten auf die *Arbeitsproduktivität* und die *Qualität* in den Betrieben des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland dar. Die Frage ist, inwieweit der Grad der Umsetzung der Lean-Prinzipien, d.h. der Lean-Index, einen zusätzlichen Erklärungsbeitrag für die Performanz liefert. Im Folgenden werden dazu die Ergebnisse der jeweiligen Regressionsmodelle vorgestellt.

Zur Schätzung des Erklärungsmodells der *Arbeitsproduktivität* wird das abhängige Konstrukt mittels des natürlichen Logarithmus transformiert. Damit gilt grundsätzlich, dass die geschätzten Einflüsse stärker für die unteren Bereiche der Arbeitsproduktivität wirken als für die größeren

Werte. Im Modell werden acht grundsätzliche, bekannte Einflussfaktoren zu Betriebscharakteristika, Produktionsmerkmalen und Qualifikation der Beschäftigten berücksichtigt. Zusätzlich wird die Umsetzung der Lean-Organisationskonzepte betrachtet sowie die I4.0-Readiness. Um die zusätzliche Erklärungskraft und Wirkung der Lean-Umsetzung gut bewerten zu können, wurden aus Kontrollgründen jeweils auch ein Modell ohne Berücksichtigung der I4.0-Readiness geschätzt (Anhang 5) sowie das Basismodell (Anhang 6) dokumentiert.

Tabelle 4-1 zeigt die Ergebnisse der Schätzung des Regressionsmodells. Das Modell ist mit  $p < 0,0001$  statistisch signifikant und zeigt ein korrigiertes  $R^2$  von 0,233. Mit dem Modell werden somit über 23 Prozent der Varianz der Arbeitsproduktivität erklärt. Die Tabelle gibt für die jeweiligen Einflussfaktoren mit  $\Delta R^2$  den Erklärungsbeitrag sowie die statistische Bewertung wieder. Die ausführliche Dokumentation der Schätzung zu den einzelnen Indikatoren ist Anhang 4 zu entnehmen.

Tabelle 4-1: Lineare Regression der Bestimmungsfaktoren auf Betriebsebene für Arbeitsproduktivität (als Logarithmus)

Bereich	Konstrukt	$\Delta R^2$	Signifikanz
<i>Betriebscharakteristika</i>	Betriebsgröße	2,6%	***
	Branche	2,9%	**
	Stellung in der Wertschöpfungskette	0,1%	n.s.
<i>Produktionsmerkmale</i>	Seriengröße	0,8%	**
	Produktkomplexität	0,8%	**
	Fertigungsart	1,0%	**
	Wertschöpfungstiefe	5,1%	***
<i>Qualifikation der Beschäftigten</i>	Qualifikationsniveau	1,5%	**
<i>Umsetzung Lean-Konzepte</i>	Lean-Index	0,7%	**
<i>I4.0 Readiness</i>	I4.0-Readiness	1,0%	**
Modellgüte	Fallzahl	619	
	korr. $R^2$ / Signifikanz	23,3%	***

Signifikanzniveau: \*\*\*  $p < 0,001$ , \*\*  $p < 0,05$ ; \*  $p < 0,1$ . Quelle: Erhebung Modernisierung der Produktion 2018, Fraunhofer ISI.

Der Blick auf die *Betriebscharakteristika* verdeutlicht, dass insbesondere die Betriebsgröße sowie die Branchen wesentlich zur Erklärung beitragen. Die Stellung in der Wertschöpfungskette hingegen liefert keinen zusätzlichen Erklärungsbeitrag für die Arbeitsproduktivität. Im Detail zeigt sich, dass mit steigender Betriebsgröße auch die Arbeitsproduktivität zunimmt. Große Unternehmen scheinen größere Skaleneffekte realisieren zu können als kleinere Betriebe. Deutlich wird zudem, dass die Arbeitsproduktivität sich zwischen unterschiedlichen Branchen deutlich unterscheidet, jenseits aller beachteten weiteren Faktoren. Der zusätzliche Erklärungsbeitrag für dieses Konstrukt liegt 2,9 Prozent der erklären 23,3 Prozent Varianz. Dabei stechen insbesondere die Betriebe der Chemieindustrie heraus, welche eine wesentlich höhere Arbeitsproduktivität aufweisen, als die Referenzgruppe im Maschinenbau.

Auch die Bedeutung der *Produktionsmerkmale* für die Arbeitsproduktivität tritt deutlich hervor. Zum einen sind den strukturellen Eckdaten der Produktion (Seriengröße, Komplexität des Produkts, Art der Fertigung) Erklärungsbeiträge von jeweils zwischen 0,8 Prozent und 1,0 Prozent erklärter Varianz zuzurechnen. So zeichnen sich im Vergleich zu den Betrieben mit einer Einzel- fertigung insbesondere die Fertiger von großen Serien durch eine größere Arbeitsproduktivität aus. Aufgrund der sich wiederholenden Abläufe scheinen bei diesen Betrieben größere Potenzi- ale für Optimierungsmaßnahmen und Digitalisierung zu existieren. Darüber hinaus weisen die Hersteller komplexer Produkte eine höhere Arbeitsproduktivität auf als die Betriebe, die einfache Produkte produzieren. Mit Blick auf die Fertigungsart heben insbesondere die Betriebe mit einer Fertigung nach Eingang des Kundenauftrags empor, welche eine höhere Arbeitsproduktivität aufweisen als die Betriebe, die auf Lager fertigen. Zum anderen bringt die Wertschöpfungstiefe mit 5,1 Prozent erklärter Varianz den höchsten Erklärungsbeitrag für das Modell: Betrieben mit einer überdurchschnittlichen Wertschöpfungstiefe am Standort gelingt es im Schnitt eine effizi- entere Produktion zu organisieren und Arbeitsabläufe reibungsarmer aufeinander abzustim- men, so dass sie im Ergebnis mehr Produktivitätsgewinne erzielen können. Dies bestätigt vor- liegende Befunde, wonach die Wertschöpfungstiefe der mit Abstand stärkste Erklärungsfaktor für eine positive Ausprägung der Gewinnsituation, Gesamtfaktorproduktivität und Arbeitspro- duktivität von Industrieunternehmen ist (Kinkel et al., 2015).

Ebenfalls trägt die Berücksichtigung der *Qualifikation der Beschäftigten* zur Verbesserung des Erklärungsmodells der Arbeitsproduktivität bei (1,5 Prozent der erklärten Varianz). Im Detail zeigt sich, dass bei Betrieben mit einem größeren Anteil an hochqualifizierten Beschäftigten eine höhere Arbeitsproduktivität zu erwarten ist. So werden der Einsatz produktivitätssteigernder Technologien und Abläufe mit höher qualifizierte Arbeitskräfte leichter umsetzbar sein. Gleich- zeitig jedoch hat der Anteil geringer qualifizierter Beschäftigter keinen direkten (negativen) Ef- fekt auf die Arbeitsproduktivität. Betriebe, welche in der Produktion einen großen Anteil unge- lerten Personals einsetzen, weist bei Beachtung aller anderen Faktoren keine geringere Ar- beitsproduktivität auf als Betriebe, welche den Anteil an ungelerten Mitarbeitenden sehr gering halten.

Darüber hinaus trägt der Grad der *Umsetzung der Lean-Organisationskonzepte* zur Erklärung der Arbeitsproduktivität bei. Der Erklärungsbeitrag liegt bei 0,7 Prozent der erklärten Varianz. Dieser Zusammenhang bleibt auch statistisch signifikant bei Kontrolle der anderen Erklärungs- faktoren. Schließlich wird die Arbeitsproduktivität in Betrieben des Verarbeitenden Gewerbes auch von der *I4.0-Readiness* beeinflusst. Im Vergleich zu den Nicht-Nutzern von I4.0 weisen insbesondere Betriebe, die bereits digitale Technologien nutzen, eine höhere Arbeitsproduktivität auf. Der geschätzte Erklärungsbeitrag liegt bei 1,0 Prozent der erklärten Varianz.



Tabelle 4-2: Niveau der Arbeitsproduktivität (Wertschöpfung je Mitarbeiter) in Abhängigkeit von der Ausschöpfung der Lean-Potenziale

Lean-Index	0	1	2	3	4	5	6	7
Arbeitsproduktivität (Wertschöpfung je Mitarbeiter) in Relation zu einem Lean-Index von 0	100,0%	102,8%	105,7%	108,7%	111,7%	114,8%	118,1%	121,4%
Arbeitsproduktivität (Wertschöpfung je Mitarbeiter) in Relation zu mittlerem Lean-Index von 2,2	94,1%	96,7%	99,5%	102,3%	105,1%	108,1%	111,1%	114,2%

Quelle: Erhebung Modernisierung der Produktion 2018, Fraunhofer ISI.

Nun stellt sich die Frage, wie sich die Nutzung von Lean-Konzepten konkret auf die betriebliche Arbeitsproduktivität, gemessen als Wertschöpfung je Beschäftigtem, auswirkt. Das lineare Regressionsmodell zur Erklärung der Arbeitsproduktivität (vgl. Tabelle 4-1) lässt eine Schätzung des Potenzials der Nutzung von Lean-Konzepten zur Produktivitätsverbesserung zu. Dabei ist der Einfluss von anderen betrieblichen Faktoren wie Betriebsgröße, Branche, Produktionsart oder Produktkomplexität bereits herausgerechnet, es lässt sich der alleinige Einfluss der Nutzung von Lean-Konzepten errechnen. Demnach erreicht ein durchschnittlicher Betrieb, der einen Lean-Index von 7 aufweist, d.h. alle sieben abgefragten Lean-Konzepte in hohem Umfang nutzt, eine um 21,4 % höhere Arbeitsproduktivität als ein durchschnittlicher Betrieb, der einen Lean-Index von 0 aufweist, also keines der abgefragten Lean-Konzepte nutzt (vgl. Tabelle 4-2). Im Mittelwert aller Betriebe liegt der Lean-Index bei 2,2. Betriebe mit einem maximalen Lean-Index von 7 weisen gegenüber diesen durchschnittlichen Lean-Nutzern eine um 14,2 % höhere Arbeitsproduktivität auf. Dies kann als Potenzial einer weitreichenden Nutzung von Lean-Konzepten im Vergleich zur mittleren Lean-Nutzung in der betrieblichen Realität interpretiert werden.

Demgegenüber stellt sich das Bild bei der Schätzung des Einflusses der Industrie 4.0-Readiness auf die Arbeitsproduktivität etwas anders dar. Hier weisen die Basisanwender zwar eine um 16,6 % höhere Arbeitsproduktivität auf als Betriebe, die keine der abgefragten digitalen Technologien nutzen. Allerdings beträgt der Produktivitätsvorsprung der Spitzengruppe bei der Industrie 4.0-Readiness gegenüber den Basisanwendern, die den Durchschnitt im Verarbeitenden Gewerbe darstellen, lediglich etwa 3,1 %. Das Potenzial einer umfänglichen Nutzung von digitalen Technologien ist demnach hinsichtlich des Produktivitätseffekts mit etwa 3 % deutlich geringer als bei einer umfänglichen Nutzung von Lean-Konzepten mit etwa 14 % Potenzial im Vergleich zum Mittelwert des Verarbeitenden Gewerbes. Hier gilt es allerdings zu beachten, dass die Gruppe der Basisanwender bei der Industrie 4.0-Readiness recht breit und heterogen ist, so dass sich

dort eine breitere Streuung von Produktivitätsausprägungen zeigt. Zudem wurden Lean-Prinzipien wie zuvor gezeigt im Mittel deutlich früher eingeführt als die abgefragten digitalen Technologien, sodass sich Produktivitätseffekte über einen längeren Zeitraum manifestieren konnten.

Tabelle 4-3 fasst die Schätzung des Einflusses der Faktoren auf die *Qualität* der Fertigung zusammen, die Details des Modells sind im Anhang 7 dargestellt. Als abhängige Variable wird die Ausschussquote verwendet, welche mittels des natürlichen Logarithmus transformiert wurde. Bei der Interpretation der geschätzten Koeffizienten gilt es daher zum einen zu beachten, dass eine steigende Ausschussquote eine sinkende Qualität widerspiegelt. Zum anderen sei hier daran erinnert, dass die geschätzten Einflüsse stärker für die unteren Bereiche der Ausschussquote wirken als für die größeren Werte, d.h. in dem Fall stärker für die höheren Qualitätsbereiche bestimmend sind als für die Bereiche geringer Qualität. Im Modell werden insgesamt sieben Einflussfaktoren zu Betriebscharakteristika, Produktionsmerkmalen, Qualifikation der Beschäftigten berücksichtigt. Zusätzlich wird die Umsetzung der Lean-Organisationskonzepte betrachtet sowie die I4.0-Readiness. Das geschätzte Regressionsmodell zur Erklärung der Ausschussquote ist mit  $p < 0,0001$  statistisch signifikant und erklärt 7 Prozent der Varianz dieses Qualitätsindicators (korrigiertes  $R^2$  von 0,007). Um die zusätzliche Erklärungskraft und Wirkung der Lean-Umsetzung gut bewerten zu können, wurden aus Kontrollgründen jeweils auch ein Modell ohne Berücksichtigung der I4.0-Readiness geschätzt (Anhang 8) sowie das Basismodell (Anhang 9) dokumentiert.

Tabelle 4-3: Lineares Regressionsmodell der Bestimmungsfaktoren auf Betriebsebene für den Logarithmus Ausschussquote

Bereich	Konstrukt	$\Delta R^2$	Signifikanz
<i>Betriebscharakteristika</i>	Betriebsgröße	0,6%	**
	Branche	2,6%	**
	Stellung in der Wertschöpfungskette	0,3%	n.s.
<i>Produktionsmerkmale</i>	Seriengröße	0,4%	n.s.
	Produktkomplexität	0,5%	n.s.
	Fertigungsart	0,9%	**
<i>Qualifikation der Beschäftigten</i>	Qualifikationsniveau	0,2%	n.s.
<i>Umsetzung Lean-Konzepte</i>	Lean-Index	0,7%	**
<i>I4.0 Readiness</i>	I4.0-Readiness	0,4%	n.s.
Modellgüte	Fallzahl	802	
	korr. $R^2$ / Signifikanz	7,0%	***

Signifikanzniveau: \*\*\*  $p < 0,001$ , \*\*  $p < 0,05$ ; \*  $p < 0,1$ . Quelle: Erhebung Modernisierung der Produktion 2018, Fraunhofer ISI.

Der Überblick verdeutlicht, dass die Qualität der Produktion wesentlich durch die Branche, Fertigungsart, Grad der Umsetzung von Lean-Prinzipien sowie der Betriebsgröße bestimmt wird: Bei den *Betriebscharakteristika* liefern sowohl die Betriebsgröße als auch die *Branche* einen Er-

klärungsbeitrag für die abhängige Variable Qualität, während die Stellung in der Wertschöpfungskette statistisch keinen signifikanten Einfluss aufweist. Die Branche zeigt mit 2,6 Prozent den höchsten Erklärungsbeitrag im Modell. Dabei sind die geschätzten *Odds Ratios* für die Branchen der Prozessindustrie sowie für den Fahrzeugbau negative Werte, d.h. insbesondere diese Branchen weisen im Vergleich zur Referenzgruppe des Maschinenbaus eine niedrigere Ausschussquote (bzw. höhere Qualität) auf. Hier zeigt sich einerseits, dass insbesondere Betriebe der Prozessindustrie in geschlossenen Kreisläufen produzieren, die stark reguliert und optimiert sind. Diese Prozesse sind demnach bereits stark kontrolliert und erreichen dabei eine höhere Qualität. Andererseits spiegelt sich die langjährige Entwicklung zu optimierten Prozessen im Fahrzeugbau wieder. Auch für die *Betriebsgröße* ist ein statistisch signifikanter, negativer Zusammenhang zur Ausschussquote festzustellen, auch wenn der zusätzliche Erklärungsbeitrag mit 0,6 Prozent relativ gering ausfällt. Der Schätzung folgend steigt mit steigender Betriebsgröße die Qualität an (bzw. die Ausschussquote sinkt). Dies mag darauf zurückzuführen sein, dass größere Betriebe mehr Möglichkeiten der systematischen Automatisierung sowie Prozessverbesserung aufweisen, wodurch wiederum die Ausschussquote sinkt.

[→ Glossar](#)

Mit einem Blick auf die *Produktionsmerkmale* leisten, mit der Ausnahme der Fertigungsart, weder die Seriengröße noch die Produktkomplexität einen relevanten Erklärungsbeitrag für die Qualität der Produktion. Im Vergleich zur Lagerfertigung weist die flexible Fertigung nach Kundenauftragseingang (make to order) als auch die Vorfertigung und Endmontage nach dem Auftragseingang (assemble to order) im Schnitt eine höhere Ausschussquote auf. Dieses bekannte Ergebnis spiegelt die höhere Fehleranfälligkeit einer flexibleren Produktion mit oftmals geringerer Automatisierung sowie weniger repetitiven Produktionsschritten wider. Dieser Zusammenhang trägt wesentlich zur Verbesserung des Modells bei, der zusätzliche Erklärungsbeitrag der Fertigungsart beträgt 0,9 Prozent.

Die Betrachtung der *Qualifikation der Beschäftigten* als Einflussfaktor liefert keine statistisch signifikante Korrelation zur Qualität.

Darüber hinaus ergab die Schätzung, dass die Nutzung der *Lean-Organisationskonzepte* die Qualität der Fertigung positiv beeinflusst. Die Berücksichtigung des Lean-Index leistet mit 0,7 Prozent einen statistisch signifikanten Erklärungsbeitrag für das Schätzmodell. Im Detail nimmt mit steigender Nutzung der Lean-Organisationskonzepte die Ausschussquote ab, d.h. die Qualität der Produktion steigt. Einige der Lean-Organisationskonzepte zielen explizit auf die Vermeidung von Verschwendung ab, wie bspw. die kontinuierliche Qualitätsverbesserung zur Verringerung von Ausschuss und fehlerhaften Produkte. Zudem scheint mit dem betrachteten Mix an schlanken Organisationskonzepten insgesamt der Produktionsprozess verlässlicher gestaltet und somit die Ausschussquoten der Betriebe reduziert zu werden. Anzumerken bleibt zum Abschluss, dass die I4.0-Readiness keinen statistisch signifikanten Erklärungsbeitrag zur Erklärung der Ausschussquote liefert.

## 4.6 Zwischenfazit

Im vorliegenden Kapitel wurde der Verbreitungsstand von Lean-Prinzipien im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands sowie die Bedeutung von Lean-Prinzipien in der Produktion für die Performanz von Betrieben des Verarbeitenden Gewerbes empirisch untersucht. Ausgehend von einer konkreten, handlungsorientierten Operationalisierung in der Produktion wurde der Beitrag der Umsetzung von Lean-Prinzipien zur Erklärung von Arbeitsproduktivität sowie zur Erklärung der Qualität der Produktion empirisch getestet. Berücksichtigung fand dabei auch das Zusammenspiel von Lean-Prinzipien und digitalen Produktionstechnologien in Industriebetrieben.

Zur empirischen Fassung von Lean-Prinzipien wurde auf den Grad der Umsetzung von sieben konkreten Organisationskonzepten zurückgegriffen. Dies ermöglichte einerseits die Untersuchung möglicher struktureller Rahmenbedingungen. Festzuhalten war hier, dass größere Betriebe deutlich häufiger in der systematischen und formalisierten Umsetzung von Lean-Prinzipien aktiv sind. Ebenfalls sind die Seriengröße und die Komplexität des hergestellten Produkts wichtige Erklärungsfaktoren, wie auch der Anteil an höher qualifiziertem Personal am Standort.

Andererseits ermöglichte dieser Ansatz zudem die genauere Untersuchung der zeitlichen Dynamik im Vergleich zur I4.0-Readiness. Hier zeigt sich, dass die Umsetzung von Lean-Prinzipien und der Einsatz von I4.0-nahen Technologien in positiver Abhängigkeit zueinanderstehen. Das heißt grundsätzlich, dass Betriebe, die stärker zu einer Umsetzung von Lean-Prinzipien neigen, auch häufiger I4.0-nahe Technologien in ihrer Produktion einsetzen und beide Bereiche miteinander einhergehen. Zwar lässt sich nicht eindeutig klären, ob I4.0-nahe Technologien auf Lean-Prinzipien folgen oder umgekehrt, allerdings zeigt sich am mittleren Einführungsjahr, dass Lean-Prinzipien im Durchschnitt etwa fünf bis zehn Jahre vor den I4.0-nahen Technologien eingeführt wurden. So wurden die untersuchten Lean-Prinzipien im Mittel zwischen 2004 und 2011 eingeführt, die I4.0-nahen Technologien hingegen erst zwischen 2010 und 2014 (mit Ausnahme der Softwaresysteme zur Produktionsplanung und -steuerung). Daher liegt der Schluss nahe, dass Lean-Prinzipien im Schnitt der Digitalisierung vorgelagert sind und Industriebetriebe zunächst Lean-Prinzipien in ihrer Produktion und erst dann I4.0-nahe Technologien einführen. In Verbindung mit dem eigenständigen Erklärungsbeitrag stützt dieser Befund die Annahme, dass die Umsetzung der Lean-Prinzipien die Implementierung von I4.0-nahen Technologien erleichtert.

In Ergänzung zur Betrachtung der Lean-Prinzipien wurde auch der aktuelle Digitalisierungsstand im Verarbeitenden Gewerbe untersucht. Als wichtiges Ergebnis gilt es hier festzuhalten, dass ein relevanter Teil, nämlich die Hälfte, aller Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes auch im Jahr 2018 digitale Technologien nur in ein oder zwei von drei Technologiefeldern einsetzen. In vielen Betrieben ist demnach die Digitalisierung der Produktion nur in Ansätzen realisiert, diese Betriebe verlassen sich weiterhin sehr stark auf traditionelle Produktionsprozesse. Gleichzeitig ist der Anteil an Betrieben ohne Anwendung digitaler Technologien mit 14 Prozent zwar noch rele-

vant, doch bereits relativ gering. Ein Drittel der Industriebetriebe hat bereits eine breite Digitalisierung begonnen und nutzt CPS-nahe Prozesse für die Produktion. In den nächsten Jahren ist eine weiter dynamische Entwicklung zu erwarten.

Zusammenfassend lassen die Analysen der Wirkung auf die Betriebsperformance deutlich werden, dass sich die Nutzung von Lean-Organisationskonzepten positiv auf die Qualität der Produktion wie auch auf die Arbeitsproduktivität auswirkt. Auch unter Beachtung weiterer Erklärungsfaktoren für beide Performanzmaße sind relevante Erklärungsbeiträge für den Lean-Index zu verzeichnen. Für die Produktionsqualität stellt der Grad der Einführung von Lean-Prinzipien nach der Branche des Betriebs sowie der Fertigungsart den drittichtigsten Faktor dar. Für die Produktivität des Arbeitseinsatzes hingegen sind viele Faktoren für die Erklärung entscheidender als die Berücksichtigung der Umsetzung der Lean-Prinzipien. Dennoch bleibt der positive Einfluss festzuhalten. Die I4.0-Readiness wirkt sich hingegen nur auf die Arbeitsproduktivität positiv aus, zur Erklärung der Produktionsqualität leistet sie keinen eigenständigen Beitrag.

Baden-Württemberg kann in beiden Disziplinen, sowohl bei den Lean-Prinzipien, als auch bei I4.0-nahen Technologien eine Vorreiterrolle innerhalb Deutschlands einnehmen. Ursache hierfür sind jedoch weniger regionale Aspekte an sich, sondern vielmehr die in Baden-Württemberg vorhandene Industriestruktur sowie die identifizierten Zusammenhänge zwischen Lean-Prinzipien und I4.0-nahen Technologien. So weist Baden-Württemberg überdurchschnittlich häufig Betriebe aus dem Maschinenbau, der Elektroindustrie und dem Fahrzeugbau auf, die wiederum bei der Industrie 4.0 und/oder den Lean-Prinzipien führend sind. Sicherlich profitiert Baden-Württemberg auch vom identifizierten Zusammenhang zwischen I4.0-Technologien und Lean-Prinzipien, wonach sich beide Felder positiv bedingen. So konnte die hohe I4.0-Readiness Baden-Württembergs vermutlich einerseits über die weit verbreiteten Lean-Prinzipien, andererseits durch die vorhandenen Produktionsstrukturen befördert werden. Insgesamt lässt sich festhalten, dass Lean-Prinzipien damit durchaus in der Lage sind, digitale Wertschöpfungspotenziale zu heben. Lean-Prinzipien sind I4.0-nahen Technologien zeitlich vorgelagert und es kann davon ausgegangen werden, dass sie die Ausschöpfung des Digitalisierungspotenzials von Produktionsprozessen erleichtern. Zudem leisten Lean-Prinzipien einen Beitrag für die Performanz von Industriebetrieben. So wirken sie positiv auf die Qualität von Produktionsprozessen sowie auf die Arbeitsproduktivität von Betrieben. Empirisch lässt sich damit zeigen, dass Lean-Prinzipien eine Doppelfunktion aufweisen: Zum einen als Befähiger für den Einsatz digitaler Produktionstechnologien, zum anderen als Konzept zur Steigerung der Qualität und Produktivität produzierender Betriebe.

## 5 Resultate der Experteninterviews

Neben der zuvor dargestellten quantitativen Erhebung sind strukturierte, leitfadengestützte Experteninterviews wichtiger Bestandteil des Forschungsvorhabens. Das Kapitel beschreibt in den folgenden Abschnitten die Vorgehensweise, Hauptaussagen und Erkenntnisse der geführten Interviews.

### 5.1 Vorgehensweise und befragte Unternehmen

Ziel der durchgeführten Experteninterviews war die Abbildung des Status quo von Vorreiterunternehmen des Verarbeitenden Gewerbes. Im Zentrum des Erkenntnisinteresses standen hierbei die Durchdringung der Konzepte Lean und Industrie 4.0 bei den befragten Unternehmen sowie deren Beitrag zur Wertschöpfung. Die Experteninterviews wurden mittels eines strukturierten Leitfadens durchgeführt. Neben Einstiegsfragen zur aktuellen Lage der Unternehmen, zielten die Fragen des Leitfadens auf die Themen Leistungskennzahlen von Produktionen, Lean, Industrie 4.0 sowie das Zusammenspiel letztgenannter Konzepte ab. Experten aus acht Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes standen für eine Befragung zur Verfügung, die größtenteils in Baden-Württemberg ansässig sind. Einige der Interviews wurden aufgrund der Covid 19 Pandemie online oder telefonisch durchgeführt.

Bei den ausgewählten Unternehmen handelt es sich um Hersteller von Investitionsgütern und Konsumprodukten, welche im besonderen Maße für ihre Produktionsabläufe und Strukturen ausgezeichnet wurden. Beispielhaft für solche Auszeichnungen sind *die Fabrik des Jahres* oder der *Manufacturing Excellence Award* zu nennen. Unternehmen der PKW-Branche und ihrer Zulieferer wurden aufgrund ihrer konjunkturellen Sonderentwicklung in den letzten zwei bis drei Jahren außen vorgelassen. Die befragten Unternehmen wurden somit als Vorreiter in Sachen effizienter Wertschöpfung und Anwendung anerkannter Konzepte, wie insbesondere Lean Production und Industrie 4.0, identifiziert.

Die Befragung fand mit Unternehmensvertretern mit Fachwissen und Erfahrung zu Produktion, Logistik und Wertschöpfungsprozessen statt und hatte einzelne Fabriken und Werke zum Untersuchungsgegenstand. Wo immer sinnvoll, wurden auch Vergleiche mit anderen Werken untersucht, sowie konzernweite Konzepte betrachtet.

Tabelle 5-1 gibt eine Übersicht über die Mitarbeiterzahl und den Umsatz der befragten Unternehmen.

Tabelle 5-1: Übersicht über Branche, Mitarbeiterzahl und Umsatz der befragten Fabriken, bzw. Unternehmen

Unternehmens- kürzel	Branche	Mitarbeiter	Umsatz
U1	Maschinenbauer für Möbelindustrie	426	123 Mio. €
U2	Küchenindustrie	1.500 <sup>1</sup>	k.A.
U3	Medizintechnik	3.653	808 Mio. €
U4	Maschinenbauer für Elektronikindustrie	2.304 <sup>1</sup>	927 Mio. € <sup>1</sup>
U5	Maschinenbauer Fertigungstechnik	14.490 <sup>1</sup>	3.784 Mio.€ <sup>1</sup>
U6	Nutzfahrzeugbau	2.000	2.290 Mio. €
U7	Konsumgüter, Pflegeprodukte	560	80 Mio. €
U8	Maschinenbauer für Reinigung	514	167 Mio. €

<sup>1</sup> Zahl bezieht sich auf Gesamtanzahl des Konzerns

Nach Durchführung der Experteninterviews wurden die aufgezeichneten Audiodokumente transkribiert und mittels Codesystem ausgewertet. Die Codes orientierten sich a priori an der Leitfadensstruktur und wurden während der Auswertung induktiv angepasst.

