

- Fertigungstechnologie und Arbeitsvorbereitung zur Vorgabe von Sensordaten,
- Service zur Definition der Monitoring-Parameter,
- Fertigungssteuerung zur Vorgabe von Routings,
- Qualitätsanalyse zur Vorgabe von Eingriffsgrenzen.

Je nach Art der Aufgabenstellung wechselt die Verantwortung auf eine Rolle, während die anderen Rollen in einen Servicemodus wechseln.

Dies sollte zu konsequenten Produkt-Prozess-Organisationsmodellen führen, die jedoch insbesondere in Deutschland nur sehr wenig zum Einsatz kommen. Eine Hauptaufgabe liegt hier in der Entwicklung neuer Anreiz- und Partizipationsmodelle, da insbesondere die Prozessorientierung in vielen Situationen Nachteile aufweist. Z. B. wirkt die Prozessorientierung dem typischen Selbstverständnis von Personalverantwortung der Führung entgegen. Weiterhin fehlen derzeit ausgereifte Modelle zur Zielvereinbarung.

Die traditionellen Verkäufer von Business Analytics wie IBM, SAP oder Microsoft konzipieren auf Basis der Datenflut des Internets der Dinge neue Geschäftsmodelle. Sie konkurrieren dabei mit den großen Cloud-Serviceanbietern wie Amazon und Alibaba, aber auch mit vielen kleinen Datenspezialisten. Das wird einerseits zu zahlreichen neuen Kooperationen führen, wie sie heute schon zwischen IBM und Medtronic beim Diabetesmanagement, Amazon Web Services und John Deere in der Landwirtschaft oder SAP und Siemens bei der Fabrik der Zukunft zu sehen sind. Andererseits drängen frühere Produktionsunternehmen auf den Plattformmarkt, so wie es General Electric mit PREDIX seit mehreren Jahren vorantreibt. Derzeit sind jedoch marktdominierende Plattformen nicht erkennbar.

2.2 Der Mensch im Umfeld von Industrie 4.0

Gergana Vladova, André Ullrich und Jörg Reiff-Stephan

Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 ist mit tiefgreifenden Veränderungen in der Produktionsarbeit verbunden. Gründe dafür sind die Einführung neuer intelligenter technischer Akteure und der damit einhergehende Wandel im Aufgabenspektrum der Mitarbeiter sowie die revolutionäre Neuausrichtung der Kommunikationsbeziehungen und Entscheidungsfindungsstrukturen zwischen Mensch und Technik. Smart Factories, die vernetzt und digitalisiert, flexibel, wirtschaftlich und ressourceneffizient in kleinsten Stückzahlen herstellen, entsprechen der Vision von Industrie 4.0 [Lie-15]. In diesen Fabriken agieren die nicht-menschlichen Entitäten selbstständig und sind aktive Elemente des Produktionsprozesses [Rus-15]. Dennoch bleibt der Mensch mit seinen Fähigkeiten und Kompetenzen eine relevante Größe für die Verwirklichung dieser Vision, und seine Qualifikationen werden (zusammen mit Geschwindigkeit und Infrastruktur) als einen der entscheidenden Erfolgsfaktoren angesehen [Bet-14]. Auch Fragen der (generationenübergreifenden) Akzeptanz – insbesondere vor dem Hintergrund des visionären Bildes der Industrie 4.0-Fabrik nach der Metamorphose – rücken in den Vordergrund und sind Teil der aktuellen Forschungs- und Praxisproblematik.

Die neuen Herausforderungen an den Menschen im Industrie 4.0-Kontext

Nachhaltige Strukturen zu schaffen und dabei den Menschen als Akteur eines humanzentrierten Arbeitsgebietes nicht aus den Augen zu verlieren, stellen Herausforderungen für den Bestand und den Ausbau effizienter Produktionssysteme dar. Der Mensch als Protagonist im Produktionsprozess wird heute wie auch in Zukunft in seinen verschiedenen Fähigkeitsrollen angesprochen werden. Im Grundsatz sind hierbei zu unterscheiden:

- die Rolle als Sensor: Die sensorischen Fähigkeiten des Menschen werden auch in Zukunft nicht zu ersetzen sein. Sie bleiben unabdingbar, um komplexe Situationen zu erfassen und darauf zu reagieren.
- die Rolle als Entscheider: Selbststeuernde Systeme erzeugen Prioritätskonflikte insbesondere in der Nutzung knapper Ressourcen bei gegenläufigen Prioritäten. Die schnelle und qualifizierte Entscheidung des Menschen ist dabei gefragt.
- die Rolle als Akteur: Die menschliche Flexibilität im Erkennen hoher Komplexität, in der Interpretation von individuellen Anforderungen und in der Ausführung von Anweisungen unregelmäßiger Wiederholbarkeit ist bislang nicht abbildbar.

In [Abb. 2.8](#) werden mögliche Szenarien im Umgang mit den technischen Entitäten aufgegriffen. Der Mensch nimmt hierbei selbst den Platz einer Entität im Gesamtsystem ein und wird innerhalb der wechselnden Rollen tätig.

