

STUDIE

# PRODUKTIONSARBEIT DER ZUKUNFT – INDUSTRIE 4.0

DIETER SPATH (HRSG.) | OLIVER GANSCHAR | STEFAN GERLACH | MORITZ HÄMMERLE  
TOBIAS KRAUSE | SEBASTIAN SCHLUND



# PRODUKTIONSARBEIT DER ZUKUNFT – INDUSTRIE 4.0

Dieter Spath (Hrsg.), Oliver Ganschar, Stefan Gerlach,  
Moritz Hämmerle, Tobias Krause, Sebastian Schlund

Zur besseren Lesbarkeit wird in dieser Studie durchgehend das generische Maskulinum genutzt (z. B. Mitarbeiter). Dies gibt keinerlei Auskunft über das Geschlecht und stellt keine implizierte Geschlechterdiskriminierung des weiblichen Geschlechts dar. Frauen und Männer mögen sich gleichermaßen angesprochen fühlen.



*Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Dieter Spath*

## Vorwort

Deutschland wird weiterhin eine führende Produktionsnation sein. Produktion sichert Wohlstand, Beschäftigung und unsere Zukunft. Auch in Zeiten der Verlagerung in Niedriglohnländer behauptet sich der Standort Deutschland durch Flexibilität, Qualität und Stabilität. Dies gilt insbesondere für die Highlight-Branchen, den Maschinen- und Anlagenbau, die Elektrotechnik und den Automobilbau.

In den letzten Jahren haben diese Branchen ihre Produktion nach den Prinzipien der schlanken Produktion gestaltet, Flexibilität erhöht und damit große Erfolge bei Produktivität und Lieferbereitschaft erzielt. Aktuell steht die Produktion vor einem neuen Umbruch. Unter dem plakativen Namen »Industrie 4.0« wird der flächendeckende Einzug von Informations- und Kommunikationstechnik sowie deren Vernetzung zu einem Internet der Dinge, Dienste und Daten, das eine Echtzeitfähigkeit der Produktion ermöglicht, propagiert. Autonome Objekte, mobile Kommunikation und Echtzeitsensorik erlauben neue Paradigmen der dezentralen Steuerung und Ad-hoc-Gestaltung von Prozessen. Die Fähigkeit, schnell und flexibel auf Kundenanforderungen zu reagieren und hohe Variantenzahlen bei niedrigen Losgrößen wirtschaftlich zu produzieren, wird zunehmen und so die Wettbewerbsfähigkeit noch einmal erhöhen. Neue Formen kundenintegrierter Geschäftsprozesse werden möglich. Die vollmundig versprochene »vierte industrielle Revolution« scheint in greifbarer Nähe.

Dabei bin ich mir absolut sicher, dass der arbeitende Mensch weiterhin im Mittelpunkt stehen wird, auch in einer durchgängig virtualisierten und informatisierten Fabrik. Unsere qualifizierten Mitarbeiter schließen sensorische Lücken, die immer bestehen werden. Sie verfügen über langjährige Erfahrung zur Beurteilung und Lösung von Ausnahmesituationen. Und sie bringen als Arbeitskraft ihre Kreativität und Flexibilität in die Prozesse ein. Gleichzeitig bieten die neuen Technologien und Unterstützungsmöglichkeiten auch bisher nicht denkbare Entfaltungsmöglichkeiten für Mitarbeiter. Sie können ihre Fähigkeiten sinnvoll einbringen und werden in monotonen bzw. körperlich anstrengenden Tätigkeiten entlastet.

Die Produktionsarbeit in Deutschland steht vor einem einschneidenden Umbruch. Diesen Umbruch können wir selbst mitgestalten. Dabei wollen wir die Techniken der Industrie 4.0 nutzen, um das erfolgreiche Konzept der schlanken Produktion weiterzuentwickeln und das Potenzial unserer Mitarbeiter effizient einzubringen. Die vorliegende Studie legt den Grundstein hierfür.

Das große Interesse an dem Thema zeigt sich schon durch die rege Beteiligung von 661 Unternehmen und 21 namhaften Industrie-4.0-Experten an dieser Studie. Gleichzeitig sehen wir, dass die Vision der Industrie 4.0 noch sehr vage ist und Beispiele fehlen, die schon jetzt einen konkreten Nutzen belegen. Diese Studie leistet einen Beitrag, dies zu ändern. Unser Ziel sollte sein, die Möglichkeiten der neuen Technologie zu erkennen und vor allem die Chance zu nutzen, die Zukunft unserer Produktion aktiv zu gestalten.

Gehen wir es an!

Ihr

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Spath', is positioned above the name 'Dieter Spath'.

Dieter Spath

## Management Summary

Der Verlauf der letzten Jahre, mit der größten Wirtschaftskrise nach dem zweiten Weltkrieg und der anschließenden rasanten wirtschaftlichen Erholung, hat gezeigt, dass Produktion ein Garant für die stabile Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft ist. Volatile Märkte, neue, global agierende Marktteilnehmer, schnelllebige Absatzmärkte, kundenspezifische Produkte und diffizile Produktionsprozesse erfordern jedoch flexiblere und reaktionsfähigere Produktionssysteme und -mitarbeiter. Gleichzeitig gilt es, das Niveau der Produktivität und Qualität unverändert hoch zu halten.

Neue Wege versprechen aktuelle technische Entwicklungen wie Industrie 4.0, flexible Low Cost Automation und die Nutzung von Mobilgeräten und Social Media – auch im Produktionsbereich. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie die Produktionsarbeit der Zukunft aussehen wird.

Das Fraunhofer IAO hat für diese Studie folgende Leitfragen untersucht:

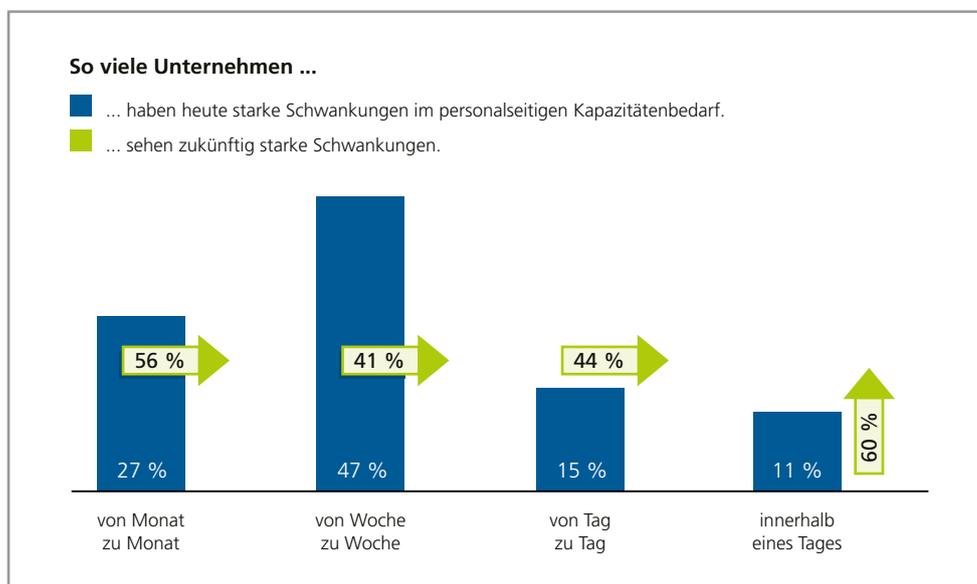
- Welche Entwicklung der Produktionsarbeit erwarten deutsche Produktionsunternehmen?
- Welche Lösungsansätze für erfolgreiche Produktionsarbeit ergeben sich durch den Einsatz neuer Technologien wie Mobilgeräten, Cyber-Physischen Systemen (CPS) und Social Media in der Produktion?
- Wie wird sich der Megatrend Flexibilität auf die Produktionsarbeit auswirken?

Die Studie »Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0« wendet sich an Leser aus dem produzierenden Gewerbe sowie technologieorientierten Branchen. Im Besonderen sind Führungskräfte, Fachkräfte und Berater angesprochen sowie alle Personen, die an einem Zukunftsbild der Produktionsarbeit in Deutschland interessiert sind oder dieses mitgestalten wollen.

## Zielsetzung

Diese Studie schafft eine Arbeitsgrundlage für die aktive Gestaltung der vierten industriellen Revolution und unterstützt somit Unternehmen auf ihrem Weg in die Industrie 4.0. Dazu ermitteln wir die Anforderungen der zukünftigen Produktionsarbeit und zeigen, wie diese zukünftig in Deutschland aussehen müsste, um erfolgreich am globalen Markt zu sein. Dies versetzt Unternehmen in die Lage, die Möglichkeiten der Industrie 4.0 schnell einzusetzen, um den Herausforderungen der Zukunft zu begegnen und so die Position der deutschen Produktion weiter zu sichern und auszubauen.

Beispielhaft zeigt Abbildung 1 die Ergebnisse zum steigenden Bedarf an kurzfristiger Kapazitätsflexibilität. Es ist klar zu erkennen, dass Unternehmen für künftige Wettbewerbsfähigkeit hier neue Lösungen brauchen.



*Abbildung 1: Starke Schwankungen im personalseitigen Kapazitätenbedarf sind heute für viele Unternehmen bereits Normalität. Zukünftig steigen die Herausforderungen jedoch drastisch, da durch volatile Märkte kurzfristigere Schwankungen zunehmen.*

## Vorgehen

Diese Studie basiert auf einer zweigeteilten Befragung. 661 produzierende Unternehmen nahmen zunächst an einer kombinierten postalischen und Online-Befragung teil. Bei drei Viertel der Teilnehmenden handelte es sich um Geschäftsführer, Produktions- oder Werkleiter. Ergänzend dazu wurden Interviews mit 21 namhaften Experten der deutschen Produktion durchgeführt, darunter Vertreter innovativer Produktions- und High-Tech-Unternehmen, führende Wissenschaftler aus den Themengebieten Produktionsarbeit und Industrie 4.0 sowie Verbands- und Gewerkschaftsvertreter.

## Ergebnisse

Die zentralen Ergebnisse der Studie lassen sich in acht Hauptaussagen zur Erwartungshaltung an die Produktionsarbeit der Zukunft zusammenfassen:

- Automatisierung wird für immer kleinere Serien möglich – dennoch bleibt menschliche Arbeit weiterhin ein wichtiger Bestandteil der Produktion.
- Flexibilität ist nach wie vor der Schlüsselfaktor für die Produktionsarbeit in Deutschland – in Zukunft aber noch kurzfristiger als heute.
- Flexibilität muss in Zukunft zielgerichtet und systematisch organisiert werden – »Pauschal-Flexibilität« reicht nicht mehr aus.
- Industrie 4.0 heißt mehr als CPS-Vernetzung. Die Zukunft umfasst intelligente Datenaufnahme, -speicherung und -verteilung durch Objekte und Menschen. Dezentrale Steuerungsmechanismen nehmen zu. Vollständige Autonomie dezentraler, sich selbst steuernder Objekte gibt es aber auf absehbare Zeit nicht. Sicherheitsaspekte (Safety und Security) müssen schon beim Design intelligenter Produktionsanlagen berücksichtigt werden.
- Aufgaben traditioneller Produktions- und Wissensarbeiter wachsen weiter zusammen. Produktionsarbeiter übernehmen vermehrt Aufgaben für die Produktentwicklung.
- Mitarbeiter müssen für kurzfristigere, weniger planbare Arbeitstätigkeiten On-the-Job qualifiziert werden.

## Fazit

Die Ergebnisse spiegeln die vorhandene Erwartungshaltung in Theorie und Praxis wider. Sie dienen als Anstoß und Diskussionsgrundlage, um die Produktionsarbeit in Deutschland nachhaltig wettbewerbsfähig zu gestalten. Mit der Studie trägt das Fraunhofer IAO zur erfolgreichen Gestaltung des erwarteten Wandels und zur Umsetzung der zukünftigen Arbeitswelt im Unternehmen bei.

## Mitgestalten möglich

Das Fraunhofer IAO startet im Sommer 2013 das »Innovationsnetzwerk Produktionsarbeit 4.0«, in dem Industrieunternehmen und Forschungspartner gemeinsam an Antworten und Lösungen für die Zukunft der Produktionsarbeit in Deutschland arbeiten. Abbildung 2 verdeutlicht das Prinzip des Innovationsnetzwerks, das einem Kreis von Unternehmen eine Plattform bietet, um

konkrete Anwendungsszenarien und Einsatzfälle für die zukünftige »Industrie 4.0« gemeinsam zu entwickeln und zu erproben. Dabei steht die flexible Nutzung von Produktionsressourcen, Anlagen und Werkzeugen über den gesamten Produktlebenszyklus im Mittelpunkt der Betrachtungen.

Mit dem »Zukunftslabor Industrie 4.0« schafft das Fraunhofer IAO die Möglichkeit, Anwendungsfälle für die Produktion nach dem Industrie-4.0-Prinzip zu erforschen.

Weitere Informationen erhalten Sie unter [www.produktionsarbeit.de](http://www.produktionsarbeit.de). Gerne können Sie uns auch direkt ansprechen.



Seien Sie dabei, wenn die Zukunft der Produktionsarbeit gestaltet wird!

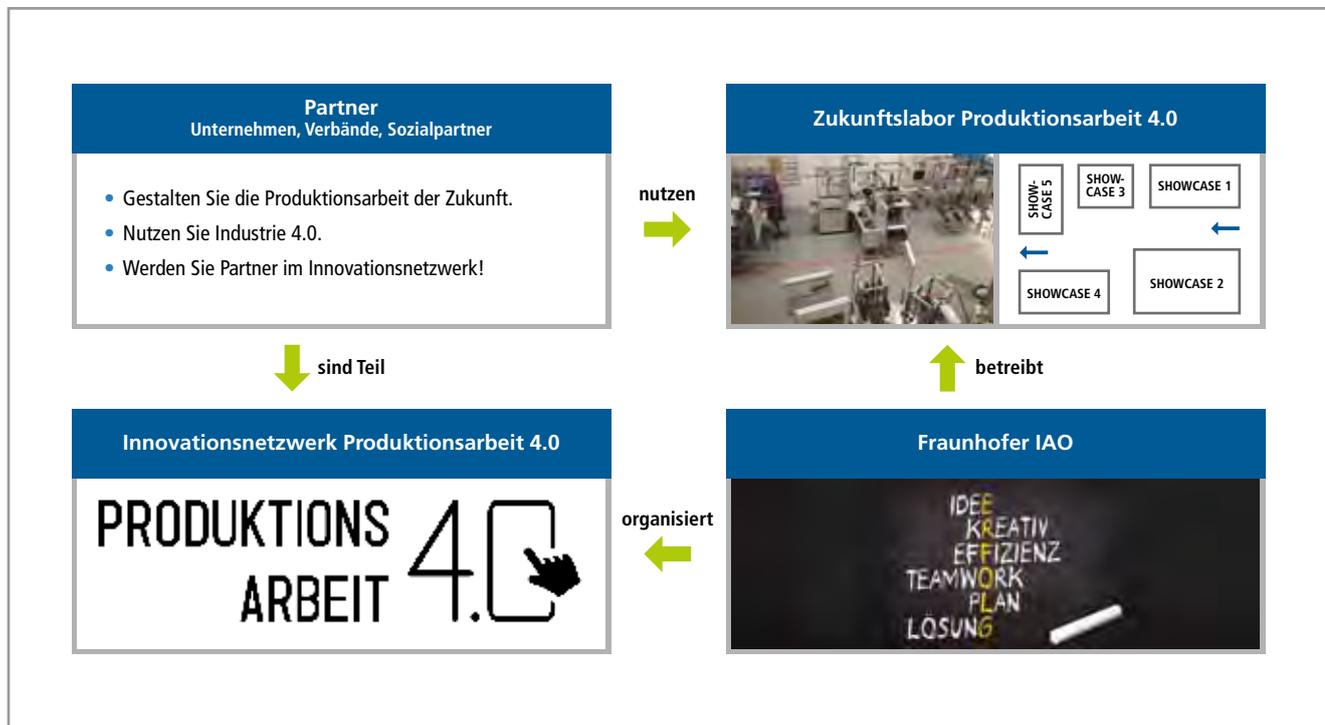


Abbildung 2: Im Netzwerk aktiv die Zukunft der Produktionsarbeit gestalten – das »Innovationsnetzwerk Produktionsarbeit 4.0«

## Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	2
<b>Management Summary</b>	4
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	11
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	13
<b>Wovon wir ausgehen</b>	
<b>1 Ausgangssituation der Studie</b>	14
1.1 Produktion ist wichtig für den Wirtschaftsstandort	14
1.2 Produktionsarbeit heute zwischen Automatisierung und und ganzheitlichen Produktionssystemen	17
1.3 Wirtschaftliche Entwicklungen und Herausforderungen	18
1.4 Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0	22
<b>2 Zielsetzung und Konzeption der Studie</b>	25
2.1 Zielsetzung der Studie	25
2.2 Konzeption der Studie	25
<b>Wie wir vorgegangen sind</b>	
<b>3 Methodik der Studie</b>	27
3.1 Fragebogenbefragung von Führungskräften in Unternehmen	27
3.2 Interviewbefragung von Experten	32
<b>4 Kurzportraits der beteiligten Experten</b>	34
4.1 Experten aus der Wirtschaft	34
4.2 Experten aus Verbänden	36
4.3 Experten aus der Wissenschaft	38

## Was wir erkennen konnten

<b>5</b>	<b>Das Wichtigste zuerst: Flexible Arbeit sichert den Produktionsstandort Deutschland</b>	40
5.1	Produktion in Deutschland – heute Spitze, morgen auch!	41
5.2	Anforderungen an die Produktion werden weiter steigen	42
5.3	Ansätze für die Produktion der Zukunft sind greifbar	43
5.4	Neue technische Möglichkeiten verändern die Produktion der Zukunft	44
5.5	Menschliche Arbeit bleibt Schlüsselfaktor für Produktivität	46
5.6	Industrie 4.0: evolutionäre Ausbreitung, revolutionäre Wirkung	48
<b>6</b>	<b>Arbeit der Zukunft – Mensch und Automatisierung</b>	50
6.1	Vollautomatisierung wird vielen Märkten nicht gerecht werden	52
6.2	Menschliche Fähigkeiten nutzen und den Menschen unterstützen	53
<b>7</b>	<b>Vernetzung und mobile Kommunikation – ein großes Potential</b>	56
7.1	Vernetzung in der Produktion eröffnet neue Möglichkeiten	56
7.2	Nutzung mobiler Kommunikationstechnik im Arbeitskontext wird zunehmen	57
7.3	Potentiale von Social Media in der Produktion sind noch nicht ausgeschöpft	59
7.4	Neue Möglichkeiten der Unterstützung der Mitarbeiter durch mobile Assistenz	61
7.5	Geringerer Aufwand und bessere Qualität der Dokumentation	63
<b>8</b>	<b>Zukunft Produktionsarbeit – Flexibilität ist Trumpf</b>	67
8.1	Flexible Produktionsarbeit: heute wichtig, morgen Trumpf	68
8.2	Volatile Märkte und Mitarbeiterorientierung machen Flexibilität zum Schlüsselfaktor	70
8.3	Flexibilisierungsinstrumente von heute ermöglichen schnelle Reaktionen, reichen aber für die Zukunft nicht aus	74
8.4	Flexibilität für die Produktionsarbeit der Zukunft muss noch kurzfristiger sein	80
8.5	Best Practice Beispiel Flughafen Stuttgart: Personalflexibilität bringt Vorteile für Unternehmen und Mitarbeiter	83
8.6	Hohe Flexibilität verursacht Steuerungsaufwand, dieser sinkt durch die direkte Beteiligung der Produktionsarbeiter	84
8.7	Qualifikation ist ein Schlüssel für die flexible Produktionsarbeit der Zukunft	86
8.8	Erhöhte Flexibilität verursacht Kosten und erfordert verstärkte Kompensation	87
8.9	Die gesellschaftliche Stellung flexibler Produktionsarbeit muss positiv gestaltet werden	88

<b>9</b>	<b>Produktionssteuerung 4.0 – schlanker und dezentraler mit Echtzeitdaten</b>	90
9.1	Die Produktionssteuerung der Zukunft steht vor großen Herausforderungen	90
9.2	Ausblick »Transparenz«	92
9.3	Ausblick »Dezentrale Steuerung und Assistenten«	95
9.4	Ausblick »Autonomie und Selbstorganisation«	98
9.5	Die Kontrolle bleibt beim Menschen	100
9.6	Industrie 4.0 ist nicht gleich CIM 2.0	101
9.7	Auch die Produktion 4.0 kann schlank sein	103
9.8	Aktuelle ERP-Systeme sind noch nicht reif für die Industrie 4.0	104
<b>10</b>	<b>Integration von Produktions- und Wissensarbeit – in Zukunft noch wichtiger</b>	107
10.1	Anlaufprozesse können auf neue Art unterstützt werden	108
10.2	Abstimmungsaufwände steigen zukünftig	109
10.3	Erfahrungsrückfluss muss schneller werden	111
<b>11</b>	<b>Industrie 4.0 – Produktionsarbeit neu denken</b>	114
11.1	Industrie 4.0 ist noch nicht bei den Unternehmen angekommen	114
11.2	Zukünftig werden Objekte und Menschen stärker vernetzt sein	115
11.3	Industrie 4.0 ist ein Lösungsansatz für die Herausforderungen der Zukunft	116
11.4	Vieles ist schon da, bis zur vollständigen Umsetzung dauert es noch	119
11.5	Über den Zeithorizont bis zur Industrie 4.0 gibt es verschiedene Meinungen	120
11.6	Industrie 4.0 als Chance für die deutsche Produktion	121
11.7	Die Umstellung erfolgt schrittweise	122
11.8	Neue Herausforderungen brauchen neue Qualifikationen	123
11.9	Wie sieht menschliche Arbeit in Zukunft aus? Besser? Schlechter? Anders!	127
11.10	Der Mensch nimmt eine zentrale Rolle in der Industrie 4.0 ein	129
	<b>Was auf uns zukommt</b>	
<b>12</b>	<b>Die Studienergebnisse im Überblick</b>	132
<b>13</b>	<b>Thesen zur Produktionsarbeit der Zukunft</b>	135
<b>14</b>	<b>Nächste Schritte auf dem Weg zur Produktionsarbeit der Zukunft</b>	136
	<b>Anhang</b>	
	<b>Wer wir sind</b>	137
	<b>Wem wir danken</b>	141
	<b>Wie wir befragt haben</b>	143
	<b>Wen wir zitieren</b>	147

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Starke Schwankungen im personalseitigen Kapazitätsbedarf sind heute für viele Unternehmen bereits Normalität. Zukünftig steigen die Herausforderungen jedoch drastisch, da durch volatile Märkte kurzfristige Schwankungen zunehmen.	5
Abbildung 2:	Im Netzwerk aktiv die Zukunft der Produktionsarbeit gestalten – das »Innovationsnetzwerk Produktionsarbeit 4.0«	7
Abbildung 3:	Der Industrie-Anteil am BIP ist von 2001 bis 2012 in fast allen europäischen Ländern stark gesunken – Deutschland ist das einzige westeuropäische Land mit einem Anstieg	15
Abbildung 4:	In der Krise führt ein starker Produktionsanteil zu einem heftigeren Einbruch, aber vor allem auch zu einer deutlich schnelleren Erholung	16
Abbildung 5:	Megatrends, die die Produktionsarbeit der Zukunft beeinflussen werden	18
Abbildung 6:	Die vier Stufen industrieller Revolutionen	23
Abbildung 7:	Die zwei Säulen dieser Studie: Praktiker und Experten tragen zum Bild der Produktionsarbeit der Zukunft bei	26
Abbildung 8:	Mehr als 75 % der Befragten sind Entscheider	28
Abbildung 9:	Der Maschinen- und Anlagebau und die Gruppe der Ausrüster aus den Bereichen Elektro-, Energie- und Medizintechnik stellen gemeinsam fast die Hälfte der Befragten	29
Abbildung 10:	Die meisten befragten Unternehmen sind mittelständisch geprägt	30
Abbildung 11:	Die Produktion der meisten Unternehmen ist manuell oder hybrid geprägt	31
Abbildung 12:	Deutschland bleibt auch in Zukunft ein wichtiger Produktionsstandort	40
Abbildung 13:	In Zukunft muss schneller auf Kundenanforderungen reagiert werden	43
Abbildung 14:	Menschliche Arbeit bleibt zukünftig wichtig für die Produktionsunternehmen	47
Abbildung 15:	Ohne Menschen wird auch in Zukunft nicht produziert	50
Abbildung 16:	Deutschland bleibt als Produktionsstandort sehr wichtig	51
Abbildung 17:	Mobile Kommunikationstechniken werden im Arbeitskontext zunehmen	57
Abbildung 18:	Social Media in der Produktion wird vermutlich zunehmen	59
Abbildung 19:	Mobile Endgeräte eröffnen neue Möglichkeiten der Nutzung aktueller Produktionsdaten	62
Abbildung 20:	Der Aufwand zur Dokumentation ist heute zu hoch	63
Abbildung 21:	Dokumentationsaufwand wird durch mobile Endgeräte drastisch reduziert	64
Abbildung 22:	Dokumentationsqualität wird durch mobile Endgeräte deutlich verbessert	65
Abbildung 23:	In Zukunft müssen Unternehmen schnell auf Kundenanforderungen reagieren können	67
Abbildung 24:	Die Flexibilität der Produktionsarbeiter ist und bleibt ein Erfolgsfaktor für Produktionsunternehmen	69
Abbildung 25:	Die meisten Unternehmen haben bereits heute starke Schwankungen im Kapazitätsbedarf	71
Abbildung 26:	Heute sind Schwankungen mit Vorlaufzeiten im Wochenhorizont stark verbreitet. In Zukunft werden die Schwankungen der Absatzmärkte aber stärker und kurzfristiger.	72

Abbildung 27:	Unternehmen mit heute starken Schwankungen von Woche zu Woche werden zukünftig verstärkt Schwankungen im Tagesraster haben – der Trend gilt für alle Zeitraster	73
Abbildung 28:	Flexible Arbeitszeiten haben sich in der Produktion weitgehend etabliert	76
Abbildung 29:	Die Verleihung von Produktionsarbeitern wird heute selten als Flexibilitätsinstrument eingesetzt	77
Abbildung 30:	Knapp die Hälfte der Unternehmen sind flexibel genug, um heutige Marktschwankungen zu kompensieren	78
Abbildung 31:	Die Regelungen zum flexiblen Personaleinsatz müssen zukünftig ausgeweitet werden	79
Abbildung 32:	Zukünftig müssen Mitarbeiter noch kurzfristiger eingesetzt werden können	81
Abbildung 33:	Verleihung von Mitarbeiter wird zukünftig wichtiger	82
Abbildung 34:	Der Aufwand zur Steuerung der Personalkapazität ist bereits heute in vielen Unternehmen zu hoch	85
Abbildung 35:	Flexible Produktionsarbeit erfordert Qualifizierung	86
Abbildung 36:	Der kurzfristige Steuerungsaufwand in der Produktion ist hoch	91
Abbildung 37:	Schlechte Qualität der Produktionsdaten ist ein wichtiger Grund für kurzfristige Eingriffe in die Produktionssteuerung	93
Abbildung 38:	Mangelnde Aktualität der Produktionsdaten ist ein weiterer wichtiger Grund für kurzfristige Eingriffe in die Produktionssteuerung	93
Abbildung 39:	Frühzeitige Informationen haben ein großes Potenzial für die Verbesserung der Produktionssteuerung	94
Abbildung 40:	Die meisten Ereignisse, die zu kurzfristigen Änderungen führen, sind wiederkehrend	96
Abbildung 41:	Ein großer Teil der Ereignisse wird unnötig in die Leitungsebene eskaliert	97
Abbildung 42:	Erkennung von Ereignissen geht noch nicht vollautomatisch	99
Abbildung 43:	In Zukunft muss sich die Produktion noch häufiger an neue Produkte und Prozesse anpassen	107
Abbildung 44:	Die Übernahme von Aufgaben für die Produktentwicklung erzeugt heute hohe Abstimmungsaufwände in der Produktion	110
Abbildung 45:	Erfahrungen aus der Produktion müssen zukünftig schneller in die Produktentwicklung zurückgeführt werden	111
Abbildung 46:	Den Unternehmen ist der Begriff Cyber-Physische Systeme noch nicht bekannt	114
Abbildung 47:	Nur die wenigsten Unternehmen stellen heute CPS-fähige Produkte her	115
Abbildung 48:	In der Industrie 4.0 entscheiden miteinander vernetzte Menschen und Objekt kooperativ	117
Abbildung 49:	Für Industrie 4.0 müssen die Mitarbeiter qualifiziert werden	124

## Abkürzungsverzeichnis

- BIP Bruttoinlandsprodukt, Gesamtwert aller Güter, die innerhalb eines Jahres innerhalb der Landesgrenzen einer Volkswirtschaft hergestellt wurden und dem Endverbrauch dienen.
- CIM Computer-integrated manufacturing, allgemein ein Oberbegriff für computerunterstützte Tätigkeiten in Unternehmen. Der Begriff steht aber auch synonym für eine Entwicklung der 1980er Jahre, in der versucht wurde, die Produktion möglichst vollständig computergesteuert zu automatisieren. Intensiv beschäftigt sich Kapitel 9.6 mit CIM.
- CPS Cyber-Physisches System, engl. cyber-physical system. Eine Definition und kurze Erklärung zu CPS finden Sie auf Seite 23.
- CPPS Cyber-Physische Produktionssysteme, engl. Cyper-Physical Production Systems, sind Produktionssysteme, in denen verstärkt CPS-Systeme zum Einsatz kommen.
- ERP Enterprise-Resource-Planning bezeichnet Software zur Planung und Steuerung unternehmerischer Aufgaben unter Berücksichtigung und Optimierung der Ressourcen.
- FIFO First In – First Out, beim FIFO-Steuerungsverfahren werden die Produktionsaufträge in der Reihenfolge ihres Eingangs bearbeitet.
- GPS Ganzheitliche Produktionssysteme, ganzheitliche und abgestimmte Umsetzung der Methoden des Lean Management auf Produktionssysteme.
- IKT Informations- und Kommunikationstechnik, Technik im Bereich der Information und Kommunikation.
- IT Informationstechnik, Oberbegriff für die Informations- und Datenverarbeitung sowie für die dafür benötigte Hard- und Software.
- KI Künstliche Intelligenz, ist ein Teilgebiet der Informatik, welches sich mit der Automatisierung intelligenten Verhaltens befasst.
- PLM Product-Lifecycle-Management-Systeme, ein strategisches Konzept zum Management von Entwicklung und Produktion eines Produktes über seinen gesamten Lebenszyklus. Vgl. hierzu auch die Ausführungen am Ende von Kapitel 10.3.
- PPS Produktionsplanung und -steuerung beschäftigt sich mit der Planung, Steuerung und Kontrolle von Vorgängen, die bei der Produktion von Waren und Gütern notwendig sind.
- TPM Total Productive Maintenance, Instandhaltungskonzepte mit der Zielsetzung der Vermeidung von Betriebsstörungen an Anlagen.

# Wovon wir ausgehen

## 1 Ausgangssituation der Studie

### Definition

»Produktionsarbeit« umfasst den Teil bezahlter Leistungserbringung, der direkt zur Erstellung und Verarbeitung von Gütern und Produkten beiträgt und vorwiegend körperliche Tätigkeiten beinhaltet. Die wesentlichen Tätigkeitsbereiche, die von diesem Begriff umfasst werden sind Fertigung, Montage und angrenzende Logistikaufgaben wie innerbetrieblicher Transport, Kommissionierung und Materialbereitstellung.

Für die Produktionsarbeit bricht eine spannende Zeit an, die viele Veränderungen mit sich bringen wird. Zur Einordnung der aktuellen und zukünftigen Entwicklungen ist aber auch der Blick zurück auf die Entwicklung der Produktionsarbeit und insbesondere der Blick auf die aktuellen Herausforderungen wichtig. Diesen Bogen spannt das folgende Kapitel.

### 1.1 Produktion ist wichtig für den Wirtschaftsstandort

Produktionsarbeit hat über Jahrzehnte hinweg an Bedeutung verloren. In beinahe allen Industrienationen hat der Anteil der Produktion abgenommen. Abbildung 3 zeigt die Entwicklung der letzten elf Jahre. Im europäischen Durchschnitt wird heute lediglich noch ein Anteil von 16 % erreicht. Momentan deutet jedoch vieles darauf hin, dass der Rückgang der Produktionsarbeit an Dynamik abnimmt und sich gegebenenfalls sogar umkehrt. Im Gegensatz zu Frankreich und Großbritannien – zwei traditionell starken Industrienationen – verlor die Industrie in Deutschland weniger stark an Bedeutung. Dem Statistischen Bundesamt zufolge beträgt der Anteil der Produktion an der Bruttowertschöpfung in Deutschland heute noch 22 %.<sup>1</sup>

Zudem scheint sich momentan ein Wandel zu vollziehen – hin zu einer Wiederbelebung der industriellen Kerne, die wieder stärker als Grundlage für den Wohlstand eines Landes wahrgenommen werden. Professor Peter Post, Leiter des Bereichs Corporate Research and Programme Strategy bei der Festo AG & Co. KG bringt es auf den Punkt: **»Wenn es uns nicht gelingt, Wertschöpfung hier im Land zu halten, dann sehe ich auf lange Sicht schwarz. Diese Art der Wertschöpfung ist die Basis für den Wohlstand, den wir heute haben.«**

---

<sup>1</sup> Vgl. (Deutsches Statistisches Bundesamt; 2012).

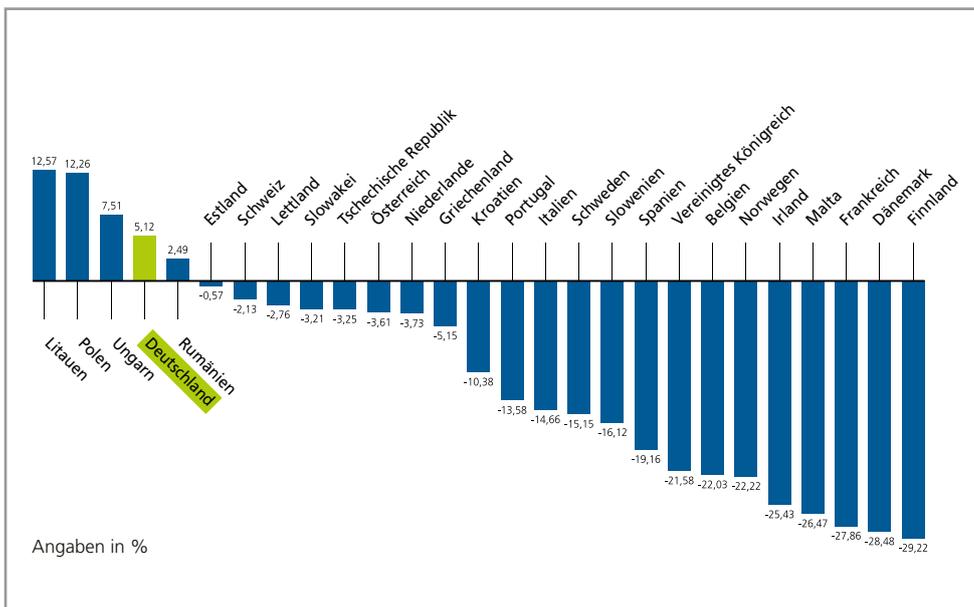


Abbildung 3: Der Industrie-Anteil am BIP ist von 2001 bis 2012 in fast allen europäischen Ländern stark gesunken – Deutschland ist das einzige westeuropäische Land mit einem Anstieg<sup>2</sup>

Vor allem die Finanzkrise rund um den Zusammenbruch der US-amerikanischen Großbank Lehman Brothers führte bei vielen Verantwortlichen zu einem Umdenken. Vier Jahre nach Beginn der Banken- und Wirtschaftskrise, die am 15. September 2008 mit der Insolvenz von Lehman Brothers begann, wird vielerorts wieder ein starker industrieller Kern als Grundlage für Prosperität und Wohlstand einer Region gesehen. Gerade in Deutschland rückt diese Ansicht momentan in den Fokus. Dies liegt daran, dass Deutschland – rückblickend betrachtet – gestärkt aus der Finanzkrise herausgegangen ist.

<sup>2</sup> Darstellung basierend auf Daten des Statistischen Amtes der Europäischen Union (Statistisches Amt der Europäischen Union; 2013).

Abbildung 4 zeigt sinnbildlich dafür die Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts für Deutschland und Frankreich für den Zeitraum von 2003 bis 2013. Charakteristisch für den Verlauf in Deutschland ist der stärkere Einbruch im Jahr 2009, der aber durch ein überproportionales Wachstum in den Folgejahren mehr als wettgemacht wurde. Allein der Wachstumsunterschied im Jahr 2010 schlägt mit knapp 50 Milliarden Euro zu Buche. Diesen Zusammenhang bestätigt auch die Betrachtung des durchschnittlichen BIP-Wachstums der europäischen Länder nach der Krise. Hier zeigt sich, dass ein hoher Industrieanteil direkt mit einem hohen Wachstum korreliert.<sup>3</sup>

Daher wird der schnelle Aufschwung in Deutschland vielerorts auf das Vorhandensein einer starken industriellen Basis zurückgeführt. Das deutsche Beispiel steht deshalb im Zentrum zahlreicher internationaler Aktivitäten zur Verbesserung der Produktion.

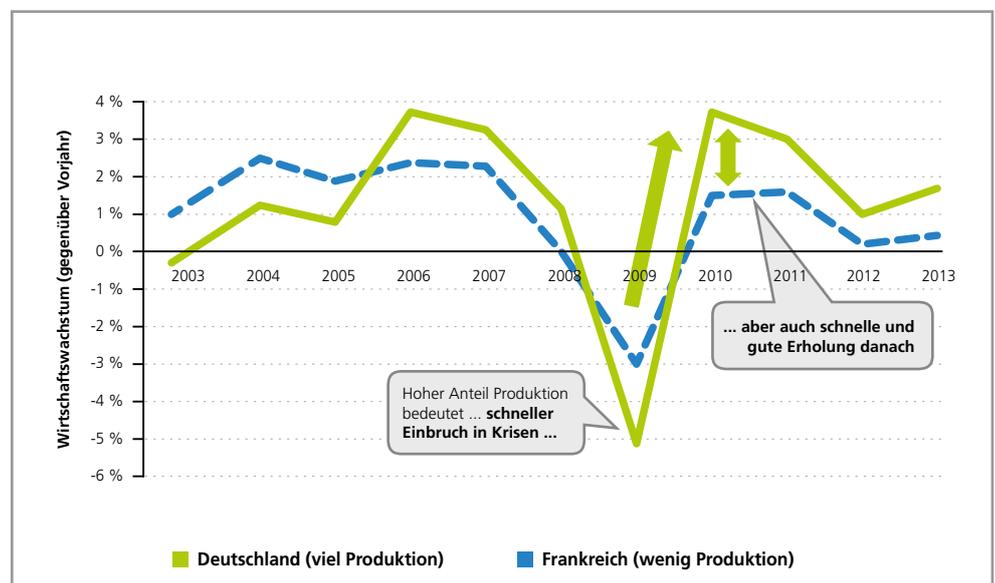


Abbildung 4: In der Krise führt ein starker Produktionsanteil zu einem heftigeren Einbruch, aber vor allem auch zu einer deutlich schnelleren Erholung<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Vgl. hierzu auch (Roland Berger; 2013).

<sup>4</sup> Darstellung basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes, (Deutsches Statistisches Bundesamt; 2012).



## 1.2 Produktionsarbeit heute zwischen Automatisierung und ganzheitlichen Produktionssystemen

Die grundsätzliche Diskussion um Arbeitsformen der Zukunft wird heute verstärkt auf dem Gebiet der Wissensarbeit geführt.<sup>5</sup> Hier haben in den letzten Jahren und Jahrzehnten vermehrt neue Technologien und Arbeitsformen Einzug gehalten. So sind moderne Hilfsmittel wie Computer, Mobilgeräte, Soziale Netzwerke und kollaborative Echtzeitabstimmungen heute aus den Büros kaum mehr wegzudenken. *Einer Studie des Instituts der deutschen Wirtschaft zufolge setzen gerade innovative und erfolgreiche Unternehmen vermehrt solche modernen Hilfsmittel im Bürobereich ein.*<sup>6</sup> Flexible Arbeitsformen und neue innovative Arbeitskonzepte sind im Büroalltag inzwischen weit verbreitet. Gleiches gilt für die gezielte Nutzung von Echtzeitinformationen zur schnelleren und besseren Problemlösung. Die reibungslose Integration von Kunden und Lieferanten in die eigene Wertschöpfung ermöglicht neue Wettbewerbsvorteile.

*Noch sind diese Entwicklungen an der Produktionsarbeit weitestgehend spurlos vorbeigegangen.* Hier wurde die Entwicklung in den vergangenen Jahrzehnten vor allem durch zwei Bewegungen geprägt. Auf der einen Seite wurden wiederholbare und automatisierbare Aufgaben mit steigender Komplexität automatisiert. Daneben wurden fast flächendeckend robuste und ganzheitliche Produktionskonzepte (GPS) im Sinne des Toyota Produktionssystems eingeführt. Typische Elemente davon sind ziehende Produktion, Kanban- oder Just-in-Time-Materialbereitstellung, Total Productive Maintenance (TPM) und Führung auf Shopfloor-Ebene. Zahlreiche Unternehmen haben in den letzten beiden Jahrzehnten ihre Produktion nach diesen Kriterien umgestellt. Dabei wurden nicht nur die Abläufe neu gestaltet. Auch der Führungsstil und die Kultur der Unternehmen durchliefen weitreichende Änderungen: Die Prozessverantwortung wanderte wieder verstärkt an den Ort der eigentlichen Wertschöpfung – in die Produktion.

Beide Entwicklungen – Automatisierung und ganzheitliche Produktionssysteme (GPS) – haben eine hohe Marktdurchdringung erreicht und prägen heute das verarbeitende Gewerbe. *Im Zuge einer zunehmend stärkeren Ausrichtung der Produktion an den tatsächlichen Kundenbedarfen (Mass Customization) und der daraus resultierenden späten Variantenbildung wurden flächendeckend Losgrößen und Durchlaufzeiten reduziert.*

### Vision Zukunft

*Ein Beispiel für neue Technologien mit dem Potenzial, die industrielle Produktion tiefgreifend zu ändern, sind die Fortschritte auf dem Gebiet generativer Fertigungstechnologien. Ein Trend, der Ende 2012 mit der Veröffentlichung Chris Anderson's »Makers – The New Industrial Revolution« seinen vorläufigen Höhepunkt fand. 3-D-Drucker stehen bereits kostengünstig für viele Materialien zur Verfügung. Noch scheint es aber, dass diese Entwicklung noch einige Jahre benötigen wird, um unter industriellen Anforderungen serientauglich anwendbar zu sein.*

<sup>5</sup> Unter Wissensarbeit versteht man den Teil der (Büro-) Arbeit, in dem Lösungen für immer neuartige Fragestellungen in einer komplexen Lösungsumgebung autonom erarbeitet werden. Vgl. (Spath; 2009).

<sup>6</sup> Vgl. (Institut der deutschen Wirtschaft Köln; 2011).

In Deutschland wird diese Entwicklung begleitet durch traditionell starke Gewerkschaften und einen insgesamt produktiven Dialog der Sozialpartner in einer stark mittelständisch geprägten Unternehmensstruktur. Dr. Constanze Kurz, Gewerkschaftssekretärin beim Vorstand der IG Metall, fasst es folgendermaßen zusammen: »*Wenn ich heute Führungskräfte und Mitarbeiter in der Produktion zusammenstehe sehe, reden sie auf Augenhöhe und sind auch an der Kleidung nicht mehr zu unterscheiden. Das ist verglichen mit der Vergangenheit eine soziale und kulturelle Veränderung, nicht nur eine technische.*«

### 1.3 Wirtschaftliche Entwicklungen und Herausforderungen

Neben dem Einsatz neuer Technologien prägen vor allem gesamtgesellschaftliche Entwicklungen die Produktionsarbeit. Bezogen auf die Produktionsarbeit lassen sich die in Abbildung 5 dargestellten Megatrends erkennen.<sup>7</sup>



Abbildung 5: Megatrends, die die Produktionsarbeit der Zukunft beeinflussen werden<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Vgl. hierzu auch (Abele, Reinhart; 2011).

<sup>8</sup> Darstellung basierend auf (Abele, Reinhart; 2011).

Abgeleitet aus diesen Megatrends wurden Experten<sup>9</sup> befragt, welche Herausforderungen ihrer Meinung nach die Zukunft besonders prägen werden. In der Summe der Ergebnisse stellten sich vor allem drei Themenfelder als wichtig und dringend heraus:

### Umgang mit Komplexität

Die Zukunft der Produktion wird komplexer. Herr Klaus Bauer, Leiter der Systementwicklung Basistechnologien bei TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG, führt die Erwartungshaltung folgendermaßen aus: »**Der Wettbewerbsvorteil wird in Zukunft die Beherrschung von Komplexität und komplexen Technologien mitsamt des nötigen Know-hows sein**«. Professor Wolfgang Wahlster, Vorsitzender der Geschäftsführung und technisch-wissenschaftlicher Leiter des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz, beschreibt die aktuelle Produktkomplexität aufgrund der Durchdringung heutiger Produkte mit Technologie: »Wenn sie 100 Embedded Systeme in einem normalen BMW haben ist klar, dass dann täglich neue Patches von den Lieferanten geliefert werden. Dadurch entsteht eine Kombinatorik, die man sich mathematisch einfach ausrechnen kann.« Dr. Jochen Rode, Head of Digital Manufacturing bei SAP Research, SAP AG, fasst zusammen, was steigende Komplexität konkret für die Unternehmen bedeutet: »Viele weitere Trends sind absehbar: Vernetzung und Komplexitätsgrad werden zunehmen, die Fertigungstiefe nimmt weiter ab. Wir werden in Zukunft deutlich mehr Zulieferer haben, die zu koordinieren sind. Das Prinzip Just-in-Time bzw. Just-in-Sequence wird sich weiter verschärfen.«

Ein Weg aus dem Dilemma wird in der zunehmenden Nutzung dezentraler Systeme gesehen. Dazu noch einmal Professor Wahlster: »**Je höher die Produktvielfalt und je geringer die Losgröße, desto gigantischer wird der Aufwand für eine zentrale Steuerung der Produktion. Durch dezentrale Systeme können wir die Komplexität reduzieren.**«

Etwas konkreter erklärt diesen Gedanken Professor Michael ten Hompel, Institutsleiter des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik IML: »Services können wir standardisieren. Das Problem liegt darin, dass wir versuchen, Prozessketten und Abläufe zu standardisieren. Das funktioniert nicht, weil die Prozesse sich immer weiter entwickeln. Über lokale Entscheidungen ergibt sich ein emergentes System. Wir sollten nicht versuchen, alles im Voraus zu planen.«

---

<sup>9</sup> Weitere Informationen zu den befragten Experten finden Sie in Kapitel 3.2 sowie in Kapitel 4.

## Innovationsfähigkeit

»*Deutschland wird gar nicht anders können, als in der Innovation immer eine Nasenlänge voraus zu sein*«, fasst Professor Manfred Broy, Professor für Informatik an der Technischen Universität München, die Bedeutung des Themas zusammen. Was das für die Unternehmen bedeutet, konkretisiert Herr Bauer von der schwäbischen Innovationsschmiede Trumpf: »Mit zunehmendem Reifegrad einer Technologie würden wir in eine Sättigung hineinkommen. Wenn wir in der Vergangenheit nichts getan hätten, wären unsere Produkte heute nicht mehr verkäuflich. Also müssen wir relativ früh schauen, was als Nächstes kommt.«

Allerdings wird der Wettlauf um Innovationen laut Professor Dieter Spath, Institutsleiter des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, zunehmend härter. Es müsse das magische Dreieck aus Kosten, Qualität und Zeit berücksichtigt werden. Entscheidend werde es dabei sein, bezüglich der Produktionszeit und der Liefertreue besser zu werden – ohne Qualität und Kosten zu vernachlässigen.<sup>10</sup> In letzter Konsequenz hängt von der Innovationsfähigkeit die Zukunft eines Unternehmens ab.

Am Beispiel Google lässt sich gut erkennen, welche Durchschlagskraft innovative Geschäftsmodelle haben können. Dr. Wieland Holfelder, Engineering Director & Site Lead bei der Google Germany GmbH, beschreibt es folgendermaßen: »*Die meisten Leute erkennen nicht, dass die Technologieentwicklung exponentiell verläuft und was das bedeutet. Die Leute versuchen, nach hinten zu schauen und extrapolieren dann linear: Wenn in den letzten zehn Jahren das passiert ist, wird in den nächsten zehn Jahren vermutlich dies passieren. Das ist ein Riesenfehler und dadurch verschlafen viele Industrien das, was eigentlich wirklich passiert.*« Aus der exponentiellen Technologieentwicklung resultieren extreme Anforderungen an die Innovationsfähigkeit der Unternehmen. Noch ist unklar, wie die Unternehmen diesen Anforderungen in Zukunft gerecht werden können und ob sich die Produktionsarbeit durch den Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) ebenso bahnbrechend verändern wird wie die Wissensarbeit. Auf jeden Fall zeigt das Beispiel Google aber, dass allein die Kombination neuer Technologie mit einem innovativen Geschäftsmodell die bestehenden Strukturen revolutionär verändern kann.

---

<sup>10</sup> Vgl. hierzu auch Kapitel 9.

