

# 2.

## Zukunftsprojekt Arbeitswelt 4.0 Baden-Württemberg Vorstudie

Szenario-basierte Use-Cases und  
Zukunftsszenarien für den Maschinenbau

Korge, Axel; Schlund, Sebastian; Marrenbach, Dirk (2016): Zukunftsprojekt Arbeitswelt 4.0 Baden-Württemberg – Vorstudie Bd. 2. Szenario-basierte Use-Cases und Zukunftsszenarien für den Maschinenbau, Stuttgart: Fraunhofer IAO.

[http://wm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-wm/intern/Dateien\\_Downloads/Arbeit/Arbeitsmarktpolitik\\_Arbeitsschutz/Arbeitswelt40-BW-2016-Bd2.pdf](http://wm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-wm/intern/Dateien_Downloads/Arbeit/Arbeitsmarktpolitik_Arbeitsschutz/Arbeitswelt40-BW-2016-Bd2.pdf)

Dies ist der zweite von drei Bänden der Vorstudie „Zukunftsprojekt Arbeitswelt 4.0 Baden-Württemberg – empirisch fundierte Trendbeschreibung zur Arbeitswelt 4.0 und Industrie 4.0-Szenarien in Baden-Württemberg“. Diese wurde zwischen Oktober 2015 und Juli 2016 gemeinsam von der Universität Hohenheim und dem Fraunhofer IAO durchgeführt und finanziert vom Ministerium für Arbeit und Sozialordnung, Familie, Frauen und Senioren Baden-Württemberg (jetzt Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau). Der dritte Band (Pfeiffer u.a. 2016b) analysiert unterschiedliche Datensätze zum Ist-Stand der digitalen Arbeit heute. In Band 1 (Pfeiffer/Schlund u.a. 2016) werden zentrale Ergebnisse der beiden Teilstudien zusammengeführt und Gestaltungsimpulse diskutiert.



# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	5
1 Einleitung.....	7
1.1 Digitalisierung und Industrie 4.0 .....	7
1.2 Aufbau des Berichts .....	9
2 Blick in die Unternehmen: Produktionsarbeit heute und Untersuchungsdesign .....	10
2.1 Untersuchungsdesign und Vorgehen.....	11
2.2 Vielfalt der Produktionsaufgaben und Arbeitssysteme.....	12
2.3 Komplexe, variantenreiche Produkte erschweren Automatisierung.....	14
2.4 Lean-Management als handlungsleitendes Paradigma .....	15
2.5 Die Rolle der Beschäftigten.....	16
2.6 Potenziale bezüglich Gesundheit und lebenslangen Lernens .....	17
3 Absehbarer Wandel aus Sicht der Unternehmen.....	17
3.1 Digitalisierung.....	19
3.2 Demografischer Wandel .....	19
3.3 Globaler Wettbewerb .....	19
3.4 Gesellschaftliche Megatrends.....	20
4 Anpassung von Arbeit .....	20
4.1 Zentral oder dezentral .....	21
4.1.1 Komplexität zwingt zum Handeln .....	21
4.1.2 Subjektivierung: Neue Rolle für die Beschäftigten .....	22
4.1.3 Organisation und Führung 4.0.....	24
4.1.4 Zwischenfazit .....	25
4.2 Wettbewerbsstrategie für globale Märkte.....	26
4.3 Arbeitsfähigkeit bis zur Rente .....	27
4.3.1 Gesundheit .....	27
4.3.2 Lebenslanges Lernen .....	28
4.3.3 Motivation .....	29
4.3.4 Zwischenfazit .....	30
4.3.5 Unklare Auswirkungen auf Beschäftigung.....	30
5 Entwicklungsszenarien.....	32
5.1 Alternative Entwicklungsrichtungen.....	32
5.1.1 Digitalisierungskonzepte.....	32
5.1.2 Arbeits- und Qualifikationsanforderungen .....	33

5.2	Zukunftsbilder .....	34
5.3	Zukunftsbild „Angelerntenproduktion“ .....	35
5.3.1	Voraussetzungen.....	35
5.3.2	Chancen.....	35
5.3.3	Risiken.....	36
5.4	Zukunftsbild „Facharbeitsproduktion“ .....	36
5.4.1	Voraussetzungen.....	36
5.4.2	Chancen.....	37
5.4.3	Risiken.....	37
5.5	Zukunftsbild „Vollautomatisierung“ .....	37
5.5.1	Voraussetzungen.....	38
5.5.2	Chancen.....	38
5.5.3	Risiken.....	38
5.6	Zukunftsbild „Prozessbetreuung“ .....	39
5.6.1	Voraussetzungen.....	39
5.6.2	Chancen.....	39
5.6.3	Risiken.....	39
5.7	Industrie 4.0 wird vielfältig und ist beeinflussbar .....	40
6	Use-Case-basierte Thesen zur Arbeitswelt 4.0 .....	40
6.1	Lean-Management und Digitalisierung.....	40
6.2	Wandel als Anforderung an Beschäftigte.....	42
6.3	Die Arbeitsfähigkeit der Beschäftigten fördern und erhalten .....	44
6.4	Flexibilität durch Organisation und Führung 4.0.....	45
7	Ausblick und Handlungsempfehlungen .....	46
7.1	Aus- und Weiterbildung .....	46
7.2	Forschung.....	47
7.2.1	Lösungen und Beispiele zur Flexibilisierung von Produktion und produktionsnahen Bereichen unter Nutzung digitaler Technologien.....	48
7.2.2	Vorgehen zur Auswahl strategischer Handlungsoptionen und Umsetzung geeigneter Migrationspfade.....	49
7.3	Anwender vernetzen .....	49
7.4	Infrastruktur .....	49
7.5	Unterstützung von Start-ups.....	49
8	Literatur .....	51

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Technologien der Industrie 4.0.....	8
Abbildung 2: Reifegradlevel von Technologien der Industrie 4.0.....	8
Abbildung 3: Hemmnisse für Digitalisierung .....	9
Abbildung 4: Die Analysen .....	11
Abbildung 5: Beschreibungsmodell für Arbeit .....	12
Abbildung 6: Beispielhafte Produktionsaufgaben und Montagesysteme .....	13
Abbildung 7: Vom Einzelarbeitsplatz zu Multi-Produkt-Systemen.....	15
Abbildung 8: Grundzüge eines Wirkmodells der Entwicklung zur Arbeit 4.0.....	18
Abbildung 9: Komplexität in den Unternehmen wächst in vier Dimensionen gleichzeitig.....	22
Abbildung 10: Organisations- und Führungskonzepte in Abhängigkeit von der Komplexität .....	24
Abbildung 11: Das Haus der Arbeitsfähigkeit .....	27
Abbildung 12: Ressourcen schützen die Gesundheit bei Belastungen.....	28
Abbildung 13: Leistungs-Zufriedenheits-Motor .....	30
Abbildung 14: Auswirkung von Digitalisierung und Automatisierung auf Beschäftigung.....	31
Abbildung 15: Zukunftsbilder für Produktionsarbeit.....	34



# 1 Einleitung

Diese Studie ist ein Teil der Vorstudie „Zukunftsprojekt Arbeitswelt 4.0 Baden-Württemberg – empirisch fundierte Trendbeschreibung zur Arbeitswelt 4.0 und Industrie-4.0-Szenarien in Baden-Württemberg“, die das Ministerium für Arbeit und Sozialordnung, Familie, Frauen und Senioren Baden-Württemberg (jetzt Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau) zwischen Oktober 2015 und Juli 2016 finanziert hat. Ziel dieser Vorstudie war es, einen ersten datenbasierten Beitrag zum Ist-Zustand der tatsächlichen Digitalisierung von Arbeit für Baden-Württemberg zu leisten. Dabei wurden systematisch verschiedene Herangehensweisen integriert: Zum einen wurde interdisziplinär vorgegangen und ingenieur- bzw. arbeitswissenschaftliche mit soziologischen Perspektiven kombiniert. Zum anderen sollten qualitative Analysen mit betrieblichen Expertinnen und Experten kombiniert werden mit einer deskriptiven Analyse verschiedener quantitativer Datensätze. Diese beiden gemeinsamen Perspektiven finden sich entlang einer theseartigen Zusammenführung in einer eigenen Publikation (Pfeiffer/Schlund u.a. 2016). Die ausführlichen Ergebnisse der arbeitssoziologischen quantitativen Analysen bilden den dritten Band der Vorstudie (Pfeiffer u.a. 2016). Die hier vorliegende Teilstudie beschäftigt sich aus ingenieur- und arbeitswissenschaftlicher Perspektive mit Szenario-basierten Use-Cases und Zukunftsszenarien für den Maschinenbau. Bevor wir den Aufbau dieser Teilstudie vorstellen, sollen einleitend zunächst die zentralen Themen Digitalisierung und Industrie 4.0 skizziert werden (vgl. Schlund u.a. 2014).

## 1.1 Digitalisierung und Industrie 4.0

Studien zeigen, dass das Schlagwort Industrie 4.0 eine Vielzahl an Technologien zur Digitalisierung von Geschäftsprozessen, Produkten und Maschinen umfasst. Eine Übersicht gibt Abbildung 1 (vgl. Agiplan u.a. 2015).

Viele der unter dem Überbegriff ‚Industrie 4.0‘ diskutierten Technologien befinden sich noch in der Entwicklung. Bis wann sie für den industriellen Einsatz zur Verfügung stehen, lässt sich mit dem Begriff des Reifegrads fassen. Unterschieden wird dabei entlang der Dimensionen Grundlagenentwicklung, Evaluierung und Implementierung (vgl. Agiplan u.a. 2015; Abbildung 2). Aktuell einsetzbar sind lediglich Technologien mit dem Reifegradlevel Implementierung. Technologien in den beiden anderen Leveln ziehen noch umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsaufwände nach sich, ein großer Teil der für Industrie-4.0-Anwendungen notwendigen Technologien ist heute also noch nicht verfügbar. Technologien, die sich heute auf dem mittleren Reifegradlevel Evaluierung befinden, werden in den kommenden Jahren den Reifegradlevel Implementierung erreichen und können dann industriell eingesetzt werden. Technologien auf dem Reifegradlevel Grundlagen werden die Arbeit in Produktionsunternehmen bis zum Jahr 2030 voraussichtlich noch nicht beeinflussen.

### Technologien der Industrie 4.0

	Basistechnologien	Schlüsseltechnologien	Schrittmachertechnologien
<b>Kommunikation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Echtzeitfähige Bustechnologie</li> <li>Mobile Kommunikationskanäle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Drahtgebundene Hochleistungs-Kommunikation</li> <li>IT-Sicherheit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Echtzeitfähige drahtlose Kommunikation</li> <li>Selbstorganisierende Kommunikationsnetze</li> </ul>
<b>Sensorik</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Miniaturisierte Sensorik</li> <li>Intelligente Sensorik</li> <li>Sensorfusion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vernetzte bzw. vernetzbare Sensorik</li> <li>Neuartige Sicherheitssensorik</li> </ul>
<b>Eingebettete Systeme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identifikationsmittel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intelligente eingebettete Systeme</li> <li>Miniaturisierte eingebettete Systeme</li> <li>Energy Harvesting</li> </ul>	
<b>Aktorik</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Intelligente Aktoren</li> <li>Sichere Aktorik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vernetzte Aktoren</li> </ul>
<b>Mensch-Maschine-Schnittstelle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inklusive Bedienelemente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sprachsteuerung</li> <li>Gestensteuerung</li> <li>Fernwartung</li> <li>Augmented Reality</li> <li>Virtual Reality</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wahrnehmungsgesteuerte Schnittstellen</li> <li>Verhaltensmodelle des Menschen</li> <li>Kontextbasierte Informationspräsentation</li> <li>Semantikvisualisierung</li> </ul>
<b>Software-Systemtechnik</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Web-Services bzw. Cloud-Dienste</li> <li>Ontologien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Multi-Agenten-Systeme</li> <li>Maschinelles Lernen und Mustererkennung</li> <li>Big-Data-Speicher und Analyseverfahren</li> <li>Cloud-Computing (inkl. Speicher und Zugriffsverfahren)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Simulationsumgebung</li> <li>Multikriterielle Simulationsbewertung</li> </ul>

Eigene Darstellung nach Agiplan u.a. 2015

Abbildung 1: Technologien der Industrie 4.0

### Reifegradlevel von Technologien der Industrie 4.0

	Grundlagen Technologien mit TRL 1-3	Evaluierung Technologien mit TRL 4-6	Implementierung Technologien mit TRL 7-9
<b>Kommunikation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Echtzeitfähige drahtlose Kommunikation</li> <li>Selbstorganisierende Kommunikationsnetze</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Echtzeitfähige Bustechnologie</li> <li>Drahtgebundene Hochleistungs-Kommunikation</li> <li>Mobile Kommunikationsnetze</li> <li>IT-Sicherheit</li> </ul>
<b>Sensorik</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Miniaturisierte Sensorik</li> <li>Intelligente Sensorik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sensorfusion</li> <li>Vernetzte Sensorik</li> <li>Neuartige Sicherheitssensorik</li> </ul>	
<b>Eingebettete Systeme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Miniaturisierte eingebettete Systeme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energy Harvesting</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intelligente eingebettete Systeme</li> <li>Identifikationsmittel</li> </ul>
<b>Aktorik</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Intelligente Aktoren</li> <li>Vernetzte Aktoren</li> <li>Sichere Aktorik</li> </ul>	
<b>Mensch-Maschine-Schnittstelle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verhaltensmodelle des Menschen</li> <li>Kontextbasierte Informationspräsentation</li> <li>Semantikvisualisierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sprachsteuerung</li> <li>Gestensteuerung</li> <li>Wahrnehmungsgesteuerte Schnittstellen</li> <li>Fernwartung</li> <li>Augmented Reality</li> <li>Virtual Reality</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intuitive Bedienelemente</li> </ul>
<b>Software-Systemtechnik</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Simulationsumgebungen für Industrie 4.0</li> <li>Multikriterielle Situationsbewertung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Multi-Agenten-Systeme</li> <li>Maschinelles Lernen und Mustererkennung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Big-Data-Speicher und Analyseverfahren</li> <li>Cloud-Computing</li> <li>Cloud-Dienste</li> <li>Ontologien</li> <li>Mobile Kommunikationskanäle</li> </ul>

Eigene Darstellung nach Agiplan u.a. 2015

Abbildung 2: Reifegradlevel von Technologien der Industrie 4.0

Der Weg von einer Idee über die Innovation zum marktreifen Produkt ist lang und kostenintensiv. Nicht jede theoretisch vorstellbare Technologie wird kurzfristig erforscht, zum Reifegrad Implementierung entwickelt und von den Unternehmen eingeführt (Abbildung 3). Welche

Technologien ausreichend erforscht und zur Marktreife entwickelt werden, hängt nicht allein von der technischen Machbarkeit ab. Auch Wirtschaftlichkeit und Qualität der Angebote bestimmen, ob diese Technologien von der Industrie angenommen werden.

## Hemmnisse für Digitalisierung



Inhalte und Schema: Fraunhofer IAO.

Abbildung 3: Hemmnisse für Digitalisierung

## 1.2 Aufbau des Berichts

Im Mittelpunkt dieser Teilstudie stehen in Kapitel → 2 zentrale Ergebnisse unserer arbeitsplatznahen und Szenario-orientierten qualitativen Studien. Diese nehmen ihren Ausgangspunkt bei der Produktionsarbeit im Maschinen- und Anlagenbau heute. Dargestellt wird das Forschungsdesign mit den Untersuchungsfällen und Einschätzungen zur Umsetzung von Digitalisierung und Lean-Management heute.

Aus Sicht der befragten betrieblichen Experten werden dann wesentliche Treiber des aktuellen und absehbaren Wandels beschrieben (Kapitel → 3), vor deren Hintergrund dann die in Kapitel → 4 dargestellten diversen Modi der Anpassung von Arbeit zu verstehen sind. Leitend sind dabei Befunde zum Verhältnis von Dezentralität und Zentralität, zu neuen Wettbewerbsstrategien in globalen Märkten sowie der Herausforderung des Erhalts der Arbeitsfähigkeit bis zur Rente. Auf dieser Basis werden schließlich Entwicklungsszenarien von Arbeit und vier mögliche Zukunftsbilder mit ihren jeweiligen Voraussetzungen, Chancen und Risiken entwickelt (→ Kapitel 5). Kapitel → 6 stellt die qualitativen, Use-Case-basierten Ergebnisse dar, die als Basis für die Zusammenführung mit den quantitativen Ergebnissen der anderen Teilstudie (Pfeiffer u.a. 2016) in den gemeinsamen Bericht (Pfeiffer/Schlund u.a. 2016) einfließen. In Kapitel → 7 wird ein Ausblick gegeben und auf Basis der Ergebnisse dieser Teilstudie Handlungsempfehlungen für eine Gestaltung der Arbeitswelt 4.0 entwickelt und zur Diskussion gestellt.

## 2 Blick in die Unternehmen: Produktionsarbeit heute und Untersuchungsdesign

Der Blick in die Unternehmen soll vor Augen führen, wie sich Produktionsarbeit<sup>1</sup> zukünftig verändern könnte. Auslöser für Veränderung von Produktionsarbeit ist Wandel im Umfeld der Unternehmen. Thematisiert wird üblicherweise die zunehmende Digitalisierung. Produktionsarbeit der Zukunft wird aber nicht allein von technologischen Entwicklungen beeinflusst. Zusätzlich wirken Einflüsse aus den Märkten, etwa in Form von Volatilität oder Arbeitskräfteverfügbarkeit, aus der Gesellschaft, etwa aufgrund der Megatrends zu Individualität und Gesundheit, sowie der demografische Wandel. Wesentlichen Einfluss übt außerdem der Ausgangszustand in den Unternehmen aus, vor allem die Erfahrungen und die Einstellungen der Menschen sowie die bisherige Strategie und die Organisation. Selbstverständlich gilt weiterhin, dass Unternehmen auch in Zukunft wirtschaftlich erfolgreich sein müssen.

Verdeutlicht wird, dass vielfältige Veränderungen von Produktionsarbeit möglich sind. Neue digitale Technologien und sonstiger Wandel im Umfeld der Unternehmen schreiben die Entwicklung von Arbeit keineswegs zwingend vor. Für Manager, Arbeitnehmer, Technikentwickler oder Politik bestehen zahlreiche Einflussmöglichkeiten, die es zu nutzen gilt. Als Hilfestellung werden die Grundzüge eines Wirkmodells entwickelt, das Stellhebel zur Beeinflussung der Entwicklungen zur Arbeit der Zukunft bestimmen soll. Dazu verdeutlicht das Wirkmodell, welcher Wandel absehbar ist und wie er konkret auf Arbeit wirkt.

- Anhand qualitativer empirischer Analysen in Unternehmen wird aufgenommen, wie Produktionsarbeit in Baden-Württemberg aktuell gestaltet ist. Dabei erfolgt eine Eingrenzung auf die Fokusbranche Maschinenbau und die Tätigkeitsprofile Monteur, Maschinenbediener, Logistiker und Disponent.
- Es wird dargestellt, welcher Wandel auf Produktionsarbeit zukünftig wirken wird. Dabei erfolgt eine Beschränkung auf bereits heute absehbaren Wandel.
- Der Wandel verursacht Anpassungsdruck auf Produktionsarbeit. Wirkmechanismen und zu erwartende Entwicklungen werden herausgearbeitet.
- Abschließend werden alternative Zukunftsbilder für Produktionsarbeit 4.0 entworfen. Die Zukunftsbilder wurden durch Interviews mit Experten bewertet, um Voraussetzungen, Chancen und Risiken herauszuarbeiten.