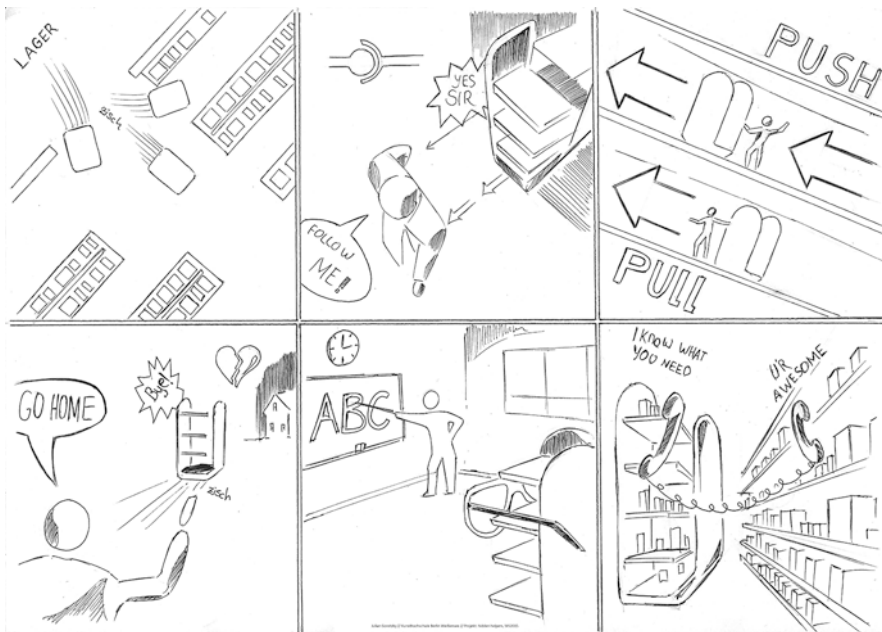


Abb. 2.8 Der Mensch als Entität im produktiven Umfeld

Eine Fragestellung, die in diesem Zusammenhang in naher Zukunft zu beantworten wäre, ist: Wie agiert die Entität „Mensch“ in der intelligenten Produktionskette? Insbesondere wenn der Mensch als Problemlöser und nicht als Maschinenbediener funktionell gebunden sein wird, muss Folgendes klärend herausgestellt werden:

- Welches Wissen und welche Entscheidungskompetenz ist einer Maschine zuzuordnen?
- Welche Kompetenz muss der Mensch in diesem System noch haben und welche erweiterten Fähigkeiten sind zu entwickeln?
- Welche Einflussfaktoren – bspw. Weiterbildung, Festlegung von Kompetenzen, Führung, Vernetzung der Organisation und Unternehmenskultur – spielen dabei eine Rolle?

Wie die Fragen sind auch die Antworten stark von der Entwicklung des Rollenbildes des Menschen in der Produktivgemeinschaft geprägt. Kompetenzen, Fähigkeiten und Fertigkeiten hängen von verschiedenen inneren und äußeren Einflussfaktoren bis hin zur Einordnung in die Generationenmodelle X, Y und Z ab und spiegeln sich in der Qualifikation wider. Für die Planung und Auslegung von Arbeitsplätzen muss jedoch die gesamtheitliche Sichtweise auf den Einsatz des Menschen in einem effizienten Produktionssystem betrachtet werden.

Vor diesem Hintergrund werden im neu entstehenden soziotechnischen System die Anforderungen an die Qualifikationen neu definiert und angepasste Qualifizierungs- und Weiterbildungsmaßnahmen unter Berücksichtigung der veränderten Kommunikations- und Kooperationsbedingungen sowie der neuen Entscheidungs- und Beteiligungsspielräume als notwendig betrachtet [Kag-13]. Auf der einen Seite werden gut ausgebildete multidisziplinäre Spezialisten benötigt, die die Entwicklung und Einführung der auf neuen softwaregesteuerten und vernetzten Systemen basierenden Technologien organisieren und leiten [Rus-15]. Auf der anderen Seite dürfen die Beschäftigten mit geringen Qualifikationen, deren Handlungsmöglichkeiten in der intelligenten Fabrik eingeschränkt werden könnten [Kre-14], nicht vernachlässigt werden. Oftmals wird derzeit der Wegfall von niederkomplexen Arbeitsplätzen diskutiert [GES-15], [Wil-14]. Es bestehen Befürchtungen, dass durch die Digitalisierung und insbesondere Automatisierung eine Umverteilung und auch Freisetzung von menschlichen Arbeitskräften speziell in der Produktion erfolgt. [Abbildung 2.9](#) visualisiert diesen Zusammenhang anhand einer Studie von Osborn und Frey [Bon-15], [Fre-13] mit Bezug auf die Wahrscheinlichkeit von Automatisierung für Tätigkeiten mit Branchenbezug. Sie zeigt auf, dass durch den fortschreitenden Ausbau von Automatisierungstechnologien, wie ersetzende Kinematiken menschlicher Handhabung, Tätigkeitsbereiche erschlossen werden, die bislang dem Menschen vorbehalten waren. Die Darstellung und Interpretation sollte jedoch nicht diskussionslos aufgenommen werden. Osborne und Frey besprechen in ihrer Darstellung ISCO-klassifizierte, existierende Berufe, die unter der subjektiven Annahme von Experten in der Zukunft einem Wandel unterliegen werden. Diskutiert werden sollte in diesem Zusammenhang die Rolle der volkswirtschaftlichen Produktivprozesse, die einer Arbeitsplatzverdrängung

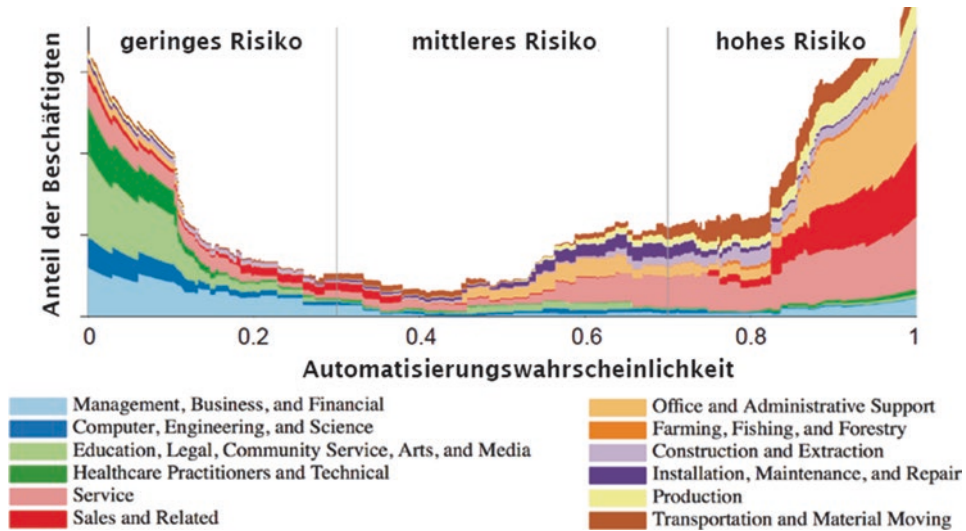


Abb. 2.9 Automatisierungswahrscheinlichkeiten – eine Branchensicht (nach Frey/Osborne [Bon-15], [Fre-13])

entgegenwirken werden. Möglicherweise ist die technologische Machbarkeit in den anvisierten Bereichen falsch eingeschätzt bzw. zu visionär in Betracht gezogen worden. Letztendlich könnten durch die Veränderung hin zu automatisierten Arbeitsprozessen neue Freiräume zur Arbeitsgestaltung geschaffen werden und die Beschäftigten insbesondere schwer automatisierbare Aufgaben ausüben.