## Flexibilität

Die Entwicklungen seit der globalen Wirtschaftskrise haben gezeigt, dass insbesondere der Umgang mit immer kurzzyklischer schwankenden Märkten ein Schlüsselfaktor für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen ist. Volatilität ist das Wort der Stunde, Anpassungsfähigkeit und Flexibilität sind Voraussetzungen, um auch mit diesen Anforderungen am Markt erfolgreich zu sein. Dies gilt im Bereich der Produktion für die genutzten Anlagen und Wertschöpfungsketten, aber insbesondere für die Produktionsarbeit, also für die Mitarbeiter.

Die richtige und schnelle Reaktionsfähigkeit, bei kurzfristigen Änderungen bei gleichzeitiger Wahrung sowohl langfristiger Kapazitätsziele als auch der Interessen der Mitarbeiter, stellen das Spannungsfeld dar, in dem sich die Produktionsarbeit der Zukunft bewegt. Professor Post bringt es folgendermaßen auf den Punkt: »Ich glaube der Trend in Richtung Flexibilisierung ist einer der entscheidenden Punkte, die für die Produktion der Zukunft wichtig sind.« Dr. Manfred Wittenstein, Vorstand für Technologie und Innovation bei der Wittenstein AG, sieht die zukünftigen Flexibilitätsanforderungen so: **»Wir werden viel kurzfristiger auf Dinge reagieren müssen. Dazu müssen wir relativ schnell unsere Daten verdichten und aufbereiten und zu Entscheidungen kommen.«**

Die Verbindung zur Welt außerhalb der Produktion stellt Bernd Respondek-Osterloff, Koordinator des Miele Wertschöpfungssystem, bei Miele her. Am Beispiel des Smartphone-Einsatzes im privaten Umfeld skizziert er, was auf die Produktionsarbeit der Zukunft zukommen könnte: »Jeder Mitarbeiter hat momentan ein Mobilgerät. Heute würde uns das missfallen, wenn sie damit spielen, aber zukünftig ist das vielleicht ein grundlegendes Handwerkszeug.«

## 1.4 Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0

### Definition

*Unter »Industrie 4.0« wird die beginnende vierte industrielle Revolution nach Mechanisierung, Industrialisierung und Automatisierung verstanden. Zentrales Element sind vernetzte Cyber-Physische Systeme (CPS).<sup>12</sup>*

Die fortschreitende Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) hat dafür gesorgt, dass mittlerweile auch im Bereich der Produktion leistungsstarke und günstige Sensoren und Aktoren zur Verfügung stehen. Diese rücken den Einsatz von Echtzeitinformationen wieder ins Blickfeld der Produktion. Unter dem Schlagwort »Industrie 4.0« werden momentan Entwicklungen hin zu einem Produktionsumfeld diskutiert, das aus intelligenten, sich selbst steuernden Objekten besteht. Beispiele für CPS sind Anlagen, Behälter, Produkte und Materialien.<sup>11</sup> In einer Vision der flächendeckenden Durchdringung dieses Ansatzes steuern sich Aufträge selbstständig durch ganze Wertschöpfungsketten, buchen ihre Bearbeitungsmaschinen und ihr Material und organisieren ihre Auslieferung zum Kunden.

Möglich gemacht wird die Vernetzung dieser dezentralen intelligenten Systeme durch die flächendeckende und bezahlbare Verfügbarkeit der technischen Infrastruktur in Form von industriell einsetzbaren (Funk-) Internetverbindungen. Logisch werden die Systeme durch die konsequente Anwendung von dezentralen Steuerungsprinzipien wie Multiagentensystemen gekoppelt, die sich am schon lange propagierten »Internet der Dinge«<sup>13</sup> orientieren. Dies ermöglicht die Integration von realer und virtueller Welt. Produkte, Geräte und Objekte mit eingebetteter Software wachsen zu verteilten, funktionsintegrierten und rückgekoppelten Systemen zusammen.

Durch die Einführung von IKT unterlagen die angrenzenden Bereiche der Arbeit – Wissens- und Dienstleistungsarbeit – bereits radikalen Veränderungen. Der flächendeckende Einzug von PC, Internet und Mobiltelefonen führte und führt immer noch zu neuen Arbeitsformen. Diese neuen Technologien haben die Bereiche der Produktionsarbeit bisher jedoch erst »gestreift«. Ein plakatives Beispiel ist die Diskussion über den Einsatz von Smartphones und Tablet-PCs in der Produktion. Ist die produktive Nutzung dieser mobilen Endgeräte heute noch auf wenige Anwendungsfälle in Logistik, Wartung und Instandhaltung beschränkt, steigt die Wahrnehmung, dass diese neuen Technologien auch in den direkten Produktionsbereichen künftig verstärkt eingesetzt werden.

Die Auswirkungen auf die beteiligten Industrien stellt diese Entwicklung in eine Reihe mit den drei vorausgegangenen industriellen Revolutionen, die in Abbildung 6 dargestellt sind. Die technologische Perfektion der Produktionsanlagen in Kombination mit einer stärkeren Integration

11 Vgl. (Spath u.a.; 2012).

12 Bei dieser Definition handelt es sich um eine eigene Arbeitsdefinition für diese Studie.

13 Zum Internet der Dinge vgl. (Bullinger, ten Hompel; 2007).

der Mitarbeiter, Kunden und Benutzer der Produkte ermöglicht völlig neue Geschäftsmodelle. *»Produktion nach dem 4.0-Prinzip schafft die Voraussetzungen dafür, dass traditionelle Strukturen abgelöst werden können, die auf zentralen Entscheidungsmechanismen und starren Grenzen einzelner Wertschöpfungsschritte aufbauen. Diese werden ersetzt durch flexibel konfigurierbare Leistungsangebote und interaktive, kooperative Entscheidungsmechanismen«*, sagt Professor Spath.

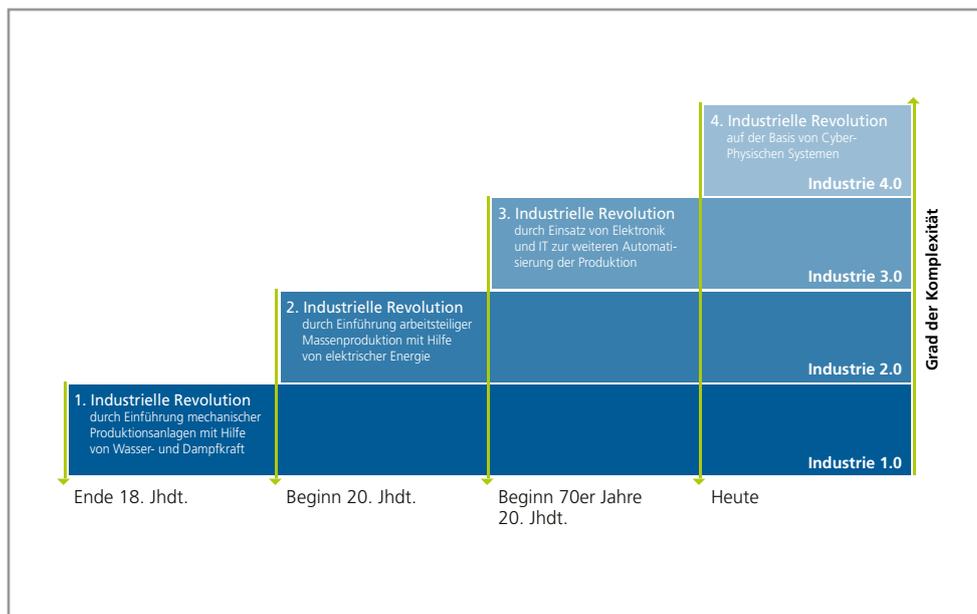


Abbildung 6: Die vier Stufen industrieller Revolutionen<sup>15</sup>

Die Forschungsunion als eines der zentralen innovationspolitischen Beratungsgremien der Bundesregierung im Rahmen der Hightech-Strategie erarbeitet Zukunftsthemen, mit denen Deutschland einen Spitzenplatz bei der Lösung globaler Herausforderungen einnehmen soll. *Der Forschungsunion zufolge kann Deutschland nur ein erfolgreicher Produktionsstandort bleiben, wenn es gelingt »die vom Internet getriebene vierte industrielle Revolution mit zu gestalten und autonome, selbststeuernde, wissensbasierte und sensorgestützte Produktionssysteme zu entwickeln, zu vermarkten und zu betreiben.«*<sup>16</sup>

**Definition**  
*»Cyber-Physische Systeme« (CPS, engl. Cyber-Physical Systems) sind mit einer eigenen dezentralen Steuerung (engl. embedded systems) versehene intelligente Objekte, welche in einem Internet der Daten und Dienste miteinander vernetzt sind und sich selbstständig steuern.*<sup>14</sup>

14 Bei dieser Definition handelt es sich um eine eigene Arbeitsdefinition für diese Studie.  
 15 Darstellung in Anlehnung an (Schlick, Stephan, Zühlke; 2012).  
 16 (Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft; 2012).

### Vision Zukunft

*Zukünftig könnte sich ein Produktionsauftrag, vom Kunden ausgelöst, selbstständig durch die Wertschöpfungskette steuern. Dabei reserviert er Bearbeitungsschritte, Anlagen und Materialien und kontrolliert die Ausführung automatisch. Er erkennt drohende Verzögerungen der Lieferung, organisiert soweit möglich zusätzlich benötigte Kapazitäten und meldet unvermeidbare Verzögerungen direkt dem entsprechenden Kunden. Die verwendeten Produktionsanlagen tauschen untereinander Zeichnungen aus und organisieren ihre Auftragsreihenfolge genauso wie Wartungs- und Instandhaltungsbedarfe untereinander.*

Von heute aus betrachtet ist es noch ein weiter Weg zu einer Produktion, die nach den beschriebenen Prinzipien funktionieren wird. Die Produktionsarbeit lässt sich sicher auch nicht von heute auf morgen komplett umstellen. Für die zukunftsfähige Ausrichtung jedoch liefert Industrie 4.0 zahlreiche spannende Ansätze, auch wenn der Begriff einer Revolution sehr umfassend gewählt wurde. Rainer Glatz, Geschäftsführer der Fachverbände Elektrische Automation und Software beim Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA), fasst die momentan herrschende Gemengelage folgendermaßen zusammen: **»Die früheren industriellen Revolutionen sind ja nie vorhergesagt worden. Erst in der Rückschau konnte man feststellen, was die Auslöser dafür waren. Neu ist ja jetzt, dass wir eine Revolution vorhersagen. Das ist aber eine wichtige Aussage, dass wir das auch als Revolution bezeichnen. Evolution würde ja heißen, jeder macht so für sich weiter. Das ist momentan einfach nicht möglich. Revolution heißt für uns, ein Zukunftsbild aufzubauen und darauf hinzuarbeiten.«**



## 2 Zielsetzung und Konzeption der Studie

Kapitel 1 zeigt die aktuelle Situation der Produktionsarbeit und thematisiert deren Umbruchsituation. Die vorliegende Studie zeichnet ein umfassendes und konkretes Bild der Produktionsarbeit der Zukunft, in der neue technische Möglichkeiten genutzt werden, um den neuen Herausforderungen zu begegnen.

### 2.1 Zielsetzung der Studie

Gemeinsam mit seinen Partnern sucht das Fraunhofer IAO wirtschaftliche Anwendungsfälle und neue Geschäftsmodelle für die Produktion der Zukunft. Die Techniken der Industrie 4.0 bergen ein hohes Potenzial für maßgeschneiderte Produktionskonzepte, eine schnelle Produktentstehung und schlanke Produktion im Kundentakt sowie den flexiblen Ressourceneinsatz.

Diese Studie schafft eine Arbeitsgrundlage für die aktive Gestaltung der vierten industriellen Revolution und unterstützt somit Unternehmen auf ihrem Weg in die Industrie 4.0. Dazu ermitteln wir die Anforderungen der zukünftigen Produktionsarbeit und zeigen, wie diese zukünftig in Deutschland aussehen muss, um erfolgreich am globalen Markt zu sein. Dies versetzt Unternehmen in die Lage, die Möglichkeiten der Industrie 4.0 schnell einzusetzen, um den Herausforderungen der Zukunft zu begegnen und so die Position der deutschen Produktion weiter zu sichern und auszubauen.

Für die erfolgreiche Produktion werden zukünftig gerade in Deutschland qualifizierte und fähige Mitarbeiter von besonderer Bedeutung sein. Deshalb stellt diese Studie die Produktionsarbeit – also menschliche Arbeit – als unersetzlichen Baustein für eine erfolgreiche Zukunft in den Mittelpunkt der Betrachtungen.

### 2.2 Konzeption der Studie

Um ein umfassendes Bild der Zukunft zu zeichnen, haben wir das Thema Produktionsarbeit der Zukunft aus zwei verschiedenen Sichtweisen beleuchtet:

Eine deutschlandweite Befragung der industriellen Anwender zeigt die aktuellen wirtschaftlichen Herausforderungen und die Potenziale der neuen Lösungsansätze.

Die Vision der Industrie 4.0 als Lösung aktueller und zukünftiger Herausforderungen haben wir mit den führenden Experten auf dem Gebiet diskutiert. Ihre Ideen, Vorstellungen und Erwartungen geben wir im Textteil der Studie wieder. So ist es uns möglich, einen Ausblick auf die weitere Entwicklung für einen längeren Zeithorizont zu geben.

Aus diesem Grund basiert die vorliegende Studie auf zwei grundlegenden Säulen:

1. Der Auswertung der 661 Antworten aus der Unternehmenspraxis.
2. Den Aussagen von 21 führenden deutschen Experten zum Thema Industrie 4.0.

Abbildung 7 visualisiert, wie die beiden Sichtweisen das Bild der Produktionsarbeit der Zukunft formen.



Abbildung 7: Die zwei Säulen dieser Studie: Praktiker und Experten tragen zum Bild der Produktionsarbeit der Zukunft bei

# Wie wir vorgegangen sind

## 3 Methodik der Studie

Im Zuge der quantitativen Erhebung wurden bei ausgewählten Entscheidern produzierender Unternehmen Voraussetzungen, Chancen und Herausforderungen für die Produktionsarbeit der Zukunft erhoben.

Als Methode der quantitativen Datenerhebung liegen der Studie eine standardisierte schriftliche Befragung sowie eine Internet-Befragung zugrunde. Zur Erfassung der Daten wurde ein Fragebogen deutschlandweit an Unternehmen gesendet. Die Unternehmen konnten auch über das Webportal [www.produktionsarbeit.de](http://www.produktionsarbeit.de) an der Befragung teilnehmen.

Insgesamt beteiligten sich 661 Teilnehmer an der Befragung. Die gewonnenen Daten wurden mithilfe der Statistik-Software SPSS ausgewertet.

Ein wichtiges Ziel dieser Studie ist es, Visionen für die Produktionsarbeit der Zukunft aufzuzeigen. Eine entscheidende Rolle für die Produktionsarbeit der Zukunft wird die Umsetzung der vierten industriellen Revolution sein, in der verteilte und vernetzte intelligente Objekte neue Möglichkeiten der Produktionssteuerung und neue Produktionsabläufe erlauben.

Diese Entwicklung wird momentan in Forschung und Verbänden umfassend diskutiert und von einigen wenigen Unternehmen aktiv vorangetrieben. In der Unternehmenspraxis der meisten Unternehmen ist diese Entwicklung bisher noch nicht angekommen.

Um die Vision der Produktionsarbeit der Zukunft umfassend darzustellen, wurden daher die Ergebnisse der quantitativen Untersuchung durch die Meinungen und Visionen führender Experten zum Themengebiet Industrie 4.0 ergänzt. Diese Befragung wurde in Form von Experteninterviews durchgeführt, um ergebnisoffen die Visionen der Experten aufnehmen und diskutieren zu können.

### 3.1 Fragebogenbefragung von Führungskräften in Unternehmen

#### Design des Fragebogens

Der Fragebogen gliedert sich in mehrere unterschiedliche Teilbereiche, in denen im Detail Einschätzungen zu folgenden Themenbereichen erhoben wurden:

- Zukunft der Produktionsarbeit in Deutschland,
- kurzfristige Produktionssteuerung,
- Mitarbeiterflexibilität,
- Konformität zu Normen und Richtlinien
- sowie zur gegenwärtigen und zukünftigen Zusammenarbeit von Produktion und Produktentwicklung.

Die Fragen zielen dabei neben der Erfassung des Istzustands der Produktionsarbeit vor allem auch auf eine Einschätzung der zukünftigen Entwicklungen.

#### Kurz und Knapp

Der **durchschnittliche Studienteilnehmer** ist Geschäftsführer, Produktions- oder Werkleiter eines mittelständischen Maschinen- und Anlagenbauers.

#### Funktion der Antwortenden

Zielgruppe der Befragung waren insbesondere Entscheider produzierender Unternehmen. Diese Gruppe wurde deutschlandweit postalisch angeschrieben. Dies spiegelt sich auch in der Aufteilung der Funktion der Befragungsteilnehmer wider, die in Abbildung 8 dargestellt ist. 75,5 % der Befragungsteilnehmer teilen sich in Geschäftsführer, Produktions- oder Werkleiter auf.

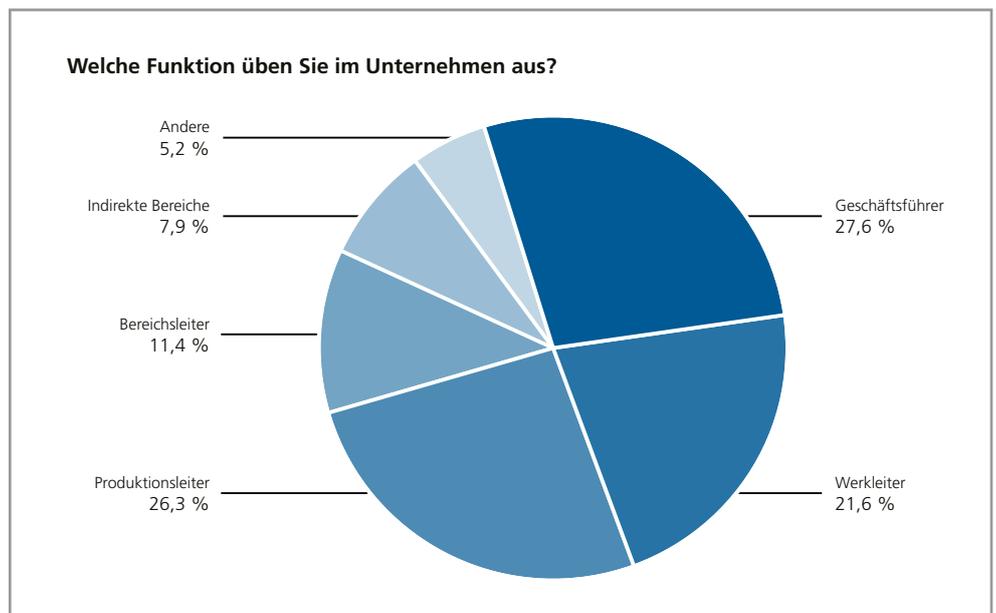


Abbildung 8: Mehr als 75 % der Befragten sind Entscheider



### Branchenzugehörigkeit

Bei der Zielgruppe der Befragung wurde bewusst breit über verschiedene produzierende Branchen gestreut, um ein repräsentatives Bild aus unterschiedlichen Branchen sowie Bereichen von Wertschöpfungsketten zu erhalten.

Die beiden stärksten Gruppen, der Maschinen- und Anlagenbau (30 %) und die Ausrüster aus den Bereichen Elektro-, Energie- und Medizintechnik (19 %) stellen knapp die Hälfte der Befragten. Als drittstärkste Gruppe ist die Automobilindustrie mit 11,5 % vertreten. Der restliche Anteil setzt sich aus den Branchen Verfahrenstechnik, Konsumgüter, Verarbeitendes Gewerbe, Baugewerbe und Lebensmittel zusammen wie Abbildung 9 zeigt.

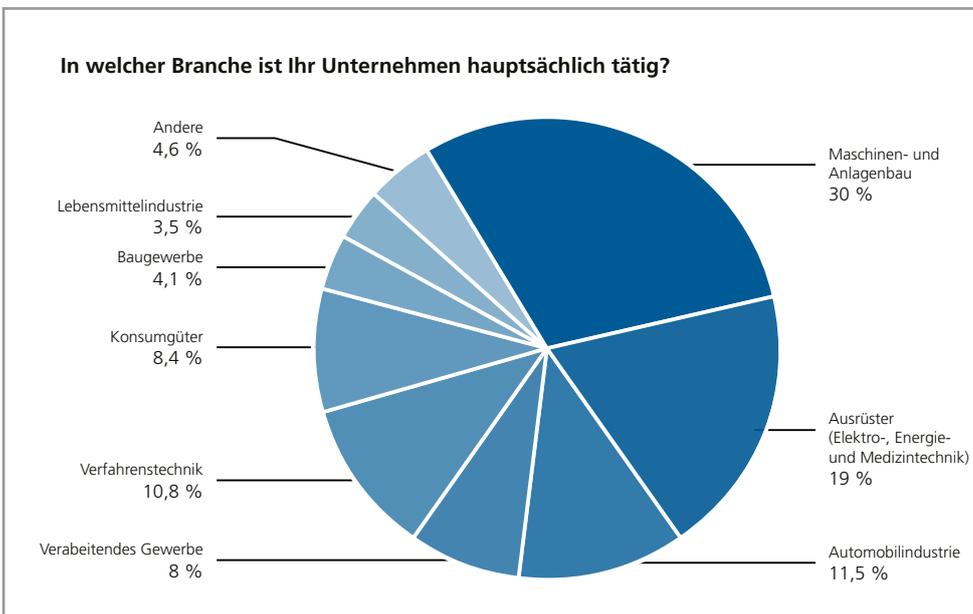


Abbildung 9: Der Maschinen- und Anlagenbau und die Gruppe der Ausrüster aus den Bereichen Elektro-, Energie- und Medizintechnik stellen gemeinsam fast die Hälfte der Befragten

### Anzahl der Produktionsmitarbeiter am Standort

Abbildung 10 zeigt, dass gut drei Viertel der Befragten an einem Standort mit bis zu 250 Mitarbeitern beschäftigt sind, hier kann man daher von mittelständischen Strukturen ausgehen. Weitere 18,5 % der Befragten arbeiten in einem Standort mit maximal 1000 Produktionsmitarbeitern – auch diese Unternehmen sind häufig noch mittelständisch geprägt. Nur gut 6 % der Befragten stammen von einem Standort mit mehr als 1000 Produktionsmitarbeitern.

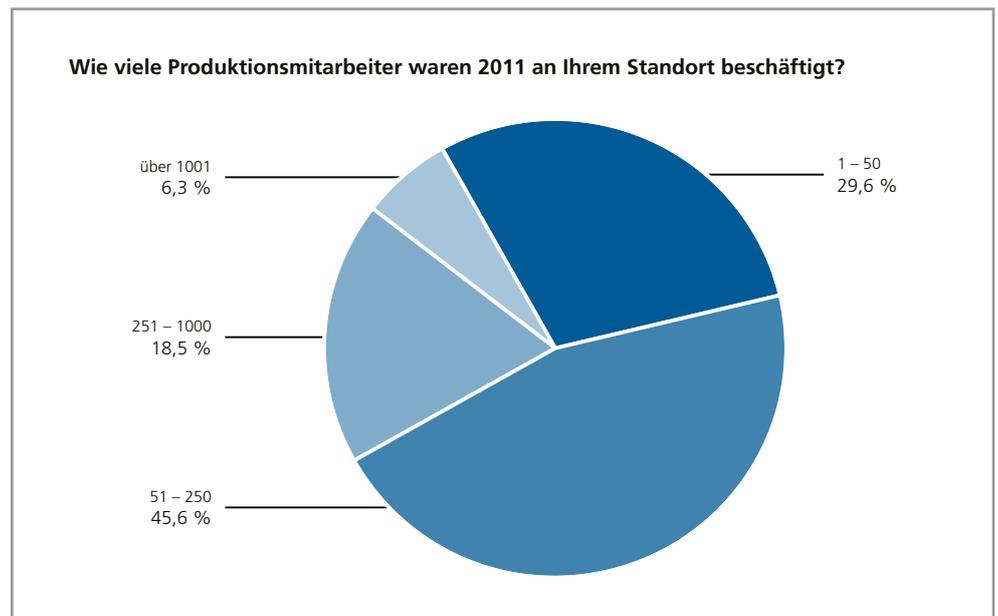


Abbildung 10: Die meisten befragten Unternehmen sind mittelständisch geprägt

## Automatisierungsgrad

Bei gut drei Viertel der befragten Unternehmen spielt die manuelle Arbeit eine wichtige Rolle, die Produktion ist entweder stark durch manuelle Arbeit geprägt oder in einem hybriden System auf diese angewiesen. Nur knapp ein Viertel der betrachteten Produktionen sind voll oder hoch automatisiert, wie Abbildung 11 veranschaulicht.

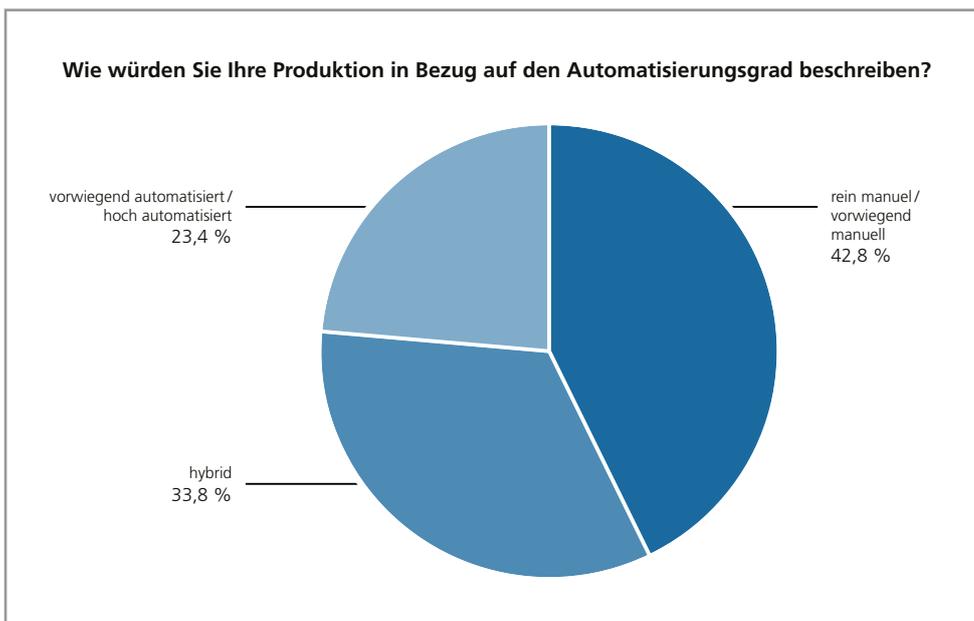


Abbildung 11: Die Produktion der meisten Unternehmen ist manuell oder hybrid geprägt

## 3.2 Interviewbefragung von Experten

### Auswahl der Experten

Um ein umfassendes Bild von der Produktionsarbeit der Zukunft zu bekommen, wurden die Meinungen von Vertretern der Wissenschaft, der Wirtschaft und von Verbandsseite einbezogen. Die befragten Experten aus ausgewählten Anwendungsgebieten sind aufgrund ihrer Position innerhalb des Unternehmens in der Lage, Auskunft über den aktuellen Stand, wichtige Entwicklungen und zukünftige Herausforderungen der Produktion zu geben.

Der Fokus der Experten aus dem wissenschaftlichen Bereich liegt im Allgemeinen auf den Potenzialen und Einsatzmöglichkeiten neuer und innovativer Technologien sowie auf Visionen der zukünftigen Technologienutzung. Die befragten Experten aus Verbänden ergänzen die Sichtweisen der Anwender und Forscher durch ein detailliertes Branchenwissen um eine weitere Perspektive. Die Experten aus der Industrie bringen den Blick der Produktionspraxis ein oder zeigen Lösungen aus anderen Bereichen auf, die für die Produktionsarbeit der Zukunft von besonderer Bedeutung sein werden.

Die Bandbreite der Meinungen, wie sich die vierte industrielle Revolution entwickeln wird und welche Auswirkungen diese Entwicklung auf die Produktionsarbeit der Zukunft haben werden, ist groß. Bei der Auswahl der Experten wurde darauf geachtet, dass verschiedene Ansichten zu Wort kommen. Das breite Spektrum der Experten ermöglicht es, Kontroversen und Gemeinsamkeiten aufzuzeigen und so eine umfassende Vision darzustellen. In Kapitel 4 werden die befragten Experten kurz portraitiert, auf den Seiten 141 und 142 finden Sie alle relevanten formalen Details zu den Experten.



### Design des Interviewleitfadens

Zur Aufnahme und Strukturierung der Experteninterviews wurde ein Interviewleitfaden erstellt. Aufgrund der Heterogenität der Expertengruppe wurde der Leitfaden jeweils individuell an die jeweiligen Experten angepasst. Die Eröffnung und Einführung sowie der Schlussteil der Leitfäden sind dabei identisch. Abweichungen ergeben sich jedoch in den jeweiligen Hauptteilen und ihren Themenblöcken.

Durch den Leitfaden wurden gezielt Aussagen zum Status quo der heutigen Produktionsarbeit sowie der Produktionsarbeit der Zukunft gesammelt. Die jeweiligen Experten wurden zu ihrer persönlichen Sichtweise über den aktuellen Stand der Produktion befragt. In diesem Zusammenhang wurden Merkmale, Entwicklungen und Herausforderungen der Produktion erfragt.

Der Themenblock »Die Produktionsarbeit der Zukunft« beinhaltet Unterthemen mit jeweils mehreren Fragen zur Rolle des Menschen, Flexibilität beim Mitarbeitereinsatz, Qualifikation, Produktionssteuerung und Internationalisierung.

Ein weiterer Themenblock bezieht sich explizit auf Treiber, Enabler und Veränderungen, welche auf die Produktionsarbeit einwirken, sie verändern und somit schließlich zu der Zukunftsvision des Experten inklusive möglicher Anwendungsfälle führen.

## 4 Kurzportraits der beteiligten Experten

### 4.1 Experten aus der Wirtschaft



»Der Trend den wir sehen, ist die Abkehr von der Massenproduktion zur Individualproduktion bis hin zur Mikroproduktion. Wir haben hier immer mehr autonome Systeme, die in der Lage sind, auch sehr kleine Losgrößen zu produzieren.«

**Scheer Group**  
THE WORK OF NETWORK

Thomas Feld



Stefan Ferber



**SAP AG**

»Ein bedeutsamer Trend ist das Thema »mobile«. Es wird mittlerweile erwartet, dass ich die Information überall und mobil zur Verfügung habe. Gerade im Manufacturing ist der Fertigungsleiter ständig unterwegs. Für den Werker bei größeren Anlagen wäre es ebenfalls sehr sinnvoll, wenn er sein Tablet aus der Tasche ziehen und für Rückmeldungen nutzen könnte, anstatt jedes Mal zu seinem Terminal gehen zu müssen.«

»Bei Industrie 4.0 geht es nicht nur darum, im System eine Verbesserung um fünf oder zehn Prozent herauszuholen. Es geht darum, eine tektonische Plattenverschiebung vorzubereiten: Differenzierung über Dienstleistungen, Daten und höhere Agilität.«

**BOSCH**

»Industrie 4.0 adressiert nicht ausschließlich die Massenproduktion, sondern vor allem die Flexibilisierung der Produktion. Die intelligente Fabrik der Zukunft ist hochflexibel, hochproduktiv und ressourcenschonend. Dadurch wird die Individualisierung (Losgröße 1) zu den ökonomischen Konditionen eines Massenerstellers Realität.«

Jochen Rode



Peter Post



**FESTO**

»Derjenige, der flexibler auf Veränderungen reagieren kann, hat in Zukunft einen strategischen Vorteil.«

**TRUMPF**



»Ich bin überzeugt davon, wenn es uns nicht gelingt Wertschöpfung hier im Land zu halten, dann sehe ich auf lange Sicht schwarz. Produktion muss hier in Europa und hier in Deutschland bleiben. Diese Art der Wertschöpfung ist die Basis für den Wohlstand, den wir heute haben.«



Manfred Wittenstein



Klaus Bauer



## 4.2 Experten aus Verbänden



»Wenn wir Technologien einsetzen, die hier entwickelt und produziert werden, sehe ich Industrie 4.0 eher als Chance. Einfache Produktionstechnologien lassen sich einfach kopieren oder durch erhöhten Einsatz menschlicher Arbeit kompensieren. In dem Fall wird es schwieriger.«



Rainer Glatz

»Die Umsetzung von Industrie 4.0 sollte mit einer dualen Strategie erfolgen. Natürlich müssen wir radikal neue Lösungen für neue Märkte oder neue Standorte erforschen und entwickeln. Aber der Erfolg wird sich nur dann einstellen, wenn wir es schaffen, vorhandene Basistechnologien und Erfahrungen auf die Besonderheiten der Produktionstechnik anzupassen und schnell in die Fläche zu bringen.«



Henning Kagermann

## 4.3 Experten aus der Wissenschaft



»In Hochlohnländern wie Deutschland spielt flexible Automatisierung eine sehr große Rolle und das geht nur in Verbindung mit den Menschen. Das wird die Kunst sein: zu entscheiden, was macht die Maschine und was macht der Mensch.«

 **Fraunhofer**  
IPA



**Thomas Bauernhansl**



**Manfred Broy**

  
TUM  
TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
MÜNCHEN

»Meine These ist: die Limitationen liegen weniger im Stand der Technik als im Stand unserer Fähigkeiten, diese Technik in einer sinnvollen Art und Weise zu kombinieren und einzusetzen.«



**Gunther Reinhart**

  
TUM  
TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
MÜNCHEN

»Der Unterschied zwischen der dritten und der vierten industriellen Revolution liegt darin, dass wir in der dritten eine starre oder flexible Automatisierung mit den bisherigen Möglichkeiten hatten und wir nun eine intelligente und wandlungsfähige Automatisierung erreichen wollen.«

# Was wir erkennen konnten

## 5 Das Wichtigste zuerst: Flexible Arbeit sichert den Produktionsstandort Deutschland

Deutschland ist ein Produktionsland – und wird es auch bleiben. Von den deutschen Produktionsunternehmen wurde im Jahr 2011 ein Umsatz von fast 1.750 Milliarden Euro erwirtschaftet. Mit einem Anteil von mehr als 25 % am deutschen Bruttoinlandsprodukt ist die Produktion ein wichtiger Pfeiler der deutschen Wirtschaft.<sup>17</sup> »*Wir sind in Deutschland so stark von industriellen Prozessen geprägt, dass unsere Gesellschaft nicht gut geeignet ist, sich ohne einen industriellen Sektor neu zu formieren*«, untermauert Dr. Kurz diese Zahlen.

Die generell positive Prognose für die Zukunft der Produktion am Standort Deutschland wird auch von den befragten Unternehmen bestätigt. Mehr als 90 % der Unternehmen sehen Deutschland auch in den nächsten fünf Jahren als einen wichtigen Standort für ihre Produktion. Lediglich 1,4 % der Unternehmen geben an, Deutschland verliere für sie aus Produktionssicht zukünftig an Bedeutung, wie Abbildung 12 zeigt.

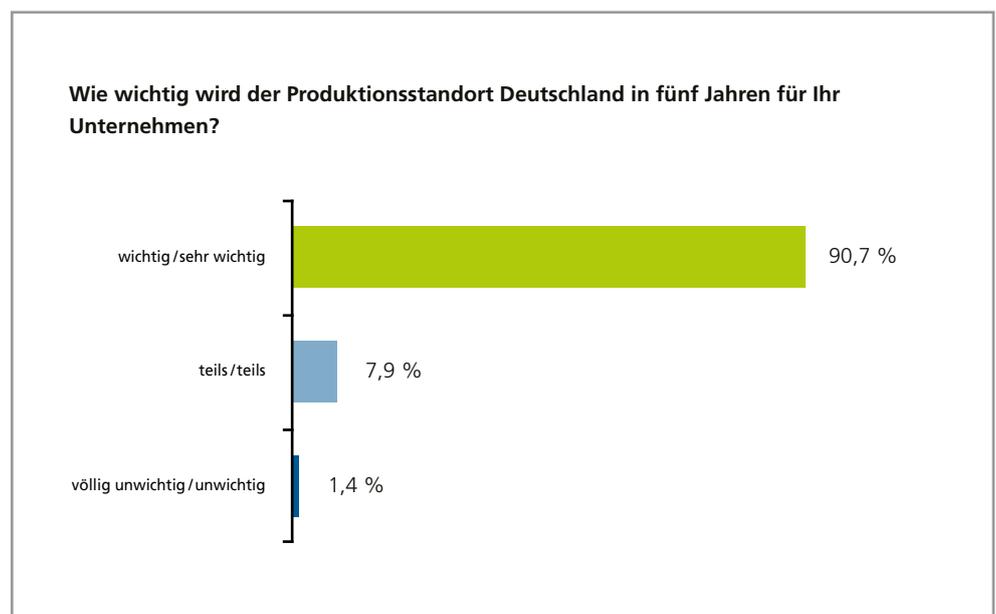


Abbildung 12: Deutschland bleibt auch in Zukunft ein wichtiger Produktionsstandort

17 Vgl. (Deutsches Statistisches Bundesamt; 2013).

## 5.1 Produktion in Deutschland – heute Spitze, morgen auch!

Zum Ausbau der starken Wettbewerbsposition sehen die Experten verschiedene Ansatzpunkte. Digital veredelte Produkte in Premiumqualität zu entwickeln und dabei die hohe Variantenvielfalt in Entwicklung und Produktion zu beherrschen sowie diese Produkte mit möglichst geringen Beständen in Losgröße eins zu produzieren, sind einige der Herausforderungen für die Zukunft. **»Aufgrund seiner Spezialisierung hat Deutschland hier gute Chancen, auch zukünftig Maschinenbauation zu bleiben«**, erläutert Professor Thomas Bauernhansl, Institutsleiter des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA.

Bereits heute gibt es eine Vielzahl an deutschen Unternehmen, die den Marktanforderungen so gut gerecht werden, dass sie in ihrem Bereich Weltmarktführer sind. Neben den wichtigen Branchen Automobilbau sowie Maschinen- und Anlagenbau sind Hersteller von Embedded Systems, Sensorik aber auch pneumatischen Steuerungssystemen beispielhaft zu nennen. Professor Wahlster geht davon aus, dass deutsche Hersteller bei Cyber-Physischen Systeme, ähnlich wie aktuell in den Bereichen der eingebetteten Systeme, der M2M-Kommunikation, der intelligenten Sensorik sowie der Aktuatorik, gute Chancen haben Weltmarkt- und Innovationsführer zu werden. In Bezug auf die vierte industrielle Revolution sieht Professor Gunther Reinhart, Institutsleiter des Instituts für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb) der Technischen Universität München, Deutschland gut aufgestellt. **»Deutschland beherrscht die komplexen automatisierten Systeme besser und sicherer als Unternehmen aus anderen Ländern«**, sagt der Münchner Professor.

Dabei darf aber insbesondere an einem Hochlohnstandort wie Deutschland der Kostenaspekt nicht aus den Augen verloren werden. Mit rund 20 % Anteil am Umsatz stellen die Personalkosten im verarbeitenden Gewerbe in Deutschland schon lange keinen Wettbewerbsvorteil mehr dar.<sup>18</sup> Gerade aufgrund hoher durchschnittlicher Arbeitsstundenkosten von mehr als 35 Euro werden Produktivität und Flexibilität auch zukünftig erfolgskritisch für die Bewältigung schwankender, volatiler Absatzmärkte sein und damit zum Erfolgsfaktor für ganze Branchen.<sup>19</sup> **»Aus den Marktrahmenbedingungen heraus werden wir weiterhin steigende Flexibilitätsanforderungen bekommen«**, prognostiziert Professor Spath.

---

<sup>18</sup> Vgl. (Deutsches Statistisches Bundesamt; 2013).

<sup>19</sup> Vgl. (Schröder; 2011).

## 5.2 Anforderungen an die Produktion werden weiter steigen

Sicher ist aber auch, dass die Anforderungen an eine erfolgreiche Produktion in Zukunft steigen werden. »**Die Produktion wird noch stärkeren Absatzschwankungen ausgesetzt sein**«, beschreibt Professor Spath eine der wichtigsten Herausforderungen. Diese Schwankungen resultieren einerseits aus der Anforderung immer mehr »On Demand«, also nach Kundenauftrag, zu produzieren. Andererseits sind sie Ausdruck der starken internationalen Vernetzung der Märkte. »Es wird zukünftig häufiger Störungen geben, die das gesamte Weltwirtschaftsgeschehen angehen«, ergänzt Professor Spath. All dies führt zu einem steigenden Flexibilitätsbedarf für die Produktion der Zukunft. »**Die Produktion muss die Volatilität besser beherrschen. Aus dem Grunde werden sich Strukturen, Prozesse und Produkte verändern. Zukünftig werden unsere Produktionen differenzierter und verteilter sein. Sie müssen wandlungsfähiger und kombinierbar sein**«, zählt Dr. Wittenstein die Zukunftsanforderungen auf.

Fast alle Experten sehen darüber hinaus in der Individualisierung von Produkten einen wesentlichen Trend, der sich auch in Zukunft ungebrochen fortsetzen wird. »Die Abkehr von der Massenproduktion zur Individualproduktion bis hin zur Mikroproduktion nimmt zukünftig zu«, so Thomas Feld, Vice President der Scheer Group GmbH. Durch Mass Customization und steigende Flexibilisierung der Produkte wird die Variantenvielfalt und damit die Produktvielfalt massiv ansteigen. »**Die nötige Wandelbarkeit wird in der Produktion mit den klassischen Instrumenten zukünftig nicht mehr bewältigt werden können. Unternehmen werden damit Geld verdienen, schneller und wandelbarer zu sein als andere**«, erklärt Professor ten Hompel die Herausforderung für den Industriestandort Deutschland.

Weitergehende Anforderungen durch Internationalisierung, nachhaltiges Wirtschaften und energieeffizienten Ressourceneinsatz ergänzen die Zukunftsentwicklungen – auch im Maschinenbau. »Örtliche Flexibilität wird allein schon durch das Thema Internationalisierung befeuert, weil unsere lokalen Märkte weniger wachsen als Schwellenländermärkte. Zudem stehen dann ja noch Länder hinten dran, die heute Entwicklungsländer heißen und irgendwann vielleicht zu Schwellenländern werden«, so Professor Spath. Um in den Schwellenländern wirtschaftliche Entwicklung nachhaltig zu schaffen und damit Marktwachstum auch für etablierte Produktionsunternehmen zu generieren, werden neue Ansätze erforderlich. Der Living Planet Report 2012 des World Wide Fund For Nature (WWF) zeigt auf, dass durch eine Fortsetzung der aktuellen Ressourcenausbeutung auf der Erde bereits im Jahr 2030 ein zweiter Planet erforderlich wäre.<sup>20</sup> Einen Lösungsansatz zeigt Professor Bauernhansl auf: »**Es geht darum, dass wir die**

---

<sup>20</sup> Vgl. (WWF; 2012).



*Entkopplung von Wachstum und Ressourcenverbrauch erreichen. Dafür brauchen wir IT. Und da ist das, was wir in Industrie 4.0 diskutieren, genau das Richtige.«*

### 5.3 Ansätze für die Produktion der Zukunft sind greifbar

Steigende Vernetzung und der zunehmende Komplexitätsgrad werden dazu führen, dass die Fertigungstiefe in der Produktion weiter abnimmt und in Zukunft deutlich mehr Lieferantennetzwerke entstehen. Dabei werden Just-in-Time-Prinzipien verbreitet Anwendung finden.

*»Als Produktionsparadigma für die Zukunft wäre möglichst flächendeckend Production-on-Demand einzuführen und dafür zu sorgen, dass die Kapazitäten dafür ausreichend flexibel sind. Industrie 4.0 schafft dafür die Grundlage, indem CPS ein echtzeitnahes Abbild der Fabrik ermöglichen«, so Professor Spath.*

Die Abkehr von der Lagerproduktion aufgrund individueller Produkte und wirtschaftlicher Zwänge sowie die Fokussierung auf Production-on-Demand setzt eine deutlich flexiblere Produktion voraus. Nur so kann ausreichend schnell auf die Bedürfnisse der Kunden reagiert werden, wie Abbildung 13 zeigt. Für nahezu alle der befragten Unternehmen (99 %) wird die schnelle Reaktion auf Kundenanforderungen zukünftig von großer Bedeutung sein.

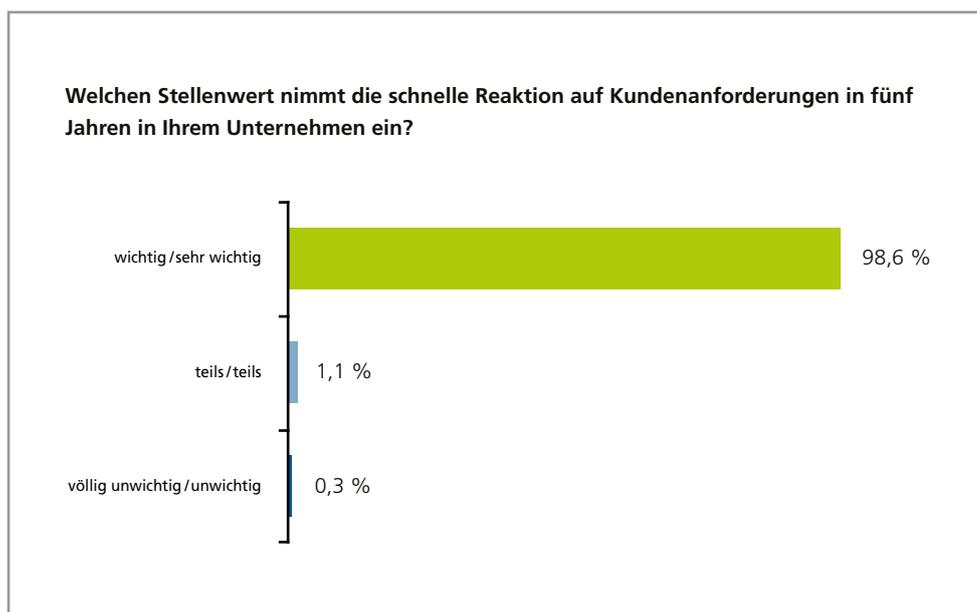


Abbildung 13: In Zukunft muss schneller auf Kundenanforderungen reagiert werden

Auch die Produktionsexperten sind der Meinung, dass die Produktionsarbeit zukünftig flexibler wird. **»Das ganze System skalierbarer zu machen, wird zum Erfolgsfaktor, um Volatilität zu beherrschen«**, sagt Herr Respondek-Osterloff. Das heißt auch, dass weniger große und verstärkt kleine, dezentrale Produktionseinheiten genutzt werden. **»Die Mitarbeiter werden dann mehr unterschiedliche Arbeitsinhalte haben, was vermehrt erfordert, dass die Arbeitsstruktur standardisiert wird«**, erläutert Respondek-Osterloff.

Flexibilität betrifft auf der einen Seite den Einsatz der Produktionsarbeiter. Andererseits wirken Flexibilitätsanforderungen aber auch auf die Automatisierung. **»In Zukunft wird es immer mehr darum gehen, einzelne Maschinen für unterschiedliche Anwendungen zu verwenden«**, meint Professor Post von der Festo AG & Co. KG, einem weltweit führenden Hersteller von Automatisierungstechnik. Intelligente Produkte werden in einem System unterschiedliche Arbeitsaufgaben lösen. »Flexible Automatisierung benötigt zukünftig weniger Spezialsysteme und erreicht durch Systeme, die für unterschiedliche Aufgaben eingesetzt werden können, eine geringere Arbeitsteilung. Das wirkt sich auch positiv auf die Kosten der Automatisierung aus«, erläutert der Leiter Forschung und Technologie der Festo AG.

## 5.4 Neue technische Möglichkeiten verändern die Produktion der Zukunft

Die Vision der Experten von der Produktionsarbeit nach dem Industrie-4.0-Prinzip lässt sich mit dem Schlagwort »Internet der Dinge und Dienste« am besten zusammenfassen. **»Wir gehen davon aus, dass die Vernetzung, die wir gerade mit Social Media, Social Web und Web 2.0 erleben, sich auf die Dinge ausdehnen wird, auch auf die Dinge im Unternehmensumfeld und in der Produktion«**, prognostiziert Dr. Stefan Ferber, Director for Communities & Partner Networks bei Bosch Software Innovations.<sup>21</sup>

Dr. Ferber erklärt weiter, dass es auf diese Weise möglich sein wird, dass Maschinen ihren Zustand mittels Internettechnologie an die unterschiedlichen Nutzergruppen übermitteln. Auch beim weltweit bekannten Maschinenbauer Trumpf aus Ditzingen wird Vernetzung als Zukunftstrend gesehen. »Dabei spielt die Vernetzung an sich, aber auch Fragen zur Security, Integrität und Safety eine große Rolle«, erklärt Herr Bauer. Neben dem Internet der Dinge und Dienste werden mobile Geräte als Verbindung zur vernetzten Welt und deren intuitive Bedienbarkeit zu einem wichtigen Element der zukünftigen Produktionsarbeit.

---

<sup>21</sup> Weitere Details zum Thema Vernetzung sowie Social Media im Unternehmenseinsatz finden Sie im Kapitel 7.3.

»Durch die sehr starke Vernetzung werden zukünftig in der Produktion wesentlich mehr Informationen und mehr Intelligenz verfügbar sein«, meint Herr Glatz. Professor Spath sieht hier weitgehende Potenziale von Industrie 4.0. **»Die Vision wäre, aus meiner Sicht, viel mehr über die aktuelle Realität im Shopfloor zu wissen und damit eine bessere und aktuellere Entscheidungsgrundlage für alle Produktions-Akteure zu schaffen.«** Damit kann in vielen Fällen auf erfahrungsbasierte, instinkthafte Reaktionen verzichtet werden und Entscheidungen in einer besseren Qualität getroffen werden. **»In der Folge kann viel zuverlässiger flexibel auf Kundenwünsche eingegangen werden und trotzdem bleiben wirtschaftliche Kenngrößen mitberücksichtigt«**, erläutert Spath die Vorteile von Echtzeitdaten in der 4.0-Produktion.