Ausgangspunkt jeder Prognose ist die Beschreibung der Ist-Situation. Anhand von Analysen in Unternehmen wurde aufgenommen, wie Produktionsarbeit in Baden-Württemberg heute gestaltet ist. Ziel ist die Beschreibung der Ausgangssituation für die zukünftige Gestaltung der Produktionsarbeit

---

<sup>1</sup> In Anlehnung an Luczaks Definition (1998) versteht diese Studie unter Arbeit eine Erwerbstätigkeit von Menschen in einem Beschäftigungsverhältnis zum Erstellen von Gütern und Dienstleistungen unter wirtschaftlichen Zielsetzungen in Interaktion mit anderen Menschen und technischen Hilfsmitteln. Produktionsarbeit ist die Arbeit in den Montage-, Fertigungs- und Logistikbereichen sowie in den produktionsnahen Büros produzierender Unternehmen.

am Beispiel der für das Land besonders relevanten Branche Maschinenbau. Die Analysen erfolgten am Beispiel der Tätigkeitsprofile Monteur, Maschinenbediener, Logistiker und Disponent.

## 2.1 Untersuchungsdesign und Vorgehen

23 Use-Cases in 14 Unternehmen aus Baden-Württemberg (Abbildung 4). Ein Use-Case beschreibt die konkrete Arbeitsaufgabe eines Mitarbeiters oder einer Mitarbeitergruppe, beispielsweise der Monteure in einer spezifischen U-Linie oder des Logistikers, der diese U-Linie mit Material versorgt.

### Die Analysen

14 Produktionsunternehmen der Metall- und Elektroindustrie								
Unternehmensgröße	4	KMU	4	kleiner Mittelstand	4	großer Mittelstand	2	Konzern
Stückzahl	3	Einzelfertigung	6	Kleinserie	3	Serie	2	Masse
Varianz	0	gering	5	mittel	5	hoch	4	kundenspezifisch
Produktkomplexität	3	gering	8	mittel	3	hoch		
Arbeitsprofile: 9x Monteur / 4x Maschinenbediener / 7x Logistiker / 3x Disponent								

Inhalte und Grafik: Fraunhofer IAO.

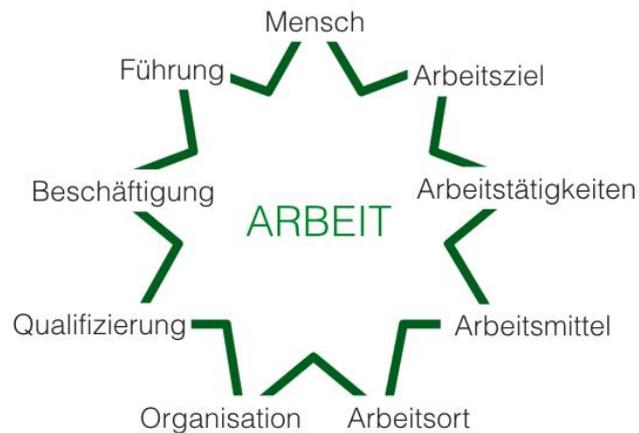
Abbildung 4: Die Analysen

Ausgewählt wurden innovative Unternehmen, weil diese am ehesten auch Vorreiter bei der Einführung von Industrie 4.0 sein werden. Aufgrund des Auswahlkriteriums und der geringen Fallzahl ist die Auswahl nicht repräsentativ. Damit Zahlen nicht fehlerhaft interpretiert werden,<sup>2</sup> wird auf die Darstellung von Durchschnittswerten verzichtet.

Die Use-Cases wurden in Form einer ausführlichen Begehung vor Ort und einer Befragung der Produktionsleitung erhoben. Sie wurden also aus einer Beobachterperspektive heraus aufgenommen und beschreiben die Arbeit von Personen und Gruppen. Die Befragung wurde durch einen Interviewleitfaden strukturiert, dem die neun Dimensionen des Beschreibungsmodells für Arbeit des Fraunhofer IAO (Abbildung 5) zugrunde liegen.

<sup>2</sup> Beispielsweise wäre die Aussage unzulässig, dass alle Unternehmen in Baden-Württemberg Lean-Management eingeführt haben, weil dies bei 100% der an den Use-Cases beteiligten Unternehmen der Fall ist.

## Beschreibungsmodell für Arbeit des Fraunhofer IAO



Inhalte und Grafik: Fraunhofer IAO.

AXK

Abbildung 5: Beschreibungsmodell für Arbeit

## 2.2 Vielfalt der Produktionsaufgaben und Arbeitssysteme

Die Vielfalt der analysierten Produktionsunternehmen in Baden-Württemberg ist hoch. Ihre Produktionsaufgaben<sup>3</sup> streuen von kundenspezifischen Anlagen in Losgröße 1 bis zur Massenfertigung einfacher Produkte mit sehr eng begrenzter Varianz. Die Unterschiede ergeben sich insbesondere aus der Komplexität der Produkte sowie deren Varianz, Stückzahl und Lebensdauer. Die Komplexität der Produkte kann durch die Anzahl der verbauten Teile und die Vielfalt der erforderlichen Fertigungstechnologien ausgedrückt werden. Varianz entsteht aus der Anzahl und Unterschiedlichkeit der Produktvarianten. Damit verbunden ist die Vielfalt der Prozesse, da jede Variante, zumindest in Details, einen eigenen Prozess verursacht. Stückzahl meint zum einen die Gesamtstückzahl über die Lebensdauer des Produkts, zusätzlich ist aber auch die Stückzahl der einzelnen Varianten von Bedeutung, denn Varianten reduzieren die Stückzahl gleichartiger Produkte.

<sup>3</sup> Die Produktionsaufgabe ist Teil der Dimension Arbeitsziel im Beschreibungsmodell für die Arbeit des Fraunhofer IAO.

## Beispielhafte Produktionsaufgaben und Montagesysteme

Kundenspezifische Anlagen	Komplexe Serienprodukte	Sehr einfache Kleinstserien und Einzelprodukte	Variantenreiche Kleinstserien	Massenfertigung
<ul style="list-style-type: none"> <li>komplexe Produkte</li> <li>Stückzahl 1</li> <li>Einmal-Aufgaben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Komplexe Produkte</li> <li>Großserien</li> <li>Begrenzte Varianz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sehr einfache Produkte oder</li> <li>Sehr geringe Stückzahlen</li> <li>Hohe Varianz, oft kundenspezifisch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>alle Arten von Produkten</li> <li>Kleinstserien</li> <li>Hohe Varianz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einfache Produkte</li> <li>Sehr hohe Stückzahlen</li> <li>Geringe Varianz</li> </ul>
				
Baustellenmontage	Fließlinien	Werkbank	Flexible, manuelle Montagezellen (U-Linien)	Hochautomatisierte Montagezellen

Inhalte und Grafik: Fraunhofer IAO.

Abbildung 6: Beispielhafte Produktionsaufgaben und Montagesysteme

Die Produktionsaufgabe beeinflusst die Auswahl des passenden Arbeitssystems maßgeblich. Typische Beispiele aus den Analysen illustriert Abbildung 6. Mit zunehmender Komplexität der Produkte entstehen komplexere Arbeitssysteme und die Vernetzung der einzelnen Beschaffungs- und Produktionsschritte gewinnt an Bedeutung. Automatisierung ist nur in der Massenfertigung, also bei hoher Gesamtstückzahl mit wenigen Varianten und langer Lebensdauer anzutreffen.

Auch Arbeitsvorbereitung und Disposition werden durch die Produktionsaufgabe erheblich beeinflusst. Hohe Stückzahlen, wenige Varianten und lange Lebensdauern begünstigen eine umfassende zentrale Planung und Steuerung. In den Arbeitssystemen werden dann oft Angelernte eingesetzt. Bei großer Varianz und kleinen Stückzahlen pro Variante, aber auch bei Produkten mit ausgeprägter Komplexität findet oft keine lückenlose Arbeitsvorbereitung statt. Die verbleibenden Planungslücken werden dann während der Produktion in den Arbeitssystemen von Facharbeitern oder erfahrenen Angelernten überbrückt.

## 2.3 Komplexe, variantenreiche Produkte erschweren Automatisierung

Die Vielfalt an Produktionsaufgaben, Arbeitssystemen und Abläufen im baden-württembergischen Maschinenbau lässt erwarten, dass auch zahlreiche Industrie-4.0-Lösungen entstehen werden.

Die Produktionsaufgabe hat einen großen Einfluss auf die Transformation von Unternehmen in die Industrie 4.0. Alle analysierten Unternehmen entscheiden über Automatisierungen hauptsächlich nach wirtschaftlichen Kriterien, also durch Gegenüberstellung von Aufwand und Nutzen. Der Aufwand steigt mit der Komplexität und der Vielfalt der Produkte und Prozesse, der erreichbare Nutzen hängt dagegen von der zu produzierenden Stückzahl ab. Mit langer Lebensdauer stabil und ohne Produktänderungen laufende Produkte können eher automatisiert werden als Kurzläufer. Nur bei hohen Stückzahlen pro Variante sehen die Unternehmen eine Chance, wirtschaftlich zu automatisieren.

Die weitaus meisten analysierten Unternehmen planen auf absehbare Zeit keine intensivere Automatisierung. Entsprechend den Prognosen für den globalen Wettbewerb steigt die Varianz der Produkte in den analysierten Unternehmen ständig an.<sup>4</sup> Da das Mengenwachstum nicht mithält, reduziert sich die Stückzahl pro Variante. Die Mehrheit der Unternehmen zielt deshalb auf eine Flexibilisierung der Arbeitssysteme ab. Von Bedeutung ist dann weniger eine Automatisierung von Arbeitsschritten als vielmehr intelligente Lösungen für Rüstvorgänge und Materialbereitstellung.

Nur wenn vereinzelt Rennervarianten<sup>5</sup> herausgelöst werden können, beabsichtigen die Unternehmen eine signifikant weitergehende Automatisierung in Fertigung, Montage und Logistik. Bessere Voraussetzungen für Automatisierungen könnten durch die Bildung von Baukastensystemen geschaffen werden. Diese Überlegungen werden aber in den analysierten Unternehmen aufgrund der damit verbundenen Aufwände nicht realisiert, weil dann alle Produkte neu konstruiert und alle Arbeitspläne bzw. NC-Programme neu erstellt werden müssten. Empfehlenswert wäre die Entwicklung von Baukästen für neue, zukünftige Produkte.

Um Planungsaufwände trotz hoher, ständig steigender Varianz zu begrenzen, arbeiten mehrere Unternehmen an einer Digitalisierung durch Konfigurierung und Parametrisierung.<sup>6</sup> Ziel ist es dabei nicht, die Planungs- und Dispositionsbereiche zu substituieren, sondern zu vermeiden, dass diese bei steigenden Variantenzahlen explodieren.

Insgesamt halten die Unternehmen die Möglichkeit zur weiteren Automatisierung ihrer Arbeitssysteme für begrenzt. Was einfach zu automatisieren ist, ist bereits automatisiert. Weiteren Automatisierungen steht meist die hohe Variantenzahl entgegen. Häufig könnte jede einzelne Vari-

---

<sup>4</sup> Einige der Unternehmen haben ihren Stammsitz in Baden-Württemberg und produzieren dort kundenspezifische Varianten.

<sup>5</sup> Renner sind Varianten mit sehr hohen Stückzahlen.

<sup>6</sup> Die Varianz der Produkte wird durch Formeln beschrieben.

ante aus rein technischer Sicht vollautomatisch produziert werden und teilweise haben Wettbewerber mit Massenfertigung bereits automatisiert. Aufgrund der hohen Varianz und der geringen Stückzahl pro Variante halten die analysierten Unternehmen eine Automatisierung für ihre Produktionsaufgabe auf absehbare Zeit weder technisch noch wirtschaftlich für möglich.

## 2.4 Lean-Management als handlungsleitendes Paradigma

Alle analysierten Unternehmen haben mehrere Methoden des Lean-Managements (VDI 2870 2012), (Spath 2003) eingeführt. Die Use-Cases basieren auf den Lean-Prinzipien der Trennung von Wertschöpfung und Logistik, der Standardisierung sowie von Ordnung und Sauberkeit. Einzelarbeitsplätze werden zu manuellen Multi-Produkt-Systemen integriert (Abbildung 7), in der Montage überwiegend als U-Linien ausgeführt. Kennzeichen sind schnelles Rüsten, fest eingerüstete Gleichteile mit Kanbannachschub, Materialversorgung von hinten und Mitnahme oder Weitergabe der Werkstücke durch die Werker nach dem Chaku-Chaku-Prinzip (Eberhard 2013). Analog entstehen in der Teilefertigung Fertigungszellen und in der Logistik Routenverkehre.

Teilweise wird eine Low-Cost-Automation angestrebt, insbesondere um nicht ergonomische Arbeitsschritte zu vermeiden, Qualität, insbesondere Verwechslungen abzusichern und Rüsten zu vereinfachen. Hochautomatisierte Zellen werden nur gestaltet, wenn Rennervarianten herausgelöst werden können (Unterkapitel → 0).

### Einzelarbeit an Werkbänken ersetzt durch Multi-Produkt-Systeme (U-Linien)



Inhalte und Grafik: Fraunhofer IAO.

Abbildung 7: Vom Einzelarbeitsplatz zu Multi-Produkt-Systemen

Transparenz für die Mitarbeiter wird durch Beschriftungen, Kennzeichnungen oder einfache Listen hergestellt. Diese Visualisierungen werden üblicherweise mit EDV erstellt, die Schnittstellen zum Benutzer vor Ort sind häufig noch Papiausdrucke. Eine zukünftige Digitalisierung der Visualisierung wird nicht ausgeschlossen, als zusätzlicher Nutzen vor allem die Aktualität durch automatischen Austausch bei Änderungen hervorgehoben. Bei einer Digitalisierung sollen hauptsächlich von den Beschäftigten in der Produktion einfach zu bedienende Filter und Sortierfunktionen realisiert werden.

Mit der Einführung des Lean-Managements waren bei allen Unternehmen tiefgreifende Veränderungsprozesse verbunden. Aufgrund von Standardisierung und Visualisierung wurde die Arbeit für die Beschäftigten in der Regel nicht weniger planbar und auch nicht komplexer, obwohl Durchlaufzeiten verkürzt, die Variantenzahl erhöht und Losgrößen oft bis zur Mischfertigung in Losgröße 1 gesenkt wurden.

Die meisten Unternehmen planen, Lean-Management auf die gesamte Produktionsarbeit auszurollen und zusätzliche Lean-Methoden einzuführen. Die Prinzipien des Lean-Managements sind fest in den Produktbereichen verankert und erkennbar handlungsleitend für die Gestaltung und das Betreiben der Arbeit in den Produktionsbereichen. Eine Abkehr von den Prinzipien und Methoden des Lean-Managements wird von den Produktionsleitungen ausdrücklich abgelehnt.

## 2.5 Die Rolle der Beschäftigten

Aufgrund komplexer Produkte, hoher Variantenzahlen oder/und geringer Stückzahlen fördern die meisten analysierten Unternehmen bewusst die Selbstständigkeit und Eigenverantwortung der Beschäftigten. Nur vereinzelt ist es strategisches Ziel, möglichst billige Arbeitskräfte einzusetzen oder manuelle Arbeit zu substituieren. Ziel ist vielmehr, Termine und Qualität sicherzustellen oder teure Anlagen zuverlässig zu betreiben und zu optimieren. Die Beschäftigten sind überwiegend fest angestellt. Leiharbeit ist auf wenige Prozent der Beschäftigten begrenzt und wird als Flexibilitätspuffer verwendet.

Insgesamt dominiert in den Produktionsbereichen der analysierten Unternehmen manuelle Arbeit mit einem hohen Maß Selbstständigkeit und Eigenverantwortung. Das gilt sowohl für Facharbeiter als auch für Angelernte. Die analysierten Unternehmen setzen auf jahrelange Erfahrung. Facharbeiter, aber auch Angelernte übernehmen oftmals Aufgaben, die eine sehr große anwendungsspezifische Kompetenz erfordern, und haben diesbezüglich fundierte Erfahrungen durch die tägliche Arbeit entwickelt. Vor allem in der produktionsnahen Logistik, die das Material für die Montagebereiche bereitstellt, besetzen teilweise Angelernte, die aufgrund langjähriger Erfahrung jede Produktvariante sowie die Besonderheiten aller Teile kennen, selbst unersetzbare Schlüsselpositionen.

Aus den aktuellen Entwicklungen hin zu Lean-Management könnte zukünftig ein Widerspruch entstehen. Mit der Standardisierung und Visualisierung der Abläufe sowie der Trennung von Wertschöpfung und Logistik wurde die Arbeit für die Beschäftigten teilweise stark vereinfacht.

Die Entscheidungs- und Handlungsfreiheit der Beschäftigten wurde eingeschränkt. Dass daraus langfristig eine De-Qualifizierung resultieren könnte, war den Gestaltern vielfach bisher nicht bewusst (siehe auch Unterkapitel → 6.3).

## 2.6 Potenziale bezüglich Gesundheit und lebenslangen Lernens

In Bezug auf Ergonomie und Gesundheitsschutz haben alle Unternehmen wirkungsvolle Maßnahmen umgesetzt. Typisch sind ergonomische Arbeitsplätze nach dem Best-Point-Prinzip<sup>7</sup> mit Hebehilfen und guter Beleuchtung. Oft wird, soweit technisch möglich, eine Höhenverstellung realisiert. Es bestehen aber durchaus noch Potenziale zur Verbesserung der Ergonomie. Weitverbreitet ist Arbeit im Stehen. Im Sommer ist die Hitze in vielen Produktionshallen hoch. Vor allem in Fertigungsbereichen bleibt der Lärm oftmals nur knapp unter dem zulässigen Grenzwert von 80 dB.

Psychische Belastungen finden noch wenig Beachtung. Zwar ist die Arbeit in den Produktionszellen (U-Linien) häufig ganzheitlich. Standardisierte Arbeitsabläufe vermeiden einen extremen Termin- und Leistungsdruck. Häufig entstehen aber Monotonie und teilweise auch Unterforderung. Die Beschäftigten müssen meist schnell arbeiten, oft ist eine Mindestleistung vorgegeben. Vereinzelt ist ständige Konzentration erforderlich, vor allem bei Prüf- oder Überwachungstätigkeiten. Kleine Fehler führen mitunter zu großen Verlusten.

Defizite sind auch bezüglich lebenslangen Lernens erkennbar. Viele Beschäftigte führen über Jahre hinweg ähnliche Arbeitstätigkeiten aus. Rotation, also der kurzzyklische Wechsel an andere Arbeitsplätze, wird selten organisiert. Lediglich um Kapazitätsengpässe auszugleichen, finden ab und zu Wechsel zwischen Arbeitsplätzen statt, wenngleich auch dort üblicherweise ähnliche Tätigkeiten durchzuführen sind. Typische Produktionsarbeit in den analysierten Unternehmen bietet somit nur wenige Reize, Neues zu lernen. Auf der anderen Seite beklagen die Produktionsleitungen, dass Beschäftigte oft an ihrem Arbeitsplatz festhalten und nicht wechseln wollen. Diese Flexibilität vermissen sie bei Engpässen und fertigungstechnischen Innovationen. Dass Flexibilität und Innovationsfähigkeit durch geeignete Arbeitsgestaltung mit täglichen Lernreizen gefördert werden könnten, ist den Gestaltern nicht bewusst (siehe auch Abschnitt → 4.3.2 und Kapitel → 4).