Im Kontext von Industrie 4.0 ist es weiterhin zu erwarten, dass berufsübergreifende Qualifikationen aufgrund wechselnder Aufgabenfelder an Bedeutung gewinnen [Fre-12]. Die Relevanz von Maßnahmen zur Qualifizierung und zum Kompetenzaufbau, wie berufsübergreifende Schulungen, Fortbildung, Training „on the job“ und lebenslanges Lernen, wird vor diesem Hintergrund weiterhin steigen [Sch-15]. Neben den Qualifikationen mit konkretem Bezug zu den operativen Tätigkeiten, werden von dem Mitarbeiter in der Fabrik der Zukunft ebenso entsprechende Soft Skills – Zuverlässigkeit, Flexibilität, Eigenmotivation und Zielstrebigkeit, Anpassungs- und Innovationsfähigkeit sowie Kreativität – erwartet [Bos-14].

Die mit diesen wachsenden Ansprüchen verbundene hohe Belastbarkeit der Mitarbeiter ist eine Herausforderung und steht im direkten Zusammenhang mit der Akzeptanz des Konzeptes und mit der Bereitschaft, Teil dieser Veränderungen zu sein.

Akzeptanz der Veränderungen auf dem Weg zur Fabrik der Zukunft

Die Akzeptanz von Innovationen und der damit einhergehende Wandel der Fertigungsbedingungen sind gegenwärtig von besonderer Bedeutung [aca-13]. Gründe hierfür sind die zu beobachtenden Unterschiede beim Akzeptanzverhalten der Mitarbeiter [Kle-98], bei gleichzeitig zunehmender Digitalisierung der innovativen Produkte und Prozesse

[Rai-96]. Die Transformation einer bestehenden Fabrik in eine Industrie 4.0-Fabrik kann als ein interner, von internen oder externen Wandlungstreibern angestoßener, Innovationsprozess zusammengefasst werden, der mit signifikanter Wahrscheinlichkeit durch Auswirkungen auf bestehende Prozesse oder Rollenbilder charakterisiert ist [Ull-16].

Da der Prozess der Verbreitung von Innovationen (Innovationsdiffusion) unmittelbar durch das Akzeptanzverhalten der Beteiligten beeinflusst wird [Rog-03], ist der Erfolg technologischer Innovationen hochgradig von deren subjektiven Wahrnehmungen abhängig. Relevant sind in diesem Kontext

- die Eignung einer Innovation, menschliche Anforderungen zu erfüllen sowie
- die Eignung des Mitarbeiters, den Anforderungen der innovativen Technologie gerecht zu werden [Ull-16]

Um diesen Herausforderungen entsprechend zu begegnen, sollen einerseits ein hohes Akzeptanzniveau des Nutzers erreicht und andererseits der technische Transformationsprozess unter der Bedingung der Maximierung der Nutzerakzeptanz gestaltet werden.

Im Kontext der Transformation zur Fabrik der Zukunft liegt der Fokus auf den geplanten Wandlungsprozessen und deren Management. Der Transformationsprozess besitzt Projektcharakter, und die Möglichkeit des Scheiterns oder der Abweichung vom intendierten Zielzustand sind somit immanent vorhanden. Darüber hinaus ist eine Unterscheidung zwischen Teilnehmern des Wandels (welche aktiv den Wandlungsprozess bewältigen und die Rahmenbedingungen gestalten) und Betroffenen des Wandels (welche die Änderungen akzeptieren und mit der neuen Situation umgehen müssen) vorhanden. Durch seinen Fokus auf den verschiedenen Beteiligten und ihren Rollen verlangt der Transformationsprozess nach mehr als einem typischen Top-down-Ansatz. Gleich groß ist die Wichtigkeit von Bottom-up-Anstößen als nicht zu vernachlässigende Wandlungs- und Innovationstreiber. Der Anstoß zur Veränderung kann ebenso in den Initiativen betroffener Mitarbeitern liegen, da diese durch den unmittelbaren Umgang mit Technologien, Werkzeugen oder Methoden am stärksten von der Notwendigkeit konkreter akuter Prozessverbesserungen betroffen sind. Ein wesentlicher Faktor zur Steigerung der Akzeptanz ist die Einbeziehung der betroffenen Mitarbeiter im Prozess der Planung und Implementierung des Wandels. Akzeptanz setzt die positive Bereitschaft zur Adaption voraus [Wie-92]. Wesentlich für den Erfolg sind eine innere Überzeugung in Bezug auf erleichterte Zweckerfüllung sowie die Annahme, dass Innovationen und der damit verbundene Wandel in der Organisation positiv betrachtet werden. Zusammenfassend kann der transformative Wandel im Kontext einer Fabrik der Zukunft als ein integrierter Ansatz mit initialem Anstoß zur Veränderung aus beiden Richtungen beschrieben werden, wobei eine Autorisierung der notwendigen Ressourcen durch das Management gegeben sein soll.

Die Einstellung der Mitarbeiter, ihre Akzeptanz, muss weiterhin beobachtbar sowie messbar gemacht und proaktiv durch gezielte Maßnahmen erhöht werden. Im weitesten Sinne können hierzu bestehende theoretische Modelle zur Technologieakzeptanz [Dav-86], [Goo-95], [Ven-00] einbezogen werden.

Folgende Schlussfolgerungen für den Transformationsprozess bestehender Fabriken in Industrie 4.0-Fabriken können in Bezug auf die Akzeptanz formuliert werden [UII-16]:

In Bezug auf den Transformationsprozess: Der Akzeptanzprozess und die damit verbundenen Steuerungsmechanismen sind sowohl von den individuellen Eigenschaften der Mitarbeiter abhängig als auch mit ihrer Rolle im Prozess verknüpft. Des Weiteren weist jede Phase eines Transformationsprozesses Besonderheiten auf, die sich unterschiedlich auf die Akzeptanzbereitschaft auswirken können. Innovation und Wandel sind Gruppenprozesse mit einem meist interdisziplinären Charakter. Ihre Kontrollierbarkeit ist als Herausforderung anzusehen, da die Hintergründe und die Interessen und Verantwortlichkeiten unterschiedlicher Mitarbeitergruppen in Betracht gezogen werden müssen. Weiterhin sollten die strategische Langzeitorientierung und eine klare Prozessstruktur in Bezug auf die Einführungsphase sowie in Bezug auf alltäglichen Aufgaben und Abläufe nach der Etablierung der neuen Praktiken in der Organisation angestrebt werden.

