



acatech KOOPERATION

Der Industrie 4.0 Maturity Index in der betrieblichen Anwendung

Aktuelle Herausforderungen,
Fallbeispiele und Entwicklungstrends

Günther Schuh, Reiner Anderl,
Roman Dumitrescu, Antonio Krüger,
Michael ten Hompel (Hrsg.)



acatech KOOOPERATION

Der Industrie 4.0 Maturity Index in der betrieblichen Anwendung

Aktuelle Herausforderungen,
Fallbeispiele und Entwicklungstrends

Günther Schuh, Reiner Anderl,
Roman Dumitrescu, Antonio Krüger,
Michael ten Hompel (Hrsg.)



Inhalt

| | |
|--|-----------|
| Projekt | 5 |
| Zusammenfassung | 6 |
| 1 Einleitung | 8 |
| 2 Erfahrungen aus der Anwendung des acatech Industrie 4.0 Maturity Index | 9 |
| 2.1 Wie weit sind die Unternehmen? | 10 |
| 2.2 Digitale Volkskrankheiten in Unternehmen | 12 |
| 2.3 Akute Handlungsfelder in Unternehmen | 14 |
| 2.3.1 Kopernikanische Wende in der Produktion | 15 |
| 2.3.2 Edge- und Cloud-Computing statt Automatisierungspyramide | 15 |
| 2.3.3 Praxisbeispiel agile Arbeitsorganisation: Prototypentwicklung in 72 Stunden | 17 |
| 2.3.4 Mehr Gestaltungsfreiheit für die Belegschaft | 17 |
| 3 Fallstudien | 18 |
| 3.1 Anwendung des acatech Industrie 4.0 Maturity Index in Unternehmen | 18 |
| 3.2 ZF Friedrichshafen AG: Industrie 4.0 Rollout in mehr als 230 Werken | 18 |
| 3.3 HARTING Stiftung & Co. KG: Der Industrie 4.0 Maturity Index als Startpunkt einer ganzheitlichen Strategie | 21 |
| 3.4 Kuraray Co Ltd.: Steigerung der Gesamtanlageneffektivität | 24 |
| 3.5 Schokoladenwerk: Erhöhung der Produktivität | 27 |
| 4 Ausblick: Die nächsten Schritte in der digitalen Transformation | 30 |
| 4.1 Selbstorganisierende Ressourcen, agile Infrastrukturen | 30 |
| 4.2 Künstliche Intelligenz für industrielle Anwendungen | 31 |
| 4.3 Wie sich das Miteinander von Mensch, Organisation und Technik ändert | 33 |
| 4.4 Unternehmens- und Mitarbeiterführung „4.0“ in der digitalisierten Arbeitswelt | 34 |
| Literaturverzeichnis | 37 |

Projekt

Projektleitung

- Prof. Dr.-Ing. Günther Schuh, RWTH Aachen/acatech

Projektgruppe/Herausgeber

- Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl, Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion (DiK), Technische Universität Darmstadt/acatech
- Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn; Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM
- Prof. Dr. Antonio Krüger, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH, DFKI/acatech
- Prof. Dr.-Ing. Günther Schuh, RWTH Aachen/acatech
- Prof. Dr. Michael ten Hompel, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, Technische Universität Dortmund/acatech

Expertengruppe

- Mark Gallant, PTC Inc.
- Markus Hannen, PTC Inc.
- Dr. Florian Harzenetter, PTC Inc.
- Howard Heppelmann, PTC Inc.
- Prof. Dr.-Ing. Boris Otto, Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik ISST/Technische Universität Dortmund
- Prof. Dr. Volker Stich, FIR e.V. an der RWTH Aachen
- Kevin Wrenn, PTC Inc.
- Rene Zölfl, PTC Inc.

Konsortialpartnerinnen und -partner/ Projektteam

- Nazanin Budeus, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML
- Stefan Gabriel, Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM
- Marcel Hagemann, Industrie 4.0 Maturity Center am RWTH Aachen Campus

- Dr. Tobias Harland, Industrie 4.0 Maturity Center am RWTH Aachen Campus
- Thomas Kämper, HARTING KGaa
- Jonas Kaufmann, Industrie 4.0 Maturity Center am RWTH Aachen Campus
- Jörn Steffen Menzefricke, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn
- Laura Mey, Industrie 4.0 Maturity Center am RWTH Aachen Campus
- Matthias Müssigbrodt, FIR e. V. an der RWTH Aachen
- Markus Obermeier, HARTING IT Services GmbH & Co. KG
- Felix Optehostert, Industrie 4.0 Maturity Center am RWTH Aachen Campus
- Dr. Daniel Porta, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH, DFKI
- Jannik Reinhold, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn
- Dr. Sebastian Schmitz, Industrie 4.0 Maturity Center am RWTH Aachen Campus
- Roman Senderek, FIR e. V. an der RWTH Aachen
- Yübo Wang, Datenverarbeitung in der Konstruktion (DiK), Technische Universität Darmstadt
- Lucas Wenger, FIR e. V. an der RWTH Aachen
- Dr. Violett Zeller, FIR e. V. an der RWTH Aachen

Projektkoordination

- Christian Hocken, Industrie 4.0 Maturity Center am RWTH Aachen Campus
- Joachim Sedlmeir, acatech Geschäftsstelle
- Dr. Johannes Winter, acatech Geschäftsstelle

Wir danken PTC Inc., dem Industrie 4.0 Maturity Center und den fachlichen Partnern für die Unterstützung bei der Erstellung dieser Begleitbroschüre zum acatech Industrie 4.0 Maturity Index.



Zusammenfassung

Die Erfahrungen aus drei Jahren Anwendung des acatech Industrie 4.0 Maturity Index zeigen, dass sich die vierte industrielle Revolution nicht durch die Implementierung einzelner, isolierter Prototypen umsetzen lässt. Dies hat die deutsche produzierende Industrie mittlerweile erkannt. Vielmehr steht heute die Gestaltung systematischer Transformationsprogramme im Fokus, die auf einen klaren Mehrwert abzielen und stringent strukturiert sind.

Einsatz des acatech Industrie 4.0 Maturity Index

Seit Veröffentlichung der acatech STUDIE vor drei Jahren hat sich der Industrie 4.0 Maturity Index als praktisches Werkzeug für eine strukturierte digitale Transformation erwiesen. Der vielfältige Einsatz des Index und das hohe Interesse an den Themen zeigen, dass Unternehmen sich zunehmend ganzheitlich mit Industrie 4.0 auseinandersetzen wollen. Dieser Einsatz reicht von der Erstellung systematischer Roadmaps für die digitale Transformation einzelner Produktionsstandorte über eine standortübergreifende Synchronisation bis hin zu einer globalen Digitalisierungsstrategie. Weiterhin lässt sich mit dem Index der Fortschritt der digitalen Transformation messen und steuern sowie technische Due Diligence für Unternehmenszukäufe durchführen. Dies verdeutlicht den großen Mehrwert in der Anwendung des Index.

Eine Erhebung des Industrie 4.0 Maturity Center zeichnet folgendes Bild: Achtzig Prozent der untersuchten Unternehmen erreichten die zweite von sechs Entwicklungsstufen, „Konnektivität“. Sie befinden sich damit bei der Umsetzung ihrer „Hausaufgaben“, um die erste Stufe von Industrie 4.0, „Sichtbarkeit“, anzugehen. Lediglich eine geringe Zahl an Unternehmen – vier Prozent – hat diese nächsthöhere Stufe bereits erreicht: Sie lassen sich als Vorreiter beziehungsweise Champions der Erhebung bezeichnen.

Aktuelle Handlungsfelder

Die „digitalen Volkskrankheiten“ vieler Unternehmen können durch die strukturierte Vorgehensweise des acatech Industrie 4.0 Maturity Index abgewendet oder abgeschwächt werden. Hierzu gehören beispielsweise der Mangel an einheitlichen Standards

für Maschinensteuerungen, eine fragile Systemintegration von Informationssystemen, die geringe Bereitschaft zu abteilungsübergreifender Zusammenarbeit sowie die mangelnde Einbindung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bei Veränderungen.

Für die Unternehmen ist es daher wichtig, sich derzeit auf die systematische und unternehmensweite Implementierung von übergreifenden Datenplattformen, zum Beispiel mithilfe von cloudbasierten Industrial-Internet-of-Things(IoT)-Plattformen, zu fokussieren. Diese ermöglichen die Aggregation von Daten aus diversen Quellen wie beispielsweise betrieblichen Anwendungssystemen, Maschinensteuerungen und Sensorik. Weiterhin schaffen diese Plattformen die Rahmenbedingungen, um individuelle Visualisierungen und Applikationen zu entwickeln. Die bisherigen Anwendungen des Industrie 4.0 Maturity Index legen übergreifende akute Herausforderungen in allen vier Gestaltungsfeldern offen. Im Bereich Ressourcen zählen dazu die durchgängige Informationsbereitstellung entlang der Wertschöpfungskette, im IT-Bereich der Einsatz von Edge- und Cloud-Computing zur Auflösung der Automatisierungspyramide und aus organisatorischer und kultureller Sicht der Einsatz von agilen Methoden und die Förderung der Mitwirkung der Belegschaft.