## 3 Absehbarer Wandel aus Sicht der Unternehmen

Bereits heute ist absehbar, dass nicht nur Digitalisierung Einfluss auf zukünftige Entwicklungen der Produktionsarbeit ausübt, sondern auch der demografische Wandel, globaler Wettbewerb und gesellschaftliche Trends. Diese Einflüsse aus dem Umfeld der Unternehmen können nicht

---

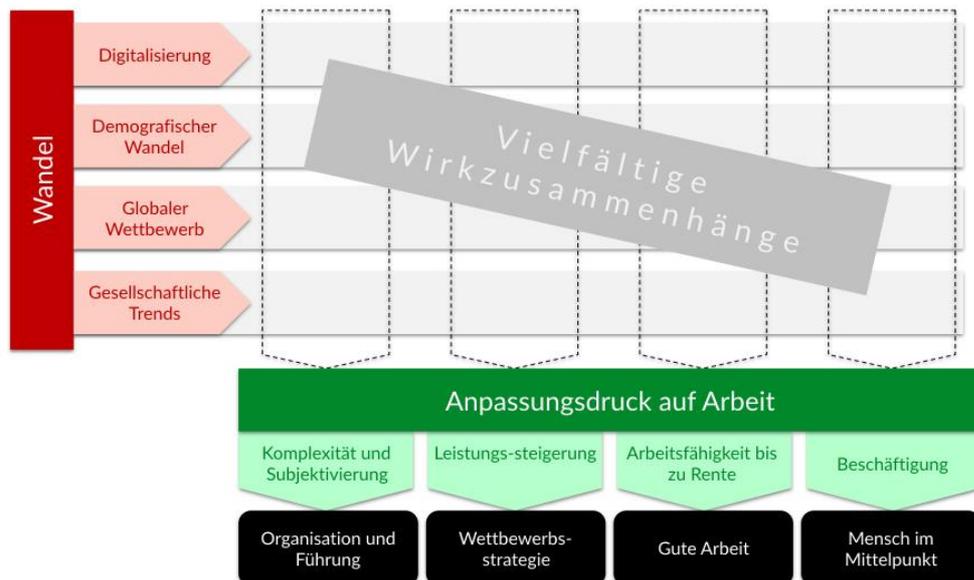
<sup>7</sup> Material und Werkzeuge werden in guter Griffposition angeordnet.

unabhängig voneinander interpretiert werden, da sie sich gegenseitig in vielfältiger Weise beeinflussen.

Der Zweck eines Wirtschaftsunternehmens ist es, sich im Wettbewerb zu behaupten und damit Gewinne zu erzielen. Digitalisierung ist ein Mittel zu diesem Zweck und darf auch unter der Überschrift Industrie 4.0 nicht zum Selbstzweck werden. Da Digitalisierung immer mit Aufwand und Risiken verbunden ist, stellt sich die Frage nach deren zusätzlichem Nutzen. Auf der Hand liegt die Steigerung von Produktivität und Schnelligkeit. Zusätzlich wurde Technik bereits in der Vergangenheit häufig dafür benutzt, Qualität sicherzustellen oder Menschen zu entlasten. Zukünftig sind weitere Herausforderungen für Unternehmen absehbar. Es gilt, im globalen Wettbewerb zu bestehen, den demografischen Wandel zu bewältigen und mit den gesellschaftlichen Trends zu Individualisierung und Gesundheit zurechtzukommen. Digitalisierung bietet die Chance, diesen neuen Herausforderungen zu begegnen, ohne die bisherigen Erfolgsfaktoren Zeit, Qualität und Kosten zu vernachlässigen.

Aus dem Wandel im Umfeld der Unternehmen entsteht Anpassungsdruck auf Arbeit (Abbildung 8). Die vielfältigen Wirkzusammenhänge können im Rahmen dieses Berichts nur angedeutet werden, sie werden in einer eigenständigen Studie herausgearbeitet.

## Grundzüge eines Wirkmodells der Entwicklung zur Arbeit 4.0



Inhalte und Grafik: Fraunhofer IAO.

Abbildung 8: Grundzüge eines Wirkmodells der Entwicklung zur Arbeit 4.0

## 3.1 Digitalisierung

Ein wichtiger Einfluss auf die Arbeit der Zukunft ist von der Digitalisierung zu erwarten. Je nach Einsatzzweck kann Digitalisierung menschliche Arbeit unterstützen oder ersetzen (siehe auch Unterkapitel → 5.1). Dieser Zweck ebenso wie die Qualität und Stabilität der digitalen Lösungen bestimmt die Nutzen-Aufwand-Bilanz und beeinflusst den Arbeitskräftebedarf nach Qualifikation und Anzahl. Ob die Beschäftigten Digitalisierung und Innovationsgeschwindigkeit als Belastung oder positive Herausforderung empfinden, beeinflusst langfristig die Gesundheit und damit die Arbeitsfähigkeit. Die Komplexität von Arbeit wird zunehmen, weil verschiedenartige technologische Systeme gestaltet, vernetzt und ständig weiterentwickelt werden. Die Systeme müssen betrieben und Störungen bewältigt werden. Zusätzliche Qualifikationen und der Aufbau von Erfahrungen bei Gestalten und Anwenden werden erforderlich.

## 3.2 Demografischer Wandel

In Deutschland ist die Geburtenrate seit mehreren Jahrzehnten geringer als die Sterberate. Die Belegschaft wird älter – dieser demografische Wandel wird Arbeit verändern. Der Erhalt der Arbeitsfähigkeit<sup>8</sup> bis zur Rente wird zum entscheidenden Erfolgsfaktor für Unternehmen. Lebenslanges Lernen, also eine kontinuierliche und systematische Kompetenzentwicklung auf allen Unternehmensebenen, wird erforderlich. Eine Zunahme bei Krankentagen und krankheitsbedingten Einsatzbeschränkungen aufgrund höheren Altersdurchschnitts der Beschäftigten wird Druck auf gesunde Arbeitsgestaltung und auf eine Individualisierung der Arbeitsbedingungen erzeugen. Falls ein Arbeitskräftemangel entsteht, wird sich die Verhandlungsmacht verschieben, sodass attraktive und motivierende Arbeitsbedingungen notwendig sein werden, um neue Beschäftigte zu gewinnen, aber auch Flucht in die Rente oder in die innere Kündigung zu vermeiden.

## 3.3 Globaler Wettbewerb

Auf den Absatzmärkten herrscht ein globaler Verdrängungswettbewerb. Die Volatilität nimmt zu und Störereignisse wirken sich kurzfristig oft weltweit aus. Die Abnehmer fordern kundenspezifische Lösungen und kürzeste Lieferzeiten. Als Folge wird sich die Komplexität der Arbeit erhöhen. Unternehmen, die mithalten oder die Wettbewerber gar übertreffen können, erzielen Wettbewerbsvorteile durch höheren Kundennutzen. Neue Wettbewerbsstrategien und Geschäftsmodelle werden möglich. Ihr Erfolg bestimmt die Arbeitsplatzsicherheit, der Arbeitskräftebedarf kann steigen oder sinken (siehe auch Abschnitt → 4.3.5). Oftmals verursacht die Dynamik Stress für die Beschäftigten, der sich negativ auf deren Gesundheit und damit deren langfristige Arbeitsfähigkeit auswirken kann.

---

<sup>8</sup> Arbeitsfähigkeit bedeutet, dass ein Beschäftigter die ihm gestellten Arbeitsaufgaben erfolgreich bewältigen kann. Beschäftigungsfähigkeit ist dagegen die grundsätzliche Fähigkeit zur Partizipation am Arbeitsleben (Ilmarinen/Tempel 2002).

## 3.4 Gesellschaftliche Megatrends

Gesundheit und Individualisierung sind zwei Megatrends,<sup>9</sup> die die Arbeit der Zukunft beeinflussen werden. Gesundheit hat heute einen hohen Stellenwert erreicht und Krankheitskosten wurden zu einem wichtigen Thema in Gesellschaft und Unternehmen. Dadurch entsteht Druck auf die gesunde Gestaltung der Arbeit. Zunehmende Bedeutung gewinnen die psychische Gesundheit und Aspekte wie Lebensqualität oder Work-Life-Balance.

Die Individualisierung der Gesellschaft erzeugt neben der Nachfrage an individualisierten Produkten auch Ansprüche an individuelle Arbeitsgestaltung. Die Bevölkerung wird vielfältiger, Wertorientierungen und Lebensstile verändern sich. Die junge Generation hat andere Vorstellungen von Arbeit und Leben. Aber auch bei den älteren Beschäftigten gilt es, innere Kündigung oder eine Flucht in die Rente zu vermeiden. Wichtige Motivationsfaktoren in jedem Alter sind Beeinflussbarkeit, Selbstständigkeit und Eigenverantwortung („I did it my way“).

## 4 Anpassung von Arbeit

Der im vorangegangenen Kapitel aus Sicht der untersuchten Unternehmen skizzierte Wandel im Umfeld der Unternehmen erzeugt heute schon den Druck zur Anpassung von Arbeit, auf den die Unternehmen mit vielfältigen Strategien und Maßnahmen reagieren (Abbildung 8).

- Der Wandel im Umfeld wird die Komplexität in vielen Unternehmen weiter erhöhen. Dadurch nimmt die Planbarkeit ab und die Beschäftigten kommen in eine neue Rolle, weil nur sie in der Lage sind, ungeplante Zustände vor Ort schnell und situativ zu bewältigen. Um dezentrale Freiräume zu ermöglichen, müssen Organisation und Führung weiterentwickelt werden (Grabmeier 2015).
- Unternehmen sollten ihre Wettbewerbsstrategie und insbesondere überprüfen, ob eine Fokussierung auf Preis und Kosten geeignet ist oder der Kundennutzen durch eine Leistungssteigerung etwa bei Flexibilität sowie Wandlungs- und Innovationsfähigkeit erhöht werden sollte (Binner 2007).
- Arbeitsfähigkeit bis zur Rente gewinnt an Bedeutung. Es wird erforderlich, durch gute Arbeit die Motivation und die Gesundheit sowie das lebenslange Lernen aller Beschäftigten dauerhaft zu fördern (Ilmarinen/Tempel 2002).
- Auswirkungen auf Beschäftigung können nicht vorhergesagt werden. Der Bedarf an Arbeitskräften hängt von der Ausgestaltung der Digitalisierung sowie vom Erfolg der Unternehmen auf den Märkten ab, kann also steigen oder sinken (Bonin u.a. o.J.). Viele Beschäftigte werden in Zukunft neue Qualifikationen, insbesondere IT-Kompetenz benötigen. Unklar ist, ob dies alle Beschäftigtengruppen betrifft (Upgrading-Hypothese) oder ein Teil der Beschäftigten de-qualifiziert wird (Polarisierungs-Hypothese) (Hirsch-Kreinsen u.a. 2015; siehe Abschnitt → 5.1.2).

---

<sup>9</sup> Als Megatrends werden bereits heute spürbare jahrzehntelang andauernde und prägende Veränderungen bezeichnet.

Wie sich Arbeit im Anpassungsdruck des Wandels entwickeln könnte, wird im Folgenden herausgearbeitet.

## 4.1 Zentral oder dezentral

Die Komplexität<sup>10</sup> in den Unternehmen wird weiter steigen. Die Ursachen sind vielfältig, beispielsweise:

- die Dynamik der Märkte und Veränderungen aufgrund von Innovationen,
- die Unbestimmtheit von Prognosen und Planungen,
- die Vielfalt von Produktvarianten und infolgedessen von Prozessen,
- die Vernetzung von Systemen und die Störanfälligkeit von Technik.

Die zunehmende Komplexität wird zunehmend schwieriger beherrschbar. Das kann die Rolle der Menschen im Unternehmen verändern und Anpassungen in Organisation und Führung nach sich ziehen.

### 4.1.1 Komplexität zwingt zum Handeln

Einfache Lösungen zur Komplexitätsbewältigung kann es nach Ashbys Gesetz (Ashby 1970) nicht geben. „Only Variety can destroy Variety“, d.h., dass die Prozesse im Unternehmen mindestens so vielfältig, schnell und veränderlich sein müssen wie die Anforderungen aus dem Umfeld.

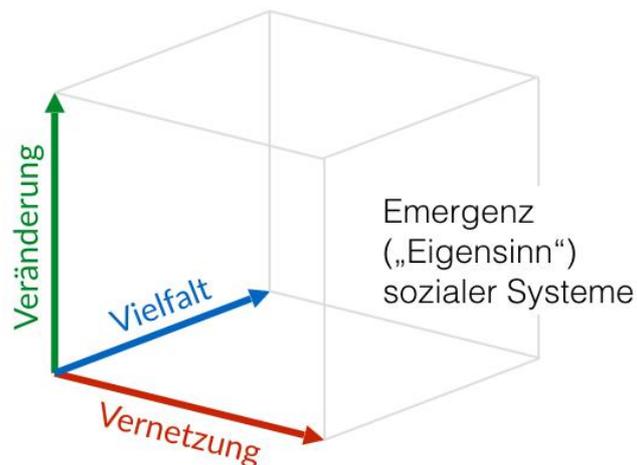
Sind die komplexen Aufgaben im Unternehmen aufgrund der schnell wachsenden Leistungsfähigkeit digitaler Technologien bald lösbar? Eine Fabel dient als vermeintlicher Beleg. Legt man auf einem Schachbrett auf jedes Feld immer doppelt so viele Körner wie auf dem vorangehenden, so reicht die gesamte Landwirtschaft der Welt nicht aus, genügend Körner für das letzte Feld zu erzeugen. Grund ist das quadratische Wachstum. Computerleistung wächst ebenfalls quadratisch und laut Moore'schem Gesetz verdoppelt sie sich alle 18 Monate. In den vergangenen Jahrzehnten ist die Rechengeschwindigkeit von Kilohertz auf Gigahertz angewachsen, eine Beschleunigung um den Faktor 1000000. Trotzdem ist es ein Trugschluss, dass IT bald alle Aufgaben im Unternehmen lösen kann. Zum einen würde selbst eine unendliche Rechenleistung nicht ausreichen, um komplexe Probleme zu lösen, denn genau in der Unbestimmtheit und Nicht-Berechenbarkeit liegt das Wesen der Komplexität. Zum anderen wächst die Komplexität

---

<sup>10</sup> In der Praxis wird statt Komplexität teilweise der Begriff Flexibilität verwendet, gefordert werden Zeit- und Variantenflexibilität, aber auch die Bewältigung von Veränderungen und Innovationen. In der Theorie wird zwischen Kompliziertheit und Komplexität unterschieden (Schöneberger 2014). Bei komplizierten Systemen ist das Ergebnis vorhersagbar, wenn die Ausgangsbedingungen bekannt sind. In komplexen Systemen sind Abläufe nicht linear und Ergebnisse nicht vorhersehbar. Der Unterschied liegt also im Grad der vorherrschenden Unsicherheit. Komplizierte Systeme sind mit ausreichendem Aufwand planbar und durch Berechnungen steuerbar, komplexe Systeme sind es nicht. Ob kompliziert oder komplex ergibt in der Praxis kaum einen Unterschied. Beide sind bis auf Weiteres nicht digitalisierbar, komplexe Aufgaben weil es keine Algorithmen gibt, komplizierte Aufgaben weil Aufwand und Störungen explodieren.

in den Unternehmen nicht nur quadratisch, sondern mindestens in vier Dimensionen gleichzeitig (Abbildung 9). Ein Ende dieses Komplexitätsanstiegs ist nicht absehbar.<sup>11</sup> Es ist also keineswegs ausgemacht, wer im Rennen schneller vorankommt: die Zunahme der Komplexität in den Unternehmen oder die Leistungsfähigkeit digitaler Technologien.

## Komplexität in den Unternehmen wächst in vier Dimensionen gleichzeitig



Inhalte und Grafik: Fraunhofer IAO.

Abbildung 9: Komplexität in den Unternehmen wächst in vier Dimensionen gleichzeitig<sup>12</sup>

### 4.1.2 Subjektivierung: Neue Rolle für die Beschäftigten

Unternehmen haben den Menschen als flexiblen Leistungsträger ausgemacht, der durch seine kreativen Fähigkeiten, seine Intuition und seine Erfahrungen den Erfolg im volatilen Kundenmarkt wesentlich beeinflusst (Müller 2006). Nur die Beschäftigten sind in der Lage, Innovationen zu gestalten und ungeplante Zustände vor Ort schnell und situativ zu bewältigen. Der Schlüssel liegt bei mehr Freiheitsgraden für die Beschäftigten und weniger Vorgaben und enge Kontrollen durch Organisation und Führung (Lohr 2008).

<sup>11</sup> Angetrieben vom Wettbewerb hat das Erreichen eines neuen Leistungsniveaus immer den Wunsch nach noch höherer Leistung ausgelöst. Neue Technologien können diese Wünsche wahr werden lassen, erhöhen aber ihrerseits den Wettbewerbsdruck – eine sich bis ins Unendliche verstärkende Feedbackschleife, solange Wettbewerbsdruck besteht und innovative Lösungen gestaltet werden können.

<sup>12</sup> Emergenz ist der Fachbegriff für ein nicht planbares Eigenleben soziotechnischer Systeme (Ernst 2009), verursacht etwa durch technische Fehler, unerwartet Nebeneffekte von IT oder Mitarbeiter, die sich nicht immer streng an Vorgaben halten.

Wie hängen Komplexität und die Rolle des Menschen im Unternehmen zusammen? Unternehmen, die der tayloristischen Lehre folgen, streben Unabhängigkeit von den handelnden Personen an, etwa durch personenunabhängige Stellenbildung, sachlich neutrale Prozessdefinition und rechnerisch prognostizierte Steuerungsvorgaben. Der beste bekannte Weg wird gesucht, festgeschrieben und für alle verbindlich angeordnet. Individuelle Vorgehensweisen oder Lösungen sind nicht vorgesehen. In den Produktionsbereichen wird dies oft als Standardisierung bezeichnet (VDI 2870 2012), in der wissenschaftlichen Literatur dafür der Begriff Objektivierung verwendet (Lohr 2008).

Das Gegenstück dazu ist die Subjektivierung (Lohr 2008). Die Kreativität und Qualifikation der Beschäftigten vor Ort, persönliche Einschätzungen und an Personen gebundene Erfahrungen werden für die Arbeit nutzbar gemacht. Die Beschäftigten bringen mehr eigenen Sinn sowie persönliche Stärken in die Arbeit ein. Vielfalt bei Vorgehensweisen und Lösungen wird zugelassen, Fremdkontrolle und Zwang werden reduziert. Die Menschen im Unternehmen erhalten mehr Selbstständigkeit und Eigenverantwortung.

Objektivierung/Standardisierung hat sich in ausreichend stabilen Märkten bewährt. Mit zunehmender Vielfalt, Volatilität und Innovationsgeschwindigkeit, aber auch wegen der zunehmenden Leistungsspreizung bei alternder Belegschaft brauchen die Unternehmen mehr Subjektivität. Durch menschliches Wissen werden die Grenzen formaler Planbarkeit erweitert (Pfeiffer 2007). Das trifft sich gut, weil auch die Ansprüche der Beschäftigten an die Individualisierung der Arbeit steigen.

Unter komplexen Bedingungen an der Objektivierung festzuhalten, ist kritisch. Eine Neujustierung der Synthese von Objektivierung und Subjektivierung steht an, sodass eine strategische Überprüfung und Entscheidung erforderlich ist. Welche Aufgaben im Unternehmen sind tatsächlich vorhersagbar, planbar und berechenbar? Nur diese Aufgaben können objektiviert und auf technische Systeme übertragen werden. Welche Umfänge sind komplex, also unsicher, unbestimmt und nicht vorhersagbar? Diese Aufgaben müssen subjektiviert, d.h. durch Menschen mit Entscheidungs- und Handlungsfreiheiten erledigt werden. Daran werden auch künstliche Intelligenz oder lernende Systeme auf absehbare Zeit nichts ändern. Wird versucht, Komplexität mit technischen Systemen zu beherrschen, wird das Unternehmen anfällig (Korge 2010). Die Systeme werden aufwändig und starr und der betriebliche Alltag durch unerklärliche Fehler empfindlich gestört. Innovationsprozesse ziehen sich endlos dahin und Verbesserungsprozesse stagnieren. Unangenehmerweise ist die Ursache dieser Defizite nicht einfach zu erkennen. Umständliche Prozesse, verpasste Chancen oder überdimensionierte Technologien werden von den Kunden nicht direkt angemahnt, sondern Fehler und Störungen werden oftmals den Menschen oder der Technik statt einer ungeeigneten Strategie angelastet.