### 5.1.1 Charakterisierung der Produktionen

Die in der Untersuchung betrachteten Fabriken unterscheiden sich erheblich in den Produktionsstätigkeiten und -typen. Diese Unterschiede sind in Tabelle 5-2 dargestellt.

Tabelle 5-2: Charakterisierung der Produktionen

Unternehmens- kürzel	Montage/ Fertigung/ Beides	Auftragsauslösu ngsart	Ganzheitliches Produktionssystem	Durchlaufzeit von Aufträgen
U1	Primär Montage	Auftragsfertiger	ja	11-20 Wochen
U2	Primär Fertigung	Lagerfertiger	ja	1,3-1,4 Tage
U3	Primär Fertigung	Lagerfertiger	ja	5-15 Tage
U4	Montage	Auftragsfertiger	Nein, Methoden- sammlung	2-6 Wochen
U5	Primär Montage	Auftragsfertiger	ja	k. A.
U6	Primär Montage	Auftragsfertiger	nein	Ca. 8 Wochen
U7	Montage und Fertigung	Lagerfertiger	ja	k. A.
U8	Montage und Fertigung	Produktabhängig	ja	15 Tage

Zu den Produktionscharakteristika ist in der Tabelle das Vorhandensein *ganzheitlicher Produktionssysteme (GPS)* gelistet. Ein GPS zeichnet sich dadurch aus, dass alle Prozesse auf den Kunden, die Vermeidung von Verschwendung und kontinuierliche Verbesserung ausgerichtet

→ Glossar

→ *Glossar*

sind. Diese beinhalten fabrikübergreifende methodische Richtlinien zur Produktionsplanung und -steuerung sowie zur Prozessgestaltung. Ein weiterer wesentlicher Bestandteil von GPS ist der Kulturwandel bei allen Mitarbeitern hin zu einem Streben nach *kontinuierlicher Verbesserung* (VDI/VDE-Gesellschaft, 2012). Mit Ausnahme von U6 und U4 verfügen alle der befragten Vorreiterunternehmen über zentral organisierte Produktionssysteme.

### 5.1.2 Aktuelle Herausforderungen

Die befragten Unternehmen unterliegen diversen Herausforderungen der aktuellen Zeit. Auf die Frage nach Themen und Trends, welche die Unternehmen aktuell beschäftigen und vor Herausforderungen stellen, antworteten die Experten, wie in Tabelle 5-3 zusammenfassend dargestellt, Folgendes:

Tabelle 5-3: Aktuelle Herausforderungen der Unternehmen

	volatiler Absatzmarkt	Globalisierung / Konkurrenz	Marktmacht der Lieferanten / hohe Rohstoffpreise	Marktmacht der Kunden	Variantenvielfalt / Produktkomplexität	regulatorische Anforderungen der Branche	technologische Trends
U1		X					X
U2		X	X				
U3		X	X	X		X	X
U4	X	X					
U5		X					X
U6	X				X		
U7		X		X		X	
U8	X	X			X		

Vor allem machen den Unternehmen Marktschwankungen zu schaffen. Dies gilt sowohl für den Absatz-, als auch für den Beschaffungsmarkt. Diese werden vermehrt durch die Globalisierung ausgelöst. Internationale Konkurrenz erzeugt erhöhten Kostendruck im Absatz. Zudem ruft eine stärkere Marktmacht von Zulieferern und Rohstoffproduzenten hohe Beschaffungskosten hervor. Diese liegt begründet im gestiegenen Wettbewerb um knappe Rohstoffe, wie beispielsweise Silizium oder seltene Erden, aber auch im Protektionismus der rohstoffabbauenden Volkswirtschaften. Zudem erschwert die Covid-19 Pandemie die Beschaffung auf internationalen Märkten durch die Unterbrechung der Lieferketten. Dies beeinflusst sowohl Beschaffungs-, als auch Absatzmarkt und zwingt die Unternehmen dazu, größere Bestände vorzuhalten.

Alle befragten Experten gaben daher die Marktsituation als große Herausforderung an.



U6: „Die Volatilität der Märkte hat doch deutlich zugenommen. [...] Wir haben Auftrags-  
eingangsschwankungen und damit auch Produktionsschwankungen von +/-35%.“

U1: „Zum einen ist es der Preisdruck im chinesischen Markt, der eine Rolle spielt bei  
uns. [...] Maschinen aus Deutschland für den lokalen chinesischen Markt ist schwierig.  
Wir haben dort einen starken Wettbewerb.“

Neben den marktseitigen Herausforderungen besteht die Gefahr, dass Unternehmen beim tech-  
nologischen Wandel nicht Schritt halten können. Unternehmen, die sich bisher als Technologie-  
führer positionieren konnten sind bemüht, durch die gestiegene internationale Konkurrenz und  
die Digitalisierung nicht zu Anbietern von Standardtechnologien zu werden.

U5: „[...] ist es das Thema, dass [unsere Technologie] mehr und mehr **Commodity** wird.  
[...] und das Geschäft aus dem High-Tech teilweise in den Normalbereich reinkommt.“

→ Glossar

Zudem erschweren die gestiegene Variantenvielalt und Produktkomplexität die Planung und  
Durchführung effizienter Produktionsprozesse. Vereinzelt Unternehmen (U3 und U7) nannten  
zudem branchenspezifische Regulationen und gestiegene Produkthanforderungen als Heraus-  
forderung.

Befragte Unternehmen stehen somit vor Herausforderungen, die sie zwingen Kosten zur verrin-  
gern, um preislich mit internationaler Konkurrenz mithalten zu können. Gleichzeitig ist es not-  
wendig, schneller und flexibler auf Schwankungen der Märkte und individuelle Kundenbedürf-  
nisse reagieren zu können. Simultan hierzu soll die Produktqualität mindestens gleichbleiben,  
wenn nicht gar steigen. Diese Verbesserung des *magischen Dreiecks* aus Zeit, Qualität und Kos-  
ten kann durch digital vernetzte Produktionsprozesse (Spath et al., 2007) sowie durch die An-  
wendung von Lean-Prinzipien (Töpfer & Günther, 2009) erreicht werden.

### 5.1.3 Produktivitätssteigerung

*Produktivität* stellt eine zentrale Kennzahl in verarbeitenden Industrieunternehmen dar und be-  
schreibt das Verhältnis der Zeit, in welcher aktive Wertschöpfung betrieben wird, zur Gesamt-  
zeit. Ermittelt wird diese bei den befragten Unternehmen häufig durch den Quotienten von Plan-  
zeit (aus Arbeitsplänen) zur Ist-Zeit (bspw. Anwesenheitsstunden der Mitarbeiter).

$$\frac{\text{Planzeit}}{\text{Ist - Zeit}} = \frac{\text{geplante Stückzahl} \times \text{geplante Bearbeitungszeit}}{\text{Anwesenheitsstunden}}$$

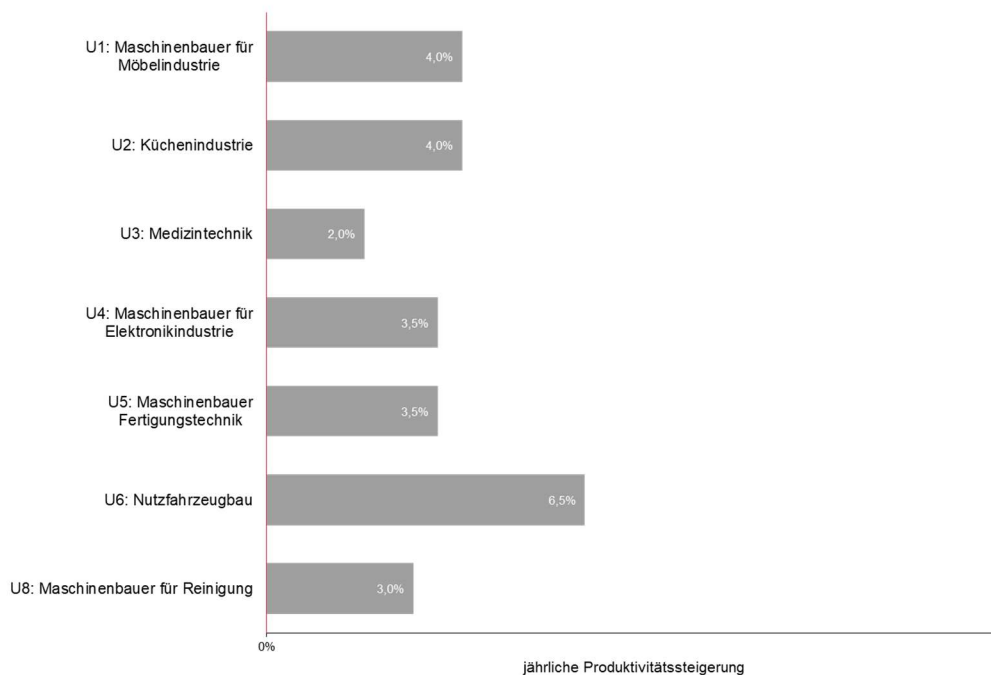
Produktivität ist jedoch in den Augen einiger Befragter nicht die einzig wichtige Kennzahl - Qua-  
lität, Durchlaufzeit, Kosten und andere Kennzahlen werden teilweise als wichtiger angesehen.  
So verhält es sich auch beim Kennzahlssystem von U6:

U6: „Wir haben insgesamt, im gesamten Auftragserfüllungsprozess fünf Kernkennzah-  
len [...]. Das ist die Arbeitssicherheit oder Ergonomie, die Qualität, die Durchlaufzeit, der  
Deckungsbeitrag und die Qualifizierung oder Flexibilität der Mitarbeiter. [...] Die Kennzahl

*Deckungsbeitrag ist dann weiter heruntergebrochen in weitere Kennzahlen und eine Kennzahl ist dann die Produktivität.“*

Zudem beeinflusst die Diversität der untersuchten Fabriken die Vergleichbarkeit der Produktivität. Branche, Komplexität und besondere Eigenschaften des Produktionsprozesses spielen dabei eine große Rolle. Daher wurde in der Befragung die jährliche Produktivitätssteigerung im Mittel über die letzten fünf Jahre erfragt. Abbildung 5-1 zeigt die jährliche Produktivitätssteigerung der befragten Unternehmen (in %).

Abbildung 5-1: durchschnittliche, jährliche Produktivitätssteigerung



*Angaben in Prozent der befragten Unternehmen (U7 machte hierzu keine Angaben).*

Die Spanne der Produktivitätssteigerung der befragten Unternehmen liegt zwischen 2 und 6,5 Prozent. Abgesehen von U3 und U6 liegen die Unternehmen zwischen 3 und 4 Prozent jährlicher Produktivitätssteigerung. Damit liegen sie auch deutlich über den mittleren jährlichen Produktivitätssteigerungen von 1,8 % im deutschen Verarbeitenden Gewerbe zwischen 2015 und 2019 (vgl. Abschnitt 6.2). Der Experte aus Unternehmen 7 teilte über die Produktivitätssteigerung keine Angaben mit, weshalb diese in Abbildung 5-1 fehlen. U7 gab jedoch an, der Output der Fabrik sei im letzten Jahr um ca. 30% gestiegen.

Die durchweg überdurchschnittlich positive jährliche Produktivitätssteigerung untermauert die Rolle der interviewten Unternehmen als Vorreiter im Bereich der exzellenten Produktion. Zudem kann die Produktivitätssteigerung als ein Indiz für die positive Auswirkung etablierter Lean-Methoden im Unternehmen gewertet werden. Im Zentrum der Lean Production steht die Vermeidung von nicht-wertschöpfenden Tätigkeiten, was zu einer erhöhten Produktionseffizienz führt. Daher beeinflusst die Anwendung von Lean-Prinzipien die Produktivitätskennzahl häufig positiv.

Es liegt nahe, dass ein solcher Effekt auch bei den hier befragten Unternehmen für deren Produktivitätssteigerung verantwortlich ist.

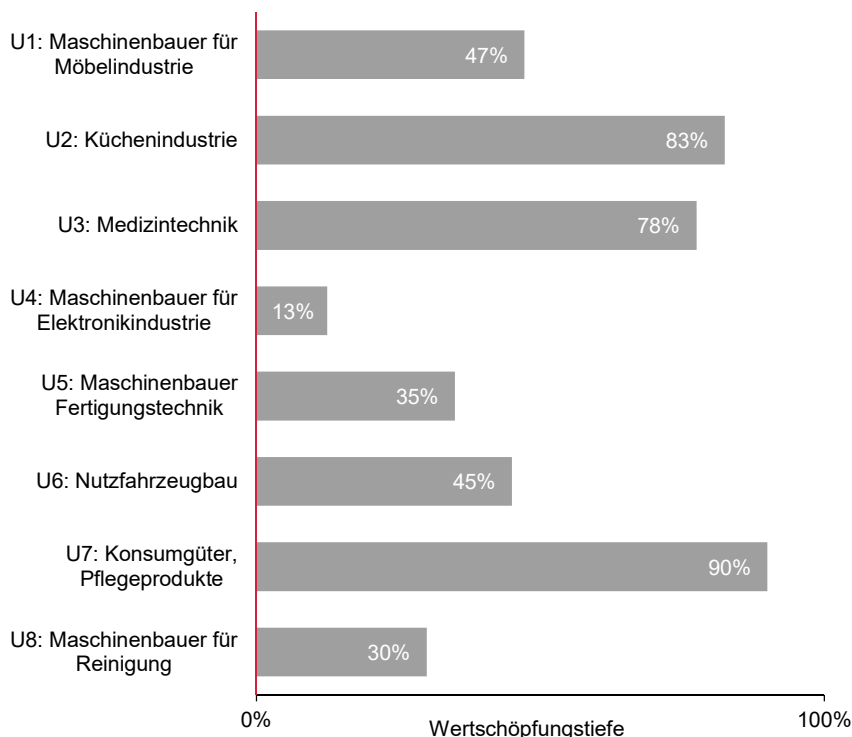
### 5.1.4 Wertschöpfungstiefe

Im Laufe der Interviews wurde die *Wertschöpfungstiefe* der Fabriken erfragt. Die Wertschöpfungstiefe ist ein Maß für die Eigenleistung eines Betriebs. Bei Unternehmen mit einer großen Wertschöpfungstiefe haben Produktionsprozesse einen größeren Anteil am Wert des Produkts. Daher haben Maßnahmen zur Steigerung der Produktivität und Reduzierung von Verschwendung einen verhältnismäßig großen Einfluss auf den Unternehmenserfolg. Zudem haben verschiedene Studien gezeigt, dass eine höhere Wertschöpfungstiefe mit einer tendenziell höheren Produktivität der Unternehmen einhergeht (Broedner et al., 2009; Kinkel et al., 2015).

[→ Glossar](#)

Bei der Befragung gaben einige Experten eine Spanne der Wertschöpfungstiefe an, da diese teilweise produkt- und prozessspezifisch variiert. In diesem Fall werden zur Veranschaulichung Mittelwerte angenommen. Abbildung 5-2 dargestellt.

Abbildung 5-2: Wertschöpfungstiefe der befragten Unternehmen



Die Bandbreite der Antworten zur Selbsteinschätzung der Wertschöpfungstiefe erstreckt sich von 13 % (U4) bis 90% (U7). Aufgrund der Varianz der Antworten lässt sich keine allgemein gültige Aussage zur Wertschöpfungstiefe der Vorreiterunternehmen treffen. Bei Betrachtung der Branchen der Teilnehmer, lassen sich jedoch drei Gruppen bilden. Eine geringe Wertschöpfungstiefe (10%-35%) weisen die Maschinenbauunternehmen (U4, U5 und U8) auf. Im mittleren

Bereich (36%-70%) befindet sich das Maschinenbauunternehmen U1 sowie Nutzfahrzeugbauer U6. Dagegen befindet sich im Spitzenbereiche der Wertschöpfungstiefe (71%-100%) kein Maschinenbauer. Die Unternehmen U2, U3 und U7 produzieren jeweils Konsumgüter. Dies legt den Schluss nahe, dass komplexere Produkte mit einer großen Anzahl an Bauteilen und –gruppen, wie dies bei Maschinen und Anlagen der Fall ist, eine geringere Wertschöpfungstiefe bedingen. Maschinenbauunternehmen beziehen häufig standardisierte Bauteile, veredeln diese teilweise und legen den Fokus der Wertschöpfung auf Entwicklungsleistung und Montage, wie beispielsweise U4:

*U4: „Aber sonst ist der Wertschöpfungsgrad überschaubar. Zwischen zehn und fünfzehn Prozent. Davon ist ein großer Teil Montage und dann ungefähr ein Drittel ist Engineeringaktivitäten, das bedeutet Inbetriebnahme, Systemabnahmen, solche Themen.“*

Die drei Unternehmen mit einer vergleichsweise großen Wertschöpfungstiefe hingegen beziehen häufig Rohstoffe oder standardisierte Rohmaterialien, welche durch eine Mehrzahl an Fertigungsschritten einen größeren Wertzuwachs erfahren. So betonte einer der Experten:

*U7: „Wir kaufen wirklich nur ein: Bandstahl und Granulat – und der Rest wird hier gemacht. [...] Wir machen alles selbst. Alle Kunststoffteile [...], die komplette Metallbearbeitung, die Veredelung, machen wir alles hier im Haus.“*

Wird die Entwicklung der Wertschöpfungstiefe der befragten Unternehmen in den letzten 5-10 Jahren betrachtet, so lässt sich keine allgemeingültige Tendenz erkennen. U8 und U2 gaben an, die Wertschöpfung aus Kosteneffizienzgründen gesteigert zu haben. Die weiteren Experten gaben keine allgemeine Tendenz in der Entwicklung der Wertschöpfungstiefe an.

## 5.2 Lean Production

Nachdem zuvor der Ist-Stand, die spezifischen Produktionsbedingungen und Herausforderungen der befragten Unternehmen vorgestellt worden sind, wird der Fokus im Folgenden auf das Konzept Lean Production gelegt.

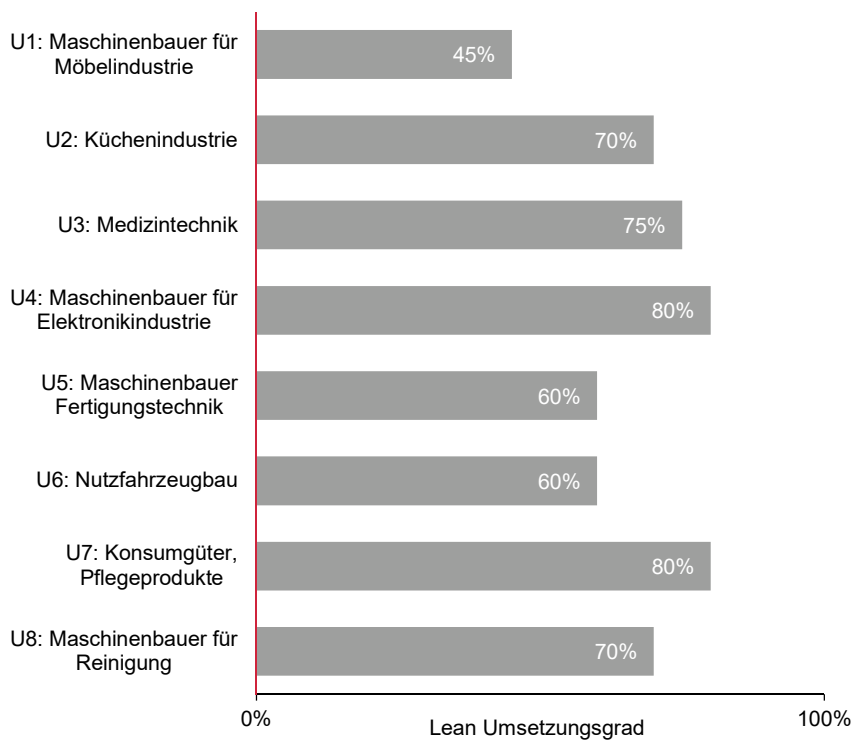
### 5.2.1 Anwendung von Lean Production

---

Zunächst wurden die Experten zur gegenwärtigen Nutzung von Lean-Prinzipien sowie zu den daraus resultierenden Vorteilen in ihren Unternehmen befragt. Um zunächst einen Eindruck über das Ausmaß zu erhalten, mit dem Lean-Prinzipien im Produktionsbereich einzelner Werke bereits Anwendung finden, wurden die befragten Experten um ihre Einschätzung auf einer Skala von 0% (keine Nutzung von Lean-Prinzipien) bis 100% (vollständige Nutzung von Lean-Prinzi-

prien, nahezu verschwendungsfreie Produktion) gebeten. Wie aus Abbildung 5-3 hervorgeht, verdeutlichen die Unternehmensangaben, dass Lean-Prinzipien häufig einen ausgeprägten Eingang in die Produktion der Unternehmen gefunden haben.

Abbildung 5-3: Lean-Production Umsetzungsgrad der befragten Unternehmen



Beispielsweise geben Unternehmen U3, U4 und U7 an, dass Lean-Prinzipien zu 75% Prozent und mehr, also bereits in weiten Teilen ihrer Produktion, zur Anwendung kommen. Zudem haben Unternehmen U2, U5, U6 und U8 die Verschwendung in ihrer Produktion um mehr als die Hälfte reduziert. Lediglich U1 weist mit einem mittleren Anwendungsausmaß von 45 Prozent bei der Nutzung von Lean-Prinzipien den niedrigsten Wert auf. Der mittlere Umsetzungsgrad der befragten Vorreiterunternehmen bei der Implementierung und Nutzung von Lean-Methoden liegt daher bei etwa zwei Drittel. Dies zeigt, dass auch diese ausgezeichneten Vorreiterunternehmen noch unausgeschöpfte Potenziale in der Lean-Nutzung von etwa einem Drittel sehen, was weitere maßgebliche Verbesserungen der Produktivität, Flexibilität und Qualität der Produktion mit sich bringen könnte.

### 5.2.2 Ungenutzte Potenziale von Lean-Prinzipien

Obwohl die Unternehmen damit einen Hinweis auf die von ihnen vermuteten ungenutzten Potenziale bei der eigenen Anwendung von Lean-Prinzipien geben, bleibt es für sie dennoch schwierig zu prognostizieren, welcher Anteil des vermuteten Potenzials der Anwendung von Lean-Prinzipien von ihnen tatsächlich ausgeschöpft werden kann. Die Unternehmen weisen da-

rauf hin, dass eine 100-prozentige Ausschöpfung der Potenziale von Lean-Prinzipien in der Realität kaum zu erreichen sei, da dies mit einer absolut verschwendungsfreien Produktion gleichzusetzen wäre, an der kein weiteres Verbesserungspotenzial identifiziert werden könne. Die folgenden Zitate von U7 und U4 demonstrieren, dass dies in Widerspruch zu einem stetigen Lern- bzw. Verbesserungsprozess steht, der durch die konsequente Anwendung von Lean-Prinzipien entsteht und immer neue Potenziale sichtbar macht:

*U7: „Also verschwendungsfrei würde ich mich nicht sehen, ich weiß auch nicht, ob es die Fertigung gibt, weil je mehr man versteht, umso mehr Verschwendung kann man eigentlich erst erkennen.“*

*U4: „[...] wie Lean auch. Das ist nie zu Ende. Deswegen werden Sie von mir keine 100 Prozent da hören. Weil morgen, wenn wir was interpretiert haben, schon wieder lernen, was besser zu machen.“*

Damit veranschaulichen U4 und U7 jedoch nicht nur, dass eine vollständige Durchdringung der Produktion mit Lean-Prinzipien in der Realität kaum zu verwirklichen ist. Sie geben auch Aufschluss darüber, dass selbst bei Unternehmen, die sich durch eine konsequente Anwendung von Lean-Prinzipien in der Produktion auszeichnen, immer neue Nutzungspotenziale ermittelt werden können. Demnach sollten sich Firmen nicht nur daran orientieren, welche zuvor definierte Zielsetzungen mit Hilfe von Lean-Prinzipien in der Produktion erreicht wurden, sondern sich insbesondere auch auf die immer wieder realisierbaren Potenziale der konsequenten Anwendung von Lean-Prinzipien fokussieren, um auch nach einer Zielerreichung zukünftig von ihnen zu profitieren. Dies unterstreicht die fortwährende Bedeutung von Lean-Prinzipien für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen, unabhängig davon, wie weit Unternehmen diese bereits in ihre Produktion eingeführt haben. Obwohl U6 also angibt, mit Hilfe eines konsequenten Einsatzes von Lean-Prinzipien beispielsweise eine Verbesserung der Durchlaufzeit zu erreichen und davon deutlich profitiert zu haben (siehe Abschnitt 5.2.3), attestiert das Unternehmen sich und anderen Firmen in Deutschland trotzdem zusätzliche Verbesserungsmöglichkeiten, die bisher unberücksichtigt geblieben sind:

*U6: „Da steckt so viel Potenzial bei uns in Deutschland, dass erkennen wir im Moment noch gar nicht, dass wir dieses Potenzial haben. [...] Das war für mich auch die Motivation jetzt, dieses Interview mit Ihnen zu machen. Weil ich mir davon auch erhoffe, dass wir immer mehr Erkenntnis kriegen in Deutschland, dazu, dass wir unwahrscheinlich viel Potenzial haben, wenn wir eben Lean-Methoden zur Anwendung bringen in den Unternehmen.“*

### 5.2.3 Effekte der Umsetzung von Lean Production

---

Um die mit der Nutzung von Lean-Prinzipien verbundenen Vorteile zu identifizieren, wurden die Unternehmen zu jenen Bereichen befragt, in denen sich positive Effekte der Anwendung von Lean-Prinzipien niederschlagen bzw. zu jenen Kennzahlen, anhand derer positive Effekte sichtbar werden. Die Angaben der Unternehmen machen deutlich, dass sich Lean-Maßnahmen unter anderem besonders erfolgreich auf die Kennzahlen *Durchlaufzeit, OEE (Overall Equipment Efficiency*, die sich aus den Kennzahlen Verfügbarkeit, Leistung und Qualität zusammensetzt) sowie Ausbringung, auswirken. Hierfür dienen die folgenden Aussagen von U6 als Beispiele:

[→ Glossar](#)

*U6: „Wir haben also hier am Standort die Stückzahlen von 10 Fahrzeugen pro Tag auf 110 gesteigert.“*

*U6: „Wir kommen von einer DLZ von 3 Monaten, das war vor 15 Jahren, da haben wir begonnen uns richtig intensiv mit dem Thema Lean auseinanderzusetzen. [...] Heute haben wir eine Durchlaufzeit von fünf Tagen. [...] Die Durchlaufzeit ist immer noch der Haupttreiber all unserer Verbesserungen. [...] Damit können auch die Stunden pro Einheit reduziert werden.“*

Die Reduzierung der Durchlaufzeit in U6 bewirkt somit auch eine Produktivitätssteigerung, die im konkreten Fall zwischen fünf und acht Prozent jährlich beträgt. Auch U1 macht durch die Umstellung der Montage und das Anwenden des Takt-Prinzips Verschwendung in seinen Produktionsprozessen sichtbar und erreicht eine erhebliche Reduzierung der Durchlaufzeit:

*U1: „Wir haben seit zwei Jahren diese Taktmontage reorganisiert, haben sie konsequenter gemacht. [...] Jetzt haben wir sie umgestellt seit drei Monaten. Jetzt kommt alles hoch, was noch an Unzulänglichkeiten da ist. Ich habe jetzt noch einen, anderthalb Tage Durchlaufzeit. Aus sieben Tagen wurden anderthalb.“*

U7 betont die Möglichkeiten, durch das Anwenden von Lean-Prinzipien die OEE zu steigern. Für Maschinen und Anlagen, die kapazitätskritisch sind, wird dies bereits sehr erfolgreich umgesetzt. Bei anderen Maschinen und Anlagen sieht das Unternehmen weiteres, mögliches Anwendungspotenzial, sobald deren Kapazität benötigt wird. Akut wird diese jedoch nicht benötigt und daher keine Lean-Maßnahmen durchgeführt:

*U7: „Wir haben OEEs, die noch bei 40% sind und wir haben Kunststoffspritzgussmaschinen, die in den sehr hohen 90ern laufen. Wenn da kein Werkzeugwechsel ist und die vier bis fünf Tage durchlaufen, dann gehen die an die 100 Prozent.“*

*U7: „Wir haben in verschiedenen Bereichen genügend Kapazität und nutzen die im Pull und nicht OEE getrieben. [...] Die [Maschine] ist noch nicht OEE-optimiert. Wenn wir da mal an die Kapazität kommen, dass wir die brauchen würden, dann könnte man da noch optimieren.“*

U3 bemerkt, dass Lean Maßnahmen alle Bereiche betreffen und häufig viele Maßnahmen gleichermaßen angewendet werden. Diese wirken in der Breite. Die Auswirkungen einzelner Maßnahmen seien daher nur schwer zu quantifizieren. Eine Auswirkung, die positiven Einfluss hat, jedoch nicht in Kennzahlen zu messen ist, ist die Erhöhung der Transparenz in Prozessen:

*U3: „Viele Dinge zahlen auf die Produktivität, auf die Qualität und Nacharbeit/Verschrottung ein. Drum kommt ein Ergebnis zu Stande. [...] Wir haben wenige Einzelmaßnahmen im Sinne von: wir machen einen Workshop und dann sind die Dinge besser. Wir fahren Initiativen, die in der Breite wirken.“*

*U3: „Wir machen One-piece-flow am Handarbeitsplatz [...] Wir machen Laufzeitverlängerung, denken darüber nach, wie können wir Maschinen mit weniger Mitarbeitern länger laufen lassen. Wie schaffen wir Transparenz in der Fertigung? Das sind so Initiativen, die wir fahren und dann ist es auch völlig müßig zu unterscheiden.“*

Der Einsatz von Lean-Prinzipien steigert zudem die Effizienz in direkten und indirekten Bereichen der Unternehmen. Insbesondere, wenn konstant und in der Breite an der Umsetzung gearbeitet wird, zeigt sich eine Effizienzsteigerung:

*U8: „In dem Werk hier ist es so, dass in den letzten Jahren Vieles entstanden ist. Viele Dinge [Lean-Methoden] sind Alltag geworden, weil man dann doch sieht, dass sie die Effizienz steigern.“*

Werden Lean-Prinzipien angewandt, wirkt sich dies nach Einschätzung der Experten also positiv auf die Faktoren Durchlaufzeit, Ausbringungsmenge, Maschinenauslastung, Qualität, Effizienz und Produktivität aus. Die Berücksichtigung von Prinzipien der Lean Production steigert aus Sicht der befragten Experten daher auch die Wertschöpfung im wesentlichen Maße. Damit belegen diese Aussagen auch die unter Abschnitt 5.1.3 „Produktivitätssteigerung“ aufgeführte Vermutung, die besagt, dass die Produktivitätssteigerung der befragten Unternehmen mit ihrer Anwendung von Lean-Prinzipien in Zusammenhang steht.