Der Einsatz des Index bei der ZF Friedrichshafen AG, einem großen internationalen Automobilzulieferer, verdeutlicht den Nutzen der Konsolidierung von Standortergebnissen auf Konzernebene zur Synchronisation der Digitalisierungsaktivitäten. Das Unternehmen HARTING KGaA, das bereits an der acatech STUDIE 2017 teilgenommen hatte, konnte über die Erstellung von Leitlinien, die Bildung von Digitalisierungsteams und die Integration des Maschinenparks zur verbesserten Datenbereitstellung für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bereits erfolgreich die dritte Entwicklungsstufe erreichen. Die Transformation zur Erhöhung der Gesamtanlageneffektivität bei Kuraray als Spezialchemieunternehmen zeigt, dass der Index unterschiedliche Branchen positiv beeinflussen kann – bei Kuraray trägt zum Beispiel die Auswahl einer IIoT-Plattform zur Umsetzung von Industrie 4.0 bei. In der Lebensmittelindustrie, die exemplarisch anhand eines Schokoladenwerks betrachtet wurde, steht insbesondere die Erhöhung von Effizienz und Output im Fokus der Index-Anwendung.

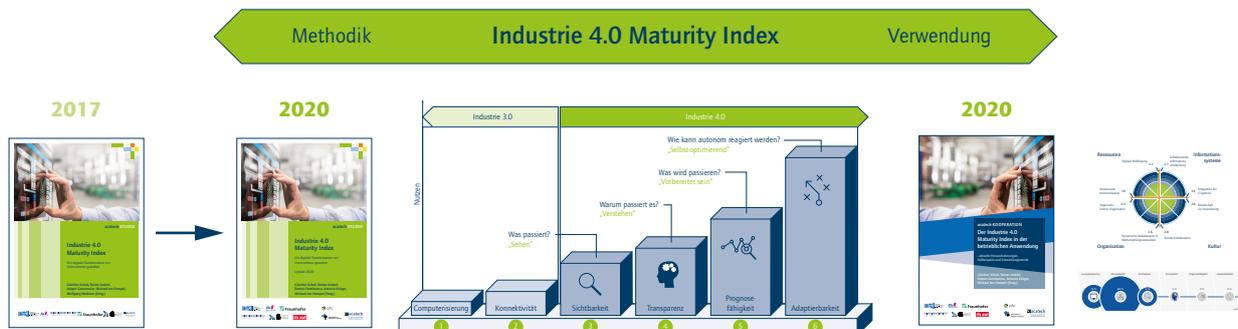
Zukünftige Handlungsfelder

Der Einsatz des Industrie 4.0 Maturity Index zeigt neben der erfolgreichen Anwendung in den vergangenen drei Jahren auch mittelfristige Zukunftsthemen auf. Der Umgang mit den Reifegradstufen „Prognosefähigkeit“ und „Adaptierbarkeit“ wird die

produzierende Industrie in Zukunft beschäftigen. Dazu zählen zum einen industrielle Anwendungen der Künstlichen Intelligenz und zum anderen Wechselwirkungen zwischen Mensch, Technik und Organisation auf soziotechnischer Ebene. Auch neue Konzepte zur Mitarbeiterführung gewinnen vor dem Hintergrund der digitalen Transformation an Bedeutung. Das übergeordnete Ziel ist das lernende, agile Unternehmen, das sich vor dem Hintergrund einer stetig verändernden Umwelt kontinuierlich und dynamisch anpassen kann. Insbesondere unerwartete Entwicklungen wie die Corona-Krise zeigen, wie wichtig ein hohes Maß an Anpassungsfähigkeit und Resilienz für Unternehmen ist. Der Industrie 4.0 Maturity Index hat sich in der Praxis bewährt

und bietet auch für diese zukünftigen Herausforderungen einen ganzheitlichen, strukturierten Lösungsansatz.

Im Rahmen dieser Kooperationspublikation werden exemplarisch Unternehmen vorgestellt, die den Maturity Index bereits erfolgreich in der Praxis einsetzen. Neben einer Status-quo-Analyse werden gegenwärtige Trends und akute Handlungsfelder aufgezeigt und zukünftige Herausforderungen identifiziert. Parallel dazu wird der acatech Industrie 4.0 Maturity Index als methodische Basis durch das Update 2020 noch einmal aufgegriffen, die ursprüngliche STUDIE aus dem Jahr 2017 redaktionell bearbeitet und mit aktualisierten Grafiken neu aufgelegt (siehe Abbildung 1).



Update der acatech STUDIE

- Redaktionelle Änderungen
- Aktualisierung von Textabschnitten
- zum Teil Neugestaltung der Infografiken

Broschüre mit Praxiserfahrungen

- Status quo analysierter Unternehmen
- Fallstudienvorstellung
- Beschreibung nächster Schritte/Trends

Abbildung 1: Update der Studie und Erstellung dieser praxisbezogenen Begleitbroschüre

1 Einleitung

„Was ist das Neue an Industrie 4.0? Wir setzen doch schon seit Jahrzehnten Informationstechnologien in unseren Fabriken ein.“ Diese oder ähnliche Aussagen waren noch vor wenigen Jahren zu hören, wenn in deutschen Unternehmen zum Thema Industrie 4.0 diskutiert wurde. Der Begriff Industrie 4.0 war in aller Munde, als acatech im Jahr 2017 ihre erste Auflage des Industrie 4.0 Maturity Index veröffentlichte. Gleichzeitig war nicht klar, was wirklich dazugehört, um Industrie 4.0 systematisch in einem produzierenden Betrieb einzuführen und welche Mehrwerte zu erwarten sind. Mit dem Industrie 4.0 Maturity Index hat acatech ein Werkzeug geschaffen, das genau diese Fragen beantwortet. Der Fokus lag dabei klar auf der evolutionären Weiterentwicklung von produzierenden Betrieben in „Industrie 4.0-Betriebe“. Denn Unternehmen können in der Regel keine neuen Fabriken nach aktuellem Stand der Technik bauen, sondern wollen ihre bestehenden und gewachsenen Strukturen weiternutzen und entwickeln. Das deckt sich mit der Grundidee von Industrie 4.0, integrierte und automatisierte Informationsflüsse über die gesamte Wertschöpfungskette im Unternehmen zu schaffen und daraus systematisch zu lernen.

Ein großer Teil der Unternehmen arbeitete an mehreren – isolierten – Prototypen. Sie implementierten häufig Predictive-Maintenance-Prototypen oder initiierten ein Proof-of-Concept für autonome Flurförderzeuge. Diese Projekte erhöhten zwar das Bewusstsein für die technologischen Möglichkeiten, verwirklichten den systematischen

Ansatz der Industrie 4.0 – also die Echtzeit-Integration ganzer Wertschöpfungsketten – aber nur in Bruchstücken. Der acatech Industrie 4.0 Maturity Index gibt den einzelnen Projekten einen Rahmen und zeigt grundlegende technische Voraussetzungen sowie deren Ergänzung um organisatorische und kulturelle Veränderungen. Anhand dieses Leitfadens ermitteln Unternehmen ihren eigenen Status quo und machen sich auf den Weg in Richtung einer lernenden, agilen Organisation.

Untrennbar mit der Transformation zur Industrie 4.0 verbunden ist die Entwicklung digitaler Geschäftsmodelle, sogenannter Smart Services. Der Industrie 4.0 Maturity Index fokussiert indes die digitale Integration, um die Wertschöpfungsketten von Unternehmen zu optimieren; er dient der Verbesserung des digitalen Reifegrads in den unternehmenseigenen Prozessen. Ausgehend von der digitalen Vernetzung des industriellen Kerns können Unternehmen digitale Dienste entwickeln und mit Partnern Ökosysteme aufbauen, die gemeinsame Smart Services anbieten.

Heute zeigt sich, wie ein synergetisches Ineinandergreifen dieser beiden Trends – Industrie 4.0 und digitale Geschäftsmodelle – möglich ist: In den unternehmenseigenen Prozessen wie Entwicklung, Produktion und Service kann systematisch aus Daten gelernt werden. Daten entstehen sowohl entlang der internen Prozesse als auch durch die produzierten Produkte beim Kunden. Viele Unternehmen sind heute mit der Kombination digital vernetzter Prozesse und digitaler Geschäftsmodelle der Vision eines lernenden, agilen Unternehmens ein ganzes Stück näher gekommen.