Aus der Subjektivierung entstehen neue Chancen für alle Beteiligten. Für das Unternehmen resultieren Flexibilität, Wandlungs- und Innovationsfähigkeit, für die Beschäftigten Selbstverwirklichungs- und Partizipationsmöglichkeiten. Allerdings werden diese Chancen von Risiken begleitet (Kratzer u.a. 2003). Für die Beschäftigten wächst die Gefahr der Selbstaussbeutung.

Die Grenzen zwischen Arbeits- und Lebenswelt verschwimmen, wobei diese drohende Entgrenzung Arbeitszeit und Freizeit, Arbeitsort und Wohnort sowie die internen und externen Arbeitsmärkte betrifft. Langfristig liegt es auch im Interesse der Unternehmen, Selbstaussbeutung zu verhindern, da sie Gefahren für Gesundheit und psychische Regeneration mit sich bringt und damit den Erhalt der Arbeitsfähigkeit bis zur Rente beeinträchtigen kann.

#### 4.1.3 Organisation und Führung 4.0

Die Bewältigung von Komplexität wird mehr und mehr zur Aufgabe der Beschäftigten. Beschäftigte werden in Zukunft weniger als „MaschinenBEDIENER“ eingesetzt, sondern übernehmen die Rolle von Erfahrungsträgern, Entscheidern und Koordinatoren (Kagermann 2014). Diese Subjektivierung bedeutet keinen Verzicht auf Organisation und Führung, sondern deren Weiterentwicklung. Organisation wird zunehmend dezentrale Einheiten, Eigenverantwortung und individuelle Arbeit realisieren (Scherer/Pietsch 2007). Führung wird weniger durch enge Vorgaben und Kontrollen erfolgen, sondern über Vermittlung von Sinn sowie die Festlegung der Rahmenbedingungen und Ziele (Malik 2000; Gebhardt u.a. 2015).

### Organisations- und Führungskonzepte in Abhängigkeit von der Komplexität

	Komplexität		
	gering	hoch	sehr hoch
Strategie	Trennung von Planung und Ausführung	Delegation	Schnelle, dynamische Vernetzung
Kultur	Weisung und Kontrolle	Vertrauen	? Schwarmorganisation und Entgrenzung ?
Aufbauorganisation	Funktionale Arbeitsteilung	Prozessgerechte Bereiche	
Ablauforganisation	Zentrale Planung und Steuerung	Dezentrale Selbstorganisation	
Arbeitsorganisation	Einzelarbeit	(Teil)-Autonome Teamarbeit	
Führung	Hierarchie	Coaching	

Inhalte und Darstellung: Fraunhofer IAO.

#### Abbildung 10: Organisations- und Führungskonzepte in Abhängigkeit von der Komplexität

Bei geringer Komplexität (Flexibilitätsbedarf<sup>13</sup>) kann das Unternehmen entsprechend tayloristischen Prinzipien gestaltet werden und es erfolgt eine Aufteilung in geistige und körperliche Arbeit. Die Beschäftigten in der Produktion werden als austauschbare Ressourcen und

<sup>13</sup> In der Praxis wird statt Komplexität teilweise der Begriff Flexibilität verwendet, gefordert werden Zeit- und Variantenflexibilität, aber auch die Bewältigung von Veränderungen und Innovationen.

Produktionsmittel gesehen, deren Auslastung optimiert werden muss und die unproblematisch eingesetzt werden können wie jedes andere Werkzeug. Arbeit wird funktional geteilt, sodass kurze Ablaufabschnitte entstehen, die einzelnen Mitarbeitern zugeordnet werden. Zentrale Planung und Steuerung geben die Ausführung vor, übergeordnete Stellen erteilen untergeordneten Stellen Anweisungen. Eine ausgeprägte Hierarchie koordiniert und kontrolliert Ausführung und Leistungsziele.

Bei ausgeprägter Komplexität gestalten die Mitarbeiter die Ziele und die Prozesse des Unternehmens mit. Derartige Unternehmen sind durch Prozess- oder Projektorganisation und flache Hierarchien gekennzeichnet. Der Mensch als Leistungsträger steht im Mittelpunkt und es wird angenommen, dass die Beschäftigten vor Ort in der Lage sind, situativ gute Entscheidungen zu treffen. Dieses Menschenbild schafft Vertrauen. Hierarchien werden abgebaut, die Führungskräfte werden zu Coaches. Mehr Aufgaben und Verantwortung werden an die Mitarbeiter delegiert und in Teamarbeit ausgeführt.

Bei sehr hoher Komplexität wird ein noch höheres Maß struktureller Offenheit und schneller Vernetzung erforderlich, heute bekannte Organisations- und Führungskonzepte stoßen an Grenzen (Hirsch-Kreinsen u.a. 2015). Wenn Komplexität und Dynamik der Märkte Unternehmen zwingen, schnellstmöglich zu agieren und zu reagieren, wird eine Schwarmorganisation vorgeschlagen (Neef/Burmeister 2005). Die elementare Idee des Schwarm-Unternehmens heißt Selbstorganisation. Die Beschäftigten agieren eher wie Selbstständige, die sich je nach Auslastung und Kompetenz immer wieder neue Aufgaben suchen oder auf aktuelle Engpässe reagieren. Das Management konzentriert sich auf die Strategiearbeit, die Prozesse entstehen hingegen auf der operativen Ebene. Ein derartiges Organisationskonzept ist bisher allenfalls in Umrissen erkennbar (Hirsch-Kreinsen 2015a; siehe insgesamt Abbildung 10).

Sicherlich ist die Komplexität in vielen baden-württembergischen Produktionsunternehmen hoch. Sie wird aber in absehbarer Zukunft kaum so stark ansteigen, dass ein Bedarf an Schwarmorganisation in den Produktionsbereichen entsteht, denn die Bindung an Betriebsmittel und materielle Stoffströme setzt struktureller Offenheit und schneller Vernetzung Grenzen.

Hohe Komplexität braucht dezentrale, eigenverantwortliche Organisation und Führung. Der Umkehrschluss gilt dagegen nicht. Auch bei geringer Komplexität kann Subjektivierung funktionieren, das verdeutlichen die Beispiele zahlreicher erfolgreicher KMU, die nicht über ausgefeilte Organisation und Führungsstrukturen verfügen.

#### 4.1.4 Zwischenfazit

- Komplexität wird wohl in allen Unternehmen weiter ansteigen. Sehr fraglich ist, ob die schnell wachsende Leistungsfähigkeit digitaler Systeme diese steigende Komplexität in den Griff bekommen kann.
- Unternehmen müssen strategisch prüfen, welche Aufgaben tatsächlich planbar und berechenbar sind, denn nur sie können mit Aussicht auf Erfolg digitalisiert werden.

- Komplexe Aufgaben, die nicht digitalisiert werden können, müssen von den Beschäftigten vor Ort ausgeführt werden. Die Beschäftigten übernehmen Managementaufgaben, statt zentraler Planungs- und Steuerungsvorgaben benötigen sie Selbstständigkeit und Eigenverantwortung.
- Das bedingt eine strategische Entscheidung über die Rolle der Menschen im Unternehmen. Sollen Stellen personenunabhängig gebildet und Prozesse möglichst weitgehend standardisiert werden (Objektivierung) oder setzt das Unternehmen auf die Qualifikation und Erfahrung der Beschäftigten (Subjektivierung)?
- Subjektivierung erfordert in tayloristisch geprägten Unternehmen eine Weiterentwicklung der Organisations- und Führungskonzepte.

## 4.2 Wettbewerbsstrategie für globale Märkte

Zwei grundlegend unterschiedliche Wettbewerbsstrategien bieten sich für Produktionsunternehmen an (Porter 2008). Die Strategie der Kostenführerschaft ist darauf gerichtet, unter allen Wettbewerbern der günstigste zu sein. Der Preis dominiert, das Unternehmen verkauft Masse mit begrenzter Varianz. Dies erfordert eine gezielte und beständige Reduktion von Kosten und Aufwänden sowie Verbesserung der Produktion. Ideale Rahmenbedingungen für diese Kostenstrategie sind stabile Märkte mit Nachfrage nach billigen Produkten. Alternativ kann ein Unternehmen die Strategie der Differenzierung verfolgen. Verkaufsargument ist dann weniger der Preis, sondern der Gebrauchswert der Produkte für die Kunden, etwa Schnelligkeit, herausragende Produktqualität oder individuelle Lösungen. Die Produktion muss in diesem Fall auf Flexibilität, Vielfalt und Innovation ausgelegt werden.

Jedes Unternehmen sollte seine Wettbewerbsstrategie auf den Prüfstand stellen, denn der globale Wettbewerb fordert immer mehr Varianten und eine Erhöhung von Schnelligkeit, Flexibilität und Anpassungsfähigkeit. Eine geeignete Wettbewerbsstrategie ist nicht nur Grundlage für den Erfolg auf den Absatzmärkten, sondern auch Basis für das Digitalisierungskonzept, das der unternehmensspezifischen Realisierung von Industrie 4.0 zugrunde gelegt wird. Die Zukunftsbilder in Unterkapitel → 5.2 veranschaulichen, dass die beiden Wettbewerbsstrategien durch unterschiedliche Digitalisierungskonzepte unterstützt werden. Kostenführerschaft kann eher mit einer Substitution von Arbeit erreicht werden, Differenzierung erfordert Assistenz.

- Unternehmen sollten ihre Wettbewerbsstrategie regelmäßig überprüfen, wenn kundenspezifische Produkte und Prozesse zunehmen.
- Die strategische Frage nach Kosten- oder Differenzierungsstrategie ist zu stellen.

## 4.3 Arbeitsfähigkeit bis zur Rente

Der demografische Wandel macht es erforderlich, dass die Beschäftigten bis 67 arbeitsfähig bleiben. Die Basis dafür bilden körperliche und psychische Gesundheit, der Erhalt von Kompetenzen und Fähigkeiten durch lebenslanges Lernen sowie Motivation, Werte und Einstellungen der Beschäftigten. Dazu kommen die Arbeitsbedingungen, die in den vorigen Abschnitten behandelt wurden (siehe Abbildung 11).

### Das Haus der Arbeitsfähigkeit



Grafik Fraunhofer IAO nach Ilmarinen und Tempel 2002)

**Abbildung 11: Das Haus der Arbeitsfähigkeit**

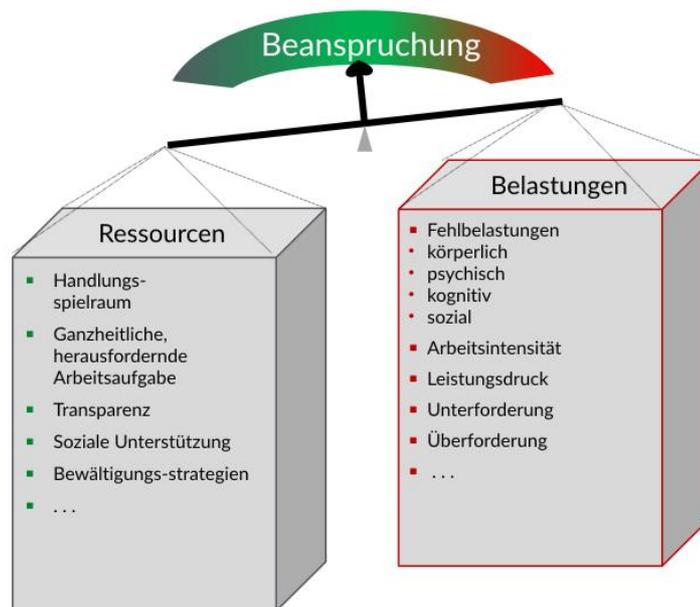
### 4.3.1 Gesundheit

Der demografische Wandel sowie der gesellschaftliche Megatrend zur Gesundheit drängen auf eine gesunde Gestaltung von Arbeit. Allerdings nehmen gesundheitliche Risiken in der Arbeit zu. Viele Beschäftigte empfinden die wachsende Geschwindigkeit von Innovation und Veränderungsprozessen, die Dynamik der Märkte sowie steigenden Leistungsdruck als gesundheitsgefährdende Belastung. Mitunter kommen dazu weitere Belastungen, etwa durch Störungen als Folge schlecht ausgeführter Technik.

Die Weltgesundheitsorganisation WHO definiert Gesundheit als Zustand des vollkommenen körperlichen, seelischen und sozialen Wohlbefindens und nicht der bloßen Abwesenheit von Krankheit oder Gebrechen (WHO 2003). Gesunde Arbeitsgestaltung kann nicht auf körperliche Ergonomie reduziert werden, sondern umfasst zusätzlich die Psyche, die geistige Fitness und soziale Faktoren.

Gesunde Arbeitsgestaltung zielt hauptsächlich auf Verhältnisprävention, das meint Gesundheitsvorbeugung durch geeignete Arbeitsbedingungen. Idealerweise werden Belastungen nicht minimiert, sondern optimiert, denn Überforderung verschleißt, aber Unterforderung schwächt. Des Weiteren setzt gesunde Arbeitsgestaltung den unvermeidbaren Belastungen gesundheitliche Ressourcen entgegen, die die Gesundheit der Menschen bei Belastungen schützen (Waller 2006; Abbildung 12).

## Ressourcen schützen die Gesundheit bei Belastungen



Inhalte und Grafik: Fraunhofer IAO.

Abbildung 12: Ressourcen schützen die Gesundheit bei Belastungen

### 4.3.2 Lebenslanges Lernen

Infolge des demografischen Wandels wird die Belegschaft immer älter. Gleichzeitig wächst die Geschwindigkeit, mit der neue Digitalisierungs- und Produktionstechnologien eingeführt werden. Die Beschäftigten müssen ständig dazulernen, ansonsten werden sie von der Unternehmensentwicklung abgehängt und sind schließlich nicht mehr lern- und leistungsfähig. In der Folge geht langfristig ihre Arbeitsfähigkeit verloren.

Regelmäßiges Lernen erhält die Leistungs- und Arbeitsfähigkeit, das liegt im gemeinsamen Interesse von Beschäftigten und Unternehmen (Bauer u.a. 2010). Nur ein Bruchteil dessen, was ein Mensch kann und weiß, hat er in Schulungen gelernt. Lernen findet überwiegend informell in der täglichen Arbeit durch aktive Beteiligung an Problemlösungs- und Verbesserungsprozessen statt (Dobischat/Düsseldorff 2013). Formale Schulungen können ergänzen und sind insbesondere bei der Einführung neuer Technologien zumeist erforderlich. Alle Beschäftigten können jederzeit lernen, sofern ein Lernanlass, zum Beispiel im kontinuierlichen Verbesse-

ungsprozess, vorhanden ist und das Lernen durch angemessene Herausforderungen und geeignete Rahmenbedingungen gefördert wird (Bauer u.a. 2010).

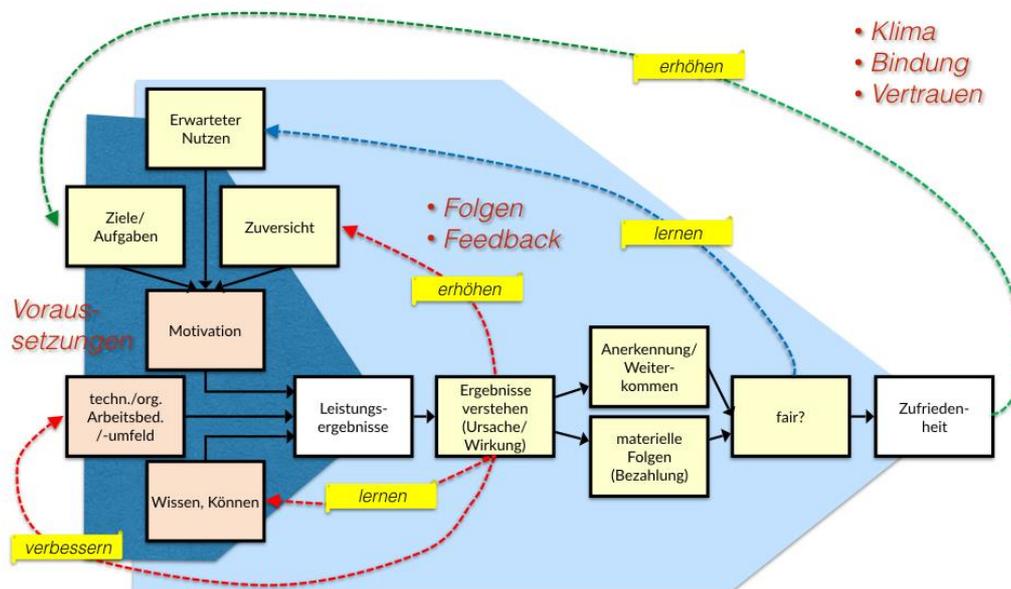
Eine lernförderliche Arbeitsgestaltung umfasst eine Vision, klare Strategien und Ziele, die den Sinn der Arbeit und die daraus abgeleitete Konsequenz eines permanenten Lernens zeigen. Sie begreift KVP als Kerngeschäft und als Möglichkeit, alle Beschäftigten in den ständigen Veränderungsprozess aktiv einzubinden. Beschäftigte, die die Probleme des Tagesgeschäfts lösen oder ihre Arbeitsabläufe immer wieder verbessern, lernen wirkungsvoll und nachhaltig. Hierbei nehmen die Führungskräfte im Rahmen ihres Kerngeschäfts eine verantwortungsvolle Rolle ein. Die Führung in der Produktion vor Ort wirkt als Treiber und Förderer ergebnisorientierten Lernens (= Problemlösung, Verbesserung und Zielerreichung) (Bauer u.a. 2010).

### 4.3.3 Motivation

Das Altern der Belegschaft sowie die Anhebung des Rentenalters erfordern Motivation über das gesamte Berufsleben hinweg. Innere Kündigung oder Flucht in die Frührente müssen vermieden werden.

Eine umfassende Motivationstheorie ist der Leistungs-Zufriedenheits-Motor nach Borg (2003; Abbildung 13). Mitarbeiter müssen wissen, was von ihnen erwartet wird, und die Leistungserwartungen verstehen. Das Umfeld muss passen (z.B. Arbeitsplatzbedingungen, Absprachen mit Kollegen). Die Befähigung der Beschäftigten muss systematisch entwickelt werden. Mitarbeiter müssen die Produkte ihrer Leistung zeitnah erkennen und auf sich selbst rückbeziehen, fest mit Folgen guter und weniger guter Leistungen rechnen können und diese Folgen müssen in einem vernünftigen Verhältnis zu ihren Ansprüchen und Erwartungen stehen. Belohnungen (und Sanktionen) müssen „recht und billig“ sein. Führungskräfte sollten versuchen, auf die Interessen ihrer Mitarbeiter einzugehen und legitime Ansprüche durch höfliche und respektvolle Behandlung zu erfüllen. Dabei geht es nicht nur um Geld und Anerkennung. Die Spielregeln sind einzuhalten und alle sind gleichermaßen fair zu behandeln.

## Leistungs-Zufriedenheits-Motor (vereinfachte Form nach Borg)



Inhalte und Grafik: Fraunhofer IAO.

Abbildung 13: Leistungs-Zufriedenheits-Motor

### 4.3.4 Zwischenfazit

- Wenn die Menschen länger arbeiten und der Nachwuchs knapp wird, müssen Beschäftigte bis zur Rente leistungsfähig bleiben.
- Bei Jung und Alt müssen körperliche und psychische Gesundheit, lebenslanges Lernen und Motivation gefördert werden.
- Der Mensch steht im Mittelpunkt des Unternehmens, seine Anforderungen werden gleichberechtigt neben diejenigen der Kunden und der Stakeholder gestellt.