#### **5.2.4 Lean Prinzipien und deren Anwendung**

---

Welche Prinzipien und Methoden angewendet werden, unterscheidet sich von Unternehmen zu Unternehmen. Die Unterschiede zwischen den Unternehmen gehen dabei auf die fokussierten Ziele (z.B. Qualitäts-, Flexibilitäts- oder Kostenziele), auf Rahmenbedingungen sowie den jeweils betrachteten Prozess zurück. Tabelle 5-4 veranschaulicht, welche Prinzipien von den Unternehmen beispielhaft aufgeführt werden.



→ Glossar

Tabelle 5-4: Übersicht über angewendete Lean Prinzipien

	<i>Kontinuierliche Verbesserung</i>	<i>Standardisierung</i>	<i>Fluss-Prinzip</i>	<i>Pull-Prinzip</i>	<i>Takt-Prinzip</i>	<i>Mitarbeiterbeteiligung, zielorientierte Führung</i>	<i>Null-Fehler-Prinzip</i>	<i>Visuelles Management</i>
U1	X	X	X	X	X	X	X	X
U2		X	X	X	X			
U3		X	X	X	X	X	X	X
U4	X	X	X	X	X	X		X
U5			X	X	X	X	X	
U6	X	X		X	X	X		
U7		X		X		X	X	
U8		X	X	X	X	X		X

*Grau hervorgehoben sind Prinzipien, die in besonderem Maße von den Experten betont wurden.*

Die in Tabelle 5-4 aufgelisteten Gestaltungsprinzipien der Lean-Produktion orientieren sich an den acht Gestaltungsprinzipien ganzheitlicher Produktionssysteme des VDI (VDI/VDE-Gesellschaft, 2012). Es wurde im Rahmen der Interviews nach Lean-Prinzipien gefragt, die in der Fabrik angewendet werden. Produktionsprozesse nach dem Pull-Prinzip finden in allen befragten Unternehmen statt. Zudem sind Standardisierung, Fluss-Prinzip, Mitarbeiterbeteiligung, zielorientierte Führung und das Takt-Prinzip weit verbreitet. Ungefähr die Hälfte der interviewten Unternehmen gaben an, kontinuierliche Verbesserung, Null-Fehler-Prinzip und visuelles Management anzuwenden. Die Gestaltungsprinzipien der Lean Produktion werden somit bei den Vorreiterunternehmen umfassend eingesetzt.

Zudem gaben die Experten an, welche der Prinzipien aus eigener Sicht in besonderem Maße von Wichtigkeit sind. Fünf der Befragten nannten hier das Pull Prinzip, das auch am umfangreichsten angewendet wird. Ebenfalls von hoher Relevanz sind Standardisierung, Fluss-Prinzip und das Takt-Prinzip. Vereinzelt wurden auch Mitarbeiterbeteiligung, zielorientierte Führung und visuelles Management hervorgehoben.

U8 weist beispielsweise auf einige Methoden hin, die für das Unternehmen in der Produktion von Bedeutung sind:

U8: „Für uns ganz wichtig ist Takt, das Thema Abtaktung, Zeitaufnahmen, Line-Balancing in der Großserie.“

U8: „Ganz wichtig ist auch das Thema des Materialflusses, weil der immer komplexer wird.“

U8: „Was sind für uns so die Haupt Lean Methoden, die wir anwenden? Das sind eben gerade Abtaktung, [...] das ist aber auch Shop Floor Management, weil sich das für uns als Mittel der Kommunikation bewährt hat.“

Die Methoden Abtaktung, Zeitaufnahmen und Line-Balancing sind Teil des Takt-Prinzips und reduzieren Wartezeiten sowie Stillstände. Neben dem Flussprinzip ist für U8 also das Takt-Prinzip von besonderer Bedeutung. Shop Floor-Management wirkt als Methode auf das Prinzip Visual Management ein.

U5 gab ebenfalls an, welches aus seiner Sicht die wichtigsten Lean Prinzipien sind.

U5: „Wir haben die vier Grundprinzipien: Fließen, Takten, Pullen, Nullen.“

Die vier Prinzipien, die U5 hiermit als besonders wichtig herausstellt, sind das Fluss- und das Takt-Prinzip, das Pull-Prinzip sowie das Null-Fehler-Prinzip. Letzteres stellt aus Sicht des Experten eine „Lebensaufgabe“ dar und ist eher als „Nordstern“ anzusehen.

Ein großer Teil der Lean-Prinzipien ist bei den befragten Unternehmen weit verbreitet. Standardisierung, Fluss-, Pull-, Takt-Prinzip und Mitarbeiterbeteiligung sind in besonderem Maße zu betonen und werden auch durch die Experten als besonders wichtig dargestellt.

### 5.2.5 Fördernde und hemmende Faktoren bei der Einführung von Lean-Prinzipien

---

Angesprochen auf Faktoren, die einen hohen Anwendungsgrad von Lean-Prinzipien ermöglichen, zählen die befragten Unternehmen mehrere Punkte auf, die eine Einführung von Lean-Prinzipien fördern. Neben der bereits erwähnten stetigen Identifikation des Anwendungspotenzials, spielt die konsequente Umsetzung von Lean-Prinzipien eine wichtige Rolle. U7 charakterisiert deshalb sein Vorgehen bei der Umsetzung von Lean-Prinzipien als besonders entschlossen:

U7: „[...] Bekannte Verschwendungen werden radikal attackiert und aus dem System genommen.“

Um eine konsequente Umsetzung der Lean-Prinzipien zu ermöglichen, setzen Unternehmen das regelmäßige Fokussieren auf Lean-Prinzipien sowie deren stetige Berücksichtigung voraus. Demnach gilt für Unternehmen, dass sie eine gewisse Beharrlichkeit und ausdauernde Vorgehensweise bei der Einführung von Lean-Prinzipien vorweisen müssen. Entsprechend beschreibt U5 ebendiese Hartnäckigkeit bei der Einführung und Anwendung von Lean-Prinzipien als einer der wichtigsten Erfolgsfaktoren:

U5: „Und dann halt letztendlich das Thema, dass man kontinuierlich und hartnäckig in dem Thema dranbleibt“

Des Weiteren wird ein wichtiger Erfolgsfaktor für eine erfolgreiche und breite Einführung von Lean-Prinzipien in der Produktion im Bereich der Belegschaft verortet. Dies beginnt auf der Managementebene und knüpft dort an den Gedanken einer konsequenten Umsetzung von Lean-Prinzipien an. In Hinblick auf unternehmensweite Unterschiede, die sich bei der Durchdringung von verschiedenen Produktionsprozessen mit Lean-Prinzipien zeigen, gibt U6 beispielsweise an, dass dortige Schwankungen von 40 bis 80 Prozent auf die Umsetzungskonsequenz von Führungskräften zurückgehen. Um eine erfolgreiche Einführung zu gewährleisten, müssen Führungskräfte die passenden Entscheidungen treffen und insbesondere durch das konsequente Vorleben von Lean-Prinzipien deren Integration in den Produktionsprozess beharrlich vorantreiben und organisieren. So beginnt für U2 die erfolgreiche Einführung von Lean-Prinzipien bereits mit einem erforderlichen Mindset auf Führungsebene, das sich im offenen Bekenntnis zu leanbedingten Veränderungen äußert und klar Richtung Mitarbeiter weiter kommuniziert werden muss:

*U2: „Es hängt stark an der Kultur, offen, top-down den Willen zur Veränderung auszusprechen“*

Dies impliziert das Vorhandensein der entsprechenden Motivation bei Führungskräften, sich mit Lean-Prinzipien intensiv auseinanderzusetzen und sie nachhaltig einführen zu wollen. U5 und U6 fassen zusammen, wie wichtig das richtige Mindset auf Führungsebene für eine erfolgreiche Einführung von Lean-Prinzipien ist:

*U5: „Für mich ein ganz wichtiges Thema ist ein Commitment von dem Management. Wenn das nicht da ist, dann haben Sie keine Chance, das dauerhaft gut umzusetzen.“*

*U6: „Also, das wichtigste ist Top-Down. Wenn da nicht die sehr ausgeprägte Motivation auf den oberen Führungsebenen vorhanden ist, um Lean voranzutreiben, dann funktioniert es nicht.“*

Allerdings können nicht nur Unternehmensmitarbeiter in Führungspositionen eine positive Rolle bei der erfolgreichen Einführung von Lean-Prinzipien spielen. Auch das Schaffen von Mitarbeiterakzeptanz auf Shopfloor-Ebene wird als ein zentraler Schlüssel für eine erfolgreiche Einführung von Lean-Prinzipien angesehen. Dementsprechend erweitert U2 seine Aussage über begünstigende Faktoren bei der Einführung von Lean-Prinzipien um folgenden Aspekt:

*U2: „Darüber hinaus muss der Mitarbeiter bei dem Thema Lean mit in das Zentrum, was nicht bedeutet, dass er sozusagen die Beherrschung über das Ganze hat. Aber er muss mitgenommen werden, deswegen muss er ins Zentrum gehoben werden.“*

Auch die Angaben der anderen Unternehmen spiegeln dies wider und betonen das "Mitnehmen der Mitarbeiter" als einen zentralen Erfolgsfaktor. Um eine solche "Mitnahme" zu gewährleisten, also eine hohe Akzeptanz der Mitarbeiter gegenüber der Einführung von Lean-Prinzipien hervorzurufen, geben die Unternehmen das richtige Informieren sowie das rechtzeitige Einbeziehen und Beteiligen der Mitarbeiter bei der Einführung von Lean-Prinzipien an. Dass die genannten Aspekte aus den Lernprozessen der befragten Unternehmen hervorgehen, verdeutlicht U1 im folgenden Zitat:

*U1: „Das ist auch so ein Lerneffekt. Du musst am Anfang ganz viel setzen (d.h. die Mitarbeiter proaktiv auf die Anwendung von Lean-Prinzipien in der Produktion zuführen und vorbereiten, indem z.B. Informationen an Mitarbeiter gezielt vermittelt werden [Anm. d. Verf.]). Im Prinzip vom Beteiligen, vom Mitmachen, vom Erklären. Wenn du dort zu schnell bist und die Leute haben nicht verstanden, worauf du hinauswillst, dann wird es schwierig“*

Neben den Erfolgsfaktoren verwiesen die Unternehmen auch auf Hindernisse, welche eine erfolgreiche Einführung von Lean-Prinzipien in die Produktion erschweren können. Einige Hindernisse lassen sich unter einer Kategorie der menschlichen Aspekte zusammenfassen. Sie stellen den Widerstand von Shopfloor-Mitarbeiter gegenüber Veränderungen ihrer täglichen Arbeit dar. Insbesondere steigt ihre Angst vor stetiger Kontrolle durch die erhöhte Transparenz ihrer Arbeit. Auf einer allgemeineren Ebene sehen die Unternehmen in den unterschiedlichen Qualifikationen von Mitarbeitern in verschiedenen Produktionsorten und -werken eine weitere Hürde bei der Einführung von Lean-Prinzipien. Misslingen darüber hinaus der richtige Einbezug und Umgang mit Mitarbeitern in der Einführungsphase der Lean-Prinzipien, indem z.B. nicht rechtzeitig genügend Informationen den Mitarbeitern mitgeteilt werden, wirkt sich dies ebenfalls negativ aus. Die Angaben der Unternehmen im Zusammenhang mit Hürden, die auf menschliche Aspekte zurückgehen, geben somit erneut Einsicht in die entscheidende Rolle, die der Mensch

#### Erfolgsfaktoren der Einführung von Lean

- Hohe Motivation auf Führungsebene, die Integration sowie Umsetzung von Lean-Prinzipien nachhaltig voranzutreiben und durch das Vorleben ein dezidiertes Commitment gegenüber dem Einsatz von Lean-Prinzipien zu verkörpern.
- Gezielte Einbindung der Produktionsmitarbeiter in die Einführung und Anwendung von Lean-Prinzipien.
- Stetige Identifikation der Anwendungspotenziale sowie stetige Fokussierung auf Lean-Prinzipien.
- Konsequente Umsetzung von Lean-Prinzipien, die Hartnäckigkeit, langen Atem und Durchhaltevermögen erfordert, denn die Effekte der Umsetzung zeigen sich erst zeitlich verzögert

bei der Einführung von Lean-Prinzipien spielen kann. Folgende Aussage von U8 fasst dies zusammen:

*U8: „Sowohl für unser Werk als auch andere Werke [...], in denen ich tätig war, kann ich sagen: Der begünstigende und hemmende Faktor ist immer der gleiche; und zwar die Person. Also eigentlich sind es immer die Menschen, an denen es liegt.“*

Eine zweite Kategorie von Hindernissen bezieht sich auf zeitliche Aspekte im Zusammenhang mit der Einführung von Lean-Prinzipien. Diese scheitert oft, wenn beteiligte oder verantwortliche Personen zu wenig Geduld aufweisen. Lean-Prinzipien zeigen erst ab einem gewissen Zeitraum Wirkung, so dass Investitionen in Lean-Prinzipien von einer langen Amortisationsdauer geprägt sein können. Außerdem tragen verschiedene Prinzipien oft erst gemeinsam zum Erreichen eines Ziels bei, so dass der Erfolg erst sichtbar wird, wenn mehrerer Prinzipien zusammenwirken. U6 greift dies in der folgenden Aussage auf und unterstreicht, wie erfolgskritisch Geduld für die Einführung von Lean-Prinzipien ist:

*U6: „Mehrere Prinzipien mussten zusammenkommen, um dann einen monetären Effekt zu erkennen. Also, das war eine unwahrscheinliche Hürde [...]. Einfach daran zu glauben, dass nach einigen Jahren dann auch die Potenziale deutlich zu messen sind.“*

Zusätzlich zu den beiden genannten Kategorien von Hemmnissen (menschliche und zeitliche Faktoren) besteht ein weiteres Hindernis für die Anwendung von Lean-Prinzipien in der hohen Produktvielfalt von Unternehmen. Stellen Unternehmen individuelle Produkte her, erschwert dies die Verknüpfung und Standardisierung von Produktionsabläufen aufgrund der hohen Variantenvielfalt. Standardisierte Prozesse sind nur im geringen Umfang oder gar nicht möglich.

Dies führt zu Verschwendung innerhalb eines Prozesses, aber auch an Prozessschnittstellen. Individuelle Produkte erschweren somit die verschwendungsreduzierte Produktion im Sinne von Lean.

### 5.2.6 Lean in indirekten Bereichen

Während sich die bisher skizzierten Erkenntnisse ausdrücklich auf den Produktionsbereich der Unternehmen beziehen, greifen die folgenden Aussagen auch die Anwendung von Lean-Prinzipien in indirekten Bereichen auf. Hierfür lassen die Aussagen der Unternehmen erkennen, dass Lean-Prinzipien durchaus auch in indirekten Bereichen angewandt werden und in einigen der befragten Unternehmen bereits wichtiger Bestandteil sind. Genannte Prozesse, die nach Lean Gesichtspunkten angepasst werden, sind beispielsweise Auftragserfassung, Problemlösung/Kundenservice, Wareneingang, Produktentstehungsprozess oder technische Anpassungen. Dazu nutzen die Unternehmen insbesondere die Lean-Prinzipien Standardisierung, Fluss-Prinzip und Verschwendungsvermeidung.

Vereinzelt werden angepasste Kennzahlssysteme für die indirekten Bereiche zur Steuerung der Maßnahmen genutzt. So setzt U5 ein eigenes Büro-Kennzahlensystem erfolgreich in der Verwaltung sowie im Service ein. Dieses beinhaltet vor allem Prozesskennzahlen, welche für verschiedene Bereiche individuell definiert werden. Grenzen bestehen hier jedoch, sobald diese auf den Entwicklungsbereich angewendet werden sollen (siehe dazu Aussage von U4 weiter unten). Außerdem nutzt U2 ein eigens entwickeltes Kennzahlensystem für Prozessverbesserungen, überwiegend in administrativen Bereichen wie Vertrieb, Kundenservice oder Forschung und Entwick-

### Barrieren der Einführung von Lean

Menschliche Aspekte:

- Widerstand der Produktionsmitarbeiter gegenüber Veränderungen
- Unterschiedliche Qualifikation der Produktionsmitarbeiter und damit unterschiedliche Voraussetzungen bei der Einführung von Lean-Prinzipien
- Mislungene Einbindung der Mitarbeiter bei der Einführung von Lean-Prinzipien

Zeitliche Aspekte:

- Verantwortliche Personen, die an der Einführung und Umsetzung von Lean-Prinzipien beteiligt sind, bringen zu wenig Geduld gegenüber den Erfolgen von Lean-Prinzipien auf.
- Der Erfolg einzelner Prinzipien wird mancherorts erst dann sichtbar, wenn mehrere Lean-Prinzipien zusammenwirken.

Weitere:

- Widerspruch zwischen individuellen Produkten und der Reduktion von Verschwendung in Produktionsprozessen durch Standardisierung

lung. Dabei spielen die Themen Standardisierung, Reduktion von Durchlaufzeiten und die Verbesserung des Projektmanagements eine wichtige Rolle, wie aus den folgenden Zitaten entnommen werden kann:

*Frage: „In welchen indirekten Bereichen wenden Sie Lean Prinzipien an?“*

*U2: „Rund um administrative Prozesse, sei es Vertrieb, sei es Kundenservice, sei es im Umfeld von F&E.“*

*U2: „Lean Administration über das Thema Standardisierung, [...] Bewertung von Prozessen über ihre Prozesslaufzeit. [...] Im Wesentlichen geht es dabei um die Durchlaufzeitreduktion vom Erfassen eines Auftrags bis zur Freigabe des Auftrages.“*

Hierbei wird durch den Experten betont, dass zur Bewertung und Umsetzung von Prozessverbesserungsmaßnahmen digitale Werkzeuge genutzt werden:

*U2: „[...] Digitales 5S, dass man Laufwerksbereinigungen macht, dass man sich Datenhaltung, Datenbewertung anschaut.“*

→ Glossar

So werden beispielsweise im Bereich des Kundenservice Kennzahlen erfasst wie Anrufe pro Mitarbeiter oder Auftragsdurchlaufzeit:

*U2: „Anrufe pro Mitarbeiter und Anrufdauer pro Mitarbeiter sind Kennzahlen, die [im Vertrieb] getracked werden.“*

Dagegen findet in den Unternehmen U1 und U4 die gezielte Anwendung von Lean-Prinzipien jedoch fast ausschließlich in der Produktion statt oder ist bei der Einführung in indirekten Bereichen gescheitert. Als Grund führt U1 einerseits fehlende verfügbare Kapazität bei der Einführung und Umsetzung an, da man sich zunächst noch vorrangig auf die Anwendung von Lean-Prinzipien im Bereich der Produktion oder Auftragsbearbeitungsprozess fokussiert. Erst anschließend soll die Umsetzung von Lean-Prinzipien auch in indirekten Bereichen aufgenommen werden. Zum anderen spielt die fehlende Akzeptanz der Mitarbeiter in indirekten Bereichen eine Rolle. Diese sind eine direkte Quantifizierung und Beurteilung der Abläufe nach Aussage von U4 nicht gewohnt:

*U4: „Die Produktionen sind seit 150 Jahren gewohnt, gemessen zu werden [...] So ist das für die Leute normal. Wenn sie heute in die Entwicklung schauen, da wird es schon schwieriger jemanden zu messen.“*

Ferner herrschen aus Sicht von U4 natürliche Grenzen für die Anwendung von Lean-Prinzipien in Bereichen der Entwicklung. Verschwendungsfreiheit per se stellt dort kein Erfolgsindikator dar, da eine effiziente Entwicklung eines Produktes nicht die tatsächliche Nachfrage des Produktes durch den Kunden beeinflusst. Vielmehr müsse Lean in der Entwicklung im Sinne einer

effektiven Produktentwicklung gedacht werden, deren Prozess nicht zwangsläufig verschwendungsfrei ist, aber zu einem nachgefragten Produkt führt, wobei unnötige Produktentwicklungen möglichst vermieden werden:

U4: „Und in der Entwicklung ist auch Lean etwas Anderes. Es hilft mir überhaupt nichts, wenn ich gnadenlos effizient eine Funktion entwickle, die ich nicht brauche. Dann habe ich die wahnsinnig effizient entwickelt, aber das ist nicht lean, das ist total verschwendet. Das heißt also, im **PLM-Bereich (Product Lifecycle Management)** ist Lean sehr viel mehr in der Produktdefinition und in der Funktionsdefinition zu suchen und in der Fertigung ist es sehr viel mehr im Effizienzbereich zu suchen.“

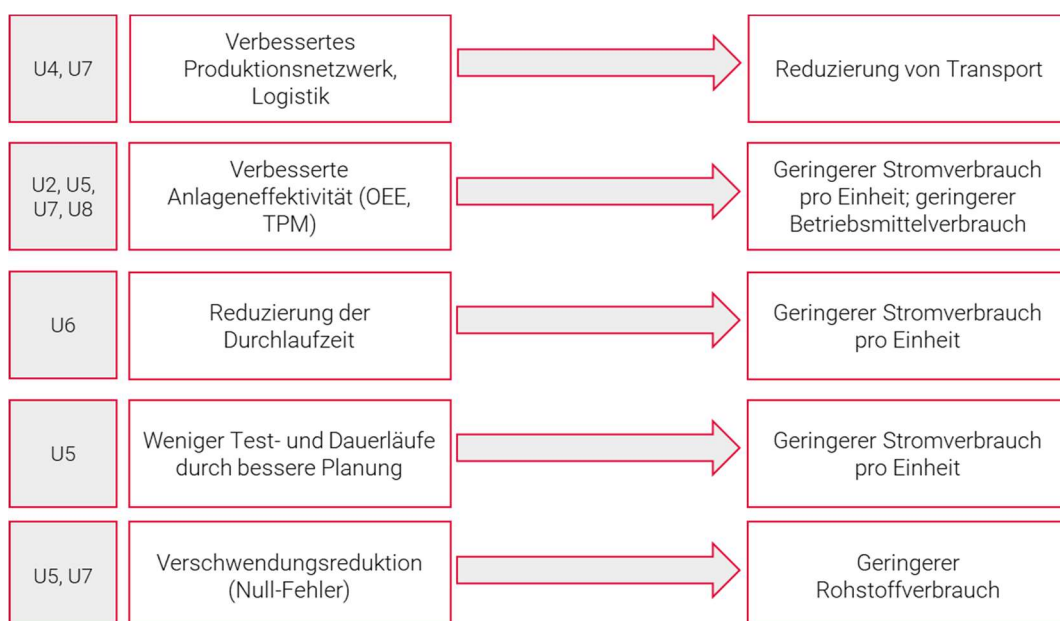
U4: „[...] deswegen können Sie nicht ein Leanprojekt aus der Fertigung nehmen und sagen, das mache ich jetzt in der Entwicklung. Das ist eine andere Welt.“

Dennoch bleibt an dieser Stelle festzuhalten, dass Lean-Prinzipien bereits Eingang in den indirekten Bereich der befragten Unternehmen finden, wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß. Die Methoden zur Anwendung von Lean-Prinzipien sowie zur Messung der Auswirkungen bedürfen jedoch einer spezifischen Adaption an die Anforderungen indirekter Bereiche.

### 5.2.7 Ökologische Auswirkungen des Einsatzes von Lean-Prinzipien

In den Experteninterviews wurde zusätzlich der Frage nachgegangen, ob sich die Anwendung von Lean-Prinzipien in der Produktion auf ökologische Aspekte auswirkt. Dabei hat sich gezeigt, dass die Anwendung von Lean-Prinzipien durchaus positive ökologische Effekte mit sich bringen kann. Abbildung 5-4 gibt einen Einblick in unterschiedliche Lean-Prinzipien und -methoden, die im Zusammenhang mit positiven ökologischen Effekten beispielhaft angegeben wurden.

Abbildung 5-4: Maßnahmen und Lean Prinzipien sowie deren Einflüsse auf ökologische Faktoren





Durch die mit Hilfe von Lean-Prinzipien verbesserte Nutzung von Energie, beispielsweise elektrischer Energie oder anderer Energieträger, lässt sich eine höhere Energieeffizienz erreichen und der CO<sub>2</sub>-Ausstoß verringern. Dazu trägt die Vermeidung unnötiger Stillstand- oder Leerlaufzeiten von Produktionsanlagen bei, die durch eine verbesserte Transparenz des Produktionsprozesses erreicht werden kann. U6 geht darauf mit folgender Aussage ein:

*U6: „[...] mit der Reduzierung der Durchlaufzeit haben wir die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Produktion unserer Fahrzeuge um 60 % reduziert.“*

Eine Reduzierung der Leerlaufzeiten erreicht U2 z.B. durch die OEE-Verbesserung. Anhand der Informationen über die Anlagenverfügbarkeit können Zeitfenster, in denen Anlagen eine unnötige Stromzufuhr erhalten, identifiziert und anschließend reduziert werden, wie durch das folgende Zitat von U2 verdeutlicht wird:

*U2: „Im OEE kann ich relativ schnell ja herauslesen, wann die Anlage nicht verfügbar ist. Und wenn ich mir dort die Frage stelle, warum ist die Anlage nicht verfügbar und ich erkenne, dass die Anlage sozusagen über das Wochenende nicht verfügbar ist, weil sie dort nicht bedient wird, kann ich mir auch die Frage stellen, warum ich die Anlage dementsprechend nicht abschalte.“*

Ferner wirken sich dezentrale Produktionsnetzwerke mit verringerten Transportwegen ebenfalls positiv auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß aus, da Produkte nahe ihres Produktionsortes abgesetzt werden. Abseits des Energieverbrauches führen Lean-Prinzipien auch zu einem besseren Umgang mit Verbrauchsmaterialien, so dass z.B. durch gezielte Workshops der Verbrauch von Verpackungsmaterialien verbessert werden kann. Zur gezielten Verbesserung der ökologischen Bilanz ist es wichtig, die Infrastruktur zur Messung, bspw. von Emissionen, vorzuhalten. So verweist U7 auf eine vorhandene Energieeffizienz-Zertifizierung innerhalb dieser der CO<sub>2</sub>-Ausstoß gemessen und in Relation zur Ausbringungsmenge gesetzt wird.