Die Effizienz und Reaktionsgeschwindigkeit von Produktionsunternehmen wird sich dadurch verbessern. »Heute bleibt in vielen Fällen Information liegen, weil Dinge aufeinander warten und oft noch sequenziell gedacht und gearbeitet wird«, skizziert Herr Glatz ein Bild der aktuellen Situation. Und zeigt für die Zukunft auf: **»Logisches Parallelisieren wird zukünftig besser funktionieren und so die Gesamteffizienz in der Produktion erhöhen.«** Die Frage wird sein, wie aktiv dabei das Produkt selbst ist. Es wird zukünftig in jedem Fall wesentlich mehr Informationen tragen. »Aber wer ist in der Produktion der Zukunft derjenige, der in Kollisions- und Eskalationsprozessen steuert, Informationen bündelt und die Verantwortung über gewisse Bereiche hat«, eröffnet Herr Glatz aktuelle Forschungsfragestellungen.

In einem sind sich die Experten einig: Das Ziel für Deutschland sollte sein, Leitanbieter für Cyber-Physische Systeme zu werden. **»Um unseren Vorsprung in der Produktionstechnik halten zu können, müssen wir in Deutschland Vorreiter bei Industrie 4.0 sein und Cyber-Physische Produktionsanlagen zum Exportschlager des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus machen«**, so Professor Wahlster. Dazu müssen diese Technologien zukünftig auch hier vor Ort eingesetzt werden. Daher bedarf es anfangs der Ausstattung der eigenen Fabriken mit diesen leistungsfähigeren Systemen, um sie anschließend auch als erfolgreichen Exportartikel zu positionieren. »Damit kann zukünftig eine neue Art der Automatisierungstechnik, die CPS-Automatisierungstechnik und das Wissen auf dem Weltmarkt vertrieben werden«, zeigt Professor Gunter Reinhart die Chancen für Deutschland auf.

## 5.5 Menschliche Arbeit bleibt Schlüsselfaktor für Produktivität

Mit mehr als 7,7 Millionen Beschäftigten ist der Produktionssektor auch für die Menschen in Deutschland ein wichtiger Pfeiler für Arbeit und Wohlstand. »**Die Produktivität, die wir in Deutschland haben, hängt sehr stark mit dem Menschen zusammen**«, zeigt Dr. Manfred Wittenstein die Verbindung auf.

Menschliche Arbeit und die mit dem Menschen und seinen spezifischen Fähigkeiten verbundene Flexibilität ist damit bereits heute ein Schlüsselfaktor für produzierende Unternehmen. Professor Post beschreibt den Trend in Richtung Flexibilisierung gar als eine der wichtigsten Herausforderungen für die Produktion der Zukunft. »**Die Flexibilisierung, die Anlagen zukünftig mit sich bringen, muss auf der anderen Seite auch den Menschen unterstützen. Ich bin überzeugt, dass es in Zukunft zu einer stärkeren Vernetzung von menschlicher Flexibilität und der Flexibilität, die eine Produktionsanlage hat, kommt**«, so Professor Post. Auch Professor Henning Kagermann, Präsident der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften e.V. (acatech), sieht hier Potenzial. »Dann haben wir anstatt der Käfige in denen die Maschinen stehen, mehr Teams in welchen Roboter und Menschen zusammenarbeiten«, so der ehemalige Vorstandssprecher der SAP AG.

Für die Zukunft sehen Experten eine Veränderung der Beschäftigung in der Bandbreite von rund 1,5 Millionen Arbeitsplätzen nach oben oder unten im produzierenden Sektor, abhängig von der Entwicklung des Automatisierungsgrads, der Lohnkosten und weiteren Schlüsselfaktoren.<sup>22</sup> Mit aktuell mehr als 35 Euro Lohnkosten je Arbeitnehmerstunde stellen auch die Kosten einen Erfolgsfaktor für die Produktion in Deutschland dar – stehen deutsche Unternehmen doch im globalen Wettbewerb mit traditionellen Produktionsländern wie den USA mit einem durchschnittlichen Stundenlohn von 24 Euro und neuen Produktionsländern wie China, wo ein Arbeiter rund 2,7 Euro pro Stunde verdient.<sup>23</sup>

Trotz der relativ hohen Arbeitskosten in Deutschland sehen nahezu alle befragte Unternehmen (97 %) die menschliche Arbeit für ihre Produktion zukünftig weiter als wichtig an, wie Abbildung 14 zeigt.

---

22 Vgl. (Abele, Reinhart; 2011).

23 Vgl. (Schröder; 2011).



**Wie wichtig wird menschliche Arbeit (Planung, Steuerung, Ausführung, Überwachung) in fünf Jahren für Ihre Produktion sein?**

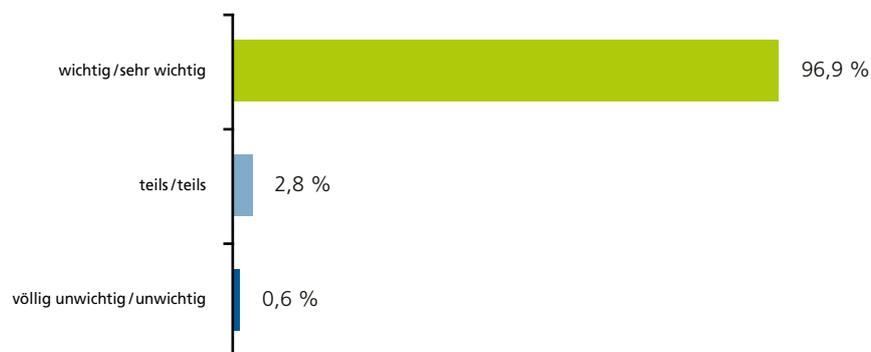


Abbildung 14: Menschliche Arbeit bleibt zukünftig wichtig für die Produktionsunternehmen

Auch die Experten pflichten dieser Einschätzung weitgehend bei. **»Ich denke, die Fabrik der Zukunft ist genauso menschenleer, wie heutige Büros papierlos sind«**, vergleicht Dr. Klaus Mittelbach, Vorsitzender der Geschäftsführung beim Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI). Und auch Professor ten Hompel stellt den Menschen in der Produktionsarbeit der Zukunft in den Vordergrund. **»Der Mensch wird für die Produktion der Zukunft eine große Rolle spielen. Menschen werden mit mobilen Endgeräten, sogenannten Smart Devices, in die Industrie 4.0 eingebunden«**, so der Dortmunder Professor.

**»Aber es wird auch in Deutschland viel weniger Mitarbeiter in der Produktion geben«**, schränkt Professor Bauernhansl ein. **»Wir werden weiter an direkten Mitarbeitern in der Produktion verlieren, aber gleichzeitig viele indirekte Stellen um die Produktion herum aufbauen«**, so der Leiter des Fraunhofer IPA.

Die Rolle des Menschen, der heute in der Fabrik oftmals Maschinenbediener heißt, wird sich ändern. »Zukünftig bedient die Maschine den Menschen«, erklärt Professor Reinhart den Rollenwechsel und führt aus: **»In der Produktionsarbeit der Zukunft sind die Menschen stärker die Dirigenten und Koordinatoren der Fabrik. Die harte Muskelarbeit und auch einen Teil der Denkarbeit übernehmen die Maschinen.«**

Trotz der zunehmenden Verschmelzung von Blue-Collar- und White-Collar-Aufgaben werden im Jahr 2030 aber nicht nur Akademiker in der Produktion arbeiten. »Es wird nach wie vor einen bedeutenden Anteil an mittleren Berufen geben«, sagt Dr. Kurz. Der Produktionsarbeiter der Zukunft wird aber verstärkt ingenieursähnliche Tätigkeiten übernehmen.

## 5.6 Industrie 4.0: evolutionäre Ausbreitung, revolutionäre Wirkung

Die Heterogenität und Investitionsumfänge der Betriebsmittel, Maschinen und IT-Strukturen sowie der Vernetzungs- und Kommunikationsstandards im Produktionsumfeld führen dazu, dass die Produktion einen Umbruch nicht innerhalb von fünf Jahren erfahren wird. Dies passiert eher in einem Zeitraum der nächsten 20 Jahre. Dr. Holfelder warnt aber davor, 20 Jahre zu warten. Es komme darauf an, jetzt anzufangen, damit Industrie 4.0 in 20 Jahren voll wirksam wird.

Industrie 4.0 in die Fläche, in den Alltag und in die Produktion zu bringen, ist noch ein großer Schritt. Trotzdem sieht Professor Kagermann in der vierten industriellen Revolution große Chancen. **»Industrie 4.0 ist in der Art, wie es eingeführt wird, evolutionär. Schließlich können wir ja morgen nicht die Fabriken abreißen und alles ganz anders machen. Aber der Impact wird gewaltig sein, der ist revolutionär«**, ist sich der Präsident der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften sicher.



## 6 Arbeit der Zukunft – Mensch und Automatisierung

Mancher mag sich fragen, wozu wir noch Menschen in der Produktion benötigen, wenn im Zuge von Industrie 4.0 die Maschinen intelligent werden und über die allgegenwärtige Vernetzung miteinander kommunizieren können. Von Zeit zu Zeit wird hier die Vision einer voll automatisierten Fabrik bemüht, in der kein Mensch mehr arbeitet. Die Studienergebnisse deuten jedoch eher darauf hin, dass die Zukunft nicht Mensch oder Maschine, sondern Mensch und Maschine gehört.

Für eine überwältigende Mehrheit von fast 97 % ist menschliche Arbeit auch zukünftig für die Produktion wichtig oder sogar sehr wichtig, wie Abbildung 15 zeigt. Auch wenn erwartungsgemäß die menschliche Arbeit von den bisher eher stärker manuell arbeitenden Unternehmen mit fast 98 % höher bewertet wird, sind es auch bei den verstärkt automatisierten Unternehmen erstaunliche 94,7 % der Befragten, für die menschliche Arbeit wichtig oder sehr wichtig ist.

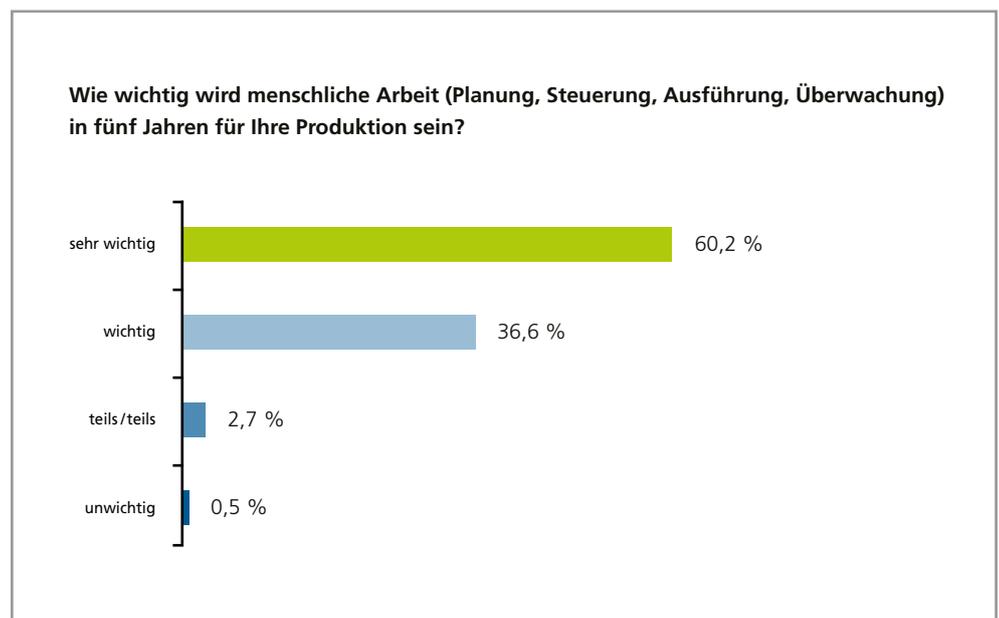


Abbildung 15: Ohne Menschen wird auch in Zukunft nicht produziert



Für mehr als 90 % der Unternehmen bleibt der Produktionsstandort Deutschland auch in Zukunft noch wichtig oder sehr wichtig, das zeigt Abbildung 16. Man kann also davon ausgehen, dass die menschliche Arbeit auch und gerade in den deutschen Produktionsstandorten einen hohen Stellenwert einnimmt.

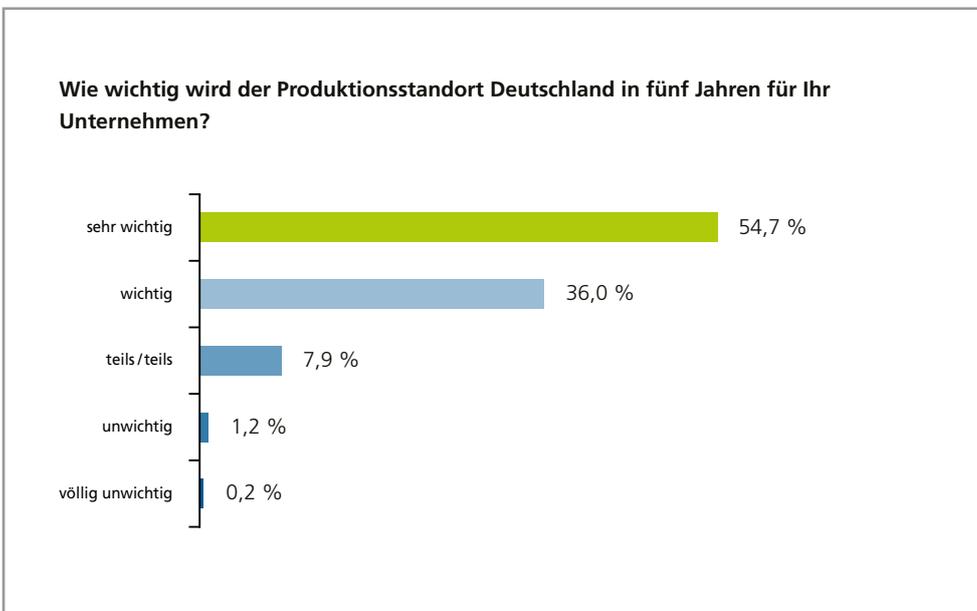


Abbildung 16: Deutschland bleibt als Produktionsstandort sehr wichtig

Auch die Experten sind sich einig, dass es nicht darum geht, ob in Zukunft noch Menschen in der Produktion arbeiten. Klar ist jedoch auch, dass sich die Produktion und damit auch die Produktionsarbeit ändern werden. Es stellt sich vielmehr die Frage, wie die Arbeit in Zukunft aussehen wird.

## 6.1 Vollautomatisierung wird vielen Märkten nicht gerecht werden

Wird der Mensch nur noch die Entscheidungen des Systems ausführen oder werden die intelligenten Maschinen eher den Menschen entlasten und bei der Entscheidungsfindung durch sinnvolle Informationsbereitstellung unterstützen?<sup>24</sup> Auch wenn kein Experte von einer menschenleeren Fabrik ausgeht, sind die Meinungen zur Positionierung innerhalb der Extreme durchaus unterschiedlich.

Herr Respondek-Osterloff erzählt aus seiner bisherigen Erfahrung: »Für Miele war und ist die konsequente Automatisierung und Verkettung von Prozessen und Systemen unverzichtbar, um Lohnkosten zu reduzieren und dadurch die Wettbewerbsfähigkeit unserer Produktion im Hochlohnland Deutschland zu sichern.« Auch Herr Glatz geht von einem steigenden Automatisierungsgrad aus, sieht aber ein großes Potenzial für eine Unterstützung der Mitarbeiter durch die Automatisierung. »**Wir werden zwangsläufig einen höheren Automatisierungsgrad haben, weil es selbststeuernde Systeme geben wird. Das heißt aber nicht, dass das zwangsläufig mit dem Verlust von Arbeitsplätzen verbunden ist.** Es wird auch in der Industrie 4.0 weiterhin klassisch manuell laufende Prozesse geben. Es wird immer auf die Frage hinauslaufen: Wo lohnt sich Automation und wo nicht?« Und Professor Post zeigt, dass sich für viele Produktionen kaum eine Automatisierung ohne intensive Einbindung der Mitarbeiter realisieren lässt: »Wir haben heute noch viele manuelle Arbeitsplätze oder teilautomatisierte Lösungen, die versuchen, die Anforderungen durch niedrige Stückzahlen effizient zu lösen. **Die Idee ist hier, die Schwelle zur Automatisierung weiter abzusenken, durch zunehmende Flexibilisierung des Gesamtsystems. Gesamtsystem heißt, mit dem Menschen als integrelem Bestandteil.**«

Dr. Mittelbach zeigt auf, wie die aktuelle Entwicklung aus den Fehlern der Vergangenheit gelernt hat. »Anders als bei CIM, wo versucht wurde, alles mannlos zu machen, werden die Beschäftigten als Erfahrungsträger und Entscheider ganz bewusst in alle relevanten Abläufe der Smart Factory von Industrie 4.0 integriert.«

Einig sind sich die Experten, dass die »starrten Automatisierungslösungen, die hauptsächlich in der Massenproduktion ihre Produktivität entfaltet haben, in Deutschland nicht mehr wirtschaftlich sind. Da spielt flexible Automatisierung eine sehr große Rolle und das geht nur in Verbin-

---

<sup>24</sup> Lars Windelband und Georg Spöttl beschreiben in ihrem Artikel »Konsequenzen der Umsetzung des ›Internet der Dinge‹ für Facharbeit und Mensch-Maschine-Schnittstelle« in (Windelband, Spöttl; 2011) recht plakativ zwei Extrempole, wie das Zusammenwirken von Mensch und Maschine in Zukunft mit einem Internet der Dinge aussehen kann.

derung mit den Menschen«, bringt es Professor Bauernhansl auf den Punkt. Auch wenn die neue Technologie für sinkende Stückzahlen eine wirtschaftliche Automatisierung ermöglicht, betont Herr Respondek-Osterloff, »dass es mit hochautomatisierten Systemen im Zuge zunehmender Produktdifferenzierung und kürzerer Produktlebenszyklen immer schwerer fällt, die komplexer gewordene Wirklichkeit zeitnah abzubilden«. Auch Professor Spath beschreibt die Situation ähnlich. **»Die Automatisierung hat gerade in der Flexibilität ihre Grenzen. Wenn wir vollautomatisch hochflexiblen Output erzeugen wollen, überschießt die Komplexität. Das bringt hohe Investments und begrenzte Verfügbarkeit mit sich. Daher stößt die Automatisierung hier an die wirtschaftlichen Grenzen. Deshalb werden wir besser abgegrenzte, konsequent auf einen Themenbereich zugeschnittene Automatisierung mit flexibler Verknüpfung durch Menschen einsetzen.«**

Als weitere Herausforderung nennt der IAO-Institutsleiter die Schnelllebigkeit der Produkte am Markt. »Die Unternehmen müssten sehr schnell nach abgeschlossener Entwicklung lieferfähig sein. Das ist unmöglich, wenn die Unternehmen ein Jahr brauchen bis eine Automatisierung wirklich läuft. Und zum Zweiten sind die Laufzeiten dieser Produkte relativ kurz, sodass die Einzeckautomatisierung dann sehr schnell verloren ist.«

## 6.2 Menschliche Fähigkeiten nutzen und den Menschen unterstützen

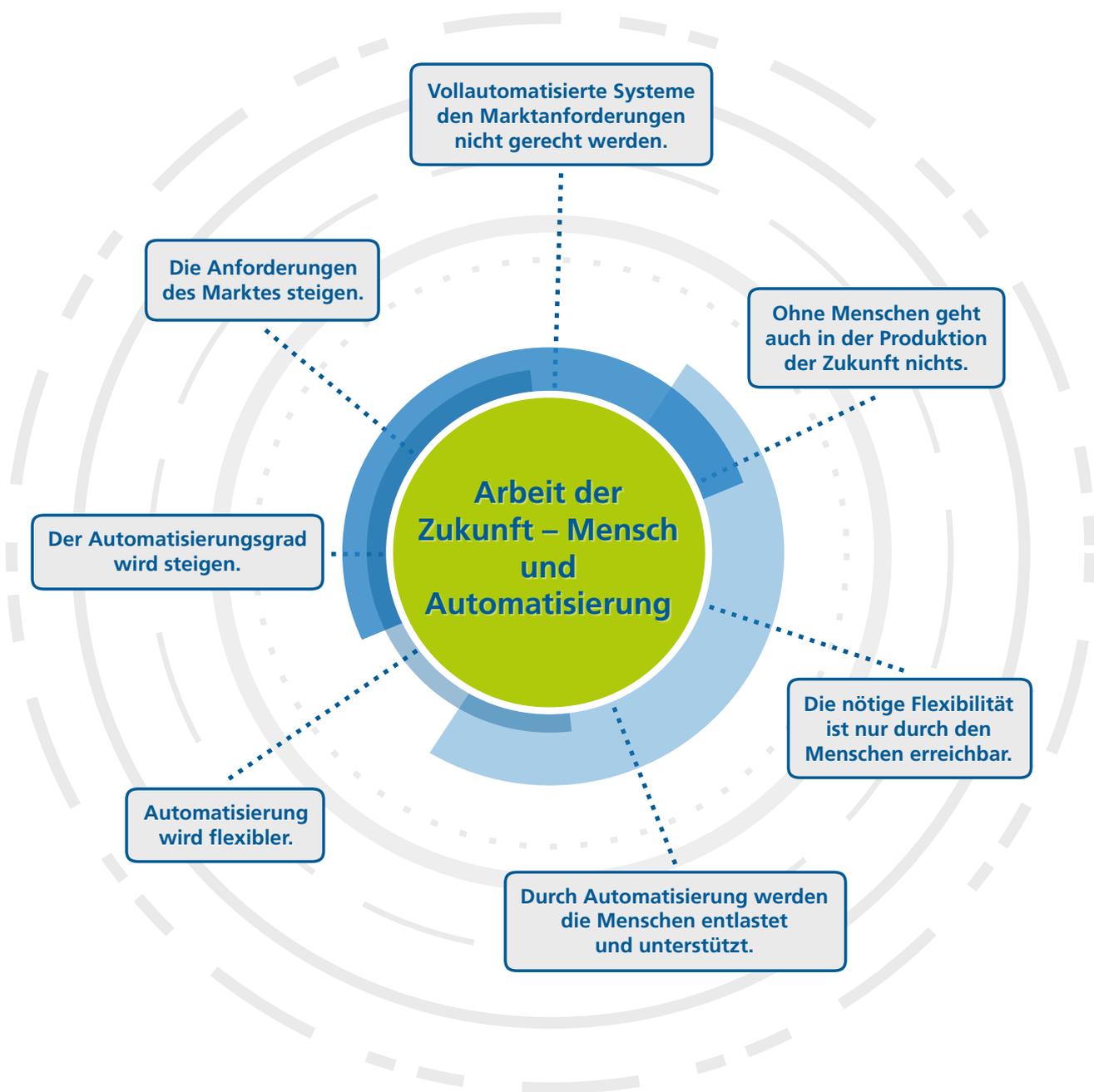
Die Rolle der Menschen wird aber nicht nur darin bestehen, automatisierte Teilsysteme zu verknüpfen. **»Man muss die Fähigkeiten des Menschen noch besser nutzen. Und er hat nicht nur motorische Fähigkeiten, sondern auch Denkfähigkeiten, assoziative Fähigkeiten, sensorische Fähigkeiten, die genutzt werden sollten. Nicht im Sinne von Ausnutzen, sondern im Sinne von Einbringen.** Der Mensch hat beispielsweise manche taktile Fähigkeiten, die man technologisch sehr aufwendig realisieren muss«, beschreibt Herr Glatz die menschlichen Fähigkeiten. »Der Mensch ist unwahrscheinlich flexibel und kann innerhalb kürzester Zeit eine wahnsinnige Fülle von Aufgaben beherrschen. Maschinen sind heute oftmals statisch. Die Aufgabe, für die sie ausgelegt sind, können sie gut. Aber eben nur diese eine. Und diese beiden Welten gilt es näherzubringen«, ergänzt Professor Post, Leiter der Forschungsabteilung des Unternehmens, das 2010 für eines seiner Automatisierungsprodukte den deutschen Zukunftspreis gewonnen hat, die Überlegenheit menschlicher Fähigkeiten.

Auch für die Optimierung der Produktions- und Automatisierungsprozesse werden menschliche Fähigkeiten benötigt, wie Herr Respondek-Osterloff beschreibt. »Unsere Monteure sollen nicht nur Produkte montieren, sondern auch den Produktionsprozess reflektieren und sich an dessen kontinuierlicher Verbesserung beteiligen. Das ist bei uns eine große Herausforderung mit hohen Anforderungen an die Mitarbeiter. Das dafür notwendige kreative Potenzial ist in unseren Belegschaften vorhanden. Nun gilt es, auch die systematischen Kompetenzen zu trainieren, um die vorhandene Kreativität möglichst effizient nutzen zu können.«

Auch in der Unterstützung der Menschen durch Automatisierung und die neuen, intelligenten Produktionssysteme sehen die Experten einen Trend der Zukunft. **»Automation wird ja in vielen Fällen dazu genutzt, den Menschen zu entlasten und repetitive Arbeiten abzunehmen. Wiederholende Tätigkeiten, die als Prozess beherrscht, klar definiert und stabil sind, kann man mit Automatisierung lösen«**, beschreibt Herr Glatz den aktuellen Trend.

Entscheidend wird auch sein, dass die hybriden Systeme, in denen sich menschliche Fähigkeiten und Automatisierung ergänzen, richtig unterstützt werden. »Ein wichtiges Themenfeld sehen wir hier im Augmented Learning. Wir haben heute in der Produktion immer noch viele halb-automatisierte Prozesse und immer mehr komplexe Prozesse. Werker müssen direkt in der Produktion viele Entscheidungen treffen«, so beschreibt Herr Feld den Bedarf an situativer Unterstützung der Werker. Der Arbeitswissenschaftler Professor Spath zeigt einen weiteren Weg auf, wie die Werker von den Informationen im System profitieren und sich selbst einbringen können. »Wir haben nicht nur technische Systeme, die eine Steuerung und damit Internetfähigkeit haben werden, sondern wir haben daneben auch noch Menschen. Um vollständig zu sein, müssen wir den Menschen ein Device, das heißt Internetfähigkeit, geben, damit der Mensch Teil des Systems wird.«

Der Münchner Informatikprofessor Broy fasst pragmatisch zusammen: **»Ich glaube, dass der Anteil der Arbeit, der automatisierbar ist, immer mehr automatisiert wird. An die Vorstellung aber, dass der Mensch der gesteuerte Handlanger des Systems ist, an die glaube ich nicht. Ich denke, eine mögliche Vision an der Stelle ist, dass ein Großteil dieser stumpfsinnigen Arbeit nicht mehr stattfindet und von Systemen übernommen wird. Das kann gar nicht anders sein.«**



## 7 Vernetzung und mobile Kommunikation – ein großes Potential

Die flächendeckende und bezahlbare Verfügbarkeit der technischen Infrastruktur für eine Vernetzung der Produktion bietet neue Möglichkeiten in der Produktion, die weit über die reine Vernetzung von Maschinen hinaus reichen.

### 7.1 Vernetzung in der Produktion eröffnet neue Möglichkeiten

Das Thema Vernetzung ist auch in der Produktion nichts grundlegend Neues, aber über den Industrie-4.0-Ansatz ergeben sich völlig neue Potenziale, wie Herr Bauer beschreibt: »Die Idee, Produktionssysteme mit einem Ethernet-Kabel zu versehen, ist nicht neu. Neu ist die intelligente Vernetzung aller Produktionsressourcen inklusive der zu fertigenden Produkte. Industrie 4.0 bringt damit das Internet der Dinge und Dienste in die Welt der Produktion. **Es entstehen neue, in Echtzeit steuerbare, Wertschöpfungsnetzwerke mit ungeahnten und revolutionären Möglichkeiten.**«

Vielen Praktikern fehlt bisher allerdings eine klare Vorstellung vom konkreten, absehbaren Nutzen der Vernetzung der Produktion. Laut Herrn Lüder Sachse, Senior Manager der Daimler TSS GmbH, IT Service Management, besteht ein Problem darin, dass wir uns das gesamte Potenzial der Vernetzung noch überhaupt nicht richtig vorstellen können. **»Der Vorteil durch den Vernetzungsansatz sind funktionelle Erweiterungen, an die wir heute noch gar nicht denken. Das geht so weit, dass ein Kunde im Internet jederzeit den Produktionsstatus seines Fahrzeugs abrufen kann, oder dass die Ersatzteilbestellung ohne menschliches Zutun geschieht.**«

Dabei stellt die Verfügbarkeit von ausreichend schnellen Netzen laut Dr. Holfelder in der Prognose für die nächsten fünf Jahre keine Probleme dar, obwohl die Infrastrukturinvestitionen in den Unternehmen noch etwas dauern werden. Er ist der Meinung, dass »viele der Dinge, die wir diskutieren auch keine große Bandbreite benötigen, sondern eine Flächenabdeckung«.

Dennoch stellt die Einführung vernetzter Systeme in der Produktion auch eine große Herausforderung dar. Herr Sachse meint: »Das Problem für die Produktion besteht in der Bedrohung eines vernetzten Systems. In einer vernetzten Umgebung, in der möglicherweise die gesamte Produktion zum Stillstand gebracht werden kann, ist das Problem weitaus größer. Im Moment



haben wir dazu getrennte Netzzonen.« Der Münchner Informatikprofessor Broy sieht es allerdings auf Dauer nicht so kritisch. Er geht davon aus, dass die Security-Probleme technisch lösbar sind. Die aktuellen Schwierigkeiten hängen viel mehr damit zusammen, dass die momentan verwendeten Systeme nie konsequent auf Security-Eigenschaften ausgerichtet waren, die in der heutigen Umgebung notwendig seien. Dabei bleibt die Herausforderung bestehen, die vorhandenen Systeme sicher zu vernetzen.

## 7.2 Nutzung mobiler Kommunikationstechnik im Arbeitskontext wird zunehmen

Heute finden Smartphones vielfältigen Einsatz im privaten und geschäftlichen Umfeld. Sie dienen als Navigationsgerät, Spielkonsole, Kommunikationsplattform und Informationsquelle. Herr Feld sieht den Nutzen vor allem in der »Vernetzung der Mitarbeiter untereinander über mobile Technologien«. **Über diese zusätzliche Vernetzung** meint er **»sind wir auch in der Lage, Mitarbeiter entsprechend ganz anders einzusetzen, ganz anders miteinander zu vernetzen, um neue Arbeitstechniken in der Produktion entsprechend realisieren zu können«**.

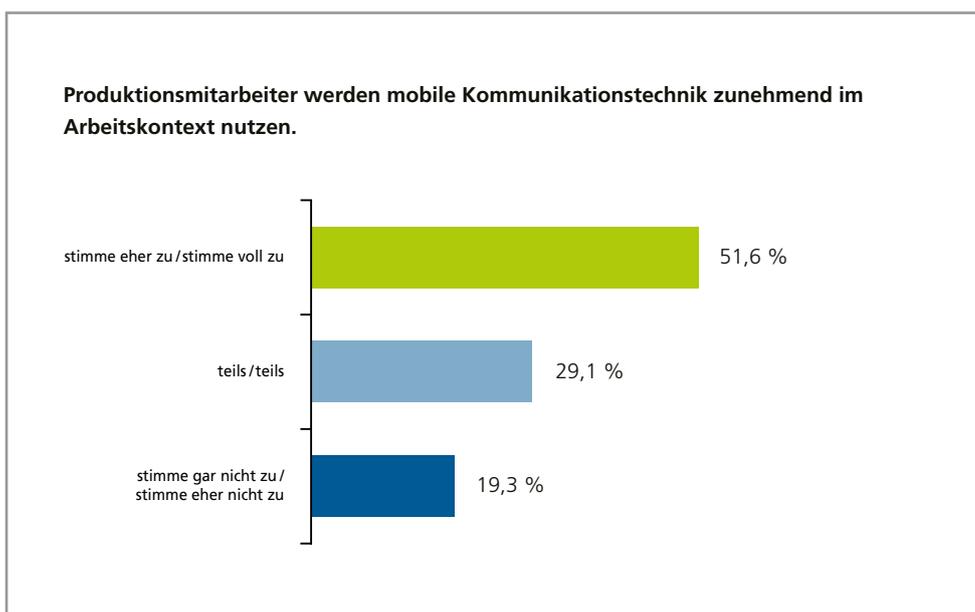


Abbildung 17: Mobile Kommunikationstechniken werden im Arbeitskontext zunehmen

### Vision Zukunft

*Sehr praxisnah und konkret beschreibt Herr Bauer, wie die vernetzte Produktion der Zukunft aussehen kann: »Soll zum Beispiel heute auf einer Laserschneidmaschine ein neues, bisher noch nie verwendetes Material bearbeitet werden, für das noch keine Standard-Technologie-Daten für den benötigten Laserschneidprozess auf der Maschine vorhanden sind, so werden diese Daten heute entweder manuell durch den Maschinenbediener ermittelt oder manuell aufgespielt. Zukünftig bringt vielleicht das Rohmaterial die geeignete Bearbeitungstechnologie mit, oder die Maschine kann sich die Daten automatisch von überlagerten Systemen oder gar von anderen Maschinen laden. Gleichzeitig stellt die Maschine wiederum eigene Daten bzw. »Erfahrungen mit diesen Daten« anderen Produktionssystemen bereit.«*

52 % der befragten Unternehmen sehen die mobile Kommunikationstechnik zukünftig als zunehmende Bereicherung für den Produktionsmitarbeiter, wie Abbildung 17 zeigt. Da der Einsatz von mobiler Kommunikationstechnik im Arbeitskontext jedoch einige Hürden sowohl für den Produktionsmitarbeiter als auch das Unternehmen mit sich bringt, sind 19 % noch skeptisch und stimmen einer zunehmenden Nutzung nicht zu. Dennoch ist über die Hälfte der Skeptiker der Meinung, eine hohe Zeiteinsparung durch die frühzeitige Verfügbarkeit von Informationen erreichen zu können.

Heute kann man auf mobilen Endgeräten alle relevanten Informationen, Anwendungen und Geschäftsdaten in hoher Qualität und Geschwindigkeit abrufen. Damit ergeben sich neue Möglichkeiten in einer mobilen Arbeitswelt. Dr. Holfelder sieht die Chance, mobile Kommunikation schnell in Unternehmen zu integrieren und schlägt vor, direkt mit der Integration zu beginnen: **»Die Einbindung der Mitarbeiter zum Beispiel über Smartphones geht sehr kurzfristig, während die Maschinen abgeschrieben werden müssen. Aber wichtig ist, dass die Unternehmen jetzt beginnen.«**

Herr Feld rechnet damit, dass »in den nächsten fünf Jahren mobile Anwendungen Einzug halten werden«. Dr. Rode prognostiziert zusätzlich, dass in fünf Jahren jeder in der westlichen Welt ein Smartphone besitzen wird und wie die Informationsbeschaffung aussehen kann. »Dann ist auch naheliegend, die Information passend zum Kontext auf diese Geräte zu pushen, beispielsweise einen Auftrag zum Telefon zu senden und die Rückmeldung über das Gerät zu erfassen.«

Professor Georg Fundel, Geschäftsführer der Flughafen Stuttgart GmbH und Professor Reinhart unterstützen die These der dezentralen Informationsbeschaffung und Verarbeitung. Professor Fundel erzählt aus der Erfahrung des bei ihm bereits laufenden Systems und sagt: **»Die Verteilung der Aufträge und damit die Einsätze für die Mitarbeiter laufen bereits vollautomatisch über Mobilgeräte.«** Auch Professor Reinhart zeigt recht plakativ, welche Möglichkeiten sich für den praktischen Arbeitsalltag ergeben: »Auf tretende Probleme können mit dieser Technologie in Form von multimodalen Informationen also Filmen, Grafiken, Bildern oder Erläuterungen sehr schnell an einen anderen Standort dieser Erde übermittelt werden.«

Professor Post eröffnet den Horizont über die technischen Möglichkeiten hinaus und bezieht die Mitarbeiter mit ein: »Mobilgeräte könnten zukünftig dafür genutzt werden, dem Menschen Informationen zu Verfügung zu stellen und den Rückfluss von Informationen vom Menschen zurück sicherzustellen.« Und Dr. Rode führt ergänzend mit einem Beispiel fort: »Es wird mittlerweile erwartet, dass ich die Information überall und mobil zur Verfügung habe. Gerade im Manufacturing ist der Fertigungsleiter ständig unterwegs. Für den Werker bei größeren

Anlagen wäre es ebenfalls sehr sinnvoll, wenn er sein Tablet aus der Tasche ziehen und für Rückmeldungen nutzen könnte, anstatt jedes Mal zu seinem Terminal gehen zu müssen.« Dr. Mittelbach beschreibt weitere Aussichten, wie eine Mensch-Maschine-Kommunikation aussehen kann: »*Wenn die Geräte, die Objekte und Maschinen miteinander reden können, können sie das genauso gut mit dem Menschen via Tablet, via Augmented-Reality-Brille, usw.*«

### 7.3 Potentiale von Social Media in der Produktion sind noch nicht ausgeschöpft

Bei der Frage nach der zukünftigen Verbreitung von Social Media in der Produktion ergibt sich insgesamt ein relativ ausgewogenes Bild mit leicht stärkerer Zustimmung, wie Abbildung 18 zeigt.

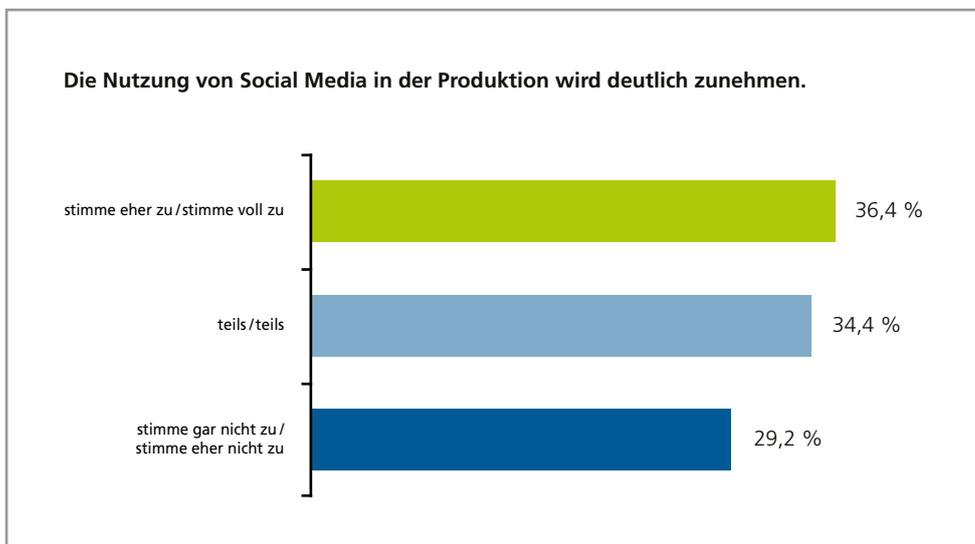


Abbildung 18: Social Media in der Produktion wird vermutlich zunehmen

Die Nutzung von Social Media ist im privaten Umfeld zum Standard geworden. So sind knapp drei Viertel der deutschen Internetnutzer in mindestens einem sozialen Netzwerk angemeldet – mit steigender Tendenz.<sup>26</sup> Im Gegensatz zu der Verbreitung im privaten Umfeld werden in

#### Definition

»Social Media« (auch Soziale Medien) bezeichnen digitale Medien und Technologien, die es Nutzern ermöglichen, sich untereinander auszutauschen und mediale Inhalte einzeln oder in Gemeinschaft zu gestalten.<sup>25</sup>

25 Vgl. (Wikipedia; 2013b).

26 Vgl. (BITKOM; 2012).

den wenigsten produzierenden Unternehmen Social Media oder mobile Kommunikation im Produktionsablauf genutzt, zumeist sind auch die Potenziale nicht ermittelt. Dies führt bei einigen Mitarbeitern zu Unverständnis. Dr. Rode meint dazu: **»Mit der jungen, computeraffinen Facebook-Generation ist hier die Erwartungshaltung an die Informationsaufbereitung stark gestiegen.«**

Den interviewten Experten fällt es unterdes nicht schwer, Ansätze zur Nutzung der neuen Techniken in der Produktion aufzuzeigen. Bei den Unternehmen gibt es Vorreiter, in denen die Nutzung von Social Media zu einem immer wichtigeren Faktor in der Produktion, der Wertschöpfungskette und der Ausrüstungskette wird.

Allerdings bedeutet die technische Umsetzbarkeit der Ideen von Forschung und Vordenkern noch lange nicht, dass diese Ideen auch in der Praxis umgesetzt werden. Professor ten Hompel, einer der Vordenker im Bereich Internet der Dinge, beschreibt eine Gefahr des Fortschrittes im Bereich der zusätzlichen Vernetzung, die sich bei der Umsetzung ergeben kann. »Wenn der Fortschritt zu schnell ist und der Mensch nicht in dem Prozess eingebunden wird, hängen wir ihn ab, dann wird die Revolution keine Akzeptanz bei den Mitarbeitern finden.« Was sich hier noch ändern muss, beschreibt zum Beispiel Dr. Holfelder: **»Die Nutzung von Social Media im Unternehmen ist nicht nur eine Technikfrage, sondern in erster Linie eine Kulturfrage. Es muss zum Beispiel in Ordnung sein, dass ich von Zuhause aus an einem Meeting teilnehmen kann, ohne dass die anderen sich wundern.«**

Wie die Unternehmen denken, die von einer deutlichen Zunahme von Social Media in der Produktion ausgehen, zeigt eine spezifischere Auswertung der Ergebnisse. Fast 80 % dieser Unternehmen sind der Meinung, dass die Produktionsmitarbeiter mobile Kommunikationstechnik auch zunehmend im Arbeitskontext nutzen werden – im Vergleich zu gerade einmal 52 % der gesamten Befragten<sup>27</sup>. 62 % dieser Gruppe gehen davon aus, dass sich der Aufwand

---

<sup>27</sup> Vergleiche hierzu Abbildung 17 auf Seite 57.

der Dokumentation durch den Einsatz mobiler Endgeräte innerhalb der Produktion drastisch reduzieren wird, während nur 47 % aller Befragten dem zustimmen<sup>28</sup>. 68 % dieser Gruppe sehen ein hohes Potenzial im Einsatz mobiler Endgeräte in puncto Qualitätsverbesserung. Auch hier ist die Zustimmung deutlich höher, als bei den 55 % der Grundgesamtheit<sup>29</sup>.

## 7.4 Neue Möglichkeiten der Unterstützung der Mitarbeiter durch mobile Assistenz

Die neuen Techniken eröffnen auch völlig neue Möglichkeiten, die Werker durch Informationsbereitstellung zu unterstützen und zu schulen.<sup>30</sup> Herr Feld beschreibt die Anforderungen wie folgt: *»Wenn sich was am Produktionsprozess ändert, muss sich der Mitarbeiter durch weitere Schulungen anpassen. Das muss wesentlich individueller gestaltet werden. Und da reicht eine klassische Maschinen-Bedien-Schnittstelle nicht aus, da braucht man ein Augmented-Assistenzsystem.* Idealerweise kann das auch durch mobile Endgeräte realisiert werden, indem die verschiedenen Wissensquellen auch zusammengeschaltet werden.«

*»Die Maschine, das »iProductionPad« und die Informationssysteme müssen dem Menschen helfen und ihn situationsangepasst mit den Informationen versorgen. So kann der Mitarbeiter qualifizierter eingesetzt werden, als es bisher der Fall war«*, sagt Professor Reinhart.

Wie eine Verschmelzung von digitaler und virtueller Welt aussehen kann, beschreibt Dr. Rode: *»Ich gehe durch die Halle und sehe sofort wo mein Auftrag ist und was es mit dem Stapel Material auf sich hat, anstatt den Warenbegleitschein zu suchen.«* Der Experte für Digital Manufacturing bei SAP Research wird noch plastischer bei der Beschreibung, wie die Zukunft aussehen kann: *»Wenn Augmented Reality zusammen mit den Google-Glass-ähnlichen Techniken mal vernünftig benutzbar und bezahlbar ist, dann werden wir sehen, dass die Informationen irgendwo im Raum schweben und die Produktion und Wartung damit vereinfachen.«*

### Vision Zukunft

Dr. Holfelder gibt einen interessanten Ausblick, welche Möglichkeiten es neben dem Abrufen von Daten in Echtzeit geben kann. Er beschreibt auch, dass die Entwicklung bei der Vernetzung und mobilen Kommunikation nicht stehen bleibt, sondern kontinuierlich weiter geht. **»Vielleicht sind die Smartphones gar kein Thema mehr in der Produktion, weil die Technologie schon viel weiter ist, bis die Produktion weiß, wofür sie es nutzen will. Bis dahin werden die Informationen nicht mehr auf dem Smartphone abgerufen, sondern direkt ins Sichtfeld projiziert. Technisch ist das bald machbar. In fünf Jahre wird das der Standard sein.«**

28 Vergleiche hierzu Abbildung 21 auf Seite 64.

29 Vergleiche hierzu Abbildung 22 auf Seite 65.

30 (Spath, Weisbecker; 2013) beschäftigt sich ausführlich mit Herausforderungen, Potenziale und Lösungen der Mensch-Technik-Interaktion für die effiziente und vernetzte Produktion von morgen.

Das Nutzenpotenzial erkennen auch fast 73 % der Befragten. Sie sehen durch den Einsatz mobiler Endgeräte große Vorteile und neue Möglichkeiten bei der Nutzung der aktuellen Produktionsdaten. Nur 8 % stimmen diesem Ansatz nicht zu, wie Abbildung 19 zeigt.

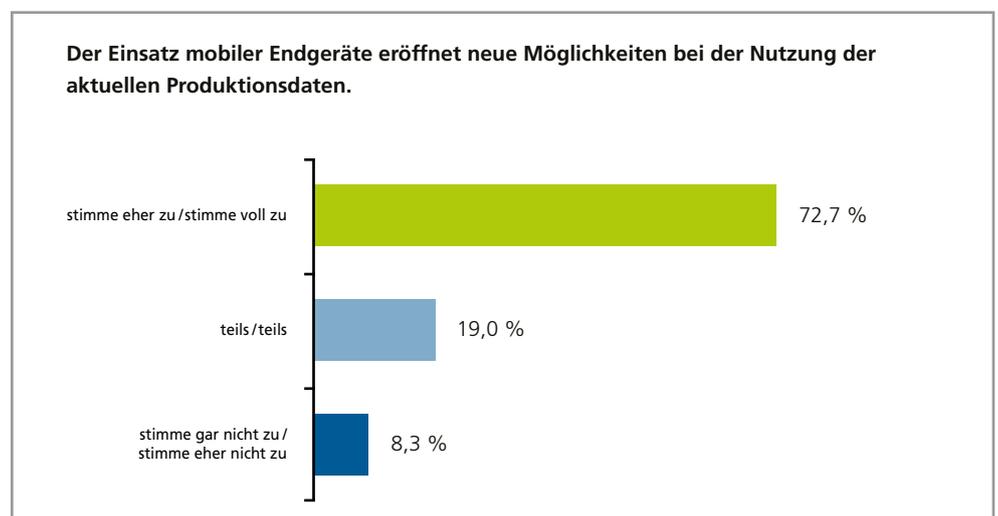


Abbildung 19: Mobile Endgeräte eröffnen neue Möglichkeiten der Nutzung aktueller Produktionsdaten

Entscheidend wird es sein, die Flut der Daten, die über die höhere Anzahl an Sensorik und durch die vernetzten Systeme verfügbar sind, passend auf ein Individuum aufzubereiten, um nicht mit Informationen überflutet zu werden. **»Daten sind das Öl des 21. Jahrhunderts. Im Unterschied zu Öl gehen Daten auch nicht aus, sondern werden immer mehr. Wer es versteht, das richtig zu nutzen – unter allen Gesichtspunkten, wie Datenschutz, Rechen- und Speicherkapazitäten, der wird zukünftig einen Wettbewerbsvorteil haben«**, sagt Dr. Holfelder.

Dr. Ferber fügt noch hinzu, dass es wichtig ist, »nicht nur eine Menge Daten zu haben, sondern diese richtig aufbereitet und visualisiert zu bekommen«. »In Zukunft werden in den Unternehmen kompetente Datenanalysten benötigen«, beschreibt Dr. Holfelder eine meist ungelöste Herausforderung.

Er betont weiterhin, dass die passende Aufarbeitung der in der Produktion generierten Daten nicht trivial ist, »Es werden hier neue und komplexere Daten generiert, zu deren Auswertung und zur Bewertung der Relevanz gibt es bisher noch wenig Erfahrung.« Die Herausforderungen bei der Auswertung ergeben sich, »da so viele verschiedene Datenströme kombiniert werden müssen – auch die privaten Daten. Das ist sowohl von der technischen Seite her komplex als



auch aus der Sicht des Datenschutzes. Gerade bei den Mittelständlern ist die nötige Kompetenz oft nicht vorhanden.«

Nach Professor Reinhart muss die mobile Assistenz zunehmen, damit der Mensch mit der Produktionssteuerung oder der Maschine interagieren kann und Daten effizienter und schneller ausgewertet werden können. Dann kann ein solches System die Menschen sinnvoll bei der Entscheidung unterstützen. Er prognostiziert: *»Damit der Mensch mit der Produktionssteuerung oder der Maschine interagieren kann, muss die mobile Assistenz zunehmen. Bei einer Fehlermeldung einer Maschine kann sich das »iProductionPad« vor Ort vernetzen und den Fehlerspeicher auslesen und interpretieren. Das »iProductionPad« kann Temperaturen oder Frequenzen der Maschine messen, Anweisungen geben und deren Zustand sehr schnell analysieren und diagnostizieren.«*

## 7.5 Geringerer Aufwand und bessere Qualität der Dokumentation

Auch in der Dokumentation ergeben sich große Potenziale für den Einsatz von mobilen Endgeräten. Fast 70 % der Befragten meinen, der Dokumentationsaufwand von Richtlinien und Normen übersteigt heute deutlich den Nutzen, nur gut 8 % finden den Aufwand gerechtfertigt, wie Abbildung 20 zeigt.