### 4.3.5 Unklare Auswirkungen auf Beschäftigung

In Bezug auf Beschäftigung stellen sich für Unternehmen die Fragen, welche Qualifikationen die Beschäftigten in der Produktion zukünftig brauchen und ob ausreichend Arbeitskräfte am Arbeitsmarkt verfügbar sein werden.

Bezüglich der Qualifikationen ist die Literatur uneinig, ob ihre generelle Erhöhung eintritt oder Facharbeiter und Angelernte de-qualifiziert werden (Upgrading- oder Polarisierungs-Hypothese, siehe auch Abschnitt → 5.1.2). Sicher scheint, dass die zunehmende Digitalisierung IT-Kenntnisse bei allen Beschäftigten wohl erforderlich macht. Bei der Einführung neuer Technologien müssen alle Betroffenen geschult werden (Teilstudie der Universität Hohenheim: Pfeiffer u.a. 2016, Unterkapitel → 3.2).

In Bezug auf die Verfügbarkeit von Arbeitskräften im Arbeitsmarkt wirken mehrere Einflüsse in gegensätzliche Richtungen. Digitalisierung könnte Arbeitskräfte als Folge von Produktivitätssteigerungen einsparen. Andererseits stehen angesichts des demografischen Wandels weniger Arbeitskräfte zur Verfügung. Der Umfang von Zuzug von Zuwanderern und die Chance zu deren Qualifizierung für den Arbeitsmarkt sind unklar. Vor allem aber sind Veränderungen der Wettbewerbsfähigkeit baden-württembergischer Produktionsunternehmen nicht vorhersehbar.

Weltweit liegen bereits erste qualitative und quantitative Studien mit teils erheblich abweichenden Aussagen vor. Im Ergebnis sind durch die Digitalisierung und Automatisierung von Arbeitstätigkeiten bzw. Berufen je nach Studie in Deutschland über die nächsten 20 Jahre 18 Millionen Arbeitsplätze stark gefährdet oder es werden 350000 Arbeitsplätze aufgebaut (Abbildung 14).

## Abschätzungen zur Auswirkung von Digitalisierung und Automatisierung auf Beschäftigung



Quellen: Frey/Osborne (2013); Bowles 2014); ING DiBa (2015); Bonin u.a. (2015), BCG (2015), IAB (2015), WEF (2016). Grafik:IAO.

Abbildung 14: Auswirkung von Digitalisierung und Automatisierung auf Beschäftigung

Es kann kaum prognostiziert werden, ob zukünftig mehr Arbeitskräfte als in den Unternehmen benötigt zur Verfügung stehen oder ein Arbeitskräftemangel entsteht. Wenn ausreichend Arbeitskräfte zur Verfügung stehen, kann die Personalpolitik in den Unternehmen weitergeführt werden wie bisher. Falls ein Arbeitskräftemangel entsteht, resultiert ein Kampf um Arbeitskräfte, der die Verhandlungsmacht verschiebt. Dann sind Unternehmen auf eine attraktive Gestaltung der Arbeit angewiesen.

## 5 Entwicklungsszenarien

Wie entwickelt sich Arbeit im Maschinenbau von Baden-Württemberg? Entsprechend der Literatur kann Digitalisierung in zwei gegenläufige Richtungen weisen, nämlich zum technologiezentrierten Automatisierungskonzept und zum Assistenzkonzept. Auch bezüglich der Arbeits- und Qualifikationsanforderungen sehen die Experten zwei mögliche Entwicklungsrichtungen, nämlich Polarisierung oder Upgrading. Vor der Darstellung möglicher Zukunftsbilder werden die alternativen Entwicklungsrichtungen kurz herausgearbeitet.

### 5.1 Alternative Entwicklungsrichtungen

#### 5.1.1 Digitalisierungskonzepte

Bei der Unterscheidung der Digitalisierungskonzepte spielt die Aufgabenteilung zwischen Mensch und Maschine eine zentrale Rolle. Sie entscheidet darüber, ob der Mensch als verlängerter Arm der Maschine oder die Maschine als verlängerter Arm des Menschen eingesetzt wird (Windelband 2014).

##### 5.1.1.1 Substitution

Ein Digitalisierungskonzept könnte die überwiegende Ersetzung von Tätigkeitsfeldern durch die Automatisierung mit digitalen Maschinen sein (Deuse 2015). Der höchste Grad an Automatisierung in der Produktion wäre erreicht, wenn dezentrale Produktionsressourcen völlig selbstständig arbeiten. Auch die Kontrolle und Steuerung der Produktionsabläufe wird dann gänzlich von Maschinen übernommen, die sich selbst steuern, rüsten und reparieren. Bis dieses Ziel einer menschenleeren Fabrik erreicht ist, füllen Menschen die Lücken der Automatisierung. Der Mehrheit der Beschäftigten in der Produktion bleiben lediglich ausführende Tätigkeiten, die entweder zu kostenintensiv oder schwierig bis nicht automatisierbar sind. Menschen müssen nur noch generelle Kontrollen durchführen, da die Maschinen ihre Fehler selbst erkennen. Begründet in einer voll umfänglichen Vernetzung und der Selbststeuerung der Produktion kann auch davon ausgegangen werden, dass Beschäftigte lediglich die nötigsten Informationen bekommen und durch intelligente Produktionen gelenkt werden (Ahrens/Spöttl 2015).

##### 5.1.1.2 Assistenz

In diesem Digitalisierungskonzept dient die Maschine als verlängerter Arm des Menschen und Digitalisierung stellt ein Werkzeug dar, das den Menschen unterstützt. Im Detail wird unterschieden zwischen Werkzeugszenario (Windelband 2014), Spezialisierungsszenario (Windelband/Dworschak 2015) und Hybridszenario (Ahrens/Spöttl 2015). Bei einer Entwicklung, wie sie die Assistenz vorsieht, liefern die neuen Technologien dem Menschen eine unterstützende Entscheidungshilfe. Das bedeutet, dass Beschäftigten in der Produktion ein wesentlich höheres Kontingent an Entscheidungen zukommt als bei der Substitution. Die Menschen übernehmen Aufgaben wie Prozessoptimierungen und Störungsbeseitigungen. Auch bei Assistenz werden

Automatisierungen stattfinden, beispielsweise um monotone oder schwierige Tätigkeiten zu eliminieren.

## 5.1.2 Arbeits- und Qualifikationsanforderungen

Die beiden Hypothesen zur Zukunft der Arbeits- und Qualifikationsanforderungen unterscheiden sich darin, ob die Arbeits- und Qualifikationsanforderungen für alle Beschäftigten ansteigen (Upgrading) oder ob es auch Gruppen gibt, deren Anforderungen sinken (Polarisierung).

### 5.1.2.1 Upgrading

Bei der Upgrading-Hypothese steigen die Arbeits- und Qualifikationsanforderungen bei allen Beschäftigtengruppen als Folge der Informatisierung von Arbeit (Hirsch-Kreinsen 2015b). Ausgegangen wird von einer steigenden Verfügbarkeit an Informationen, die einen hohen Grad an Diversität aufweisen. Durch die Nutzung dieser komplexen Informationen werden neue Anforderungen an Tätigkeiten gestellt. Aus Digitalisierung entsteht zusätzlich die Anforderung, Prozesse und Systemzusammenhänge zu verstehen. Upgrading schließt eine fortschreitende Automatisierung einfacher Tätigkeiten, die damit weitgehend substituiert werden (*Skill-biased technical change*), nicht aus. Dann sind nur die Beschäftigtengruppen, die bereits über hohe und umfangreiche Qualifikationen verfügen, die Gewinner der Verwendung digitalisierter Technologien (Hirsch-Kreinsen 2015b). Aber auch auf der Ebene der Geringqualifizierten gibt es komplexe, teilweise selbstgesteuert zu bewältigende Anforderungssituationen (Galiläer/Zeller 2006). Dort vollzieht die einfache Arbeit eine Entwicklung hin zu einer Arbeit, bei der Arbeiter eine breitere Wissens- und Könnens-Basis besitzen. Geringqualifizierte, deren Arbeit nicht substituiert wird, brauchen in modernen Arbeitsumgebungen sowohl eine Fachkompetenz als auch eine Prozesskompetenz.

### 5.1.2.2 Polarisierung

Eine gegenläufige Hypothese ist durch eine zunehmende Polarisierung von Arbeits- und Qualifikationsanforderungen gekennzeichnet. Das Qualifikationsniveau verschiebt sich jeweils nach unten und oben. Produktionsaufgaben auf dem mittleren Qualifikationsniveau werden als Ergebnis einer informationstechnischen Automatisierung eliminiert (Kinkel u.a. 2008). Bei dieser Entwicklung wird mit einem Anstieg hochqualifizierter Tätigkeiten, die in besonderem Maße kognitive Fähigkeiten voraussetzen, gerechnet. Gleichzeitig findet eine Erosion der mittleren Facharbeiterebene, verbunden mit Substitutions- und De-Qualifizierungsprozessen von Facharbeit statt, sodass nur noch Einfacharbeit statt Facharbeit in den Produktionsbereichen verbleibt.

## 5.2 Zukunftsbilder

Durch Kombination der in der Literatur prognostizierten Entwicklungsrichtungen entstehen vier mögliche Zukunftsbilder (Abbildung 15). Sie beschreiben denkbare Situationen in einer unbestimmten Zukunft. Für die vier betrachteten Profile (Monteur/-in, Maschinenbediener/-in, Logistiker/-in und Disponent/-in) sind die Beschreibungen weitgehend deckungsgleich.

### Zukunftsbilder fürProduktionsarbeit

	Polarisierung	Upgrading
Assistenz	<p><b>Angelerntenproduktion</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Prozessinformatiker</u> gestalten Easy-to-use-Assistenzsysteme</li> <li>• Ingenieure gestalten einige Low-Cost-Automatisierungen</li> <li>• Angelernte produzieren, angeleitet durch Assistenzsysteme</li> <li>• Sie werden von der Technik gesteuert, angeleitet und überwacht</li> <li>• Qualität wird technisch abgesichert</li> </ul> 	<p><b>Facharbeitsproduktion</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ein schlankes <u>Engineering</u> gestaltet eine Automatisierung für zuverlässig und wirtschaftlich automatisierbare Umfänge</li> <li>• Prozessinformatiker realisieren Assistenzsysteme</li> <li>• Facharbeiter halten die Automatisierung am laufen und führen, unterstützt durch Assistenzsysteme, kleine Reparaturen aus</li> <li>• und führen die verbliebenen Produktionsaufgaben aus</li> <li>• Technik dient als Werkzeug, das von den Einrichtern kontrolliert wird</li> </ul> 
Substitution	<p><b>Vollautomatisierung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• (Externe) <u>Ingenieure</u> gestalten eine Vollautomatisierung in Fertigung, Montage und Logistik (menschlenlere Anlage mit minimaler Störanfälligkeit)</li> <li>• Maschinen und Anlagen steuern und überwachen sich selbständig</li> <li>• „Hausmeister“ betreuen mehrere automatisierte Systeme (z.B. an- und abschalten oder durchfegen)</li> </ul> 	<p><b>Prozessbetreuung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• (Externe) <u>Ingenieure</u> gestalten eine möglichst weitgehende Automatisierung</li> <li>• <u>Prozesstechniker</u> vor Ort betreiben, warten und optimieren die Automatisierung, unterstützt durch Assistenzsysteme und Remote-Access mit den Herstellern</li> <li>• und führen die sehr wenigen nicht automatisierbaren Produktionsaufgaben durch (z.B. Teilomagazine austauschen)</li> </ul> 

Inhalte und Grafik: Fraunhofer IAO.

AXK

Abbildung 15: Zukunftsbilder für Produktionsarbeit

Die Zukunftsbilder wurden durch interdisziplinär besetzte Experteninterviews abgesichert, validiert und bewertet. Die Einteilung wurde von den befragten Experten als plausibel empfunden und fügt sich in den aktuellen Diskurs ein. Die Zukunftsbilder liegen eng beieinander, sind aber klare Gegenkonzepte. Sie sind gut aufgebaut und übersichtlich. Alle Zukunftsbilder werden eintreten – abhängig von der Branche, vom Betrieb und von den Zeiträumen.

Die Experten äußerten, dass die Zukunftsbilder nicht nur als Situationsbeschreibungen, sondern auch als Entwicklungsprozesse verstanden werden können, die einer Unternehmensstrategie folgen. Ein Migrationspfad könnte beispielsweise der Weg von der Facharbeitsproduktion über die Prozessbetreuung hin zur Vollautomatisierung sein. Eine Pfadabhängigkeit muss berücksichtigt werden, denn Entscheidungsprozesse hängen auch von der Vergangenheit sowie von Interessen und Notwendigkeiten der Stakeholder ab. Beispielsweise ist eine Anschlussfähigkeit an Lean-Management sowie eine Integration in das soziotechnische System erforderlich, außerdem gibt es ökonomische Prioritäten.

## 5.3 Zukunftsbild „Angelerntenproduktion“

In diesem Zukunftsbild dominiert Technik über den Menschen. Eine Angelerntenproduktion halten die Experten für plausibel und wahrscheinlich. Für bestimmte Produktionsaufgaben ist eine Angelerntenproduktion realistisch, teilweise wird sie heute schon umgesetzt. Sie eignet sich insbesondere bei nicht einfach zu automatisierenden arbeitsintensiven Arbeitsprozessen, etwa bei der Produktion individueller Produkte. Fachkräftemangel und Zuwanderung könnten das Szenario begünstigen. Ein Experte wies allerdings am Beispiel der U.S.A. darauf hin, dass eine Angelerntenproduktion eventuell nicht in Reinkultur eingeführt wird. Erfahrungen mit der Einführung intensiv führender Assistenzsysteme zeigen, dass Fachleute die Qualität absichern müssen.

### 5.3.1 Voraussetzungen

Erforderlich sind Easy-to-use-Assistenzsysteme und teilweise eine technische Absicherung der Qualität. Die erforderliche Assistenz ist technisch höchst anspruchsvoll. Die Frage stellt sich, wie man kostengünstige Assistenzsysteme für Varianten geteacht bekommt – ein Prozess, der heute nicht von Un- und Angelernten ausgeführt wird. Eine Hürde besteht darin, Produktionswissen, vor allem nicht explizites Wissen, zu erschließen, in digitale Plattformen zu überführen und zu formalisieren. Unklar ist, wie gewerbliche Kompetenz (z.B. Umgang mit Materialien) abgegriffen, übertragen und für Digitalisierung nutzbar gemacht werden kann. Die Debatte um Wissensübertragung war früher schon Thema bei der Einführung rechnergestützter (CNC-)Werkzeugmaschinen. Allerdings sind nicht immer hochmoderne Assistenzsysteme notwendig. Wissen kann auch mit einfachen technologischen Mitteln formalisiert und abgebildet werden. Beispiele sind Filme (*Utility Films*), CAD-Visualisierungen oder *Augmented Reality*.

### 5.3.2 Chancen

Aus Sicht der Unternehmen ermöglicht die Angelerntenproduktion eine einfache Skalierung von Kapazitäten mit austauschbaren Angelernten. Man kann Beschäftigte dem Kapazitätsbedarf entsprechend einsetzen, mit Leiharbeitern etwa kann schnell und hoch skaliert werden. Billige Arbeitskräfte ermöglichen eine erhebliche Effizienz. Arbeitspolitisch ist eine Angelerntenproduktion möglicherweise wünschenswert, um Geringqualifizierte in Lohn und Brot zu halten bzw. in Arbeit zu bringen. Außerdem entstehen anspruchsvolle neue Aufgaben für Planer und Gestalter. Polarisierung muss nicht negativ sein, da sich nicht jeder kreativ und technisch einarbeiten kann oder will. Langfristig ist nicht ausgeschlossen, dass aus einer Angelerntenproduktion höherwertige Arbeiten resultieren. Wenn beispielsweise Angelernte Roboter steuern, indem sie vormachen und der Roboter nachmacht, entstehen anspruchsvolle Aufgaben für Angelernte, nicht nur kontrollierte Arbeit. Innovationen von unten können entstehen und der Wert der Mitarbeiter steigen. Gut gestaltete Assistenzsysteme können die Entwicklung von Mitarbeitern begleiten und mit wachsender Erfahrung zurücktreten.

### 5.3.3 Risiken

Monotonie und Standardisierung begrenzen Attraktivität, Motivation und Individualisierung der Arbeit in einer Angelerntenproduktion Die Tätigkeiten sind eng eingegrenzt, stark kontrolliert und ermöglichen nur wenig dispositive Freiräume. Eine Überwachung, die Privatsphäre am Arbeitsplatz ausschließt, droht. Fehlen von Lernanreizen aufgrund überwachter Einfacharbeit schränkt die zukünftige Flexibilität des Unternehmens ein. Die Kosten im Überbau steigen, ein großer Stamm an Engineering-Experten im Unternehmen, die programmieren, aber auch organisatorisch einbetten, wird entstehen. Das Erfahrungswissen wandert weg vom betrieblichen Hallenboden zu den Gestaltern. Das behindert Innovationsfähigkeit, Weiterentwicklung der Prozesse und flexible Reaktionen auf Veränderungen der Rahmenbedingungen, besonders bei Sprunginnovationen. Auch sind mit Angelernten kaum wirkungsvolle Verbesserungsprozesse möglich. Qualität ist technisch nur schwierig abzusichern, dazu ist die Welt zu komplex. Volkswirtschaftlich besteht das Risiko, dass Arbeit ohne Qualifikation abwandert.

## 5.4 Zukunftsbild „Facharbeitsproduktion“

Im Zukunftsbild der Facharbeitsproduktion dominiert der Mensch über die Technik. Er muss handelnd eingreifen, etwa um Fehler zu beseitigen. Facharbeiter, aber auch erfahrene Angelernte mit jahrelanger Erfahrung werden zu Managern. Dafür brauchen sie Handwerkszeug, Assistenz gewinnt an Boden. Qualifikation ersetzt Planung. Die Experten halten das Zukunftsbild für plausibel. Es handelt sich um die am schnellsten zu realisierende Entwicklungsrichtung. Eine Facharbeitsproduktion eignet sich insbesondere für komplexe, variantenreiche Produkte, kundenspezifische Umfänge und kleine Lose, die nicht in Serie produziert werden.

### 5.4.1 Voraussetzungen

Andere Kompetenzen als heute sind notwendig, vor allem mehr Digitalisierungskompetenz. Komplexe Produktionssysteme am Laufen zu halten, erfordert differenzierte Teams und eine neue Art der Teamarbeit. Die Arbeitsorganisation muss angepasst werden, sonst resultieren Frustrationserlebnisse. Auch Assistenzsysteme für Facharbeiter sind technisch höchst anspruchsvoll. Sie sind eher an Personen als an den Arbeitsplatz gebunden und müssen offen, mobil und adaptiv gestaltet werden. Sie brauchen Eingriffsmöglichkeiten für das Erfahrungswissen und das Arbeitsvermögen der Beschäftigten. Technisch aufwändig sind auch Erklärungskomponenten, um die Kausalität von Eingang und Lösung aufzuzeigen. Kausale Zusammenhänge sind in Prozesssimulationen verständlich, bei neuronalen Netzen wird das schwieriger. Allerdings sind auch bei Assistenzsystemen für Facharbeiter nicht nur hochtechnische Funktionen erforderlich, sondern auch Kommunikation oder Kalender. Ein kritischer Punkt ist die Sicherheit in der Kollaboration mit physischen Assistenzsystemen (bspw. Robotern), weniger in der technischen Machbarkeit, sondern hinsichtlich der rechtlichen Zulassung.