In Bezug auf die organisationalen Rahmenbedingungen: Alle vom Wandlungsprozess betroffenen Akteure sollten bei seiner Gestaltung involviert sein. Ein passender Rahmen bezüglich der Innovations-, Wissensmanagement- und Wissenstransfer- sowie Veränderungskultur, extrinsischer und intrinsischer Mitarbeitermotivation, organisationalem Lernen und Weiterbildung sowie rechtlicher Aspekte ist dabei unentbehrlich. Dabei sollte einem sehr wichtigen Merkmal dieses Veränderungsprozesses – nämlich die starke visionäre Orientierung und in diesem Zusammenhang die neue erweiterte Rolle der technischen Entitäten – Bedeutung beigemessen werden. Diese Zukunftsvisionen sind wenig fassbar und teilweise vage, so dass sie neben den positiven Erwartungen ebenso mit Ängsten verbunden sind. Vor diesem Hintergrund sollte der Veränderungsprozess neben den anderen Faktoren ebenso Ansätze zum Umgang mit Mitarbeiter-ängsten und -unsicherheit implizieren.

In Bezug auf die beteiligten Personen: Bei der Konzeptentwicklung des Transformationsprozesses in die Fabrik der Zukunft sollten die unterschiedlichen Anforderungen an das Management und an die Mitarbeiter berücksichtigt werden. Beide Gruppen müssen Veränderungen bezüglich ihrer Aufgaben erkennen und hinreichend unterstützt werden (z. B. durch Bildungs- und Weiterbildungsangebote). Bestehende Führungs-, Arbeitsorganisations- und Lernkonzepte können in diesem Zusammenhang keine ausreichenden Ansätze liefern. Neue Konzepte sollen relevante neue Rollenbilder wie Ermöglicher, Vermittler und Unterstützer beinhalten. Das Management der Bedürfnisse der Mitarbeiter umfasst unter den neuen Bedingungen technische und Managementkompetenzen sowie IT-Kompetenzen und Kompetenzen bezüglich steuerbarer Technologien.

Im Kontext von Industrie 4.0 als ein visionäres Konzept und den damit verbundenen neuen Beziehungen zwischen Mensch und Technik rücken insbesondere auch Fragen der Gestaltung von generationenübergreifenden Akzeptanzmodellen in den Vordergrund. Es

verbleiben Klärungen zur gemeinsamen Arbeitsplatznutzung für ältere Arbeitnehmer wie auch für die „Digital Natives“ (ab Generation Y – Geburtskohorte 1980–1999).

Generationenmodell

Nach einer Studie der Arbeitgeberverbände der Metall- und Elektroindustrie ist es in der Zukunft zur Deckung des Fachkräftebedarfes erforderlich, die Ausweitung der Beschäftigung älterer Arbeitnehmer (mittelfristig bis 67 Lebensjahre) vorzunehmen. Im Jahr 2000 waren 52,4 Prozent der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten unter 40 Jahre. Vierzehn Jahre später verringert sich dieser Anteil bereits drastisch auf 39,7 Prozent [Ges-15]. Dies fordert aber auch die Bereitstellung von Arbeitsplätzen, die insbesondere auf ältere Beschäftigte ausgerichtet sind.

Zum jetzigen Zeitpunkt sind diese als ältere Beschäftigte bezeichneten Arbeitnehmer der Generation X (Bevölkerungskohorte mit Geburt bis 1980) zuzuordnen. Diese ist geprägt durch eine hohe Anpassungskraft auf bestehende Strukturen. Die Arbeitnehmer sind eher bereit, sich Vorgaben entsprechend zu betätigen und wenig hinsichtlich der Anwendbarkeit zu hinterfragen. Eine Motivation in Arbeit und Erfolg misst sich an Statussymbolen und entsprechendem Prestige innerhalb der Gemeinschaft.

Mit der Generation Y (engl: Aussprache „Y“- Why – dt. Warum) (Bevölkerungskohorte mit Geburt zwischen 1980 und 1999) entwickelt sich eine Arbeitnehmerschaft, die eher durch ein Hinterfragen der Anwendung gekennzeichnet ist. Sie gilt als gut ausgebildet, oft mit Hochschulabschluss, und zeichnet sich durch einen technologieorientierten Lebensstil aus. Insbesondere handelt es sich um eine Generation, die mit Internet und mobiler Kommunikation groß geworden ist und ihre Lebensweise darauf ausrichtet. Die Arbeitnehmer arbeiten vorzugsweise in virtuellen Teams, weniger in tiefen Hierarchien. Anstelle von Status und Prestige rücken die intrinsische Motivation an der Arbeit und die Sinnsuche ins Zentrum. Mehr Freiräume, die Möglichkeit zur Selbstverwirklichung sowie mehr Zeit für Familie und Freizeit sind zentrale Forderungen. Arbeit soll demnach durch einen sinnvollen Job bereits Glück und Zufriedenheit hervorbringen. Dieses birgt den Werte- und Strukturwandel, der auch die Betätigung von Arbeitnehmern im selben Arbeitsumfeld zu Herausforderungen in der Gestaltung führt.

In Nachfolgenerationen, wie Generation Z (Bevölkerungskohorte mit Geburt nach 1995), wird der Umgang mit virtuellen Umgebungen und damit auch cyberphysischen Strukturen eine Selbstverständlichkeit bilden. Sie wachsen mittlerweile in der zweiten Generation digital sozialisiert auf. Es ist heute bereits absehbar, dass – anders als eine in der Arbeit Sinn suchende Generation Y – die Generation Z etwas nach außen darstellen möchte. Das Berufsleben würde sich mehr nach Karriere und Führungsanspruch ausrichten, wenngleich das Streben nach Anerkennung mehr im Fokus stünde als das Streben nach Reichtümern.