2 Erfahrungen aus der Anwendung des acatech Industrie 4.0 Maturity Index

Der acatech Industrie 4.0 Maturity Index diente seit seiner Veröffentlichung im Jahr 2017 vielen Unternehmen als Wegweiser für ihren digitalen Transformationsprozess. Ein Indikator für die rege Nutzung sind zehntausende Downloads der STUDIE von der acatech Webseite oder von Webseiten der Projektpartner. Weiterhin gibt es eine Reihe von Rückmeldungen sowie von den produzierenden Unternehmen sowie den Autorinnen und Autoren der STUDIE gemeinsam bestrittene Transformationsprojekte, die tiefe Einblicke in die Anwendung des acatech Industrie 4.0 Maturity Index gewähren. Dabei sind die nachfolgend beschriebenen Anwendungsszenarien zu erkennen.

Digitalisierungs-Roadmap für einzelne Produktionsstandorte

Unternehmen nutzen den acatech Industrie 4.0 Maturity Index, um zunächst den digitalen Status quo zu bestimmen. Hierbei ist es entscheidend, die wesentlichen Prozesse eines Standorts separat zu untersuchen. Denn so sind detaillierte Aussagen darüber möglich, an welchen Stellen bereits ein hoher digitaler

Reifegrad vorliegt und in welchen Bereichen Potenziale bestehen. Auf dieser Basis können dann systematisch Maßnahmen abgeleitet und mithilfe der Reifegradlogik priorisiert werden. Dieses Vorgehen hilft Unternehmen dabei, nicht zu viele Maßnahmen gleichzeitig anzustoßen. Weiterhin wird hierdurch sichergestellt, dass keine wesentlichen Elemente vergessen werden.

Synchronisation der Digitalisierungsaktivitäten über die Standorte des Unternehmens hinweg

Nutzt ein Unternehmen diese Methodik über die Standorte seines Unternehmens hinweg, ist es möglich, die digitalen Prozesse zu vergleichen und zu synchronisieren. Auf Basis der verschiedenen Status-quo-Analysen können unternehmensweite Handlungsschwerpunkte identifiziert werden, die synergetisch mit zentral bereitgestellten Lösungen adressiert werden können. Somit wird vermieden, dass jedes Werk für sich versucht, das gleiche Problem auf unterschiedliche Art und Weise zu lösen.

Globaler Rollout der Digitalisierungsstrategie und Controlling des Fortschritts

In enger Anlehnung an das zuvor beschriebene Szenario nutzen Unternehmen die Methodik, um ihre zentral definierte Digitalisierungsstrategie an ihren Standorten zu verbreiten. Dazu wird eine zentral aufgehängte Digitalisierungsorganisation genutzt; diese beschäftigt eine Reihe von internen Beraterinnen und Beratern, die Standards und technische Lösungen in die Werke



Abbildung 2: Reifegrade des acatech Industrie 4.0 Maturity Index (Quelle: Industrie 4.0 Maturity Center)

hineintragen sollen – analog einer Einführung von Produktionssystemen. Die Beraterinnen und Berater erheben den digitalen Status quo in den Werken und erarbeiten gemeinsam mit den lokalen Kolleginnen und Kollegen eine Digitalisierungs-Roadmap. Diese wird dann im weiteren Verlauf zur Nachverfolgung des Fortschritts genutzt.

Technische Due Diligence für Fabriken im Kontext von Mergers- und Acquisitions-Aktivitäten

Ein weiteres Szenario zur Anwendung der Methodik besteht in der technischen Due Diligence. Im Rahmen der Prüfung von potenziellen Unternehmenszweckkäufen wird der Maturity Index genutzt, um technische Risiken zu erkennen oder ein bislang unerkanntes Potenzial zu identifizieren.

Es zeigt sich, dass in allen Szenarien die beiden Kernideen der Methode essenziell sind: zum einen die Priorisierung von Projekten anhand von Reifegraden (siehe Abbildung 2), womit sich die Vielfalt technischer Möglichkeiten auf die heute relevanten fokussieren lässt, zum anderen die Berücksichtigung der Gestaltungsfelder Ressourcen, Informationssysteme, Organisationsstruktur und Kultur. Diese Kernideen verhelfen den eingesetzten Technologien zu ihrer eigentlichen Wirksamkeit.

2.1 Wie weit sind die Unternehmen?

Das Industrie 4.0 Maturity Center in Aachen hat mehr als siebzig Reifegradstudien durchgeführt (siehe Abbildung 3). Untersucht wurden Unternehmen, die den Maturity Index bereits anwenden. Im Durchschnitt haben die analysierten Unternehmen in den Gestaltungsfeldern Kultur und Organisationsstruktur bereits heute die Voraussetzungen geschaffen, um echtzeitnah verfügbare Daten zu nutzen (siehe Abbildung 3, Reifegrad 3, „Sichtbarkeit“). Dies bedeutet konkret, dass im (täglichen) Organisationsablauf vorgesehen ist, regelmäßig Daten heranzuziehen und darauf basierend Maßnahmen abzuleiten. Beispielsweise werden zu Schichtbeginn sogenannte Shop-Floor-Meetings durchgeführt, in denen die Kennzahlen der letzten Schicht betrachtet werden.

Im Bereich Kultur bedeutet beispielsweise der Reifegrad 3, dass eine Philosophie der kontinuierlichen Verbesserung praktiziert wird. Diese „Sichtbarkeit“ in den Bereichen Kultur und Organisationsstruktur ist darauf zurückzuführen, dass viele Unternehmen in den letzten Jahren ihre Lean-Management-Programme konsequent umgesetzt haben.

Schwächer ausgeprägt sind hingegen die Resultate in den Bereichen Ressourcen und Informationssysteme. Zwar wird heute

weitestgehend mit digitalen Daten und Dokumenten gearbeitet, auf die grundsätzlich auch zugegriffen werden kann (Reifegrad 2, „Konnektivität“). Dennoch fehlt der Schritt in die echtzeitnahe Aggregation und Visualisierung von Daten aus verschiedenen Quellsystemen (Reifegrad 3, „Sichtbarkeit“).



Abbildung 3: Durchschnittliche Bewertung der acht Prinzipien des acatech Industrie 4.0 Maturity Index; n = 70 (Quelle: Industrie 4.0 Maturity Center)

Bei Betrachtung des Gesamtreifegrads der Unternehmen – das heißt des gesamten Durchschnitts aller acht Prinzipien eines Unternehmens – fällt auf, dass sich der Großteil im Reifegrad 2, „Konnektivität“, befindet (siehe Abbildung 4): Achtzig Prozent der untersuchten Unternehmen haben derzeit bereits erste Ansätze zur „Vernetzung“ von Maschinen, Systemen und Menschen geschaffen. Jedoch ist diese Entwicklung noch nicht abgeschlossen. Keines der Unternehmen befindet sich mit seiner Bewertung in der Reifegradstufe 4, „Transparenz“, und darüber. Einige wenige Unternehmen (16 Prozent) befinden sich noch in den Anfängen und sind in der Reifegradstufe 1, „Computerisierung“. Derzeit haben nur vier Prozent der untersuchten Unternehmen eine durchschnittliche Reifegradbewertung von 3 („Sichtbarkeit“). Da laut Definition Industrie 4.0 erst ab der Reifegradstufe „Sichtbarkeit“ beginnt, hat nur ein kleiner Teil der Unternehmen die Digitalisierung (Reifegradstufen 1 bis 2) erfolgreich gemeistert und beginnt nun Industrie 4.0 großflächig anzuwenden.

Insgesamt lassen sich die Unternehmen beim Blick auf den aktuellen Umsetzungsgrad von Industrie 4.0 in drei Gruppen unterteilen: Die Nachzügler („Laggards“) befinden sich derzeit noch in der Stufe der „Computerisierung“. Als Anfänger („Beginner“) lässt sich die Gruppe der Unternehmen im Reifegrad

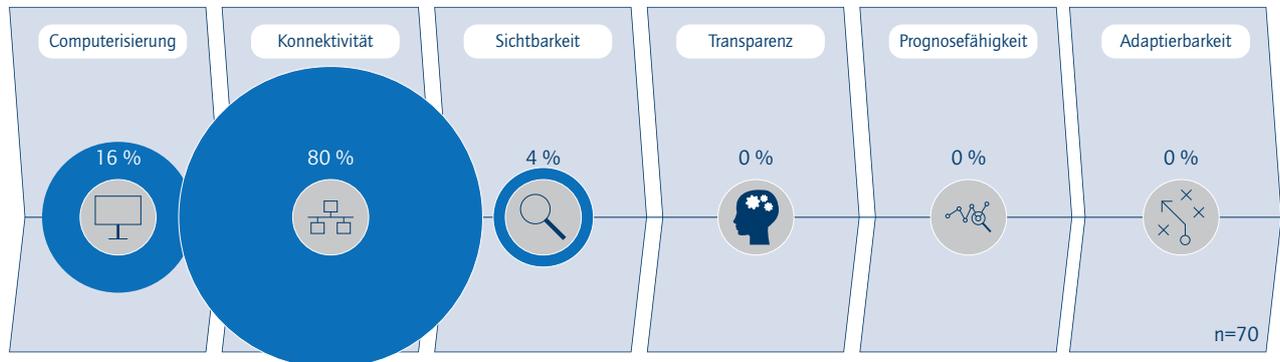


Abbildung 4: Verteilung der Unternehmen nach dem durchschnittlichem Gesamtreifegrad; n=70 (Quelle: Industrie 4.0 Maturity Center)

„Konnektivität“ bezeichnen. Die Champions („Leaders“) haben bereits einen durchschnittlichen Reifegrad „Sichtbarkeit“.