## 5.4.2 Chancen

Eine Facharbeitsproduktion ermöglicht Effizienzgewinn, vor allem bei variantenreicher Produktion. In der Facharbeitsproduktion gibt es erfahrene Ansprechpartner für die Gestalter, das ermöglicht hohe Innovationsgeschwindigkeit und Flexibilität. Mitarbeiter werden besser eingebunden und können ihre Arbeit beeinflussen, dadurch bringen sie sich mit guter Arbeit, Engagement und mit Ideen ein. Diese Einbindung hilft, Ideen zu formalisieren, sodass ein Wissensrückfluss in die Assistenzsysteme erfolgt. Wissen wird gespeichert und verteilt. Innovation ist möglich. Verbesserungsprozesse können digital abgebildet werden. Neue Berufe könnten entstehen. Arbeitspolitisch scheint dies aus heutiger Sicht die wünschenswerteste Perspektive zu sein.

## 5.4.3 Risiken

Eine Facharbeitsproduktion funktioniert nicht, wenn die zugrunde liegenden Verantwortlichkeiten nicht verstanden werden. Wenn die Mischung zwischen Automatisierung und manueller Arbeit unklar ist, entsteht ein chaotisches System mit missverständlichen Verantwortlichkeiten. Wenn zu viel Einfacharbeit verbleibt, resultiert eine Ironie der Automatisierung, denn einfache Arbeit und komplexe Problemlösung passen nicht zusammen. Es stellt sich die Frage, ob diesbezüglich alle Beschäftigten qualifikatorisch genügend weit aufgewertet werden können. Vermutlich werden nicht alle Ungelernten diesen Transformationsprozess bewältigen, sodass eine Abhängigkeit von Automatisierung und Assistenzsystemen entsteht. Bei Fehlern und Störungen ist kein Experte ansprechbar.

## 5.5 Zukunftsbild „Vollautomatisierung“

Die Vollautomatisierung ist nahe an der menschenleeren Fabrik. Der in diesem Zukunftsbild benötigte Mitarbeiter ist kein Universaltalent; ihm fehlt die Qualifikation, um die komplexe Automatisierung zu verstehen. Das Szenario ist nicht unrealistisch, derartige Produktionen existieren schon seit Jahrzehnten. Beispiele sind die SMD-Fertigung<sup>14</sup> oder der Karosseriebau. In weiten Bereichen wäre die Vollautomatisierung heute technologisch möglich, ist aber noch teuer. Derzeit erfolgt vielfach die Vernetzung von Automatisierungseinseln. Als nächster Schritt werden massive Fortschritte im Bereich des maschinellen Lernens erwartet. Mit jedem Schritt verändert sich die Wirtschaftlichkeit der Lösungen, weil diese zwar komplexer, aber auch billiger werden. Langfristig übernehmen Serviceroboter bzw. Sensorik die Aufgaben der noch verbliebenen Mitarbeiter. Für künstliche Intelligenz (KI) ist die Fülle der unterschiedlichen Aufgaben herausfordernd, auf absehbare Zeit scheint das nur für abgrenzbare, stark formalisierte und reproduzierbare Aufgaben zu funktionieren, zum Beispiel für die Massenfertigung einfacher Produkte.

---

<sup>14</sup> SMD (*Surface-Mounted Device*) ist eine Produktionstechnologie bei der Leiterplattenfertigung.

### 5.5.1 Voraussetzungen

Eine Vollautomatisierung erfordert eine umfassende, autonome und stabile Automatisierung in der ganzen Breite mit einer Echtzeitvernetzung der betroffenen Einzelsysteme. Das scheint in absehbarer Zukunft allenfalls in Nischen für einfache Aufgaben realisierbar, etwa in den Bereichen der Halbleitertechnologien, einfachen Vormontagen und in Teilumfängen der Logistik, z.B. Milkrun. Für die breite Anwendung ist dieses Szenario sehr unrealistisch, auch als längerfristige Vision. Erforderlich sind weitgehend standardisierte Produkte und Prozesse mit großer Wiederholungszahl und langer Lebensdauer. Ein bedeutsames Thema ist die Störungsfreiheit, da sich bei verketteten Systemen Fehlerwahrscheinlichkeiten multiplizieren. Roboter, die Roboter reparieren, bleiben in der flächendeckenden betrieblichen Praxis der Produktion eine Vision und Roboter, die Roboter konstruieren, ein Forschungsthema. Notwendig ist weiterhin ein zuverlässiger Fernzugriff auf externe Spezialisten. Zusätzlich werden neben externen Spezialisten unternehmensinterne Verantwortliche benötigt. Veränderungen und Entscheidungen müssen unternehmensintern verstanden werden, um externe Experten zu orchestrieren. Dazu kommt die Klärung rechtlicher und organisatorischer Fragestellungen, z.B. wem im Service die Daten und damit erzeugte Mehrwerte gehören.

### 5.5.2 Chancen

Aus Sicht der Unternehmen ermöglicht Vollautomatisierung immense Produktivitätspotenziale durch die Einsparung von Arbeitskräften, wenn sie gelingt. Effizienz und Kostenreduktion können die internationale Wettbewerbsfähigkeit verbessern. Vollautomatisierte Anlagen könnten (wie zum Teil bereits heute) zum Exportschlager werden. Für den Standort Deutschland wäre dies positiv, weil das vorhandene Automatisierungswissen und die Frontendgestaltung genutzt werden können.

### 5.5.3 Risiken

Eine Vollautomatisierung ist sehr komplex. Problematisch ist ihre Störanfälligkeit. Bei Mängeln drohen eine schlechte Gesamtanlageneffektivität und der starke Anstieg indirekter Aufwände. Vollautomatisierung beinhaltet große Schwierigkeiten bei Flexibilität und Skalierbarkeit. Die Systeme sind starr und lethargisch, Innovationen sind aufwändig. Auch weiterhin wird es nicht automatisierbare Tätigkeiten geben. Eventuell werden sie aufgrund einer wirtschaftlichen Fertigung bei zunehmender Anzahl an Varianten sogar zunehmen. Arbeitspolitisch wäre eine Vollautomatisierung nur bei Vollbeschäftigung wünschenswert. Ansonsten stellt sich die Frage, was Geringqualifizierte und Facharbeiter machen, die diese Tätigkeiten heute ausführen. Der Mensch wird zum Lückenfüller unvollständiger Automatisierung. Eventuell werden KMU abgekoppelt, da sie oft nicht über die erforderlichen Investitionsmöglichkeiten verfügen. Zudem erfordern ihre typischen Produktionsaufgaben große Flexibilität und Dynamik. Die Produktion extrem zu automatisieren, führt eventuell in eine Sackgasse. Zum einen geht der Bezug zur Produktionstechnik verloren, sodass häufig externe Experten benötigt werden, etwa bei Störungen und Veränderungen. Das kann zum Engpass werden und das eigene Wissen geht verlo-

ren. Für die Systemsicherheit bestehen mit Verselbstständigung der Technik, Datenklau und Hackerangriffen Gefahren. Zum anderen ist fraglich, ob eine Vollautomatisierung der richtige Weg für Deutschland ist. Unsere wichtigsten Rohstoffe sind heute das Wissen und die Bildung der Menschen. Aktuell bauen Hersteller von Automatisierung derartige Systeme vorrangig für den Export. Im Vergleich zu internationalen Standorten erreicht Vollautomatisierung in Deutschland nicht dasselbe geringe Kostenniveau, z.B. wegen der bestehenden Regularien in den Bereichen Maschinensicherheit, Umwelt- und Energiemanagement.

## 5.6 Zukunftsbild „Prozessbetreuung“

Dieses Zukunftsbild ist sehr wahrscheinlich, eventuell als Zwischenstufe auf dem Weg zur Vollautomatisierung. Herausfordernd ist hier die Gestaltung der Informationstechnologie, insbesondere der Software. Das Zukunftsbild der Prozessbetreuung benötigt Mitarbeiter, die Automatisierungstechnik verstehen und am Laufen halten. Das damit einhergehende Aufgabenprofil reicht weit über das der klassischen Instandhaltung hinaus. Der heute typische Instandhalter ist Mechaniker oder Elektriker ohne Informatikausbildung. Folglich bedarf es einer entsprechenden Ausbildung oder Assistenz. Aber auch Assistenz kann heute vor allem mechanisch und elektrisch unterstützen, jedoch häufig keine Programmierfehler lokalisieren. Die Entwicklung sich selbst heilender Software dauert noch an. Zu beachten ist, dass lernende Systeme zunächst lange laufen müssen, um ausreichende Erfahrungen zu sammeln.

### 5.6.1 Voraussetzungen

Voraussetzung für das Zukunftsbild „Prozessbetreuung“ ist eine möglichst umfassende, autonome und stabile Automatisierung. Geeignet sind hoch standardisierte Produkte und Prozesse. Die Prozesstechniker benötigen eine breite Qualifikation mit Automatisierungskompetenz vor Ort. Es erfordert eine neue Teamarbeit, um solche komplexen Produktionssysteme am Laufen zu halten.

### 5.6.2 Chancen

Aus Unternehmenssicht sind hohe Produktivitätsgewinne durch eine hohe Einsparung von Arbeitskräften möglich. Im Vergleich zu den beiden Zukunftsbildern aus dem Bereich der Assistenz wird „die Mühsal der Arbeit weitestgehend abgeschafft“. Neue Berufe könnten entstehen. Gesamtgesellschaftlich würden Lösungen erforderlich, welche die Umverteilung der Besteuerung von Arbeit zum Ziel haben (bspw. eine Maschinensteuer). Nationale Lösungen werden hier schwierig und bei Einführung einer Maschinensteuer stellt sich überdies die Frage, warum die Maschinen in Deutschland stehen sollten.

### 5.6.3 Risiken

Eine weitestgehende Vollautomatisierung ist sehr komplex. Skalierbarkeit und Flexibilität sind gering, Innovation aufwändig. Berufe fallen weg. Was machen Geringqualifizierte und Facharbeiter, die diese Tätigkeiten heute ausführen? Für Prozesstechniker besteht die Gefahr der

Überbelastung. Sie wären als „Engpass-Verantwortliche“ immer im Einsatz bzw. in Bereitschaft und müssten ständig aufmerksam sein. Durch den hohen Automatisierungsgrad, zu erwartende geringe Eintrittswahrscheinlichkeiten von Störungen und potenzielle Schadenshöhen beim Eintreten von Schäden steigt die Gefahr des Verlusts der Handlungskompetenz bzw. der Selbstsicherheit im Störfall (Ironie der Automatisierung).

## 5.7 Industrie 4.0 wird vielfältig und ist beeinflussbar

Die Produktionsaufgaben, Arbeitssysteme und Abläufe im baden-württembergischen Maschinenbau sind sehr vielfältig. Die Zukunftsbilder spiegeln diese Vielfalt wider. Es ist zu erwarten, dass auch eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Industrie-4.0-Lösungen entstehen wird. Die Entwicklung zukünftiger Produktionsarbeit wird keineswegs durch die Technologien zwingend vorgegeben, vielmehr bestehen für Manager, Arbeitnehmer, Technikentwickler oder Politik zahlreiche Einflussmöglichkeiten, die es zu nutzen gilt.

# 6 Use-Case-basierte Thesen zur Arbeitswelt 4.0

Auf Basis der hier vorgestellten Ergebnisse der Use-Cases und der quantitativen Analysen der zweiten Teilstudie (Pfeiffer u.a. 2016) werden gemeinsam mit der Universität Hohenheim erste datenbasierte Thesen zu einem Gesamtbild der Arbeitswelt 4.0 entwickelt (Pfeiffer/Schlund u.a. 2016). An dieser Stelle werden die Use-Case-basierten Einzelergebnisse dargestellt.

## 6.1 Lean-Management und Digitalisierung

Es bedarf keines Blicks in die Glaskugel, um Wandel in der Arbeit zu erkennen. Schon seit einigen Jahrzehnten wird die Arbeitswelt maßgeblich von Veränderungen geprägt, die sowohl den Arbeitsgegenstand als auch die Arbeitsmittel und die Arbeitsorganisation betreffen, immer dynamischer werden und dabei die entsprechenden Kompetenzen von den Beschäftigten abverlangen.

Der Blick in die Unternehmen deutet darauf hin, dass sich organisational vor allem Ansätze des Lean-Managements in den Produktionsbereichen auf breiter Basis durchgesetzt haben (siehe Unterkapitel → 2.4). Lean-Management ist seit vielen Jahren das Rationalisierungskonzept der Wahl in den Produktionsbereichen deutscher Unternehmen. Wichtige Lean-Prinzipien sind die Reduzierung von Verschwendung im Produktionsprozess, die Prozessorientierung entlang der Wertschöpfungskette sowie die Visualisierung und Standardisierung von Arbeitsschritten. Die aktuelle Ausprägung des Lean-Managements sind die sogenannten Ganzheitlichen Produktionssysteme (GPS; Adami u.a. 2008). Sie bilden den Ordnungsrahmen für die Gestaltung und den Betrieb von Produktionsarbeit. Die Anwendung der Lean-Prinzipien hat die Produktivität erheblich erhöht und den Zielkonflikt zwischen Zeit, Qualität und Kosten entschärft. Aufgrund dieser spürbaren Erfolge sind GPS in vielen Unternehmen fest verankert und für die Produktionsbereiche tatsächlich handlungsleitend.

Alle Use-Cases basieren auf den Lean-Prinzipien der Trennung von Wertschöpfung und Logistik, der Standardisierung sowie von Ordnung und Sauberkeit. Transparenz für die Mitarbeiter wird durch Beschriftungen, Kennzeichnungen oder einfache Listen hergestellt, oft geschieht dies vor Ort noch weitgehend ohne EDV. Einzelarbeitsplätze wurden zu manuellen Multi-Produkt-Systemen integriert, in der Montage überwiegend als U-Linien<sup>15</sup> ausgeführt. Nur bei einfachen Rennerprodukten mit hoher Stückzahl wird eine (Teil-)Automatisierung angestrebt. Analog entstehen in der Teilefertigung Fertigungszellen und in der Logistik Routenverkehre.

Ein wesentlicher Anteil der organisatorischen Veränderungsprozesse dürfte demnach auf die Einführung von GPS zurückgehen – und auch für die absehbare Zukunft zeichnet sich aus Sicht der Befragten keine Alternative zu Lean-Management ab. Viele Fachleute betrachten ein GPS sogar als unverzichtbaren Ausgangspunkt für die Weiterentwicklung ihres Unternehmens in Richtung Industrie 4.0, da eine wirkungsvolle Automatisierung nur auf Basis von Transparenz und funktionierenden Standards gelingen kann (Korge/Lentes 2009). Ganzheitliche Produktionssysteme begünstigen also auf der einen Seite die Digitalisierung, werden auf der anderen Seite aber die möglichen Lösungen beeinflussen und ausrichten. Eine Digitalisierung gegen die bewährten Lean-Prinzipien ist aus heutiger Perspektive kaum vorstellbar (Dombrowski/Mielke 2015; Deuse u.a. 2015).

Vor dem Hintergrund des globalen Wettbewerbs und der absehbaren gesellschaftlichen Megatrends gilt es aber, Lean-Management bzw. GPS gezielt weiterzuentwickeln. Lean-Management ist kein starres Konzept, sondern wurde bereits in der Vergangenheit immer wieder an Veränderungen im Umfeld der Unternehmen angepasst. Ein Beispiel ist die Weiterentwicklung der Standardisierung zur flexiblen Standardisierung (Pfeiffer 2008), die den Spagat zwischen Stabilität und Anpassung entschärft. Standardisierung bedeutet, dass der beste bekannte Weg zur verbindlichen Vorgabe gemacht wird. Bei der flexiblen Standardisierung wird dieser Standard im Rahmen des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses ständig überprüft und optimiert. Hat sich eine Verbesserung als geeignet erwiesen, wird diese als neuer Standard festgelegt. Bei genauer Betrachtung wird deutlich, dass die flexible Standardisierung nur auf einen Teilaspekt der Flexibilität – nämlich den Wandel im Sinne bleibender Veränderung – zielt. Zu einem Zeitpunkt gibt es nur einen Standard, Vielfalt und Varianz können durch flexible Standards nur unzureichend abgebildet werden. Flexibilität und Individualität werden zukünftig zunehmen. Das bedeutet aber, dass zu einem Zeitpunkt mehrere Abläufe möglich sind. Das Konzept der flexiblen Standardisierung muss an diese neuen Herausforderungen angepasst werden.

Während die quantitativen Daten zeigen, dass der Wandel auf Beschäftigtenseite auch zu Stress und Arbeitsdruck führt (Pfeiffer u.a. 2016, Abschnitt → 3.3.3), zeichnen die untersuchten Use-Cases in der Produktion ein anderes Bild. Zwar haben alle Unternehmen in den letzten Jahren beträchtliche Veränderungen bewirkt. Diese Veränderungen erfolgten aber schrittwei-

---

<sup>15</sup> Kennzeichen von U-Linien sind Mitnahme oder Weitergabe der Werkstücke durch die Werker, Materialversorgung von hinten, schnelles Rüsten und fest eingerüstete Gleichteile.

se und dazwischen lagen oft viele Jahre mit nur geringen Veränderungen. Zumeist erfolgten sie in Zusammenhang mit der Einführung von Lean-Management. Aufgrund von Standardisierung, Visualisierung und Gestaltung robuster Prozesse haben Unwägbarkeiten und Komplexität, die bei den Beschäftigten ankommen, meist abgenommen oder sind gleichgeblieben. Zu beachten ist allerdings, dass die Analysen der Use-Cases aus externer Perspektive, also aus Sicht der Meister und der Produktionsleitung, erfolgten, außerdem sind sie aufgrund der geringen Fallzahlen und der Auswahlkriterien nicht repräsentativ (zum Untersuchungsdesign siehe Unterkapitel → 2.1). Daher bleibt offen, ob die anhand der quantitativen Daten belegbar gestiegenen Anforderungen Folge technisch-organisatorischen Wandels am Arbeitsplatz oder durch gesellschaftliche oder institutionelle Kontextbedingungen bedingt sind. Auf Basis der Ergebnisse der Use-Cases lassen sich folgende erste Schlussfolgerungen ziehen:

- Lean-Management und Digitalisierung müssen integriert betrachtet und gestaltet werden. Lean-Management hat sich in den Produktionsbereichen auf breiter Basis durchgesetzt und bewährt. Deshalb gelten die Lean-Prinzipien für die Produktionsbereiche als handlungsleitend (siehe Unterkapitel → 2.4). Eine Digitalisierung, die zu den Lean-Prinzipien passt, wird daher eher akzeptiert und kann sich schneller durchsetzen als eine Digitalisierung, die diesen widerspricht.
- Lean-Management sollte gezielt weiterentwickelt werden, um der zunehmenden Flexibilität und Individualisierung gerecht zu werden (siehe Unterkapitel → 2.4). Dabei wird es insbesondere notwendig sein, die Widersprüche zur Standardisierung aufzulösen, ohne die bewährten Prinzipien über Bord zu werfen.
- Bei einer absehbaren weiteren Zunahme der Veränderungsgeschwindigkeit wird Veränderung unumgänglich zum Tagesgeschäft und muss von den Beschäftigten „nebenbei“ bewältigt werden.

## 6.2 Wandel als Anforderung an Beschäftigte

Der Blick in die Use-Cases in den Unternehmen offenbart, dass fehlende formale, fachspezifische Ausbildung oft nicht bedeutet, unqualifiziert zu sein. Das Bild vom angelernten Beschäftigten, der tagein tagaus nur einen vorgeschriebenen Handgriff durchführt, scheint nur auf wenige Unternehmen der Branche in Baden-Württemberg zuzutreffen. In den untersuchten Use-Cases gab es keinen derartigen Fall, wohl auch weil solche Arbeitsplätze in Billiglohnländern verlagert wurden. Im Maschinen- und Anlagenbau in Baden-Württemberg übernehmen auch Angelernte verantwortungsvolle Aufgaben in der Produktion und bauen im Lauf der Zeit beträchtliche Erfahrungen auf. Das zeigen auch die oftmals erforderlichen monatelangen Einarbeitungszeiten, bis Beschäftigte vollumfänglich selbstständig arbeiten können.