Die Konsequenzen für die Produktionsumgebung sind vielschichtig. Insbesondere die digitale Zugänglichkeit auf Daten wird unterschiedlich bewertet, wie auch die Bereitschaft im persönlichen Umgang mit Datenstrukturen. Hierbei sind insbesondere Barrieren für Generation X zu reduzieren und gleichermaßen dem Fatalismus im Umgang mit Daten

und Informationen der „Digital Natives“ entgegenzuwirken. Hochqualifizierte Arbeit in einem digitalen Kontext wird für Industrie 4.0 und damit für das geschaffene Zielbild eine unverzichtbare Voraussetzung. Aus der Übersicht bestehender empirischer Befunde [Hir-14] ergibt sich, dass Fähigkeiten zum vorausschauenden Denken und kombinatorischen Handeln in Verbindung mit ausgeprägten kommunikativen und koordinativen Fähigkeiten zentral sein werden. Damit steigen die kognitiven Anforderungen in Kombination mit den kommunikativen, vermittlerischen Leistungsanforderungen. Offensichtlich wird aus der Zusammenstellung empirischer Untersuchungsergebnisse auch, dass diese sich vor allem mit der Ingenieurarbeit befassen, wohingegen die „Qualifikationsanforderungen [...] auf den Ebenen des Shopfloor-Personals, der Steuerungs- und Planungsexperten, des unteren und mittleren Betriebsmanagements sowie des betrieblichen Leitungssystems insgesamt“ [Hir-14, S. 36] noch weitestgehend unspezifisch bleiben [Wil-14]. Es ist demnach noch offen, in welcher Form bspw. Routinetätigkeiten ersetzt oder auch welche Formen von Kommunikation und Kooperation in der Folge für den Arbeitnehmer im generationsübergreifenden Einsatz an Arbeitsplätzen möglich werden. Dies ist auch sehr abhängig von den jeweiligen individuellen Rahmenbedingungen der Arbeitnehmer und der Betriebe. Der Arbeitnehmer wird seiner Rolle als Erfahrungsträger, Entscheider, aber auch Koordinator im cyberphysischen Produktionssystem gerecht werden müssen.

2.3 Technologische Basis

René von Lipinski und Dirk Buße

Die Marketingabteilungen vieler herstellender Unternehmen haben die Zeichen der Zeit erkannt. Auf Industriemessen jeglicher Art wird mit dem Begriff Industrie 4.0 geworben, so dass außenstehende Personen den Eindruck erlangen könnten, Industrie 4.0 wäre als eigenständige Komponente erhältlich. Produkte mit dem Stempel Industrie 4.0 suggerieren der potenziellen Kundschaft den Einstieg in die vernetzte Welt von morgen: Industrie 4.0-Baustein bestellen, auspacken, anstecken und los. Doch die Realität auf dem Hallenboden sieht gegenwärtig anders aus, da Industrie 4.0 nicht durch eine bestimmte Technologie zu definieren ist. Demgegenüber steht jedoch die Tatsache, dass Industrie 4.0 nicht ohne Technologie umzusetzen ist.

Im Einzelnen haben sich bereits heute einige intelligente Technologien zur Gewinnung, Übertragung, Verarbeitung und Bereitstellung von Informationen in den gegenwärtigen Betriebsstrukturen etabliert. Dies allein genügt jedoch nicht. Erst das Zusammenspiel dieser einzelnen technologischen Subsysteme in Hinblick auf die individuelle Vision von der intelligenten und vernetzten Fabrik für das jeweilige Unternehmen kann als Industrie 4.0 bezeichnet werden.

Doch haben sich in Bezug auf Industrie 4.0 ganzheitliche Betrachtungsweisen noch nicht in allen betrieblichen Ebenen durchgesetzt. Spricht man mit den jeweiligen Experten auf dem Hallenboden über Industrie 4.0, kommt es zu Aussagen wie: „Was ist daran so

neu? Das machen wir doch schon seit Jahren so“. Und dieses Stimmungsbild ist im Grunde auch nicht als falsch anzusehen. Viele geplante oder bereits umgesetzte intelligente Inselösungen bergen ein hohes Innovationspotenzial. Nur leider sind deren positiven Effekte durch die nicht ganzheitlichen Betrachtungsweisen lokal begrenzt. Die umfassende Vernetzung innerhalb der Unternehmen ist noch nicht weit vorangeschritten. Gleiches gilt für die Vernetzung über die Werksgrenze hinaus zu den jeweiligen Partnern innerhalb der übergreifenden Wertschöpfungsnetzwerke. Auf mögliche Gründe hierfür soll im Folgenden genauer eingegangen werden.

Eine nicht unwesentliche Herausforderung bei der Umsetzung der intelligenten und vernetzten Fabrik von morgen stellt der heterogene Aufbau jahrelang gewachsener betrieblicher Strukturen dar. Fabriken mit sogenanntem Brownfield-Charakter verfügen oft über Produktionsanlagen und Maschinen verschiedenen Alters. Je nach Industriezweig kann die Nutzungsdauer der Produktionsanlagen mehrere Jahrzehnte betragen. Dies trifft zum Beispiel auf Thermoprozessanlagen zu, deren Nutzungsdauer bis zu 30 Jahre betragen kann [BLE-13]. Aufgrund des unterschiedlichen Alters und der damit verbundenen unterschiedlichen technologischen Ausgangssituation der Produktionsanlagen ergeben sich nicht unerhebliche Schwierigkeiten bei der Vernetzung von Fabriken mit Brownfield-Charakter.

Ein weiterer Grund für das langsame Voranschreiten von Vernetzungsprozessen ist die Tatsache, dass die funktionale Erweiterung von Anlagen und Maschinen im kaufmännischen Tagesgeschäft oft eine untergeordnete Rolle spielt. Die Befähigung bestehender Strukturen zur Interaktion in morgigen Wertschöpfungsnetzwerken birgt ein gewisses finanzielles Risiko. Investitionen mit Weitblick stehen mit der Auffassung „If it ain't broke, don't fix it“ im Konflikt. Ein weiterer Grund für den fehlenden Umsetzungswillen ist eventuell in der deutschen Mentalität zu suchen. In der allgemeinen Wahrnehmung steht das Siegel „Made in Germany“ für ausgereifte und zuverlässige Lösungen als Resultat der sogenannten deutschen Gründlichkeit. Fehler gelten als Makel, und Scheitern ist keine Option. Es kommt daher nur das zum Einsatz, was auch zuverlässig funktioniert. In anderen technologisch hoch entwickelten Ländern wie zum Beispiel den USA werden auch weniger ausgereifte Technologien genutzt. Hier werden Fehler bewusst zugelassen, um daraus zu lernen.