Abbildung 5 zeigt die Verteilung der Reifegrade in den vier Gestaltungsfeldern (Ressourcen, Informationssysteme, Organisationsstruktur und Kultur) innerhalb dieser Gruppen. Es werden erneut die Gruppen Nachzügler, Anfänger und Champions unterschieden. Für jedes Unternehmen dieser Gruppen wurden die Reifegrade der Gestaltungsfelder aufgetragen. Der Großteil der Nachzügler-Unternehmen verfügt über eine Reifegradbewertung seiner Gestaltungsfelder zwischen 1,1 und 2 (blauer Kasten). Deutlich wird aber auch, dass die Gruppe der Nachzügler eine starke Streuung in der Reifegradbewertung aufweist. Die Bewertung der Gestaltungsfelder der Unternehmen reicht von 1 bis 3,3 (Linien ausgehend vom blauen Kasten). Diese starke Streuung lässt sich ebenfalls in der Gruppe der Anfänger beobachten. Die

Streuung bedeutet, dass die vier Gestaltungsfelder Ressourcen, Informationssysteme, Organisationsstruktur und Kultur nicht gut aufeinander abgestimmt sind, denn sie haben stark abweichende Reifegradbewertungen (Streuung). Wenn es keine Übereinstimmung der einzelnen Reifegrade in den Gestaltungsfeldern gibt, ist jedoch ein ausgesprochenes Erfolgsprinzip des Reifegradindex nicht erfüllt. Bei den Champions hingegen liegen die Durchschnittswerte sehr nah beieinander: Abbildung 5 zeigt, dass dort die Streuung der Reifegrade sehr gering ist (2,6 bis 3,7). Diese Champions achten auf diesen Erfolgsfaktor und auf einen möglichst ähnlichen Reifegrad bei allen Gestaltungsfeldern.

In Abbildung 6 geht die Analyse der einzelnen Reifegrade eine Ebene tiefer. Wird die durchschnittliche Bewertung in den einzelnen Gestaltungsfeldern betrachtet, so zeigt sich, dass die Unternehmen in den Bereichen Kultur und Organisationsstruktur bereits

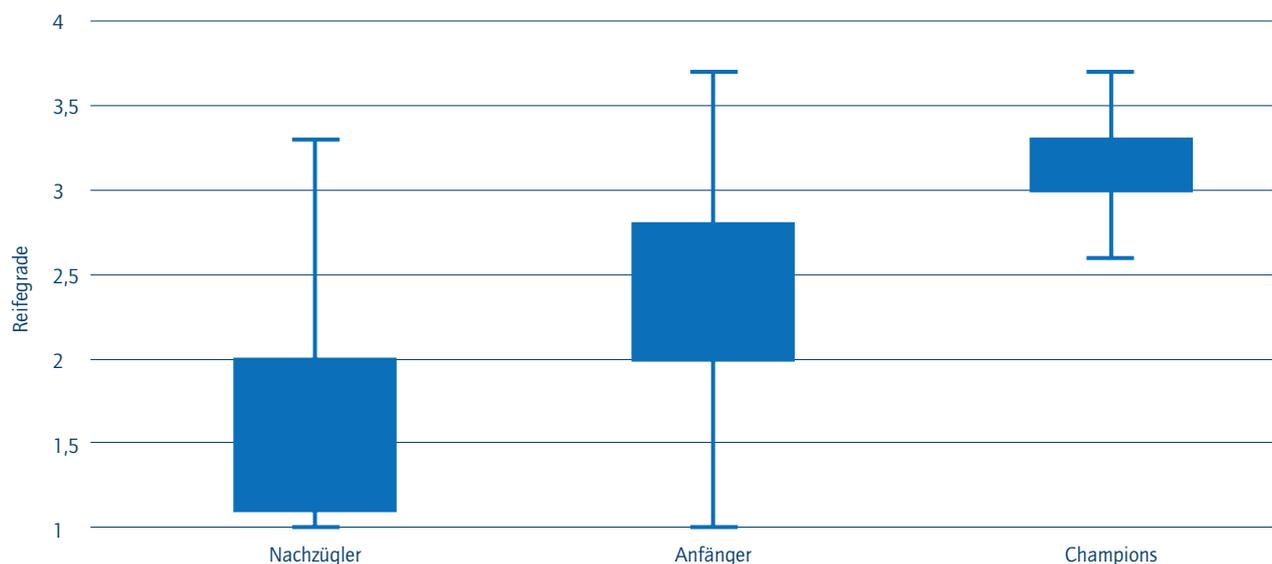


Abbildung 5: Verteilung der Gesamtreifegrade innerhalb der Unternehmensgruppen; n = 70 (Quelle: Industrie 4.0 Maturity Center)

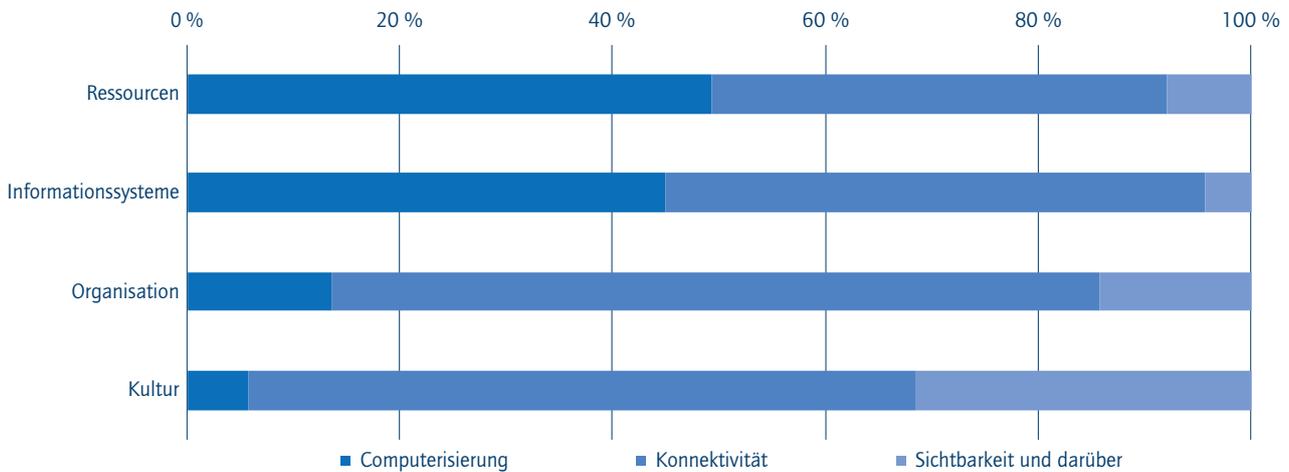


Abbildung 6: Verteilung der Reifegrade in den vier Gestaltungsfeldern innerhalb der Unternehmensgruppen; n = 70 (Quelle: Industrie 4.0 Maturity Center)

einen hohen Reifegrad erreichen konnten. 31 Prozent der Unternehmen befinden sich im Gestaltungsfeld Kultur im Reifegrad „Sichtbarkeit“ und darüber („Transparenz“, „Prognosefähigkeit“ und „Adaptierbarkeit“). 86 Prozent der Unternehmen konnten dagegen im Bereich der Organisationsstruktur mindestens den Reifegrad „Konnektivität“ erzielen. In den beiden Gestaltungsfeldern Kultur und Organisationsstruktur sind die untersuchten Unternehmen demnach sehr stark. Nachholbedarf zeigen die Statistik und die Erfahrung der Anwender des acatech Industrie 4.0 Maturity Index jedoch im technologischen Bereich: Immer noch nahezu die Hälfte (49 Prozent) der Unternehmen, die den Maturity Index anwenden, verfügen über einen Reifegrad „Computerisierung“ bei ihren Ressourcen. Das bedeutet, dass eine „Konnektivität“ ihrer Maschinen und Anlagen weitestgehend nicht vorhanden ist. Ein ähnliches Bild zeigt das Gestaltungsfeld Informationssysteme. Eine horizontale und vertikale Integration der Systeme im Unternehmen ist bei 45 Prozent der Unternehmen nur geringfügig vorhanden.