In der Produktion aller durch das Fraunhofer IAO analysierten Unternehmen wurden in den letzten Jahren tiefgreifende Veränderungen gestaltet. In den meisten Fällen ging es um die Einführung von Elementen des Lean-Managements, insbesondere um die Realisierung von Montage- oder Fertigungszellen sowie um die Trennung von Wertschöpfung und Logistik. Die Be-

beschäftigten, egal ob Angelernte oder Facharbeiter/-innen, konnten diese tiefgreifenden Veränderungen nicht nur bewältigen, sondern haben sie vielfach mitgestaltet und durch ihre Tätigkeit erst ermöglicht. Das deutet darauf hin, dass auch Beschäftigte mit geringerem formalen Ausbildungsstand in der Lage sind, tiefgreifende Veränderungen zu bewältigen – allerdings nur wenn die Vorgehensweise und die Rahmenbedingungen stimmen und die Arbeitsplätze insgesamt lernförderlich und ganzheitlich gestaltet sind.

An dieser Stelle muss eine Besonderheit des Lean-Managements herausgehoben werden, die Anregungen für die künftige Gestaltung der Digitalisierung gibt. Wichtige Grundsätze des Lean-Managements sind Einfachheit und Transparenz. Ein Beispiel ist die Visualisierung, die den Beschäftigten die Anwendung der zahlreichen Lean-Methoden erleichtert. Obwohl die Vielfalt der Produkte in den Produktionszellen stark zunahm, wuchs die Anwendungskomplexität für die Beschäftigten kaum. Die Beschäftigten brauchen die Feinheiten der zugrunde liegenden Methoden nicht bis ins letzte Detail zu verstehen, um diese Systeme betreiben zu können. Die Bildschirmmasken bzw. die Papierdokumente sind übersichtlich und selbsterklärend. Für die Gestaltung zukünftiger Digitalisierung bedeutet dies, dass die Benutzerschnittstellen einfach gehalten werden sollten. Abstraktionen, also Unterschiede zwischen der Realität in der Produktion und der Abbildung in der IT, die von den Beschäftigten übersetzt werden müssen, sollten gering gehalten werden. Dies ermöglichen aktuelle Entwicklungen der Benutzerschnittstellen und der Modelle, die es tatsächlich zu nutzen gilt. Das wird nicht nur die Akzeptanz und die Qualifizierungsaufwände der Beschäftigten wesentlich beeinflussen, sondern vor dem Hintergrund der Bedeutung der Prinzipien des Lean-Managements in den Produktionsbereichen auch die Bereitschaft der Entscheider fördern, ein digitalisiertes System einzuführen.

Die Analysen der Use-Cases zeigten ein potenzielles Hemmnis für Veränderungen. Bei Fragen rund um die Rotation zeigte sich öfters, dass manche Beschäftigten nicht willens oder in der Lage sind, ihren Arbeitsplatz zu wechseln. Dies gilt gleichermaßen für Facharbeiter und Angelernte. Hier scheint das Defizit nicht in einer mangelnden Qualifikation zu liegen, sondern darin, dass die Beschäftigten über viele Jahre oder Jahrzehnte am gleichen Arbeitsplatz arbeiten. Offensichtlich haben diese Menschen das Lernen und den Umgang mit Veränderungen verlernt und das Zutrauen in die eigenen Fähigkeiten verloren. Neben der Frage, wie man diese Menschen wieder für Veränderungen fit macht, stellt sich vor allem die Frage, wie man zukünftige Generationen vor dieser Starrheit bewahrt. Der Schlüssel liegt in regelmäßigem Wechsel in diverse Arbeitstätigkeiten und in ständigem Lernen. Diesbezüglich ist allerdings ein Risiko des Lean-Managements erkennbar. Standardisierung, Vereinfachung und Visualisierung senken teilweise die Anforderungen an die Mitarbeiter und setzen nur wenige Lernanreize. Dem kann durch Rotation, Arbeitsplatzwechsel und vor allem durch ständige Einbindung in kontinuierliche Verbesserungsprozesse (KVP) entgegengewirkt werden. Diese Elemente des Lean-Managements bewirken ein lebenslanges Lernen direkt im Arbeitsprozess.

Auf Basis der Use-Case-basierten Analysen lassen sich für den Maschinenbau in Baden-Württemberg folgende Aussagen zusammenfassen:

- Selbst die Arbeit formal Geringqualifizierter ist nicht ausschließlich repetitiv und monoton – vielmehr haben die Beschäftigten vor allem durch die Einführung von Lean-Management-Systemen innerhalb der letzten Jahre bereits Fähigkeiten zum Umgang mit Komplexität entwickelt.
- Bleiben Beschäftigte zu lange an der gleichen Arbeitsstation und werden sie keinem Wandel ausgesetzt, besteht das Risiko, Wandlungsfähigkeit zu verlieren. Hier gilt es, die Potenziale zur Partizipation, wie sie das Lean-Management beispielsweise im Rahmen von KVP-Prozessen ermöglicht, auch zu nutzen.

## 6.3 Die Arbeitsfähigkeit der Beschäftigten fördern und erhalten

Die Gesundheit<sup>16</sup> der Beschäftigten wird ganz wesentlich von der Gestaltung der Arbeit beeinflusst. Der Blick des IAO in die Unternehmen zeigt, dass die körperliche Ergonomie bei Produktionsarbeit stark verbessert wurde. Fast alle in den Use-Cases analysierten Produktionsbereiche haben wirkungsvolle Maßnahmen gegen schweres Heben und ungesunde Bewegungsabläufe umgesetzt. Ergonomische Potenziale bestehen bezüglich eines Wechsels zwischen Stehen, Gehen und Sitzen. Denn Produktionsarbeit in U-Linien, Fertigungszellen oder Kommissionierarbeitsplätzen findet überwiegend im Stehen statt. Zwar stellen die Unternehmen geeignetes Schuhwerk und oftmals dämpfende Matten zur Verfügung, trotzdem bedeutet längeres Stehen eine erhebliche gesundheitsgefährdende Belastung. Diese Belastungssituation kann durch eine regelmäßige Unterbrechung des Stehens durch ein Gehen und Sitzen verbessert werden.

Insbesondere folgende Defizite sind im Hinblick auf den Erhalt der Arbeitsfähigkeit aus den qualitativen Case-Studies und der quantitativen Datenanalyse erkennbar:

- Bei Produktionsarbeit fehlt es oftmals an Lernanreizen. Die qualitativen Analysen deuten darauf hin, dass die Beschäftigten in der Produktion teilweise fachlich unterlastet sind. Vor allem in der Serienproduktion einfacher Produkte werden umfassende Weisungssysteme angestrebt, die den Menschen kaum Freiheitsgrade lassen. Aber auch in der Facharbeit nehmen Standardisierung und Visualisierung teilweise deutlich zu.
- Entscheidungs- und Handlungsspielräume sind aber nicht nur ein wichtiger Motivationsfaktor und eine wirkungsvolle gesundheitliche Ressource, sondern veranlassen Menschen auch, sich geistig mit der Arbeit auseinanderzusetzen. Bereits heute klagen Unternehmen, dass viele Mitarbeiter unflexibel sind und keine neuen Arbeitsaufgaben übernehmen können oder wollen. Bei beschleunigter Innovationsgeschwindigkeit, Volatilität und eventuellen Disruptionen sind flexible Beschäftigte aber ein entscheidender Erfolgsfaktor. Es gilt daher, die geistige Leistungsfähigkeit und Flexibilität genauso zu schützen, wie die körperliche Gesundheit.

---

<sup>16</sup> Die Weltgesundheitsorganisation WHO definiert Gesundheit als Zustand des vollkommenen körperlichen, seelischen und sozialen Wohlbefindens und nicht der bloßen Abwesenheit von Krankheit oder Gebrechen.

- Zusätzlich deuten die Analysen darauf hin, dass Produktionsarbeit teilweise psychisch belastend wirkt. In speziellen Fällen, etwa bei Sichtprüfungen, kommt zum zeitlichen Arbeitsdruck ständige Konzentration hinzu. Ein enger Taktzwang wurde durch Gestaltung von U-Linien teilweise reduziert, Wiederholung und Monotonie sind aber weitverbreitet. Eine systematische Rotation gibt es oft nicht. Ein Arbeitsplatzwechsel wird vor allem bei Kapazitätsengpässen durchgeführt, dann aber meist auch in sehr ähnliche Arbeiten gewechselt.

Insgesamt kann Folgendes resümiert werden: Eine Schlüsselressource im Umgang mit Wandel, aber auch im Hinblick auf eine älter werdende Gesellschaft ist der Erhalt der Arbeitsfähigkeit. Die dargestellten Analysen deuten diesbezüglich einen Handlungsbedarf zum Erhalt der Arbeitsfähigkeit an. Vor dem Hintergrund des demografischen Wandels und zunehmender Innovationsgeschwindigkeit wird Arbeitsfähigkeit bis zur Rente zum entscheidenden Erfolgsfaktor. Dies scheint jedoch noch nicht ausreichend im Bewusstsein der Arbeitsgestalter verankert.

## 6.4 Flexibilität durch Organisation und Führung 4.0

Im globalen Kundenmarkt wird für viele Unternehmen ein starker Druck zur Steigerung der Flexibilität entstehen. Die Komplexität in Unternehmen wird sich voraussichtlich weiter erhöhen. Diese Komplexität kann durch zentrale Planung und Steuerung kaum bewältigt werden, auch wenn digitale Technologien eingesetzt werden. Einer der Experten führte bei der Bewertung der Zukunftsbilder aus: „Das Perfide ist, dass wir versuchen, Komplexität durch komplexe technische Systeme zu bekämpfen. Wir bauen Systeme auf, die immer komplexer werden, um in der Produktion Komplexität herauszunehmen. Dadurch entsteht eine eigene Welt, die so komplex ist, dass man sie kaum beherrschen kann.“

Varianz, Dynamik und Unbestimmtheit erfordern die Kreativität und Qualifikation der Beschäftigten vor Ort, denn nur sie sind in der Lage, Innovationen zu gestalten und ungeplante Zustände vor Ort schnell und situativ zu bewältigen (siehe Abschnitt → 4.1.2).

Selbstorganisation und Eigenverantwortung brauchen Freiräume. Eine zentralisierte Organisation mit hierarchischen Führungsstrukturen ist ungeeignet, um persönliche Einschätzungen und an Personen gebundene Erfahrungen für die Arbeit nutzbar zu machen. Entsprechend wird in Unternehmen, die der tayloristischen Lehre folgen, eine Anpassung von Organisation und Führung erforderlich, wenn sie die Flexibilität wirkungsvoll erhöhen wollen. Es gilt, dezentrale und prozessgerechte Bereiche, eigenverantwortliche Teams und eine weniger direktive Führung zu gestalten (siehe Kapitel → 4).

Der Blick in die Unternehmen deutet einen Widerspruch an, der langfristig die Leistungsfähigkeit der Unternehmen beeinträchtigen könnte. Mit Standardisierung und Visualisierung der Abläufe sowie der Trennung von Wertschöpfung und Logistik haben viele Unternehmen die Arbeit für die Beschäftigten deutlich vereinfacht. Die Entscheidungs- und Handlungsfreiheit wurde eingeschränkt. Daraus wird langfristig eine De-Qualifizierung resultieren, die zukünfti-

ger Flexibilität und Innovation im Weg steht (siehe Unterkapitel → 2.5). Aus den Use-Cases resultieren daher folgende Schlussfolgerungen:

- Der Flexibilitätsbedarf vieler Unternehmen und damit die Komplexität werden steigen (siehe Unterkapitel → 6.1).
- Eine Überprüfung der grundlegenden Unternehmensstrategie wird dahingehend erforderlich, ob die Flexibilität durch vorauslaufende Planung und zentrale Steuerung realisiert werden kann (Objektivierung) oder einer situativen Einschätzung sowie der Erfahrung und Qualifikation Beschäftigter vor Ort bedarf (Subjektivierung) (siehe Unterkapitel → 6.2).
- Wird Subjektivierung angestrebt, steht für viele Unternehmen eine Restrukturierung von Organisation und Führung hin zu dezentralen und prozessgerechten Bereichen, eigenverantwortlichen Teams und einer weniger direktiven Führung an (siehe Unterkapitel → 6.4).
- Subjektivierung hat Vorteile für die Unternehmen (Flexibilisierung) und die Beschäftigten (Individualisierung). Die damit ebenfalls verbundenen Risiken, insbesondere eine psychisch belastende Entgrenzung der Arbeit, die die Arbeitsfähigkeit bis zur Rente gefährden könnte, müssen vermieden werden (siehe Unterkapitel → 6.3).
- Lean-Management muss gezielt weiterentwickelt werden, um der zunehmenden Flexibilität und Individualisierung gerecht zu werden. Dabei wird es insbesondere notwendig, die Widersprüche zur Standardisierung aufzulösen, ohne die bewährten Prinzipien über Bord zu werfen (siehe Abschnitt → 4.1.2).

## 7 Ausblick und Handlungsempfehlungen

In zahlreichen Studien zum Thema Industrie 4.0 sind bereits Handlungsempfehlungen für die Politik auf Landes-, Bundes und Europaebene zur Förderung der Einführung, Etablierung und Verbreitung von Industrie-4.0-Technologien in Staat, Institutionen, Wirtschaft und Gesellschaft abgeleitet worden (vgl. Agiplan u.a. 2015, Bauer/Schlund 2015, Ittermann, Niehaus 2015, Schlick 2015, Spath u.a. 2014). Bei den Handlungsempfehlungen fokussieren wir uns auf direkte Maßnahmen, die durch das Land Baden-Württemberg umgesetzt oder auf Bundes- und Europaebene angestoßen werden können.

### 7.1 Aus- und Weiterbildung

Die flächendeckende und durchdringende Einführung von Industrie-4.0-Technologien wird zu einem erhöhten Aus-, Fort- und Weiterbildungsbedarf führen, der den Anforderungen einer digitalisierten Gesellschaft Rechnung trägt. Von der digitalen Transformation werden alle Schulformen von der Grund- bis zur Hochschule inhaltlich und methodisch betroffen sein. Die Ausbildung von Zuwanderern erschließt langfristig Chancen im demografischen Wandel.

Die Verschmelzung von Produktion und Logistik mit Informations- und Kommunikationstechnik wird zu neuen interdisziplinären Ausbildungsprofilen führen und mittelfristig auch neue Berufe hervorbringen. Die Grenzen zwischen den bisher getrennten Domänen Informatik, Elektronik, Maschinen- und Anlagenbau lösen sich im Zuge der Digitalisierung auf.

Es steht bereits heute außer Frage, dass in einer Person bzw. einem Ausbildungsprofil die Gesamtkompetenz zur Beherrschung digitaler Produktion nicht zusammengefasst werden kann. Die Digitalisierung bedingt eine verstärkte Zusammenarbeit in gemischten Teams. Entwicklung und Etablierung teambezogener Kompetenzen sind wesentliche Herausforderung für die Ausbildung. Hierzu sind neue Formen der Aus-, Fort- und Weiterbildung zu entwickeln, die eine begleitende Bildung von Fachkräften auf allen Ebenen ermöglichen. Das institutionelle Lernen in Seminaren wird durch situatives und experimentelles Lernen ergänzt werden. Fort- und Weiterbildung sind im unternehmerischen Kontext zu einem alltäglichen Teil der Arbeit zu etablieren und durch entsprechende Angebote für alle Altersstufen und Ausbildungsstände zu etablieren. Aufgabe des Landes wird nicht nur sein, die Ausbildungsprofile in Zusammenarbeit mit den involvierten Institutionen zu entwickeln bzw. weiterzuentwickeln, sondern auch die Etablierung neuer Lernformen in Schulen und Unternehmen zu fördern.

An allgemeinbildenden Schulen müssen grundlegende Interdependenzen einer vollständig digitalisierten Welt für Menschen, Gesellschaft und Wirtschaft vermittelt werden. Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken einer digitalisierten Welt müssen wertfrei verhandelt werden, um Technikfeindlichkeit entgegenzuwirken. Die Nutzung digitaler Instrumente zum selbstorganisierten erschließenden Lernen kann einen Zugang zur Digitaltechnik liefern und Hemmnisse und Schranken beseitigen. Zu diesem Zweck müssen auf allen Bildungswegen entsprechende Laboratorien oder Arenen etabliert werden. Die Einrichtung von Industrie-4.0-Schaufenstern in den Berufsschulen ist ein erster Schritt in die richtige Richtung. Ähnliche Angebote sind auch für allgemeinbildende Schulen und Hochschulen zu entwickeln und zu etablieren. Hier existieren Synergiepotenziale zu den Demonstrations- und Kompetenzzentren für Industrie 4.0. Die Curricula von Studiengängen an Hochschulen und Universitäten sind zu hinterfragen. Die derzeitige Konstruktion von Studiengängen ist an den Funktionen und Domänen der traditionellen Industrie ausgerichtet. Diese Strukturen werden durch die Digitalisierung infrage gestellt. Durch Einrichtung von Hybridstudiengängen nach Vorbild der Ingenieurinformatik, Wirtschaftsinformatik oder des Wirtschaftsingenieurs können die bisher getrennten Fächer Maschinenbau, Informatik und Elektronik verschmelzen. Außerdem muss die interdisziplinäre Zusammenarbeit in wachsenden Teams trainiert und erprobt werden. Dazu sind neue Lernformen in das Curriculum zu integrieren.

## 7.2 Forschung

Industrie-4.0-Technologien und deren Einführung in den Maschinen- und Anlagenbau stehen heute erst am Anfang eines langen Entwicklungs- und Diffusionsprozesses. Zahlreiche Technologien müssen erst noch für den Einsatz im industriellen Umfeld entscheidend verbessert wer-

den. Neben der (Weiter-)Entwicklung von Technologien bis zur Industriereife hat die Forschungsförderung drei Aktivitätsfelder:

- Entwicklung anwendbarer Lösungen auf Basis eines Mensch-Technik-Organisation-Ansatzes,
- Integration von Lean-Management und Digitalisierung in betriebliche Gestaltungslösungen,
- aufeinander abgestimmte Migrationspfade für Industrie-4.0-Technologien unter Wahrung der Mitbestimmung.

Die Ergebnisse dieser Forschungsaktivitäten sollten in neutralen Demonstrations- und Kompetenzzentren einem interessierten Fachpublikum präsentiert werden. Diese Zentren bilden somit eine interdisziplinäre Plattform zur Entwicklung, Etablierung und Anwendung von Industrie-4.0-Technologien und die Knotenpunkte in einem interdisziplinären Kommunikations-, Forschungs- und Entwicklungsnetzwerk. Zusätzlich koordinieren diese Zentren die Kommunikation von Interessierten mit den schon entstandenen Leuchttürmen digitaler Produktion und Logistik (bspw. mit Demonstrationsfabriken, Lernfabriken und Preisträgern der „100 Orte für Industrie 4.0“ in Baden-Württemberg).