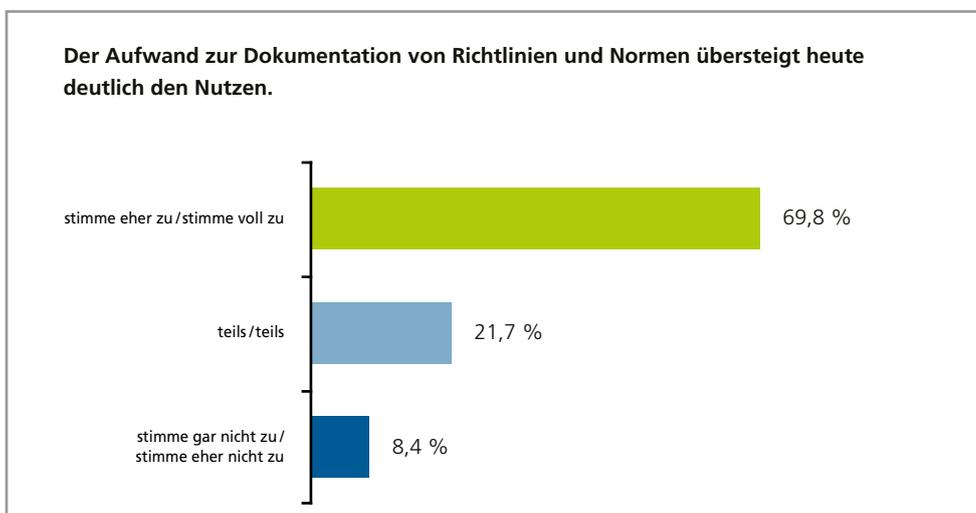


Abbildung 20: Der Aufwand zur Dokumentation ist heute zu hoch

Zur Reduktion des Aufwandes durch den Einsatz neuer technischer Möglichkeiten beschreiben die interviewten Experten viele Ansätze. Herr Feld spricht zum Beispiel im vorangegangenen Kapitel von einer Art »Assistenzsystem«, welche der Arbeitskraft unterstützend zur Seite stehen soll, um Daten und Information effizient zu verarbeiten.

Abbildung 21 zeigt, dass knapp die Hälfte der befragten Unternehmen die Ansicht teilt, dass mit dem Einsatz mobiler Endgeräte der Aufwand der Dokumentation drastisch reduziert werden kann. Nur knapp 20 % meinen, dass der Dokumentationsaufwand sich nicht reduzieren lässt.

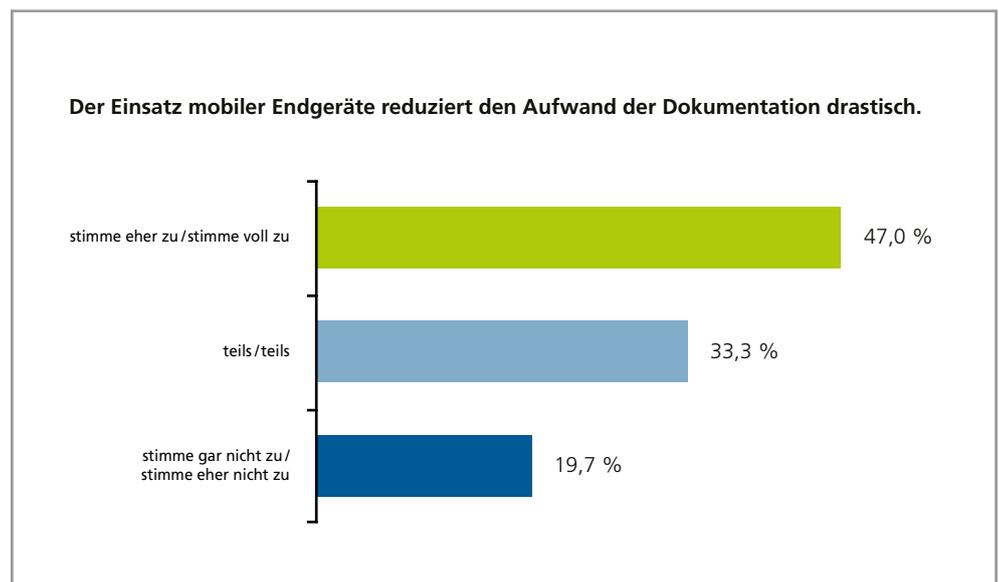


Abbildung 21: Dokumentationsaufwand wird durch mobile Endgeräte drastisch reduziert

Mit gut 55 % Anteil wird die These, dass sich die Qualität der Dokumentation durch den Einsatz mobiler Endgeräte stark verbessert, etwas stärker unterstützt. Etwa 19 % stimmen dem nicht zu, wie Abbildung 22 zeigt.

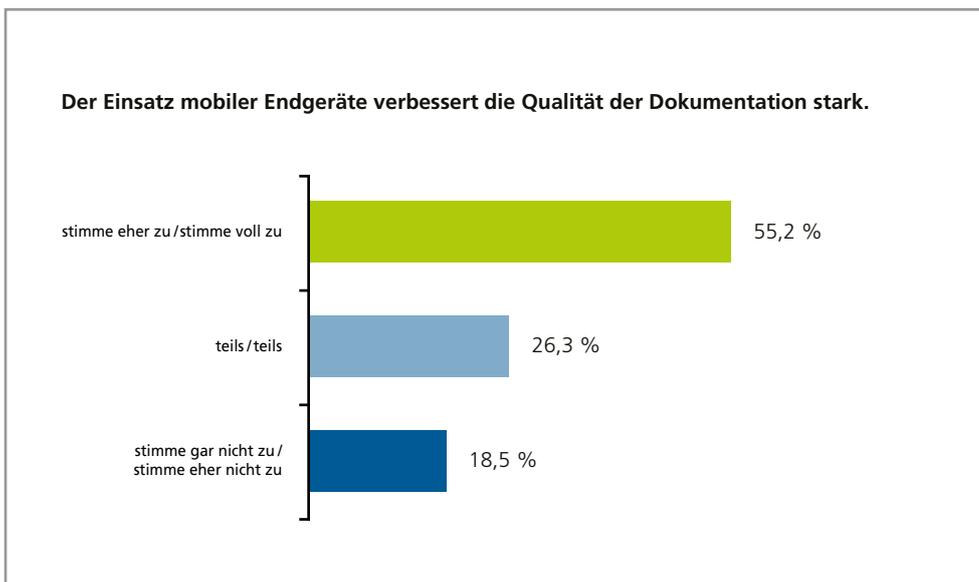


Abbildung 22: Dokumentationsqualität wird durch mobile Endgeräte deutlich verbessert

Zusammengefasst lässt sich aus den Meinungen der Experten und den befragten Unternehmen ein klarer Trend ablesen. Die Industrie ist offen für unterstützende Medien im Produktionsumfeld und sieht die Vorzüge einer mobilen, dezentralen vernetzten Assistenz im digitalen Zeitalter. Um diese Vorzüge zu nutzen, müssen die Unternehmen schon heute damit beginnen, sich weiter zu vernetzen und zusammen mit der IKT-Branche den ersten Meilenstein der Integration bilden.



## 8 Zukunft Produktionsarbeit – Flexibilität ist Trumpf

Produktionsunternehmen unterliegen immer stärkeren Auftragsschwankungen, welche mit den eingesetzten Prognosewerkzeugen nicht zuverlässig frühzeitig erkannt werden können. Trotz dieser volatilen Marktbedingungen müssen die Unternehmen die herausfordernden Zielsetzungen aus hoher Lieferfähigkeit mit kurzen Lieferzeiten bei geringen Beständen und sinnvoller Auslastung der Kapazitäten meistern, um am Markt bestehen zu können. Der wichtigste Erfolgsfaktor für marktorientiert geführte Produktionsunternehmen wird – gerade unter den neuen Möglichkeiten, die Industrie 4.0 durch Vernetzung und Echtzeitabbildung der Produktion in Zukunft mit sich bringt – die schnelle Reaktion auf Kundenanforderungen sein. Für mehr als 98 % der befragten Unternehmen stellt dies einen hohen Stellenwert dar, wie Abbildung 23 zeigt.

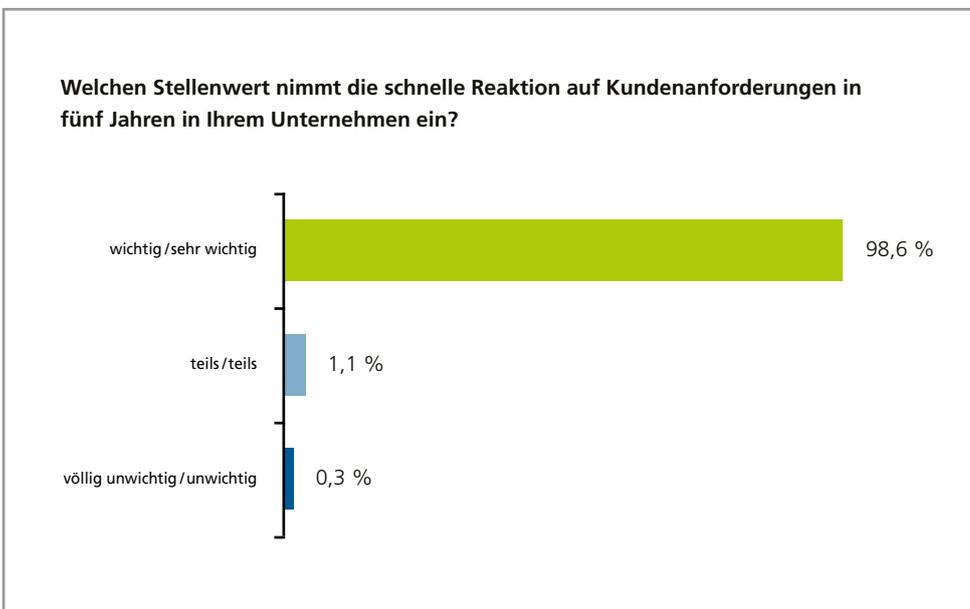


Abbildung 23: In Zukunft müssen Unternehmen schnell auf Kundenanforderungen reagieren können

Auch Professor Spath sieht diese Entwicklung: *»Aus den Marktrahmenbedingungen heraus werden wir in Deutschland weiterhin steigende Flexibilitätsanforderungen bekommen. Die Kundenorientierung wird weiter steigen. Wir haben heute schon eine Situation, die die aktuellen Instrumente in den Unternehmen teilweise überspannt.«*

### Definition

Der Begriff »Flexibilität« kommt vom lateinischen Begriff »flectere« und beschreibt die generelle Anpassungsfähigkeit an wechselnde Umstände. Flexibilität ist die Fähigkeit eines Unternehmens, sich einfach und schnell auf veränderte Rahmenbedingungen einzustellen. Mit Bezug auf den flexiblen Personaleinsatz werden neben der zeitlichen, räumlichen und funktionalen Flexibilität, die Dimensionen numerische und finanzielle Flexibilität differenziert.<sup>31</sup>

<sup>31</sup> Vgl. (Reilly; 2001).



## 8.1 Flexible Produktionsarbeit: heute wichtig, morgen Trumpf

Insbesondere Unternehmen, die auch zukünftig einen großen Wertschöpfungsanteil in manuellen Produktions- und Montagebereichen erzielen, sind daher gezwungen, ihre Reaktionsfähigkeit auf Marktschwankungen immer stärker aus der Flexibilität ihres Mitarbeitereinsatzes heraus sicherzustellen.<sup>32</sup> Dr. Ferber formuliert das so: »Die jüngste Herausforderung für produzierende Unternehmen ist die zunehmende Volatilität der Märkte. Den nun nicht so gut planbaren und starken Schwankungen in den Märkten müssen wir mit Agilität und Flexibilität in der Produktion begegnen, nicht so sehr mit dem Paradigma der Vollausslastung. Die Produktion hat in der Vergangenheit die Qualität verbessert, die Kosten reduziert und die Auslastung der Fabrik erhöht. Aber was bringt es mir, wenn ich eine Fabrik habe, die mir bei 98 % Auslastung den besten Profit bringt und ich überhaupt nicht vorhersagen kann, was im nächsten Monat verkauft werden wird. **Wir müssen daher Fabriken bauen, die die Schwankungen bewältigen. Für das Thema Flexibilität wird die menschliche Arbeit in der Fabrik zukünftig noch wichtiger. Alles Unvorhergesehene bekommt man nur durch Automatisierung nicht richtig hin. Industrie 4.0 sollte man hier als Chance sehen.**«

### Definition

»Kapazitätsflexibilität« beschreibt alle Lösungsansätze und Instrumente, die es Unternehmen ermöglichen, ihr personaleitiges Kapazitätsangebot an schwankende Nachfragesituationen in volatilen Märkten anzupassen.<sup>33</sup>

Um Verluste durch mangelnde Flexibilität zu vermeiden und die Lieferfähigkeit zu verbessern, ist neben einer hohen Anlagenflexibilität und reaktiven Supply Chains eine proaktive und systematisch eingesetzte Flexibilität der Mitarbeiter erfolgsentscheidend – die Kapazitätsflexibilität. Neben den Marktanforderungen müssen die Unternehmen zukünftig auch immer stärker den mitarbeiterseitigen Wünschen an Flexibilität im Arbeitsleben gerecht werden. Diese Anforderungen rücken auch für die Produktionsarbeit durch demografische Entwicklungen wie den »War for Talents«, also das kompetitive Werben um qualifizierte Arbeitskräfte in der heutigen Arbeitswelt immer weiter in den Vordergrund und eröffnen neue Fragen der Kompensation für die geforderte Flexibilität.

Für den personalintensiven Wirtschaftsbereich der Produktionsarbeit mit mehr als 7,7 Millionen direkt abhängigen Beschäftigten in Deutschland<sup>34</sup> spielt Kapazitätsflexibilität eine besonders wichtige Rolle.

32 Vgl. (Spath; 2008).

33 Vgl. (Spath, Bauer, Hämmerle; 2013).

34 Vgl. (Deutsches Statistisches Bundesamt; 2013).

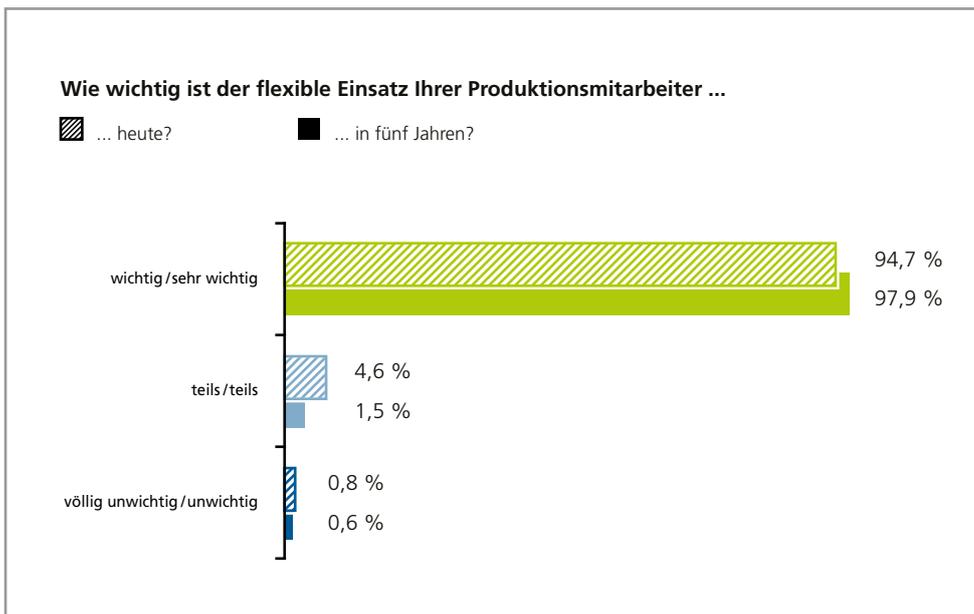


Abbildung 24: Die Flexibilität der Produktionsarbeiter ist und bleibt ein Erfolgsfaktor für Produktionsunternehmen

Bereits heute ist der flexible Einsatz von Mitarbeitern in der Produktion für nahezu alle befragten Unternehmen (94,7 %) wichtig. Und auch in fünf Jahren bleibt der flexible Mitarbeitereinsatz für fast 98 % der Unternehmen weiterhin wichtig oder sehr wichtig, wie Abbildung 24 zeigt. Um diese Flexibilität zu gewährleisten, steht der Industrie eine Vielzahl an Personal-Flexibilisierungsinstrumenten<sup>35</sup> zur Verfügung, die in der deutschen Produktion heute bereits weit verbreitet sind.<sup>36</sup>

35 Kapitel 8.3 beschreibt Personalflexibilisierungsinstrumente und ihre Wirkung.

36 Vgl. (Sende u.a.; 2011).

### Definition

»Volatilität« ist das »Ausmaß der Schwankung von Preisen, Aktien- und Devisenkursen, Zinssätzen oder auch ganzen Märkten innerhalb einer kurzen Zeitspanne«. <sup>37</sup> Die Volatilität gibt dabei keine Richtung vor, sondern nur die Bandbreite der Schwankungen. Je größer die Schwankungsbreite, desto volatil und damit chancen-, aber auch risikoreicher ist der zugrunde liegende Index zu bewerten. Eine schnelle Reaktion auf die permanenten Schwankungen der heutigen Absatzmärkte zu gewährleisten, ist insbesondere für Produktionsunternehmen eine wesentliche Herausforderung zur Absicherung des Geschäftserfolges und zunehmend auch zur Differenzierung. Dabei gewinnt die Flexibilität beim Personaleinsatz zukünftig immer stärker an Bedeutung. <sup>40</sup>

## 8.2 Volatile Märkte und Mitarbeiterorientierung machen Flexibilität zum Schlüsselfaktor

Flexibilität ist für die Unternehmen kein Selbstzweck. Die Welt, in der global agierende Unternehmen heute arbeiten, hat sich gewandelt. Zunehmende internationale Vernetzung von Unternehmen und ganzen Branchen führen zu immer stärkeren Abhängigkeiten verschiedener Industrien und verbreiten die Entwicklungen aus einzelnen Wirtschaftssektoren horizontal und vertikal. Beispielhaft sei hier die Verquickung von Finanz- und Realwirtschaft und ihre weitreichenden rezessiven Auswirkungen auf die globale Produktionswirtschaft genannt, die in der Wirtschaftskrise ab dem Jahr 2008 weltweit beobachtet werden konnte.

Besonders stark betroffen von diesen volatilen Marktschwankungen sind klassische Produktionsländer wie Deutschland wo mehr als jeder vierte Euro direkt in der Produktion verdient wird. <sup>38</sup> Volatile Märkte mit starken Absatzschwankungen wirken aufgrund der vielfältigen Volatilitätsquellen besonders intensiv und nachhaltig auf Produktionsunternehmen. Dabei setzt sich die von produzierenden Unternehmen zu bewältigende Absatzvolatilität im Wesentlichen aus kurzfristigen unternehmensspezifischen Effekten, saisonalen Schwankungen, dem Produktlebenszyklus und der konjunkturellen Marktvolatilität zusammen. <sup>39</sup> »Wir sehen, dass wir in Zukunft stärkeren Schwankungen ausgesetzt sein werden. Einerseits müssen wir den Markt On Demand befriedigen, auf der anderen Seite werden wir aber auch ziemlich starke internationale Schwankungen beobachten. Das ist Ausdruck der internationalen Vernetzung. Solche Volatilitäten werden wir zukünftig bewältigen müssen. Das heißt, es geht nicht mehr nur um die Flexibilität in den acht Stunden Arbeit, die wir so gewohnt sind, sondern darüber hinaus«, so Professor Spath. Diese volatilen Marktverhältnisse werden für die Produktion in Zukunft Realität bleiben. »Die Zyklen der Schwankung zwischen guten und schlechten Zeiten werden wir in Zukunft immer haben. Aber: Die langen Phasen von fünf Jahren Wachstum mit einer vorhersagbaren Wachstumsrate wird es nicht mehr geben. Darauf muss sich die Produktion einstellen«, so Dr. Ferber.

37 Vgl. (Wikipedia; 2013b).

38 Vgl. (Bundesagentur für Arbeit; 2013).

39 Vgl. (Spath, Bauer, Hämmerle; 2013).

40 Vgl. (Spath, Bauer, Hämmerle; 2013).

Wie Abbildung 25 zeigt, geben bereits heute fast 72 % der befragten Unternehmen an, dass ihr personalseitiger Kapazitätsbedarf stark schwankt – unabhängig von der Branche. »Es ist doch jedem verständlich, dass man in Hochphasen entsprechende Kapazitäten zur Verfügung stellen muss, aber dabei nicht mit starren Systemen arbeiten kann. Die Volatilität wird weiter

zunehmen. Volatile Märkte und ein starres System, was die Arbeitszeit betrifft – das passt nicht zusammen«, fügt Herr Glatz hinzu.



Abbildung 25: Die meisten Unternehmen haben bereits heute starke Schwankungen im Kapazitätsbedarf

Die zeitliche Betrachtung der Absatzschwankungen nach Schwankungsrastern in Abbildung 26 zeigt, dass die meisten Unternehmen heute mit starken Absatzschwankungen von Woche zu Woche konfrontiert sind (47 %). Weniger Unternehmen müssen starke Schwankungen von Tag zu Tag (15 %) oder innerhalb von Tagen (11 %) bewältigen. Diese zeitlichen Raster, in denen Unternehmen mit Absatzschwankungen konfrontiert werden, sind über Branchen und Unternehmensgrößen gleich verteilt. Diese Verteilung von Schwankungen mit ihrem Schwerpunkt bei Vorlaufzeiten von Wochen oder gar Monaten ist heute noch möglich, da mangelnde Flexibilität durch Produktion auf Lager, reduzierte Produktivität bzw. verlängerte Lieferzeiten ausgeglichen werden kann.

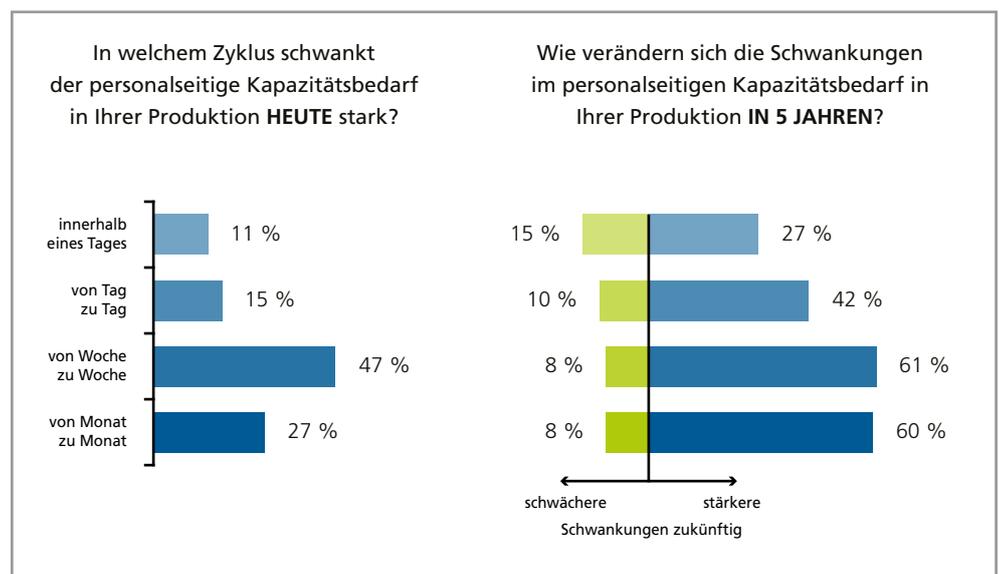
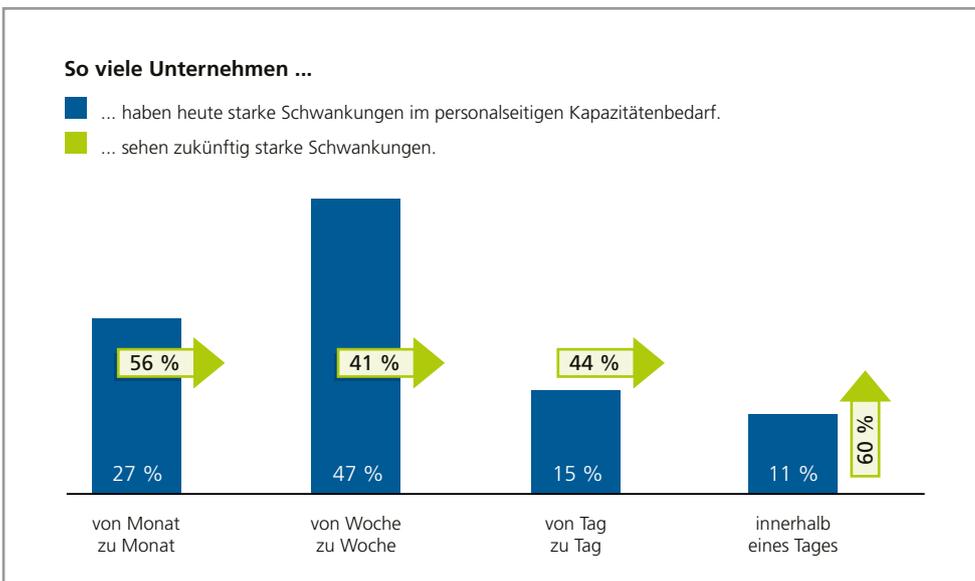


Abbildung 26: Heute sind Schwankungen mit Vorlaufzeiten im Wochenhorizont stark verbreitet. In Zukunft werden die Schwankungen der Absatzmärkte aber stärker und kurzfristiger.

Zukünftig ändert sich dies massiv. Unternehmen müssen verstärkt auf kurzfristigerer Schwankungen reagieren, da ihre Märkte immer kurzfristiger schwanken. Generell steigt die Schwankungsintensität der Absatzmärkte, der die Unternehmen in fünf Jahren ausgesetzt sind, in allen Zeitrastern (Monat, Woche, Tag, innerhalb eines Tages). Dies trifft aber insbesondere für kurzfristige starke Schwankungen im Tages- oder Stundenhorizont zu, wie Abbildung 26 zeigt. So geben beispielsweise heute nur ca. 15 % der Unternehmen an, starke Schwankungen von

Tag zu Tag zu haben. Nahezu dreimal so viele Unternehmen (42 %) erkennen, dass sie in fünf Jahren verstärkt mit starken Schwankungen von Tag zu Tag konfrontiert sein werden.

Die Verlagerung hin zu kurzfristigeren Kapazitätsschwankungen zeigt sich auch in der Wanderungsanalyse, die Abbildung 27 veranschaulicht. Mehr als vier aus zehn Unternehmen innerhalb jedes Schwankungsrasters gehen zukünftig davon aus, verstärkt Schwankungen aus dem jeweils kurzfristigeren Raster kompensieren zu müssen. So sind beispielsweise mehr als 44 % der Unternehmen mit momentan starken Schwankungen von Tag zu Tag der Meinung, zukünftig stärkere Schwankungen innerhalb eines Tages zu haben. Dieses Bild zeigt sich über alle zeitlichen Raster, wie Abbildung 27 zeigt.



**Abbildung 27: Unternehmen mit heute starken Schwankungen von Woche zu Woche werden zukünftig verstärkt Schwankungen im Tagesraster haben – der Trend gilt für alle Zeitraster**

Neben diesen marktseitigen Rahmenbedingungen werden zukünftig die Flexibilitätsanforderungen der Mitarbeiter immer wichtiger. Die sogenannte Work-Life-Integration, bei der Arbeits- und Privatleben miteinander in Einklang stehen, hält auch Einzug in die Produktionsarbeit der Zukunft. Dazu kommen gesellschaftliche Entwicklungen wie der demografische Wandel, der Unternehmen zunehmend zwingt, sich als attraktiver Arbeitgeber um qualifizierte Fachkräfte



zu bewerben. Herr Glatz führt aus: *»Flexibilität war für die Firmen immer ein Thema. Es kommt heute hinzu, dass die Mitarbeiter Flexibilität fordern. Gewisse Verbindungen von Arbeitszeit und Lebenszeit sind in der Verquickung heute wesentlich stärker als früher.«* Der Arbeitswissenschaftler Spath zeigt den Blickwinkel der Mitarbeiter auf: *»Unsere Produktionsmitarbeiter werden in der Anzahl eher weniger und fordern neue Rahmenbedingungen. Sie wollen Privatleben und Einsatzzeit im Unternehmen zur Deckung bringen und dazu einen attraktiven Arbeitsplatz haben.«*

### 8.3 Flexibilisierungsinstrumente von heute ermöglichen schnelle Reaktionen, reichen aber für die Zukunft nicht aus

Um die heute existierenden Marktschwankungen und die Anforderungen der Mitarbeiter zu kompensieren, setzen die meisten Unternehmen verschiedene Flexibilisierungsinstrumente ein. Dr. Kurz erklärt: *»Schon jetzt geben die Tarifverträge Rahmen vor, von denen betrieblich abgewichen werden kann. Aktuell wird aber gar nicht so sehr bei der Arbeitszeit abgewichen, eher durch Leiharbeit und Werkverträge. Leiharbeit ist jetzt eine Form flexiblen Arbeitens. Ich glaube beim Thema Flexibilität stehen die Unternehmen vielfach aber erst am Anfang.«*

Professor Spath geht dazu ins Detail und plädiert für die intelligente Nutzung von Flexibilitätsinstrumenten: *»Die neueren Diskussionen, die wir mit Unternehmen führen zeigen, dass das Thema Leiharbeit nicht beliebig ins Kraut schießen darf. Sonst entsteht dabei zwangsläufig Unsicherheit – und eigentlich auch relativ hohe Kosten – dennoch gewinnen wir nicht wirklich viel Flexibilität. Wir sollten eher einen flexiblen Einsatz der Stammebelegschaft anstreben – zum Beispiel durch flexible Arbeitszeitkonten. Zeitliche Flexibilität gibt es in vielen Ausprägungen. Je nach Lebensphase der Mitarbeiter werden hier unterschiedliche Konzepte attraktiv sein.«*

### Information

»Leiharbeit« (auch »Zeitarbeit« oder »Arbeitnehmerüberlassung«) gehört neben Arbeitszeitkonten zu den verbreitetsten »Personal-Flexibilisierungsinstrumenten«. Die Idee der Leiharbeit kommt aus den USA, in Milwaukee entstand bereits 1948 mit der Firma Manpower Inc. das erste Leiharbeitsunternehmen. In Deutschland wurde Leiharbeit 1972 gesetzlich geregelt. Die flexible Arbeitsform der Leiharbeit beruht auf dem Prinzip, dass Mitarbeiter bei einem Verleihunternehmen angestellt sind, ihre Arbeitsleistung aber bei einem anderen Unternehmen, dem Entleiher, erbringen. Damit kann die Personalkapazität beim Entleiher schnell und flexibel an den aktuellen Bedarf angepasst werden. Die Zahl der Leiharbeiter hat sich in Deutschland in den letzten zehn Jahren verdreifacht. Im Juni 2012 waren deutschlandweit mehr als 900.000 Personen als Leiharbeitnehmer tätig, was ca. 3 % der sozialversicherungspflichtigen Arbeitsverhältnisse entspricht. Leiharbeit wird heute häufig als prekäres Arbeitsverhältnis bezeichnet. Dies wird begründet mit den im Vergleich zu Festanstellungen kurzen Beschäftigungsdauern, dem damit verbundenen erhöhten Risiko eines Arbeitsplatzverlustes und den unterdurchschnittlichen Arbeitsentgelten in der Zeitarbeit.<sup>41</sup>

### Information

»Arbeitszeitkonten« verbreiteten sich in Deutschland Mitte der 1980er Jahre. Durch die schrittweise Einführung der 35 Stunden-Woche wurden starre Arbeitszeitregelungen abgelöst und individuelle Arbeitszeiten erforderlich. Die Flexi I- und Flexi II-Gesetze sicherten Arbeitszeitkonten dann sozialrechtlich ab. So wurde es möglich, dass auf individuellen Arbeitszeitkonten die Abweichungen der tatsächlich geleisteten Arbeitszeit von der vereinbarten Regelarbeitszeit erfasst, saldiert und in einem festgelegten Zeitrahmen wieder ausgeglichen werden. Arbeitszeitkonten bieten den Vorteil, Marktvolatilität abzufangen und helfen, die individuellen Zeitpräferenzen der Arbeitnehmer abzubilden. 70 % aller Produktionsarbeiter in Deutschland hatten in 2012 ein Arbeitszeitkonto, meist mit geringen Kontengrenzen von wenigen Duzend Stunden zum Ausgleich kurzfristiger Schwankungen. Zur Bewältigung konjunktureller Volatilität wird heute ein Puffer von mehreren Hundert Stunden empfohlen.<sup>42</sup>

41 Vgl. (Bundesagentur für Arbeit; 2013).

42 Vgl. (IFO; 2012).

Flexible Arbeitszeiten sind bereits heute weit verbreitet. Sechs von zehn Unternehmen aller Größenklassen geben an, dass die Arbeitszeit ihrer Mitarbeiter heute mindestens einmal pro Woche mehr als 30 Minuten von der Normalarbeitszeit abweicht, wie Abbildung 28 zeigt. Besonders Unternehmen mit starken Absatzschwankungen machen von flexiblen Arbeitszeiten regelmäßig Gebrauch. Hier arbeiten mehr als 82 % wöchentlich mindestens einmal um eine halbe Stunde verlängert oder verkürzt. Demgegenüber sind es nur 50 % bei Unternehmen aus der Automobilindustrie und bei Unternehmen, die heute keine starken Marktschwankungen haben.

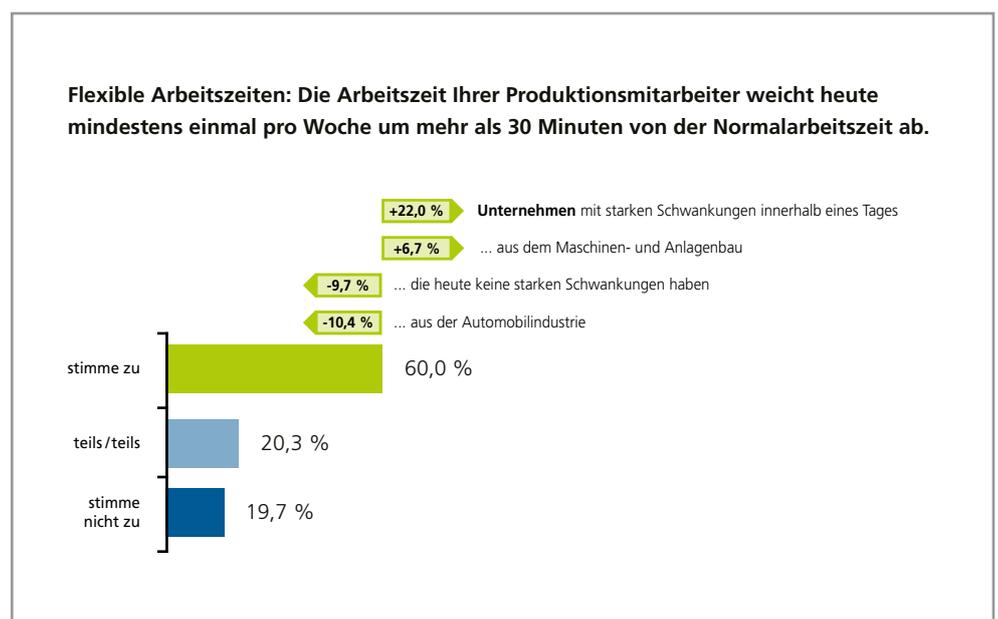


Abbildung 28: Flexible Arbeitszeiten haben sich in der Produktion weitgehend etabliert

Neben der zeitlichen Personalflexibilität sind für Unternehmen auch die inhaltliche und räumliche Flexibilität Stellhebel, um sich in schwankenden Absatzmärkten erfolgreich aufzustellen. Mitarbeiter von einer Arbeitsgruppe bedarfsweise in eine andere Arbeitsgruppe zu verleihen, erfordert eine breite Qualifizierung der Mitarbeiter. Die Verleihung ist jedoch ein Instrument, um schnell flexible Kapazität aus der Stammebelegschaft heraus zu generieren. Trotzdem setzen 43,7 % der Unternehmen die Verleihung von Produktionsarbeitern nur selten ein, wie Abbildung 29 zeigt. Nicht einmal drei von zehn der befragten Unternehmen (28,1 %) nutzen das Instrument häufig. Erstaunlicherweise erhöht sich diese Quote in der Gruppe der kurzfristig innerhalb eines Tages stark schwankenden Unternehmen nur leicht auf 38,8 %.

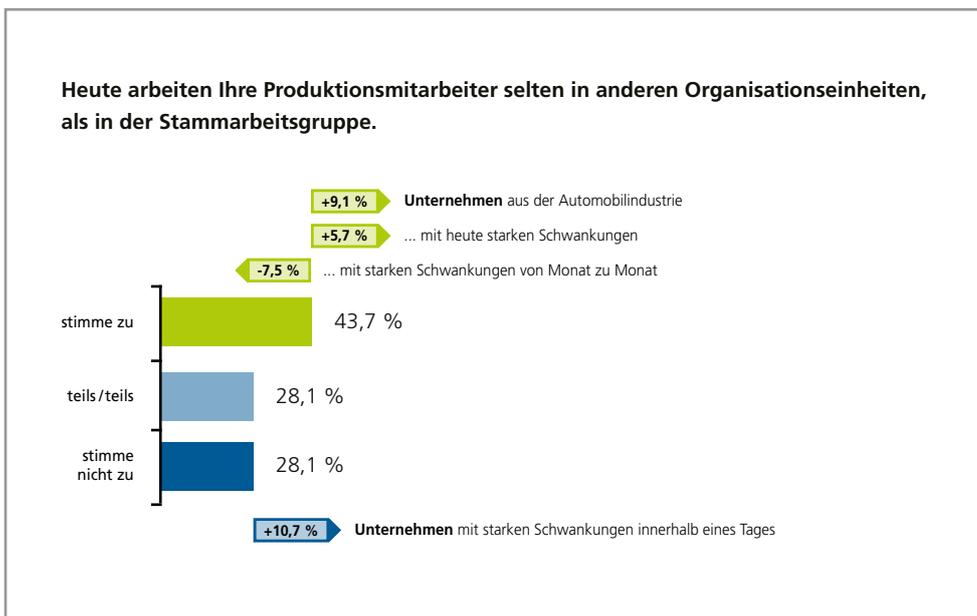


Abbildung 29: Die Verleihung von Produktionsarbeitern wird heute selten als Flexibilitätsinstrument eingesetzt

Herr Respondek-Osterloff sieht in der räumlichen Flexibilität die Chancen nicht ohne gewisse Hindernisse. »Wir spielen jetzt mit dem Gedanken, Mitarbeiter über verschiedene Standorte einzusetzen. Das hat sich aber bisher als sehr schwierig gezeigt, selbst innerhalb der Werke in Ostwestfalen. Die Mitarbeiter wollen das teilweise nicht. Deutlich zu erkennen ist aber der Trend hin zu größeren Arbeitsinhalten – über U-Linien und mehr Job-Rotation.« Auch Professor Spath ist der Meinung, dass räumlich flexibles Arbeiten zukünftig zunimmt. »Die lebensphasenbezogene Einstellung zur Arbeit, Vertraglichkeit und die damit zusammenhängende Einsatzflexibilität ist ein wichtiger Faktor. Ich bin davon überzeugt, dass in den nächsten Jahren in den höher qualifizierten Bereichen die feste Arbeit eher abnehmen wird. Man wird sich daran gewöhnen, dass man mehr verdienen kann als flexibler Freelancer. Dort spricht man ja nicht von Leiharbeitern, obwohl es am Ende solche sind«, ergänzt der Institutsleiter.

Auch dank der verfügbaren Instrumente zur Flexibilisierung der Produktionsarbeitskapazitäten ist fast jedes zweite Unternehmen (49,8 %) mit den bestehenden Regelungen zum flexiblen Mitarbeiterinsatz zufrieden, wie Abbildung 30 zeigt. Lediglich jedes fünfte Unternehmen (19,1 %) kann mit seinen Regelungen die heutigen Schwankungen nicht abdecken. Die genauere Analyse der Gruppe der Unzufriedenen zeigt, dass mit der Qualität der bestehenden Regelungen insbesondere die Unternehmen mit starken kurzfristigen Absatzschwankungen von Tag zu Tag unzufrieden sind. In dieser Gruppe sind bereits 27,3 % unzufrieden und lediglich 35,7 % mit den bestehenden Regelungen zufrieden.

Bezogen auf die Zeitraster der heutigen Absatzschwankungen zeigt sich wiederum, dass Unternehmen mit sehr kurzfristigen starken Schwankungen innerhalb eines Tages eher zufrieden mit ihren heutigen Regelungen beim flexiblen Personaleinsatz sind (54 %), als Unternehmen mit Schwankungen von Tag zu Tag (35,7 %). Dies deutet darauf hin, dass Unternehmen mit sehr kurzfristigen Schwankungsanforderungen heute schon besondere Lösungen gefunden haben und Unternehmen ohne diese Anforderungen noch nicht ausreichend schnell auf ihre Absatzschwankungen reagieren können.

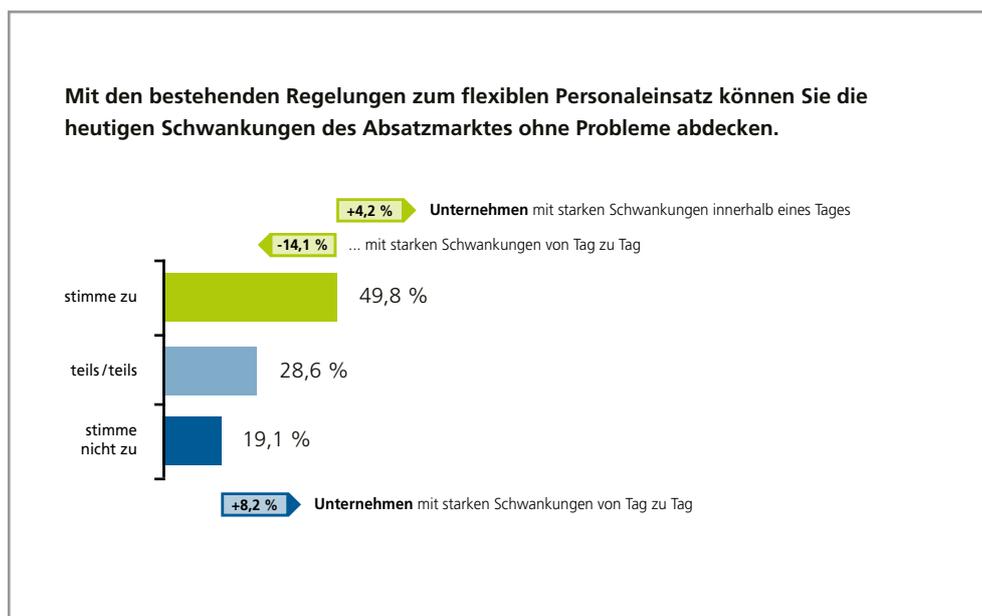


Abbildung 30: Knapp die Hälfte der Unternehmen sind flexibel genug, um heutige Marktschwankungen zu kompensieren

In Verbindung mit der beschriebenen Zunahme der kurzfristigen Flexibilitätsanforderungen wird auch klar, dass die Unternehmen in Zukunft erheblichen Bedarf zur Ausweitung der Regelungen beim flexiblen Mitarbeiterereinsatz sehen. Unabhängig von der Unternehmensgröße oder der Branche gibt ein Anteil von 72,1 % der Unternehmen an, die Regelungen in fünf Jahren ausweiten zu müssen, um den Schwankungen des Absatzmarktes noch folgen zu können, wie Abbildung 31 veranschaulicht. Besonderer Bedarf zur Ausweitung besteht bei Betrieben, die bereits heute mit starken Absatzschwankungen konfrontiert sind (79 %), bei Unternehmen mit heute starken kurzfristigen Schwankungen innerhalb eines Tages (80 %), in der Automobilindustrie (84,7 %) und bei Unternehmen, die bereits heute bestehenden Regelungen unzufrieden sind (92 %). Der Ausweitungsbedarf hängt stark mit der Schwankungsintensität zusammen. So planen nicht einmal 20 % der Unternehmen, die heute nur schwach von Schwankungen betroffen sind, ihre Regelungen zukünftig auszuweiten.

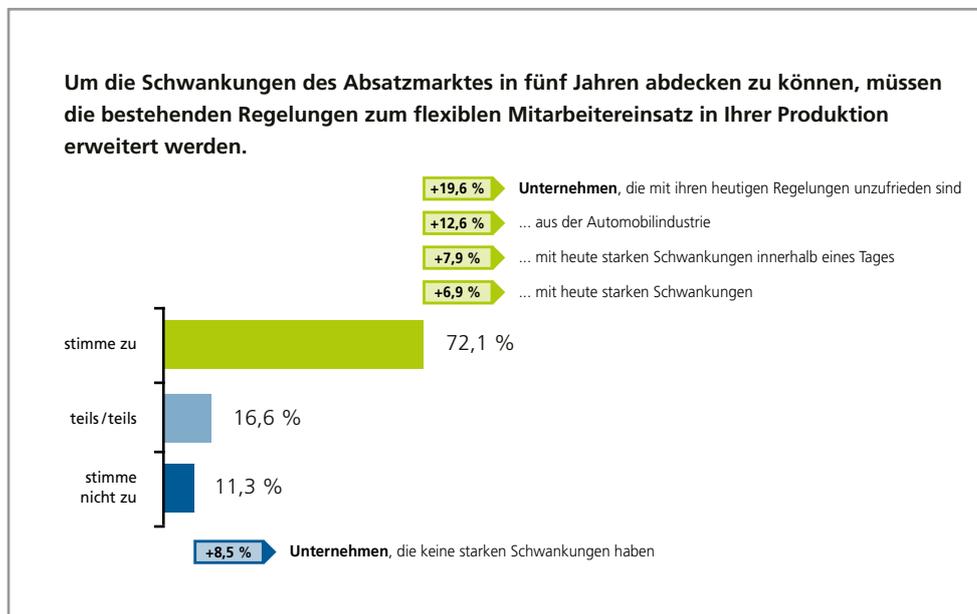


Abbildung 31: Die Regelungen zum flexiblen Personaleinsatz müssen zukünftig ausgeweitet werden

Die eindeutige Entwicklung hin zu kurzfristigeren Schwankungen der Absatzmärkte und der große Bedarf der Unternehmen zur Ausweitung von Flexibilitätsregelungen beim Mitarbeiterereinsatz zeigt die Relevanz der Personalflexibilität für die Produktionsarbeit der Zukunft. Flexibilität wird zum Schlüsselfaktor für den nachhaltigen Geschäftserfolg der mitarbeiterintensiven Produktionsbranche. Dr. Wittenstein fasst zusammen: »*Entscheidungen in solch einem volatilen Umfeld werden kurzfristiger sein. Das heißt, wir müssen uns schneller*



*anpassen können.« Professor Spath zeigt auf: »Für die Zukunft ist schon eine neue Qualität von Flexibilität gemeint. Über Flexibilität reden wir ja schon seit 50 Jahren. Wir sind zukünftig aber auf einem ganz neuen Niveau. Neue Formen der Einsatzflexibilität werden erforderlich.«*

#### 8.4 Flexibilität für die Produktionsarbeit der Zukunft muss noch kurzfristiger sein

Durch die Vernetzung von Cyber-Physischen Systemen wird in der Industrie 4.0 die Echtzeitabbildung der Abläufe und Prozesse in der Fabrik möglich. Dies hat starken Einfluss auf die Flexibilität der Mitarbeiter auf dem Shopfloor, wie Dr. Holfelder ausführte. *»Ein großer Teil der starren Planungsprozesse wird aufgeweicht werden. Es wird zukünftig alles spontaner, ad-hocer. Auch der Personaleinsatz kann dann adaptiv in Echtzeit erfolgen. Und das hat auch durchaus Vorteile für die Mitarbeiter, weil weniger Leerlaufzeiten anfallen. Die Leerlaufzeiten werden dann besser nutzbar. Damit weichen die festen Arbeitszeitstrukturen auf.«* Die Reaktionsfähigkeit des Mitarbeiterereinsatzes in der Produktion von heute, mit ihren Wochen oder gar Monaten an erforderlichen Vorlaufzeiten, wird sich voraussichtlich stark verbessern müssen. Erst damit werden die Möglichkeiten nutzbar, welche durch Echtzeitinformationen aus der Fabrik 4.0 entstehen. Doch wie viel Flexibilität benötigt ein Unternehmen dann, um zukünftig erfolgreich zu sein? *»Ich glaube, dass die einzelnen Flexibilitätsanforderungen in den Unternehmen extrem unterschiedlich sind. Auch in den Dimensionen räumlich, zeitlich und inhaltlich variieren die Anforderungen extrem. Die Frage der sinnvollen Kombination von Flexibilitätsdimensionen ist somit hochrelevant«*, erklärt Dr. Kurz. *»Es geht darum, die Bausteine für die erforderliche Personalflexibilität unternehmensspezifisch und systematisch auszurichten. Die heute vielfach beobachtete Pauschalflexibilität reicht in Zukunft nicht mehr aus«*, so Professor Spath.