Die Anwendung von Lean-Prinzipien kann somit durchaus bei der Erreichung ökologischer Ziele nützlich sein. Zumeist werden ökonomische Ziele verfolgt, welche einen sekundären Effekt auf ökologische Faktoren aufweisen. So haben ein geringerer Energie- und Rohstoffverbrauch zunächst wirtschaftliche, in einem zweiten Schritt jedoch auch ökologische Auswirkungen. Direkte ökologische Effekte können nur dann quantifiziert werden, wenn die entsprechende Infrastruktur vorhanden ist. Dies ist allerdings selten der Fall.

### 5.3 Industrie 4.0 – Digitalisierung der Produktion

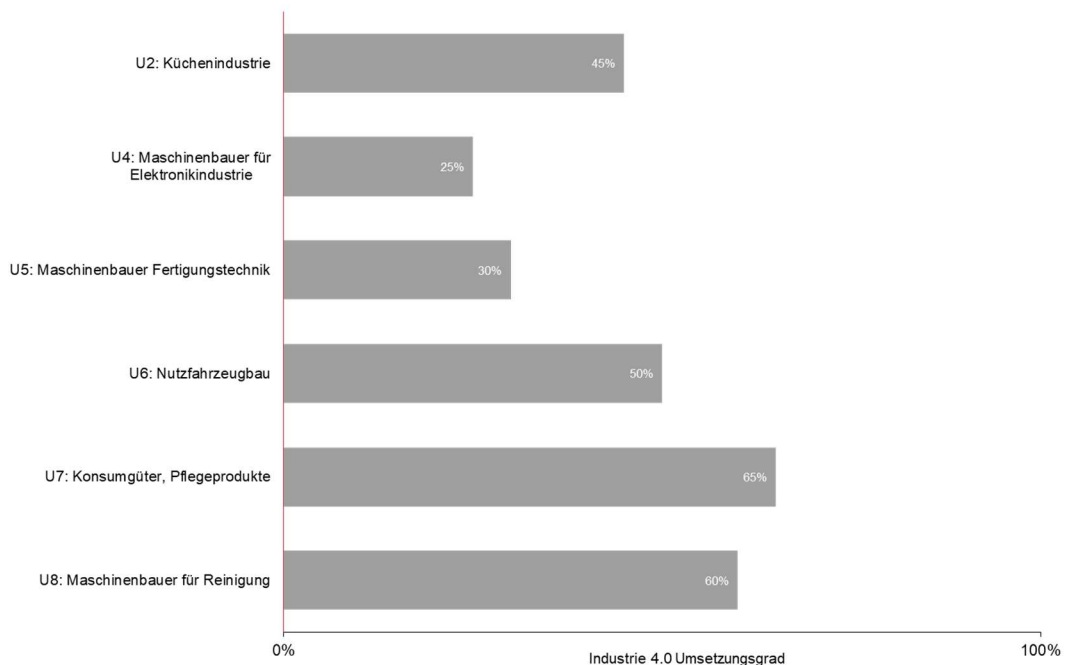
Ein weiterer Themenkomplex der Experteninterviews ist die Anwendung von Technologien digitaler Vernetzung in der Produktion, die auch als Industrie 4.0 bezeichnet wird.

### 5.3.1 Anwendung und Umsetzung von Industrie 4.0

→ Glossar

Abbildung 5-5 zeigt eine Übersicht zum Umsetzungsgrad digitaler Technologien in der Produktion. Die Experten schätzten dazu die eigene Produktion von 0 bis 100% ein. Hierbei meint ein Umsetzungsgrad von 0 eine Produktion mit *durchgehend analogen Produktionsprozessen*, während mit 100% eine *durchgängig integrierte smart Factory* gemeint ist. Je mehr Technologien der Industrie 4.0 eingesetzt und je mehr die Prozesse vernetzt werden, desto größer ist der Durchdringungsgrad einzuschätzen. Die Experten U1 und U3 machten keine quantitativen Angaben zum Umsetzungsgrad der Digitalisierung in der eigenen Fabrik.

Abbildung 5-5: Industrie 4.0 - Umsetzungsgrad



Bei angegebenen Spannen wurden aus Mittelwerte angenommen. U1 und U3 machten keine Angaben hierzu.

Während die Unternehmen zum Einsatz von Lean-Prinzipien einen Umsetzungsgrad von 45 bis 80 Prozent angeben, liegt der Grad der Digitalisierung in den Produktionsprozessen bei 25-65 Prozent. Dieser fällt somit bei allen Unternehmen, die eine Angabe machten, geringer aus. Die Unternehmen mit eher gering eingeschätzten Digitalisierungsgraden U4 (25%) und U5 (30%) geben an, eher Anbieter von Digitalisierungslösungen als Anwender digital vernetzter Produktionsprozesse zu sein.

*U4: „Die [Industrie 4.0 Technologien] werden mehr im Bereich unseres Kundenumfeldes eingesetzt. [...] Das machen wir für unsere Kunden, genauso wie für uns selber, nur, dass wir bei unseren Kunden schon sehr viel weiter sind.“*

U5 konkretisiert seine Begründung, indem es seine digitale Transformation in die Teilbereiche Digitalisierung eigener Prozesse, Angebot von digitalen Lösungen sowie neue, digitale Geschäftsmodelle einteilt. Der Experte sieht das Unternehmen im zweiten Bereich am besten aufgestellt, während es bei der Umsetzung eigener Prozesse noch Verbesserungspotenziale gibt.

Es gilt jedoch anzumerken, dass das Verständnis dafür, welche Technologien unter den Begriff Industrie 4.0 fallen, eine Rolle bei der Einschätzung des Umsetzungsgrades spielt. Beispielsweise bezieht der Experte U6 Automatisierungen von Produktionsprozessen nicht in den Begriff Industrie 4.0 mit ein. Beispiele hierfür wären automatisierte Bearbeitungszentren, klassische Robotik oder speicherprogrammierbare Steuerung. U6 betrachtet lediglich digitale Vernetzung von Prozessen als Bestandteil der Industrie 4.0 an. Dies reduziert die Vergleichbarkeit der Einschätzung der Experten untereinander.

Unter den Begriff Industrie 4.0 bzw. digitale Vernetzung der Produktion lassen sich eine Vielzahl digitaler Technologien subsumieren. Im Folgenden legen die Experten dar, welche Technologien in der Produktion zur Anwendung kommen. So gaben einige der Unternehmen als wichtige Technologie die Vernetzung von Maschinen, Anlagen, Systemen und Menschen an:

*U2: „Im Umfeld der Digitalisierung haben wir Maschinenschnittstellen etabliert. Das heißt, unsere Maschinen sind nicht nur am Netz, sie kommunizieren auch mit unserem IT-System.“*

*U8: „Für uns die wichtigste Technologie, ganz grundsätzlich, ist die Vernetzung. Und zwar die Vernetzung von Maschinen zu Maschinen, von Maschinen mit Menschen oder auch von Menschen untereinander.“*

Direkte Vernetzung in der Fabrik ermöglicht es zudem, papiergebundene Informationen sowie manuelle Informationsübertragung zu reduzieren und vermehrt auf digitalem Weg automatisiert zu übermitteln.

*U2: „Wir haben sehr viel im Umfeld **Werker-Guidance** gemacht [...] sind in diesem Zug paperless unterwegs [...] Auftragsinformationen digital anzeigen oder auch Werkerinstruktionen digital anzuzeigen.“*

→ Glossar

*U8: „Ein Teilprojekt ist dann das papierlose Werk.“*

*U8: „An jeder Linie hängt mindestens einer, meistens mehrere Bildschirme von der Decke, auf denen dann diese typischen **Andon**-Kennzahlen gezeigt werden.“*

→ Glossar

*U5: „Das sind schleichende, langsame Prozesse: Dass in dem Bereich ein Roboter dran ist, dass wir Arbeitsanweisungen digital zur Verfügung stellen, dass man in bestimmten Bereichen kein Papier mehr hat, dass sich die Mitarbeiter die Informationen direkt am Bildschirm holen [...] genau der Weg ist noch ziemlich steinig.“*

Die Aussagen von U2 und U5 machen den unterschiedlichen Umsetzungsgrad, der auch in Abbildung 5-5 dargestellt ist, deutlich. Zudem ist es durch die Vernetzung nicht nur möglich, Informationen zu übermitteln, sondern auch zu erfassen. Zunächst wird hierbei versucht, Messdaten zu erfassen, zu verarbeiten und möglichst in großer Zahl, im Sinne von Big Data oder Smart Data, zu sammeln:

*U3: „Was wir tun, ist das Thema Qualitätsmanagementsysteme, Messdatenerfassung und entsprechende Ablage. [...] Das geht dann in die Richtung papierlos, was auch kein Selbstzweck ist und uns perspektivisch die Möglichkeit eröffnet, aus Messdaten Dinge ableiten zu können. Das können wir heute noch gar nicht.“*

→ Glossar

*U2: „BI Lösungen für Kennzahlenreporting oder wirklich **Business Intelligence**, sind wir dran zu etablieren. In diesem Zug auch **Big Data**, Datensammlung sozusagen.“*

*U2: „Wir beginnen damit (Cloud-Dienste) zu arbeiten. Vereinzelt läuft die BI-Software in der Cloud, aber da sind wir am Anfang.“*

Weitere beispielhafte Technologien, die in den untersuchten Fabriken zur Anwendung kommen, sind fahrerlose Transportsysteme, Automatisierung von Produktionslinien, Software zur Prozessdigitalisierung, -automatisierung und -optimierung.

*U8: „Was wir jetzt haben, ist ein (Fahrerloses Transport-) System mit Schwarmintelligenz, das frei im Raum navigiert“*

*U8: „Im Grunde sind wir so weit, dass von Kunststoffgranulat bis an die Montagelinie keiner mehr hin fasst.“*

*U8: „Wir nutzen dann immer stärker Software für viele Dinge. Wir haben den KVP-Prozess digitalisiert, der auch dort verknüpft ist. Wir haben Einkaufsprozesse über ein Supplier Management Tool digitalisiert, führen gerade ein neues **CAQ-System** ein [...] mit unserem **MES-System** vernetzt.“*

→ Glossar

Der befragte Experte U3 sieht zudem Potenziale im Einsatz künstlicher Intelligenz in der Produktion, im spezifischen Beispiel in der Qualitätskontrolle.

*U3: „Ein nächstes wichtiges Thema ist für uns eine automatisierte optische Kontrolle, wo wir im ersten Schritt dafür sorgen möchten, dass 70 oder 80% fehlerfrei erkannt wird. Da würde ich mir von KI [...] große Dinge erhoffen. [...] Dass man dann perspektivisch von 70 auf 80% kommt und von 80 auf 90%.“*

U2 verdeutlicht, dass die Umsetzung von digitalen Technologien auf die Sinnhaftigkeit und den Einfluss auf wesentliche Kennzahlen zu prüfen ist. Nach Abschätzung von Aufwand und Nutzen wurden einige davon auch als unrentabel angesehen.

*U2: „Wir haben Roboter, ja, aber keine kollaborativen Roboter. [...] Wir haben das mal untersucht, im Zuge der Endmontage [...] aber das sind Taktzeitverluste, das ist nicht abbildbar.“*

Auch, inwiefern eine 100-prozentige Prozessdigitalisierung als sinnvoll zu erachten ist, wird durch einen Experten (U8) infrage gestellt.

*U8: „[...] Wir sind irgendwo bei 60%. Die Frage ist auch immer, was macht denn Sinn und was wäre sinnvoll. Bei dem, was für uns sinnvoll ist, was machbar ist, auch mit einem vertretbaren Aufwand, würde ich sagen sind wir eher bei 70%. [...] Wir haben es jetzt nie genau ermittelt.“*

Zudem wird die Einschätzung des Umsetzungsgrades durch die Experten aufgrund der großen Bandbreite innerhalb einer Fabrik erschwert. Während einige Produktionsprozesse einen sehr großen Digitalisierungsgrad aufweisen, sind andere weitestgehend analog gestaltet.

*U6: „Bei einigen Prozessen sind wir bereits zu 100% digital. Bei anderen dann aber wiederum nicht. Die Bandbreite ist bei uns extrem hoch. Von 0 bis 100. Daher hätte ich jetzt mal so 50% gesagt.“*

Genannte Beispiele zeigen, dass Technologien der Industrie 4.0 bereits vielfältig eingesetzt werden. Von einer ganzheitlichen Umsetzung und Durchdringung im Sinne der Smart Factory kann jedoch noch nicht die Rede sein. Diese bedingt nach Ansicht der Experten eine Vernetzung und Integration der Einzelsysteme und Technologien.

### 5.3.2 Barrieren und Erfolgsfaktoren der Einführung von Industrie 4.0

---

Die Einführung digitaler Technologien bringen meist eine hohe Investition in Technik, Infrastruktur, Mitarbeiterqualifikation und Zeit mit sich. Können die späteren Vorteile nicht im Voraus ermittelt werden, so erschwert dies die Entscheidung für die Einführung digitaler Technologien. Entsprechend vergleicht bspw. U5 die digitale Transformation mit einem Hausbau. Man müsse zunächst in den Keller, in das Fundament investieren, sieht jedoch den Nutzen nicht sofort. Dabei seien gerade die Basistechnologie und einheitliche Schnittstellen wesentliche Grundlagen erfolgreicher Digitalisierung. Allerdings ist es schwierig, hierbei Parameter zu identifizieren, mit denen sich der Erfolg getätigter Investitionen identifizieren ließe. U6 bekräftigt dies mit der Aussage, dass sich die Auswirkungen der Digitalisierung nicht in Kennzahlen ausdrücken ließen. U8 bemerkt, dass gerade kleine Unternehmen Schwierigkeiten darin haben, abzuschätzen, welche Maßnahmen sinnvoll seien. Die heterogene IT-Landschaft im Produktionsumfeld erschwere die Einführung und sinnvolle Nutzung digitaler Technologien zusätzlich:

*U5: „Der Weg ist ziemlich steinig, weil wir da über 20 Werke auch eine ziemlich heterogene IT-Landschaft vorfinden [...]. Das über alle Werke zu standardisieren, ist eine [Herausforderung].“*

U3 sieht ein Hindernis in der mangelnden Fehlertoleranz in frühen Phasen der Einführung von Industrie 4.0. Hohe Erwartungen an die Effekte neuer Lösungen führen häufig dazu, dass Digitalisierungsprojekte frühzeitig aufgegeben werden.

### Barrieren der Einführung von Industrie 4.0

- Aufwand und Nutzen sind schwer im Vorfeld abzuschätzen, während die häufig hohen Investitionen in digitale Technologien ein großes Risiko darstellt
- Bestehende, heterogene IT-Landschaft
- Mangelnde Fehlertoleranz und zu hohe Erwartungen
- Zeitintensives Alltagsgeschäft, fehlende Kapazitäten für Einführungsprojekte
- Angst vor Überforderung durch fehlende Mitarbeiterqualifikation
- Erschwerte Nachvollziehbarkeit und Identifikation der Mitarbeiter mit den Prozessen durch automatisierte Datenerhebung

rieren 4.0-Technologien:

*U3: „Niemand hat Zeit. Somit geht es zu langsam. [...] Die [Mitarbeiter] werden vom Tagesgeschäft absorbiert.“*

Experte U2 erwähnt die Qualifikation der Mitarbeiter, bzw. deren Angst vor Überforderung im Umgang mit digitalen Technologien und klassifiziert dies als Barriere sich auf neue Technologien einzulassen. Überforderung führe aus Sicht von U2 daher häufig zu einer ablehnenden Haltung Neuem gegenüber.

*U2: „Es kann schnell in eine Überforderung führen. [...] Die Digitalisierung bringt die Sorge, oh Gott, die wollen etwas von mir, wo ich mich gar nicht auskenne. Obwohl es immer noch um den seinen Prozess geht. Nur heben wir diesen auf das nächste Level. Da ist dann die Sorge der Überforderung. Ich kann ja gar nicht Programmieren und IT-Systeme verstehe ich auch nicht. Das ist dann nochmal eine andere Barriere. Versperren aufgrund von fehlinterpretiertem notwendigem Knowhow.“*

Laut U6 stößt die Sinnhaftigkeit von Digitalisierungsmaßnahmen dann an ihre Grenzen, wenn die Beschäftigten den Bezug und das Verständnis für die Daten und Informationen verlieren, die an den Anlagen generiert werden. Beispielsweise können im Shop-Floor-Bereich Industrie 4.0-Maßnahmen zu einer verbesserten, automatisierten Datengenerierung und einem besseren Umgang mit diesen führen. Für eine manuelle Handhabung der erfassten Produktionsdaten

*U3: „Wenn du die Erwartungshaltung hast, dass das Ding [Industrie 4.0-Anwendung] zu 100 Prozent funktioniert, dann wird es schwierig [...] Da hat man dann [viel Geld] verblasen und es eingestellt, weil es nicht funktioniert hat. Meiner Meinung nach hätte es funktionieren können, wenn man damals die Philosophie [Durchhaltevermögen, langer Atem, Fehlertoleranz] hinterlegt hätte. Wir müssen aus meiner Sicht akzeptieren, es wird einen Teil geben, der funktioniert gut und dafür machen wir es.“*

Des Weiteren nannte U3 Zeitmangel und höhere Priorität des Alltagsgeschäfts als Hindernis zur Fokussierung auf Einführungsprozesse von Industrie

(z.B. das manuelle Notieren von Störzeiten) und gegen eine Automatisierung dieser Datenerfassung spricht dann, dass Mitarbeiter ein besseres Verständnis über die erfassten Daten entwickeln. Mitarbeiter zeigen daraufhin ein größeres Commitment hinsichtlich der Maßnahmen, die sich aus den Daten ableiten lassen. Dazu macht U6 folgende Aussagen:

*U6: „Wir haben eben gelernt [...], dass es viel besser ist, viele Informationen von den Mitarbeitern auch manuell erarbeiten zu lassen, [...], weil dann die Identifikation mit den Dingen, die abgebildet werden, eine viel Größere ist. Ein Sekundäreffekt ist nämlich - bei der manuellen Erfassung und Dokumentation von Daten - die höhere Identifikation mit der Information. Da ist z.B. ein Widerspruch jetzt bei uns, dass wir die Hilfsmittel der Digitalisierung eben nicht dazu nutzen wollen, diesen Prozess, der Erfassung von Informationen und Visualisierung von Informationen, der heute manuell ist, den zu ersetzen.“*

Den genannten Herausforderungen und Hindernissen stehen die von den interviewten Experten genannten Erfolgsfaktoren entgegen. Im Grunde gleichen viele der Erfolgsfaktoren denen der Umsetzung von Lean Prinzipien. So antwortete U5 auf die Frage nach den zentralen Erfolgsfaktoren der digitalen Transformation:

*U5: „Es ist letztendlich wie bei Lean. Das Management Commitment und [...] langer Atem.“*

Gemeint sind hiermit die Erfolgsfaktoren gute Kommunikation, Management Commitment und Top-Down Entscheidungen, das Mitnehmen der Beschäftigten sowie Durchhaltevermögen in der Umsetzung. Da diese bereits für die Umsetzung von Lean Management eine Rolle spielen, wird im Folgenden auf spezifisch digitalisierungsbezogene Erfolgsfaktoren eingegangen.

Im Vorgriff zu den Erkenntnissen der Zusammenhänge der beiden Konzepte Lean und Industrie 4.0 sehen viele der Experten eine vorherige Verschlinkung der Prozesse sowie Reduzierung der Komplexität und Standardisierung durch die Anwendung von Lean-Prinzipien als Erfolgsfaktor der Digitalisierung (s. Kapitel 5.4).

Hinzu kommt das agile Vorgehen bei der Umsetzung von Veränderungsprozessen in Bezug auf die Digitalisierung. Dies bedeutet, Mut zu neuen Technologien und Offenheit in der Lösungsfindung vorzuweisen, schnell erste Pilotlösungen mit dem erwartbar größten Nutzen einzuführen sowie direkt zu testen, flexibel und anpassungsfähig auf Feedback der Nutzer zu reagieren und kurze Entwicklungs- und Erprobungszyklen bei gleichzeitiger Kennzahlorientierung anzustreben.

*U8: „einfach mal anzufangen [...]. Lieber im Kleinen einen Piloten zu machen, lieber die 60% Lösung jetzt als die 100% Lösung in zwei Jahren und dann aus diesen Piloten zu lernen und kontinuierlich zu verbessern.“*

*U2: „Man muss ein Wagnis eingehen und mutig sein...einfach mal ausprobieren, kleine Schritte statt großer Schritte, also eher im Stufenprinzip zu arbeiten, aber man muss*

*schon visionär sein, um das Ziel nicht aus den Augen zu verlieren. [...] Durch das Thema Digitalisierung ist der Kontext Agilität deutlich stärker in den Vordergrund gerückt.“*

Zusammenfassend lässt sich für eine erfolgreiche Anwendung von Industrie 4.0 aus Sicht der befragten Unternehmen festhalten, dass, analog zu Lean Prinzipien, Ausdauer und Management-Commitment eine zentrale Rolle spielen. Weiterhin sind agile Vorgehensweisen, Mut und Initiative bei der Umsetzung hilfreich.

#### Erfolgsfaktoren der Einführung von Industrie 4.0

- Ausdauer und Hartnäckigkeit
- Management Commitment sowie gute und klare Kommunikation der Führungskräfte
- Agile Vorgehensweise und agile Methoden
- Mut, Initiative und Risikobereitschaft

Industrie 4.0 ist bei den Vorreiterunternehmen im Vergleich zu den Lean-Prinzipien weniger verbreitet. Dennoch sind die Experten der Meinung, es gäbe Potenziale in deren Nutzung, unter der Voraussetzung, dass diese nicht aus Selbstzweck umgesetzt würden. Eine klare Zielorientierung, auch unter Berücksichtigung der Prinzipien von Lean, scheine vorteilhaft oder gar notwendig zu sein. Dies wird im Folgenden dargestellt.

## 5.4 Zusammenspiel der Konzepte

Ein zentrales Ziel der Experteninterviews lag in der Identifikation von Zusammenhängen zwischen dem Einsatz von Lean-Prinzipien und der Anwendung von digitalen Technologien in der Produktion. Daraus sollten auch mögliche Implikationen und Empfehlungen für die parallele oder zeitlich versetzte Einführung von Lean-Prinzipien und digitalen Technologien abgeleitet werden. Hierzu wurde den beteiligten Unternehmen zunächst die Frage gestellt, ob sich der Einsatz von Lean-Prinzipien und digitalen Technologien in der Produktion kombinieren ließe. Wie bereits erwähnt, geben die Unternehmen an, dass zwischen Lean-Prinzipien und dem Einsatz digitaler Technologien eine enge Verbindung vorliege, da sich die Anwendung von Lean-Prinzipien auf den Einsatz von digitalen Technologien auswirke und umgekehrt. Laut Unternehmen ergänzen sich somit beide Aspekte, da sie sich gegenseitig Vorteile bieten. Jedoch halten die Unternehmen auch fest, dass diese Vorteile vor allem dann nutzbar werden, wenn bei der Anwendung von Lean-Prinzipien und dem Einsatz von digitalen Technologien eine bestimmte Reihenfolge berücksichtigt werde. Auffällig ist, dass vor allem Lean-Prinzipien positive Auswirkungen auf den Einsatz digitaler Technologien in der Produktion entfalten, wenn diese vor einer Digitalisierung der Produktionsprozesse zum Einsatz kommen. Anhand des folgenden Abschnittes wird verdeutlicht, weshalb sich Vorteile bei einem Einsatz von Lean-Prinzipien vor einer Digitalisierung der Produktion einstellen und welche Wirkungen davon ausgehen.



#### 5.4.1 Die Anwendung von Lean-Prinzipien vor der Digitalisierung von Produktionsprozessen

---

Der primäre Vorteil, den die Anwendung von Lean-Prinzipien im Vorfeld einer Einführung von digitalen Technologien in der Produktion bietet, besteht laut den Unternehmen insbesondere in der Reduktion von Verschwendung in den Produktionsprozessen. Das Eliminieren von Verschwendung führe dazu, dass Prozesse auf ihre wesentlichen Arbeitsschritte reduziert werden. Unternehmen profitieren davon, indem nunmehr effizientere und weniger komplexe Prozesse mit einem geringeren Aufwand digitalisiert werden können. Eine entsprechende Reduktion von Verschwendung in Produktionsprozessen kann beispielsweise durch das Prinzip der Standardisierung erreicht werden. In einer darauffolgenden Digitalisierung vereinfacht diese fortan die Nutzung von "richtigen" Daten, indem nur Daten jener Prozessschritte erfasst werden, deren Relevanz eindeutig feststellbar ist. U4 verweist hierfür auf Folgendes:

*U4: „Lean ist die Grundlage für Industrie 4.0. Warum? Weil Lean heißt saubere Datentransparenz. Lean heißt richtige Daten, um zu verbessern.“*

Auch U3 gibt an, dass werksübergreifend standardisierte Prozesse die Einführungskomplexität digitaler Technologien reduzieren und zusätzlich eine höhere Einführungsgeschwindigkeit der digitalen Technologien ermöglichen:

*U3: „Aus meiner Sicht sind klar definierte und vor allem standardisierte Prozesse, speziell vor dem Hintergrund „werksübergreifend“, eine essentielle Voraussetzung, um bei Einführung von digitalen Methoden Geschwindigkeit zu haben und deutlich Komplexität rauszunehmen.“*

Manche der befragten Unternehmen verknüpfen mit der Anwendung von Lean-Prinzipien jedoch nicht nur den Vorteil, erst dann digitalisieren zu können, sobald Prozesse möglichst verschwendungsfrei sind. Sie verweisen auch darauf, dass die Anwendung von Lean-Prinzipien in einigen Fällen eine anschließende Digitalisierung von Prozessen obsolet werden lässt, da bereits bei der vollen Ausschöpfung des Potenzials von Lean-Prinzipien gesetzte Zielvorgaben erreicht werden.

Insgesamt führt dies zu der bereits angesprochenen zeitlichen Reihenfolge, mit der die befragten Unternehmen Lean-Prinzipien oder digitale Technologien in ihrer Produktion anwenden. Für die Unternehmen gilt also grundsätzlich, dass die Anwendung von Lean-Prinzipien auf Produktionsprozesse vor der Digitalisierung dieser Prozesse stattfinden sollte. In diesem Zusammenhang gibt auch U3 an, Verbesserungspotenziale im Produktionsbereich nach Möglichkeit hauptsächlich mit Lean-Prinzipien auszuschöpfen:

*U3: „Dinge, die mit Leanmethodiken sinnvoll umsetzbar sind, würde ich persönlich auch mit Leanmethodiken umsetzen“*

Dies wird von U5 ergänzt, welches bei dem Einsatz von digitalen Technologien in der Produktion auch von einer Fortführung des Lean-Gedankens spricht:

*U5: „Digitale Transformation ist im Prinzip für mich eine Fortführung der Lean-Transformation und das Eine baut auf das Andere auf.“*

Würde eine entsprechende Reihenfolge in der Einführung nicht berücksichtigt, könnte der verfrühte Einsatz von digitalen Technologien den Unternehmen stattdessen dazu führen, dass die Effizienz und die Reichweite von Lean-Prinzipien untergraben und das Potenzial von Lean-Prinzipien nicht zu 100 Prozent ausgeschöpft wird. Für Unternehmen birgt dies die Gefahr, voreilige Investitionen in digitale Technologien vorzunehmen, die laut U2 einen begrenzten wirtschaftlichen Vorteil hervorrufen und somit auch für U7 als nachteilig gegenüber besseren, Lean-basierten Lösungen einzustufen sind:

*U2: „Einen nicht-optimierten Prozess zu digitalisieren, würde zwangsläufig dazu führen, dass ich einen bescheidenen Prozess für teures Geld digitalisiert habe.“*

*U7: „Wenn ich ein schlampiges System digitalisiere, dann habe ich mir echt in das Bein geschossen. Das bringt gar nichts.“*

Zudem könnte eine verfrühte und nicht zielführende Digitalisierung von Produktionsprozessen die anschließende Anwendung von Lean-Prinzipien erschweren, da sich ihre Potenziale unter Umständen schwerer identifizieren ließen. Auch gerade deshalb legen die Unternehmen nahe, dass Verbesserungen im Produktionsbereich zunächst über die Anwendung von Lean-Prinzipien realisiert werden, bevor sich einer investitionsintensiven Einführung von digitalen Technologien in der Produktion zugewandt wird. U8 trifft dazu folgende Aussage:

*U8: „Idealtypisch geht man erst die Prozesse mit Lean an und digitalisiert dann die guten Prozesse und nicht irgendwelche aufgeblasenen und schlechten Prozesse.“*

#### **5.4.2 Der Einsatz von digitalen Technologien vor der Anwendung von Lean-Prinzipien**

---

Dennoch gaben die Experteninterviews auch Aufschluss über gewisse Fälle, in denen der Einsatz digitaler Technologien vor der Anwendung von Lean-Prinzipien Vorteile eröffnet, die sich von Unternehmen nutzen lassen. Solche Vorteile stellen sich dann ein, wenn das Digitalisieren von Produktionsprozessen die anschließende Anwendung von Lean-Prinzipien erleichtert. Dafür kann das Sammeln von Daten mit Hilfe von digitalen Technologien als Beispiel geltend gemacht werden, indem es dazu führt, dass Daten auswertbar vorliegen und (einfacher) interpretiert werden können. Daraufhin kann Verschwendung in Prozessen leichter sichtbar gemacht und weiteres Potenzial für das Anwenden von Lean-Prinzipien aufgedeckt werden. Hierzu gibt U8 an:

*U8: „Andersherum liefert mir Industrie 4.0 Daten, die ich nutzen kann, um Lean anzuwenden und Prozesse zu verbessern. Dinge, die ich vorher gar nicht wusste.“*

Das Beispiel unterstreicht allerdings nicht, dass der Einsatz von digitalen Technologien deshalb immer vor der Anwendung von Lean-Prinzipien stattfinden sollte. Viel mehr deuten die Angaben der Unternehmen darauf hin, dass sich bei bereits schlanken Prozessen weiteres Potenzial für

Lean-bedingte Optimierungen durch eine Digitalisierung entdecken lässt. Damit wird erneut die enge Verbindung zwischen der Anwendung von Lean-Prinzipien und dem Einsatz von digitalen Technologien aufgegriffen und gezeigt, wie sich beide gegenseitig ergänzen. Auch U3 bringt dies mit folgendem Zitat zum Ausdruck:

U3: *„Für mich ist Digitalisierung eine super Ergänzung zu Lean, das Bild hätte ich im Kopf.“*

### 5.4.3 Die parallele Anwendung von Lean-Prinzipien und digitalen Technologien

---

Während die Unternehmen beschrieben, wie sich Lean-Prinzipien und der Einsatz von digitalen Technologien in der Produktion gegenseitig beeinflussen können und davon eine gewisse Einführungsreihenfolge ableiteten, wurde im Rahmen der Experteninterviews zusätzlich thematisiert, ob eine parallele Einführung beider Aspekte ebenfalls möglich sei. Dazu gibt U2 an, dass sich das Anwenden von Lean-Prinzipien und die Digitalisierung von Produktionsprozessen annäherungsweise parallel verwirklichen ließe. Es handelt sich dabei aber nicht um eine tatsächlich gleichzeitig stattfindende Umsetzung, sondern eher um eine zeitlich enge Verzahnung zwischen der Einführung beider Aspekte. Auch bei dieser eng aneinander gekoppelten Einführung von Lean-Prinzipien und digitalen Technologien bliebe es aber bei dem skizzierten Muster, in welchem jedem Digitalisierungsvorhaben Optimierungsprozesse durch Lean-Prinzipien vorgeschaltet sind, um die passenden Einsatzfelder digitaler Technologien in der Produktion zu erkennen und folglich auch nur wirklich wertschöpfende Prozesse zu digitalisieren.