2.2 Digitale Volkskrankheiten in Unternehmen

Viele Unternehmen, die den acatech Industrie 4.0 Maturity Index anwenden, sind mit ähnlichen Problemen konfrontiert. Dabei fällt vor allem eines auf: Unternehmen setzen den Fokus mehr auf die Implementierung isolierter Industrie 4.0-Prototypen und Technologiestudien statt auf zusammenhängende, unternehmensweite

Transformationsprogramme. Diese Vorgehensweise bewirkt, dass die notwendigen strukturellen Änderungen in der Organisation und der IT-Architektur zugunsten von vergleichsweise unbedeutenden Projekten vernachlässigt werden. Werden die einzelnen Gestaltungsfelder der Methodik des Maturity Index betrachtet, sind daher immer wieder die gleichen „digitalen Volkskrankheiten“ zu beobachten.

Gestaltungsfeld Ressourcen

In den Bereich Ressourcen fällt die Konnektierung von Anlagen, also die digitale Vernetzung unterschiedlicher Maschinenparks zu einem gemeinsamen System. Hier spiegeln sich die historisch gewachsenen Strukturen vieler Unternehmen wider: Mit den Jahren ist der Maschinenpark gewachsen oder schrittweise erneuert worden; es existieren aber keine einheitlichen Standards für die Maschinensteuerungen. Dies resultiert aus einer Vielfalt an Protokollen sowie unterschiedlichen Datenmodellen. Nur mit manuellem Aufwand können Steuerungen nachträglich angebunden werden – häufig ist das nur mit einem „Retrofit“, einem Nachrüsten, der Steuerung möglich. Beides erfordert entsprechend qualifizierte Fachkräfte im Bereich der Steuerungstechnik und der OT-IT (Operation Technology und Information Technology)-Integration – Fachpersonal, an dem es heute mangelt.

Neben den Maschinensteuerungen sind auch Auto-ID-Technologien (Radio Frequency Identification – RFID, QR-Codes) ein wesentlicher Datenlieferant. Sie ermöglichen datenbasierte Transparenz in Echtzeit entlang der gesamten Auftragsabwicklung

Interview mit Mark Colwell und Mark Jaxion der dänischen Vestas Wind Systems A/S

Vestas Wind Systems A/S mit Sitz in Aarhus, Dänemark, ist der weltweit größte Hersteller von Windturbinen, gemessen am Umsatz und an der installierten Kapazität (Stand 2018). Mit mehr als vierzig Jahren Erfahrung in der Windindustrie hat Vestas mehr als 113 Gigawatt Kapazität installiert. Vestas-Turbinen wurden in 81 Ländern auf der ganzen Welt errichtet und sind an unterschiedlichsten Standorten in Betrieb – die Anlagen arbeiten unter anderem in großen Höhen und bei extremen Wetterbedingungen.

Mark Colwell ist Cheffingenieur für Product Lifecycle Management (PLM) bei Vestas.

Mark Jaxion ist Senior Specialist und Director von Vestas IoT und Industrie 4.0 Strategy.

Was bedeutet die digitale Transformation für Ihr Unternehmen?

Mark Colwell: Unser Geschäft basiert auf einer globalen und stark verteilten Infrastruktur, die von uns entwickelt, hergestellt, errichtet und gewartet wird. Unsere Windturbinen und Anlagen sind seit Jahrzehnten vernetzt und übertragen nahezu in Echtzeit Daten aus der ganzen Welt. Aus dieser Erfahrung haben wir viel über das Daten- und Informationsmanagement gelernt. In den letzten Jahren haben wir uns darauf konzentriert, unsere Konstruktionssysteme und Betriebssysteme miteinander zu verbinden. Die Nutzung von Daten und die Ableitung von Informationen ist eine große Chance für eine bessere Entscheidungsfindung in dem komplexen Umfeld, in dem wir arbeiten.

Wie würden Sie den Wert für Ihr Geschäft beschreiben, den Sie mit Industrie 4.0 erfahren?

Mark Jaxion: Unser Management ist bereit, in Kompetenzen und grundlegende Infrastrukturen, zum Beispiel die digitale Vernetzung von Systemen und Maschinen, zu investieren. Auch wenn sich dies nicht unbedingt kurzfristig lohnt, erhalten wir durch diese Investitionen Fähigkeiten, die für die Zukunft relevant sind. Natürlich muss man sich auch an Wirtschaftlichkeitsrechnungen orientieren, aber anstatt überambitionierten Wirtschaftlichkeitsrechnungen nachzugehen, achten wir darauf mit besagten Kompetenzen und

Infrastrukturen nachhaltig Wert für das Unternehmen zu schaffen. So konzentrieren wir uns mit diesen Aktivitäten unter anderem auf die Verkürzung der Zeit bis zur Markteinführung unserer Produkte (Reduzierung der Time-to-Market). Auch dies bringt jedoch nicht zwingend eine Kostensenkung mit sich, aber stärkt bedeutend den Wettbewerbsvorteil gegenüber unseren Konkurrenten.

Was sind Ihrer Meinung nach die größten Hindernisse für eine erfolgreiche digitale Transformation und wie überwinden Sie diese?

Mark Colwell: Anwendungsfälle können nicht „von oben nach unten“ in die Organisation eingebracht werden. Es ist wichtig mit den Menschen zu sprechen, die mit den größten Herausforderungen konfrontiert sind. Das sind in unserem Fall vor allem diejenigen, die in der Produktion (Stichwort: Shopfloor) und bei der Montage sowie Instandhaltung („im Feld“) arbeiten. Die Leute müssen bereit sein, dem System und den Entscheidungen oder Vorschlägen, die es macht, zu vertrauen. Deshalb müssen sie in die Suche und Entwicklung von Anwendungsfällen involviert werden.

Mark Jaxion: Ein Wort: Stammdaten. Bei all unseren Bemühungen aus Daten zu lernen, hindern uns oft Altlasten. Beispielsweise ist Augmented Reality für Windkraftanlagen, die wir in den achtziger Jahren errichtet haben, nicht möglich. Wir haben keine CAD-Daten. Es ist viel schwieriger die physische Welt in die digitale Welt zu bringen als umgekehrt. Das ist die große Herausforderung und erfordert viel grundlegende Arbeit und Mühe.

Was möchten Sie mit anderen teilen, die auf dem Weg zu Industrie 4.0 sind?

Mark Colwell: Sie sollten sich ihre Vision genau ansehen: Was wollen sie kurz- und mittelfristig erreichen? Dies sollte vor dem Hintergrund dessen bewertet werden, was bereits vorhanden ist: Was ist möglich und wo müssen sie sich tatsächlich verbessern? Eine langfristige Vision und ein Fahrplan, die die strategischen Ziele der Unternehmen berücksichtigen, sind unerlässlich.

Mark Jaxion: Die Implementierung von Industrie 4.0 ist nicht nur eine Anwendung von Technologie, sondern auch eine Veränderung der Fähigkeiten innerhalb des Managements und der Produktion sowie auf dem Feld. Man sollte sich auf Fähigkeiten „als Befähiger“ und nicht nur auf Technologien konzentrieren. Letztere sind nur das Werkzeug.

ohne manuellen Aufwand zur Datenerfassung. Auto-ID-Technologien bilden die Grundlage für die Erhebung vieler Kennzahlen, aber auch für die Buchung von Arbeitsschritten und das Auslösen weiterer Prozesse. Dennoch zögern viele Unternehmen etwa bei der flächendeckenden Einführung von RFID-Systemen, da sie die Investitionskosten scheuen. Dabei kalkulieren sie häufig zu kurzfristig: Es werden lediglich die direkten Einsparungen bei Personalkosten (zum Beispiel manuelle Buchungen) betrachtet. Der Mehrwert der Echtzeitdaten für die Planung und Steuerung oder der gesteigerten Datenqualität fließt nicht in die Kalkulation mit ein.