Schnellere und kurzfristiger auftretende Absatzschwankungen erfordern zukünftig mehr Flexibilität in der Produktionsarbeit. Insbesondere die Möglichkeiten, Produktionsmitarbeiter kurzfristiger einzusetzen, sehen 66,2 % der befragten Unternehmen als Bedarf, wie Abbildung 32 zeigt. Verstärkt tritt dieser Bedarf zum kurzfristigen Einsatz bei großen Unternehmen mit mehr als 1.000 Mitarbeitern (82,9 %), bei Unternehmen aus der Automobilbranche (77,8 %) und bei Unternehmen mit starken kurzfristigen Schwankungen von Tag zu Tag (76,8 %) auf. Ganz besonders hohen Bedarf sehen die Unternehmen, deren Regelungen zum flexiblen Personaleinsatz heute nicht ausreichen, um die Schwankungen des Absatzmarktes abzudecken (88,7 %).

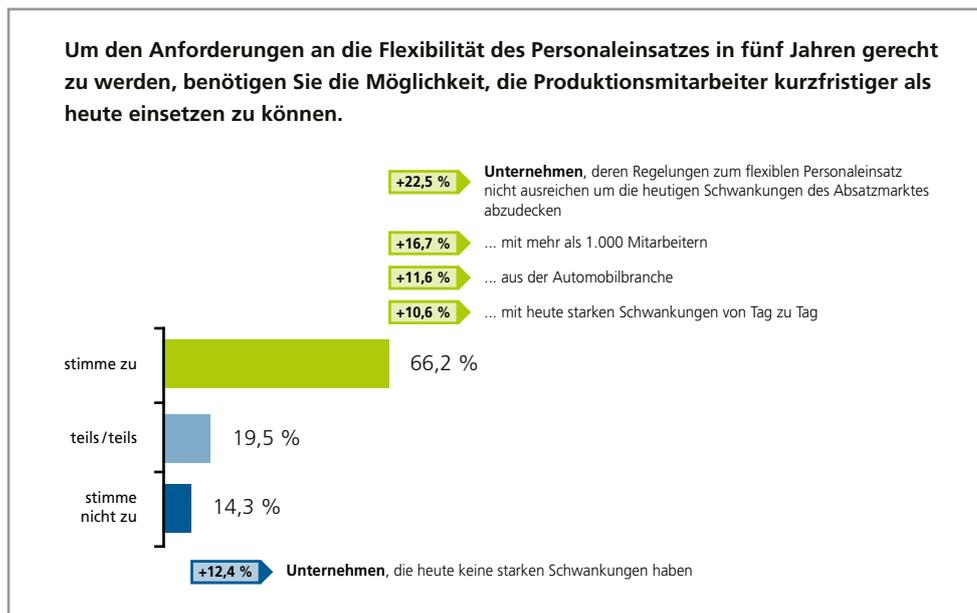


Abbildung 32: Zukünftig müssen Mitarbeiter noch kurzfristiger eingesetzt werden können

Um diese kurzfristige Flexibilität bereitzustellen, wird auch der verstärkte Einsatz von Personal-Flexibilisierungsinstrumenten erforderlich. Mehr als 73 % der Unternehmen geben an, dass es in fünf Jahren häufig nötig sein wird, ihre Produktionsmitarbeiter bedarfsweise in anderen Organisationseinheiten als der Stammarbeitsgruppe einzusetzen. Im Gegensatz dazu nutzen heute gerade mal 28 % der Firmen dieses Instrument häufig. Bei Unternehmen mit starken Absatzschwankungen von Tag zu Tag schätzen dies zukünftig sogar 84,5 % als notwendig ein (heute gerade einmal 38,8 %). Dass Flexibilitätsanforderungen von den unternehmensindividuellen Schwankungsanforderungen abhängen, zeigt auch der Blick auf die andere Seite. So sieht eine Mehrheit von 60,6 % der Unternehmen mit aktuell schwachen Absatzschwankungen keinen Bedarf an einer verstärkten Verleihung von Mitarbeitern; entgegen einem Anteil von 11,1 % bei den befragten Gesamtunternehmen, wie Abbildung 33 zeigt.

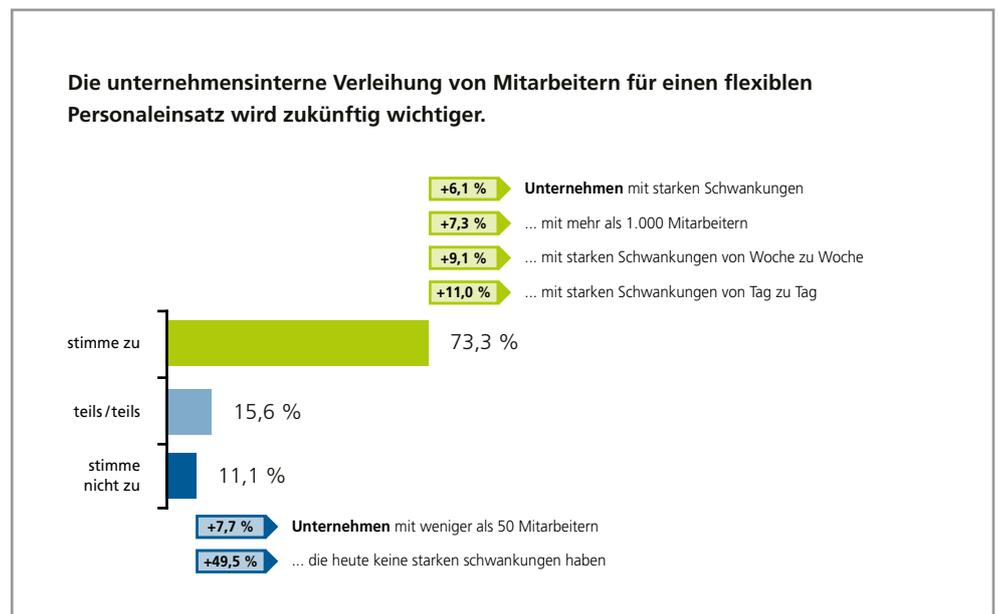


Abbildung 33: Verleihung von Mitarbeiter wird zukünftig wichtiger

Professor Spath sieht zukünftig gute Chancen durch eine erhöhte Flexibilität. *»Ich denke, wir werden die höchsten Flexibilitätsgewinne zuerst dort haben, wo wir viele Menschen im Einsatz haben, weil diese in der Lage sein werden, das alles schneller umzusetzen, als wir in den Fertigungen investieren können.* Das heißt, wir fangen in der Montage an.« Dass Flexibilität zum Erfolgsrezept werden kann, zeigt auch das Beispiel des Flughafens Stuttgart.



## 8.5 Best Practice Beispiel Flughafen Stuttgart: Personalflexibilität bringt Vorteile für Unternehmen und Mitarbeiter

Die Steuerung des Flughafens in Stuttgart orientiert sich am Flugplan. Sommer- und Winterflugplan unterscheiden sich in puncto Flugaufkommen im Durchschnitt um rund 40 % und damit auch beim benötigten Personaleinsatz des Bodenverkehrsdienstes. »Wir haben im Sommer zirka eine Millionen Passagiere in den verkehrsreichsten Monaten und im Winter vielleicht 600.000 je Monat«, so der Geschäftsführer des Flughafens Stuttgart, Professor Georg Fundel. Darüber hinaus gibt es – unabhängig von der Jahreszeit – starke Auslastungsunterschiede zwischen den Wochentagen, als auch Unterschiede innerhalb eines Tages. **»Unter der Woche haben wir zirka 400 Flugbewegungen, also Starts oder Landungen pro Tag, am Wochenende rund 250. Am Tagesrand kommen wir in der Stunde auf über 40 Flugbewegungen. Wir haben aber auch Stunden mit nur zehn Flugbewegungen«**, so der Flughafenmanager.

Gearbeitet wird am Flughafen Stuttgart an 365 Tagen im Jahr, rund um die Uhr – aber mit stark unterschiedlicher Last. Im Bodenverkehrsdienst, also dort, wo Busse bereitgestellt werden, um Passagiere zum Flugzeug zu fahren oder Gepäck verladen wird, arbeiten heute rund 200 Mitarbeiter. Um die Mitarbeiter effizient einzusetzen, wurde ein ausgeklügeltes System mit einer Vielzahl an Maßnahmen entwickelt. Professor Fundel erklärt: **»Wir leben beispielsweise das Arbeitszeitkonto. Als in der Weltwirtschaftskrise unsere Produktion um 30 % eingebrochen ist, haben wir alle Konten ins Minus gefahren.** Das geht bei uns, weil wir wissen, dass im Sommer durch den Sommerflugplan wieder mehr Beschäftigung kommt.« Auch das Flexibilisierungsinstrument der Verleihung kommt am Flughafen Stuttgart zum Tragen. »Wenn wir im Winter weniger zu tun haben, freuen sich die Mitarbeiter, ihr Wissen im Unternehmen an anderer Stelle einbringen zu können. Das ist heute auch ein willkommener Ausgleich zum Kofferladen. Es gibt Mitarbeiter, die in der Wache arbeiten und dann verschiedene Kontrolltätigkeiten übernehmen, andere verteilen Prospekte im Terminal oder übernehmen Informations- und Auskunftsfunktionen. Das war früher undenkbar«, erinnert sich Professor Fundel.

An den Vorteilen, die dieser flexible Personaleinsatz für das Unternehmen generiert, werden die Mitarbeiter des Flughafens durch eine Prämie beteiligt. Professor Fundel erläutert: »Die Prämie orientiert sich an der Produktivität der Mitarbeiter. **Es wurde den Mitarbeitern klar, dass man sich als guter Flughafenbeschäftigter nicht dadurch auszeichnet, dass man nie krank ist und immer da ist, sondern dadurch, dass man dann arbeitet, wenn man gebraucht wird. Für die Prämie brauchten wir ein nachvollziehbares Prämiensystem,**

*bei dem wir objektiv die Produktivität messen und den dadurch entstandenen Mehrwert teilen. 20 % des Mehrwerts bekommt der Mitarbeiter, 80 % die Firma, das ist die Spielregel.«*

Die Flexibilität der Mitarbeiter ist für den Flughafen Stuttgart ein wichtiger Stellhebel für die nachhaltige Wettbewerbsfähigkeit geworden. Das bringt Vorteile fürs Unternehmen und für die Mitarbeiter. *»Im Jahr 2004 haben wir angefangen, inzwischen haben wir eine Produktion, in der die Mitarbeiter Spaß haben. Die Produktivität stieg im ersten Jahr immens.* Die Belohnung muss aber auch bei hoher Produktivität weitergehen. Erst dann wird das System auch langfristig akzeptiert. Früher bezahlten wir pro Jahr fast eine Million Euro für Überstunden und Überstundenzuschläge. Heute zahlen wir Überstunden nicht aus, sondern bauen sie in Leerlaufzeiten wieder ab. *Heute sind wir produktiver und das bedeutet: sichere Arbeitsplätze für die Mitarbeiter«*, freut sich der Flughafenmanager.

## 8.6 Hohe Flexibilität verursacht Steuerungsaufwand, dieser sinkt durch die direkte Beteiligung der Produktionsarbeiter

Der Aufwand zur Steuerung des flexiblen Einsatzes von Personalkapazitäten ist heute in den befragten Produktionsunternehmen sehr unterschiedlich, wie Abbildung 34 darstellt. Ein Drittel der Unternehmen (33,7 %) gibt an, heute einen zu hohen Aufwand zu haben. Besonders häufig entsteht ein zu hoher Aufwand bei Unternehmen mit starken (42,4 %) oder kurzfristigen Schwankungen innerhalb eines Tages (52 %). Auch die Unternehmensgröße hat Einfluss auf den Steuerungsaufwand. Von den kleinen Unternehmen gibt lediglich ein Viertel an, einen zu hohen Aufwand zu haben, von den mittleren jedes dritte (32,5 %), während fast jedes zweite größere Unternehmen (47,9 %) heute zu großen Aufwand sieht. Aus der Gruppe derer, die mit ihren heutigen Regelungen zum flexiblen Personaleinsatz unzufrieden sind, reklamiert mehr als jedes zweite Unternehmen (56,8 %) den zu hohen Steuerungsaufwand.

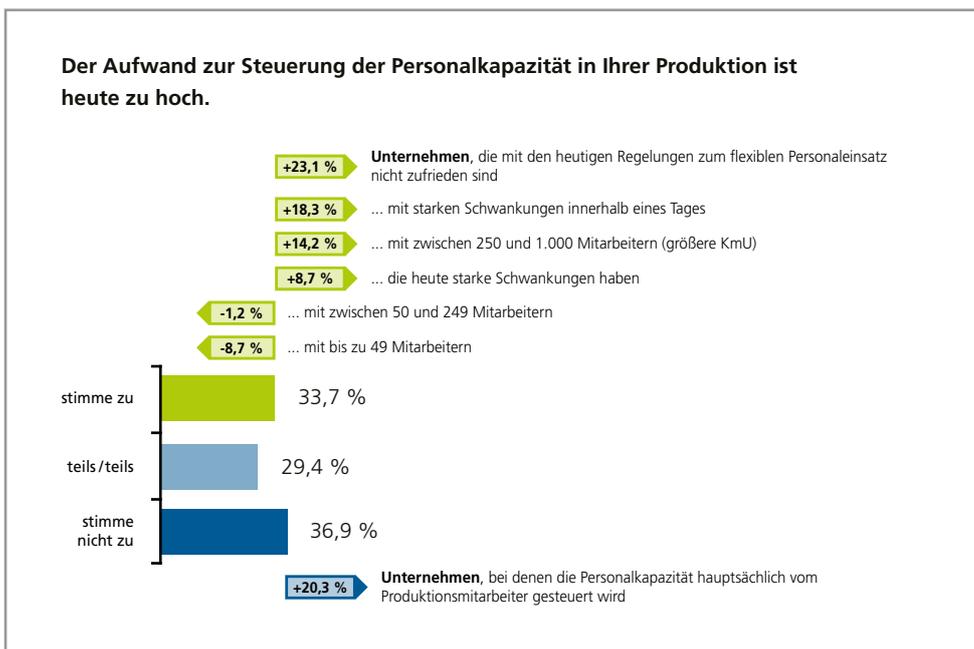


Abbildung 34: Der Aufwand zur Steuerung der Personalkapazität ist bereits heute in vielen Unternehmen zu hoch

Der Aufwand, Mitarbeiter flexibel einzusetzen, wird drastisch reduziert, wenn die Mitarbeiter selbst die Steuerung übernehmen. Dies ist heute selten der Fall und kommt nur bei einem von fünf Unternehmen vor (21,4 %). Welchen Effekt die Selbststeuerung hat, zeigt sich daran, dass aus der Gruppe der Unternehmen, welche die Steuerung an ihre Mitarbeiter abgeben, ein überproportional großer Anteil von 57,2 % keinen hohen Steuerungsaufwand hat – im Vergleich zu 36,9 % der Gesamtunternehmen. Herr Glatz überträgt dafür neue Möglichkeiten der Selbstorganisation auf die Produktionsarbeit: »*Heute organisieren sich die Jüngeren im privaten Umfeld schon über Soziale Netzwerke. Das Management versteht es noch nicht. Aber es funktioniert. Das gilt auch für andere neue Arbeitsformen und -prinzipien, ob nun Open Source oder agile Softwareentwicklung. Da gilt es zu überlegen, was das für eine Relevanz im produzierenden Umfeld hat.*«

## 8.7 Qualifikation ist ein Schlüssel für die flexible Produktionsarbeit der Zukunft

Die kurzfristigere Einsatzflexibilität von Produktionsmitarbeitern erfordert nicht nur die systematischere Dimensionierung und Nutzung von Flexibilitätsinstrumenten durch die Unternehmen, sondern fordert auch zusätzliche Qualifikationen von den Mitarbeitern. Mehr als acht von zehn Unternehmen geben an, ihre Mitarbeiter zusätzlich qualifizieren zu müssen, um den Anforderungen an die Flexibilität in fünf Jahren gerecht zu werden. Unternehmen, die heute bereits starke Absatzschwankungen haben, sehen diesen Qualifikationsbedarf verstärkt. Hier geben 80 % Qualifikationsbedarf an, was zeigt, dass Mitarbeiter zukünftig für kurzfristigere, weniger planbare Einsätze geschult werden müssen, wie Abbildung 35 zeigt. Professor Reinhart ergänzt: »*Die Flexibilität muss von den Mitarbeitern vertikaler genutzt werden. Mit den entsprechend aufbereiteten und ausreichenden Informationen kann ein Mitarbeiter zukünftig viele verschiedene Aufgaben durchführen. Hierfür sollten die technischen Möglichkeiten so angepasst werden, dass der Mensch auch ohne spezielle Ausbildung die gewünschte Aufgabe kompetent durchführen kann.*«

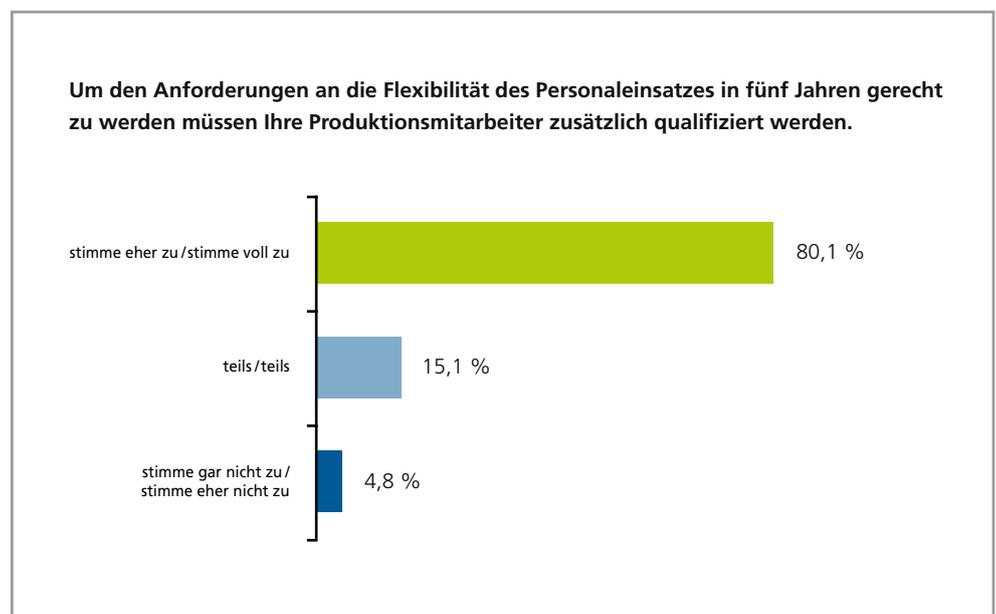


Abbildung 35: Flexible Produktionsarbeit erfordert Qualifizierung



In volatilen Märkten mit wechselnden Zeiten hoher und geringer Auslastung wird es zukünftig möglich sein, Leerlaufzeiten noch besser für die Qualifizierung der Mitarbeiter zu nutzen. So meint Professor Spath: *»Ich denke, dass Qualifizierung insbesondere in schlechten Auslastungszeiten eine ganz wichtige Option ist. Denken Sie an Weiterbildung in der Kurzarbeitszeit. Wir haben feststellen müssen, dass in der letzten Krise ab 2008 die wenigsten Unternehmen die Weiterbildungschancen wirklich nutzten, weil sie nicht darauf eingerichtet waren. Wir müssen etwas tun, um besser auf solche Situationen vorbereitet zu sein und die Weiterbildung in Leerlaufzeiten zu legen.«*

## 8.8 Erhöhte Flexibilität verursacht Kosten und erfordert verstärkte Kompensation

Unternehmen haben unterschiedliche Möglichkeiten Flexibilität zu generieren. Zum einen durch das Vorhalten überzähliger Ressourcen und Mitarbeiter, zum anderen durch eine Flexibilisierung der Ressourcen und Mitarbeiter. Beide Optionen sind mit Kosten verbunden, die bewertet werden müssen. Denn Flexibilität stellt für Unternehmen zunächst erst einmal ein Potenzial dar, welches für zukünftige Bedarfsfälle genutzt werden kann. Flexibilität wird es auch in Zukunft nicht zum Nulltarif geben. *»Wir müssen schon davon ausgehen, dass wir die erhöhten Flexibilitäten irgendwie bezahlen müssen«,* so Professor Spath. *»Wenn für die Mitarbeiter erkennbar ist, dass Flexibilität auch für sie hilfreich ist, dann wird es für alle Vorteile haben. Zum einen über sichere Beschäftigung und zum anderen über den Effekt, dass die Mitarbeiter teilweise sogar mehr verdienen«,* führt Professor Spath weiter aus. Dr. Kurz fügt hinzu: *»Geld ist eine Möglichkeit zur Kompensation von Flexibilität.* Das Vernutzungsproblem wird dadurch aber nicht außer Kraft gesetzt. Bei den Befragungen, die wir aktuell durchführen, zeigt sich, dass *aus Beschäftigtensicht auch Weiterbildung einen enorm hohen Stellenwert hat.* Das kontrastiert ziemlich mit der heutigen Maßnahmen- und Fördersituation. Aber *je näher sie an die mittleren bis unteren Qualifikationsstufen kommen, desto eher wollen die Mitarbeiter einen klaren Schnitt von Arbeit und Nicht-Arbeit.*« Das bedeutet, dass die flexiblen Einsätze auch einen Ausgleich finden müssen, der individuell ausgeprägt sein kann. Professor Spath sieht dazu folgende Möglichkeiten: *»Das heißt erstens, es muss den Mitarbeitern eine Chance gegeben werden, untereinander koordinativ und kooperativ Ausgleich zu finden. Darüber hinaus müssen wir einen wirtschaftlichen Ausgleich finden. Das ist bei den einen – meist Jüngeren – eher in Geld, bei den anderen eher in Zeit zu sehen.* Auch solche Flexibilitätsanforderungen abzudecken, ist wichtig.«

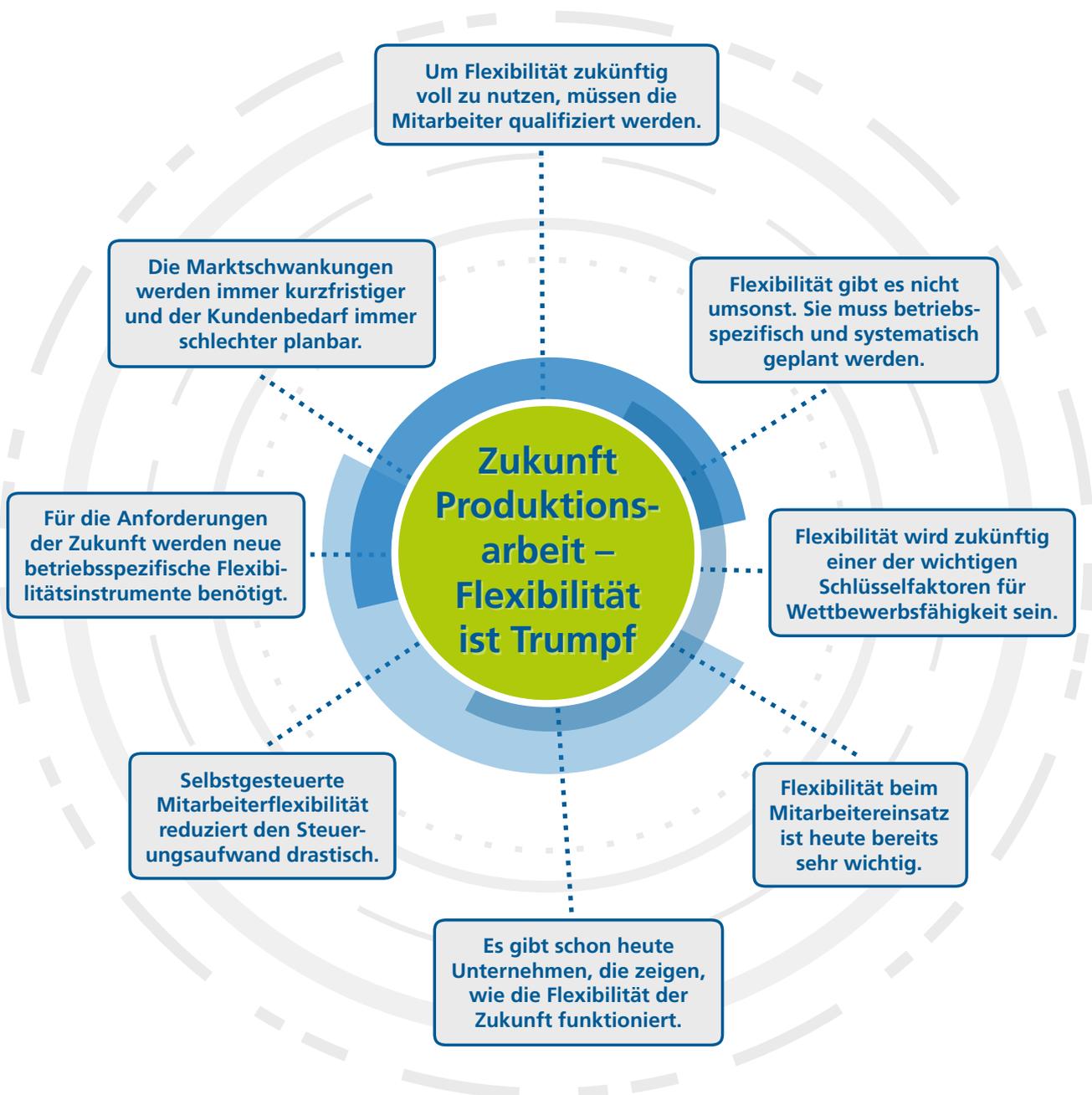
## 8.9 Die gesellschaftliche Stellung flexibler Produktionsarbeit muss positiv gestaltet werden

Der gesellschaftliche Stellenwert flexibler Arbeit ist heute sehr unterschiedlich. Dies zeigt einerseits der Blick auf die heutige Produktionsarbeit mit zunehmenden Arbeitsformen wie Leiharbeit und Werkverträgen. Auf der anderen Seite erhält in der Wissensarbeit das flexible Arbeiten mit Freelancern und Projekteinsätzen einen positiven Charakter. Für die Zukunft heißt das: »**Welchen gesellschaftlichen Stellenwert flexible Arbeit in Zukunft haben wird, hängt in ganz entscheidendem Maß davon ab, ob dadurch Sicherheit oder Unsicherheit entsteht.**« Mit zunehmendem Alter wollen also auch die, die in ihren jungen Jahren mit ihrer flexiblen Arbeit noch gut Geld verdienen irgendwann in einen sicheren Hafen kommen. Diese Balance werden wir in der Gesellschaft neu diskutieren müssen«, so Professor Spath. Und Dr. Wittenstein fasst zusammen: »Das Sicherheitsbedürfnis in dieser volatilen Zeit wird größer sein.« Bereits zum Ende des letzten Jahrtausends entwickelte der niederländische Soziologe Hans Adriaansens in diesem Zusammenhang den Begriff »Flexicurity«, der sich aus den englischen Worten für Flexibilität (flexibility) und Sicherheit (security) zusammensetzt. Flexicurity symbolisiert seitdem den Ausgleich der Interessen von Mitarbeitern und Unternehmen.<sup>43</sup> Für die Zukunft glaubt Dr. Kurz: »Es wird wichtig sein, bei den unterschiedlichen Formen der Beschäftigung zu integrieren, da sie ja auch unterschiedliche Privilegien in Bezug auf Sicherheit haben.«

Neben sicheren Beschäftigungsverhältnissen spielt auch die Zugehörigkeit zu einem Unternehmen, zu einer Fabrik und zu einem Arbeitsteam eine große Rolle für die flexible Produktionsarbeit der Zukunft. Ganz praktisch zeigt Dr. Kurz auf: »Ich sehe auch, dass man es sich lebensphasenabhängig durchaus vorstellen kann, zwischen Unternehmen und verschiedenen Tätigkeiten hin und herzuwechseln.« Herr Respondek-Osterloff schränkt diese Form der Flexibilität ein: »Dann arbeite ich vielleicht für viele Firmen. Zu wem gehöre ich dann? Ich glaube, da gehört eine bestimmte Mentalität dazu und ich kann mir schwer vorstellen, ob das für alle so gut ist. Wir Menschen brauchen eine Zugehörigkeit.« Professor Spath skizziert die Anforderungen an die Zugehörigkeit in flexiblen Arbeitsformen so: »**Ich meine, dass es auch weiterhin wichtig sein wird, dass Menschen eine gewisse Identifikation mit ihrem Job und den Menschen, mit denen sie zusammenarbeiten, haben. Ein Zugehörigkeitsgefühl, in dem ja auch die Anerkennungsmöglichkeit verborgen ist.**« Das ist eines der ganz großen Bedürfnisse, das Menschen auch zukünftig immer haben werden. Trotzdem sehen natürlich die Schnittstellen zwischen den Unternehmen immer offener aus.«

---

43 Vgl. (Eder; 2008).



## 9 Produktionssteuerung 4.0 – schlanker und dezentraler mit Echtzeitdaten

Durch die in Kapitel 1 geschilderten wirtschaftlichen Entwicklungen ist nicht zuletzt die Produktionssteuerung am Hochlohnstandort Deutschland intensiv gefordert.

Als Produktionsstandort besitzt Deutschland die herausragende Stärke, technisch anspruchsvolle und qualitativ hochwertige Produkte herzustellen. Seitens der Unternehmen erfordert dies ein hohes Maß an Dynamik, Wandlungsfähigkeit und Kundenorientierung.<sup>44</sup> Erwartet wird von ihnen ein Spagat zwischen absolutem Qualitätsanspruch, kurzfristiger Lieferfähigkeit und konkurrenzfähigen Preisen. Professor Spath schildert seine Erwartung folgendermaßen: *»Es gilt das magische Dreieck: Kosten, Qualität, Zeit. Der entscheidende Punkt liegt heute auf dem Faktor Zeit. Ich denke, dass wir an Kosten und Qualität nicht nachlassen dürfen. Im Gegenteil, wir müssen besser werden. Und wir müssen das Thema Zeit in den Griff bekommen. Wir sind heute oft nicht liefertreu und in der Lage, den Kunden genau zum richtigen Zeitpunkt zu befriedigen.«* Die Frage ist, wie die Produktionssteuerung diesen Anforderungen in Zukunft am besten gerecht wird.

### 9.1 Die Produktionssteuerung der Zukunft steht vor großen Herausforderungen

Ein Wettbewerbsvorteil entsteht aus der Fähigkeit, schneller und zuverlässiger mit maßgeschneiderten Produkten am Markt zu sein, als dies dem globalen Wettbewerb gelingt. Für die Produktionssteuerung bedeutet dies:

- Die Herstellung von variantenreichen bis hin zu kundenindividuellen Produkten in kleinsten Serien oder gar Einzelfertigung zuverlässig zu terminieren.
- Die hierfür notwendige Komplexität der Produkte, Prozesse und Materialbereitstellung zu beherrschen.
- Eine kurzfristige Lieferfähigkeit sicherzustellen, trotz Marktvolatilität und unzuverlässigen Absatzprognosen.
- Bei aller Turbulenz, Komplexität und Kundenindividualität die Konformität der Produkte und Prozesse zu Normen und Vorschriften zu wahren und deren Einhaltung zu dokumentieren.

---

<sup>44</sup> Vgl. (Gausemeier, Wiendahl; 2010).



Die steigende Bedeutung des Faktors Zeit führt bei der Produktionssteuerung heute permanent zu kurzfristigen Korrekturen der bestehenden Produktionspläne. Dies bestätigt auch die Umfrage. Von den befragten Unternehmen geben 62 % an, heute einen hohen oder sehr hohen Aufwand zur kurzfristigen Steuerung und Koordination ihrer Produktion zu betreiben, wie Abbildung 36 zeigt.

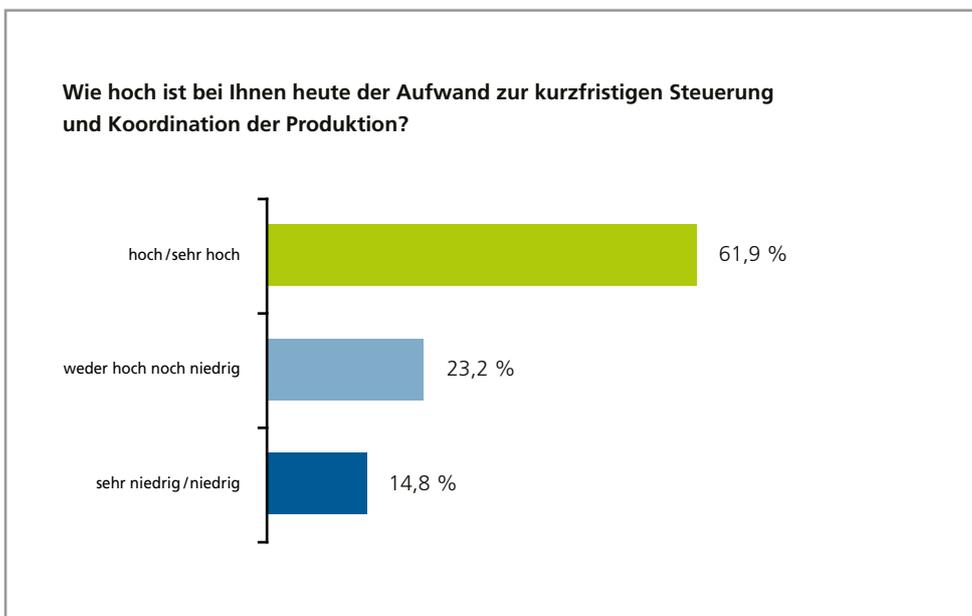


Abbildung 36: Der kurzfristige Steuerungsaufwand in der Produktion ist hoch

In direkter Konsequenz des Faktors Zeit und der kurzfristigen Lieferfähigkeit gelingt es den Unternehmen überwiegend nicht mehr, ihre Produktionskapazitäten über einen längeren Zeitraum konstant auszulasten. Vielmehr müssen die Unternehmen bei der Produktionssteuerung, zumindest im letzten Schritt der Wertschöpfung, der Endmontage, auf kurze und konstante Durchlaufzeiten achten. Die Endmontage erfolgt nach dem Fließprinzip. Die Auftragsreihenfolge wird strikt eingehalten. Der Endmontagestart ist über die konstante Durchlaufzeit fest durch den Liefertermin vorgegeben. Positive Effekte sind eine drastische Reduktion des Work-in-Process sowie absolute Liefertreue. Um dem dynamischen Marktgeschehen trotzdem mit der Produktion folgen zu können, sind ausreichende Kapazitätsreserven und ein flexibler Kapazitätseinsatz erforderlich. Dadurch steigt der Aufwand zur kurzfristigen Steuerung des



Personaleinsatzes. Nur bei etwa einem Drittel der befragten Unternehmen verursacht die Steuerung der Personalkapazität keinen großen Aufwand. Dagegen bezeichnen rund zwei Drittel der Unternehmen ihren Aufwand zur Steuerung der Personalkapazität als zu hoch oder zumindest als zeitweise zu hoch, wie bereits Abbildung 34 auf Seite 85 zeigt.

Eine liefertreue Produktion im Kundentakt gelingt heute somit bestenfalls mit hohem manuellem Aufwand zur kurzfristigen Steuerung der flexiblen Kapazitäten.

Von einer Industrie 4.0 wird nun ein Paradigmenwechsel erwartet – von zentralen Steuerungen hin zu einer flexiblen, dezentralen Koordination von selbststeuernden Abläufen. Cyber-Physische Systeme überwachen Prozesse und sorgen für Transparenz, stellen intelligente Assistenten zur Verfügung und konfigurieren autonome Produktionsanlagen.

## 9.2 Ausblick »Transparenz«

Die Vernetzung von Objekten, Steuerungen und Sensoren mit Anwendern zu einem Internet der Dinge, Daten und Dienste wird eine neue Qualität der Verfügbarkeit von Informationen über die Produktionsabläufe in Echtzeit bringen. Die Datenmodelle werden aktueller und das Produktionsgeschehen insgesamt transparenter. **»Wichtig wird sein, ein wirkliches Abbild der Produktion zu haben. Wir tun heute so, als hätten wir ein Abbild der Produktion und auf dieses unscharfe Ding gehen wir dann deterministisch mit Zehntel-Minuten-Genauigkeit los. Vor dieser Problematik stehen wir heute in der Auftragsabwicklung«**, beschreibt Professor Spath das heutige Dilemma der Produktionsplanung.

Die Umfrage bestätigt diese Einschätzung. Bei den erfragten Problemen einer kurzfristigen Produktionssteuerung wird mit 51 % eine schlechte Qualität der Produktionsdaten am häufigsten genannt, wie Abbildung 37 veranschaulicht. Und Abbildung 38 zeigt, dass immerhin 44 % die mangelnde Aktualität der Produktionsdaten kritisieren.

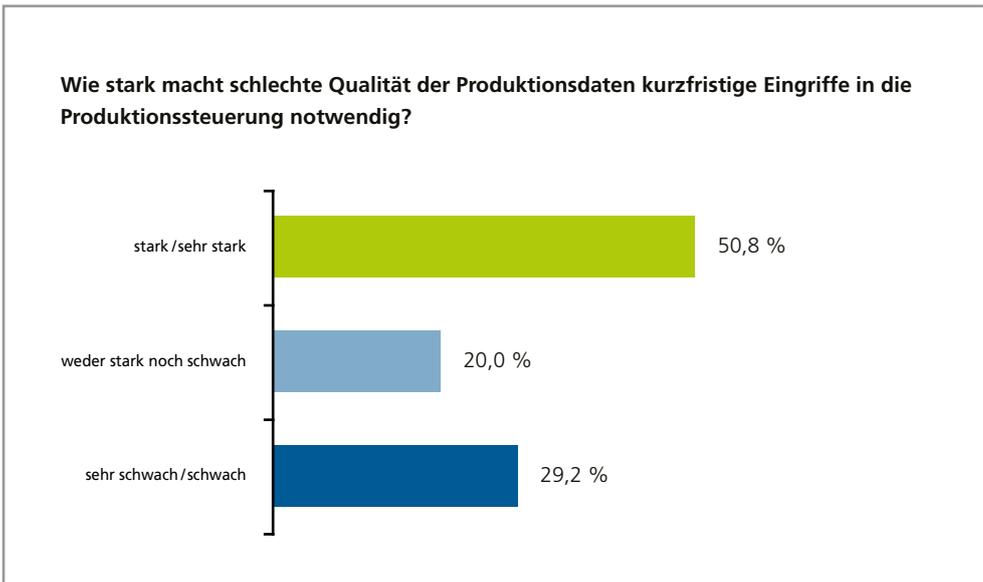


Abbildung 37: Schlechte Qualität der Produktionsdaten ist ein wichtiger Grund für kurzfristige Eingriffe in die Produktionssteuerung

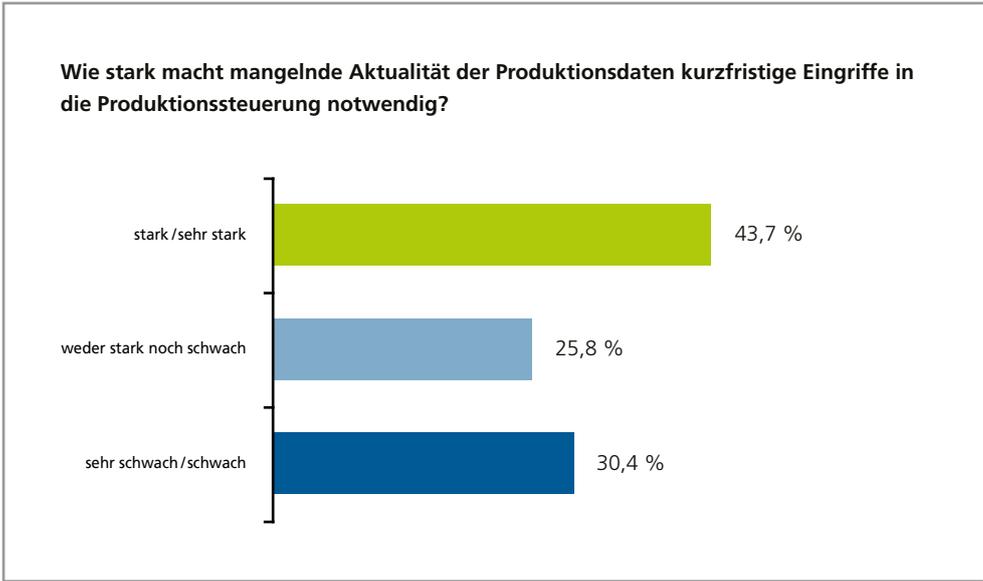


Abbildung 38: Mangelnde Aktualität der Produktionsdaten ist ein weiterer wichtiger Grund für kurzfristige Eingriffe in die Produktionssteuerung

Bei der Frage nach dem Potenzial frühzeitiger Informationen für die kurzfristige Produktionssteuerung sind sich die befragten Unternehmen weitgehend einig, wie Abbildung 39 zeigt. 72 % sehen hier ein hohes Potenzial. Lediglich 12 % können nur einen niedrigen Nutzen erkennen.

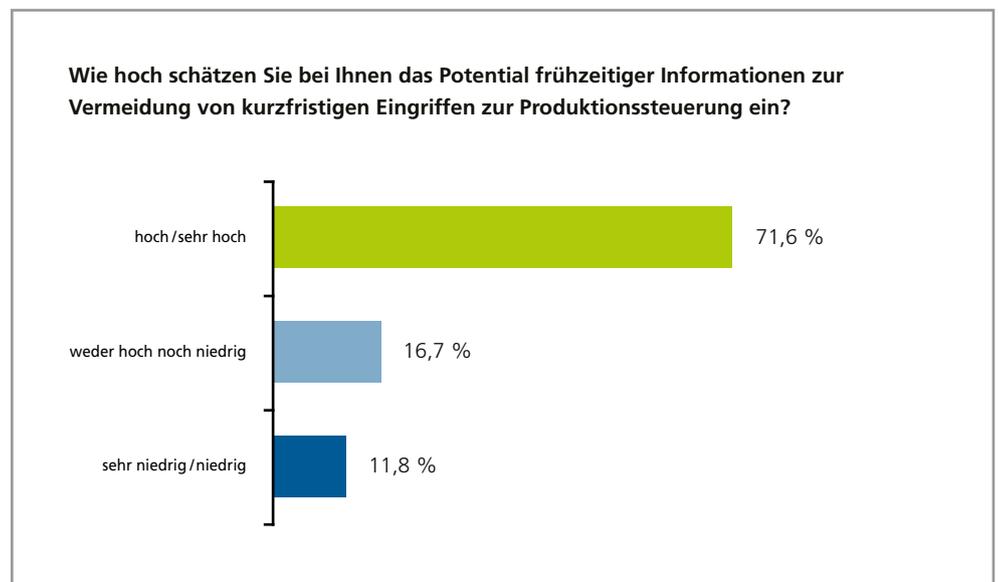


Abbildung 39: Frühzeitige Informationen haben ein großes Potenzial für die Verbesserung der Produktionssteuerung

Die informationstechnischen Ansätze zur Steigerung der Transparenz des Produktionsgeschehens liegen in einer dezentralen Erfassung und Speicherung von Informationen und deren Verfügbarkeit über Internetprotokolle. Für Dr. Ferber besteht die Vision in **»Maschinen, die ihren Zustand mit Internettechnologie an die unterschiedlichen Nutzergruppen übermitteln – das Wartungspersonal, den Besitzer der Maschine, den Produzenten der Maschine. Heute sind das eher einzelne Datensilos, die mühsam eingerichtet und als Inseln gepflegt werden müssen«.**

Zukünftig lassen sich Daten aus Sensoren unkompliziert über Internetprotokolle vielfältig abfragen. Die smarten Sensoren sind netzwerkfähig und mit einfachen Webservern ausgestattet. Die Abfrage von Sensordaten erfordert dann weder spezielle, proprietäre Schnittstellen noch elektrotechnische Verbindungen. Zusammen mit einer dezentralen Erfassung und Speicherung der Sensordaten, zum Beispiel in Produkten oder Bauteilen, gelingen neue Auswertungen und eine höhere Datenqualität. Auch Dr. Ferber sieht neue Möglichkeiten und Anwendungen durch

die Verfügbarkeit der Daten: *»Heute ist es zum Beispiel nicht möglich, den Ressourcenverbrauch eines einzelnen Produktes individuell zu erheben. Wir bekommen immer nur Durchschnittswerte. Wenn das Produkt einen eigenen Speicher hat, können wir genau hinterlegen, wo es unter welchen Randbedingungen mit welchem Ressourceneinsatz produziert wurde. Der Endkunde könnte die Informationen mit dem Smartphone ablesen. Das wäre heute in einem zentralen IT-System völlig unmöglich und unbezahlbar.«*

In diesem Zusammenhang gilt es zu beantworten, wie und zu welchem Preis ein Unternehmen bereit ist, diese Daten abzugeben und welche Konsequenzen entstehen können. Dazu sagt Professor Kagermann: *»Wie viel Intelligenz darf man den Objekten belassen, welche Daten sind aus Wettbewerbsgründen schützenswert, welche braucht man später, um zum Beispiel eine Remote-Wartung durchführen und Zusatzdienste anbieten zu können. Und schließlich muss das Thema Haftung neu überdacht werden.«*

### 9.3 Ausblick »Dezentrale Steuerung und Assistenten«

Transparenz und hohe Informationsdichte bilden die Grundlage für intelligente Assistenten zur dezentralen Steuerung der Produktion in Echtzeit. Konventionelle Formen der deterministischen, zentralen Planung, wie sie ERP-Systeme üblicherweise verfolgen, berechnen einen gemeinsamen und optimierten Produktionsplan im Voraus. Sie versuchen, alle Aufgaben für alle Produktionsressourcen zentral festzulegen und exakt zu terminieren, was erfahrungsgemäß nur in seltenen Fällen gut gelingt. Dezentrale Steuerungen verfolgen eine lokale Optimierung der Aufgaben und Auftragsreihenfolgen. Sie betrachten, im Gegensatz zur zentralen Planung, nur einen eingegrenzten, überschaubaren Gegenstandsbereich. Sie können daher deren spezifische Randbedingungen besser in den Optimierungszielen berücksichtigen sowie kurzfristig und flexibel auf wechselnde Anforderungen reagieren.

Den dezentralen Planungsansatz rechtfertigt der Logistikprofessor ten Hompel: *»Das Maß der Volatilität ist im Zeichen von Internet und E-Commerce stark gewachsen. Wir können oftmals die Logistik von morgen schlechter vorhersagen als das Wetter. Wir müssen Systeme schaffen, die über vorgedachte Grenzen hinaus wandelbar sind. Die zentrale Frage ist: Wie kann ein System aussehen, das man nicht planen kann? Eine Antwort gibt uns das Internet selber, dem Motto folgend: Es ist sinnvoller eine vernünftige Entscheidung dezentral in begrenzter Zeit zu treffen als eine vermeintlich optimale zu*

#### Information

*»Software-Assistenten« unterstützen Anwender beim Ausführen von Funktionen und Aktivitäten.*

*»Intelligente Assistenten« sind kontext-sensitiv, verfügen über eine umfassende Informationsbasis und können mit umgebenden Systemen und Assistenten vernetzt sein.*

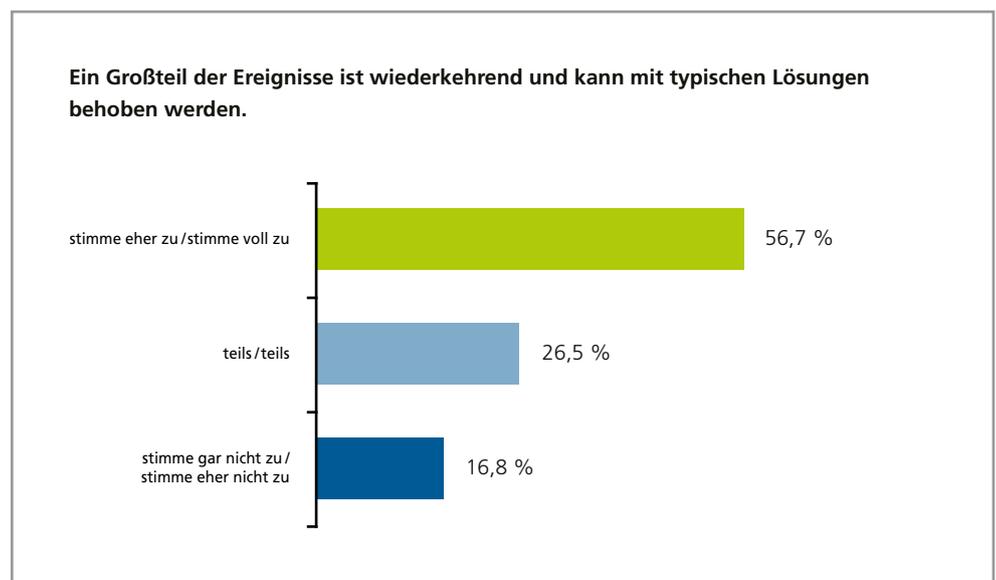
*Ein Assistent handelt, im Gegensatz zu Agenten<sup>45</sup>, nicht autonom.*

45 Vgl. Informationskasten auf Seite 98.

*spät. Eine mögliche Zukunft liegt zum Beispiel in der Anwendung und Umsetzung von Schwarmintelligenz beim Management unserer Systeme.«*

Ein weiterer, nicht zu unterschätzender Vorteil dezentraler Planungen liegt in der Möglichkeit, die ausführende Ebene, sprich die Meister und Mitarbeiter im Shopfloor, in die Planung einzubeziehen. Sie bringen zum einen ihr Erfahrungswissen in die Planung ein, zum anderen sind sie als handelnde Akteure im Produktionsplan zu berücksichtigen. Eine kurzfristige Reaktionszeit ist zur Erfüllung anspruchsvoller Kundenwünsche dringend erforderlich und kann nur erreicht werden, wenn die personellen Kapazitäten in die Planung und Steuerung eingehen.