Die vorherige Aussage wirft die Frage auf, was bezüglich Industrie 4.0 als ausgereifte Technologie anzusehen ist und was nicht. Bei näherer Betrachtung der für die Umsetzung einer Industrie 4.0-Infrastruktur nötigen Technologien sind sechs Technologiefelder zu unterscheiden: Kommunikation, Sensorik, eingebettete Systeme, Aktorik, Mensch-Maschine-Schnittstellen und Software/Systemtechnik [BMWI-15]. Die in den einzelnen Technologiefeldern zusammengefassten Technologien können unterschiedlichen Reifegraden zugeordnet werden. Diese werden als Technologie-Reifegrade oder Technology Readiness Level (kurz TRL) bezeichnet [DIN ISO 16290]. Die Einteilung nach TRL umfasst neun Stufen, wobei eine niedrige TRL-Einstufung für Technologien im frühen Entwicklungsstadium steht. Ausgereiften Technologien wird hingegen eine entsprechend hohe TRL-Einstufung zugewiesen. Eine Zuordnung Industrie 4.0-relevanter Technologien kann Tab. 2.1 entnommen werden.

Tab. 2.1 Einstufung Industrie 4.0-relevanter Technologien nach TRL [BMWI-15]

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

2.4 Organisatorische Basis

Manuel Kern

Wie in den vorhergehenden Abschnitten beschrieben, ist im Industrie 4.0-Umfeld von einer stetig zunehmenden Konnektivität auszugehen. Neben der Vernetzung von Maschinen untereinander, der Vernetzung von IT-Systemen und neuen Interaktionsformen zwischen

Mensch und Technik ist auch die Vernetzung des Managements von Prozessen oder Entscheidungen als integraler Bestandteil anstrebenswert.

Diese Vernetzung der Entitäten Mensch, Technik und Organisation (MTO) stellt eine komplexe Netzwerkstruktur dar. Ein zentrales Merkmal der Transformation eines Produktionssystems ist die zeitliche Komponente. Im Projekt MetamoFAB hat sich hier die Aufteilung in aktuellen Zustand, mögliche Zwischenzustände (Blueprints) und eine Standortvision als Zielzustand (Whitepaper) als nützlich erwiesen. Nach Bullinger et al. [Bul-09] wird unter Organisation „die Verknüpfung der Produktionsfaktoren zu einem zielgerichteten System [...], das Produktionsprogramme realisiert“ verstanden. Weiter ist dort definiert: „Die Frage nach der geeigneten Zerlegung einer Gesamtaufgabe in Teilaufgaben und deren zielorientierte Abstimmung bilden das grundlegende Organisationsproblem.“ Im Falle der Transformation eines Produktionssystems ist ein zentrales Betrachtungsmerkmal der Organisation die Art und Weise, wie Entscheidungen getroffen werden, wobei hier insbesondere die beschriebene Zeitkomponente maßgebliche Unterschiedlichkeiten birgt.

In der Organisationstheorie hat sich eine Dreiteilung des Begriffes in Arbeitsorganisation, Ablauforganisation und Aufbauorganisation etabliert [Bul-09]. Letztere ist eine formale Komponente, die bspw. im Organigramm visualisiert wird und eine informelle Komponente beinhaltet, die insbesondere auf sozialen Gefügen und intrinsisch motiviertem Austausch basiert. Die Ablauforganisation beschäftigt sich mit Prozessen und ist im Hinblick auf Industrie 4.0 stark mit den Begriffen „vertikale und horizontale Integration“ sowie „End-to-end-Engineering“ verbunden [aca-13b]. Die Arbeitsorganisation regelt die Arbeit im Arbeitssystem und erstreckt sich von der Ausführung einzelner Arbeitsschritte oder Entscheidungen bis zur Regelung der Beschäftigung (Tätigkeitsbeschreibung, Arbeitszeiten, Entgelt, etc.). Um die steigende technische Komplexität, die unter anderem durch neue IT-Anwendungen auf dem Shopfloor ankommen wird, zu beherrschen und in Bedienerfreundlichkeit zu wandeln, benötigt man auch organisatorische Mittel. Diese werden gemeinhin in Entscheidungsunterstützung, Werkerassistenz oder anderen datenbasierten Konzepten gesucht. Aber auch der Weg zur Industrie 4.0-Fabrik will organisiert sein, im Aufbau des MTO-Systems, in dessen Abläufen und in der entsprechenden Entscheidungsfindung. Unter diesen Prämissen wird deutlich, dass die Industrie 4.0-Sichtweise auf die Organisation nicht eine Einzelne sein kann, sondern eher ein Aufeinandertreffen verschiedener Perspektiven und Betrachtungshorizonte darstellt.

Im Rahmen des Projekts wurden aus übergeordneter Perspektive die Einflüsse von Industrie 4.0 auf verschiedene Ebenen der Organisationsgestaltung betrachtet. Als Ableitung aus den Rahmenbedingungen des MTO-Systems einer Industrie 4.0 Fabrik, bzw. einer Fabrik, die sich in der Transformation zu einer solchen befindet, werden Schwerpunkte für fortfolgende Betrachtungen definiert, die in Tab. 2.2 aufgeführt sind.

2.4.1 Organisationsentwicklung

Die Organisationsentwicklung im klassischen Verständnis verändert „Bottom up“ oder „Top down“ die Organisationsstrukturen eines Unternehmens. Im aufwärtsgerichteten

Tab. 2.2 Schwerpunkte der Organisationsgestaltung im Rahmen von MetamoFAB

	Kurzfrist (Tages- geschäft)	Mittelfrist (Blau- pause)	Langfrist (White- paper)
Aufbauorganisation			●
Ablauforganisation (Prozessorganisation)	◐	●	◐
Entscheidungsorganisation	●	◐	

● Im Fokus, ◐ mitbetrachtet.