Gestaltungsfeld Informationssysteme

Die Vision der Industrie 4.0 geht von vollständig integrierten und automatisierten Informationsflüssen im gesamten Unternehmen und sogar über dessen Grenzen hinweg aus. Von der Erzeugung der Rohdaten am Sensor bis hin zur Aggregation, Analyse und Darstellung ist kein menschlicher Eingriff mehr notwendig. Hierbei sind zwei zentrale Probleme zu beobachten:

1. Die Integration der verschiedenen Systeme findet zwar statt, ist aber sehr fragil. In vielen Betrieben existiert eine Vielzahl von selbstentwickelten Lösungen, Datenbanken und Tabellen, die die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bei der Datensammlung und aufbereitung unterstützen. Ein klassisches Beispiel ist die Excel-Tabelle für die tägliche Feinplanung der Produktionsaufträge: Diese wird jeden Tag aus dem Enterprise-Resource-Planning(ERP)-System extrahiert und dann vom Schichtleiter angepasst. Die Rückmeldung der Aufträge findet manuell durch den Schichtleiter oder in einigen Fällen direkt durch die Maschinenbedienerinnen und bediener statt. Häufig werden die Maschinenbedienerinnen und bediener durch ein System mit rudimentären Manufacturing-Execution-System(MES)-Funktionalitäten unterstützt. Dies ermöglicht jedoch keinen bidirektionalen Austausch von Daten mit dem ERP-System oder mit der Maschinensteuerung. So müssen trotz des Einsatzes von IT-Systemen sehr viele Daten und Informationen manuell erfasst und übertragen werden. Es ist keine Echtzeitfähigkeit gegeben, und es wird ein hoher Personalaufwand verursacht.
2. Die Datenqualität, insbesondere die Qualität der Stammdaten, ist nicht ausreichend. Beispielsweise liegen Arbeits- oder Prüfanweisungen zwar in digitaler Form als PDF oder Tabelle vor, sie sind aber weder standardisiert, noch wurden sie den entsprechenden Stammdaten zugeordnet. Vielmehr sind sie auf File-Servern des Unternehmens verteilt. Dies führt dazu, dass die Einführung neuer Systeme in der Fabrik,

beispielsweise ein modernes MES, zwar technisch gesehen keine Hürde darstellt, aber einen immensen Aufwand in der Bereinigung der Stammdaten generiert.

Gestaltungsfeld Organisationsstruktur

Viele produzierende Unternehmen sind nach wie vor entlang ihrer Funktionsbereiche hierarchisch organisiert und die Zielsysteme in den Leitungspositionen entsprechend gestaltet. Dies hat eine geringe Bereitschaft zur interdisziplinären Zusammenarbeit zur Folge. Die abteilungsübergreifende Kollaboration ist jedoch für viele Vorhaben im Bereich der digitalen Transformation von zentraler Bedeutung. So ist es möglich, dass Daten in der Abteilung, in der sie entstehen, keinen unmittelbaren Nutzen stiften, in einer anderen Abteilung jedoch sinnvoll verwendet werden können. Beispielsweise können detailliert modellierte CAD-Daten aus der Konstruktion im weiteren Verlauf des Produktlebenszyklus auch im Service genutzt werden.

Gestaltungsfeld Kultur

Im Bereich Kultur besteht eine Schwachstelle vieler Betriebe darin, dass betroffene Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter nicht oder nicht ausreichend aktiv in Veränderungsprojekte eingebunden werden. So wählen fast immer und ausschließlich IT-Abteilungen neue IT-Systeme aus – dies führt zu Widerstand in den Fachabteilungen und zu einer geringen Akzeptanz der Systeme. Aktuelle Ansätze hingegen gehen davon aus, dass insbesondere die Nutzer eines Systems die Anforderungen definieren und entsprechend in die Auswahl und Implementierung involviert werden müssen.

Weiterhin stellt das Verständnis für Datenqualität eine Herausforderung dar. Den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern ist häufig nicht bewusst, welche Auswirkungen Nachlässigkeiten bei der Anlage von Stammdaten haben oder welcher Mehrwert in gut dokumentierten Störungen und deren Lösungen steckt.

2.3 Akute Handlungsfelder in Unternehmen

Die betriebliche Anwendung des Industrie 4.0 Maturity Index zeigte sehr deutlich, wo Herausforderungen und akute Handlungsfelder in Unternehmen liegen. Diese werden im Folgenden entlang der vier Gestaltungsfelder Ressourcen, Informationssysteme, Organisationsstruktur und Kultur näher beschrieben und daraus Roadmaps für die jeweiligen Phasen der digitalen Transformation abgeleitet.

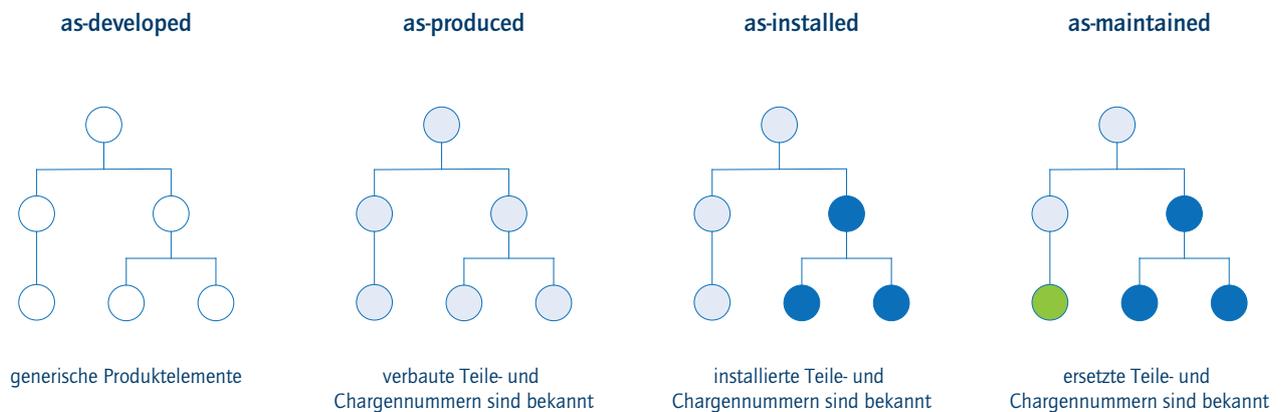


Abbildung 7: Bauteile als Informationsträger während des Produktlebenszyklus (Quelle: Industrie 4.0 Maturity Center/TU Darmstadt)

2.3.1 Kopernikanische Wende in der Produktion

Bei einer durchgängigen Informationsbereitstellung über die gesamte Wertschöpfungskette muss auch das hergestellte Produkt miteinbezogen werden – wichtig sind daher ebenso die einzelnen Bauteile eines Produkts bestehend aus Baugruppen und Einzelteilen. Als aktuelles Handlungsfeld wird daher der Ansatz des Bauteils als Informationsträger empfohlen: Im gesamten Produktlebenszyklus – von der Entwicklung über die Produktion bis hin zur Nutzung – werden die Informationen eines Bauteils gesammelt und miteinander verknüpft.

Beispielhaft kann hier die Bildung von Stücklisten (Bill-of-Materials) angeführt werden (siehe Abbildung 7). Über alle Phasen des Produktlebens einer Maschine oder Anlage können anhand eines Produktdatenmodells Informationen über die Eigenschaften verbauter Teile gespeichert werden. Das Produktdatenmodell, das die Konstruktionseigenschaften und -werte beschreibt, kann erweitert werden, indem es um die physikalisch verfügbaren Fertigungseigenschaften und -werte jedes gefertigten Bauteils ergänzt wird. Dieser Ansatz ermöglicht es, Informationen aus verschiedenen Datenquellen der Fertigung miteinander zu verknüpfen und bauteilindividuelle Informationen zu generieren, die in allen Lebenszyklusphasen wertschöpfend verwendet werden können. Folglich sammeln Bauteile während ihres gesamten Lebenszyklus Informationen über sich und werden so zu Informationsträgern.¹ Um diese zentrale Herausforderung – relevante Daten erfassen, Informationen verarbeiten sowie wertschöpfend verknüpfen – meistern zu können, werden unter

anderem Product-Lifecycle-Management(PLM)-Systeme in Unternehmen herangezogen.

2.3.2 Edge- und Cloud-Computing statt Automatisierungspyramide

Für viele Unternehmen stellt die Automatisierungspyramide eine Orientierung für die Gestaltung ihrer IT-Architekturen dar (siehe Abbildung 8). Mittels Technologien der Digitalisierung werden hierarchische Architekturen von IT-Systemen aufgebrochen, indem Cloud- und Edge-Computing-Technologien schrittweise eingeführt werden.² Hierzu sind nach Logik des Schichtenmodells aus der Smart Service Welt³ insbesondere vernetzte physische und softwaredefinierte Plattformen richtungsweisend. Das Vorgehen großer Softwarehersteller hat sich von Produktionsoptimierung und -steuerung aus der öffentlichen Cloud in Richtung Edge-Computing entwickelt. Kapazitäten von Rechenzentren (Cloud-Computing) werden an das lokale Netzwerk (Edge-Computing) verlagert, sodass Anforderungen hinsichtlich Antwortverhalten, Autonomie und Datenschutz, einschließlich Schutz von produktionsrelevantem Know-how, besser berücksichtigt werden können.⁴ Dabei existieren on-premises kleinere, dezentrale Rechenzentren, die lokal Daten aus unterschiedlichen Datenquellen aggregieren und auswerten können (siehe Abbildung 9). Während komplexe Anwendungen überwiegend in der Cloud-Umgebung durchgeführt werden können, findet die Vorverarbeitung in der Edge-Umgebung statt. In der Praxis sind vermehrt Mischformen des Cloud- und Edge-Computing-Ansatzes vorzufinden. Zur Umsetzung einer solchen Architektur werden

1 | Vgl. Anderl 2015, S. 753-765.