Eine Unterstützung dezentraler Mechanismen zur kurzfristigen Steuerung durch intelligente Assistenten setzt voraus, dass mögliche Steuerungsmaßnahmen automatisch durch Software erkannt werden. Dafür müssen die auslösenden Ereignisse und deren Lösung durch Steuerungsmaßnahmen zumindest wiederkehrend sein. In der Umfrage bestätigen dies knapp 57 % der Unternehmen vollumfänglich, wie Abbildung 40 zeigt.



*Abbildung 40: Die meisten Ereignisse, die zu kurzfristigen Änderungen führen, sind wiederkehrend*

Die Umfrage zeigt also, dass intelligente Assistenten zur dezentralen und kurzfristigen Produktionssteuerung machbar sind. Derartige Assistenten könnten wiederkehrende Ereignisse erkennen, die Situationen menschlichen Entscheidern signalisieren und Handlungsoptionen vorschlagen. Häufig wiederkehrende, kurzfristige Steuerungsmaßnahmen könnten somit



schneller erkannt und effizienter umgesetzt werden. Ein weiterer Nutzen der Assistenten liegt in der absehbaren Standardisierung einer kurzfristigen Produktionssteuerung und der dadurch einfacheren, weitgehenden Delegation auf die Ausführungsebene. Abbildung 41 zeigt, dass der Aussage, dass heute viele Entscheidungen unnötigerweise in die Leitungsebene eskaliert werden, 45 % der befragten Unternehmen voll zustimmen und immerhin 29 % dieses Verhalten zumindest teilweise in ihrem Unternehmen erkennen.

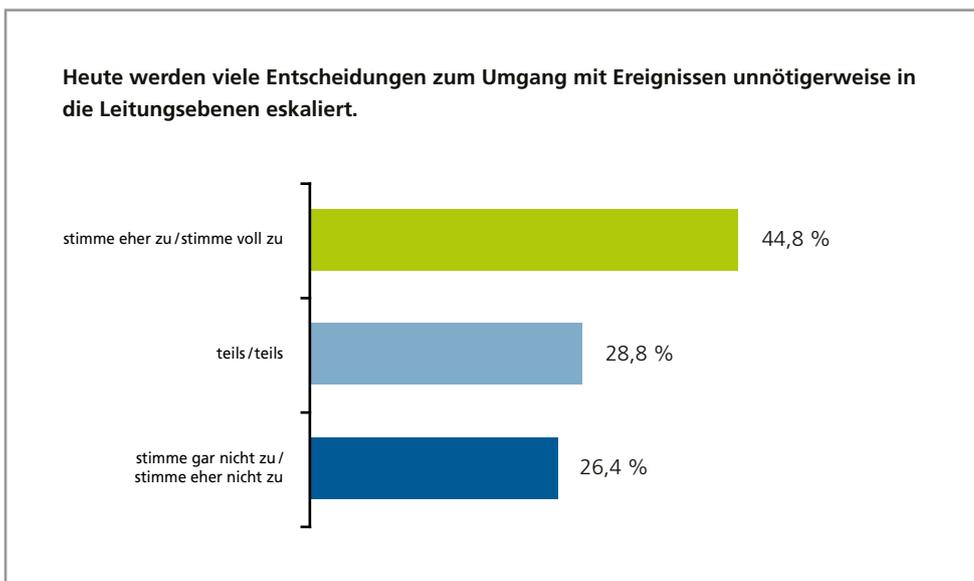


Abbildung 41: Ein großer Teil der Ereignisse wird unnötig in die Leitungsebene eskaliert

Intelligente Assistenten standardisieren auf diesem Wege Routineentscheidungen bei dezentralen Steuerungsmaßnahmen. Sie gestalten die Entscheidungen zumindest »berechenbar« und tragen so zur Nachvollziehbarkeit der Steuerung bei. **»Dezentral heißt aber nicht, dass das Verhalten einer Smart Factory nicht voraussagbar, beherrschbar und validierbar sein muss. Ganz im Gegenteil, denn die notwendige Komplexitätsreduktion wird durch dezentrale Steuerungen größer«**, sagt der Experte für Künstliche Intelligenz, Professor Wahlster. Damit benennt er den entscheidenden Vorteil dezentraler Steuerungen. Sie reduzieren drastisch die Planungskomplexität, an der die zentralen, deterministischen Steuerungskonzepte in der Praxis meistens scheitern. Eine dezentrale Steuerung orientiert sich an einem Schema verbindlich einzuhaltender Durchlaufzeiten und Eckterminen. Innerhalb dieses zentral vorgeplanten Gerüsts bildet sie dezentrale Reihenfolgen unter Aspekten der lokalen Optimierung. Professor Spath stellt dabei die Frage der Trennlinie: **»Vollständig dezentral wird die Datenhaltung nicht sein können. Wir benötigen durchaus zentral gehaltene**

*Daten wie Stammdaten etc., sodass es eine Verknüpfung von beiden Welten geben wird. Die zentralen Systeme werden Datenlieferant für die dezentralen Systeme sein, weil die ja Input-Daten aus dem wirtschaftlichen Umfeld brauchen. Und wir werden lokale Teilentscheidungen haben, die aber trotzdem im gesamten Abbild bleiben. Wir werden also beides bekommen und das ist genau der Knackpunkt: wie viel Zentralismus, wie viel Dezentralismus verträgt ein System und wie elastisch wird das System sein.» Auch aus Sicht der Informatik stellt sich die Frage nach dem Zusammenspiel und der Architektur eines komplexen Systems aus dezentralen Modulen und Steuerungskomponenten, die Professor Broy so beantwortet: »Die Beherrschung der Komplexität ist eine der großen Herausforderungen. Wie mache ich die Orchestrierungsarchitektur? Wie gehe ich in den Schichten durch? Ich brauche relativ bald so etwas wie eine Referenzarchitektur, an der sich die Dinge orientieren können. Dann kann man im Prinzip klassische Ortungsprinzipien der Informatik einsetzen. Der Schlüssel wird die Modularität sein. Der Schlüssel wird das Geheimnisprinzip und das Schnittstellenprinzip sein, sodass man wirklich in der Lage ist, die Komplexität zu verbergen, wo man sie verbergen kann.«*

Die einfache Verfügbarkeit und hohe Aktualität von Informationen verspricht somit neue Formen der Unterstützung dezentraler Steuerungskonzepte durch intelligente Assistenten. Damit ist es »nur« noch ein Schritt zur nächsten Stufe der autonomen und selbstorganisierenden Agenten.

## 9.4 Ausblick »Autonomie und Selbstorganisation«

### Information

»Software-Agenten« sind fähig, autonom zu handeln. Sie können selbstständig auf äußere Ereignisse reagieren und mit umgebenden Systemen und Agenten kommunizieren.

Der größte Umbruch in der Fabrik 4.0 wird von den Fähigkeiten Cyber-Physischer Systeme zur Selbstorganisation, zur Autonomie und zur Selbststeuerung erwartet. »**Um auch bei kleinen Stückzahlen effizient arbeiten zu können, benötigt die Fabrik der Zukunft autonome, sich selbst konfigurierende und räumlich verteilte Produktionsressourcen inklusive der Planungs- und Steuerungssysteme**«, konstatiert Herr Bauer. Zukünftige, selbstorganisierende und vernetzte Produktionsanlagen erkennen und konfigurieren ihre Komponenten und Werkzeuge eigenständig. Über das Internet erfragen sie selbstständig benötigte Prozessparameter vom Hersteller oder von vergleichbaren Anlagen bei anderen Anwendern. Selbststeuernde logistische Prozesse und Produktionsaufträge planen über die gesamte Wertschöpfungskette ihre Bearbeitungsschritte, reservieren die benötigten Materialien und belegen Anlagenkapazitäten. Im Falle absehbarer Verzögerungen organisieren sie zusätzliche Kapazitäten und melden unvermeidbare Abweichungen dem Auftraggeber.<sup>46</sup>

46 Vgl. (acatech, 2009), (Broy, Geisberger; 2012), (Broy, 2010).

In einem Cyber-Physischen System entlasten autonome Agenten die Menschen in einem weit größeren Umfang von Routinetätigkeiten und standardisierten Entscheidungen, als dies lediglich entscheidungsvorbereitende Assistenten können. Eine notwendige Bedingung hierfür ist, dass die jeweilige Entscheidungssituation durch technische Systeme vollständig erfasst und sicher erkannt wird. In komplexen Systemen mit ausgeprägten Zielkonflikten, wie der kurzfristigen Produktionssteuerung, erscheint dies den befragten Unternehmen derzeit noch schwer vorstellbar. Lediglich 16 % der befragten Unternehmen attestieren ihrer Produktion, die meisten Ereignisse durch technische Systeme erkennen zu können. Dagegen halten 59 % der Unternehmen menschliches Zutun für erforderlich, wie Abbildung 42 zeigt.

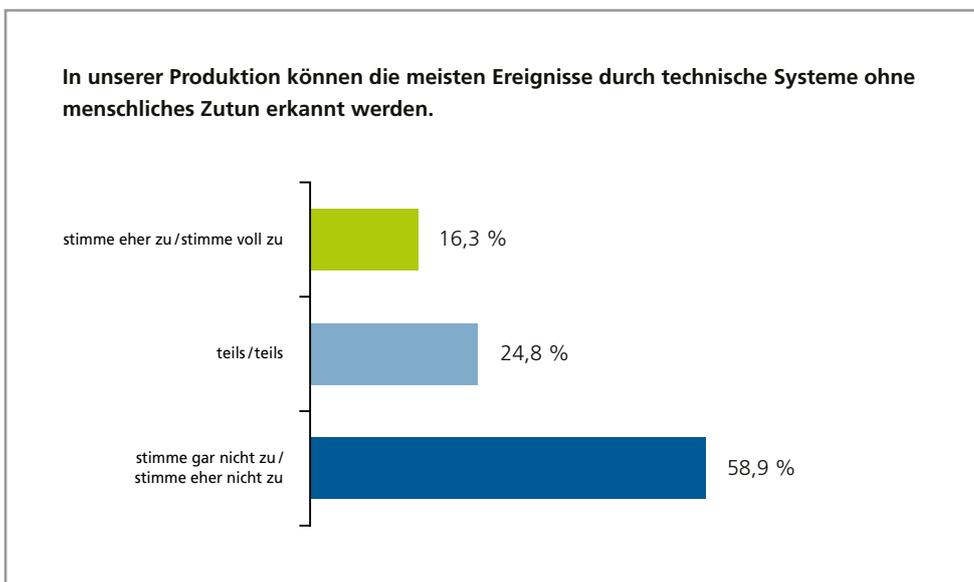


Abbildung 42: Erkennung von Ereignissen geht noch nicht vollautomatisch

Weiterhin stellt sich die Frage der Benutzerakzeptanz im Zusammenhang mit der Nachvollziehbarkeit des Handelns technischer Systeme. So ist sich Dr. Rode sicher, dass intelligente selbststeuernde Systeme ein kommendes Thema sind. Er sieht aber auch die Frage der Benutzerakzeptanz: *»Ähnlich wie bei genetischen Algorithmen bei der Planung ist die Nachvollziehbarkeit der Steuerung wichtig. Produktionsleiter möchten wissen, was passiert und wünschen Kontrolle über die Abläufe. Mit heute bereits technisch machbaren, agentenbasierten Systemen, die Lösungen unter sich aushandeln, haben wir schlechte Erfahrungen hinsichtlich der Benutzerakzeptanz. Es wird sicher noch eine Weile dauern, bis die Menschen so weit sind und akzeptieren, dass sie nicht mehr jeden Vorgang in der Planung nachvollziehen können.«*

Auf absehbare Zeit wird es keine selbstorganisierende Fabrik 4.0 geben. Autonomie und Selbstorganisation werden zunächst nur möglich sein für Teilsysteme der Fabriken, deren Verhalten und Abhängigkeiten geschlossen beschreibbar und informationstechnisch nachvollziehbar sind. Beispiele finden sich etwa in der Halbleiterfertigung. Bei manchen Prozessen ist deren Dauer nur schwer bestimmbar. Daher suchen die Steuerungen selbstständig den nächsten freien Platz innerhalb gleicher Fertigungseinrichtungen. Derartige selbstorganisierende Teilsysteme können die »Orchestrierung« der gesamten Fabrik 4.0 sicher vereinfachen. **»Ich denke, man braucht einen bestimmten Anteil an Orchestrierung. Durchaus auch im zentralistischen Sinn – aber man braucht auch immer wieder Elemente von Selbstorganisation dabei«**, gibt Professor Broy seine Einschätzung wieder.

Welche Aufgaben bleiben dem Menschen in einer Fabrik 4.0 mit transparenten Prozessen, dezentraler Steuerung, intelligenten Assistenten und autonomen Teilsystemen?

## 9.5 Die Kontrolle bleibt beim Menschen

Arbeitssoziologische Studien zeigen, dass Anwendungen des Internets der Dinge sich sowohl in Richtung eines Automatisierungsszenarios als auch eines Werkzeugszenarios entwickeln.<sup>47</sup> In einem Automatisierungsszenario steuert die intelligente Maschine die Tätigkeiten des Menschen. In einem Werkzeugszenario verbleibt die Entscheidung beim Menschen. Die Informationstechnik wirkt lediglich assistierend. Beide Szenarien müssen sich nicht zwangsläufig gegenseitig ausschließen. Mitarbeiter werden zukünftig eine Mischung aus beiden Anwendungsformen nutzen.

Die Kontrolle von standardisierten Routineaufgaben wird in Automatisierungsszenarios auf die CPS-Steuerungen übertragen. Dagegen verbleiben komplexe und erfahrungsbasierte Entscheidungen beim Menschen, der für die schnelle und sichere Entscheidungsfindung echtzeitfähige CPS-Assistenten nutzen wird. **»In der Produktionsarbeit der Zukunft sind die Menschen stärker die Dirigenten und Koordinatoren der Fabrik. Die harte Muskelarbeit und auch einen Teil der Denkarbeit übernehmen die Maschinen«**, schildert Professor Reinhart seine Sicht zur Rolle des Menschen bei der Produktionssteuerung der Zukunft. Herr Glatz schließt sich dieser Sicht an: **»Es hat sich in den letzten Jahren gezeigt, dass sich die Rolle stark verändert. Die Bedeutung des Menschen als Produktionsfaktor, der wirklich handwerkliche Tätigkeiten übernimmt, nimmt ab. Es wird noch mehr dazu kommen, dass der Mensch eine steuernde Funktion haben wird und wesentlich mehr Entscheidungen treffen**

---

<sup>47</sup> Vgl. (Windelband, Spöttli; 2011).



*muss. Wenn der Prozess relativ starr automatisiert ist und der Mensch nur als Bediener dabei ist, wird die Flexibilität des Menschen vergleichsweise gering genutzt. Wenn es darum geht, den Menschen als intelligentes Produktionsmittel zu verstehen, der ganz einfach auch Defizite feststellt und das in den Prozess mit einbringt, dann ist es eine andere Form.»*

Aber auch die körperliche Arbeit der Menschen bleibt in vielen Dingen unersetzlich. So werden Mitarbeiter weiterhin schwer automatisierbare oder auftragsspezifische Individualanteile der Produktion übernehmen. Beispielsweise erfordert das Polieren von Oberflächen sensorische Fähigkeiten, die keine Maschine erfüllt. Bis heute kann nur der Mensch Glanz und Reflexion von Oberflächen sicher beurteilen.

Bei allen Experten besteht Einigkeit, dass die zur Produktionssteuerung unvermeidlichen komplexen Entscheidungen sich auf absehbare Zeit nicht komplett auf Maschinen übertragen lassen. Eine vollständig autonome und menschenleere »Light-out-Fab« werden Cyber-Physische Systeme nicht ermöglichen. Dr. Mittelbach vermutet, dass die **Fabrik der Zukunft genauso menschenleer sein wird, wie heutige Büros papierlos sind.**

## 9.6 Industrie 4.0 ist nicht gleich CIM 2.0

Wie Industrie 4.0 verfolgte das Konzept des Computer Integrated Manufacturing (CIM) das Ziel transparenter Produktionsabläufe durch ein vollständiges informationstechnisches Datenmodell, wie Herr Feld erläutert: *»Eigentlich könnte man sagen, die Idee ist sehr alt, man hat früher immer von Computer Integrated Manufacturing gesprochen, das heißt, dass man kaufmännische mit technischen Systemen versucht zu einem integrierten Informationssystem zu vernetzen. Dieser CIM-Ansatz war aber mindestens 20 Jahre zu früh, weil die Technologien von der IT-Seite noch nicht zur Verfügung gestanden haben. Das ist damals auch aufgrund der mangelnden technischen Realisierbarkeit gescheitert.«*

Neue Sensoren, eingebettete Systeme, standardisierte Kommunikationsprotokolle, nahezu unbegrenzte Speicher- und Netzkapazitäten sowie der generelle Preisverfall bei Hardware erlauben heute eine früher unvorstellbare Informationsdichte, -qualität und Prozesstransparenz. Viele nennen daher zur Unterscheidung an erster Stelle den Begriff »Big Data«. Industrie 4.0 ist allerdings viel mehr als nur leistungsfähigere Informationstechnik und hohe Informationsdichte. Mindestens genauso wirkungsvoll sind die oben geschilderten neuen Konzepte der dezentralen Steuerung und selbstoptimierenden Systeme.

CIM verfolgte noch den zentralen, deterministischen Planungsansatz und versuchte, alles in einen zentralen »Entscheidungskraaken« hineinzuführen. Professor Kagermann, damals Vorstandsvorsitzender der SAP, erinnert sich: *»Die CIM-Ideen waren nicht grundsätzlich falsch, aber zu zentralistisch im Ansatz und zu früh. Mittlerweile haben wir auch bessere technologische Möglichkeiten. Der Erfolg von Innovationen ist immer auch eine Frage des richtigen Timings. Ich glaube, jetzt ist die Zeit reif für Industrie 4.0.«* Kagermann weiter: *»Das war Großrechnerdenken damals, auch bei SAP: Ein eher monolithisch aufgebautes ERP hat uns erfolgreich gemacht. Allerdings muss man in einem zweiten Schritt die Systeme öffnen und modularisieren. Dazu braucht es große Erfahrung. Beim Übergang zu dezentralen, autonomen, sich selbst organisierenden Systemen müssen nur bestimmte Rahmenbedingungen vorgegeben werden. Es ist wie bei moderner Arbeit: Zielvereinbarungen anstelle fest vorgeschriebener Arbeitsanweisungen.«*

Die Aufgabe der Produktionsplanung lässt sich nicht vollständig deterministisch modellieren. Daher wird auch die leistungsfähigste und schnellste Technologie keine exakten Pläne vorab berechnen können. Professor Reinhart: *»Bisher sind wir von einem deterministischen Modell in der Fabrik ausgegangen. Dies ist auf die explizite Beschreibung der (Teil-) Systeme zurückzuführen. Die Abläufe waren stets gleich und mit Störungen konnte nicht umgegangen werden, da diese nicht vorgesehen waren. Heute wird nicht mehr so streng von dem deterministischen Modell ausgegangen und es werden implizit auch schon spezielle Abläufe mit Störungen vorgesehen. So kann mit den unvorhersehbaren Ereignissen besser umgegangen werden. Dies ist eine erhebliche Veränderung im Vergleich zu CIM. Die Fabrik soll computerintegriert dirigiert werden, sie soll aber auch in ihrem Autonomiegrad so ausgeprägt sein, dass sie mit unvorhergesehenen Ereignissen umgehen kann.«* Die neuen Konzepte der dezentralen Steuerung und selbstoptimierenden Systeme lassen Raum für lokale Optimierungen, berücksichtigen Unsicherheiten, ermöglichen Fehlertoleranz und sie binden die Erfahrung und das Wissen der Mitarbeiter in die Planung ein. *»Anders als bei CIM, wo versucht wurde, alles mannlos zu machen, werden die Beschäftigten als Erfahrungsträger und Entscheider ganz bewusst in alle relevanten Abläufe der Smart Factory von Industrie 4.0 integriert«,* stellt Herr Bauer heraus.

Industrie 4.0 ist also mehr als nur eine Neuauflage des CIM-Gedankens. Auch Industrie 4.0 verfolgt das Ziel, durch mehr Computerintegration die Produktionssteuerung zu verbessern, aber auf einem anderen Weg und mit neuen Konzepten. Die leider noch allzu häufig angewandte, träge und aufwändige, zentrale Auftragsplanung wird abgelöst durch eine flexible und aufwandsarme, dezentrale Steuerung.

## 9.7 Auch die Produktion 4.0 kann schlank sein

Eine in der Praxis erprobte und erwiesenermaßen erfolgreiche Alternative zur deterministischen Zentralplanung ist das Konzept einer schlanken Produktion.<sup>48</sup> Sie eliminiert jegliche Form von Verschwendung aus den Produktionsprozessen: Produziert wird nur, was der Kunde verlangt und zu welchem Zeitpunkt er die Ware benötigt. Materialbestände werden auf das absolute Minimum reduziert. Sämtliche Produktionsressourcen müssen kürzeste Durchlaufzeiten ermöglichen. Eine schlanke Produktion am Puls des Kunden verlangt ein höchstes Maß an Flexibilität sowohl der technischen Einrichtungen als auch des qualifizierten Personals.<sup>49</sup>

Eine schlanke verschwendungsfreie Produktion mit minimalen Beständen und kurzen Durchlaufzeiten reagiert ebenfalls quasi in »Echtzeit« auf Kundenanforderungen, wie das von einer Industrie 4.0 ebenfalls erwartet wird. Kann Industrie 4.0 eine schlanke Produktion noch weiter beschleunigen und von den letzten Resten Verschwendung befreien? Verstärken sich die Konzepte, oder bestehen gar Widersprüche?

Industrie 4.0 hebt ab auf die vollständige informationstechnische Durchdringung der Produktion und den Einsatz von maschineller Intelligenz zur kurzfristigen Planung, Optimierung und Steuerung der Abläufe. Das Konzept der schlanken Produktion wählt einen anderen Ansatz und betont Standardisierung und vordefinierte, regelmäßige Strukturen für Prozesse. So ist zum Beispiel Fließfertigung ein häufig angewandtes Element der schlanken Produktion. Ein begonnener Auftrag wird nach Möglichkeit vollständig abgearbeitet. Er durchläuft am Stück alle Fertigungsschritte nach dem FIFO-Prinzip, das heißt die Aufträge überholen sich nicht, die Auftragsreihenfolge bleibt über alle Arbeitsstationen gleich.

Der Vergleich mit der Idee, dass intelligente Objekte ihre Bearbeitung und ihren Transport durch die Fabrik mit anderen Objekten fallweise aushandeln, zeigt die teilweise Diskrepanz der Ansätze. Zumindest in Bereichen mit einem hohen manuellen Arbeitsanteil ist das Prinzip der standardisierten Abläufe mit festen Strukturen kaum zu ersetzen.

Andererseits bestehen durchaus Gemeinsamkeiten. Die schlanke Produktion setzt wie Industrie 4.0 auf dezentrale Steuerungskonzepte. So realisiert zum Beispiel eine Kanban-Steuerung des Materialnachschiebs einen dezentralen Regelkreis. Leere Kanban-Behälter werden von der Versorgungsstation umgehend wieder befüllt und zur Verbrauchsstation zurück gebracht. Gesteuert wird der Kreislauf über die Behälter. Zentrale Steuerungsinstanzen sind nicht nötig.

### Praxisbeispiel

*Ein weiteres Beispiel für ausgeprägte Strukturen sind sogenannte »Milkruns« für die Materialversorgung. Ein innerbetrieblicher Materialtransport findet dabei zu fixen Zeiten und auf festen Routen statt. Der bedarfsweise Transport zwischen beliebigen Punkten wird ersetzt durch eine definierte Struktur nach Art eines Busfahrplans. Eine aufwändige Planung und Steuerung entfällt, sie wird nicht benötigt. Trotzdem wissen die Mitarbeiter genau, wann angeforderte Materialien eintreffen, die Zeiten sind durch die Fahrpläne festgelegt und bekannt.*

<sup>48</sup> Vgl. (Spath; 2003).

<sup>49</sup> Vgl. (Lotter, Wiendahl; 2012), (Takeda; 2004); Details zum Thema Personalflexibilität finden Sie in Kapitel 8.

Dieser Prozess lässt sich durchaus informationstechnisch unterstützen. So kann etwa ein digitales Signal den Behälternachschub auslösen und den Transport des leeren Behälters zur Versorgungsstation vermeiden. Dies ist insbesondere bei Kanban-Regelungen mit externen Lieferanten vorteilhaft.

Es besteht also kein grundsätzlicher Widerspruch zwischen Industrie 4.0 und schlanker Produktion. Die Konzepte können sich sehr wohl ergänzen, gehen allerdings nicht in allen Details konform. In der weiteren Forschung und Umsetzung wird daher auf die Abstimmung der Ansätze und verwendeten Elemente zu achten sein.

## 9.8 Aktuelle ERP-Systeme sind noch nicht reif für die Industrie 4.0

Die in Form von ERP- und PPS-Systemen heute eingesetzten betrieblichen Informationssysteme sind ebenfalls mit den Konzepten einer Industrie 4.0 abzustimmen und zu überdenken. Die verwendeten kaufmännischen Modelle und planerischen Prozesse basieren nahezu ausnahmslos auf dem Gedanken der zentralen Planung, Erfassung und Kontrolle aller materiellen und immateriellen Abläufe. *»Eine große Sorge machen mir die Angebote auf der PPS-Seite. Das heutige, extrem deterministische Planungs- und Steuerungssystem ist nach wie vor Arbeitsgrundlage. Diese Systeme sind ja nicht von heute auf morgen weg. Und mit diesen Systemen muss man leben. Es wird daher sehr darauf ankommen, wie elastisch diese Systeme sich mit den neuen Industrie-4.0-Systemen verbinden werden«*, schildert Professor Spath seine Sicht.

Eine durchaus gewünschte Funktion und große Stärke der bestehenden ERP-Systeme ist deren enge Verzahnung von kaufmännischen Funktionen mit den materiellen Abläufen der Fabrik in einem gemeinsamen Datenmodell. Diese Systeme erlauben erst, Arbeitsprozesse und Materialbewegungen verhältnismäßig kleinteilig und rasch kaufmännisch zu erfassen und finanziell zu bewerten. Allerdings ist die enge Verzahnung der kaufmännischen mit den planerischen Funktionen in der Praxis auch mit Nachteilen behaftet:

- Beide Funktionen sind gleich zu strukturieren. Anpassungen erfolgen immer sowohl auf der kaufmännischen als auch der planerischen Ebene.
- Dadurch entsteht ein hoher Aufwand für die Pflege des gemeinsamen Modells.
- Die Modelle müssen kaufmännischen und planerischen Belangen genügen. In der Praxis fehlen den Modellen jedoch häufig für die Planung wichtige, technische, organisatorische oder logistische Aspekte und Informationen.



- Feingranulare Modelle mit hoher Genauigkeit verlangen einen hohen Buchungsaufwand in der Fabrik zur Erfassung der materiellen Abläufe. Hier können vermutlich die neuen informationstechnischen Möglichkeiten einer Industrie 4.0 abhelfen, wie bereits in Kapitel 9.2 zum Thema Transparenz diskutiert wurde.

Größere Anpassungen der bestehenden Systeme erfordern sicher die Ansätze einer dezentralen Planung und einer Selbstorganisation. Sie stehen dem Gedanken einer zentralen Planung und dem hierzu passenden zentralen Datenmodell entgegen. Professor Spath sieht dies folgendermaßen: *»Da müssen die heutigen PPS-Systemhersteller Klärungen finden. Das wird ein wichtiger Teil der ersten Projekte sein. Einerseits, wie bekomme ich in einem Abbild überhaupt ein Maß an Vollständigkeit und zweitens, wie entlasse ich Teile des Abbilds dann in ein selbstständiges Geschehen und halte Kontakt zum zentralen System. Das werden wichtige Fragen sein, die wir ausprobieren und lernen müssen.«* Professor Kagermann sieht hier bereits erste Ansätze für eine andere Art von Geschäftsprozesssoftware: *»Es werden schon jetzt von moderner Software nicht nur die voll strukturierten, sondern auch die teilweise unstrukturierten Prozesse unterstützt und das unternehmensübergreifend und auf verschiedenen Devices.«* Weitere Entwicklungen und Justierungen stehen aber noch an, auch im Finanzcontrolling, so Kagermann: *»Hier wird es darauf angekommen, die richtige Balance zwischen mehr Flexibilität, aber auch mehr Integrität der Systeme und bessere Einhaltung von Compliance hinzubekommen. Es ist vergleichbar mit dem Thema Sicherheit: Wenn die ersten Unfälle auftreten, weil die Sicherheitstechnologien noch nicht ausgereift sind oder Fälle, in denen die internen Kontrollsysteme versagen, wird das Thema Industrie 4.0 weit zurückgeworfen werden.«*

Die Ausführungen zeigen, dass das Konzept einer Industrie 4.0 mehr ist als nur eine neue, schnellere und leistungsfähigere Technik. Insbesondere hinsichtlich des tradierten Modells der deterministisch-zentralen Produktionsplanung sind größere Umbrüche zu erwarten. Um das neue Konzept in die Praxis umzusetzen, sind noch einige anstehende Fragen durch die Forschung und Entwicklung zu beantworten. Eine dringende Aufgabe ist, die bestehenden ERP- und PPS-Systeme auf das neue Konzept vorzubereiten.

Die Vision einer Industrie 4.0 ist bereits in greifbare Nähe gerückt. Erste Fabrikanlagen implementieren CPS-Technologien. Die Mobiltechnik dringt immer weiter in die Fabrikhallen vor. Die Büroarbeit hat das Internet bereits revolutioniert. Warum soll die Vision nicht auch in der Produktion wahr werden?



## 10 Integration von Produktions- und Wissensarbeit – in Zukunft noch wichtiger

Eng verknüpft mit den originären Produktionstätigkeiten sind produktionsnahe Entwicklungstätigkeiten. Beeinflusst werden die Arbeitstätigkeiten in der Produktion, insbesondere von den späten Phasen der Produktentstehung: Prototypen- und Musterbau, Betriebsmittel-, Prüfmittel- und Prozessentwicklung sowie Produkt- und Prozessanlauf. Der Schnittstelle zwischen Produktentwicklung und Produktion kommt somit eine zentrale Position in Unternehmen zu. Sie verbindet zwei Welten – die projektgeprägte Wissensarbeit in der Produktentwicklung und die prozessgeprägte Produktion. Laut Meinung der Befragten wird der Druck auf die Produktentstehung weiter zunehmen, in immer kürzeren Zyklen neue Produkte in Serienreife zu bringen.

So stimmen 86 % der Befragten der These zu, dass sich die Produktion in den nächsten fünf Jahren häufiger an neue Produkte und Prozesse anpassen müsse, wie Abbildung 43 zeigt.

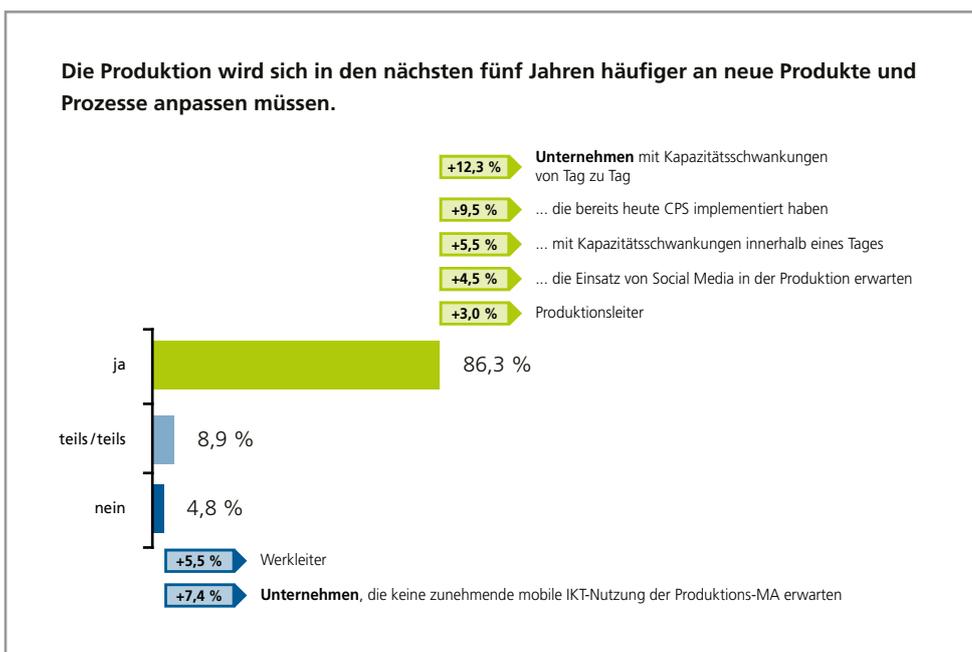


Abbildung 43: In Zukunft muss sich die Produktion noch häufiger an neue Produkte und Prozesse anpassen

Besonders hohe Zustimmung erreicht die These bei Unternehmen, die heute schon hohe Anforderungen durch Kapazitätsschwankungen haben. Unternehmen mit Schwankungen im Tagesrhythmus stimmen zu 99 % zu, bei Schwankungen innerhalb eines Tages beträgt die Zustimmung 92 %. Auch die besonders technikaffinen Firmen bejahen die These überdurchschnittlich oft: Unternehmen, die bereits heute Cyber-Physische Systeme implementiert haben zu 96 %, Unternehmen, die den Einsatz von Social Media in der Produktion erwarten zu 91 %. Auf der anderen Seite der Skala lässt sich vor allem eine überdurchschnittliche Ablehnung zu der These bei den Unternehmen feststellen, die keine zunehmende Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnik in der Produktion erwarten (12,2 % im Vergleich zu 4,8 % der Gesamtunternehmen).

## 10.1 Anlaufprozesse können auf neue Art unterstützt werden

Wir müssen davon ausgehen, dass die Anzahl der Anläufe zukünftig noch weiter steigen wird. Dies liegt an kürzer werdenden Produktlebenszyklen, höheren Variantenzahlen und der zunehmenden Entwicklung regional angepasster Produkte. Bereits heute stellt der Anlauf einen klassischen Engpass dar. Dies gilt nicht nur für die Produkt-, sondern auch für die Prozessentwicklung, wie Professor Broy anmerkt: *»Man entwickelt das Produkt und man entwickelt das Produktionssystem. Das sind eigentlich zwei Entwicklungsaufgaben. Das finde ich unglaublich spannend, wie man das in der Zukunft stärker zusammenbringt. Da brauchen wir eine ganz klare Vision, die sich erst einmal nicht direkt auf die Produktion richtet, sondern auf den Entwicklungsprozess.«*

Herr Glatz beschreibt die Möglichkeiten, die Industrie-4.0-Technologien in diesem Zusammenhang bieten. »Es ist möglich, aus Erfahrungswissen in Modellen viel zu simulieren, um mögliche Problemfälle festzustellen. Und wenn jetzt die einzelnen Module auch noch intelligenter werden und das virtuelle mit dem realen verbunden wird, kann gleichzeitig auch immer wieder der Rückfluss in die logischen Modelle stattfinden.«

Auch für Professor Spath eröffnet die Entwicklung in Richtung Industrie 4.0 neue Chancen für die Produktentstehung: *»Wenn wir Produkte haben, die selbst ein CPS darstellen,*



*sind diese zuerst nur ein Gegenstand in der Produktion. Dann kommt irgendwann der Punkt, an dem das Produkt zum Leben erweckt wird. Und damit wird das Produkt selbst ein Teil im Produktionsweg, in dem es selbst mitkommunizieren kann. Das wird nicht lückenlos vonstattengehen, aber ich denke, dass es ab einem gewissen Grad sinnvoll sein wird, das Produkt selbst als Teil des Produktionssystems zu nutzen. Damit das funktioniert, ist es wichtig, dass die Produkte richtig designt werden und dazu müssen die Produktentwickler ein gutes Grundverständnis der Produktionsabläufe haben.»*

Diese Idee, die Produkte im Anlauf als CPS mit dem System zu vernetzen, ermöglicht eine ganz neue Geschwindigkeit und Qualität des Erfahrungsrückflusses. Dieser Erfahrungsrückfluss ist bereits in der Produktion etablierter Produkte hilfreich, beim Produkthanlauf sind die zurückfließenden Informationen aber noch von deutlich höherer Relevanz. Durch umfassende und schnelle Informationen wird es möglich, Probleme früher zu erkennen und das Produktionsverfahren zu optimieren.

## 10.2 Abstimmungsaufwände steigen zukünftig

Im operativen Geschäft werden schon heute vielfältige Aufgaben für die Produktentwicklung in der Produktion durchgeführt. 50 % der Befragten stimmen zu, dass bereits heute die Übernahme von Aufgaben für die Produktentwicklung hohe Abstimmungsaufwände für die Produktion erzeugt. Und aufgrund der beschriebenen Zunahme der Produkthanläufe wird dieser Aufwand noch weiter ansteigen, wie Abbildung 44 zeigt.

Besonders hohe Zustimmung erreicht die Aussage auch hier vor allem bei Unternehmen mit schon heute hohen Schwankungen von Tag zu Tag (61 %). Weiterhin liegt eine überdurchschnittliche Zustimmung vor bei Unternehmen, die heutige Flexibilitätsinstrumente als ungenügend bezeichnen (58 %). Überdurchschnittlich stark abgelehnt wird die Aussage vor allem von Unternehmen, die keinen Einsatz von Social Media in der Produktion erwarten (37 %) bzw. die zukünftig keinen höheren Bedarf an systematischer Kompetenzentwicklung ihrer Mitarbeiter erwarten.

### Die Übernahme von produktionsseitigen Aufgaben für die Produktentwicklung durch Produktionsmitarbeiter erzeugt heute hohe Abstimmungsaufwände.

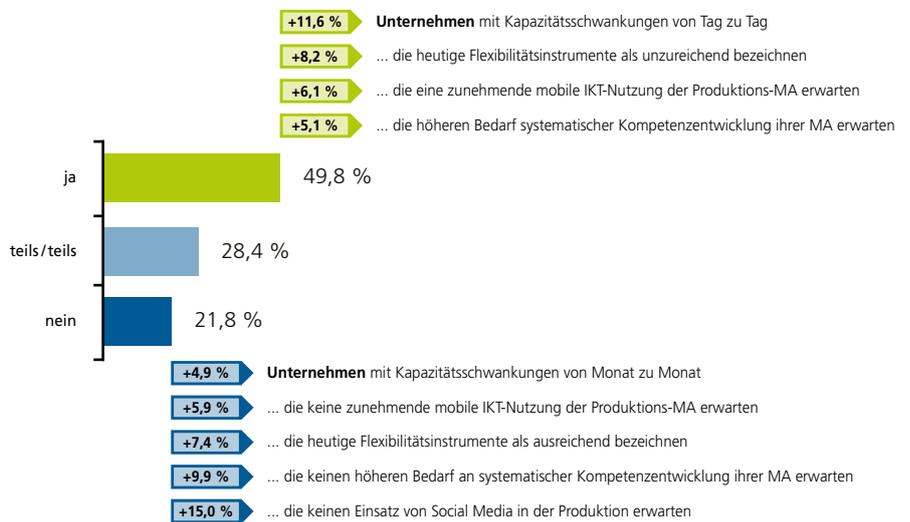


Abbildung 44: Die Übernahme von Aufgaben für die Produktentwicklung erzeugt heute hohe Abstimmungsaufwände in der Produktion

Offensichtlich schätzen Unternehmen, die bereits heute hochflexibel reagieren müssen, die Abstimmungsaufwände zwischen Produktentwicklung und Produktion als problematisch ein. Im Zuge einer weiter zu erwartenden Verkürzung der Produktlebenszyklen, bei gleichzeitiger Rolle der deutschen Standorte als Leitwerke, kann zukünftig von einer Zunahme der Produkt- und Prozessanläufe ausgegangen werden. Diese Entwicklung ist vor allem deshalb aufschlussreich, weil schon heute häufig die gleichen Anlagen- und Personalkapazitäten für Serienproduktion und Anläufe genutzt werden. Insbesondere gilt dies für Prüfmittel und qualifiziertes Prüfpersonal, die ohnehin oft den kapazitiven Engpass darstellen. Häufig werden entstehende Konflikte dann ad hoc gelöst oder verursachen aufwändige Eskalationskaskaden. Ähnlich wie im originären Produktionsbereich könnten hier der zielgerichtete Einsatz von Flexibilitätsinstrumenten, die zielgerichtete Qualifizierung der Mitarbeiter im Schnittstellenthema Produktentstehung oder auch neue Hilfsmittel aus dem Bereich kollaborativer Informations- und Kommunikationstechnik für Entspannung sorgen. Vor diesem Hintergrund lassen sich auch die starken Abweichungen zwischen den einzelnen Teilgruppen der Befragung erklären.

### 10.3 Erfahrungsrückfluss muss schneller werden

Ein wesentlicher Stellhebel zur Verkürzung der Produktentstehungszeit und zur besseren Abstimmung der Kapazitätsnutzung ist die schnelle Datenrückführung in die Produktentwicklung. Die dazugehörige These bestätigen 76 % der Unternehmen, wie Abbildung 45 zeigt. Auch hier tritt eine überdurchschnittliche Zustimmung vor allem bei den Unternehmen auf, die schon heute von hohen Flexibilitätsanforderungen betroffen sind.

Eine sehr hohe Zustimmung erfährt diese Aussage auch bei den Unternehmen, für die das Thema Dokumentation eine große Rolle spielt.

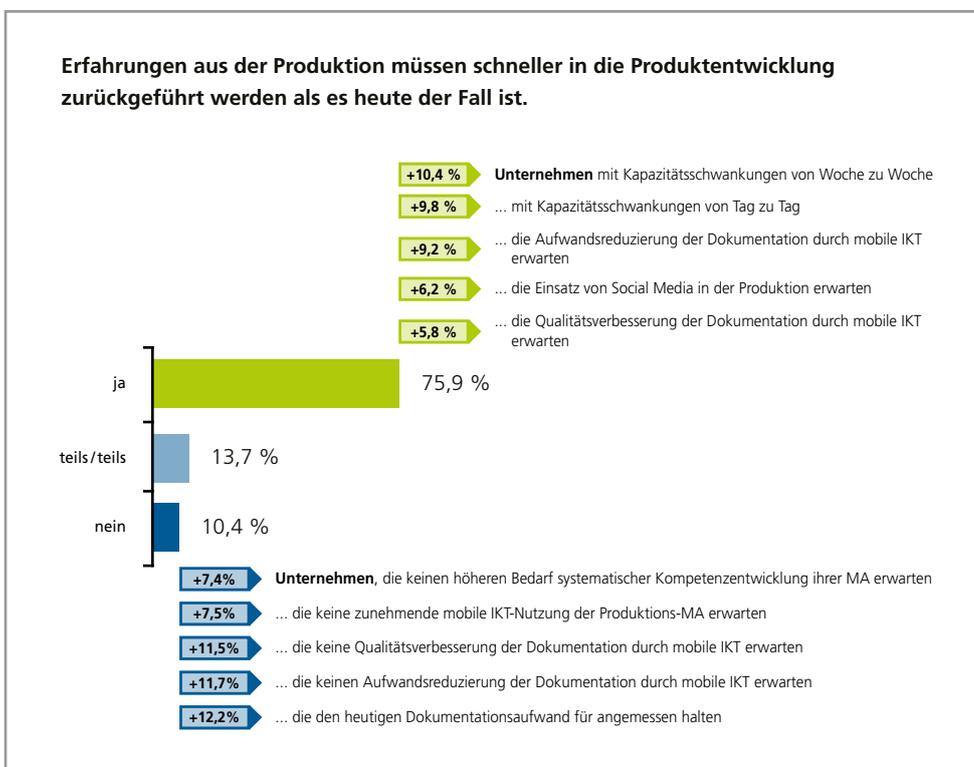


Abbildung 45: Erfahrungen aus der Produktion müssen zukünftig schneller in die Produktentwicklung zurückgeführt werden

Transparenz ist der entscheidende Faktor für die Ausgestaltung der Schnittstelle zwischen Produktentwicklung und Produktion. Professor Spath zeichnet ergänzend zu den Befragungsergebnissen folgendes Bild: »Es kann gut sein, dass wir eine Beschleunigung dadurch errei-

*chen, dass wir es schaffen, auch in der Inbetriebnahme sehr viel schneller Transparenz für die Beteiligten zu erreichen. Heute ist es ja schwierig, überhaupt herauszufinden, woran etwas hängt. Anlaufprozesse sind ja dadurch gekennzeichnet, dass Sie noch Macken haben und wir diese finden müssen. Und das ist eben nichts, was sich zentralistisch rückmeldet, sondern man muss es vor Ort ermitteln.*« Wie bereits beschrieben, bieten gerade bei dieser Aufnahme vor Ort neue Produkte, die selbst über CPS-Technologien verfügen, völlig neue Möglichkeiten der zeitnahen Rückführung der Informationen.

In den letzten Jahren haben vermehrt Product-Lifecycle-Management-Systeme (PLM) versucht, diese Lücke aufzufüllen. Doch diese »leiden an einer Sache. Sie heißen zwar Product Lifecycle, haben aber das Cycle-Element nicht realisiert. Wenn das geplante Produkt das Haus verlassen hat, dann ist das Thema erledigt«, beschreibt Herr Glatz die momentane Situation. Industrie 4.0 könnte auch hier ein Ansatzpunkt sein, führt er weiter aus: »In Industrie 4.0 denke ich wesentlich mehr, dass das Produkt selbst Bestandteil des PLM-Systems ist. Wir haben ein virtuelles Abbild im PLM-System und wir haben ein reales Abbild, was virtuelle Komponenten hat. Es wird die Kunst sein, diese beiden Welten zu verbinden.«

Zukünftig wird eine bessere Abstimmung von Produktentwicklung und Produktion darüber entscheiden, wie erfolgreich Unternehmen mit der stetig wachsenden Dynamik immer neuer Produkt- und Prozessanläufe umgehen werden. Gerade für die Möglichkeiten mobiler und intuitiver Informations- und Kommunikationstechnik sowie intelligenter Objekte stellt die Produktentstehung deshalb ein vielversprechendes Anwendungsfeld dar.



## 11 Industrie 4.0 – Produktionsarbeit neu denken

In den vorangegangenen Kapiteln wurden bereits zahlreiche Anforderungen an die Produktionsarbeit der Zukunft formuliert, jedoch wenig darüber geschrieben, wie der erwartete Wandel, zukünftig wirklich ausgestaltet werden kann. Wie bereits im einleitenden Kapitel 1.4 beschrieben, bietet das Aufkommen intelligenter Vernetzungstechnologie zu marktfähigen Preisen neue Möglichkeiten. Dabei stellt sich die Frage, was Industrie 4.0 dazu beitragen kann, um die Anforderungen der Zukunft zu bewältigen und wie die Produktionsarbeit in der Industrie 4.0 aussehen wird.

### 11.1 Industrie 4.0 ist noch nicht bei den Unternehmen angekommen

Die Befragung per Fragebogen hat ergeben, dass der Begriff Industrie 4.0 in der Unternehmensrealität noch nicht angekommen ist. So kennen 60 % der befragten Unternehmen den Kernbegriff der Industrie-4.0-Debatte, Cyber-Physische Systeme (CPS)<sup>50</sup>, nur unvollständig. Gerade einmal knapp 16 % der befragten Unternehmen war der Begriff CPS und seine Bedeutung vollständig bekannt, wie Abbildung 46 zeigt.

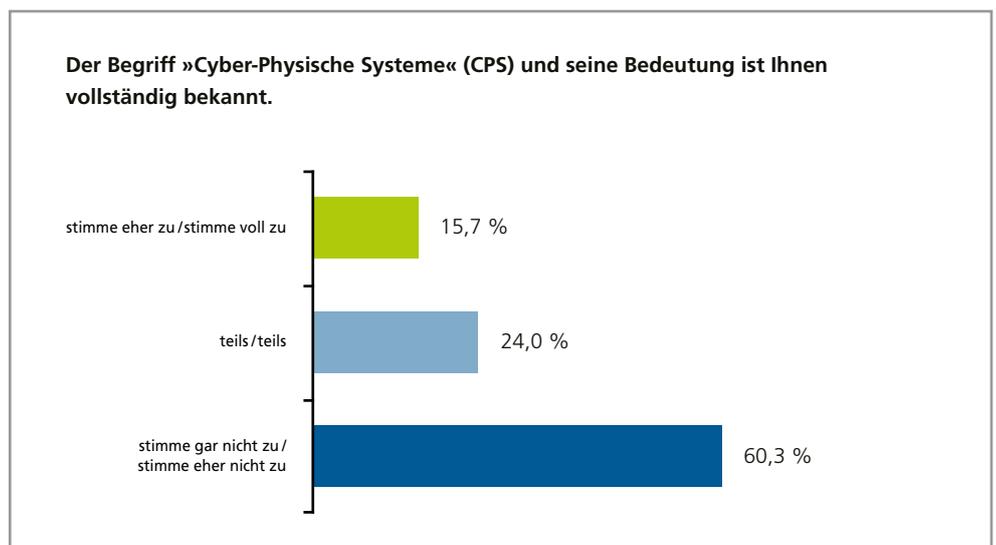


Abbildung 46: Den Unternehmen ist der Begriff Cyber-Physische Systeme noch nicht bekannt

<sup>50</sup> In Kapitel 1.4 ab Seite 22 finden Sie eine Begriffserklärung zu »CPS«.