### 5.4.4 Fazit Experteninterviews allgemein

---

Insgesamt lässt sich aus den Erkenntnissen der Experteninterviews schließen, dass die befragten Vorreiternunternehmen in ihrer Produktion bereits in weiten Teilen auf Lean-Production setzen. Die Anwendung von Lean-Prinzipien bietet den Unternehmen dabei wichtige Vorteile, die sie gezielt für die Entwicklung einer effizienten und verschwendungsfreien Produktion verwenden. Allerdings weisen die Unternehmen auch darauf hin, dass dort weiteres Potenzial für die Anwendung von Lean-Prinzipien liege, das noch nicht ausgeschöpft sei. Dies unterstreicht den Ansatz der kontinuierlichen Verbesserung in der Produktion. Es genügt aus Sicht der Experten nicht, einmalig Zeit und Ressourcen zu investieren, um die vollen Potenziale von Lean-Prinzipien nutzen zu können. Vielmehr beruht der langfristigen Planung und Beharrlichkeit ein wesentlicher Erfolgsfaktor.

Ferner zeigen die Experteninterviews, dass die Anwendung von Lean-Prinzipien nicht nur auf den Produktionsbereich von Firmen beschränkt ist, sondern zusätzlich in indirekten Bereichen

eines Unternehmens einsetzbar sind. Einmal aufgebaute Kompetenzen in der Einführung und Anwendung von Lean-Prinzipien lassen sich somit für unterschiedliche Bereiche in Unternehmen nutzen, was den Wirkungsgrad von Lean-Prinzipien potenziert.

Neben den direkten Auswirkungen auf den Erfolg eines Unternehmens ermöglichen Lean-Prinzipien auch Lösungen für ökologische Herausforderungen, mit denen Unternehmen bereits jetzt konfrontiert werden. Da davon auszugehen ist, dass eine Verfolgung ökologischer Ziele innerhalb der Produktion zunehmend an Bedeutung gewinnen wird, müssen Lean-Prinzipien in diesem Zusammenhang als günstige Chance betrachtet werden, dieser Entwicklung angemessen zu begegnen und die eigene Wettbewerbsfähigkeit gleichzeitig zu sichern. Vor allem durch sekundäre Effekte infolge der Vermeidung von Verschwendung und der damit einhergehenden Ressourcenschonung, können ökologische Ziele mit Hilfe von Lean-Prinzipien erreicht werden.

In Bezug auf eine erfolgreiche Einführung und Anwendung von Lean-Prinzipien geben die Experteninterviews des Weiteren über Faktoren Aufschluss, die eine erfolgskritische Rolle einnehmen. Obwohl die befragten Experten mehrere Aspekte für eine erfolgreiche Einführung von Lean-Prinzipien in der Produktion geltend machen, ist jedoch festzuhalten, dass vor allem der Mensch einen zentralen Einfluss auf den erfolgreichen Einsatz von Lean-Prinzipien in der Produktion nimmt.

In Abgrenzung zur Durchdringung von Lean-Prinzipien in den befragten Unternehmen lässt sich eine durchweg geringere Anwendung von Industrie 4.0-Methoden feststellen. Zwar gleichen sich sowohl Erfolgsfaktoren als auch Hindernisse der Einführung in wesentlichen Punkten, doch werden Industrie 4.0-Technologien häufig erst nach der Anwendung von Lean-Prinzipien eingeführt.

### Zentrale Erkenntnisse

- Lean-Prinzipien finden mehr Anwendung als digitale Technologien in der Produktion
- Lean-Prinzipien können mit vielen positiven Effekten für Unternehmen in Verbindung gebracht werden, aber es verbleibt dennoch unausgeschöpftes Potenzial
- Auch in indirekten Bereichen können noch mögliche Potenziale genutzt werden.
- Lean birgt auch eine Chance in der Erreichung ökologischer Ziele.
- Entscheidende Faktoren bei der Umsetzung von Lean-Prinzipien sind die Mitarbeiter und die Führungskräfte
- Insbesondere Durchhaltevermögen und Management Commitment sind hierbei wesentlich
- Industrie 4.0 und Lean-Prinzipien unterstützen sich gegenseitig, wobei Potenziale eher zuerst mit Lean-Prinzipien geholt werden sollten. Darauf lässt sich dann mit digitalen Technologien gut aufbauen.

Wird die Anwendung von Lean-Prinzipien mit dem Einsatz digitaler Technologien in der Produktion durch Unternehmen gezielt kombiniert, ist eine gegenseitige Beeinflussung beider Aspekte abzuleiten. Dabei ergänzen sich beide Konzepte, was von Unternehmen insbesondere dann ausgenutzt werden kann, wenn zunächst Produktionsprozesse mit Hilfe von Lean-Prinzipien weiterentwickelt werden, bevor dort digitale Technologien zum Einsatz kommen. Die Experteninterviews legen deshalb nahe, die Potenziale von Lean-Prinzipien möglichst weitgehend auszunutzen und erst anschließend mit der Digitalisierung einzelner Produktionsprozesse zu beginnen. Wird dies berücksichtigt, lassen sich wesentliche Wertschöpfungspotenziale realisieren.

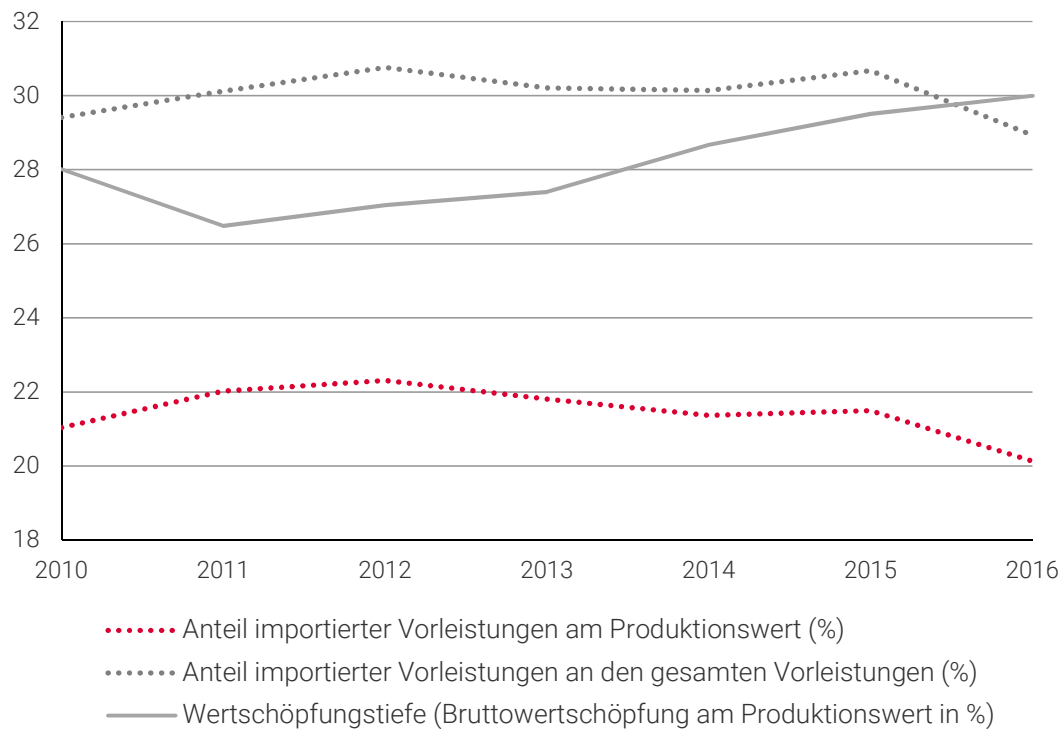
## 6 Stand und Entwicklung der Produktivität im deutschen und baden-württembergischen Verarbeitenden Gewerbe

Ziel der vorliegenden Studie ist die Ermittlung von erschließbaren Wertschöpfungspotenzialen für die baden-württembergische und deutsche produzierende Industrie. Vor diesem Hintergrund ist die aktuelle Produktivität und Wertschöpfungsstruktur zu ermitteln. Diese wird als Basis der Hochrechnung auf einen Zustand erhöhter Wertschöpfung durch umfangreichere Anwendung von Lean-Konzepten genutzt. Zur Analyse der Produktivität des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland und Baden-Württemberg wurden Daten des Statistischen Bundesamtes herangezogen. Auf Basis der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (Destatis, 2020, 8211) und der Kostenstrukturerhebung (Destatis, 2019, 42251) wurden die im Folgenden dargestellten Werte ermittelt.

### 6.1 Wertschöpfungsstruktur

Die Wertschöpfungstiefe trifft eine Aussage über den Anteil der Wertschöpfung einer Produktion am Produktionswert. Die Wertschöpfung entspricht der Wertsteigerung, die ein Gut erfährt, während es sich in der Bearbeitung eines Unternehmens befindet. Abbildung 6-1 zeigt den Verlauf der Wertschöpfungstiefe des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland. Als Vorleistung wird die Summe aller Waren und Dienstleistungen bezeichnet, die von einem produzierenden Unternehmen beschafft und dem Produktionsprozess zugeführt werden. Während des Herstellungsprozesses entsteht durch wertschöpfende Tätigkeiten der Produktionswert. Importierte Vorleistungen stellen den Wert der Güter dar, welche von ausländischen Märkten bezogen werden. Anhand des Anteils importierter Vorleistungen an den gesamten Vorleistungen können Aussagen darüber getroffen werden, wie sehr ein Unternehmen auf lokale oder globale Beschaffung setzt. Zudem gibt der Anteil der importierten Vorleistungen am Produktionswert Aufschluss darüber, wie viel diese zum Wert der produzierten Güter beitragen.

Abbildung 6-1: Wertschöpfungsstruktur des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland



Quelle: Statistisches Bundesamt, eigene Darstellung

Die Wertschöpfungstiefe im deutschen Verarbeitenden Gewerbe stieg seit 2011 konstant an, von 26,5% in 2011 bis 30% in 2016. Im gleichen Zeitraum sank der Anteil importierter Vorleistungen am Produktionswert von 22% auf 20% im Jahr 2016. Bei der inländischen Produktion wird also weniger als noch vor einigen Jahren auf globale Zulieferungen zurückgegriffen. Der Anteil importierter Vorleistungen an den gesamten Vorleistungen, also der Anteil global bezogener Waren, schwankte von 2010 bis 2016 zwischen 29 und 31%. Vom Jahr 2015 zum Jahr 2016 sank dieser relativ stark von 30,7% auf den Tiefststand von 28,9%.

Das Verarbeitende Gewerbe in Deutschland erhöhte in den letzten Jahren somit den Anteil eigener wertschöpfender Tätigkeiten an den Produkten. Nach vielen Jahren des Outsourcings wird wieder mehr selbst in Eigenleistung produziert. Zudem wird bei der Beschaffung von Rohstoffen und Halbzeugen wieder stärker auf lokale Lieferanten zurückgegriffen. Der langjährig prägende Trend zur Globalisierung der Lieferketten wurde demnach in den letzten Jahren gestoppt oder sogar leicht revidiert. Die deutsche Industrie misst damit der inländischen und selbständigen Produktion wieder mehr Bedeutung bei.

## 6.2 Arbeitsproduktivität

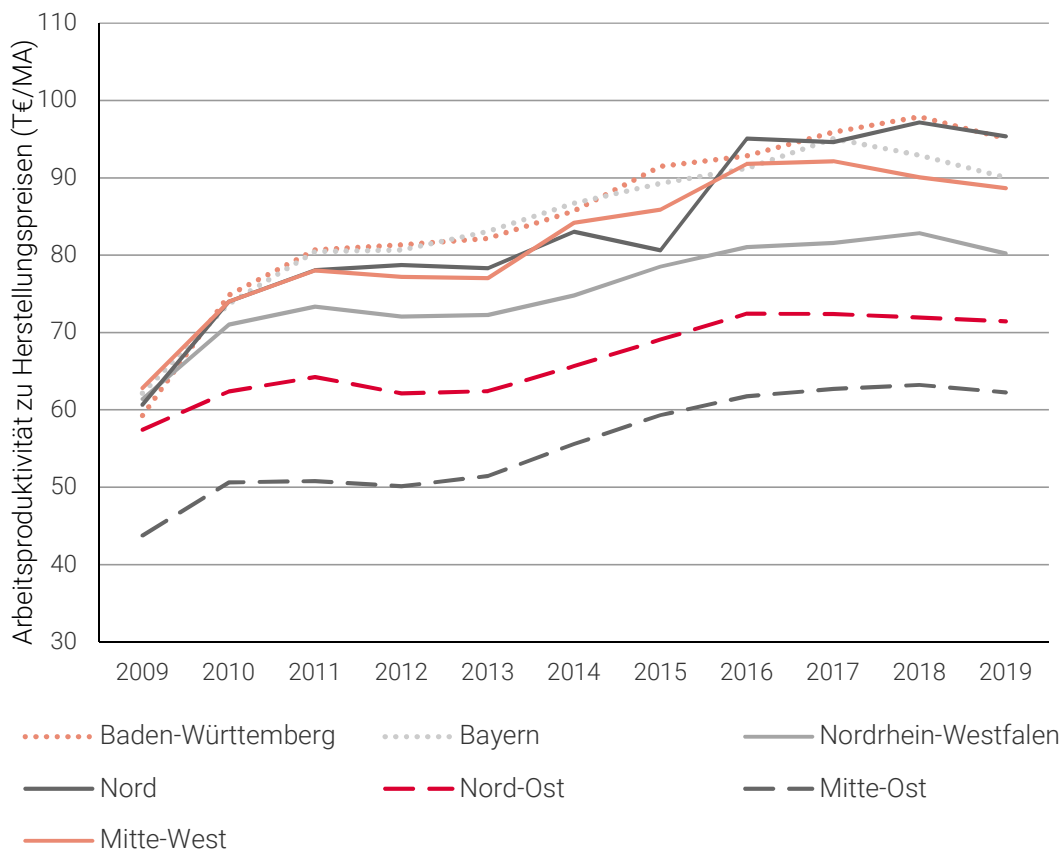
Um im Hochlohnland Deutschland mehr Wertschöpfung zu betreiben bzw. Produkte zu konkurrenzfähigen Preisen anbieten zu können, ist eine hohe Produktivität von großer Wichtigkeit. Ein solcher Produktivitätszuwachs kann unter anderem durch Automatisierung, Digitalisierung oder

innovative Konzepte der Produktionsorganisation, wie beispielsweise Lean, erreicht werden. Arbeitsproduktivität setzt die Eigenleistung einer Produktion, die Bruttowertschöpfung, mit der dafür eingesetzten Arbeit ins Verhältnis.

### 6.2.1 Nach Regionen

Abbildung 6-2 zeigt den Verlauf der Arbeitsproduktivität des Verarbeitenden Gewerbes nach Regionen im Zeitverlauf von 2009 bis 2019. Die Region Nord beinhaltet die Bundesländer Bremen, Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein, die Region Nord-Ost umfasst Berlin, Brandenburg sowie Mecklenburg-Vorpommern. Mitte-Ost besteht aus Thüringen, Sachsen und Sachsen-Anhalt, die Region Mitte-West subsummiert Hessen, Rheinland-Pfalz und das Saarland. Die drei größten Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und Nordrhein-Westfalen sind im Einzelnen dargestellt.

Abbildung 6-2: Arbeitsproduktivität (Bruttowertschöpfung zu Herstellkosten je Erwerbstätigem) des Verarbeitenden Gewerbes, aufgeteilt nach Regionen in Deutschland



Quelle: Statistisches Bundesamt, eigene Darstellung

Innerhalb des Zeitraums von 2010 bis 2019 ist ein leichter, aber stetig konstanter Anstieg der Arbeitsproduktivität in allen beschriebenen Regionen zu erkennen. Aufgrund der Wirtschaftskrise 2009 und des darauffolgenden starken Erholungseffekts, wird das Jahr 2009 in der Betrachtung außen vorgelassen. Während Baden-Württemberg 2010 eine Arbeitsproduktivität von



75.000 € pro Beschäftigten aufweist, liegt der Bundesdurchschnitt bei 69.000 € pro Beschäftigten. Diese Vorreiterrolle behält das Land bis zum aktuellen Jahr (2019) bei bzw. baut den Vorsprung von etwa 8,7% auf etwa 14,5% aus. In Baden-Württemberg liegt die Arbeitsproduktivität der Industrie aktuell bei 95.000 € pro Erwerbstätigem im Vergleich zu 83.000 € pro Erwerbstätigem in der Bundesrepublik. Der Höchstwert der Arbeitsproduktivität des Verarbeitenden Gewerbes wird sowohl für Baden-Württemberg als auch im Bundesdurchschnitt in 2018 erreicht (98.000 € in Baden-Württemberg und 85.000 € in Deutschland).

Seit 2018 sinkt die Arbeitsproduktivität des Verarbeitenden Gewerbes in allen Regionen Deutschlands. Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen und Bayern weisen hierbei den stärksten Produktivitätsrückgang um etwa 3% auf. Die weiteren Regionen sinken ebenfalls, doch in geringerem Ausmaß. Diese Entwicklung beschränkt sich nicht auf das Verarbeitende Gewerbe. Vielmehr verliert das Produktivitätswachstum bereits seit längerer Zeit an Dynamik bis hin zur aktuellen Stagnation. Die weiteren Wirtschaftszweige, beispielsweise Baugewerbe, Handel oder Unternehmensdienstleister unterliegen dieser Entwicklung ebenfalls (Kuntze & Mai, 2020). Eine Begründung für diesen Rückgang der Produktivität wird in der Literatur vielfältig diskutiert, jedoch herrscht Uneinigkeit darüber. Einige Erklärungsversuche sind im Folgenden aufgelistet (Brenke, 2019; Kuntze & Mai, 2020; Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, 2019):

- Sektoraler Wandel, mehr Bedeutung von Dienstleistungen und Zusatzservices, auch im Bereich des Verarbeitenden Gewerbes, Wandel hin zu weniger produktiven Branchen
- Zunehmende Bürokratisierung und indirekte Tätigkeiten
- Demografischer Wandel und damit erhöhter Renteneintritt, bei gleichzeitiger Eingliederung von geringer qualifizierten Beschäftigten in den Arbeitsmarkt
- Reduzierung der Arbeitsnachfrage durch Digitalisierung neutralisiert Produktivitätszuwächse der Anwendung digitaler Technologien

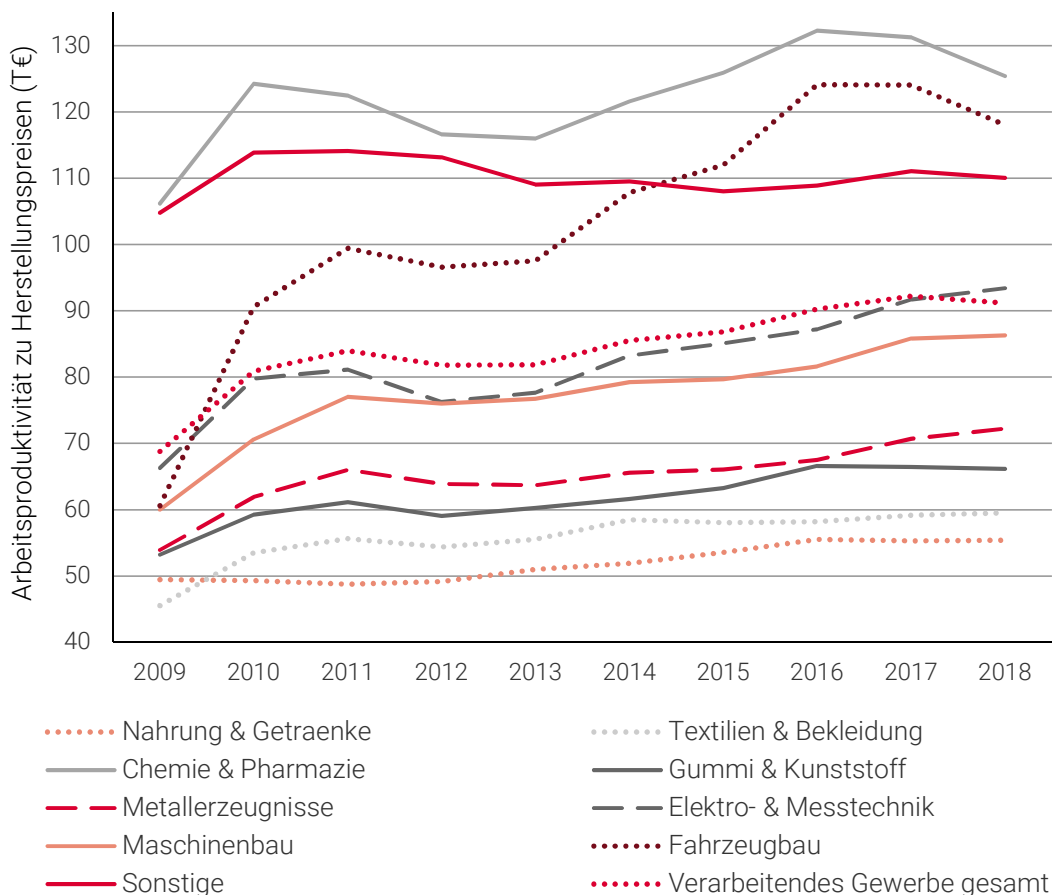
Dennoch verzeichnet das Verarbeitende Gewerbe in Baden-Württemberg über den Zeitraum von 2010 bis 2019 eine mittlere Zuwachsrate der Arbeitsproduktivität von 2,7% pro Jahr. Im Bundesdurchschnitt beträgt diese 2,2%. Dies zeigt, wie erfolgreich sich die baden-württembergische Industrie in den letzten 10 Jahren wirtschaftlich entwickeln konnte. Dies liegt unter anderem an der herausragenden Innovationskraft und Forschungsintensität der baden-württembergischen Industrie. In Baden-Württemberg werden nach Angaben des Statistischen Landesamtes 5,6 % des Bruttoinlandsprodukts in Forschung und Entwicklung investiert. Damit belegt das Bundesland im Vergleich von 90 Regionen der EU den Spitzenplatz (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2020). Da Produktivitätssteigerungen in diesem Ausmaß aber kein Selbstläufer sind, ist weiterhin davon auszugehen, dass darauf zielende Maßnahmen im Zuge der digitalen Vernetzung oder der organisatorischen Prozessoptimierung (beispielsweise durch Lean) im Fokus der Bemühungen der baden-württembergischen Unternehmen standen.

### 6.2.2 Nach Branchen

Auch branchenspezifische Unterschiede prägen die Produktivität von produzierenden Unternehmen und Regionen. Unterschiede in der Produktkomplexität, Seriengröße der Produktion, historisch gewachsene Strukturen, besondere Anforderungen von Beschaffungs- und Absatzmärkten, das Qualifikationsniveau der Beschäftigten sowie branchen- oder produktspezifische Regularien beeinflussen Produktionsabläufe und -organisation. Dies hat wiederum Einfluss auf die Produktivität von Branchen.

Neben der Betrachtung regionaler Unterschiede in Bezug auf die Arbeitsproduktivität wird daher auch ihr Verlauf in den unterschiedlichen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes betrachtet. Abbildung 6-3 visualisiert die Arbeitsproduktivität der bedeutendsten Branchen des verarbeitenden Gewerbes in Deutschland von 2009 bis 2019. Zur verbesserten Übersichtlichkeit wurden einzelne Branchen (Wirtschaftszweige, Zweisteller) zu ähnlichen Branchengruppen zusammengefasst. Die weiteren Branchen sind unter *Sonstige* subsumiert. Diese Branchenverteilung ist in Anhang 10 dargestellt.

Abbildung 6-3: Verlauf der Arbeitsproduktivität (Bruttowertschöpfung zu Herstellungspreisen je Beschäftigtem) des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland, aufgeschlüsselt nach Branchen



Quelle: Statistisches Bundesamt, eigene Darstellung

Im Verlauf der Arbeitsproduktivität ist die Krise von 2009 ebenso deutlich zu erkennen, wie in Abbildung 6-2 bereits veranschaulicht. Im besonderen Maße sind die Auswirkungen der Krise und die damit verbundenen Erholungseffekte im Fahrzeugbau erkennbar. Eine Rolle spielten hierbei auch staatliche Kaufanreize für neue Fahrzeuge (Erber & Hagemann, 2012).

Bei allen dargestellten Branchen ist eine stetige, wenn auch leichte Produktivitätssteigerung innerhalb der Jahre 2010 bis 2018 zu erkennen. Das gesamte Verarbeitende Gewerbe konnte die Produktivität in diesem Zeitraum von 81.000 € pro Mitarbeitendem auf 91.000€ erhöhen. Analog zum Verlauf der Arbeitsproduktivität nach Regionen, stagniert oder sinkt die Produktivität ab 2017. Es fällt auf, dass einige Branchen von dieser Entwicklung stärker als andere getroffen werden. Darüber hinaus setzt der Rückgang in der Elektro- und Messtechnikbranche sowie bei den Metallerzeugnissen kaum oder nur verzögert ein. Von 2017 auf 2018 können diese ihre Produktivität noch leicht steigern.

Spitzenreiter bei der Produktivität sind Chemie und Pharmazie, Fahrzeugbau und sonstige Branchen. Die hohe Produktivität Letzterer wird vor allem durch die Mineralölverarbeitung und Tabakverarbeitung hervorgerufen. In die Bruttowertschöpfung zu Herstellungspreisen fließen die hohen Steuern dieser Branchen mit ein. Bei Betrachtung der Bruttowertschöpfung zu Faktorkosten, welche den Einfluss von Steuern und Subventionen bei der Ermittlung eliminiert, liegen die sonstigen Branchen im unteren Mittelfeld der Produktivität in Deutschland. Mögliche Gründe für die hohe Produktivität des Fahrzeugbaus und der chemischen sowie pharmazeutischen Industrie sind der hohe Automatisierungsgrad der Herstellprozesse bei großer Serien- und Chargengröße trotz der gleichzeitig hohen Produkt- bzw. Prozesskomplexität.