2 | Vgl. Verein Deutscher Ingenieure e. V. 2013.

3 | Vgl. Arbeitskreis Smart Service Welt/acatech 2015.

4 | Vgl. Willner 2019.

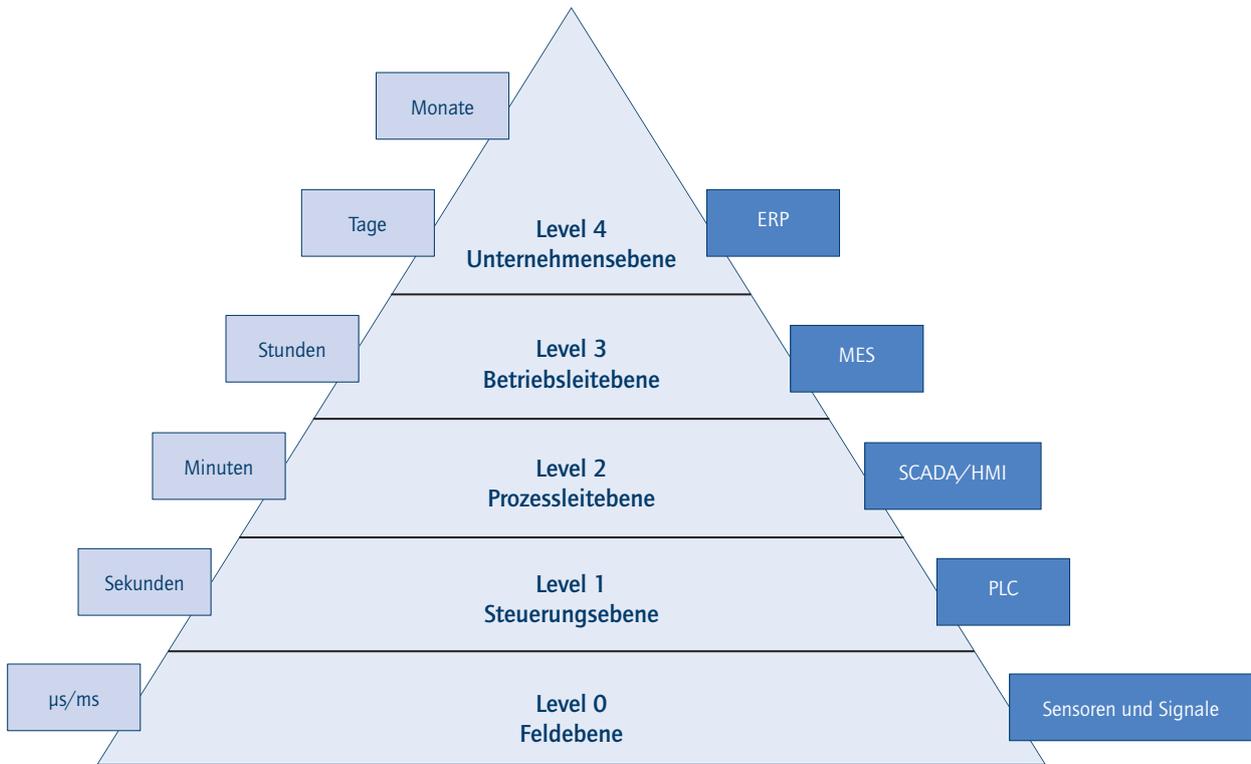


Abbildung 8: Automatisierungspyramide nach dem ISA 95-Modell (Quelle: Åkerman 2018, S. 2)

Vorteile

- sichere Datenübertragung
- Datenaggregation
- speichern/weiterleiten (keine verlorenen Daten)
- hohe Datentreue
- Edge-Analysen

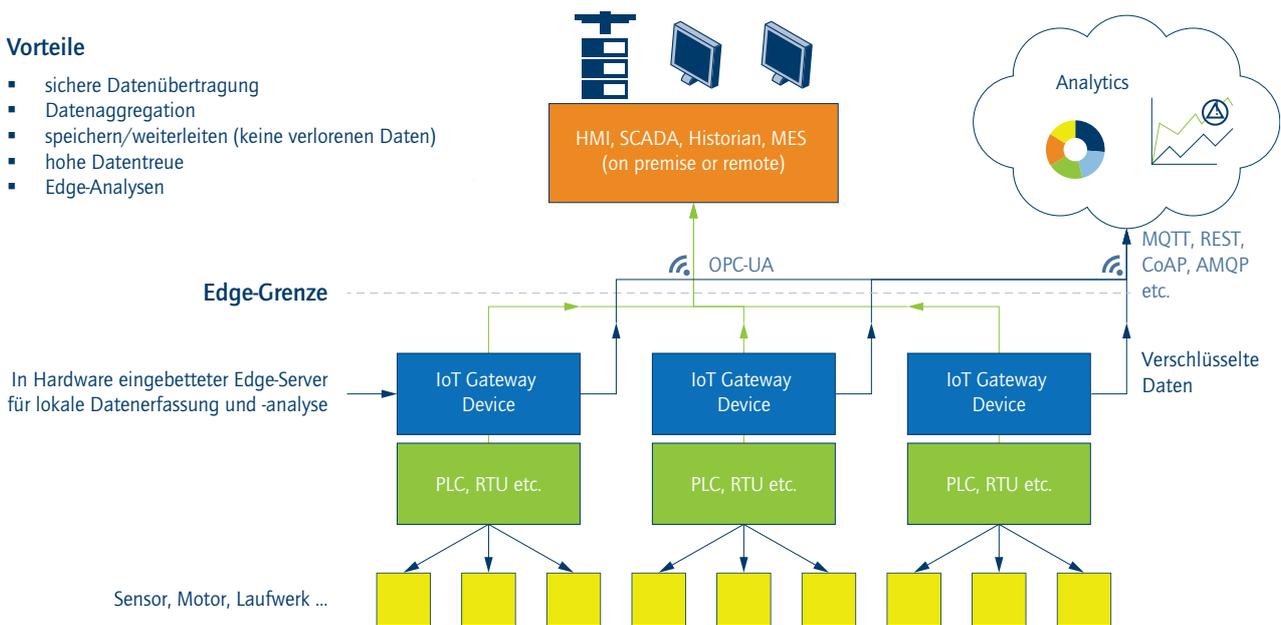


Abbildung 9: Zusammenspiel von Edge- und Cloud-Computing am Beispiel der Datenaggregation und -analyse (Quelle: PTC)

derzeit verstärkt Kooperationen zwischen Industrie und Cloud-Anbietern geschlossen, um Kompetenzen zu bündeln. Beispielhaft sei die im letzten Jahr begonnene Kooperation zwischen Volkswagen, Amazon und Siemens genannt, die durch Vernetzung von Anlagen, Fabriken und zukünftig auch Zulieferern in der Volkswagen Industrial Cloud substantielle Optimierungen im Materialfluss und in der Logistik erzielen soll. Auch das Lösungskonzept von GAIA-X beruht auf zentralen technischen Anforderungen an eine Architektur einer vernetzten, offenen Dateninfrastruktur, unter anderem auf der dezentralen beziehungsweise verteilten Datenverarbeitung über Multi-Edge, Multi-Cloud oder Edge-to-Cloud. Diese Dateninfrastruktur soll Vertrauenswürdigkeit und Souveränität der Nutzer und ihrer Daten gewährleisten.⁵

2.3.3 Praxisbeispiel agile Arbeitsorganisation: Prototypentwicklung in 72 Stunden

Während agile Organisationsformen bisher eher aus den Bereichen IT und Dienstleistungen sowie Marketing bekannt sind, zeigt ein modern geführtes Familienunternehmen, wie in der produzierenden Industrie eine agile Organisation gelingt, die parallel zur funktionalen, hierarchischen Organisation in der Produktion eingeführt wurde: Was mit einem Hackathon begann, in dem die Belegschaft innerhalb von 72 Stunden abseits ihres eigentlichen Produktspektrums einen intelligenten Prototyp entwickelte, war für die BEULCO GmbH & Co. KG^{6,7} (BEULCO) nur der Auftakt für die Transformation zur agilen Organisation. Als Katalysatoren für den Transformationsprozess wurden von insgesamt 180 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern im Unternehmen zwanzig sogenannte „CoPs“ (Community of Practice) ausgebildet. Sie sind innerhalb des Unternehmens Ansprechpersonen für Transformationsprojekte und für deren Orchestrierung (Moderation, Koordination und Dokumentation) zuständig. Neben zwei CoPs für jedes Projekt gibt es den Themen-Owner, der die Entwicklung eines Projekts beziehungsweise einer Projektidee übernimmt. Für jedes Projekt melden sich interessierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die das Projekt zusammen mit dem Themen-Owner vorantreiben und umsetzen. Die Projektverantwortung trägt nicht der Themen-Owner allein, vielmehr liegt diese bei dem bearbeitenden Team.