Noch weniger verbreitet sind Unternehmen, die Produkte mit CPS herstellen, wie Abbildung 47 verdeutlicht. Gerade einmal 4,2 % der Befragten stellen Produkte mit integrierten CPS her. Mehr als 86 % produzieren nach eigenen Angaben keine Produkte mit integrierten CPS – oder wissen nicht, dass sie dies tun.

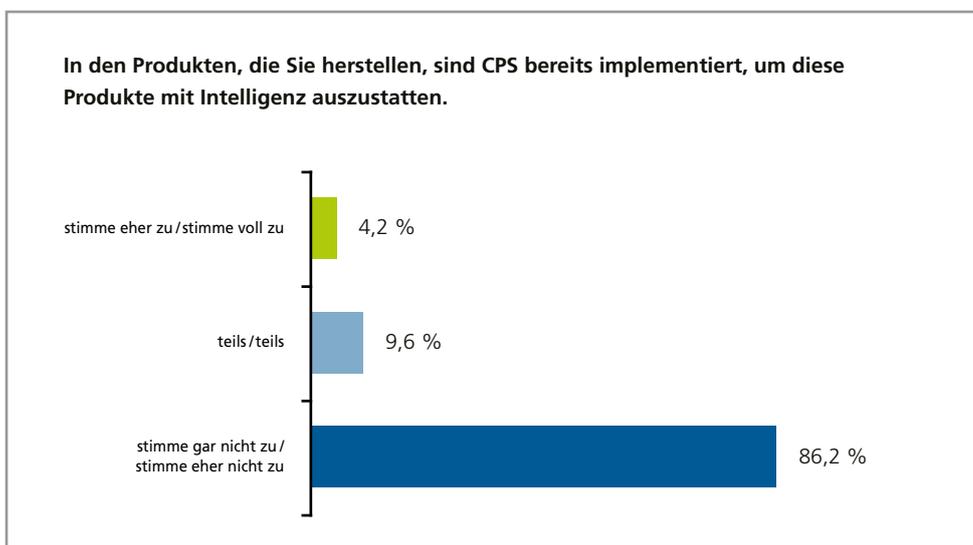


Abbildung 47: Nur die wenigsten Unternehmen stellen heute CPS-fähige Produkte her

## 11.2 Zukünftig werden Objekte und Menschen stärker vernetzt sein

Einer der Grundgedanken der Industrie 4.0 ist es, die neuen Möglichkeiten der Vernetzung in der Produktion zu nutzen. »Dieser Wandel ist gekennzeichnet durch das Zusammenwachsen moderner Technologien der Informationstechnik mit klassischen industriellen Prozessen zu Cyber-Physical Production Systems (CPPS)«, so Herr Bauer. Nicht nur die Vernetzung ist neu, auch »Komponenten, Systeme und Produktionsanlagen werden zunehmend intelligenter, haben immer mehr Steuerungsfunktionalität und sind stärker in der Lage, auf die flexiblen Bedürfnisse im Produktionsumfeld zu reagieren«, beschreibt Professor Post die Entwicklung.

Viele der Ideen sind nicht neu und wurden vor Jahrzehnten bereits unter dem Schlagwort CIM diskutiert.<sup>51</sup> Ein wichtiger Unterschied zum CIM-Ansatz ist die Vorgehensweise, durch verteilte,

### Vision Zukunft

*Herr Dorst beschreibt die zukünftigen Möglichkeiten so: »Heute ist es noch üblich, dass die Aufgaben zum Beispiel für eine Fräsmaschine papierbasiert durch den Vorarbeiter verteilt werden. In Zukunft erhält der Werker diesen Auftrag über sein Smartphone. Ähnliches kennen wir auch aus dem privaten Umfeld. Wer hätte vor 20 Jahren gedacht, dass es Informationen in Echtzeit im Alltag geben wird? Heute können wir Abfahrtszeiten bzw. Verspätungen von Zügen abrufen. Solche Dienste verändern die Welt und so kann auch mit dem Konzept Industrie 4.0 die Produktion verändert werden. Wir haben bereits Rezepte dafür.«*

<sup>51</sup> Vgl. zu den Ideen von CIM auch Kapitel 9.6.

#### Vision Zukunft

*Ein praxisnahes Beispiel für eine Anwendung von Industrie 4.0 beschreibt Herr Dorst: »Bei einer Störung an einer Anlage wird ein Signal gesendet und löst Aktivitäten aus. Über das Internet wird die Reparatur der Störung unter Berücksichtigung von Zeit, Personal und Material automatisiert geplant.«*

intelligente Objekte zu einer dezentralen Steuerung zu kommen, die lokale Entscheidungen ermöglicht. Hierbei wird nicht alles durch ein zentrales System vorgegeben. Professor Reinhart stellt heraus, dass ein dezentrales System viele Entscheidungsweisen kombinieren lässt. **»Produkte können sich in der Industrie 4.0 selbst steuern und den Weg durch die Fabrik suchen. Dies stellt jedoch nur eine der Optionen dar und muss nicht ausschließlich sein. Genauso kann weiterhin ein Kanban eingerichtet werden oder einem intelligenten Produkt mit elektronischem Produktgedächtnis (Smart Product) mitgegeben werden, wann, wo und mit welchen Toleranzen es produziert wurde.«**

Dr. Wittenstein stellt dabei klar heraus, dass die Dezentralität und die Intelligenz der Objekte kein Selbstzweck sein dürfen. »Früher haben wir Daten eingespeist. Mit der Industrie 4.0 generiert das Produkt die Daten selbst. Diese Daten werden mit Programmen verarbeitet. Das ist in einem lokalen Umfeld möglich. Die Frage ist, was dadurch gewonnen wird«, so der Vorstand für Technologie und Innovation bei der Wittenstein AG.

Welche Vorteile sich durch Industrie 4.0 ergeben können, beschreiben die folgenden Kapitel im Detail. Abbildung 48 soll aber für das Verständnis der weiteren Kapitel ein anschauliches Bild zeichnen, wie eine Produktion 4.0 aussehen kann. Die einzelnen Objekte können direkt miteinander kommunizieren und aufeinander reagieren. Der Kundenauftrag als Auslöser führt bei den Maschinen und Anlagen zu einer selbst organisierten Abstimmung, wann und wie der Auftrag gefertigt werden kann. Bei diesem Szenario werden die Mitarbeiter aktiv in das System eingebunden.

### 11.3 Industrie 4.0 ist ein Lösungsansatz für die Herausforderungen der Zukunft

Dr. Wittenstein, Entrepreneur des Jahres 2011, bringt die große Herausforderung der Zukunft auf den Punkt: **»Derjenige, der flexibler auf Veränderungen reagieren kann, hat in Zukunft einen strategischen Vorteil. In Zukunft werden wir aufgrund der Verfügbarkeit von Daten schneller Entscheidungen treffen können.«** Auch Professor ten Hompel ist überzeugt »man wird damit Geld verdienen, dass man schneller und wandelbarer ist als alle anderen. Das ist die zentrale Herausforderung für den Industriestandort Deutschland und die Chancen stehen nicht schlecht, da unser Land über ein hohes Maß an Kreativität und Innovationspotenzial verfügt.« Mit der Überzeugung eines Weltmarktführers, der sich immer durch neue Innovationen behauptet, sagt Herr Bauer: **»Die intelligente Fabrik der Zukunft**

ist hochflexibel, hochproduktiv und ressourcenschonend. Industrie 4.0 adressiert nicht ausschließlich die Massenproduktion, sondern vor allem die Flexibilisierung der Produktion. Die Individualisierung (Losgröße 1) zu den ökonomischen Konditionen eines Massenherstellers wird Realität.«



Abbildung 48: In der Industrie 4.0 entscheiden miteinander vernetzte Menschen und Objekt kooperativ

Professor Kagermann sieht dabei »die größte Herausforderung in der Beherrschung der Komplexität. Wir sind schon weit in der Sensorik und in der Erfassung von Information. Jetzt müssen wir die Komplexität der vielen Systeme managen, die Informationen zusammenbringen und vereinfachen und die Schnittstelle zum Menschen hin bekommen. **Wir müssen die Informationsflut beherrschen und die Komplexität der Systeme managen.**« Professor Reinhart prognostiziert gute Chancen, mit modernen Verfahren der Informatik aus der Datenflut Wissen zu machen. »**Die entsprechenden Verfahren sind mittlerweile so reif, robust und leistungsfähig, dass sie in die sehr anspruchsvolle Welt der Produktion eingeführt werden können. Indem die intelligenten Verfahren der Informatik weiter integriert werden, kann in der Industrie 4.0 eine ganz andere Mächtigkeit an Information und Wissen genutzt werden.**« Professor ten Hompel verdeutlicht, was das für eine Veränderung für die Mitarbeiter ist. »Es werden heute sehr viele intuitive Entscheidungen getroffen, weil es an der Assistenz mangelt. Wir überfrachten heute den Menschen mit sehr vielen Informationen, die

er gar nicht sinnvoll verarbeiten kann, und verlangen von ihm Entscheidungen, die er gar nicht treffen kann. Lokale Entscheidungen müssen unterstützt werden, damit sie sinnvoll getroffen werden können.«

Professor Spath sieht durch die neue Datenqualität große Potenziale. »Mit Echtzeitfähigkeit kommen wir zu einer sehr viel besseren Entscheidungsgrundlage. Das ist der wesentliche Unterschied zur heutigen Produktion. Heute versuchen wir, mehr oder weniger erfahrungsbasiert, ein von der Planungsgrundlage her deterministisches System mit der Realität abzustimmen. Wir träumen davon, dass wir in der Industrie 4.0 ein lückenloses Abbild der Realität haben.« Dadurch »können CPS dazu beitragen, die Sicherheit und Verlässlichkeit von Informationsflüssen zu erhöhen und so einen Mehrwert, eine Stabilisierung der Prozessqualität, erzeugen«, so Herr Respondek-Osterloff.

Auf die Frage, ob die Produktion durch Industrie 4.0 teurer oder billiger wird, antwortet Professor Spath: »Teurer – zunächst einmal. Der Aufwand, den wir damit treiben, ist natürlich nicht unerheblich.« Im gleichen Atemzug zeigt er aber auch auf, warum es sich dennoch lohnen kann, Industrie 4.0 einzusetzen. »Wir müssen es schaffen, diesen Aufwand in unseren Produkten oder in dem Mehrwert durch Liefertreue wieder zum Ausdruck zu bringen.« Herr Glatz sieht das sogar noch positiver: »Wir kommen heute als Branche gesehen auf der Kostenseite immer stärker unter Druck. **Meine Hoffnung ist, dass durch die neuen Technologien wieder Kostenvorteile entstehen, dass Dinge wieder produzierbar werden, die heute mit zu hohen Kosten verbunden sind, die man durch eine intelligente Steuerung plötzlich auch im Hochlohnland Deutschland wieder produzieren kann.**«

Einen weiteren Punkt schneidet Herr Bauer mit Blick auf die Produktwelt von Trumpf an: »Zusammen mit internetbasierten Dienstleistungen werden neue Produkte und Geschäftsmodelle ermöglicht und die Wettbewerbsfähigkeit gesteigert. Die Produkte der CPS-Welt haben eine völlig andersgeartete, viel kleinteiligere Leistungsaustauschweise zum Benutzer und zum Kunden. Wir werden viel weniger die Situation haben, in der ein Kunde ein Produkt kauft, die gesamte Verantwortung übernimmt und wir dann noch den Service für teures Geld dazu liefern. Es wird eher die Leistung genommen und dafür bezahlt, so wie sie anfällt und weniger abschreibungsorientiert ein ganzes Produkt gekauft.« Auch wenn Herr Wolfgang Dorst, Bereichsleiter Industrie 4.0 im Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. BITKOM, meint: »**Wer heute bereits ein Geschäftsmodell hat, wird es zur Sicherung seines Wettbewerbsvorteils erst einmal zurückhalten.**«



## 11.4 Vieles ist schon da, bis zur vollständigen Umsetzung dauert es noch

»Industrie 4.0 ist in Teilen längst da. In heutigen modernen Produktionsanlagen finden sich viele Elemente davon. Deshalb ist es eben nicht so, dass man sagt: Jetzt geht Industrie 4.0 los. Sondern das ist vor Jahren losgegangen und die Frage ist, wie es weitergeht«, sagt Professor Broy. Herr Bauer geht etwas weiter ins Detail und sagt **»Ein Produktionssystem an ein Netzwerk zu bringen ist nicht revolutionär, das Internet als Vernetzung zu nehmen, ist auch nicht revolutionär. Aber alles zusammen ermöglicht Dinge, die es vorher nicht gab. Das ist auch der Punkt, an dem viele immer wieder anecken und sagen, das sind doch alles Dinge, die schon bekannt sind.«**

Bis die existierenden und neuen Bausteine als Gesamtheit ihre Wirkung entfalten, wird es aber noch etwas dauern. Dr. Mittelbach sieht eine große Herausforderung darin, die entstehende Komplexität zu beherrschen. »Letztlich dürfen die sogenannten autonomen Objekte, die sich da selbst vernetzen, trotzdem nicht aus dem Ruder laufen und das wird spannend. Wir sind auf dem Weg dahin. Einige behaupten, wir machen das alles schon. Stimmt so nicht, aber sicherlich ist es ein evolutionärer Prozess, der sowieso schon läuft.« Und Dr. Wittenstein ergänzt: »Die großen Daten werden vor Ort verarbeitet und es wird auf jeden Fall einen großen Datenzuwachs geben. **Die technologische Herausforderung besteht darin, diese Datenmengen schnell aufzubereiten und zu analysieren.**«

Natürlich spielt auch das Thema Sicherheit eine bedeutende Rolle. Doch als echtes Hindernis wird das Thema nicht betrachtet, wie der Münchner Informatikprofessor Broy beschreibt. **»Die Tatsache, dass wir heute mit solchen Problemen zu kämpfen haben, hat aber nichts damit zu tun, dass man solche Security-Probleme grundsätzlich nicht in den Griff bekommt. Wir nutzen viele Systeme, die zu einem Zeitpunkt entwickelt wurden, zu dem sie offline waren. Mit der Zeit wurden sie über das Internet vernetzt und jetzt kommt plötzlich jeder in die Systeme rein. Diese Systeme waren nie wirklich konsequent auf Security-Eigenschaften ausgerichtet.** Lange Rede kurzer Sinn: Ich halte das für technisch lösbar.« Professor Wahlster sieht die Thematik noch pragmatischer: »Man muss zunächst damit leben, dass es, wie in allen IT-Systemen, eine hundertprozentige Sicherheit bei solchen Smart Factories nicht geben wird. Doch ein professioneller Schutz des Internets der Dinge in den Fabriken ist durchaus möglich.« Und es gibt sogar positive Aspekte, wie Professor Reinhart herausstellt: »Wir haben gemerkt, dass das Thema Security mit Internetprotokollen unter Umständen besser darstellbar ist, als mit einem geschlossenen System.« Herr Feld bestätigt dies mit Blick auf die Cloud-Dienste und sagt: »Die objektive Sicherheit ist bei einem Cloud-Dienstleister viel höher, es gibt wesentlich mehr Sicherheitsvorkehrungen, als im eigentlichen Unternehmen.«

## 11.5 Über den Zeithorizont bis zur Industrie 4.0 gibt es verschiedene Meinungen

Darüber, wann die Industrie 4.0 umgesetzt sein wird, herrscht Uneinigkeit bei den Experten. »Das ist eine industrielle Revolution, die längst angefangen hat und zum Teil über uns herein- gebrochen ist, die umfassender wird und die noch mehr Energie mit sich bringt, aber vieles ist bereits unterwegs«, so Professor Broy. Und Professor Wahlster differenziert zwei Entwicklungs- stufen: »Ich denke, dass wir schon in fünf Jahren durch das Retrofitting von Bestandsfabriken mehrere Fabriken in Deutschland haben werden, die wesentliche Bausteine von Industrie 4.0 umsetzen. Bis sich die Technik aber flächendeckend durchgesetzt hat, muss man bestimmt eine Dekade rechnen.« Dr. Holfelder, eigentlich durch die schnelllebige Welt von Google geprägt, geht davon aus, dass **»die Heterogenität der IT-Strukturen, der Maschinen und der Vernetzungs- und Kommunikationsstandards im Produktionsumfeld dazu führen, dass die Produktion nicht innerhalb von fünf Jahren reagieren kann, sondern eher in 20 Jahren. Das heißt aber nicht, dass man 20 Jahre warten kann, bis man etwas tut. Man muss jetzt anfangen, damit es in 20 Jahren wirksam wird.«**

Was die Entwicklung ausbremsen könnte, ist »weniger der Stand der Technik, als der Stand unserer Fähigkeiten, diese Technik in einer sinnvollen Art und Weise zu kombinieren und einzusetzen«, so Professor Broy.

Daher ist es wichtig, dass wir beginnen »Inseln, also in Systemgrenzen zusammenwirkende Ele- mente, aufzubauen und zur Vollständigkeit zu bringen, die dann beweisen, wie gut sie sind«, so Professor Spath. Auch Professor Kagermann sieht das ähnlich: »Die Umsetzung von Industrie 4.0 sollte mit einer dualen Strategie erfolgen. Natürlich müssen wir radikal neue Lösungen für neue Märkte oder neue Standorte erforschen und entwickeln. Aber der Erfolg wird sich nur dann einstellen, wenn wir es schaffen, vorhandene Basistechnologien und Erfahrungen auf die Besonderheiten der Produktionstechnik anzupassen und schnell in die Fläche zu bringen. Auch das ist noch eine enorme Herausforderung, würde aber schnell sichtbare Erfolge produzieren und die Wirtschaft anspornen, hier noch stärker zu investieren. **Eine schrittweise Einführung von entsprechenden Modulen und Konzepten in bestehende Anlagen ist möglich. Nur eine evolutionäre Einführung ist praktikabel.** Trotzdem wird es in Summe zu einer fundamentalen Transformation führen, daher ist es richtig, von einer Revolution im positiven Sinne zu sprechen.«

Professor Spath geht davon aus, dass »wir in mittelständischen Unternehmen als Erstes erfolgreiche Beispiele finden werden. Dort sind zum einen die Randbedingungen bezüglich Variantenvielfalt und Kundenanforderungen so, dass Industrie 4.0 ihr volles Potenzial entfalten



kann und zum anderen sind dort auch die Möglichkeiten, das schnell umzusetzen.« Auch Dr. Holfelder sieht das ähnlich: **»Sobald die Vorteile greifbar sind, wird sich die Technologie auch durchsetzen. Dabei sind die Mittelständler oft die, die solche Dinge schneller umsetzen und mehr Risiko eingehen.«**

## 11.6 Industrie 4.0 als Chance für die deutsche Produktion

»In unseren Smart Factories werden wir konkurrenzfähige hybride Produkte herstellen: natürlich keine Trivialprodukte für den Massenmarkt, sondern komplexe, extrem hochwertige Produkte, in denen der IT-Innovationsanteil aufgrund einer Vielzahl eingebetteter und vernetzter Mikrosysteme sehr hoch sein wird«, so Professor Wahlster. Und Professor Broy betont, Deutschland habe gar keine andere Chance, als in der Innovation immer eine Nase voraus zu sein. **»Ich glaube, dass es eine Technologie ist, die sich schwer imitieren lässt, weil das solch eine vielschichtige multidisziplinäre Technologie ist«**, sagt der Informatikprofessor. Auch Herr Glatz sieht das so: **»Wenn wir Technologien einsetzen, die hier entwickelt und produziert werden, sehe ich Industrie 4.0 eher als Chance. Einfache Produktionstechnologien lassen sich einfach kopieren oder durch erhöhten Einsatz menschlicher Arbeit kompensieren.«**

Die Ausgangssituation ist für Deutschland dabei gut, da sind sich die Experten einig. **»Wir haben hier in Deutschland eine Spitzenstellung bei CPS. Es ist wichtig, diese Stellung weiter auszubauen«**, resümiert Professor Post. Professor Wahlster präzisiert: **»Deutsche Hersteller sind in einigen Bereichen der eingebetteten Systeme, der M2M-Kommunikation, der intelligenten Sensorik sowie der Aktuatorik bereits Weltmarkt- und Innovationsführer. Dies gilt es jetzt auch im Bereich der Cyber-Physischen Systeme zu realisieren. Wir haben in Deutschland das Ziel, Leitmarkt für Cyber-Physische Produktionssysteme zu werden. Das heißt, wir müssen unsere eigenen Fabriken schrittweise auf das neue Paradigma umstellen. Nur wenn wir im eigenen Land die Vorteile von Industrie 4.0 klar nachweisen, kann die Technologie auch zum Exportschlager werden.«** Herr Respondek-Osterloff warnt allerdings vor überzogenen Erwartungen – die Konkurrenz schlafe nicht. **»Deutschland sehe ich eher nicht als Leitanbieter für CPS, da es zu stark in den bestehenden Strukturen gebunden ist. Außerdem gäbe es ungelöste Probleme bei Datenschutz und Datensicherheit. Ich denke, dass Schwellenländer wie China da schneller und weiter sein können, weil sie bestimmte Entwicklungsschritte einfach überspringen.«**

Professor Wahlster fasst die Herausforderung für die Produktion der Zukunft zusammen: **»Um den Produktionsstandort Deutschland zu sichern, müssen wir die neue Generation digital veredelter Produkte weiterhin in Premiumqualität zu bezahlbaren Kosten in kleinen Losgrößen**

mit extremer Variantenvielfalt produzieren können. Um unseren Vorsprung in der Produktionstechnik halten zu können, müssen wir in Deutschland Vorreiter bei Industrie 4.0 sein und Cyber-Physische Produktionsanlagen zum Exportschlager des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus machen.«

## 11.7 Die Umstellung erfolgt schrittweise

Alle Experten sind sich einig, dass der erste Schritt sein muss, die Systeme selbst erfolgreich einzusetzen. Dazu sind aber noch einige Grundlagenarbeiten zu leisten. Zum einen wird es ein Umdenken der Verantwortlichkeiten geben müssen, wie Herr Feld herausstellt. *»Es gibt den IT-Verantwortlichen, der hat die ERP-Systeme unter sich und dann gibt's den Produktionsverantwortlichen, der hat den Rest. Wir stellen oft fest, dass die nicht so häufig miteinander reden, wie sie könnten. Hier ist ein Strategiewechsel notwendig.«* Zum anderen geht es um handfeste Technologie-Umstrukturierung. *»Im Moment entsprechen die Produktionssysteme, die wir bisher haben, noch nicht dem Standard, den wir für eine vernetzte Industrie 4.0 benötigen. Wenn wir von einer solchen Änderung hin zu einer vollständigen Vernetzung sprechen, reden wir von einem kompletten Redesign sämtlicher IT-relevanter Architektur in diesen Produktionssteuerungsanlagen.* Der Aufwand ist heute immens. Würde heute nur eine saubere Netztrennung von Office-IT und Produktions-IT in allen Daimler-Werken weltweit umgesetzt, dann wären wir bei einem mittleren dreistelligen Millionenbetrag. Das muss von vornherein ins Konzept eingeplant werden, nur dann kann es kostengünstiger werden«, sagt Herr Sachse.

Professor Broy ist sich aber sicher, dass es für einen Erfolg von Industrie 4.0 entscheidend sein wird, von Anfang an ein tragfähiges Gesamtsystem, »eine Architektur zu entwickeln, die Vernetzung und die Kombination aus zentralen und dezentralen Entscheidungen bestmöglich unterstützt. Wir müssen die Anforderungen verstehen. Wir müssen die Konzepte entwickeln, wie man die Möglichkeiten zusammenführt.«

Parallel zu dieser Grundlagenarbeit *wird es wichtig sein, dass »wir bei allen Initiativen bei Industrie 4.0 sehr frühzeitig schon verwertbare Ergebnisse rausbekommen. Wir müssen erkennen, wo die »low-hanging fruits« sind, die dann auch in Produkte und Dienstleistungen umgesetzt werden.* Sonst besteht die Gefahr, dass Industrie 4.0 so ein ähnliches Schicksal erleidet wie CIM, dass wir auf halber Strecke stehen bleiben«, so Herr Feld. Professor Spath konkretisiert: *»Es wird sehr wichtig sein, dass eine Reihe von Top-Unternehmen investieren und beweisen, dass es funktioniert und sich auszahlt. Hier hängt auch viel*

*von der angewandten Forschung ab. Das ist ein Unterfangen, das sehr viel Anschub braucht. Damit eben kein Henne-Ei-Problem entsteht.«*

*Dabei wird es wichtig sein, »nicht mit der 100-Prozent-Lösung anzufangen. Es ist wichtig, sich zu der Reise zu bekennen und dann schrittweise das, was machbar und realisierbar ist, an die Systeme anzupassen«,* so Dr. Holfelder. Auch Professor Bauernhansl warnt davor »à la deutscher Ingenieurgeist zu versuchen, eine hundertprozentige Lösung zu entwickeln. Wir sollten jetzt erst mal Lösungen entwickeln, die vielleicht zu 60, 70 Prozent dem entsprechen, was wir uns als Zielzustand vorstellen. Dann sollten wir diese umsetzen, Erfahrungen sammeln und weiterentwickeln.« »Bei der Umsetzung wird man klein anfangen, mit einer Maschine, einem Werkstück, einem Logistikprozess. Den größten Hebel dabei hat man bei den Maschinen, die einen großen Einfluss auf den Gesamtprozess haben und den Engpass darstellen«, konkretisiert Dr. Ferber.

Professor Spath lenkt den Blick auf einen anderen Bereich, der schnell realisierbar ist. **»Wir müssen schauen, dass wir in den sehr stark menschenzentrierten Bereichen mit den Mobilgeräten schon die ersten Erfolge vorweisen. Dort können wir sehr viel schneller ins Rollout kommen.** Die Menschen dafür ausbilden, ihnen die Gerätschaften in die Hand geben – die zum Teil ja auch Spaß machen und reizvoll für die Mitarbeiter sind. Hier könnte man es für einen Teilbereich angehen und dort die Systemgrenzen für die ersten Einführungen ziehen und schauen, wie man schalenförmig weiter vorgehen kann. Parallel zu der beschriebenen Entwicklungsphase der technischen Schritte wird es sehr wichtig sein, eine Kommunikation mit allen Stakeholdern und Beteiligten zu führen. Insbesondere mit Arbeitnehmervertretern und Wissenschaftsorganisationen.«

## 11.8 Neue Herausforderungen brauchen neue Qualifikationen

Um die beschriebene Umstellung zu realisieren und nach dem Industrie-4.0-Prinzip zu arbeiten, müssen die Mitarbeiter zusätzlich qualifiziert werden. Zum einen ergibt sich das aus den Marktanforderungen, die in den Kapiteln 1.3 und 8.7 beschrieben sind: 80 % der Befragten stimmen der Aussage zu, dass die Produktionsmitarbeiter für die Anforderungen des flexiblen Produktionseinsatzes der Zukunft qualifiziert werden müssen, vergleiche hierzu Abbildung 35 auf Seite 86. Sogar 86 % denken, dass sich die Produktion zukünftig häufiger an neue Produkte und Prozesse anpassen muss, wie Abbildung 43 auf Seite 107 veranschaulicht. Auch wenn die schnelle Anpassungsfähigkeit ein großer Vorteil der Menschen gegenüber einer automatisierten Produktion ist, müssen die Mitarbeiter hierfür zusätzlich qualifiziert werden.

#### Information

Professor Broy betont, dass sich die Anforderungen an die Qualifikation in kürzester Zeit ändern können: »Im Automobilbereich gibt es eine Studie von A.T. Kearney, die besagt, dass sich von 2010 bis 2025 der Anteil an Aufwand für Softwareentwicklung von 15 auf 25 Prozent erhöhen wird und das ist eine brutale Aussage. Das bedeutet, dass sich die softwarekompetenten Mitarbeiter innerhalb dieser Zeit fast verdoppeln müssen.«<sup>52</sup>

Wie Abbildung 49 zeigt, müssen die Mitarbeiter aber auch direkt für die Anforderungen, die die vierte industrielle Revolution mit sich bringt, qualifiziert werden – davon gehen 58 % der Befragten aus.

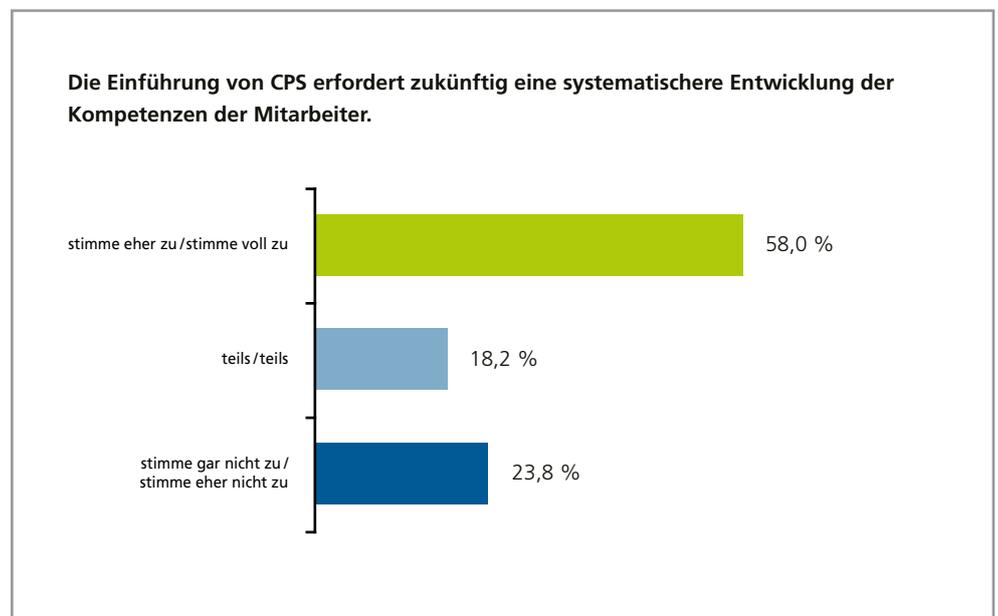


Abbildung 49: Für Industrie 4.0 müssen die Mitarbeiter qualifiziert werden

Den Grund dafür sieht Professor Broy darin, dass »fortgeschrittene Systeme eben sehr viele Fachkenntnisse erfordern, um sie zu betreiben und zu warten«. **»Ohne gut ausgebildete Mitarbeiter ist eine Smart Factory nicht zu betreiben. Ich halte die Vision einer komplett selbst konfigurierbaren und selbst reparierenden Fabrik für die nächste Dekade für unrealistisch«**, sagt der Experte für künstliche Intelligenz, Professor Wahlster. Wir brauchen Mitarbeiter, die »bei technischen Problemen in der Lage sind, etwa eine stillstehende Anlage, diese schnellstmöglichst wieder in Gang zu bringen«, so Herr Respondek-Osterloff.

<sup>52</sup> Bei der angesprochenen Studie handelt es sich um (A.T. Kearney; 2010).

**Professor Spath** geht auch davon aus, dass das Qualifikationsniveau steigen wird, dies aber mit der bisherigen Belegschaft machbar sein wird: »Wir müssen uns bewusst machen, dass es entscheidend ist, möglichst viele Menschen an die maximale Einsatzmöglichkeit ihrer Fähigkeiten zu bringen. Wir brauchen kein selektives, sondern ein förderndes Ausbildungssystem. Wir werden das lernen müssen, weil wir immer weniger werden und wir werden froh sein, wenn wir die Arbeitskraft an der richtigen Stelle haben. Wir diskutieren das heute mit hochqualifizierten Ingenieuren, wir diskutieren das auch schon mit Fachpersonal und wir werden es irgendwann auch mit den anderen diskutieren.«

**Herr Glatz** geht darauf ein, dass es immer noch viele Bereiche gibt, in denen auch die modernste Technik den menschlichen Fähigkeiten deutlich unterlegen ist und dass diese Fähigkeiten auch zukünftig benötigt werden: »Was ist Intelligenz? Ist Information zu haben, schon Intelligenz? Intelligenz setzt durchaus den Prozess voraus, Information zu haben und darauf zu reagieren. Intelligenz für technische Systeme bleibt trotz aller Vorteile aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz vorgedacht, wobei vielleicht noch das eine oder andere zusätzlich Wissen erworben werden kann. Der Mensch hat andere Intelligenzstrukturen und -fähigkeiten, die man nicht so leicht auf technische Systeme übertragen kann. Bezogen auf die Intelligenz, wird der Mensch technischen Systemen überlegen sein – auch im Jahr 2030. Die intelligenten Objekte werden nicht selber das ganze System managen. Dann wären es autonome automatische Fabriken, wo man vorne einen Fertigungsauftrag spezifiziert und hinten kommt das fertige Produkt raus und alles innendrin läuft vollautomatisch – von Maschinen gesteuert. Ich glaube, da müssen wir weiter als bis 2030 denken.«

**Brauchen wir nur noch hochqualifizierte Mitarbeiter?**

**Professor Bauernhansl** geht von einer deutlichen Höherqualifizierung aus: »Wenn wir das Thema CPS in Deutschland so umsetzen, wie wir das gerade diskutieren, dann wird es dazu führen, dass wir größtenteils hochqualifizierte Mitarbeiter haben werden. Ich glaube, da braucht man sich nichts vormachen. Insbesondere dann, wenn wir es schaffen, diese Mensch-Maschine-Kooperation hinzubekommen. Wenn der Roboter noch zusätzliche einfache Tätigkeiten übernimmt, dann geht's für die Menschen in Richtung Qualifikation. Natürlich können wir versuchen, die Qualifikationshürden etwas abzuschwächen, indem man da noch entsprechend unterstützt, zum Beispiel mit Datenbrillen die Arbeitsschritte einblendet. Aber in Summe werden wir einen Anstieg des Qualifikationsniveaus, insbesondere in den Hochlohnländern, sehen und in einigen Jahren wird es keine Jobs mehr für niedrig qualifizierte Arbeiter in der industriellen Produktion geben. Das ist meine feste Erwartung, wenn wir über einen Zeithorizont von 20 bis 30 Jahren sprechen.«

**Dr. Wittenstein** sieht in den Qualifikationsanforderungen keine Problem für die bisherigen Mitarbeiter: »Wir brauchen keine anderen Menschen. Vielleicht brauchen wir andere Ausbildungen. Wir brauchen nicht weniger oder mehr qualifizierte Mitarbeiter. Wir müssen verstehen, was wir schulen müssen. Wir müssen fundiertere Entscheidungen treffen. Die Dinge werden komplexer. Dann sind wir dankbar, dass wir dazu Unterstützung haben.«

### Vision Zukunft

Dr. Wittenstein zieht eine Analogie aus den bisherigen Erfahrungen, um die Herausforderungen für die Qualifikation der Zukunft greifbar zu machen: »Die Produktion wird sich neu erfinden müssen in diesem Kontext. Zum Beispiel hat die Einführung der CNC-Technik tief greifende Veränderungen gebracht. Vorher gab es dort Facharbeiter, die haben alles gefüllt und alles gesehen. Bei der CNC-Maschine muss man heute nur noch tippen.«

»Wir müssen die Informations- und die Produktionstechnik näher zusammenbringen und schon in der Ausbildung daran denken, diese Gebiete zu vereinen, beispielsweise in einer Ausbildung zum »Produktionsinformatiker«. Wir brauchen dort keine Informatiker – die werden nicht die Probleme der Produktion lösen. Wir müssen die Verständigung zwischen den Einzeldisziplinen weiter verstärken, damit die Probleme in eine Informatiksprache übersetzt werden können«, so bringt Dr. Wittenstein die Meinung einer Vielzahl der Experten auf den Punkt. Professor Broy sorgt sich: »Wie bekommen wir die tausende von Ingenieuren her, die nicht reine Maschinenbauer, sondern interdisziplinär sind, die Systems Engineering verstehen, die hybrid sind und wie bekommen wir überhaupt den großen Anteil an Informatik hin.« Herr Dorst geht davon aus, dass »wir keine neuen Ausbildungsberufe brauchen, sondern vielmehr eine Verknüpfung von bestehenden Ausbildungsgängen und Berufen schaffen müssen.« Professor Spath sieht das ähnlich. »Wir werden keine Studiengänge Industrie 4.0 schaffen, das ist keine Grundlagenausbildung. Sinnvoll ist es, kompakte zertifizierte Inhalte zu schaffen, die On-the-Job erworben werden können. Dies ermöglicht auch Wechselfähigkeit und Austauschbarkeit und macht eine Zusatzausbildung so zum Wert für die Mitarbeiter. Gleichwohl müssen wir Interdisziplinarität auf einem Niveau erreichen, in dem eben die unterschiedlichen Fachdisziplinen kreativ miteinander hirnieren können. Damit wirklich interessante neue Lösungen entstehen können und hierbei ist auch die Anpassung der Grundausbildung wichtig.«

Die Experten sind sich aber einig, dass diese formalen Weiterbildungen nur ein Teil der Ausbildung sein können. »Wir müssen uns klar machen, dass die Weiterbildung in der Zukunft ganz generell viel mehr On-the-Job stattfinden muss. Wir können es uns einfach nicht mehr leisten, Leistungsträger auf lange Zeit rauszureißen, auf die Schulbank zu setzen. Hierbei bieten die neuen Technologien wie Digitale Medien, Blended Learning, Distance Learning, etc. völlig neue Möglichkeiten. So nimmt das Gelernte Verbindung mit der Tätigkeit auf und kann bald eingesetzt werden. Wir nennen das Just-in-Time-Learning oder Just-in-Time-Training. Hierbei kann man entweder direkt bei der Lösung eines Problems unterstützen und so lernen, oder entsprechende Zeitlücken nutzen. Dies ist auch die einzige Möglichkeit, Mitarbeiter für immer kurzfristige, weniger planbare Einsätze mit wechselnden Inhalten zu qualifizieren«, fasst Professor Spath die allgemeine Meinung der Experten zusammen. Weiter sagt er: »Neben den Weiterbildungsmaßnahmen, die unmittelbar mit den Systemen zusammenhängen, müssen wir auch Verständnis für das Gesamtkonzept und die vernetzten Themen wecken. Für die Menschen wird nur dann ein Vertrauenshintergrund hinter dem Handeln entstehen, wenn sie verstehen, was sich hinten dran bewegt. Nur an dem Device die Knöpfe oder die Schieber am Touchscreen zu bewegen, das ist viel zu oberflächlich. Die Mitarbeiter müssen nachvollziehen können, was das insgesamt für den Zusammenhang bedeutet und was das für Folgen hat, wenn sie was wo bedienen.«



Professor Broy spricht eine weitere Herausforderung an. »Ein zweites Problem ist: Wie bekommen wir in den Vorstand eines beliebigen Maschinenbauunternehmens Fachleute rein, die etwas von Informatik verstehen? Die wirklich begreifen, was diese Technologie ihrem Unternehmen bringen kann.« Und Herr Respondek-Osterloff erzählt aus der eigenen Erfahrung bei Miele: »Ein hochautomatisiertes Produktionssystem stellt auch an die Führung besondere Anforderungen. Dem tragen wir Rechnung, indem wir unsere Meister und Vorarbeiter intensiv schulen und coachen und zwar mit Blick auf ein verändertes Verständnis von Führung zum Ausbau von Handlungsbefugnissen und Problemlösungskompetenz. Wir nennen dies ›Führen vor Ort‹.«

## 11.9 Wie sieht menschliche Arbeit in Zukunft aus? Besser? Schlechter? Anders!

Alle Technik hilft nichts, wenn die Mitarbeiter nicht mitziehen, dessen sind sich die Experten bewusst.<sup>53</sup> »Wir dürfen nicht vergessen, unsere Mitarbeiter auf die Reise mitzunehmen. Wir haben ein nicht unerhebliches Investment in Menschen zu betreiben, die mit der neuen Technik umgehen sollen. Auf lange Sicht werden sie diese hoffentlich lieben lernen und Vorteile daraus ziehen. Aber zunächst einmal ist ein unkomfortabler Buckel zu überwinden. Know-How-Gewinn, Einführungsprozesse, Change Management und und und«, so beleuchtet Professor Spath die Anforderungen aus arbeitswissenschaftlicher Sicht. »Akzeptanz wächst vor allem aus Kenntnis. Wenn der Mensch soweit qualifiziert ist, dass er das versteht, was in seiner Fabrik vorgeht, dann akzeptiert er das auch«, beschreibt Dr. Mittelbach die Situation. Professor Spath detailliert seine Aussage: **»Ich denke, dass es unsere Aufgabe sein wird, deutlich zu machen, welche Vorteile für den Einzelnen entstehen. Daher ist es wichtig, dass ein kooperatives System für die Mitarbeiter entsteht und kein diktierendes System, in dem die Mitarbeiter Entscheidungen des Systems ausführen müssen.«** Dr. Ferber blickt noch einen Schritt weiter in die Zukunft. »Wir werden hier auch einen Generationswechsel erleben. Die Digital Natives verstehen zum Beispiel nicht, warum sie mit ihrem Smartphone die Produktion nicht steuern können. Eventuell wird gerade das die Revolution auslösen, viel mehr als alles, was wir planen.« Und Professor Reinhart ist überzeugt: **»Ältere Mitarbeiter dürfen nicht nach dem Klischee betrachtet werden, dass sie völlig zugeknöpft gegenüber Software oder modernen Informations- und Kommunikationsmitteln sind. Sie müssen die Möglichkeit erhalten, sich mit den Dingen zu beschäftigen und werden dann auch Begeisterung zeigen.«**

### Vision Zukunft

*Dr. Holfelder erklärt am Beispiel Google Glass, wie die Arbeit in Zukunft unterstützt werden kann. »Google Glass kann zum Beispiel Hinweise ins Display der Brille einblenden. Seien es Anleitungen, wie ein bestimmter Arbeitsschritt vollzogen werden muss oder Hinweis darauf, was als Nächstes bearbeitet werden soll.«*

53 (Spath, Weisbecker; 2013) zeigt, wie Lösungen der Mensch-Technik Interaktion für die effiziente und vernetzte Produktion von morgen aussehen können.

Die Aufgaben der Menschen in der Industrie 4.0 werden sich definitiv ändern. »Wir werden im Schnitt höherwertige Arbeit erleben, daher brauchen wir Mitarbeiter, die dazulernen. Wenn wir durch Industrie 4.0 vorne am Markt bleiben, werden wir die Chance haben, eine bessere Beschäftigungssituation zu schaffen. Wir werden zum Beispiel ein Scheduling-Hilfsmittel zur Verfügung haben müssen, das uns zeigt, wie das Geschehen geschickt optimiert werden kann. Die Entscheidungen werden am Ende aber Menschen treffen. Das ist heute so und wird auch morgen nicht anders sein«, meint Professor Spath. Und Dr. Kurz sieht sogar Chancen, dass »Menschen, die heute gar nicht daran denken in der Produktion zu arbeiten, dieses Feld attraktiv finden. Produktion hat heute einen gewissen Geruch und den wird man eben auch nicht einfach los.« Auch Dr. Wittenstein zeichnet ein positives Bild der zukünftigen Produktionsarbeit. **»Die Menschen werden durch selbstverantwortliches Arbeiten eine höhere Befriedigung finden. Durch eine höhere Verfügbarkeit von Informationen vor Ort ist man besser in Prozesse involviert. Dies erleichtert den Einstieg in den schöpferischen Prozess, im Gegensatz zum bloßen Ausführen von erteilten Aufgaben.** Diese Autonomie führt zu einer höheren Identifikation mit der Arbeit.« Ermöglicht wird das gerade durch Technologien der Industrie 4.0, wie Professor Wahlster verdeutlicht. »Durch dezentrale Steuerung ergibt sich auch eine weniger strenge Taktung in der Produktion, sodass die Anlagen vermehrt dem Takt des Menschen folgen können. Das System kann mehr Rücksicht darauf nehmen, wenn der Mitarbeiter aus individuellen Gründen kurzzeitig einen Arbeitsvorgang einmal schneller oder langsamer durchführen möchte.«

Industrie 4.0 wird sich auch durch Unterstützung für die Mitarbeiter auszeichnen. Zum einen, weil die komplexeren Anlagen sie erforderlich machen, zum anderen aber auch, weil die neuen Technologien diese Unterstützung erst möglich machen. Auf diesen Themenkomplex gehen die Experten intensiv ein.

**»Meine Vermutung ist, dass der Mensch jetzt erstmalig Informationen so aufbereitet bekommt, dass er mit denen in der Fertigung semantisch umgehen kann, weil die Information auf die Abstraktionsebene heruntergebrochen ist, in der der Mensch denkt**«, beschreibt Dr. Ferber die Möglichkeiten. Konkret bedeutet das für Professor Post: »intuitives Bedienen und intuitives Vorgehen muss eine Anlage zukünftig gestatten. Sodass jemand, der noch nie in diesem Kontext gearbeitet hat, trotzdem geführt wird und in der Lage ist, ein für ihn unbekanntes Terrain zu bearbeiten.«



Professor Wahlster sagt mit Blick auf die alternde Gesellschaft: *»Wir wissen, dass Fachkräfte aufgrund des demografischen Wandels in Zukunft wahrscheinlich länger arbeiten müssen. Dafür brauchen wir eine Fähigkeitsunterstützung mithilfe einer neuen Generation industrieller Assistenzsysteme im physischen aber auch im kognitiven Bereich, damit auch ältere Arbeiter ihre immer komplexeren Aufgaben ohne Gesundheitsbelastungen und mit Freude an der Arbeit bewältigen können.«* »In Summe werden wir langfristig wieder mehr Automatisierung haben. Es wird mehr Unterstützung bei den Montagetätigkeiten geben, um zum Beispiel ergonomisch ungünstige Bewegungen zu vermeiden«, meint Herr Respondek-Osterloff.

Beim Umgang mit der neuen Technik durch alternde Mitarbeiter sieht Professor Spath aber keine großen Probleme. *»Das hängt sehr stark mit der Motivation durch Nutzen zusammen. Ich glaube nicht, dass wir in der Bedienung von solchen Gerätschaften »geriatrische Lösungen« anbieten müssen. Das, was ergonomisch richtig ist für Ältere, ist auch für die Jungen richtig. Daher denke ich nicht, dass es da eine wesentliche Differenz gibt.«*

## 11.10 Der Mensch nimmt eine zentrale Rolle in der Industrie 4.0 ein

Was bedeutet das letztendlich für die menschliche Arbeit in der Produktion der Zukunft. Wie viel wird auf lange Sicht die Technik übernehmen? Und wie viele Mitarbeiter braucht ein Unternehmen noch? Bei vielen kommen Bilder der menschenleeren Fabriken aus der CIM-Zeit auf, wenn man über die neuen Möglichkeiten hört.