Die geringste Arbeitsproduktivität weisen die Branchen Textilien und Bekleidung sowie Nahrung und Getränke auf. Gerade die Textilbranche weist einen traditionell großen Anteil manueller Tätigkeiten bei relativ trivialen Produkten auf. Zudem verfügen sowohl die Textil- und Bekleidungsbranche als auch die Nahrungs- und Futtermittelbranche über eine relativ geringe Forschungsintensität (Belitz et al., 2019). Der Bereich Nahrung und Getränke subsummiert neben Nahrungs- und Futtermittel auch die Getränkebranche, welche für sich gesehen eine eher hohe Produktivität aufweist (120.000€) und den kumulierten Wert daher noch relativiert. Gerade die Erzeugung von Nahrungs- und Futtermitteln beschäftigt 10,2% der Mitarbeitenden im Verarbeitenden Gewerbe, ist jedoch lediglich für 5,5% der Bruttowertschöpfung verantwortlich (2018).

### 6.3 Extrapolation der Potenziale des Einsatzes von Lean-Prinzipien für Produktivität und Wertschöpfung

Nun stellt sich die Frage, wie sich die Nutzung von Lean-Konzepten konkret auf die betriebliche Arbeitsproduktivität, gemessen als Wertschöpfung je Beschäftigtem, auswirkt. Das lineare Regressionsmodell zur Erklärung der Arbeitsproduktivität auf Basis der Daten der Erhebung *Modernisierung der Produktion 2018* des Fraunhofer ISI (Vgl. Anhang 11) lässt eine Schätzung des

Potenzials der Nutzung von Lean-Konzepten zur Produktivitätsverbesserung zu. Dabei ist der Einfluss von anderen betrieblichen Faktoren wie Betriebsgröße, Branche, Produktionsart oder Produktkomplexität bereits herausgerechnet, es lässt sich der alleinige Einfluss der Nutzung von Lean-Konzepten errechnen. Demnach erreicht ein durchschnittlicher Betrieb, der einen Lean-Index von 7 aufweist, d.h. alle sieben abgefragten Lean-Konzepte in hohem Umfang nutzt, eine um 21,4 % höhere Arbeitsproduktivität als ein durchschnittlicher Betrieb, der einen Lean-Index von 0 aufweist, also keines der abgefragten Lean-Konzepte nutzt (vgl. Tabelle 6-1). Im Mittelwert aller Betriebe liegt der Lean-Index bei 2,2. Betriebe mit einem maximalen Lean-Index von 7 weisen gegenüber diesen durchschnittlichen Lean-Nutzern eine um **14,2 % höhere Arbeitsproduktivität** auf. Dies kann als **Potenzial einer weitreichenden Nutzung von Lean-Konzepten** im Vergleich zur mittleren Lean-Nutzung in der betrieblichen Realität interpretiert werden.

Tabelle 6-1: Niveau der Arbeitsproduktivität (Wertschöpfung je Mitarbeiter) in Abhängigkeit von der Ausschöpfung der Lean-Potenziale

Lean-Index	0	1	2	3	4	5	6	7
Arbeitsproduktivität (Wertschöpfung je Mitarbeiter) in Relation zu einem Lean-Index von 0	100,0%	102,8%	105,7%	108,7%	111,7%	114,8%	118,1%	121,4%
Arbeitsproduktivität (Wertschöpfung je Mitarbeiter) in Relation zu mittlerem Lean-Index von 2,2	94,1%	96,7%	99,5%	102,3%	105,1%	108,1%	111,1%	114,2%

Die in den Experteninterviews befragten Vorreiterunternehmen gaben im Mittel eine Ausschöpfung der Lean-Potenziale von etwa 67 % an. Dieses entspräche auf der Skala von 0-7 des Lean-Index einem Wert von 4,7. Damit würden die befragten Vorreiterunternehmen im Durchschnitt eine rechnerisch um 7,2 % höhere Arbeitsproduktivität erreichen als der durchschnittliche Betrieb des deutschen Verarbeitenden Gewerbes mit einem Lean-Index von 2,3. Bei einer mittleren jährlichen Steigerung der Arbeitsproduktivität im deutschen verarbeitenden Gewerbe von 2,2 % pro Jahr in den Jahren 2010-2019 (vgl. Abbildung 6-2) entspricht dies einem **Produktivitätsvorsprung von etwa 3,25 Jahren**. Bei einer umfänglichen Ausschöpfung der Lean-Potenziale, also bei einem Lean-Index von 7, liegt der Vorsprung bei der Arbeitsproduktivität gegenüber einem durchschnittlichen Betrieb wie oben beschrieben bei etwa 14,2 %. Dies entspräche bei einem mittleren Produktivitätszuwachs von 2,2 % im deutschen Verarbeitenden Gewerbe einem Produktivitätsvorsprung von etwa 6,5 Jahren.

Das Potenzial eines umfänglichen Einsatzes von Lean-Konzepten zur Steigerung der Arbeitsproduktivität um 14,2 % entspricht bei einer Bruttowertschöpfung zu Herstellungspreisen im deutschen Verarbeitenden Gewerbe von etwa 666,8 Milliarden € im Jahr 2019 einem **Wertschöpfungspotenzial von etwa 94,7 Milliarden €**. In den Jahren 2010-2019 wurden darüber hin-

aus im Durchschnitt etwa 0,9 % mehr Erwerbstätige pro Jahr im deutschen Verarbeitenden Gewerbe aufgebaut. Inklusiv dieses Beschäftigtenzuwachses ergäbe sich daraus ein Wertschöpfungspotenzial von etwa 101 Milliarden €. Allerdings ist im Angesicht der aktuellen COVID-19-Krise eher mit einer abnehmenden Beschäftigung zu rechnen. Jüngste Zahlen des Statistischen Bundesamtes vom 15. Juli 2020 wiesen einen Rückgang der Beschäftigten im Verarbeitenden Gewerbe im Mai 2020 von -2,1 % im Vergleich zum Vorjahresmonat aus. Nimmt man als pessimistische Prognose diesen Beschäftigungsrückgang für das komplette Jahr an, dann bliebe immer noch ein zusätzliches Wertschöpfungspotenzial durch umfängliche Nutzung von Lean-Konzepten von etwa 80,7 Milliarden €.

Das mittlere Wertschöpfungspotenzial von 94,7 Milliarden € entspräche einem Produktivitätsvorsprung von etwa 6,5 Jahren, das pessimistische Wertschöpfungspotenzial von 80,7 Milliarden € immer noch einem Produktivitätsvorsprung von etwa 5,5 Jahren. Damit könnten durch umfängliche Nutzung von Lean-Konzepten in der Produktion des deutschen Verarbeitenden Gewerbes in etwa Produktivitätspotenziale geborgen werden, die einem **halben Jahrzehnt an Produktivitätszuwachs** entsprechen.

Darüber hinaus ist festzuhalten, dass sich extrapolierte Produktivitätspotenziale lediglich auf direkte Prozesse und Unternehmensbereiche beziehen. Wie in Kapitel 5.2.6 dargelegt, lassen sich weitere Potenziale durch die Anwendung von Lean-Methoden in indirekten, administrativen Bereichen erzielen. Das realisierbare Wertschöpfungspotenzial liegt somit noch über dem ermittelten Wert.

**NUTZUNGSINTENSITÄT  
VON LEAN UND INDUST-  
RIE 4.0 IN DER DEUT-  
SCHEN UND BADEN-  
WÜRTTEMBERGISCHEM  
INDUSTRIE**

**MUSTER UND ZUSAM-  
MENHÄNGE DER KOMBI-  
NATION BEIDER KON-  
ZEPTE**

## 7 Fazit

Im Folgenden werden die Ziele und Untersuchungsergebnisse der vorliegenden Studie dargelegt und anhand der gewonnenen Erkenntnisse zusammenfassend beantwortet. Eines der Ziele der Studie ist die Ermittlung der Nutzungsintensität von Lean-Prinzipien und Industrie 4.0 in der deutschen und baden-württembergischen Industrie. Hierbei nimmt Lean die Rolle des führenden Konzeptes ein, dessen Anwendungsgrad im Mittel höher ist als jener der Industrie 4.0-Technologien. Dies zeigt sowohl die Befragung exzellenter Industrieunternehmen im Rahmen der Experteninterviews (Abschnitt 5) als auch die repräsentativ quantitative Untersuchung (Abschnitt 4). Dabei wird deutlich, dass Baden-Württemberg hier eine Vorreiterrolle einnimmt, da sich das Bundesland sowohl bei der Nutzung von Lean-Prinzipien als auch bei den Technologien der Industrie 4.0 an einer Spitzenposition befindet. Auffällig ist zudem, dass selbst die befragten Vorreiterunternehmen mit exzellenten Wertschöpfungsprozessen bei sich noch von erheblichen ungenutzten Potenzialen bei der Anwendung genannter Konzepte ausgehen, die es zu erschließen gilt.

Ein weiterer Untersuchungsgegenstand ist die Frage nach Mustern und Zusammenhängen, welche sich bei der Kombination beider Konzepte ergeben. Der aktuelle Stand der Forschung verweist dazu auf den Zusammenhang, dass beide Konzepte auf die gleichen unternehmerischen Ziele wirken, indem Lean - wie auch Industrie 4.0 - auf Verbesserungen der Produktivität, Flexibilität, Qualität und Ressourceneffizienz abzielen. Darüber hinaus legen die Ergebnisse der Studie eine vorgelagerte Einführung von Lean-Prinzipien als Voraussetzung einer sinnvollen Industrie 4.0-Anwendung nahe. Letztere kann jedoch dazu genutzt werden, bisher noch unentdeckte Verschwendung an das Tageslicht zu fördern und dadurch die positiven Effekte einer Lean-orientierten Verschwendungsreduktion weiter zu verstärken. Diese Zusammenhänge zwischen beiden Konzepten werden sowohl durch die qualitative Befragung (Abschnitt 5.4) als auch durch die quantitative Ermittlung der Einführungsjahre der Maßnahmen (Abschnitt 4.4) empirisch untermauert.

Die Befragung exzellenter Anwender innerhalb der Experteninterviews gibt Aufschluss über die Unterschiede zwischen ihrer Performance und der Performance von anderen Unternehmen, welche die Konzepte in durchschnittlichem Maße anwenden. Die in den Experteninterviews befragten Vorreiterunternehmen geben an, ihre Produktivität über die letzten zehn Jahre im Mittel um etwa 3,8 Prozent pro Jahr gesteigert zu haben. Dies liegt deutlich über dem mittleren jährlichen Produktivitätszuwachs im deutschen Verarbeitenden Gewerbe von 2,2 Prozent in den Jahren 2010-2019. Der mittlere jährliche Produktivitätszuwachs ist damit bei den befragten Vorreiterunternehmen um mehr als 70 % höher als im Durchschnitt der deutschen Industrie. Auch die quantitative Erhebung (Vgl. Abschnitt 4.4) zeigt den positiven Einfluss der Anwendung von Lean-Prinzipien und Industrie 4.0-Maßnahmen auf die Produktivität. Demnach weisen Unternehmen mit einer umfassenden Lean-Nutzung (Indexwert von 7) eine um 14% höhere Arbeitsproduktivität auf als Betriebe mit einem durchschnittlichen Lean-Nutzungs niveau (Indexwert von 2,2). Zudem geht eine intensive Lean-Nutzung mit positiven Effekten auf die Qualität einher. Die Ausschussquote wird signifikant reduziert, wenn Lean-Prinzipien in erhöhtem Maße angewendet werden.

Die Untersuchung exzellenter Anwenderunternehmen zeigt Beispiele guter Praxis bei der Anwendung von Lean-Prinzipien und Industrie 4.0-Technologien sowie dafür maßgeblicher Erfolgsfaktoren. Zentraler Aspekt der erfolgreichen Anwendung beider Konzepte ist der Faktor Mensch. Es erscheint wesentlich, die anwendenden Mitarbeiter in der Fabrikhalle mitzunehmen, entsprechend zu qualifizieren und ihnen die notwendige Kultur und Routinen vorzuleben. Zudem ist es wichtig, ein gewisses Maß an Risikobereitschaft und Durchhaltevermögen an den Tag zu legen. Viele der Experten nannten dies „einen langen Atem zu haben“. Strategische und langfristige Investitionen, die teilweise mit weiteren Anpassungen einhergehen und die erst verzögert sichtbar werdenden Effekte sind der wesentliche Grund hierfür.

Aktuell unterliegt die deutsche und die baden-württembergische Industrie einer Produktivitätsstagnation. Ein nachhaltiges Produktivitätswachstum ist jedoch wesentlich für den Wohlstand einer hoch entwickelten Volkswirtschaft (Abschnitt 6.2, die stark auf Innovationen und Verbesserungen bei Produkten und Prozessen setzt. Die Anwendung von Lean-Prinzipien und Industrie 4.0-Technologien in Produktionen,

**VORREITERUNTERNEHMEN BEI LEAN UND INDUSTRIE 4.0 WEISEN DEUTLICH ÜBERDURCHSCHNITTLICHES PRODUKTIVITÄTSWACHSTUM AUS**

**BEISPIELE GUTER PRAxis DER ANWENDUNG VON LEAN-PRINZIPIEN UND INDUSTRIE 4.0-TECHNOLOGIEN**

**WERTSCHÖPFUNGS-  
POTENZIALE VON  
95 MRD. € DURCH KON-  
SEQUEUNTEN LEAN-EIN-  
SATZ IN DER PRODUK-  
TION**

aber auch in indirekten Bereichen, bringt Produktivitätspotenziale für die deutsche Industrie auf volkswirtschaftlicher Ebene mit sich. Die Potenziale der Anwendung in der Produktion sind in Abschnitt 6.3 quantifiziert. So entspricht die um 14% höhere Arbeitsproduktivität einer umfassenden Lean-Nutzung gegenüber der durchschnittlichen Lean-Nutzung einem Produktivitätsvorsprung von 6,5 Jahren. Das durch umfangreichen Einsatz von Lean-Konzepten zusätzlich erschließbare Wertschöpfungspotenzial beläuft sich auf etwa 95 Milliarden €. Aus einer pessimistischen Schätzung, unter Berücksichtigung der Covid-19 Pandemie und des damit einhergehenden Beschäftigungsrückgangs, resultiert immer noch ein Wertschöpfungspotenzial von fast 81 Milliarden € entsprechend einem Produktivitätsvorsprung von etwa 5,5 Jahren. In indirekten Bereichen lassen sich zudem noch weitere Potenziale identifizieren. Eine Quantifizierung dieser ist in weiterführenden Untersuchungen zu ermitteln.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass vor allem die Anwendung von Lean-Prinzipien wesentliche positive Effekte auf die Produktivität und Wertschöpfung von Industrieunternehmen hat. Trotz der seit der Mitte der 1990er Jahre verbreiteten Anwendung ist der heutige Durchdringungsgrad mit im Mittel 2,2 von 7 Indexpunkten noch immer überschaubar. Zukünftig können durch eine konsequente Anwendung der Lean-Prinzipien noch erhebliche Wertschöpfungspotenziale erschlossen werden. Technologien der Industrie 4.0 unterstützen, ergänzen und verstärken diese Potenziale. Will das baden-württembergische Verarbeitende Gewerbe seine Vorreiterrolle behalten und weiter ausbauen, ist ein stetiges Streben nach Verschwendungsreduktion und Produktivitätssteigerung im Sinne von Lean und kontinuierlicher Verbesserung wesentlich für den Erfolg. Gerade in Zeiten einer weltweiten Gesundheits- und Wirtschaftskrise ist es ratsam, die identifizierten Potenziale nachdrücklich zu verfolgen.



## Glossar

<b>5S</b>	Die 5S-Methode ist eine systematische Vorgehensweise zur Gestaltung der eigenen Arbeitsumgebung. Ziel ist, durch eine strukturierte Organisation des Arbeitsplatzes nicht wertschöpfende Tätigkeiten, also Verschwendung zu minimieren. Die 5 S stehen für Selektieren, Systematisieren, Säuberung, Standardisieren und Selbstdisziplin.
<b>Andon</b>	Andon ist eine Methode des Prinzips Visual Management. Dabei geht es darum, den Status eines Produktionssystems zu visualisieren.
<b>Arbeitsproduktivität</b>	Die Arbeitsproduktivität beschreibt das Verhältnis aus Absatzmenge zu eingesetzter Arbeit. Im Dokument wird die Arbeitsproduktivität zu Herstellungspreisen angegeben. Sie trifft eine Aussage darüber, welche Wertschöpfung pro Mitarbeiter generiert wird
<b>Aufgabenintegration</b>	Unter dem Begriff <i>Aufgabenintegration</i> wird die Erweiterung von rein ausführenden Aufgaben auf <i>planende, steuernde oder kontrollierende Funktionen beim Werker</i> zusammengefasst. Verantwortlichkeiten werden somit auf betrieblich vielseitig einsetzbare Werker in den unteren Hierarchiestufen übertragen und deren Tätigkeitsbild angereichert (Lay & Maloca, 2005).
<b>Ausschussquote</b>	Die Ausschussquote spiegelt den Anteil der hergestellten Produkte bzw. Zwischenprodukte wider, welcher aufgrund einer internen Qualitätskontrolle als endgültig unverwertbar bzw. unverkäuflich aussortiert wurde oder einer Nachbearbeitung unterzogen werden musste.
<b>Big Data</b>	Mit Big Data werden die großen Datenmengen bezeichnet, welche im Internet of Things oder der Smart Factory anfallen. Diese systematisch zu sammeln, zu verarbeiten und auszuwerten ist Bestandteil dieser Technologie.
<b>Business Intelligence</b>	BI beschreibt die systematische und technologiebetriebene Analyse von Geschäftsdaten. Diese dient der Unterstützung von Entscheidungen.
<b>Commodity</b>	Commodity bedeutet übersetzt <i>Ware</i> und meint im Kontext ein standardisiertes und homogenes Gut, das austauschbar und von vielen Lieferanten in ähnlicher Qualität zu beziehen ist.
<b>Computer Aided Quality</b>	Mit CAQ werden Computersysteme abgekürzt, die der Qualitätssicherung dienen.
<b>Cyber Physische Systeme</b>	„Cyber Physische Systeme sind gekennzeichnet durch die Verknüpfung von realen (physikalischen) Objekten und Prozessen mit Informationsverarbeitenden (virtuellen) Objekten und Prozessen über offene, teilweise globale und jederzeit miteinander verbundene Informationsnetze.“(VDI/VDE-Gesellschaft, 2013)
<b>Durchlaufzeit</b>	Die Durchlaufzeit beschreibt die Dauer, die ein Objekt in einem System verbringt. In Bezug auf die Produktion ist die DLZ die Zeit von Wareneingang bis Versand eines spezifischen Produkts.
<b>Fluss-Prinzip</b>	Ziel des Fluss-Prinzips ist es, kurze Durchlaufzeiten dadurch zu erzielen, dass die Werkstücke nach einem Arbeitsgang direkt zum nächsten Arbeitsgang

	transportiert werden und nicht auf die Fertigstellung anderer Teile warten müssen. Puffer und Zwischenlager werden somit reduziert. (Spath, 2003)
<b>Ganzheitliches Produktionssystem</b>	Ein GPS zeichnet sich dadurch aus, dass alle Prozesse auf den Kunden, die Vermeidung von Verschwendung und kontinuierliche Verbesserung ausgerichtet sind. Diese beinhalten fabrikübergreifende methodische Richtlinien zur Produktionsplanung und -steuerung, sowie der Prozessgestaltung. Ein weiterer wesentlicher Bestandteil von GPS ist der Kulturwandel bei allen Mitarbeitern hin zu einem Streben nach kontinuierlicher Verbesserung (VDI/VDE-Gesellschaft, 2012)
<b>Industrie 4.0</b>	Industrie 4.0 basiert auf der intelligenten, in Echtzeit stattfindenden, horizontalen und vertikalen Vernetzung von Wertschöpfungsprozessen und Geschäftsmodellen (Bauernhansl, 2014; Kinkel et al., 2016a). Sie transportieren das Versprechen, die Voraussetzungen für eine hochflexible und gleichzeitig hocheffiziente Produktion zu schaffen, die es ermöglicht, hochindividualisierte Produkte bis hin zu Losgröße 1 zu wettbewerbsfähigen Kosten ähnlich der Massenproduktion herstellen zu können (Lichtblau et al., 2015).
<b>Instrumente zur Sicherung von Qualität</b>	Die Implementierung von <i>Instrumenten zur Sicherung von Qualität in der Produktion</i> wie beispielsweise <i>KVP</i> (kontinuierlicher Verbesserungsprozess), <i>TQM</i> (Total Quality Management), <i>SixSigma</i> oder die <i>vorbeugende Wartung</i> zielen durch eine Vielzahl von Ansätzen, von der Einbindung der Beschäftigten bis zu effizienten Maschinenpflege, auf die Verringerung von Ausschuss und Nacharbeit ab (Ullmann, 2009, 58ff.).
<b>Internet of Things</b>	Internet of Things bezeichnet die Vernetzung von Personen, Gegenständen und Systemen untereinander, aber auch nach außen. Hierzu wird das Internet genutzt.
<b>Kontinuierliche Verbesserung</b>	Der KVP ist ein Prinzip des Lean und bezeichnet das Bestreben, die aktuellen Prozesse stets zu hinterfragen und zu verbessern.
<b>Lean (Management)</b>	Lean Management ist, richtig verstanden, eine fundamentale systemische Innovation im Denken, der Philosophie, Führung und Organisation industrieller Unternehmen (Pfeiffer & Weiß, 1994). Zentrales Ziel des Lean Management ist es, systematisch jegliche Art von Verschwendung zu identifizieren und zu eliminieren.
<b>Manufacturing Execution System</b>	Ein MES ist ein Produktionssystem auf einer prozessnahen Ebene. Es dient der Produktionsplanung, Maschinenbelegung, Personaleinsatzplanung, Instandhaltung, etc. Das System ist zwischen einem übergeordneten ERP-System und den Maschinen in der Fabrikhalle einzuordnen.
<b>Mass Customization</b>	Mass-Customization beschreibt die Verbindung von Ansätzen der Massenfertigung mit der Herstellung kundenindividueller Produkte. Trotz der individuellen Anforderungen sollen Skaleneffekte und Erfahrungskurven genutzt werden.
<b>Mitarbeiterbeteiligung &amp; zielorientierte Führung</b>	Die Mitarbeiter gelten als wichtigste Ressource und Quelle von Ideen zur kontinuierlichen Verbesserung. Es wird davon ausgegangen, dass die Mitarbeiter, die täglich einen Prozess ausführen, am besten wissen, wie er zu verbessern ist. Das Gestaltungsprinzip Mitarbeiterorientierung und zielorientierte Führung

	beinhaltet daher Methoden, die die Kultur der Fehler- und Verschwendungsvermeidung bei Führungskräften und Mitarbeitern unterstützen.(Liker & Braun, 2011)
<b>Null-Fehler-Prinzip</b>	In das Gestaltungsprinzip Null-Fehler-Prinzip sind in erster Linie Methoden eingeordnet, die der Vermeidung der Fehlerweitergabe an nachfolgende Prozessschritte dienen sowie der Fehlervermeidung und Sicherstellung einer hohen Produkt- und Prozessqualität.(Shingō et al., 1993)
<b>Odds Ratio</b>	Odds Ratio quantifiziert die Stärke von Zusammenhängen. Das Odds Ratio ist ein Maß der Effektstärke und beschreibt die Stärke des Zusammenhangs bzw. die Unabhängigkeit zweier binärer Variablen.
<b>Overall Equipment Efficiency</b>	Die OEE stellt die Gesamtanlageneffektivität dar und berücksichtigt Verfügbarkeit, Leistung und Qualität. Mit dieser Kennzahl lassen sich einzelne Produktionsbereiche vergleichen. Sie dient häufig zur Steuerung von Produktionsanpassungen.
<b>Product Lifecycle Management</b>	PLM sammelt Informationen über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes hinweg. Diese werden in PLM Systemen häufig genutzt, um beispielsweise eine Rückverfolgbarkeit von Produkten zu deren Produktionsprozess zu ermöglichen.(Sudarsan et al., 2005)
<b>Produktionswert</b>	Der Produktionswert gibt den Wert aller in einer Periode hergestellten Waren an. Dieser wird in der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung ermittelt und beinhaltet die Wertschöpfung sowie Vorleistungen.
<b>Pull-Prinzip</b>	Eine <i>Produktionssteuerung nach dem Zug-Prinzip</i> (englisch Pull) disponiert <u>nach</u> dem Eintreffen eines konkreten Kundenauftrags. Gemäß <i>KANBAN</i> meldet ein definierter Behälterinhalt (KANBAN, deutsch: Karte) den Bedarf und stößt dadurch bspw. die Materialbereitstellung an. Somit erfolgt keine Fertigung ohne Auftrag, was einen <i>Null-Puffer</i> ermöglicht (Klepzig, 2018, p. 18).
<b>Rüstzeitoptimierung</b>	Methoden der Rüstzeitoptimierung dienen dazu, die Flexibilität und dadurch Produktivität im Ganzen zu steigern. Ziel ist es durch <i>festgelegte Prozessabläufe</i> , die <i>Rüstzeiten und Anlaufphasen beim Produktwechsel zu verringern</i> . Methoden wie bspw. <i>SMED</i> (Single Minute Exchange of Dies) oder <i>QCO</i> (Quick Changeover) zielen durch die Umwandlung der Einstellzeiten bei Maschinenstillstand in Arbeiten, die bei laufender Anlage durchgeführt werden können, auf die systematische Reduzierung der Umrüstzeit ab, ohne die Maschine im Fertigungsfluss zu unterbrechen (Sundar et al., 2014, 1876ff.; Ullmann, 2009, p. 55).
<b>Smart Factory</b>	Smart Factory, auch intelligente Fabrik bezeichnet eine sich selbst steuernde Fabrik. Der Mensch muss in den Produktionsprozess einer Smart Factory nicht mehr eingreifen.
<b>Standardisierung</b>	Standardisierte und detailliert beschriebene Arbeitsanweisungen (z.B. „standard work“, SOP, MOST) sind eine Möglichkeit für die Festlegung bzw. Vereinheitlichung von technischen oder organisatorischen Lösungen. Die Dokumentation und Replikation von Best-Practice-Abläufen verringern die Wahrscheinlichkeit von Störungen und verbessern dadurch den Arbeitsfluss (Feng & Ballard, 2008, p. 10)
<b>Takt-Prinzip</b>	Produzieren im Takt schafft einen gleichmäßigen Fluss innerhalb der Fabrik. Dieser Takt gibt die maximale Zeitdauer eines Produktionsschrittes vor.

---

<b>Verschwendungsarten</b>	In der klassischen Lean Production Lehre nach Taiichi Ohno (Ōno, 1988) werden insgesamt sieben Verschwendungsarten unterschieden, die häufig als TIMWOOD zusammengefasst werden: T = Transport, I = Inventory (Bestände), M = Motion (Bewegung), W = Waiting (Warten), O = Over-production (Überproduktion), O = Over-engineering (Über-komplexe Produkte/Prozesse), D = Defects (Ausschuss/Nacharbeit). Damit soll der Anteil der Wertschöpfung im Gesamtprozess, die dem entstehenden Produkt wirklichen Wert hinzufügt, den der Kunde auch bereit ist zu bezahlen, maximiert werden.
<b>Visuelles Management</b>	<i>Schautafeln in der Produktion zur bildlichen Darstellung von Arbeitsabläufen und Arbeitszuständen</i> und andere Formen des <i>visuellen Managements</i> sollen die Werker bei der Erfüllung ihrer Aufgaben unterstützen und die Produktion effektiver gestalten. Die Arbeiter können bestimmte Anweisungen, Arbeitsabläufe und -zustände einer bildlichen Darstellung in der Produktion entnehmen. Diese Form der Standardisierung verfolgt das langfristige Ziel von kontinuierlicher Transparenz, Motivation und Controlling.
<b>Wertschöpfungstiefe</b>	Die Wertschöpfungstiefe ist definiert als der Anteil (in %) der eigenen Wertschöpfung am Umsatz. Die Wertschöpfung errechnet sich aus dem Umsatz abzüglich aller zugekauften Vorleistungen (Material, Zwischenprodukte, Hilfs- und Betriebsstoffe, Dienstleistungen) und ist damit ein Maß für die Eigenleistung eines Betriebs.
<b>Wertstromdesign (-analyse)</b>	Eine Möglichkeit für die Optimierung von Prozessen ist die Implementierung von <i>Maßnahmen zur Verbesserung der innerbetrieblichen Logistik</i> . So ist beispielsweise die von Toyota entwickelte <i>Wertstromanalyse</i> eine Methode zur Analyse und Visualisierung aller Material- und Informationsflüsse im Produktionsprozess (Gram, 2011, p. 40). Eine Änderung der räumlichen Anordnung von Produktionsschritten wäre eine Möglichkeit, die innerbetriebliche Logistik zu verbessern.