Ansatz steht der Einklang von Mitarbeiterinteressen mit Unternehmensinteressen im Vordergrund, beim abwärts gerichteten Ansatz werden betriebswirtschaftliche Ideale, wie Ausrichtung nach Kundenbedürfnissen, Optimierung von Prozessen oder größere Änderungen, an der Wertschöpfungskette bzw. dem Geschäftsmodell adressiert [Kri-02]. Entsprechende Umgestaltungen können Änderungen der Struktur von Geschäftseinheiten zur Folge haben, aber auch einzelne Mitarbeiterrollen neu definieren. Im Zentrum der entsprechenden Bestrebungen steht allerdings immer der Zweck einer Reorganisation: die Anpassung des Unternehmens an geänderte Rahmenbedingungen. Je nach Änderung der Rahmenbedingung sind entsprechende Methoden zu wählen. Die entsprechenden Phasen einer Reorganisation sind Initiierungsphase, Zielfindungsphase und Implementierungsphase, wobei sich diese im Regelfall überlappen [Str-91].

Im Zusammenhang externer Rahmenbedingungen und interner Folgen ist Industrie 4.0 eine komplexe Herausforderung für die Organisationsentwicklung. Eine klare Abgrenzung von Phasen der Organisationsentwicklung im hoch dynamischen Umfeld erscheint kaum möglich. Ein Ideal für die Organisationsentwicklung wäre ein virtuelles Abbild der Aufbau- und Ablauforganisation, das kurz-, mittel und langfristige Aspekte der Industrie 4.0 in Betracht zieht. Insbesondere Komplexitäten, die in digitalisierten und komplex vernetzten Wertschöpfungssystemen auftreten, sind zwar schrittweise mit traditionellen Organisationsansätzen steuerbar, basieren in herkömmlicher Analytik jedoch meist auf intensiven und zeitaufwendigen Diskussionen. Je komplexer oder undurchsichtiger Einflüsse auf die möglichen Pfade eines Unternehmens hin zu intelligent vernetzten Aufbau- und Ablauforganisationsstrukturen sind, desto größer wird die Notwendigkeit, im Falle von möglichen Investitionsentscheidungen oder Restrukturierungen die Optionen systemisch abzuwägen.

2.4.2 Organisationsgestaltung Industrie 4.0

Wo in dieser Organisationssichtweise ist Industrie 4.0 disruptiv, wo bleibt Bewährtes erhalten, oder anders formuliert, wieviel Evolution steckt in Industrie 4.0? Das sind drängende Fragen, derer sich die Forschung zurzeit annimmt. Dazu kommen Charakteristika

unserer Zeit, die insbesondere aus der Generation der „Digital Natives“ (Generation Y) verstärkt in der Mitte der Gesellschaft, aber auch auf den Shopfloor ankommen: Änderungen der Art und Weise der Kommunikation, der Hierarchiebilder und der Wahrnehmung von organisatorischer Struktur. Die Rolle der informellen Organisation wird insbesondere in aktuelleren Ansätzen wie etwa fluiden Organisationsformen adressiert. Jedoch liegt der Fokus dabei überwiegend auf indirekten Bereichen, eine zielführende Umsetzung für und in Produktionsumgebungen ist mit vielen offenen Fragen verbunden. Können agile Ansätze, richtig platziert, hier helfen? Wie werden sich die digitalen Gegebenheiten auf dem Shopfloor entwickeln und was sind die Stellhebel der Organisationsgestaltung? Diese Fragen auf genereller Ebene zu beantworten, ist schlicht unmöglich. Eine unternehmensindividuelle oder produktionssystembezogene Antwort im jeweiligen MTO-System zu finden, erscheint hier realistischer. MetamoFAB setzt an dieser Stelle an und sucht Industrie 4.0-kompatible Wege, ob diese nun zu klassischen oder neuartigen Organisationsprinzipien führen, spielt eine untergeordnete Rolle.

Literaturliste

- [aca-11] Cyber-Physical Systems: Driving force for innovation in mobility, health, energy and production (acatech POSITION PAPER). Springer, Heidelberg, 2011.
- [aca-13] acatech: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group. Springer, Heidelberg, 2013.
- [aca-16] acatech. (2016). Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0 – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen. München: (Hg.) (2016): Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0 – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen, München.
- [Bau-14] Bauernhansl, T.; ten Hompel, M. & Vogel-Heuser, B.: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Wiesbaden: Springer Verlag, 2014
- [Bet-14] Bettenhausen, K.: Erfolgsfaktoren Industrie 4.0: Qualifikation, Geschwindigkeit und Infrastruktur, Baden-Baden: VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2014.
- [Ble-13] Blesl, M.; Kessler, K.: Energieeffizienz in der Industrie. S.167, Springer Vieweg, Berlin, 2013.
- [BMWI-15] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Erschließen der Potenziale der Anwendung von Industrie 4.0* im Mittelstand. agiplan GmbH, Mühlheim an der Ruhr, 2015.
- [Boc-15] Bochum, U.: Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2015.
- [Bon-15] Bonin, H., Gregory, T. & Zierahn, U.: Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland, ZEW. Abgerufen am: 21.06.2016, url: http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/Kurzexpertise_BMAS_ZEW2015.pdf, 2015
- [Bos-14] Boße, A.; Neurohr, K.: Special soft skills - weich, aber nicht weniger wichtig, karriereführer-Magazin, 04–09, 3–47, 2014.
- [Bul-09] Herausgeber: Bullinger, H.-J., Spath, D., Warnecke, H.-J., Westkämper, E. (Hrsg.), Handbuch Unternehmensorganisation - Strategien, Planung, Umsetzung. VDI Buch, 2009.
- [Dav-86] Davis, F. D.: A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems: Theory and results. Dissertation, Massachusetts Institute of Technology, 1986