Die Experten gehen aber nicht von diesem Szenario aus. *»Bei der Konstruktion von CIM hatte man den Menschen eher vergessen und hatte den Computer in den Mittelpunkt gestellt und nicht das System. Teil des Systems ist, dass man eben nicht alles technischen Systemen überlassen kann«,* so Herr Glatz. *»Heute im Zeitalter von Industrie 4.0 soll es so sein, dass die Maschine ein gleichberechtigter Partner zum Mitarbeiter ist. Also der Mitarbeiter kann beispielsweise sagen, halte mir bitte das Werkstück, was ich bearbeite so und so und die Maschine tut das«,* zeichnet Herr Feld ein Bild der Zukunft. Professor Spath sieht den Menschen als *»führende Entscheidungsinstanz«* und Professor Wahlster geht nicht davon aus, dass *»Industrie 4.0 eine Entlassungswelle generieren wird. Sondern kurzfristig kann der Einsatz*

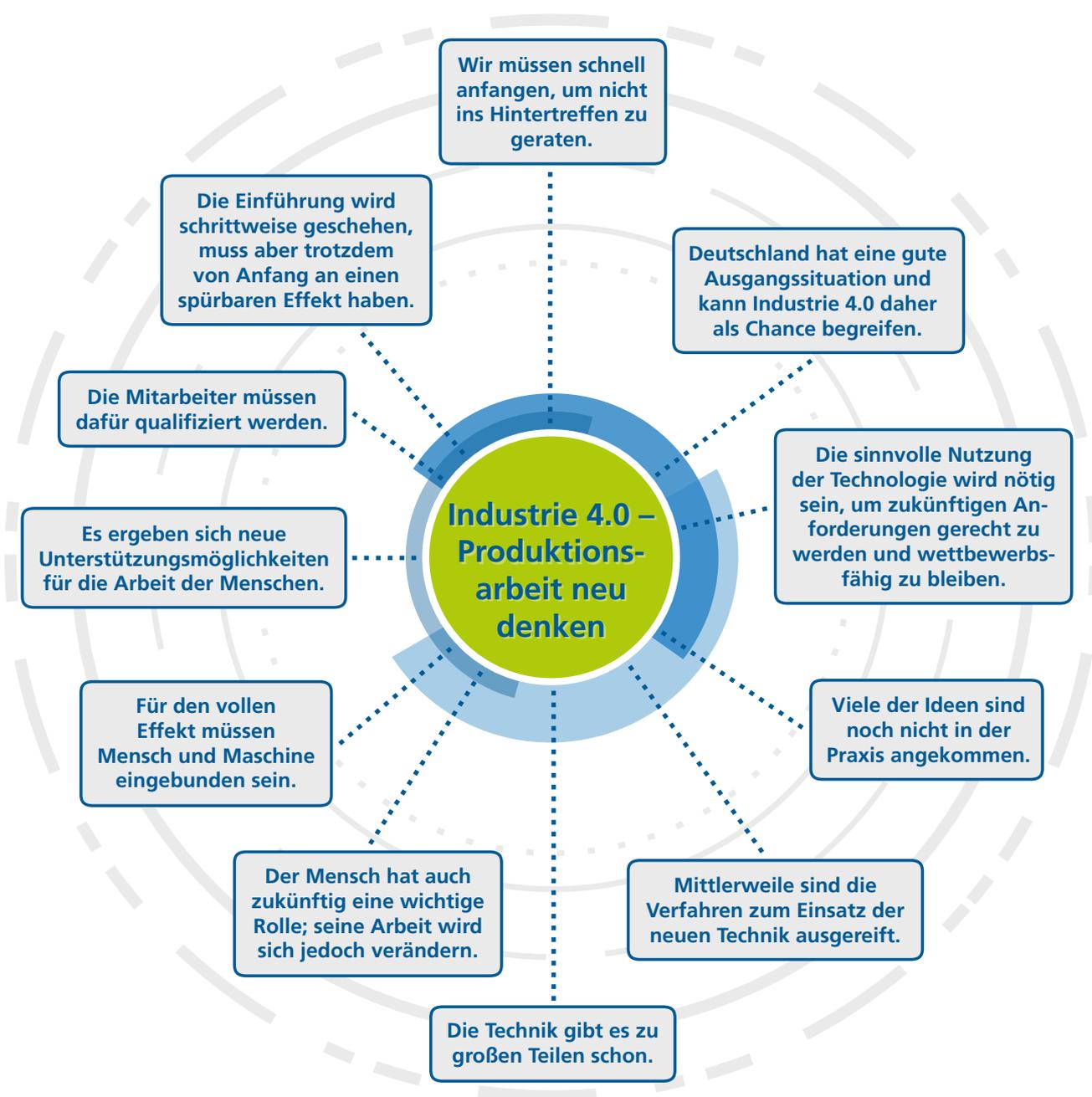
### Vision Zukunft

*Professor Wahlster vom DFKI beschreibt ein gemeinsames Arbeiten von Mensch und Maschine in der Zukunft: »Ein wichtiger Trend sind die humanoiden Leichtbauroboter in der Smart Factory, die mit dem Facharbeiter zusammen kollaborativ Produktionsarbeiten verrichten können. Der Roboter arbeitet also nicht mehr abgeschirmt von Menschen in seiner Zelle, sondern wird zum Assistenten für den Facharbeiter und hilft diesem bei der Arbeit.«*

von Industrie 4.0 sogar zu einem Mehrbedarf an Fachkräften in Kombination mit größeren Entscheidungsspielräumen, höherer Arbeitszufriedenheit und höherer Produktivität führen.«

Gleichwohl sagt Professor Kagermann. »Es wird immer mehr Bereiche geben, die so hoch automatisiert sind, dass sie weitestgehend ohne menschliche Interaktion ablaufen. Natürlich führen Mitarbeiter auch weiterhin physische Tätigkeiten aus. Sie werden aber noch mehr unterstützt durch physische Assistenzsysteme, die als Fähigkeitsverstärker dienen. Das verschafft erweiterte Entscheidungs- und Beteiligungsspielräume. **Neue IKT-Technologien werden enorm zur Entscheidungsunterstützung beitragen**, zum Beispiel durch maschinelle Extraktionen von Informationen aus unstrukturierten Daten, explorative Suche in riesigen Datenmengen oder Fusionen von Sensordaten. **Die letzte Entscheidung wird aber nach wie vor der Mensch treffen.**«

Bei allen Möglichkeiten, sagt Professor Wahlster, mit all seiner Erfahrung auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz, sehr deutlich, »**nach über 35 Jahren Forschung im Bereich künstliche Intelligenz bin ich überzeugt, dass jeder Grundschüler selbst den besten intelligenten Computersystemen bezüglich seiner Alltagsintelligenz überlegen ist. Bei Entscheidungen unter Unsicherheit, die nicht einem klaren Muster folgen, und im sensor-motorischen Bereich haben Menschen daher einen klaren Vorteil selbst gegenüber den leistungsfähigsten Maschinen aus dem KI-Bereich.**«



# Was auf uns zukommt

## 12 Die Studienergebnisse im Überblick

Ein intakter und innovativer Produktionssektor ist ein Garant für die stabile Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft. Dies hat nicht zuletzt der Verlauf der letzten Jahre mit der größten Wirtschaftskrise nach dem zweiten Weltkrieg und der anschließenden rasanten wirtschaftlichen Erholung verdeutlicht. Daher wird es für Deutschland auch zukünftig wichtig sein, Produktion konkurrenzfähig im Land zu halten.

Die Anforderungen an die Produktion der Zukunft sind gewaltig. Die Entwicklung hin zu immer volatileren Märkten, das Wachstum neuer – global agierender – Marktteilnehmer, schnelllebigere Absatzmärkte, kundenspezifische Produkte und immer diffizilere Produktionsprozesse ist schon heute zu erkennen. Gleichzeitig gilt es, das Niveau der Produktivität und Qualität unverändert hoch zu halten. Dies erfordert flexiblere und reaktionsfähigere Produktionssysteme und -mitarbeiter.

Aktuell hält das Internet Einzug in die Fabrikhallen. Und auch wenn es heute vielerorts noch schwer vorstellbar ist, dass sich die konventionelle Steuerungskaskade in ein Internet der Dinge und Dienste überführen lässt, zeigen doch die Erfahrungen aus dem Bereich der Wissensarbeit, dass eine echtzeitnahe Verknüpfung vieler Objekte neue Geschäftsmodelle hervorbringen kann. Noch vor zehn Jahren war es für die Wenigsten vorstellbar, dass Unternehmen wie Apple, Amazon, Facebook und Google nicht nur mit dem Internet Geld verdienen, sondern im Wert sogar etablierte Firmen weit übertreffen. Heute sind die genannten vier Firmen allein insgesamt über 600 Milliarden Euro wert (Börsenwert am 30.04.2013). Aber auch hier hat es eine Dekade gebraucht, um aus Visionen und Ideen tragfähige Geschäftsmodelle und bares Geld zu machen. Ähnliches ist für die Nutzung intelligenter Objekte in den Fabriken von morgen zu erwarten.

Neue Wege, den Herausforderungen der Zukunft gerecht zu werden, verspricht die internetfähige Industrie 4.0. Zu deren revolutionären Technologien zählen Cyber-Physische Systeme, aber auch aktuelle technische Entwicklungen wie die Nutzung von Mobilgeräten und Social Media – auch im Produktionsbereich. Die meisten Experten sind sich einig, dass eine konkurrenzfähige Produktion – gerade im Hochlohnland Deutschland – zukünftig diese neuen Möglichkeiten intelligent nutzen muss. Die Ausgangsbasis Deutschlands ist gut, Deutschland hat einen starken, global konkurrenzfähigen Produktionskern und nimmt nicht nur im Bereich eingebetteter Systeme weltweit eine Vorreiterrolle ein. Es kommt nun für die deutsche Wirtschaft darauf an, in dieser Entwicklung ihren Innovationsvorsprung weiter auszubauen, und das Thema Industrie 4.0 für einen echten Wettbewerbsvorteil zu nutzen.

Die vorliegende Studie zeichnet ein Bild der Anforderungen und Möglichkeiten der Zukunft und legt einen wichtigen Grundstein, die zukünftige Entwicklung aktiv zu gestalten. Momentan stecken wir mitten in den Anfängen einer vierten industriellen Revolution. Viele neue Möglichkeiten ergeben sich und sollten genutzt werden.

Industrie 4.0 wird beispielsweise Automatisierungslösungen zukünftig universeller, sicherer und anpassbarer gestalten und somit auch für immer kleinere Serien nutzbar machen. In vielen Bereichen werden sie verstärkt zum Einsatz kommen und Mitarbeiter wirkungsvoll entlasten. Die extremen Flexibilitätsanforderungen der Zukunft markieren allerdings die Grenzen der Automatisierung einer kundenindividuellen Produktion. Vollautomatische Produktionshallen werden auf absehbare Zeit nur für spezielle Anwendungsfälle möglich sein.

Industrie 4.0 ermöglicht – als weiteres Beispiel – durch die umfassende Bestückung der Produktion mit Sensorik und die durchgehende Vernetzung intelligenter Objekte, Produktionsdaten in einer völlig neuen Qualität. Es entsteht ein echtes Abbild der Produktion, als wesentliche Voraussetzung für eine neue, dezentrale und echtzeitfähige Produktionssteuerung. Eine derartige Produktionssteuerung kann zukünftig viel kurzfristiger mit ungleichmäßiger Auslastung zurechtkommen und komplexere Entscheidungen in einem kundenindividuellen Produktionsumfeld dezentral treffen. Diese Dezentralisierung verlangt eine aktuelle Datengrundlage, die umfassende Vernetzung sowie eine schnelle Kommunikation um übergreifende Abläufe und Prozesse zu kontrollieren und zu koordinieren. Trotz intelligenter Technologien werden die Menschen weiter die wichtigste Kontroll- und Entscheidungsinstanz bleiben. Auch hier bietet die Industrie 4.0 neue Möglichkeiten. Mitarbeiter nutzen zukünftig verstärkt mobile Endgeräte die sie mit maßgeschneiderten Informationen versorgen um schnell und effizient komplexe Entscheidungen fundiert zu treffen, die Maschinen auch in absehbarer Zeit nicht übernehmen können.

Daher wird menschlicher Arbeit auch weiterhin eine wichtige Rolle zukommen, um Flexibilität und Produktivität zu gewährleisten und Entscheidungen zu treffen. Eine erfolgreiche Produktion beruht auch zukünftig auf qualifizierten und motivierten Mitarbeitern.

Die zukünftige Bedeutung des Menschen zeigt sich auch daran, dass fast alle befragten Unternehmen die Personalflexibilität für besonders wichtig für die Wettbewerbsfähigkeit ihres Unternehmens halten. Die Bedeutung und die Anforderungen an die Personalflexibilität

werden in Zukunft weiter steigen. Flexibilität ist einer der Megatrends der Zukunft und kann in der zukünftigen Form mit den aktuellen Flexibilitätsinstrumenten nicht abgedeckt werden. Unternehmen müssen frühzeitig anfangen, die Weichen für die Zukunft zu stellen, Mitarbeiter ausreichend zu qualifizieren und sich auch über neue Instrumente Gedanken zu machen – wie zum Beispiel über die direkte, kooperative Abstimmung der Mitarbeiter über die Aufgaben- und Schichtverteilung.

In einem Punkt sind sich alle Experten einig: Die vierte industrielle Revolution wird revolutionäre Auswirkungen auf die Produktion in Deutschland haben; die Ausbreitung wird jedoch evolutionär sein. Um es genau zu nehmen, stecken wir schon mitten in dieser Entwicklung. Diese Studie schafft eine Arbeitsgrundlage für die aktive Gestaltung der vierten industriellen Revolution und zeigt deren erwartete Auswirkungen auf die Produktionsarbeit der Zukunft. Dazu haben wir die Anforderungen der zukünftigen Produktionsarbeit ermittelt und in acht Thesen zusammengefasst und beschrieben.

## 13 Thesen zur Produktionsarbeit der Zukunft

Die zentralen Ergebnisse der Studie lassen sich in acht Hauptaussagen zur Erwartungshaltung an die Produktionsarbeit der Zukunft zusammenfassen:

- Automatisierung wird für immer kleinere Serien möglich – dennoch bleibt menschliche Arbeit weiterhin wichtiger Bestandteil der Produktion.
- Flexibilität ist nach wie vor der Schlüsselfaktor für die Produktionsarbeit in Deutschland – in Zukunft aber noch kurzfristiger als heute.
- Flexibilität muss in Zukunft zielgerichtet und systematisch organisiert werden – »Pauschal-Flexibilität« reicht nicht mehr aus.
- Industrie 4.0 heißt mehr als CPS-Vernetzung. Die Zukunft umfasst intelligente Datenaufnahme, -speicherung und -verteilung durch Objekte und Menschen.
- Dezentrale Steuerungsmechanismen nehmen zu. Vollständige Autonomie dezentraler, sich selbst steuernder Objekte gibt es aber auf absehbare Zeit nicht.
- Sicherheitsaspekte (Safety und Security) müssen schon beim Design intelligenter Produktionsanlagen berücksichtigt werden.
- Aufgaben traditioneller Produktions- und Wissensarbeiter wachsen weiter zusammen. Produktionsarbeiter übernehmen vermehrt Aufgaben für die Produktentwicklung.
- Mitarbeiter müssen für kurzfristigere, weniger planbare Arbeitstätigkeiten On-the-Job qualifiziert werden.

## 14 Nächste Schritte auf dem Weg zur Produktionsarbeit der Zukunft

Die aktuelle Situation ist charakteristisch für den Beginn eines Umbruchs: Die Vorstellungen der Zukunft gehen stark auseinander und sind häufig auf einem Abstraktionsniveau, das nur bedingt handlungsleitende Schritte ableiten lässt.

In der vorliegenden Studie kommen unterschiedliche Visionen und absehbare Trends zum Ausdruck. Niemand wird in der aktuellen Situation mit Sicherheit voraussagen können, wohin sich die Produktionsarbeit entwickelt. Eines aber ist für alle Experten klar: Die Zeit ist reif, die Zukunft zu gestalten. Es wäre eine vergeudete Chance, diese Gestaltungsmöglichkeit nicht zu nutzen.

Auf Basis der Ergebnisse der Studie startet das Fraunhofer IAO im Sommer 2013 das »Innovationsnetzwerk Produktionsarbeit 4.0«, in dem Industrieunternehmen und Forschungspartner gemeinsam an konkreten Antworten und wirtschaftlichen Lösungen für die Zukunft der Produktionsarbeit in Deutschland arbeiten. Mit dem »Zukunftslabor Industrie 4.0« schafft das Fraunhofer IAO die Möglichkeit, reale Anwendungsfälle für Ihre Produktion nach dem Industrie-4.0-Prinzip zu erforschen und praxistauglich umzusetzen.

Seien Sie dabei, wenn die Zukunft der Produktionsarbeit gestaltet wird! Wir laden Sie ein, sich unter [www.produktionsarbeit.de](http://www.produktionsarbeit.de) über die aktuellen Entwicklungen zu informieren und sich an der Gestaltung der Zukunft zu beteiligen.



PRODUKTIONS  
ARBEIT 4.0 

# Anhang

## Wer wir sind

Das Competence Center Produktionsmanagement des Fraunhofer IAO gestaltet und optimiert Produktions- und Auftragsabwicklungsprozesse mit dem Schwerpunkt Montage. Unser Leistungsangebot erstreckt sich von der Analyse und Optimierung von Geschäftsprozessabläufen über Change Management bis hin zur Planung von Produktionssystemen. Der Erfolg des Kunden steht für unsere Mitarbeiter als Ziel stets obenan – dafür kombinieren wir in der Arbeit Kreativität mit systematischem Vorgehen. In unseren Projekten legen wir Wert auf eine partnerschaftliche Zusammenarbeit mit allen Unternehmensebenen. Die folgenden innovativen Themen stehen im Mittelpunkt unserer Beratungs- und Forschungsarbeit.

### Wertstrom-Engineering – schlanke Produktion im Kundentakt

Mit Wertstrom-Engineering können Unternehmen ihre Produktionssysteme und Wertschöpfungsketten effizient und zugleich maßgeschneidert gestalten. Die Methode basiert auf dem Wertstrom-Design und berücksichtigt zusätzlich die Anforderungen der Einzel- und Kleinserienfertigung mit hoher Typen- und Variantenvielfalt. Das Vorgehen des Wertstrom-Engineerings hilft, alle Produktionsprozesse – vom Auftragseingang bis zur Auslieferung – zu optimieren und am Kundenbedarf auszurichten. So verbessert sich nicht nur die Ablauforganisation, sondern auch die Liefertreue zum Kunden.

### Industrie 4.0 – vernetzte Produktion der Zukunft

Industrie 4.0 umfasst die intelligente Vernetzung von Objekten in der Produktion. Im Jahr 2020 werden weltweit 50 Milliarden vernetzte Geräte dazu führen, dass die Produktion anders aussieht als heute. Technologien werden mobil, Flexibilität wird kurzfristiger, Qualifikation erfolgt direkt. Neue und wandelbare Produktionsstrukturen, vernetztes Lean Management und schlanke ERP-Systeme werden möglich. Zusammen mit Ihnen entwickeln wir wirtschaftliche Anwendungsfälle und neue Geschäftsmodelle für Ihre Produktion der Zukunft.

### Schnelle Produktentstehung beherrschen

Steigende Komplexität und Produktvarianz, abnehmende Produktlebenszyklen und schnelle Technologiesprünge verlangen neue Formen der Zusammenarbeit zwischen Produktentwicklung und Produktion. Die heutige Situation ist charakterisiert durch organisatorische Schnittstellen, Abstimmungsaufwände und Wartezeiten. Zukünftige Produkte werden hingegen

wertstromorientiert gestaltet. Ihre Produktionsprozesse entstehen in enger Kooperation aller Bereiche in kommunikativen Raumumgebungen. Wir helfen Ihnen, Ihre Produktentstehungsprozesse, neue kommunikative Raumumgebungen und die passende IT-Unterstützung zu gestalten.

### **Montage in Perfektion**

Kleine Losgrößen, steigende Variantenvielfalt und kürzeste Lieferzeiten verlangen effiziente Montagesysteme mit einer Materialbereitstellung, die auf kleine Produktionslosgrößen ausgerichtet ist. Welche Montagesysteme passen zu Ihren Anforderungen? Wir entwickeln mit Ihnen maßgeschneiderte Lösungen für wirtschaftliche Montagestrukturen und eine schlanke Materialbereitstellung. Gemeinsam mit Ihren Mitarbeitern gestalten wir durch Cardboard Engineering verschwendungsarme und ergonomische Montagearbeitsplätze. So können Sie auch zukünftig in Deutschland produzieren – wirtschaftlich, flexibel und nahe an Ihren Kunden.

### **Flexible Personalkapazitäten für Ihre Produktion**

Die richtige Personalflexibilität in der Produktion ist zukünftig ein unverzichtbarer Wettbewerbsvorteil in volatilen Märkten. Starke Absatzschwankungen – kurzfristig durch Projekte und Saisonalität, langfristig durch Konjunkturkrisen und Wirtschaftsbooms – müssen systematisch gemanagt werden. Doch wie viel Flexibilität braucht Ihr Unternehmen? Und welche sind die richtigen Flexibilisierungsinstrumente für Ihren Betrieb? Wir unterstützen Sie bei der Gestaltung der Personalflexibilität in Ihrem Unternehmen für schnelle Reaktionsfähigkeit, jederzeit optimale Personalkosten und langfristig sichere Beschäftigung. Richtig flexibel eben.

### **Produktionssysteme für den demografischen Wandel**

Alter(n)sgerechte Gestaltung von Produktionsarbeit bedeutet nicht nur, ältere Beschäftigte adäquat einzusetzen, sondern auch jüngere Beschäftigte motiviert und gesund zu halten. Vorrangiges Ziel ist und bleibt die Produktivität. Dazu kommen die Vermeidung von unnötigem Stress, ergonomische Gestaltung der Arbeit, lebenslanges Lernen und kooperative Führung. Gemeinsam mit Ihrer Produktionsleitung und den Mitarbeitern entwickeln wir betriebspezifische und praktikable Lösungen für die alter(n)sgerechte Gestaltung von Arbeitssystemen, Führungsrollen und Shopfloor Management.



*Dr. Sebastian Schlund*



*Manfred Bender*



*Oliver Ganschar*



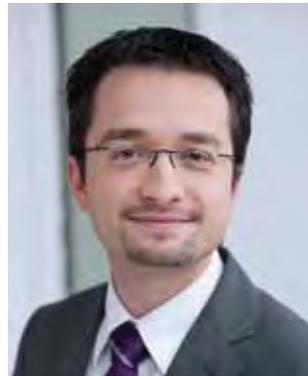
*Dr. Stefan Gerlach*



*Moritz Hämmerle*



*Axel Korge*



*Tobias Krause*



*Dr. Dirk Marrenbach*



*Regina Maucher*



*Bastian Pokorni*



*Peter Rally*



*Oliver Scholtz*



*Dr. Wolfgang Schweizer*



*Tobias Strölin*

**Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft  
und Organisation IAO**

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart  
Competence Center Produktionsmanagement

**Ansprechpartner**

CC Leitung  
Dr.-Ing. Sebastian Schlund  
Telefon +49 711 9702065  
sebastian.schlund@iao.fraunhofer.de

Assistenz  
Regina Maucher  
Telefon +49 711 970-2075  
regina.maucher@iao.fraunhofer.de



[www.produktionsmanagement.iao.fraunhofer.de](http://www.produktionsmanagement.iao.fraunhofer.de)

## Wem wir danken

Unser Dank gilt all denen, die zum Gelingen der Studie beigetragen haben:

1. Den 661 Personen, die sich die Zeit genommen haben, unseren Fragebogen umfassend auszufüllen.
2. Den Experten und die weiteren Interviewteilnehmer, die uns im persönlichen Gespräch ausführlich Rede und Antwort gestanden haben und mit Ihren Visionen und Meinungen dazu beigetragen sind, dass die volle Bandbreite der Diskussion um die vierte industrielle Revolution abgedeckt werden konnte. In alphabetischer Reihenfolge:
  - Klaus Bauer, Leitung Systementwicklung Basistechnologien der TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG.
  - Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl, Institutsleiter des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA.
  - Prof. Dr. Dr. h. c. Manfred Broy, Leiter des Lehrstuhl Software & Systems Engineering an der Fakultät für Informatik der Technische Universität München.
  - Dr. Bernhard Diegner, Leiter Abteilung Forschung, Berufsbildung, Fertigungstechnik des ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.
  - Wolfgang Dorst, Bereichsleiter Industrie 4.0 des Bundesverbandes Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. BITKOM.
  - Thomas Feld, Vice President der Scheer Group GmbH.
  - Dr. Stefan Ferber, Director Communities & Partner Networks der Bosch Software Innovations GmbH.
  - Prof. Georg Fundel, Geschäftsführer der Flughafen Stuttgart GmbH.
  - Michael Gassner, Centerleiter Beratung Aviation der Flughafen Stuttgart GmbH.
  - Florian Geiger, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München.
  - Rainer Glatz, Geschäftsführer der Fachverbände Elektrische Automation und Software beim Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA).
  - Dr. Wieland Holfelder, Engineering Director & Site Lead der Google Germany GmbH.
  - Adreas Haubelt, Mitarbeiter im Bereich System und Produktarchitektur der TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG.
  - Univ.-Prof. Dr. Michael ten Hompel, Institutsleiter des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik IML.
  - Prof. Dr. rer. nat. Dr.-Ing. E. h. Henning Kagermann, Präsident der acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V.

- Dr. Constanze Kurz, Gewerkschaftssekretärin beim Vorstand der IG Metall.
  - Dr. Klaus Mittelbach, Vorsitzender der Geschäftsführung des ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.
  - Prof. Dr. Peter Post, Leiter Corporate Research and Programme Strategy der Festo AG & Co. KG.
  - Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, Institutsleiter des Instituts für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb) der Technischen Universität München.
  - Dipl.-Math. Bernd Respondek-Osterloff, Koordinator des Miele Wertschöpfungssystem bei Miele.
  - Dr. Jochen Rode, Head of Digital Manufacturing im Bereich SAP Research der SAP AG.
  - Lüder Sachse, Senior Manager des IT Service Management der Daimler TSS GmbH.
  - Dr. Bernd Schimpf, Bereichsvorstand Mechatronik der Wittenstein AG.
  - Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Dieter Spath, Institutsleiter des Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO.
  - Prof. Dr. rer. nat. Dr. h. c. mult. Wolfgang Wahlster, Vorsitzender der Geschäftsführung und technisch-wissenschaftlicher Leiter des Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH, DFKI.
  - Dr.-Ing. E. h. Manfred Wittenstein, Vorstand Technologie und Innovation der Wittenstein AG.
3. Den fleißigen Händen, die zur inhaltlichen und grafischen Gestaltung beigetragen haben:
- Hartmut Buck und Alexander Karapidis vom Fraunhofer IAO für die kompetente Unterstützung bei der Erstellung und der statistischen Auswertung des Fragebogens.
  - Martin Feldwieser, der uns als wissenschaftliche Hilfskraft in der vollen Bandbreite von organisatorischen Aufgaben über die grafische Gestaltung bis hin zu den statistischen Auswertungen unterstützt hat.
  - Anette Grimmel und Franz Schneider vom Fraunhofer IAO für die Unterstützung bei der grafischen Gestaltung der Studie.
  - Hana Hammami, Ludmilla Parsyak, Tatiana Shumilina, Katharina Zachmann und Alina Zaretser, die uns als wissenschaftliche Hilfskräfte im Sekretariat durch ihre Unterstützung bei der Auswertung, ihre Korrekturen, ihre kreativen Ideen, die Verwaltung und Pflege von Adressen und vieles mehr wertvoll unterstützt haben.
  - Eva Mokhlis von Swabianmedia für die Umsetzung in ein gesetztes Dokument.
  - Martina Wolf von wort | text | bild für ihr aufmerksames Lektorat.
  - André Schulz und André Winzer von der Schaltzeit GmbH, für das prägnante Titelbild.

## Wie wir befragt haben

Der Fragebogenbefragung lag folgender Fragebogen zugrunde.

### Frageblock A: Fragen zu Ihrem Unternehmen

1.	<b>Welche Funktion üben Sie im Unternehmen aus?</b>	<input type="checkbox"/> Geschäftsführer	<input type="checkbox"/> Werkleiter	<input type="checkbox"/> Produktionsleiter		
		<input type="checkbox"/> Meister	<input type="checkbox"/> Betriebsrat	<input type="checkbox"/> andere: _____		
Hinweis: Wenn nicht anders angegeben, beziehen sich die folgenden Fragen dieses Fragebogens auf den Standort Ihres Unternehmens, in dem Sie tätig sind.						
2.	<b>In welcher Branche ist Ihr Unternehmen hauptsächlich tätig?</b>	<input type="checkbox"/> Maschinen- und Anlagenbau	<input type="checkbox"/> Automobilindustrie	<input type="checkbox"/> Elektrotechnik		
		<input type="checkbox"/> Konsumgüter	<input type="checkbox"/> Energietechnik	<input type="checkbox"/> Medizintechnik		
		<input type="checkbox"/> Gummi, Kunststoff	<input type="checkbox"/> andere: _____			
3.	<b>Wie würden Sie Ihre Produktion in Bezug auf den Automatisierungsgrad beschreiben?</b>	<input type="checkbox"/> rein manuell	<input type="checkbox"/> vorwiegend manuell	<input type="checkbox"/> hybrid	<input type="checkbox"/> vorwiegend automatisiert	<input type="checkbox"/> hoch automatisiert
4.	<b>Wie viele Produktionsmitarbeiter waren 2011 an Ihrem Standort beschäftigt?</b>	<input type="checkbox"/> 1 – 50	<input type="checkbox"/> 51 – 250	<input type="checkbox"/> 251 – 1000	<input type="checkbox"/> 1001 – 5000	<input type="checkbox"/> > 5000

### Frageblock B: Zukunft der Produktionsarbeit in Deutschland

Die folgenden Fragen beleuchten Ihre Einschätzung zur Zukunft der Produktionsarbeit in Deutschland.						
5.	<b>Wie schätzen Sie die folgenden Aussagen in Bezug auf Ihre Produktion ein?</b>	völlig unwichtig	unwichtig	teils/ teils	wichtig	sehr wichtig
5.1	Wie wichtig wird der Produktionsstandort Deutschland in fünf Jahren für Ihr Unternehmen?	<input type="checkbox"/>				
5.2	Wie wichtig wird menschliche Arbeit (Planung, Steuerung, Ausführung, Überwachung) in fünf Jahren für Ihre Produktion sein?	<input type="checkbox"/>				
5.3	Welchen Stellenwert nimmt die schnelle Reaktion auf Kundenanforderungen in fünf Jahren in Ihrem Unternehmen ein?	<input type="checkbox"/>				
6.	<b>Wie sehr stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?</b>	stimme gar nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/ teils	stimme eher zu	stimme voll zu
6.1	Die Nutzung von Social Media in der Produktion wird deutlich zunehmen.	<input type="checkbox"/>				
6.2	Produktionsmitarbeiter werden mobile Kommunikationstechnik zunehmend im Arbeitskontext nutzen.	<input type="checkbox"/>				
6.3	Der Begriff »Cyber-Physische Systeme« (CPS) und seine Bedeutung ist Ihnen bekannt.	<input type="checkbox"/>				

6.4	In den Produkten, die Sie herstellen sind CPS bereits implementiert, um diese Produkte mit Intelligenz auszustatten.	<input type="checkbox"/>				
6.5	Die Einführung von CPS erfordert zukünftig eine systematischere Entwicklung der Kompetenzen der Mitarbeiter.	<input type="checkbox"/>				

### Fragenblock C: Produktionssteuerung in Ihrem Unternehmen

In den nächsten Fragen geht es um die kurzfristige Produktionssteuerung in Ihrem Unternehmen.						
<b>7.</b>	<b>Aufwand und Potential</b>	sehr niedrig	niedrig	weder hoch noch niedrig	hoch	sehr hoch
7.1	Wie hoch ist bei Ihnen heute der Aufwand zur kurzfristigen Steuerung und Koordination der Produktion?	<input type="checkbox"/>				
7.2	Wie hoch schätzen Sie bei Ihnen das Potential frühzeitiger Informationen zur Vermeidung von kurzfristigen Eingriffen zur Produktionssteuerung ein?	<input type="checkbox"/>				
<b>8.</b>	<b>Wie stark machen die folgenden Faktoren kurzfristige Eingriffe in die Produktionssteuerung notwendig?</b>	sehr schwach	schwach	weder stark noch schwach	stark	sehr stark
8.1	a) Schlechte Qualität der Produktionsdaten	<input type="checkbox"/>				
8.2	b) Mangelnde Aktualität der Produktionsdaten	<input type="checkbox"/>				
8.3	c) Geringe Geschwindigkeit der Informationsweitergabe	<input type="checkbox"/>				
8.4	d) Falls vorhanden weitere und zwar: _____	<input type="checkbox"/>				
In der nächsten Frage haben wir Aussagen zusammengestellt, mit denen wir Ihre Einschätzungen zur Qualität der Produktionssteuerung aufnehmen.						
<b>9.</b>	<b>Wie sehr stimmen Sie den folgenden Aussagen in Bezug auf die heutige Produktionssteuerung in Ihrer Produktion zu?</b>	stimme gar nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/ teils	stimme eher zu	stimme voll zu
9.1	Wenn Informationen über Ereignisse frühzeitig verfügbar wären, könnten wir viel Zeit sparen.	<input type="checkbox"/>				
9.2	Ein Großteil der Ereignisse ist wiederkehrend und kann mit typischen Lösungen behoben werden.	<input type="checkbox"/>				
9.3	Heute werden viele Entscheidungen zum Umgang mit Ereignissen unnötigerweise in die Leitungsebenen eskaliert.	<input type="checkbox"/>				
9.4	In unserer Produktion können die meisten Ereignisse durch technische Systeme ohne menschliches Zutun erkannt werden.	<input type="checkbox"/>				

### Fragenblock D: Flexibilität Ihrer Produktionsmitarbeiter

In den folgenden Fragen geht es uns um ein Bild der heutigen Flexibilität beim Einsatz Ihrer Produktionsmitarbeiter und um Ihre Einschätzungen zur zukünftigen Entwicklung dieser Flexibilität.

10.	Bitte schätzen Sie die Bedeutung des flexiblen Einsatzes Ihrer Produktionsmitarbeiter für Ihre Wettbewerbsfähigkeit ein.	völlig unwichtig	unwichtig	teils/teils	wichtig	sehr wichtig
10.1	Wie wichtig ist der flexible Einsatz Ihrer Produktionsmitarbeiter heute?	<input type="checkbox"/>				
10.2	Wie wichtig wird der flexible Einsatz Ihrer Produktionsmitarbeiter in fünf Jahren?	<input type="checkbox"/>				
11.	Wie stark schwankt der personalseitige Kapazitätsbedarf in Ihrer Produktion heute?	sehr schwach	schwach	weder stark noch schwach	stark	sehr stark
11.1	a)... Schwankungen innerhalb eines Tages?	<input type="checkbox"/>				
11.2	b)... Schwankungen von Tag zu Tag?	<input type="checkbox"/>				
11.3	c)... Schwankungen von Woche zu Woche?	<input type="checkbox"/>				
11.4	d)... Schwankungen von Monat zu Monat?	<input type="checkbox"/>				
12.	Wie werden sich die Schwankungen des personalseitigen Kapazitätsbedarfs in Ihrer Produktion in fünf Jahren verändern?	nehmen stark ab	nehmen ab	bleiben gleich	nehmen zu	nehmen stark zu
12.1	a)... Schwankungen innerhalb eines Tages?	<input type="checkbox"/>				
12.2	b)... Schwankungen von Tag zu Tag?	<input type="checkbox"/>				
12.3	c)... Schwankungen von Woche zu Woche?	<input type="checkbox"/>				
12.4	d)... Schwankungen von Monat zu Monat?	<input type="checkbox"/>				
Im Folgenden haben wir Aussagen zusammengestellt, mit denen wir Ihre Einschätzungen zu den Flexibilitätsanforderungen in Ihrer Produktion aufnehmen.						
13.	Stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?	stimme gar nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll zu
13.1	Mit den in Ihrer Produktion bestehenden Regelungen zum flexiblen Personaleinsatz können Sie die heutigen Schwankungen des Absatzmarktes ohne Probleme abdecken.	<input type="checkbox"/>				
13.2	Um die Schwankungen des Absatzmarktes in fünf Jahren abdecken zu können, müssen die bestehenden Möglichkeiten zum flexiblen Personaleinsatz in Ihrer Produktion erweitert werden.	<input type="checkbox"/>				
13.3	Die Arbeitszeit Ihrer Produktionsmitarbeiter weicht heute mindestens einmal pro Woche um mehr als 30 Minuten von der Normalarbeitszeit ab.	<input type="checkbox"/>				
13.4	Heute arbeiten Ihre Produktionsmitarbeiter selten in anderen Organisationseinheiten, als in der Stammarbeitsgruppe.	<input type="checkbox"/>				
13.5	In fünf Jahren wird es häufig nötig sein, dass Ihre Produktionsmitarbeiter bedarfsweise in anderen Organisationseinheiten, als der Stammarbeitsgruppe arbeiten.	<input type="checkbox"/>				

13.6	Der Aufwand zur Steuerung der Personalkapazität in Ihrer Produktion ist heute zu hoch.	<input type="checkbox"/>				
13.7	Die Steuerung der Personalkapazität in Ihrer Produktion wird heute hauptsächlich von den Produktionsmitarbeitern übernommen, der Steuerer muss nur selten eingreifen.	<input type="checkbox"/>				
13.8	Um den Anforderungen an die Flexibilität des Personaleinsatzes in fünf Jahren gerecht zu werden...	<input type="checkbox"/>				
13.9	a)... müssen Ihre Produktionsmitarbeiter zusätzlich qualifiziert werden.	<input type="checkbox"/>				
13.10	b)... benötigen Sie die Möglichkeit, die Produktionsmitarbeiter kurzfristiger als heute einsetzen zu können.	<input type="checkbox"/>				
13.11	Heute ist es schwer, die Einhaltung von Kundenterminen einerseits und Mitarbeiterorientierung andererseits als Ziele beim flexiblen Personaleinsatz zu vereinbaren.	<input type="checkbox"/>				

### Fragenblock E: Konformität zu Normen und Richtlinien

Mit steigenden Kundenanforderungen nimmt bei vielen Unternehmen auch die Verbreitung von Normen und Richtlinien sowie die Dokumentation zur Einhaltung dieser Regeln zu.						
<b>14.</b>	<b>Wie sehr stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?</b>	stimme gar nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/ teils	stimme eher zu	stimme voll zu
14.1	Der Aufwand zur Dokumentation von Richtlinien und Normen übersteigt heute deutlich den Nutzen.	<input type="checkbox"/>				
14.2	Der Einsatz mobiler Endgeräte...	<input type="checkbox"/>				
14.3	a)... reduziert den Aufwand der Dokumentation drastisch.	<input type="checkbox"/>				
14.4	b)... verbessert die Qualität der Dokumentation stark.	<input type="checkbox"/>				
14.5	c)... eröffnet neue Möglichkeiten bei der Nutzung der aktuellen Produktionsdaten.	<input type="checkbox"/>				

### Fragenblock F: Zusammenarbeit von Produktion und Produktentwicklung

Produktion und Produktentwicklung werden in Zukunft stärker zusammenwachsen und auf die gleichen Ressourcen zugreifen müssen.						
<b>15.</b>	<b>Stimmen Sie folgenden Aussagen in Bezug auf Ihre Produktion zu?</b>	stimme gar nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/ teils	stimme eher zu	stimme voll zu
15.1	Die Übernahme von produktionsseitigen Aufgaben für die Produktentwicklung durch Produktionsmitarbeiter erzeugt heute hohe Abstimmungsaufwände.	<input type="checkbox"/>				
15.2	Erfahrungen aus der Produktion müssen schneller in die Produktentwicklung zurückgeführt werden als es heute der Fall ist.	<input type="checkbox"/>				
15.3	Die Produktion wird sich in den nächsten fünf Jahren häufiger an neue Produkte und Prozesse anpassen müssen.	<input type="checkbox"/>				

## Wen wir zitieren

(Abele, Reinhart; 2011)

Abele, Eberhard; Reinhart, Gunter: Zukunft der Produktion: Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen. München 2011.

(acatech, 2009)

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): Intelligente Objekte: klein, vernetzt, sensitiv: Eine neue Technologie verändert die Gesellschaft und fordert zur Gestaltung heraus (acatech bezieht Position). Berlin, Heidelberg, 2009.

(A.T. Kearney; 2010)

A.T. Kearney (Hrsg.): The Intelligent Car – Embedded Systems, a success story for the German job market, 2010.

(Broy; 2010)

Broy, Manfred: Cyber-Physical Systems: Innovation durch softwareintensive eingebettete Systeme. Heidelberg 2010.

(Broy, Geisberger; 2012)

Broy, Manfred; Geisberger, Eva: agendaCPS – Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems (acatech Studie). Berlin, Heidelberg [u.a.] 2012.

(Bullinger, ten Hompel; 2007)

Bullinger, Hans-Jörg; ten Hompel, Michael (Hrsg.): Internet der Dinge: [www.internet-der-dinge.de](http://www.internet-der-dinge.de). Berlin 2007.

(Bundesagentur für Arbeit; 2013)

Bundesagentur für Arbeit (Hrsg.): Der Arbeitsmarkt in Deutschland: Zeitarbeit in Deutschland – Aktuelle Entwicklungen, Nürnberg, 2013. [<http://statistik.arbeitsagentur.de/Statischer-Content/Arbeitsmarktberichte/Berichte-Broschueren/Arbeitsmarkt/Generische-Publikationen/Arbeitsmarkt-Deutschland-Zeitarbeit-Aktuelle-Entwicklung-1HJ2012.pdf>; Stand: 08.03.2013].

(BITKOM; 2012)

Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V. (Hrsg.): Leitfaden Social Media – Zweite, erweiterte Auflage, Berlin, 2012. [<http://www.bitkom.org/files/documents/LeitfadenSocialMedia2012%281%29.pdf>; Stand: 02.04.2013].

(Statistisches Amt der Europäischen Union; 2013)

Statistisches Amt der Europäischen Union – Eurostat [<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>; Stand: 26.04.2013].

(Deutsches Statistisches Bundesamt; 2013)

Deutsches Statistisches Bundesamt [[www.destatis.de](http://www.destatis.de); Stand: 03.03.2013].

- (Deutsches Statistisches Bundesamt; 2012)  
 Deutsches Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Statistisches Jahrbuch – Deutschland und Internationales. Wiesbaden 2012.
- (Eder; 2008)  
 Eder, Michael: Flexicurity – Verbindung von Flexibilität und sozialer Sicherheit am Arbeitsmarkt. Befunde aus der Praxis. Linz 2008.
- (Gausemeier, Wiendahl; 2010)  
 Gausemeier, Jürgen; Wiendahl, Hans-Peter (Hrsg.): Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland. acatech Workshop, Hannover 14.09.2010. Berlin, Heidelberg 2010.
- (IFO; 2012)  
 Ifo – Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München (Hrsg.): randstad-ifo-flexindex Ergebnisse 2. Quartal 2012, [[http://www.randstad.de/polopoly\\_fs/1.91388!/download/downloadFile/randstad-ifo-flexindex-Q2-2012.pdf](http://www.randstad.de/polopoly_fs/1.91388!/download/downloadFile/randstad-ifo-flexindex-Q2-2012.pdf); Stand: 22.05.2013].
- (Institut der deutschen Wirtschaft Köln; 2011)  
 Institut der deutschen Wirtschaft Köln (Hrsg.): Faktor Google – Wie deutsche Unternehmen Google einsetzen [<http://www.faktorgoogle.de/images/pdf/Studie.pdf>; Stand: 21.03.2013].
- (Lotter, Wiendahl; 2012)  
 Lotter, Bruno; Wiendahl, Hans-Peter (Hrsg.): Montage in der industriellen Produktion. Berlin 2012.
- (Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft; 2012)  
 Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft (Hrsg.): Im Fokus: Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Handlungsempfehlungen zur Umsetzung [[http://www.forschungsunion.de/pdf/kommunikation\\_bericht\\_2012.pdf](http://www.forschungsunion.de/pdf/kommunikation_bericht_2012.pdf); Stand: 03.04.2013].
- (Reilly; 2001)  
 Reilly, Peter: Balancing Flexibility – Meeting the Interests of Employer an Employee. Burlington 2001.
- (Roland Berger; 2013)  
 Roland Berger School of Strategy and Economics (Hrsg.): Thoughts – Konjunkturszenario 2013 [[http://www.rolandberger.de/media/pdf/Roland\\_Berger\\_RBSE\\_THOUGHTS\\_Megatrends\\_D\\_20120720.pdf](http://www.rolandberger.de/media/pdf/Roland_Berger_RBSE_THOUGHTS_Megatrends_D_20120720.pdf), Stand: 19.04.2013].
- (Schlick, Stephan, Zühlke; 2012)  
 Schlick, Jochen; Stephan, Peter; Zühlke, Detlef: Produktion 2020 – Auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. In: IM – Fachzeitschrift für Information Management und Consulting 27 (2012), Ausgabe 3, S. 26-33.

(Schröder; 2011)

Schröder, Christoph: Industrielle Arbeitskosten im internationalen Vergleich. In: IW-Trends, (2011), Ausgabe 4 [<http://www.iwkoeln.de/de/studien/iw-trends/beitrag/53454>; Stand: 04.03.2013].

(Sende u.a.; 2011)

Sende, Cynthia; Hasenau, Katharina; Galais, Nathalie; Moser, Klaus: Flexibler Mitarbeiterinsatz – Ergebnisse einer deutschlandweiten Unternehmensbefragung. In: Industrie Management 27 (2011), Ausgabe 4, S. 52-56.

(Spath; 2003)

Spath, Dieter (Hrsg.): Ganzheitlich produzieren – Innovative Organisation und Führung. Stuttgart 2003.

(Spath; 2008)

Spath, Dieter: Global Challenges and the Need for Enhanced Performance. Presentation: Professional Training Facts. Stuttgart 2008.

(Spath; 2009)

Spath, Dieter (Hrsg.): OFFICE 21®-Studie. Information Work 2009 – Über die Potenziale von Informations- und Kommunikationstechnologien bei Büro- und Wissensarbeit. Stuttgart 2009.

(Spath, Bauer, Hämmerle; 2013)

Spath, Dieter; Bauer, Wilhelm; Hämmerle, Moritz: Requirements for an Evaluation Model for the Proactive Management of Human Resource Capacity in Volatile Markets, ICPR22 Iguassu Falls. Brasilien 2013.

(Spath u.a.; 2012)

Spath, Dieter; Schlund, Sebastian; Gerlach, Stefan; Hämmerle, Moritz; Krause, Tobias: Produktionsprozesse im Jahr 2030. In: IM – Fachzeitschrift für Information Management und Consulting 27 (2012), Ausgabe 3/2012, S. 50-55.

(Spath, Weisbecker; 2013)

Spath, Dieter; Weisbecker, Anette (Hrsg.): Potenziale der Mensch-Technik-Interaktion für die effiziente und vernetzte Produktion von morgen. Stuttgart 2013.

(Takeda; 2004)

Takeda, Hitoshi: Das synchrone Produktionssystem: Just-in-time für das ganze Unternehmen. Frankfurt 2004.

(Wikipedia; 2013a)

Wikipedia, freie Enzyklopädie (Hrsg.): Social Media [[http://de.wikipedia.org/wiki/Social\\_Media](http://de.wikipedia.org/wiki/Social_Media); Stand: 03.03.2013].

(Wikipedia; 2013b)

Wikipedia, freie Enzyklopädie (Hrsg.): Volatilität [<http://de.wikipedia.org/wiki/Volatilit%C3%A4t>; Stand: 26.04.2013].

(Windelband, Spöttl; 2011)

Windelband, Lars; Spöttl, Georg: Konsequenzen der Umsetzung des „Internet der Dinge“ für Facharbeit und Mensch-Maschine-Schnittstelle. In: Frequenz Newsletter (2011), Seite 11-12 [[http://www.frequenz.net/uploads/tx\\_freqnewsletter/frequenz\\_newsletter2011\\_web\\_final.pdf](http://www.frequenz.net/uploads/tx_freqnewsletter/frequenz_newsletter2011_web_final.pdf); Stand: 07.01.2013].

(WWF; 2012)

WWF – World Wide Fund For Nature (Hrsg.): Living Planet Report 2012 – Biodiversity, biocapacity and better choices [[http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF\\_LPR\\_2012.pdf](http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF_LPR_2012.pdf); Stand: 06.03.2013].



## Impressum

### Kontaktadresse:

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und  
Organisation IAO, Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart  
www.iao.fraunhofer.de

Dipl.-Wirtsch.-Inform. Tobias Krause  
Telefon +49 711 970-2063, Fax -2099  
tobias.krause@iao.fraunhofer.de

Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek:  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation  
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografi-  
sche Daten sind im Internet über <http://www.dnb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-8396-0570-7

Produktion: Anette Grimmel, Fraunhofer IAO

Gestaltung:  
Swabianmedia – Büro für Kommunikation und Design

Titelfoto: Schaltzeit GmbH, Berlin © industrieblick (fotolia.  
com), wickedpix (istockphoto.com), Dmitry Kalinovsky,  
Baloncici (shutterstock.com)

### Bildrechte Inhalt :

Fotolia.com:  
Seite 17 © ehrenberg-bilder | Seite 25 © werlitzkai  
Seite 29 © volga1971 | Seite 33 Kzenon  
Seite 43 © ehrenberg-bilder | Seite 47 © Kadmy  
Seite 51 © Jürgen Effner | Seite 63 © violetkaipa  
Seite 68 © beermedia | Seite 74 © alphaspirit  
Seite 80 © Jürgen Priewe | Seite 87 © Gina Sanders  
Seite 91 © Gina Sanders | Seite 92 © Robert Kneschke  
Seite 97 © Kadmy | Seite 101 © industrieblick  
Seite 105 © カシス | Seite 109 © pressmaster  
Seite 119 © Nataliya Hora | Seite 121 © industrieblick  
Seite 127 © industrieblick | Seite 129 © Syda Productions

### Andere:

Seite 57 © Bernd Müller-Fotografie  
Seite 83 © Flughafen Stuttgart

### Druck und Weiterverarbeitung:

IRB Mediendienstleistungen  
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB,  
Stuttgart

Für den Druck des Buches wurde chlor- und  
säurefreies Papier verwendet.

© by Fraunhofer IAO, 2013

Verlag: Fraunhofer Verlag  
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB  
Postfach 800469, 70504 Stuttgart  
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart  
Telefon +49 711 970-2500, Fax -2508  
E-mail: [verlag@fraunhofer.de](mailto:verlag@fraunhofer.de)  
[www.verlag.fraunhofer.de](http://www.verlag.fraunhofer.de)

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich all seiner Teile urheberrechtlich  
geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen  
des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche  
Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Die  
Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen  
in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass  
solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und  
Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären  
und deshalb von jedermann benutzt werden dürften. Soweit  
in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften  
oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus  
ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für  
Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.



Volatilere Märkte, neue – global agierende – Marktteilnehmer, kundenspezifische Produkte und immer diffizilere Produktionsprozesse werden die Zukunft prägen. Neue Wege, den Herausforderungen der Zukunft gerecht zu werden, verspricht die internetfähige Industrie 4.0. Zu deren revolutionären Technologien zählen Cyber-Physische Systeme, intelligente Objekte, aber auch aktuelle technische Entwicklungen wie die Nutzung von Mobilgeräten und Social Media im Produktionsbereich. Die meisten Experten sind sich einig, dass konkurrenzfähige Produktionssysteme und -mitarbeiter zukünftig diese neuen Möglichkeiten intelligent nutzen müssen.

Die Studie »Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0« gibt Antworten, unter anderem auf folgende Leitfragen:

- Welche Entwicklung der Produktionsarbeit erwarten deutsche Produktionsunternehmen?
- Welche Lösungsansätze für erfolgreiche Produktionsarbeit ergeben sich durch den Einsatz neuer Technologien wie Mobilgeräten, Cyber-Physischen Systemen (CPS) und Social Media in der Produktion?
- Wie wird sich der Megatrend Flexibilität auf die Produktionsarbeit auswirken?

Damit schafft diese Studie eine Arbeitsgrundlage für die aktive Gestaltung der vierten industriellen Revolution und unterstützt somit Unternehmen auf ihrem Weg in die Industrie 4.0.

Die Studie wendet sich an Leser aus dem produzierenden Gewerbe sowie technologieorientierten Branchen. Im Besonderen sind Führungskräfte, Fachkräfte und Berater angesprochen sowie alle Personen, die an einem Zukunftsbild der Produktionsarbeit in Deutschland interessiert sind oder dieses mitgestalten wollen.