---

## Literaturverzeichnis

- Abele, E., Anderl, R., Brungs, F., & Mosch, C. (2011). Materialflusssimulation in der schlanken Produktion: Modeling of capacity of milkrun processes in lean production by material flow simulation. *Productivity - Kompetenz in Produktion und Logistik*, 16(5), 48–51.
- Bauernhansl, T. (2014). Die Vierte Industrielle Revolution: Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik : Anwendung, Technologien, Migration* (pp. 5–35). Springer Vieweg.
- BearingPoint (2017). Lean 4.0 - Schlank durch Digitalisierung. [https://gutkas-digital.eu/wp-content/uploads/2017/12/Studie\\_Lean\\_4.0\\_Schlank\\_durch\\_Digitalisierung.pdf](https://gutkas-digital.eu/wp-content/uploads/2017/12/Studie_Lean_4.0_Schlank_durch_Digitalisierung.pdf)
- Belitz, H., Gorning, M., & Schiersch, A. (2019). *Produktivitätsentwicklung in Deutschland: Regionale und sektorale Heterogenität* (Produktivität für inklusives Wachstum No. 02). Gütersloh. Bertelsmann Stiftung.
- Benotsmene, R., Kovács, G., & Dudás, L. (2019). Economic, social impacts and operation of smart factories in Industry 4.0 focusing on simulation and artificial intelligence of collaborating robots. *Social Sciences*, 8(5). <https://doi.org/10.3390/socsci8050143>
- Bick, W. (2014). Warum Industrie 4.0 und Lean zwingend zusammengehören. *VDI-Z*, 156(11), 46–47.
- Brenke, K. (2019). *Produktivitätswachstum sinkt trotz steigendem Qualifikationsniveau der Erwerbstätigen. DIW Wochenbericht: Vol. 33.*
- Broedner, P., Kinkel, S., & Lay, G. (2009). Productivity effects of outsourcing: New evidence on the strategic importance of vertical integration decisions. *International Journal of Operations & Production Management*, 29, 127–150. <https://doi.org/10.1108/01443570910932020>
- Buer, S.-V., Strandhagen, J. O., & Chan, F. T. S. (2018). The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2924–2940. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1442945>
- Bühler, J., & Bauer, W. (2014). *Industrie 4.0 - Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland: Studie*. BITKOM, Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und Neue Medien. <https://e-docs.tib.eu/files/e01fn15/818574917.pdf>
- (2019). *Kostenstrukturerhebung: Beschäftigte, Umsatz, Produktionswert und Wertschöpfung der Unternehmen im Verarbeitenden Gewerbe: Deutschland, Jahre, Wirtschaftszweige (2-/3-/4-Steller)* (42251-0001). Statistisches Bundesamt.
- (2020). *VGR der Länder (Entstehungsrechnung): Bruttowertschöpfung zu Herstellungspreisen (nominal): Bundesländer, Jahre, Wirtschaftszweige* (82111-0002). Statistisches Bundesamt.
- Dombrowski, U., & Mielke, T. (Eds.). (2015). *VDI-Buch. Ganzheitliche Produktionssysteme: Aktueller Stand und zukünftige Entwicklungen* (Aufl. 2015). Springer Berlin Heidelberg.

- Dombrowski, U., & Richter, T. (2016). Ganzheitliche Produktionssysteme und Industrie 4.0. *Zeitschrift Für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*(12), 771–774. <https://doi.org/10.3139/104.111651>
- Dombrowski, U., Richter, T., & Ebentreich, D. (2015). Ganzheitliche Produktionssysteme und Industrie 4.0. Ein Ansatz zur standardisierten Arbeit im flexiblen Produktionsumfeld: Lean Production Systems and the Fourth Industrial Revolution. *Industrie 4.0 Management - Gegenwart und Zukunft industrieller Geschäftsprozesse*, 31(3), 53–56.
- Drees, J., & Sack, C. (2011). Produktionsoptimierung durch Kennzahlen der Wertstrom-Modellierung: Production optimization using key performance indicators on value stream modeling. *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 106(6), 466–470.
- Dreher, C., Fleig, J., Harnischfeger, M., & Klimmer, M. (1995). *Neue Produktionskonzepte in der deutschen Industrie: Bestandsaufnahme, Analyse und wirtschaftspolitische Implikationen. Technik, Wirtschaft und Politik, Schriftenreihe des Fraunhofer-Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI): Vol. 18*. Physica-Verlag HD. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-46980-0>
- Dworschak, B., & Zaiser, H. (2014). Competences for Cyber-physical Systems in Manufacturing – First Findings and Scenarios. *Procedia CIRP*, 25, 345–350. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.10.048>
- Erber, G., & Hagemann, H. (2012). *Zur Produktivitätsentwicklung Deutschlands im internationalen Vergleich: Expertise. Wiso-Diskurs*. Abt. Wirtschafts- und Sozialpolitik der Friedrich-Ebert-Stiftung.
- Feng, P. P., & Ballard, G. (2008). *Standard Work From a Lean Theory Perspective*. University of California, Berkeley.
- Frank, H. (2014). Lean Produktion versus Industrie 4.0: Gegner oder Verbündete? Lean Production vs. Industry 4.0: Opponents or Allies? *Industrie 4.0 Management - Gegenwart und Zukunft industrieller Geschäftsprozesse*, 30(6), 17–20.
- Fullerton, R. R., & Wempe, W. F. (2009). Lean manufacturing, non-financial performance measures, and financial performance. *International Journal of Operations & Production Management : IJOPM : The Official Journal of the European Operations Management Association, EUROMA*, 29(3), 214–240.
- Gram, M. (2011). *Wertstromanalyse als Potentialanalyse in der Prozessindustrie* (WINGbusiness No. 2). <https://diglib.tugraz.at/download.php?id=4e78787612708&location=browse>
- Heston, T. (2010). Lights, camera, lean-recording manufacturing efficiency. *The Fabricator*, Aug.
- Hofer, C., Eroglu, C., & Hofer, A. R. (2012). The effect of lean production on financial performance: The mediating role of inventory leanness. *International Journal of Production Economics*, 138(2), 242–253.
- Huber, W. (2016). *Industrie 4.0 in der Automobilproduktion: Ein Praxisbuch*. Springer Vieweg. <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=4659341> <https://doi.org/10.1007/978-3-658-12732-9>
- Jäger, A., & Maloca, S. (2019). *Dokumentation der Umfrage Modernisierung der Produktion 2018*. Fraunhofer ISI.

- Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A., & Wahlster, W. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Forschungsunion.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0.: Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0.*
- Kang, H. S., Lee, J. Y., Choi, S., Kim, H., Park, J. H., Son, J. Y., Kim, B. H., & Noh, S. D. (2016). Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 3(1), 111–128. <https://doi.org/10.1007/s40684-016-0015-5>
- Kaspar, S., & Schneider, M. (2015). Lean und Industrie 4.0 in der Intralogistik. Effizienzsteigerung durch Kombination der beiden Ansätze: Lean and Industry 4.0 in the Field of Intra Logistics. Efficiency Improvement by Combination of the two Approaches. *ProductivITy - Kompetenz in Produktion und Logistik*, 20(5), 17–20.
- Kinkel, S., Rahn, J., Rieder, B., Lerch, C., & Jäger, A. (2016a). *Digital-vernetztes Denken in der Produktion: Studie für die IMPULS Stiftung*. IMPULS-Stiftung.
- Kinkel, S., Rahn, J., Rieder, B., Lerch, C., & Jäger, A. (2016b). *Digital-vernetztes Denken in der Produktion: Studie für die IMPULS-Stiftung des VDMA*. Karlsruhe.
- Kinkel, S., Rieder, B., Horvat, D., & Jäger, A. (2015). *Wertschöpfung lohnt. Vorteile und Notwendigkeit lokaler Wertschöpfungsketten: Analyse der Industrieposition in Baden-Württemberg, exemplarisch auch für das Zukunftsfeld Elektromobilität*. Karlsruhe. Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft, Karlsruhe. <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-374345.html>
- Kinkel, S., & Wengel, J. (1997). *Neue Produktionskonzepte: eine Diskussion macht noch keinen Sommer: Produktionsinnovationserhebung des ISI gibt umfassenden Überblick über den Stand der Verbreitung neuer Produktionskonzepte. Mitteilungen aus der Produktionsinnovationserhebung: Vol. 4*. Fraunhofer Inst. Systemtechnik und Innovationsforschung.
- Klepzig, H.-J. (2018). *Lean Management in der Praxis: Kritische Darstellung der Kernelemente und Erfolgsmessung* (Working Paper Forschungsförderung No. 097). [https://www.boeckler.de/pdf/p\\_foefoe\\_WP\\_097\\_2018.pdf](https://www.boeckler.de/pdf/p_foefoe_WP_097_2018.pdf)
- Kletti, J. (2017). Die selbstregelnde Fabrik. *MM - Maschinenmarkt. Das IndustrieMagazin*(22), 30–33.
- Koch, A., Lerch, C., Rammer, C., Klee, G., & Meyer, N. (2019). *Die Bedeutung der industrienahen Dienstleistungen in Baden-Württemberg unter besonderer Berücksichtigung der Digitalisierung: Abschlussbericht an das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg*. [https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccp/2019/20190117\\_Studie\\_Industrienae\\_Dienstleistungen\\_BW\\_IAW\\_ZEW\\_ISI.pdf](https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccp/2019/20190117_Studie_Industrienae_Dienstleistungen_BW_IAW_ZEW_ISI.pdf)

- Kolberg, D., Knobloch, J., & Zuehlke, D. (2017). Towards a lean automation interface for workstations. *International Journal of Production Research*, 55(10), 2845–2856.  
<https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1223384>
- Kovacs, G., & Kot, S. (2016). NEW LOGISTICS AND PRODUCTION TRENDS AS THE EFFECT OF GLOBAL ECONOMY CHANGES. *Polish Journal of Management Studies*, 14(2), 115–126.  
<https://doi.org/10.17512/pjms.2016.14.2.11>
- Kuntze, P., & Mai, C.-M. (2020). Arbeitsproduktivität – nachlassende Dynamik in Deutschland und Europa. *WISTA - Wirtschaft Und Statistik*(2), 11–24.
- Lay, G., Dreher, C., & Kinkel, S. (1996). *Neue Produktionskonzepte leisten einen Beitrag zur Sicherung des Standorts Deutschland: Positiver Zusammenhang zwischen der Verwirklichung neuer Konzepte und der Steigerung betrieblicher Leistungskennziffern belegt. Mitteilungen aus der Produktionsinnovationserhebung: Nr. 1.* ISI.
- Lay, G., & Maloca, S. (2005). *Aufgabenintegration – Abkehr vom Taylorismus? Stand der Nutzung integrierter Modernisierungskonzepte zur Ausweitung des Tätigkeitsspektrums auf Werkerebene* (Mitteilungen aus der Produktionsinnovationserhebung No. 36). <https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/modernisierung-produktion/erhebung2003/pi36.pdf>
- Lee, J [Jay], Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23.  
<https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Lerch, C., Jäger, A., & Meyer, N. (2016). *I4.0-Readiness – Baden-Württemberg auf dem Weg zur Industrie 4.0?*Karlsruhe. [https://www.i40-bw.de/wp-content/uploads/Studie\\_I4.0\\_Readiness\\_Fh\\_ISI\\_publiziert.pdf](https://www.i40-bw.de/wp-content/uploads/Studie_I4.0_Readiness_Fh_ISI_publiziert.pdf)
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., & Schröter, M. (2015). *Industrie 4.0-Readiness. Impuls.* IMPULS-Stiftung; FIR eV. an der RWTH Aachen; Institut der deutschen Wirtschaft Köln Consult GmbH.
- Liker, J. K., & Braun, A. (2011). *Der Toyota-Weg: 14 Managementprinzipien des weltweit erfolgreichsten Automobilkonzerns* (7. Aufl.). *Financial Times Deutschland Bibliothek.* FinanzBuch-Verl.
- Lorenz, B., & Kaltenmark, I. (2017). Kameraunterstützte Verschwendungsreduktion. Impulse im Lean Manufacturing durch neuartige Kamerasysteme: Computer-vision supported waste reduction in lean production. *wt Werkstattstechnik online*, 107(9), 572–577. <http://www.technikwissen.de/wt/>
- Ma, J., Wang, Q., & Zhao, Z. (2017). Slac-CPS: Smart Lean Automation Engine Enabled by Cyber-Physical Systems Technologies. *SENSORS*, 17(7). <https://doi.org/10.3390/s17071500>
- Mayr, A., Weigelt, M., Köhl, A., Grimm, S., Erll, A., Potzel, M., & Franke, J. (2018). Lean 4.0 - A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 72, 622–628.  
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.292>



- Metternich, J., Müller, M., Meudt, T., & Schaeede, C. (2017). Lean 4.0 – zwischen Widerspruch und Vision. *Zeitschrift für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb : ZWF, 112*(5). <http://tubiblio.ulb.tu-darmstadt.de/89064/>
- Mostafa, Noha; Hamdy, Walaa; Alawady, Hisham (2019): Impacts of Internet of Things on Supply Chains: A Framework for Warehousing. In: *Social Sciences* 8 (3), S. 84. DOI: 10.3390/socsci8030084.
- Müller, K., & Müller, E. (2018). Industrie 4.0 und KVP. Haben beide eine Zukunft? Internet of Things and CIP - Have both a Future? *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 1*(6), 431–433. <https://doi.org/10.3139/104.111926>
- Nyhuis, P., Schmidt, M., & Quirico, M. (2017). Mythos PPS 4.0: Diskussion aktueller Hypothesen bezüglich der Produktionsplanung und -steuerung im Zeitalter von Industrie 4.0. In G. Reinhart (Ed.), *Handbuch Industrie 4.0: Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik* (pp. 45–50). Hanser.
- Ōno, T. (1988). *Toyota production system: Beyond large-scale production*. Productivity Press. <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0801/87043172-d.html>
- Pfeiffer, W., & Weiß, E. (1994). *Lean-Management: Grundlagen der Führung und Organisation lernender Unternehmen* (2., überarb. und erw. Aufl.). Schmidt.
- Romberg, A. (2016). Smarte Factories, schlanke Prozesse. Umfrage „Deutscher Industrie 4.0 Index 2015“. *Industrieanzeiger, 138*(2), 24–25.
- Rüttimann, B. G., & Stöckli, M. T. (2016). Lean and Industry 4.0—Twins, Partners, or Contenders? A Due Clarification Regarding the Supposed Clash of Two Production Systems. *Journal of Service Science and Management, 09*(06), 485–500. <https://doi.org/10.4236/jssm.2016.96051>
- Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (2019). Nationaler Produktivitätsbericht 2019: Produktivität: Wachstumsbedingungen verbessern. [https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/jg201920/2019\\_Nationaler\\_Produktivitaetsbericht.pdf](https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/jg201920/2019_Nationaler_Produktivitaetsbericht.pdf)
- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. (2016). Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing. *JOURNAL of INDUSTRIAL ENGINEERING and MANAGEMENT-JIEM, 9*(3), 811–833. <https://doi.org/10.3926/jiem.1940>
- Schuh, G., Prote, J.-P., Molitor, M., & Wlecke, S. (2019). Produktivitätsbalken 4.0 - Ganzheitliche Steigerung der Produktivität durch die Kombination von Lean und Industrie 4.0 auf Makro- und Mikroebene. *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 114*(6), 408–411. <https://doi.org/10.3139/104.112110>
- Sendler, U. (2013). *Industrie 4.0: Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM*. Xpert.press. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-36917-9>
- Shah, R., & Ward, P. T. (2003). Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management, 21*(2), 129–149. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00108-0](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00108-0)

- Shingō, S., Raab, H. H., & Hesse, R. (Eds.). (1993). *Japan-Service. Das Erfolgsgeheimnis der Toyota-Produktion: Eine Studie über das Toyota-Produktionssystem - genannt die „Schlanke Produktion“* (2. Aufl.). Verl. Moderne Industrie.
- Shrouf, F.; Ordieres, J.; Miragliotta, G. (2014): Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm. 2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). Selangor Darul Ehsan, Malaysia, 12/9/2014 - 12/12/2014., S. 697–701.
- Smit, Jan; Kreutzer, S.; Moeller, C.; Carlberg, M. (2016): Industry 4.0 a study for the European Parliament. In: Recuperado de <https://bit.ly/1QRykFi> Happiness Management en la época de la Industria 4, S. 189–202.
- Spath, D. (Ed.). (2003). *Ganzheitlich produzieren: Innovative Organisation und Führung*. LOG\_X Verl.
- Spath, D., Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T., & Schlund, S. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0: Studie*. Fraunhofer-Verl. <http://web.archive.org/web/20140729000428/http://www.iao.fraunhofer.de/images/iao-news/produktionsarbeit-der-zukunft.pdf>
- Spath, D., Lentjes, J., & Richter, M. (2007). Neue Ansätze für die Integration von Konstruktion und Planung im Rahmen der digitalen Produktion. *Zeitschrift Für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*(1-2), 73–77. [https://www.wiso-net.de/document/ZWF\\_\\_ZWF20070223732314301410232810142](https://www.wiso-net.de/document/ZWF__ZWF20070223732314301410232810142)
- Statistisches Bundesamt. (2020a). *Anteil der internen Ausgaben für FuE am BIP: Jahr 2018*.
- Statistisches Bundesamt. (2020b). *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder*.
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (Ed.). (2020, July 21). *Baden-Württemberg mit höchster Forschungsintensität in der EU*. Pressemitteilung. <https://www.statistik-bw.de/Presse/Pressemitteilungen/2020177>
- Staufen AG (Ed.). (2016). *25 Jahre Lean Management: Lean gestern, heute und morgen*. Eine Studie der Staufen AG und des Instituts PTW der Technischen Universität Darmstadt.
- Staufen AG / PTW (Ed.). (2016). *25 Jahre Lean Management: Eine Studie der Staufen AG und des Instituts PTW der Technischen Universität Darmstadt*. Köngen.
- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40, 536–541. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129>
- Sudarsan, R., Fenves, S. J., Sriram, R. D., & Wang, F. (2005). A product information modeling framework for product lifecycle management. *Computer-Aided Design*, 37(13), 1399–1411. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2005.02.010>
- Sundar, R., Balaji, A. N., & Kumar, R. S. (2014). A Review on Lean Manufacturing Implementation Techniques. *Procedia Engineering*, 97, 1875–1885. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.341>
- Töpfer, A., & Günther, S. (2009). Mehrere Wege zu verschwendungsfreien Prozessen und Null-Fehler-Qualität: Einführung und Überblick über die Beiträge. In A. Töpfer (Ed.), *Lean Six Sigma: Erfolgreiche*

- Kombination von Lean Management, Six Sigma und Design for Six Sigma* (pp. 3–23). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-85060-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-540-85060-1_1)
- Tortorella, G. L., & Fettermann, D. (2018). Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2975–2987. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1391420>
- Ullmann, G. (2009). *Ganzheitliche Produktionssysteme: IPH-Methodensammlung*. [https://www.iph-hannover.de/\\_media/files/downloads/IPH\\_Lean\\_Methodensammlung.pdf](https://www.iph-hannover.de/_media/files/downloads/IPH_Lean_Methodensammlung.pdf)
- Vaidya, Saurabh; Ambad, Prashant; Bhosle, Santosh (2018): Industry 4.0 – A Glimpse. In: *Procedia Manufacturing* 20, S. 233–238. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.02.034.
- VDI/VDE-Gesellschaft (2012, July 1). *Ganzheitliche Produktionssysteme* (VDI 2870 Blatt 1). Beuth Verlag.
- (2013). *Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation*. VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA).
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1991). *The machine that changed the world: The story of lean production* (1<sup>st</sup> HarperPerennial ed.). Harper Perennial. <http://www.loc.gov/catdir/description/hc044/91055106.html>
- Yang, M. G., Hong, P., & Modi, S. B. (2011). Impact of lean manufacturing and environmental management on business performance: An empirical study of manufacturing firms. *International Journal of Production Economics*, 129(2), 251–261.

## Anhang

### Anhang 1: Lineares Regressionsmodell zur Schätzung des Lean-Index

Konstrukt	Variablen	Koeff.	Sig.	Konstrukt	
				$\Delta R^2$	Signifikanz
Betriebsgröße	Anzahl der Beschäftigten	0,334	***	9,57%	***
Branche	Nahrungs- und Getränkeindustrie <sup>(1)</sup>	0,020			
	Chemieindustrie <sup>(1)</sup>	0,046			
	Gummi-, Kunststoff- und Keramikindustrie	0,028			
	Metallindustrie <sup>(1)</sup>	0,069		0,35%	n.s.
	Elektronische Ausrüstungen <sup>(1)</sup>	0,011			
	Elektronikindustrie <sup>(1)</sup>	0,025			
	Fahrzeugbau <sup>(1)</sup>	0,033			
	Sonstige <sup>(1)</sup>	0,029			
Seriengröße	Großserienfertigung <sup>(2)</sup>	0,255	***	4,29%	***
	Klein-/Mittelserienfertigung <sup>(2)</sup>	0,218	***		
Produktkomplexität	Komplexe Produkte <sup>(3)</sup>	0,191	***	1,69%	***
	Mittlere Produktkomplexität <sup>(3)</sup>	0,156	***		
Fertigungsart	Fertigung nach Kundenauftragseingang <sup>(4)</sup>	0,097	**		
	Vorfertigung und Endmontage nach Auftragseingang <sup>(4)</sup>	0,069	*	0,55%	**
Stellung in der Wertschöpfungskette	Zulieferer (Teile, Komponenten, Systeme) <sup>(5)</sup>	0,043		0,21%	n.s.
	Lohnfertiger <sup>(6)</sup>	0,028			
Qualifikation der Beschäftigten	Anteil Hochqualifizierte	0,115	***	1,12%	**
	Anteil Ungelernte	-0,008			
Modellgüte	Fallzahl	928			
	korr. R <sup>2</sup> / Signifikanz	0,225			

Modellspezifikation: lineare Regression.

Signifikanzniveau: \*\*\*  $p < 0.001$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

Referenzgruppen: (1) Maschinenbau, (2) Einzelfertigung, (3) einfache Produkte, (4) Fertigung auf Lager, (5) kein Zulieferer, (6) kein Lohnfertiger

## Anhang 2: Logistisches Regressionsmodell zur Schätzung der I4.0-Bereitschaft

Konstrukt	Basisanwender <sup>(8)</sup>		Spitzengruppe <sup>(9)</sup>		Variablen	Basisanwender <sup>(8)</sup>		Spitzengruppe <sup>(9)</sup>	
	$\Delta$ -2 Log-Likelihood	Sig.	$\Delta$ -2 Log-Likelihood	Sig.		Exp(B)	Sig.	Exp(B)	Sig.
Betriebsgröße	<b>-15,187</b> ***		<b>-81,905</b> ***		Anzahl der Beschäftigten	1,645	0,000 ***	2,176	0,000 ***
Branche	<b>-10,830</b> n.s.	n.s.	<b>-17,027</b> **	n.s.	Nahrungs- und Getränkeindustrie <sup>(1)</sup>	0,347	0,025 **	1,469	0,412
					Chemieindustrie <sup>(1)</sup>	0,316	0,032 **	3,111	0,018 **
					Gunmi-, Kunststoff- und Keramikindustrie <sup>(1)</sup>	0,470	0,074 *	1,849	0,096 *
					Metallindustrie <sup>(1)</sup>	0,664	0,308	2,376	0,007 **
					Elektronische Ausrüstungen <sup>(1)</sup>	0,629	0,401	0,816	0,636
					Elektronikindustrie <sup>(1)</sup>	0,563	0,339	0,907	0,839
					Fahrzeugbau <sup>(1)</sup>	0,251	0,012 **	0,790	0,697
					Sonstige <sup>(1)</sup>	0,482	0,077 *	2,092	0,033 **
Seriengröße	-0,129 n.s.	n.s.	-3,012 n.s.	n.s.	Großserienfertigung <sup>(2)</sup>	1,034	0,927	1,738	0,090 *
					Klein-/Mittelserienfertigung <sup>(2)</sup>	0,943	0,807	1,385	0,185
Produktkomplexität	-3,744 n.s.	n.s.	-3,378 n.s.	n.s.	Komplexe Produkte <sup>(3)</sup>	1,570	0,147	1,671	0,098 *
					Mittlere Produktkomplexität <sup>(3)</sup>	1,555	0,058 *	1,189	0,519
Fertigungsart	<b>-7,658</b> **	n.s.	-1,534 n.s.	n.s.	Fertigung nach Kundenauftragseingang <sup>(4)</sup>	0,871	0,630	1,323	0,322
					Vorfertigung und Endmontage nach Auftragseingang <sup>(4)</sup>	2,871	0,046 **	0,992	0,983
Stellung in der Wertschöpfungskette	-1,964 n.s.	n.s.	-0,642 n.s.	n.s.	Zulieferer (Teile, Komponenten, Systeme) <sup>(5)</sup>	1,221	0,360	1,172	0,424
					Lohnfertiger <sup>(6)</sup>	0,759	0,323	1,059	0,854
Qualifikation der Beschäftigten	<b>-9,755</b> **	n.s.	-1,973 n.s.	n.s.	Anteil Hochqualifizierte	1,312	0,002 **	1,137	0,319
					Anteil Ungelernte	1,070	0,529	0,922	0,468
Modellgüte					(Konstante)	1,015	0,982	0,002	0,000 ***
					N	865		897	
					Klassifikation 0/1	79,8	80,4	79,8	80,4
					-2 Log-Likelihood	721,23		787,8	
					R <sup>2</sup> Cox & Snell/Nagelkerkes	0,082	0,136	0,120	0,189
					Signifikanz	0,000		0,000	

Modellspezifikation: Logistische Regression.

Signifikanzniveau: \*\*\*  $p < 0,001$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*  $p < 0,1$

Referenzgruppen: (1) Maschinenbau, (2) Einzelfertigung, (3) einfache Produkte, (4) Fertigung auf Lager, (5) kein Zulieferer, (6) kein Lohnfertiger, (8) Nicht-Nutzer, (9) Basisanwender

## Anhang 3: Logistisches Regressionsmodell zur Schätzung der Unterscheidung zwischen der I4.0-Bereitschaft

Konstrukt	Basisanwender <sup>(8)</sup>		Spitzengruppe <sup>(9)</sup>		Variablen	Basisanwender <sup>(8)</sup>		Spitzengruppe <sup>(9)</sup>			
	$\Delta$ -2 Log-Likelihood	Sig.	$\Delta$ -2 Log-Likelihood	Sig.		Exp(B)	Sig.	Exp(B)	Sig.		
Betriebsgröße	<b>-8,049</b>	***	<b>-49,314</b>	***	Anzahl der Beschäftigten	1,524	0,006	**	2,058	0,000	***
Branche	-12,242	n.s.	<b>-15,984</b>	**	Nahrungs- und Getränkeindustrie <sup>(1)</sup>	0,307	0,020	**	1,692	0,309	
					Chemieindustrie <sup>(1)</sup>	0,252	0,016	**	3,038	0,038	**
					Gummi-, Kunststoff- und Keramikindustrie <sup>(1)</sup>	0,428	0,058	*	1,625	0,254	
					Metallindustrie <sup>(1)</sup>	0,683	0,381		2,750	0,006	**
					Elektronische Ausrüstungen <sup>(1)</sup>	0,743	0,643		0,788	0,635	
					Elektronikindustrie <sup>(1)</sup>	0,690	0,583		0,809	0,697	
					Fahrzeugbau <sup>(1)</sup>	0,269	0,028	**	0,780	0,715	
Seriengröße	-2,666	n.s.	-0,532	n.s.	Sonstige <sup>(1)</sup>	0,491	0,112		1,996	0,089	*
					Großserienfertigung <sup>(2)</sup>	0,559	0,153		1,097	0,802	
Produktkomplexität	-1,834	n.s.	-0,539	n.s.	Klein-/Mittelserienfertigung <sup>(2)</sup>	0,680	0,153		0,901	0,711	
					Komplexe Produkte <sup>(3)</sup>	1,586	0,190		1,074	0,842	
Fertigungsart	<b>-10,321</b>	**	-0,278	n.s.	Mittlere Produktkomplexität <sup>(3)</sup>	1,294	0,312		0,901	0,732	
					Fertigung nach Kundenauftragseingang <sup>(4)</sup>	0,564	0,069	*	1,184	0,603	
					Vorfertigung und Endmontage nach Auftragsseingang <sup>(4)</sup>	2,118	0,166		1,157	0,715	
Stellung in der Wertschöpfungskette	-1,669	n.s.	-0,358	n.s.	Zulieferer (Teile, Komponenten, Systeme) <sup>(5)</sup>	1,298	0,271		1,098	0,679	
					Lohnfertiger <sup>(6)</sup>	0,842	0,580		0,881	0,720	
Qualifikation der Beschäftigten	<b>-8,390</b>	**	-0,705	n.s.	Anteil Hochqualifizierte	1,329	0,004	**	0,921	0,570	
					Anteil Ungelernte	1,070	0,574		0,908	0,459	
Lean-Index	<b>-26,426</b>	***	<b>-31,881</b>	***	Lean-Index	1,984	0,000	***	1,421	0,000	***
					(Konstante)	3,424	0,123		0,002	0,000	***
Modellgüte					N	752		771			
					Klassifikation 0/1	82,3	83,4	80,3	82,7		
					-2 Log-Likelihood	598,03		617,4			
					R <sup>2</sup> Cox & Snell/Nagelkerkes	0,129	0,212	0,175	0,278		
					p	0,000		0,000			

Modellspezifikation: Logistische Regression.