- [DIN ISO 16290] Deutsches Institut für Normung: Raumfahrtssysteme – Definition des Technologie-Reifegrades (TRL) und der Beurteilungskriterien (DIN ISO 16290), Beuth Verlag 2014.
- [DIN-13849] DIN EN ISO 13849:2016-06: Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen. Berlin: Beuth Verlag, 06/2016
- [Dor-15a] Dorst, W.; Glohr, C.; Hahn, H.; Knafla, F.; Loewen, U.; Rosen, R.; Schiemann, T.; Vollmar, F.; Winterhalter, C.: Umsetzungsstrategie Industrie 4.0-Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0. Frankfurt am Main: BITKOM e.V., VDMA e.V. & ZVEI e.V., 2015
- [Fre-12] Frenz, M.; Hermann, S.; Schipanski, A.: Zukunftsfeld Dienstleistungsarbeit Professionalisierung – Wertschätzung – Interaktion, Wiesbaden: Springer Gabler, 2012.
- [Fre-13] Frey, C. B. & Osborne, M. A.: The Future of Employment: How Suceptibleare Jobs to Computerization? Working Paper. Abgerufen am: 21.06.2016, url: http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf, 2013
- [Ges-15] Gesamtmetall: Positionspapier – Die Beschäftigung älterer Mitarbeiter in der Metall- und Elektro-Industrie. Abgerufen am: 20.06.2016, url: https://www.gesamtmetall.de/sites/default/files/downloads/c0_positionspapier_ältere_beschäftigte.pdf, 2015.
- [Goo-95] Goodhue, D. L.; Thompson, R. L.: Task-technology fit and individual performance. *MIS quarterly*, 213–236, 1995.
- [Hir-14] Hirsch-Kreinsen, H.: Wandel von Produktionsarbeit – Industrie 4.0; Hg. TU Dortmund, Soziologisches Arbeitspapier (2014) 38, Dortmund.
- [Jov-03] Jovane, F., Koren, & Boër, C. R. (2003). Present and future of flexible automation: Towards new paradigms. In *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 52 (S. 543–560).
- [Kag-13] Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J., Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft: Umsatzempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, Berlin: Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft, 2013.
- [Kle-98] Klenow, P. J.: Learning curves and the cyclical behavior of manufacturing industries. *Review of Economic Dynamics* 1(2): 531–550, 1998.
- [Kno-16a] Knothe, T.; Orth, R.; Gering, P.; Wintrich, N.: Modulare Fertigungsmanagementsysteme für Kundenauftragsindividuellen Prozesse. In: *ZWF* 111 (2016) 16, Berlin: Hanser Verlag, S. 346–350
- [Kre-14] Kreinsen, H.-H.: Welche Auswirkungen hat Industrie 4.0 auf die Arbeitswelt?, *WISO direkt*, Dezember, Bonn: Friedrich-Ebert-Stiftung, 1–4, 2014
- [Kri-02] Kricsfalussy, A. Rigall, J.: Strategische Reorganisation bei internationalen Großunternehmen. Erschienen, in: Bamberger, I. (Hrsg.) *Strategische Unternehmensberatung: Konzeptionen – Prozesse – Methoden*. Gabler 3. Auflage 2002.
- [Lie-15] Liebhart, D.: Mammutaufgabe: Datenlogistik in der industriellen IT, Report, 20. Februar 2015.
- [Nig-12] Niggemann, O. & Jasperneite, J.: Systemkomplexität in der Automation beherrschen – Intelligente Assistenzsysteme unterstützen den Menschen. In: *atp edition* (2012) 9, S. 36–44
- [OMG-15c] OMG: Whitebook DDS. Version 1.4 April 2015. Abgerufen am 17.07.2016, url: <http://www.omg.org/spec/DDS/>, 2016

- [OPC-15d] OPC Foundation. Whitebook OPC-UA. Version 1.03 Oktober 2015. Abgerufen am: 17.07.2016, url: <https://opcfoundation.org/developer-tools/specifications-unified-architecture/part-1-overview-and-concepts>, 2016
- [Rai-96] Rai, A.; Patnayakuni, R.: A structural model for CASE adoption behavior. *Journal of Management Information Systems* 13(2): 205–234, 1996.
- [Rei-15e] Reiff-Stephan, J.; Richter, M. & von Lipinski, R.: Intelligente Sensorsysteme für selbstoptimierende Produktionsketten. In: Tagungsband zur 12. AALE (2015), München: Deutscher Industrieverlag GmbH, S. 245–354
- [Rog-03] Rogers, E. M.: *Diffusion of Innovations*. 5. Aufl. Free Press, New York, 2003.
- [Rus-15] Russwurm, S.: Software: Die Zukunft der Industrie, In: Sendler, U.: *Industrie 4.0: Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysML*, Berlin, Heidelberg: Springer-Vieweg, S. 21–36, 2015.
- [Sch-15] Schwede, C.: *Corporate eLearning – Weiterbildung und Qualifikation in der Industrie 4.0*, 2015.
- [Str-91] Stutz, H.-R.: *Beratungsstrategien*, in Hofmann, M. (Hrsg.): *Theorie und Praxis der Unternehmensberatung: Bestandsaufnahme und Entwicklungsperspektiven*, Heidelberg, S. 189–216, 1991.
- [Ull-16] Ullrich, A.; Vladova, G.; Gronau, N.; Jungbauer, N.: *Akzeptanzanalyse in der Industrie 4.0-Fabrik – Ein methodischer Ansatz zur Gestaltung von organisatorischem Wandel*. In: Obermaier R (Hrsg.) *Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe*. Springer, Berlin, 2016.
- [VDI-15f] VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik: *Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0): Statusreport April 2015*
- [Ven-00] Venkatesh, V.; Davis, F. D.: *A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies*. *Management Science* 46 2:186–204, 2000.
- [Vog-13] Vogelsang, K.; Steinhüser, M.; Hoppe, U.: *Theorieentwicklung in der Akzeptanzforschung: Entwicklung eines Modells auf Basis einer qualitativen Studie*. 11th International Conference on Wirtschaftsinformatik, S. 1425–1439, 2013.
- [Wal-14c] Walzl, H., & Wildemann, H. (2014). *Modularisierung der Produktion in der Automobilindustrie*. TCW.
- [Wie-92] Wiendieck, G.: *Akzeptanz*. In: Friese, E. (Hrsg) *Enzyklopädie der Betriebswirtschaft: Band 2 Handwörterbuch der Organisation*. Poeschel, Stuttgart, S. 89–98, 1992.
- [Wil-14] Wilkens, U.; Süße, T.; Voigt, B.-F.: *Umgang mit Paradoxien von Industrie 4.0 - Die Bedeutung reflexiven Arbeitshandelns*, in: Kersten, W.; Koller, H. & Lödding, H. (Hrsg.): *Industrie 4.0 – Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern*. Berlin: GITO, S. 199–210, 2014.
- [Wil-14d] Wilkens, U.; Süße, T.; Voigt, B.-F. (2014): *Umgang mit Paradoxien von Industrie 4.0 – Die Bedeutung reflexiven Arbeitshandelns*, in: Kersten, W.; Koller, H. & Lödding, H. (Hrsg.): *Industrie 4.0 – Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern*. Berlin: GITO, S. 199–210.