### 7.2.1 Lösungen und Beispiele zur Flexibilisierung von Produktion und produktionsnahen Bereichen unter Nutzung digitaler Technologien

Gerade in der Zukunft wird Flexibilität ein wesentlicher Wettbewerbsfaktor für den Maschinen- und Anlagenbau in Baden-Württemberg sein. Mit zunehmendem Flexibilitätsbedarf und beschleunigter Innovationsgeschwindigkeit müssen Unternehmen eine Anpassung vollziehen, die sich auf zahlreiche Gestaltungsfelder im Unternehmen auswirken kann, etwa die Marktstrategie, die Rolle der Menschen, auf Organisation und Führung und auf gesunde Arbeitsgestaltung zum Erhalt der Arbeitsfähigkeit. Geeignete Lösungen zeichnen sich erst in Umrissen ab. Dementsprechend müssen in Forschungsprogrammen die Interdependenzen zwischen Flexibilität, Lean-Management und Digitalisierung auf Grundlage des Mensch-Technik-Organisation-Ansatzes systematisch untersucht und entsprechende Lösungen entwickelt und erprobt werden. Aus diesem Forschungsprogramm heraus entsteht eine große Sammlung an Flexibilitätslösungen, die klassifiziert und bewertet zu Lösungsmustern weiterentwickelt werden können. In diesem Kontext sind auch neue Geschäftsmodelle und die Auswirkungen destruktiver Technologien systematisch zu erforschen. In diesem Zusammenhang gilt es insbesondere, unternehmerische und mitarbeiterspezifische Erwartungen und Erfordernisse in Einklang zu bringen. Nur über eine ausgewogene Gestaltung der Einzelinteressen wird es möglich, Entgrenzung und Selbstausbeutung im Zaum zu halten. Lean-Management muss gezielt weiterentwickelt werden, um einerseits die entstehenden Möglichkeiten der Digitalisierung für die Produktion nutzbar zu machen und andererseits der zunehmenden Flexibilität und Individualisierung gerecht zu werden. Insbesondere wird es notwendig, die Widersprüche zur Standardisierung aufzulösen, ohne die bewährten Prinzipien über Bord zu werfen.

## 7.2.2 Vorgehen zur Auswahl strategischer Handlungsoptionen und Umsetzung geeigneter Migrationspfade

Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht hier zusätzlich bei der systematischen Einführung und Etablierung von Industrie-4.0-Technologien im Maschinen- und Anlagenbau. Zwar sind viele einzelne Projekte und Ansätze sichtbar, aber noch keine generelle Vorgehensweise zur erfolgreichen Migration in Richtung digitalisierter Produktion und Logistik. Im Rahmen der Entwicklung dieser Migrationspfade sind insbesondere die Akzeptanz- und Hemmnisforschung hervorzuheben, da technologische und wirtschaftliche Argumente nicht allein über den Erfolg oder Misserfolg einer Technologie bei Kunden, Lieferanten, Mitarbeitern und Unternehmen entscheiden.

## 7.3 Anwender vernetzen

Zur Steigerung der breiten Akzeptanz von Industrie-4.0-Technologien im Maschinen- und Anlagenbau ist die Einrichtung und der Betrieb von Demonstrationszentren an Berufsschulen, Fachhochschulen, Forschungseinrichtungen und Universitäten notwendig. Demonstrationszentren und Kompetenzzentren sind Begegnungs-, Experimentier-, Erfahrungs- und Lernorte für die Anwendung von Industrie-4.0-Technologien. Zusätzlich bieten sie dem interessierten (Fach-)Publikum eine neutrale Plattform zum Informationsaustausch und zur gemeinsamen Lösungsentwicklung. In Baden-Württemberg sind bereits heute zahlreiche Industrie-4.0-Anwendungen im Einsatz. Durch Leuchtturmprojekte im industriellen Umfeld, wie sie beispielsweise in den 100 Orten dokumentiert sind, kann Industrie 4.0 im industriellen Umfeld präsentiert werden. Diese Orte bieten vor allem potenziellen Anwendern die Möglichkeit zum Erfahrungsaustausch mit *Early Adoptern*. Weitere Orte erster bzw. besonderer Anwender sollten in die Liste integriert und damit der Austausch zwischen den Unternehmen intensiviert werden.

## 7.4 Infrastruktur

Den Aufbau und Ausbau von WLAN-Netzwerken im öffentlichen Raum von Städten und Gemeinden kann das Land durch entsprechende Initiativen vorantreiben. Insbesondere kleine Gemeinden könnten von einer Unterstützung durch das Land profitieren. Ziel ist es, alle Regionen des Landes mit WLAN im öffentlichen Raum zu versorgen.

## 7.5 Unterstützung von Start-ups

Die Entwicklung neuer Technologien erfolgt nicht nur durch große Unternehmen. Insbesondere Start-ups und KMU tragen wesentlich zur Entwicklung einzelner Technologien bei. Das Land kann die Start-up-Szene und KMU bei der risikoreichen Entwicklung von Technologien durch entsprechende Forschungsprogramme und Beratungsgutscheine unterstützen. Komplexe Technologien lassen sich in der Regel nicht mehr allein durch eine Person entwickeln. Die Ver-

netzung von Technologieentwicklern zu einem innovativen Netzwerk könnte ebenfalls durch das Land gefördert werden. Hier bietet sich eine Kombination mit den oben genannten Demonstrations- und Kompetenzzentren an.

## 8 Literatur

- Adami, Wilfried; Lang, Christa; Pfeiffer, Sabine; Rehberg, Frank (Hg.) (2008): Montage braucht Erfahrung: Erfahrungsbasierte Wissensarbeit in der Montage. München, Mering: Hampp.
- Agiplan u.a. (Hg.) (2015): Studie „Erschließen der Potenziale der Anwendung von ‚Industrie 4.0‘ im Mittelstand“. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BWMi).
- Ahrens, Daniela; Spöttl, Georg (2015): Industrie 4.0 und Herausforderungen für die Qualifizierung von Fachkräften. In: Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Ittermann, Peter; Niehaus, Jonathan (Hg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Baden-Baden: Nomos, S. 183–203.
- Ashby, W.R. (1970): An Introduction to Cybernetics, 5. Auflage. London.
- Bauer, Agnes; Dörich, Jürgen; Korge, Axel; Korge, Gabriele; Reiner, Dorothee. (2010): Wettbewerbsfähigkeit durch Lernen. Ein Handbuch zur Analyse und Gestaltung von Produktionssystemen mit Praxisbeispielen. Berlin: Gesamtmetall.
- Bauer, W.; Schlund, S. (2015): „Wandel der Arbeit in indirekten Bereichen: Planung und Engineering“. In: Hirsch-Kreinsen, Hartmut (Hg.): Digitalisierung industrieller Arbeit: Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Baden-Baden: Nomos, S.53–69.
- BCG (2015): Man and Machine in Industry 4.0. How Will Technology Transform the Industrial Workforce through 2025? The Boston Consulting Group.
- Binner, Hartmut F. (2007): Process Excellence durch output-orientierte Unternehmensführung. Online: [http://www.org-portal.org/fileadmin/media/legacy/Process\\_Excellence.pdf](http://www.org-portal.org/fileadmin/media/legacy/Process_Excellence.pdf).
- Bonin, Holger; Gregory, Terry; Zierahn, Ulrich (o.J.): Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland. ZEW-Kurzexpertise Nr. 57 für das Bundesministerium für Arbeit und Soziales. Hg. v. Bundesministerium für Arbeit und Soziales. Online: [ftp://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/Kurzexpertise\\_BMAS\\_ZEW2015.pdf](ftp://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/Kurzexpertise_BMAS_ZEW2015.pdf).
- Borg, Ingwer (2003): Führungsinstrument Mitarbeiterbefragung. Theorien, Tools und Praxiserfahrungen. Göttingen: Hogrefe.
- Bowles, Jeremy (2014): Chart of the Week: 54% of EU jobs at risk of computerisation. Online: <http://bruegel.org/2014/07/chart-of-the-week-54-of-eu-jobs-at-risk-of-computerisation/>.
- Deuse, Jochen u.a. (2015): Gestaltung sozio-technischer Arbeitssysteme für Industrie 4.0. In: Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Ittermann, Peter; Niehaus, Jonathan (Hg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Baden-Baden: Nomos, S. 147–164.
- Deuse, Jochen; Weisner, Kirsten; Hengstebeck, André; Busch, Felix (2015): Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0. In: Botthof, Alfons; Hartmann, Ernst Andreas (Hg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Heidelberg, Berlin: Springer, S. 99 ff.
- Dobischat, Rolf; Düsseldorf, Karl (2013): Betriebliche Weiterbildung in Klein- und Mittelbetrieben (KMU). Forschungsstand, Problemlagen und Handlungserfordernisse – eine Bilanz. In: WSI-Mitteilungen, 66 (4), S.247–254.
- Dombrowski, Uwe; Mielke, Tim (2015) (Hg.): Ganzheitliche Produktionssysteme. Aktueller Stand und zukünftige Entwicklungen. Heidelberg, Berlin: Springer.
- Eberhard, Daniel (2013): Fertigungsorganisation nach dem Chaku-Chaku-Prinzip. München: Grin.
- Ernst, Gerhard (2009): Von der Humanisierung zu Arbeitsgestaltung und Dienstleistungen – 40 Jahre Arbeitsforschung. Materialsammlung für einen Vortrag Januar 2009. Online: [http://www.isf-muenchen.de/pdf/ernst\\_2009\\_40\\_jahre\\_arbeitsforschung.pdf](http://www.isf-muenchen.de/pdf/ernst_2009_40_jahre_arbeitsforschung.pdf).

Frey, Carl Benedikt; Osborne, Michael A. (2013): The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation?

Online: [http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The\\_Future\\_of\\_Employment.pdf](http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf).

Galiläer, Lutz; Zeller, Beate (2006): Einfache Arbeit im Wandel – Früherkennung von Qualifikationsentwicklungen bei einfachen Tätigkeiten. In: Bullinger, Hans-Jörg (Hg.): Qualifikationen im Wandel. Nutzen und Perspektiven der Früherkennung. Bielefeld: Bertelsmann, S. 85–90.

Gebhardt, Birgit; Hofmann, Josephine; Roehl, Heiko (2015): Zukunftsfähige Führung. Die Gestaltung von Führungskompetenzen und -systemen. Hg. v. Bertelsmann-Stiftung, Gütersloh.

Online: [https://www.bertelsmannstiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/Graue\\_Publikationen/ZukunftsfaeehigeFuehrung\\_final.pdf](https://www.bertelsmannstiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/Graue_Publikationen/ZukunftsfaeehigeFuehrung_final.pdf).

Grabmeier, Stephan (2015): Führung. New Leadership – Führung in der Arbeitswelt 4.0. In: Braun, Peter; Schäfer, Gabriele (Hg.): Zukunftsmonitor. Zukunftsmanagement und Rating, Januar/Februar 2015, S. 6 ff.

Hirsch-Kreinsen, Hartmut (2016): Industrie 4.0 als Technologieversprechen, TU Dortmund.

Online: [http://www.neue-industriearbeit.de/fileadmin/templates/publikationen/20160616---Hirsch-Kreinsen\\_b\\_Industrie-4\\_0-als-Technologieversprechen.pdf](http://www.neue-industriearbeit.de/fileadmin/templates/publikationen/20160616---Hirsch-Kreinsen_b_Industrie-4_0-als-Technologieversprechen.pdf).

Hirsch-Kreinsen, Hartmut (2015a): Einleitung: Digitalisierung industrieller Arbeit. In: Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Ittermann, Peter; Niehaus, Jonathan (Hg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Baden-Baden: Nomos, S. 9–32.

Hirsch-Kreinsen, Hartmut (2015b): Entwicklungsperspektiven von Arbeit. In: Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Ittermann, Peter; Niehaus, Jonathan (Hg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Baden-Baden: Nomos, S. 15–21.

Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Ittermann, Peter; Niehaus, Jonathan (Hg.) (2015): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Baden-Baden: Nomos.

IAB (2015): Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft. Szenario-Rechnungen im Rahmen der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen. Hg. v. IAB – Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB-Forschungsbericht, 8/15).

Online: <http://doku.iab.de/forschungsbericht/2015/fb0815.pdf>.

Ilmarinen, Juhani; Tempel, Jürgen (2002): Arbeitsfähigkeit 2010. Was können wir tun, damit Sie gesund bleiben? Helsinki, Hamburg.

Online: [http://www.neue-wege-im-bem.de/sites/neue-wege-im-bem.de/dateien/download/arbeitsfaehigkeit\\_2010\\_buch.pdf](http://www.neue-wege-im-bem.de/sites/neue-wege-im-bem.de/dateien/download/arbeitsfaehigkeit_2010_buch.pdf).

ING DiBa (2015): Die Roboter kommen. Folgen der Automatisierung für den deutschen Arbeitsmarkt.

Online: <https://www.ing-diba.de/pdf/ueber-uns/presse/publikationen/ing-diba-economic-research-die-roboter-kommen.pdf>.

Ittermann, Peter; Niehaus, Jonathan (2015): Industrie 4.0 und Wandel von Industriearbeit: Überblick über Forschungsstand und Trendbestimmungen. In: Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Ittermann, Peter; Niehaus, Jonathan (Hg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Baden-Baden: Nomos, S. 35–51.

Kagermann, Henning (2014): Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In: Bauernhansl, Thomas; ten Hompel, Michael; Vogel-Heuser, Birgit (Hg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 603–614.

Kinkel, Steffen; Friedewald, Michael; Hüsing, Bärbel; Lay, Gunter; Lindner, Ralf (2008): Arbeiten in der Zukunft. Strukturen und Trends der Industriearbeit. Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung – Nr. 27. Berlin: Edition Sigma.

Online: <https://www.tab-beim-bundestag.de/de/pdf/publikationen/buecher/kinkel-et-al-2008-113.pdf>.

Korge, Axel (2010): „Simple Organization“ – Fabriken einfach organisieren: Damit den Managern nicht die Herrschaft über die Unternehmensprozesse entgleitet. In: wt-online, 1/2 2010, S. 2–8.

Kratzer, Nick; Sauer, Dieter; Hacket, Anne; Gül (Trinks), Katrin; unter Mitarbeit von Wagner, Alexandra (2003): Flexibilisierung und Subjektivierung von Arbeit – Zwischenbericht zur „Berichterstattung zur sozio-ökonomischen Entwicklung der Bundesrepublik Deutschland: Arbeit und Lebensweisen“. München. Online: [http://www.soeb.de/fileadmin/redaktion/downloads/kratzer\\_flex.pdf](http://www.soeb.de/fileadmin/redaktion/downloads/kratzer_flex.pdf).

Lohr, Karin (2008): Subjektivierung von Arbeit aus Sicht der Arbeitssoziologie. Vortrag auf dem 13. Bamberger Andragogentag.  
Online: [https://www.uni-bamberg.de/fileadmin/andragogik/Andragogik1/Andragogentag\\_2008/Vortrag\\_Bamberg\\_Subjektivierung\\_von\\_Arbeit.pdf](https://www.uni-bamberg.de/fileadmin/andragogik/Andragogik1/Andragogentag_2008/Vortrag_Bamberg_Subjektivierung_von_Arbeit.pdf).

Luczak, Holger (1998): Arbeitswissenschaft. Berlin, Heidelberg: Springer.

Malik, Fredmund (2000): Führen – leisten – leben. Wirksames Management für eine neue Zeit. Stuttgart: Deutsche Verlagsanstalt.

Müller, Melanie (2006): Die Rolle des Mitarbeiters im Wandel der Zeit. Zur Bedeutung von Mitarbeiter und Interaktionskultur in der heutigen Unternehmenspraxis im Kontext des Business to Employee (B2E). Univ.-Dissertation Bonn. Online: <http://hss.ulb.uni-bonn.de/2006/0848/0848.pdf>.

Neef, Andreas; Burmeister, Klaus (2005): Die Schwarm-Organisation – Ein neues Paradigma für das e-Unternehmen der Zukunft. In: Kuhlmann, Bernd; Thielmann, Heinz (Hg.): Real-Time Enterprise in der Praxis: Fakten und Ausblick. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 563–572.

Pfeiffer, Sabine (2007): Montage und Erfahrung. Warum Ganzheitliche Produktionssysteme menschliches Arbeitsvermögen brauchen. München u.a.: Hampp.

Pfeiffer, Sabine (2008): Flexible Standardisierung und Ganzheitliche Produktionssysteme – erfahrungsförderlich? In: Adami, Wilfried; Lang, Christa; Pfeiffer, Sabine; Rehberg, Frank (Hg.): Montage braucht Erfahrung: Erfahrungsbasierte Wissensarbeit in der Montage. München, Mering: Hampp: S.143–167.

Pfeiffer, Sabine; Schlund, Sebastian; Suphan, Anne; Korge, Axel (2016): Zukunftsprojekt Arbeitswelt 4.0 Baden-Württemberg – Vorstudie Bd. 1. Zusammenführung zentraler Ergebnisse für den Maschinenbau. Stuttgart: Fraunhofer IAO und Universität Stuttgart.  
[http://wm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-wm/intern/Dateien\\_Downloads/Arbeit/Arbeitsmarktpolitik\\_Arbeitsschutz/Arbeitswelt40-BW-2016-Bd1.pdf](http://wm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-wm/intern/Dateien_Downloads/Arbeit/Arbeitsmarktpolitik_Arbeitsschutz/Arbeitswelt40-BW-2016-Bd1.pdf)

Pfeiffer, Sabine; Suphan, Anne; Zirnic, Christopher; Kostadinova, Denitsa (2016b): Zukunftsprojekt Arbeitswelt 4.0 Baden-Württemberg – Vorstudie Bd. 3. Quantitative Analysen mit Schwerpunkt auf der Branche Maschinen- und Anlagenbau. Stuttgart: Universität Hohenheim. Online:  
[http://wm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-wm/intern/Dateien\\_Downloads/Arbeit/Arbeitsmarktpolitik\\_Arbeitsschutz/Arbeitswelt40-BW-2016-Bd3.pdf](http://wm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-wm/intern/Dateien_Downloads/Arbeit/Arbeitsmarktpolitik_Arbeitsschutz/Arbeitswelt40-BW-2016-Bd3.pdf)

Porter, Michael E. (2008): Wettbewerbsstrategie: Methoden zur Analyse von Branchen und Konkurrenten. Frankfurt/M., New York: Campus.

Scherm, Ewald; Pietsch, Gotthard (2007): Organisation. Theorie, Gestaltung, Wandel. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.

Schlick, Christopher M.: Arbeit in der digitalisierten Welt, Beiträge der Fachtagung des BMBF. 2015

Schlund, S.; Hämmerle, M.; Strölin, T. (2014/2015): „Industrie 4.0 – Eine Revolution der Arbeitsgestaltung“, Stuttgart/Ulm: Ingenics AG.

Schoeneberg, Klaus-Peter (Hg.) (2014): Komplexitätsmanagement in Unternehmen. Herausforderungen im Umgang mit Dynamik. Wiesbaden: Springer.

Spath, Dieter (Hg.) (2003): Ganzheitlich produzieren. Innovative Organisation und Führung. Stuttgart: LOG\_X.

Spath, D.; Ganschar, O.; Gerlach, S.; Hämmerle, M.; Krause, T.; Schlund, S.: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0, Fraunhofer IAO, Stuttgart, 2014

VDI 2870 (2012): Ganzheitliche Produktionssysteme. Grundlagen, Einführung und Bewertung. VDI-Richtlinie 2870, 1012. Verein Deutscher Ingenieure e.V. Düsseldorf.  
Online: [https://www.vdi.de/uploads/tx\\_vdirili/pdf/1717393.pdf](https://www.vdi.de/uploads/tx_vdirili/pdf/1717393.pdf).

Waller, Heiko (2006): Gesundheitswissenschaft: Eine Einführung in Grundlagen und Praxis. Stuttgart: Kohlhammer.

WEF (2016): The Future of Jobs. Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution. Global Challenge Insight Report.  
Online: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Future\\_of\\_Jobs.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf).

WHO (2003): WHO Definition of Health. Online: <http://www.who.int/about/definition/en/print.html>.

Windelband, Lars (2014): Zukunft der Facharbeit im Zeitalter „Industrie 4.0“. In: Journal of Technical Education (JOTED), 2 (2), S. 138160.  
Online: <http://www.journal-of-technical-education.de/index.php/joted/article/view/41>.

Windelband, Lars; Dworschak, Bernd (2015): Arbeit und Kompetenzen in der Industrie 4.0 – Anwendungsszenarien Instandhaltung und Leichtbaurobotik. In: Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Ittermann, Peter; Niehaus, Jonathan (Hg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Baden-Baden: Nomos, S. 72–86.



Zukunftsprojekt  
Arbeitswelt 4.0  
Baden-Württemberg