Signifikanzniveau: \*\*\* $p < 0.001$ , \*\* $p < 0.05$ , \* $p < 0.1$

Referenzgruppen: (1) Maschinenbau, (2) Einzelfertigung, (3) einfache Produkte, (4) Fertigung auf Lager, (5) kein Zulieferer, (6) kein Lohnfertiger, (8) Nicht-Nutzer, (9) Basisanwender

## Anhang 4: Lineares Regressionsmodell der Bestimmungsfaktoren auf Betriebsebene für den Logarithmus Arbeitsproduktivität – Effekt der Umsetzung der Lean-Prinzipien unter Berücksichtigung der I4.0-Bereitschaft

Konstrukt	Variablen	Koeff.	Sig.	Konstrukt	
				$\Delta R^2$	Signifikanz
Betriebsgröße	Anzahl der Beschäftigten	0,198	0,000 ***	2,6%	***
Branche	Nahrungs- und Getränkeindustrie <sup>(1)</sup>	0,045	0,324		
	Chemieindustrie <sup>(1)</sup>	0,137	0,001 ***		
	Gummi-, Kunststoff- und Keramikindustrie <sup>(1)</sup>	-0,027	0,598		
	Metallindustrie <sup>(1)</sup>	-0,060	0,256		
	Elektronische Ausrüstungen <sup>(1)</sup>	-0,012	0,766		
	Elektronikindustrie <sup>(1)</sup>	0,008	0,834		
	Fahrzeugbau <sup>(1)</sup>	0,038	0,317		
	Sonstige <sup>(1)</sup>	-0,063	0,205	2,9%	**
Stellung in der Wertschöpfungskette	Zulieferer (Teile, Komponenten, Systeme) <sup>(5)</sup>	0,019	0,624		
	Lohnfertiger <sup>(6)</sup>	-0,032	0,411	0,1%	n.s.
Seriengröße	Großserienfertigung <sup>(2)</sup>	0,108	0,024 **		
	Klein-/Mittelserienfertigung <sup>(2)</sup>	0,009	0,841	0,8%	**
Produktkomplexität	Komplexe Produkte <sup>(3)</sup>	-0,097	0,084 *		
	Mittlere Produktkomplexität <sup>(3)</sup>	-0,125	0,013 **	0,8%	**
Fertigungsart	Fertigung nach Kundenauftragseingang <sup>(4)</sup>	-0,134	0,007 **		
	Vorfertigung und Endmontage nach Auftragseingang <sup>(4)</sup>	-0,040	0,380	1,0%	**
Wertschöpfungstiefe	Wertschöpfungstiefe	0,243	0,000 ***	5,1%	***
Qualifikationsniveau	Anteil Hochqualifizierte	0,134	0,002 **		
	Anteil Ungelernte	-0,021	0,616	1,5%	**
Lean-Index	Lean-Index	0,098	0,020 **	0,7%	**
I4.0-Readiness	Spitzengruppe I4.0-Readiness <sup>(7)</sup>	0,138	0,013 **		
	Grundstufen I4.0-Readiness <sup>(7)</sup>	0,141	0,005 **	1,0%	**
Modellgüte	Fallzahl	619			
	korr. R <sup>2</sup> / Signifikanz	23,34%	0,000		

Anmerkungen: Abhängige Variable: Linear von Arbeitsproduktivität. Modellspezifikation: lineare Regression.

Signifikanzniveau: \*\*\* $p < 0,001$ , \*\* $p < 0,05$ , \* $p < 0,1$

Referenzgruppen: (1) Maschinenbau, (2) Einzelfertigung, (3) einfache Produkte, (4) Fertigung auf Lager, (5) kein Zulieferer, (6) kein Lohnfertiger, (7) keine digitalen Technologien

## Anhang 5: Lineares Regressionsmodell der Bestimmungsfaktoren auf Betriebsebene für den Logarithmus Arbeitsproduktivität – Effekt der Umsetzung der Lean-Prinzipien ohne Berücksichtigung der I4.0-Bereitschaft

Konstrukt	Variablen	Koeff.	Sig.	Konstrukt	
				$\Delta R^2$	Signifikanz
Betriebsgröße	Anzahl der Beschäftigten	0,218	0,000 ***	3,5%	***
Branche	Nahrungs- und Getränkeindustrie <sup>(1)</sup>	0,046	0,313		
	Chemieindustrie <sup>(1)</sup>	0,137	0,001 ***		
	Gummi-, Kunststoff- und Keramikindustrie <sup>(1)</sup>	-0,003	0,958		
	Metallindustrie <sup>(1)</sup>	-0,063	0,230		
	Elektronische Ausrüstungen <sup>(1)</sup>	-0,013	0,757		
	Elektronikindustrie <sup>(1)</sup>	0,019	0,626		
	Fahrzeugbau <sup>(1)</sup>	0,027	0,475		
	Sonstige <sup>(1)</sup>	-0,060	0,225	2,9%	**
Stellung in der Wertschöpfungskette	Zulieferer (Teile, Komponenten, Systeme) <sup>(5)</sup>	0,040	0,286		
	Lohnfertiger <sup>(6)</sup>	-0,046	0,233	0,3%	n.s.
Seriengröße	Großserienfertigung <sup>(2)</sup>	0,099	0,034 **		
	Klein-/Mittelserienfertigung <sup>(2)</sup>	0,011	0,815	0,7%	*
Produktkomplexität	Komplexe Produkte <sup>(3)</sup>	-0,085	0,122		
	Mittlere Produktkomplexität <sup>(3)</sup>	-0,116	0,019 **	0,7%	*
Fertigungsart	Fertigung nach Kundenauftragseingang <sup>(4)</sup>	-0,125	0,010 **		
	Vorfertigung und Endmontage nach Auftragseingang <sup>(4)</sup>	-0,030	0,501	0,9%	**
Wertschöpfungstiefe	Wertschöpfungstiefe	0,268	0,000 ***	6,2%	***
Qualifikationsniveau	Anteil Hochqualifizierte	0,146	0,000 ***		
	Anteil Ungelernte	-0,011	0,799	1,7%	**
Lean-Index	Lean-Index	0,104	0,010 **	0,8%	**
Modellgüte		Fallzahl	637		
		korr. R <sup>2</sup> / Signifikanz	22,50%		

Anmerkungen: Abhängige Variable: Linear von Arbeitsproduktivität. Modellspezifikation: lineare Regression.

Signifikanzniveau: \*\*\*  $p < 0,001$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*  $p < 0,1$

Referenzgruppen: (1) Maschinenbau, (2) Einzelfertigung, (3) einfache Produkte, (4) Fertigung auf Lager, (5) kein Zulieferer, (6) kein Lohnfertiger, (7) keine digitalen Technologien



## Anhang 6: Lineares Regressionsmodell der Bestimmungsfaktoren auf Betriebsebene für den Logarithmus Arbeitsproduktivität – Ohne Berücksichtigung der Umsetzung der Lean-Prinzipien und ohne Berücksichtigung der I4.0-Bereitschaft

Konstrukt	Variablen	Koeff.	Sig.	Konstrukt	
				$\Delta R^2$	Signifikanz
Betriebsgröße	Anzahl der Beschäftigten	0,223	0,000 ***	4,3%	***
Branche	Nahrungs- und Getränkeindustrie <sup>(1)</sup>	-0,014	0,748		
	Chemieindustrie <sup>(1)</sup>	0,128	0,001 ***		
	Gummi-, Kunststoff- und Keramikindustrie <sup>(1)</sup>	0,013	0,785		
	Metallindustrie <sup>(1)</sup>	-0,074	0,129		
	Elektronische Ausrüstungen <sup>(1)</sup>	-0,024	0,543		
	Elektronikindustrie <sup>(1)</sup>	-0,009	0,803		
	Fahrzeugbau <sup>(1)</sup>	0,018	0,616		
	Sonstige <sup>(1)</sup>	-0,055	0,233	2,6%	**
Stellung in der Wertschöpfungskette	Zulieferer (Teile, Komponenten, Systeme) <sup>(5)</sup>	0,045	0,205		
	Lohnfertiger <sup>(6)</sup>	-0,051	0,150	0,4%	n.s.
Seriengröße	Großserienfertigung <sup>(2)</sup>	0,137	0,002 **		
	Klein-/Mittelserienfertigung <sup>(2)</sup>	0,018	0,677	1,3%	**
Produktkomplexität	Komplexe Produkte <sup>(3)</sup>	-0,068	0,180		
	Mittlere Produktkomplexität <sup>(3)</sup>	-0,079	0,083 *	0,3%	n.s.
Fertigungsart	Fertigung nach Kundenauftragseingang <sup>(4)</sup>	-0,118	0,009 **		
	Vorfertigung und Endmontage nach Auftragseingang <sup>(4)</sup>	-0,035	0,402	0,8%	**
Wertschöpfungstiefe	Wertschöpfungstiefe	0,247	0,000 ***	5,4%	***
Qualifikationsniveau	Anteil Hochqualifizierte	0,174	0,000 ***		
	Anteil Ungelernte	-0,006	0,872	2,5%	***
Modellgüte	Fallzahl	729			
	korr. R <sup>2</sup> / Signifikanz	20,61%			

Anmerkungen: Abhängige Variable: Linear von Arbeitsproduktivität. Modellspezifikation: lineare Regression.

Signifikanzniveau: \*\*\*  $p < 0.001$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

Referenzgruppen: (1) Maschinenbau, (2) Einzelfertigung, (3) einfache Produkte, (4) Fertigung auf Lager, (5) kein Zulieferer, (6) kein Lohnfertiger, (7) keine digitalen Technologien

## Anhang 7: Lineares Regressionsmodell der Bestimmungsfaktoren auf Betriebsebene für den Logarithmus der Ausschussquote – Effekt der Umsetzung der Lean-Prinzipien unter Berücksichtigung der I4.0-Bereitschaft

Konstrukt	Variablen	Koeff.	Sig.	Konstrukt	
				$\Delta R^2$	Signifikanz
Betriebsgröße	Anzahl der Beschäftigten	-0,091	0,026 **	0,6%	**
Branche	Nahrungs- und Getränkeindustrie	-0,124	0,007 **		
	Chemieindustrie	-0,117	0,003 **		
	Gummi-, Kunststoff- und Keramikindustrie	-0,018	0,718		
	Metallindustrie	-0,089	0,083 *		
	Elektronische Ausrüstungen <sup>(1)</sup>	0,017	0,678		
	Elektronikindustrie <sup>(1)</sup>	-0,016	0,688		
	Fahrzeugbau <sup>(1)</sup>	-0,090	0,016 **		
	Sonstige <sup>(1)</sup>	-0,032	0,513	2,6%	**
Stellung in der Wertschöpfungskette	Zulieferer (Teile, Komponenten, Systeme) <sup>(5)</sup>	-0,015	0,680		
	Lohnfertiger <sup>(6)</sup>	-0,055	0,138	0,3%	n.s.
Seriengröße	Großserienfertigung <sup>(2)</sup>	-0,021	0,639		
	Klein-/Mittelserienfertigung <sup>(2)</sup>	-0,078	0,084 *	0,4%	n.s.
Produktkomplexität	Komplexe Produkte <sup>(3)</sup>	0,079	0,132		
	Mittlere Produktkomplexität <sup>(3)</sup>	0,000	0,999	0,5%	n.s.
Fertigungsart	Fertigung nach Kundenauftragseingang <sup>(4)</sup>	0,132	0,004 **		
	Vorfertigung und Endmontage nach Auftragseingang <sup>(4)</sup>	0,080	0,067 *	0,9%	**
Qualifikationsniveau	Anteil Hochqualifizierte	0,042	0,292		
	Anteil Ungelernte	0,034	0,401	0,2%	n.s.
Lean-Index	Lean-Index	-0,101	0,012 **	0,7%	**
I4.0-Readiness	Spitzengruppe I4.0-Readiness <sup>(7)</sup>	0,016	0,764		
	Grundstufen I4.0-Readiness <sup>(7)</sup>	-0,056	0,241	0,4%	n.s.
Modellgüte	Fallzahl	802			
	korr. R <sup>2</sup> / Signifikanz	7,0%	0,000		

Anmerkungen: Abhängige Variable: Linear von Qualität. Modellspezifikation: lineare Regression.

Signifikanzniveau: \*\*\*  $p < 0.001$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

Referenzgruppen: (1) Maschinenbau, (2) Einzelfertigung, (3) einfache Produkte, (4) Fertigung auf Lager, (5) kein Zulieferer, (6) kein Lohnfertiger, (7) keine digitalen Technologien

## Anhang 8: Lineares Regressionsmodell der Bestimmungsfaktoren auf Betriebsebene für den Logarithmus der Ausschussquote – Effekt der Umsetzung der Lean-Prinzipien ohne Berücksichtigung der I4.0-Bereitschaft

Konstrukt	Variablen	Koeff.	Sig.	Konstrukt	
				$\Delta R^2$	Signifikanz
Betriebsgröße	Anzahl der Beschäftigten	-0,072	0,066 *	0,4%	*
Branche	Nahrungs- und Getränkeindustrie	-0,130	0,004 **		
	Chemieindustrie	-0,107	0,006 **		
	Gummi-, Kunststoff- und Keramikindustrie	-0,009	0,856		
	Metallindustrie	-0,075	0,139		
	Elektronische Ausrüstungen <sup>(1)</sup>	0,017	0,667		
	Elektronikindustrie <sup>(1)</sup>	-0,021	0,578		
	Fahrzeugbau <sup>(1)</sup>	-0,085	0,021 **		
	Sonstige <sup>(1)</sup>	-0,023	0,639	2,6%	**
Stellung in der Wertschöpfungskette	Zulieferer (Teile, Komponenten, Systeme) <sup>(5)</sup>	-0,022	0,542		
	Lohnfertiger <sup>(6)</sup>	-0,073	0,046 **	0,5%	n.s.
Seriengröße	Großserienfertigung <sup>(2)</sup>	-0,014	0,761		
	Klein-/Mittelserienfertigung <sup>(2)</sup>	-0,064	0,147	0,3%	n.s.
Produktkomplexität	Komplexe Produkte <sup>(3)</sup>	0,079	0,128		
	Mittlere Produktkomplexität <sup>(3)</sup>	-0,008	0,859	0,6%	*
Fertigungsart	Fertigung nach Kundenauftragseingang <sup>(4)</sup>	0,126	0,006 **		
	Vorfertigung und Endmontage nach Auftragseingang <sup>(4)</sup>	0,074	0,087 *	0,9%	**
Qualifikationsniveau	Anteil Hochqualifizierte	0,030	0,444		
	Anteil Ungelernte	0,025	0,535	0,1%	n.s.
Lean-Index	Lean-Index	-0,094	0,015 **	0,7%	**
Modellgüte	Fallzahl	820			
	korr. R <sup>2</sup> / Signifikanz	6,8%	0,000		

Anmerkungen: Abhängige Variable: Linear von Qualität. Modellspezifikation: lineare Regression.

Signifikanzniveau: \*\*\*  $p < 0.001$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

Referenzgruppen: (1) Maschinenbau, (2) Einzelfertigung, (3) einfache Produkte, (4) Fertigung auf Lager, (5) kein Zulieferer, (6) kein Lohnfertiger, (7) keine digitalen Technologien

## Anhang 9: Lineares Regressionsmodell der Bestimmungsfaktoren auf Betriebsebene für den Logarithmus Qualität – Ohne Berücksichtigung der Umsetzung der Lean-Prinzipien und ohne Berücksichtigung der I4.0-Bereitschaft

Konstrukt	Variablen	Koeff.	Sig.	Konstrukt	
				$\Delta R^2$	Signifikanz
Betriebsgröße	Anzahl der Beschäftigten	-0,100	0,003 **	0,9%	**
Branche	Nahrungs- und Getränkeindustrie	-0,121	0,004 **		
	Chemieindustrie	-0,121	0,001 ***		
	Gummi-, Kunststoff- und Keramikindustrie	0,011	0,810		
	Metallindustrie	-0,073	0,117		
	Elektronische Ausrüstungen <sup>(1)</sup>	0,008	0,821		
	Elektronikindustrie <sup>(1)</sup>	-0,011	0,761		
	Fahrzeugbau <sup>(1)</sup>	-0,066	0,050 **		
	Sonstige <sup>(1)</sup>	-0,025	0,580	2,6%	***
Stellung in der Wertschöpfungskette	Zulieferer (Teile, Komponenten, Systeme) <sup>(5)</sup>	-0,022	0,515		
	Lohnfertiger <sup>(6)</sup>	-0,069	0,040 **	0,4%	n.s.
Seriengröße	Großserienfertigung <sup>(2)</sup>	-0,043	0,295		
	Klein-/Mittelserienfertigung <sup>(2)</sup>	-0,065	0,105	0,3%	n.s.
Produktkomplexität	Komplexe Produkte <sup>(3)</sup>	0,072	0,125		
	Mittlere Produktkomplexität <sup>(3)</sup>	0,001	0,986	0,4%	n.s.
Fertigungsart	Fertigung nach Kundenauftragseingang <sup>(4)</sup>	0,146	0,001 ***		
	Vorfertigung und Endmontage nach Auftragseingang <sup>(4)</sup>	0,085	0,034 **	1,2%	**
Qualifikationsniveau	Anteil Hochqualifizierte	0,046	0,194		
	Anteil Ungelernte	0,034	0,358	0,2%	n.s.
Modellgüte	Fallzahl	948			
	korr. R <sup>2</sup> / Signifikanz	7,3%	0,000		

Anmerkungen: Abhängige Variable: Linear von Qualität. Modellspezifikation: lineare Regression.

Signifikanzniveau: \*\*\*  $p < 0.001$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

Referenzgruppen: (1) Maschinenbau, (2) Einzelfertigung, (3) einfache Produkte, (4) Fertigung auf Lager, (5) kein Zulieferer, (6) kein Lohnfertiger, (7) keine digitalen Technologien

## Anhang 10: Gruppierung von Branchen

---

<b>Nahrung &amp; Getränke</b>	Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln Getränkeherstellung
<b>Textilien &amp; Bekleidung</b>	Herstellung von Textilien Herstellung von Bekleidung Herstellung von Leder, Lederwaren und Schuhen
<b>Chemie &amp; Pharmazie</b>	Herstellung von chemischen Erzeugnissen Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen
<b>Gummi &amp; Kunststoff</b>	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren
<b>Metallerzeugnisse</b>	Metallerzeugung und –bearbeitung Herstellung von Metallerzeugnissen
<b>Elektro- &amp; Messtechnik</b>	H.v. DV-Geräten, elektron. u. opt. Erzeugnissen Herstellung von elektrischen Ausrüstungen
<b>Maschinenbau</b>	Maschinenbau
<b>Fahrzeugbau</b>	Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen Sonstiger Fahrzeugbau
<b>Sonstige</b>	Tabakverarbeitung H.v. Holz-, Flecht-, Korb-u.Korkwaren (ohne Möbel) Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus H.v. Druckerz., Vervielf.v.Ton-,Bild-,Datenträgern Kokerei und Mineralölverarbeitung H.v.Glas,-waren,Keramik,Verarb. v.Steinen u.Erden Herstellung von Möbeln Herstellung von sonstigen Waren Reparatur u.Installation von Masch.u.Ausrüstungen

## Anhang 11: Schätzung des Potenzials der Nutzung von Lean-Konzepten zur Produktivitätsverbesserung

			Anstieg der AP bei mittlerer Readiness mit steigendem Leanindex								
			I4.0 = 1	I4.0 = 1	I4.0 = 1	I4.0 = 1	I4.0 = 1	I4.0 = 1	I4.0 = 1	I4.0 = 1	
			0	1	2	3	4	5	6	7	
LeanIndex	Z Transformation	Mean/Modellwert im Mode	-1,21252	-0,66000	-0,10749	0,44502	0,99753	1,55005	2,10256	2,65507	
			β								
Konstante			4,119	4,119	4,119	4,119	4,119	4,119	4,119	4,119	
Ink20b1 Anzahl Beschäftigter logarithmiert	225	5,416100402	0,098	0,528	0,528	0,528	0,528	0,528	0,528	0,528	
<i>Ref Maschinenbau</i>											
sec10 Hrst. von Nahrungs- und Genussmitteln, Getränken und Tabakerzeugnissen (NACE Rev. 2 - 10 bis 12)	0	0	0,086	0	0	0	0	0	0	0	
sec20 Hrst. von chemischen Erzeugnissen (NACE Rev. 2 - 20 21)	0	0	0,349	0	0	0	0	0	0	0	
sec22 Hrst. von Gummi- und Kunststoffwaren, Glaswaren, Keramik, etc. (NACE Rev. 2 - 22 + 23)	0	0	-0,037	0	0	0	0	0	0	0	
sec24 Metallherzeugung und -bearbeitung, Hrst. von Metallherzeugnissen (NACE Rev. 2 - 24 + 25)	0	0	-0,070	0	0	0	0	0	0	0	
sec26 Elektronik (NACE Rev. 2 - 26)	0	0	-0,025	0	0	0	0	0	0	0	
sec27 Elektroindustrie (NACE Rev. 2 - 27)	0	0	0,021	0	0	0	0	0	0	0	
sec29 Fahrzeugbau (NACE Rev. 2 - 29 + 30)	0	0	0,111	0	0	0	0	0	0	0	
sec99 Sonstige Branche (NACE Rev. 2 - 13 bis 19, 31-33 - CM, CD )	0	0	-0,085	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Ref Einzelfertigung</i>											
bat3 Großserienfertigung	0	0	0,156	0	0	0	0	0	0	0	
bat2 Klein-/Mittelserienfertigung	0	1	0,009	0,00932611	0,00932611	0,00932611	0,00932611	0,00932611	0,00932611	0,00932611	
<i>Ref einfache Produkte</i>											
compl3 komplexe Produkte	0	0	-0,109	0	0	0	0	0	0	0	
compl2 Erzeugnisse mittlerer Komplexität	0	1	-0,126	-0,1263127	-0,1263127	-0,1263127	-0,1263127	-0,1263127	-0,1263127	-0,1263127	
<i>Ref Fertigung auf Lager</i>											
fert1 nach Kundenauftragsingang	0	0	-0,158	0	0	0	0	0	0	0	
fert2 Vorfertigung und Endmontage nach Auftragsingang	1	1	-0,063	-0,063	-0,063	-0,063	-0,063	-0,063	-0,063	-0,063	
<i>Ref Endproduzent</i>											
k03a45 Zulieferer (Teile, Komponenten, Systeme)	0	1	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	
k03a6 Lohnfertiger	0	0	-0,052	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Zlnk09a12 z-Faktorwert: Anteil Hochqualifizierte logarithmiert	22,693 (23)	0,36	0,069	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	
Zlnk09a4 z-Faktorwert: Anteil Ungelerntem logarithmiert	27,237 (27)	0,514	-0,011	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	
Zk20ftief z-Faktorwert: Wertschöpfungstiefe [(Umsatz - Vorleistung)/Umsatz]	0,594 (0,595)	0,00058	0,125	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
ZleanInd0d z-Faktorwert: Lean-Index D (7 Lean-Konzepte gewichtet nach genutztem Potenzial - ohne Missing)		<b>siehe oben</b>	0,050	-0,061	-0,033	-0,005	0,022	0,050	0,078	0,105	
<i>Ref Endproduzent</i>											
readytop Top I4.0 Readiness	0	0	0,184	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
readybasic Basic levels I4.0 Readiness	1	1	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153	
			<b>Summe Regression</b>								
			4,600	4,627	4,655	4,682	4,710	4,738	4,765	4,793	
			<b>Exp() = Arbeitsproduktivität</b>								
			99,435	102,224	105,091	108,039	111,069	114,185	117,388	120,681	
			<b>%</b>								
			100,0%	102,8%	105,7%	108,7%	111,7%	114,8%	118,1%	121,4%	
			<b>bei Leanind</b>								
			0	1	2	3	4	5	6	7	
			<b>Differenzen</b>								
				2,8%	2,9%	3,0%	3,0%	3,1%	3,2%	3,3%	
			<b>Differenzen zu Leanindex = 0</b>								
				2,8%		8,7%		14,8%		21,4%	

## Anhang 12: Schätzung des Potenzials der I4.0-Bereitschaft zur Produktivitätsverbesserung

			Anstieg der AP bei mittlerem Leanindex mit steigender I4.0 Readiness		
			I4.0 = 0	I4.0 = 1	I4.0 = 2
LeanIndex			2,2	2,2	2,2
Z Transformation			0,0000293	0,0000293	0,0000293
Mean/Modellwert im Modell					
Konstante			4,119	4,119	4,119
Ink20b1 Anzahl Beschäftigter logarithmiert	225	5,416100402	0,528	0,528	0,528
<i>Ref Maschinenbau</i>	1				
sec10 Hrst. von Nahrungs- und Genussmitteln, Getränken und Tabakerzeugnissen (NACE Rev. 2 - 10 bis 12)	0	0	0	0	0
sec20 Hrst. von chemischen Erzeugnissen (NACE Rev. 2 - 20 21)	0	0	0	0	0
sec22 Hrst. von Gummi- und Kunststoffwaren, Glaswaren, Keramik, etc. (NACE Rev. 2 - 22 + 23)	0	0	0	0	0
sec24 Metallherzeugung und -bearbeitung, Hrst. von Metallherzeugnissen (NACE Rev. 2 - 24 + 25)	0	0	0	0	0
sec26 Elektronik (NACE Rev. 2 - 26)	0	0	0	0	0
sec27 Elektroindustrie (NACE Rev. 2 - 27)	0	0	0	0	0
sec29 Fahrzeugbau (NACE Rev. 2 - 29 + 30)	0	0	0	0	0
sec99 Sonstige Branche (NACE Rev. 2 - 13 bis 19, 31-33 - CM, CD)	0	0	0	0	0
<i>Ref Einzelfertigung</i>	1				
bat3 Großserienfertigung	0	0	0	0	0
bat2 Klein-/Mittelserienfertigung	0	1	0,009326108	0,009326108	0,009326108
<i>Ref einfache Produkte</i>	1				
compl3 komplexe Produkte	0	0	0	0	0
compl2 Erzeugnisse mittlerer Komplexität	0	1	-0,126312661	-0,126312661	-0,126312661
<i>Ref Fertigung auf Lager</i>	0				
fert1 nach Kundenauftragseingang	0	0	0	0	0
fert2 Vorfertigung und Endmontage nach Auftragseingang	1	1	-0,063	-0,063	-0,063
<i>Ref Endproduzent</i>	1				
k03a45 Zulieferer (Teile, Komponenten, Systeme)	0	1	0,019	0,019	0,019
k03a6 Lohnfertiger	0	0	0,000	0,000	0,000
Zlnk09a12 z-Faktorwert: Anteil Hochqualifizierte logarithmiert	22,693 (23)	0,36	0,025	0,025	0,025
Zlnk09a4 z-Faktorwert: Anteil Ungelernter logarithmiert	27,237 (27)	0,514	-0,006	-0,006	-0,006
Zk20ftief z-Faktorwert: Wertschöpfungstiefe [(Umsatz - Vorleistung)/Umsatz]	0,594 (0,595)	0,00058	0,000	0,000	0,000
ZleanInd0d z-Faktorwert: Lean-Index D (7 Lean-Konzepte gewichtet nach genutztem Potenzial - ohne Missing)		<b>siehe oben</b>	0,000	0,000	0,000
<i>Ref Endproduzent</i>					
<b>readytop Top I4.0 Readiness</b>	0	0	0,000	0,000	0,184
<b>readybasic Basic Levels I4.0 Readiness</b>	1	1	0,000	0,153	0,000
			4,507	4,660	4,691
			<b>90,649</b>	<b>105,658</b>	<b>108,929</b>
			100,0%	116,6%	120,2%
			2,2	2,2	2,2
				<b>16,6%</b>	<b>3,6%</b>
				von 1 auf 2	von 2 auf 3