Neben der zeitlichen Freistellung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern wurde ein Raum für die Bearbeitung der Projekte eingerichtet. An einer Pinnwand können alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter neue Ideen für Transformationsprojekte anbringen.

Ergibt die Beratung mit einem der CoPs, dass die Idee sinnvoll ist und angegangen wird, wird die Mitarbeiterin beziehungsweise der Mitarbeiter zum Themen-Owner des Projekts.

Bei der Definition der Projekte hält sich die Geschäftsführung an die Regeln agiler Methoden: Sie darf keine Projekte initiieren – diese entstehen ausschließlich „bottom up“ durch die Belegschaft.

2.3.4 Mehr Gestaltungsfreiheit für die Belegschaft

Bei der Einführung einer agilen Organisation ist für den Erfolg der digitalen Transformation nicht die bloße Einbindung, sondern das Empowerment der Belegschaft zur Gestaltung der Transformationsprozesse entscheidend (siehe Kapitel 2.3.3). So sind beispielsweise Auswahl und Ausbildung von Katalysatoren innerhalb eines Unternehmens als Orchestratoren der digitalen Transformation (zum Beispiel in Form von CoPs, siehe Kapitel 2.3.3) heterogen über alle hierarchischen Ebenen verteilt wichtig und sorgen für eine wesentliche Veränderung: Auch ein Mitarbeiter oder eine Mitarbeiterin vom „Shopfloor“ gestaltet innerhalb seiner neuen Funktion auf Augenhöhe mit anderen im Unternehmen die digitale Transformation.

Für die Übergabe des Transformationsprozesses „bottom up“ an die Belegschaft ist seitens der Führungskräfte aufgrund des entstehenden Kontrollverlusts bei Projektplanung und -steuerung ein „Mindshift“ notwendig: Hierarchische Prägungen, insbesondere im produzierenden Unternehmen, werden aufgebrochen. Neben Führungskräftebildungen, die initial sowie kontinuierlich im Unternehmen stattfinden und moderne Führungsmethoden vermitteln, ist der Transformationsprozess auch eine Frage von individueller Persönlichkeitsentwicklung.

Während Führungskräfte lernen, Verantwortung abzugeben, tragen die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mehr Verantwortung: Die agile Organisation lebt von der Beteiligung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und deren wachsender Selbstverantwortung über alle Hierarchieebenen hinweg. Von der Ideenfindung über die Projektinitialisierung bis hin zur Projektdurchführung übernehmen sie die Führung (den „Lead“). Dabei sind Beteiligung und größere Verantwortung für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter kein Zwang: Durch das Prinzip der konsequent gehaltenen Freiwilligkeit werden nur diejenigen angesprochen, die Motivation zur Veränderung und Affinität für ein Thema mitbringen.

5 | Vgl. BMWi 2019a.

6 | BEULCO ist Produzent von Lösungen und Systemen für die Wasserversorgung speziell im Bereich Hausanschlusstechnik und in der mobilen Wasserverteilung.

7 | BEULCO ist Gewinner des Digital Champions Award 2019 in der Kategorie „Transformation Mittelstand“.

3 Fallstudien

3.1 Anwendung des acatech Industrie 4.0 Maturity Index in Unternehmen

Die Erstfassung der acatech STUDIE Industrie 4.0 Maturity Index aus dem Jahr 2017 hatte das Ziel, ein Standardwerkzeug zu entwickeln, mit dem produzierende Unternehmen die digitale Transformation gestalten können. Unternehmen sollten dadurch zeitnah eine Entwicklungsunterstützung erhalten, um dann direkt eine Implementierung anschließen zu können. Dabei galt es nicht nur, erste Piloten zu erstellen, sondern vielmehr, den Transformationsprozess strukturiert und effizient durchzuführen. An diesem Ziel muss sich die STUDIE nun drei Jahre später auch messen lassen.

Der Index fand in den letzten drei Jahren branchenübergreifend bei zahlreichen Unternehmen Anwendung, das heißt, der Einsatz bezieht sich nicht nur auf die diskrete Fertigung. So wurde der Index auch in der digitalen Transformation eines Schokoladenproduzenten in Deutschland eingesetzt. Er half diesem bei der Identifizierung von Potenzialen zur Steigerung der Produktivität in der Produktion hochwertiger Schokoladenerzeugnisse. Die

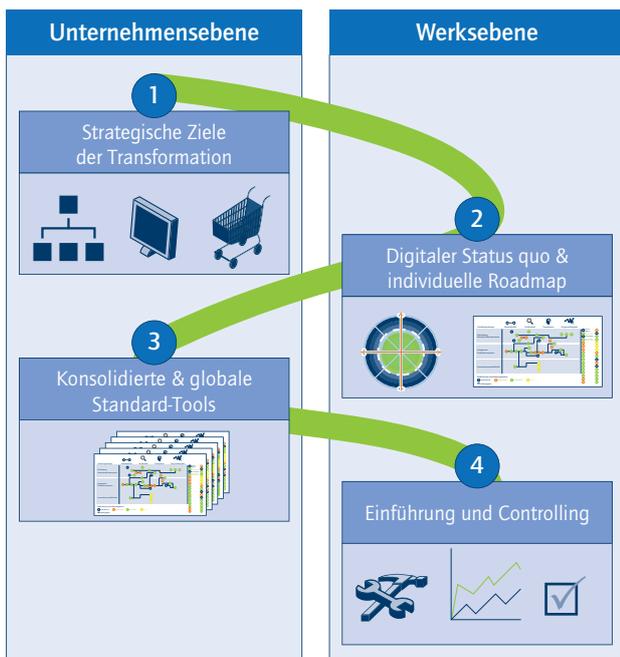


Abbildung 10: Vorgehen zur digitalen Transformation bei ZF (Quelle: Industrie 4.0 Maturity Center und ZF Friedrichshafen AG)

Anwendung des Industrie 4.0 Maturity Index war in diesem Beispiel auf das Unternehmen beschränkt; die Synergien ergeben sich bei einer Implementierung auf eine gesamte Wertschöpfungskette.

Vier ausgewählte Unternehmensbeispiele werden in den folgenden Unterkapiteln vorgestellt. Beim Unternehmen ZF Friedrichshafen AG mit über 230 Werken weltweit stand die Herausforderung einer standardisierten Anwendung im Vordergrund (siehe Kapitel 3.2). Eine der ersten praktischen Anwendungen des Industrie 4.0 Maturity Index fand bei der HARTING Technologiegruppe statt; diese Implementierung wurde in der acatech STUDIE aus dem Jahr 2017 beschrieben. In Anlehnung an die damalige Erhebung des Status quo und die Ableitung der Roadmap erfolgte bei HARTING die Gründung einer interdisziplinären Industrie 4.0-Taskforce, die mit der Umsetzung betraut wurde und erfolgreich erste Projekte realisierte (siehe Kapitel 3.3). Das Beispiel Kuraray Europe GmbH (siehe Kapitel 3.4) umfasst eine dreigliedrige Produktionskette; seine Analyse und zusammenfassende Roadmap beschreibt das Thema Synergieeffekte eindrucksvoll. Beim vorgestellten Beispiel aus der Lebensmittelindustrie, einem Schokoladenwerk (siehe Kapitel 3.5), steht insbesondere die Erhöhung von Effizienz und Output im Fokus der Index-Anwendung.

3.2 ZF Friedrichshafen AG: Industrie 4.0 Rollout in mehr als 230 Werken

Die Implementierung von Industrie 4.0, die Digitalisierung der Produktionswertschöpfungskette und der Einsatz Künstlicher Intelligenz schaffen Kosten- und Effizienzoptimierungspotenziale, Chancen für Rentabilitätssteigerungen sowie neue Möglichkeiten zur Entwicklung und Umsetzung innovativer Geschäftsmodelle. Gleichzeitig geht dies jedoch unter anderem mit dynamischen, radikalen Veränderungen des Geschäftsumfelds, strukturellen Verschiebungen in den Wertschöpfungsnetzwerken und hohen Investitionsausgaben einher. Diesen Herausforderungen muss sich auch die ZF Friedrichshafen AG (ZF), ein weltweit führendes Technologieunternehmen mit Sitz in Friedrichshafen, stellen. ZF ist in unterschiedliche Divisionen unterteilt, die innerhalb weiterer Business Units diverse Produkte entwickelt und verschiedene strategische Ausrichtungen verfolgt. Mit mehr als 230 Standorten setzt die digitale Transformation in den einzelnen Bereichen eine genaue Planung voraus. Die globale Ausrichtung bedingt, dass Werke innerhalb der Business Units zwar ähnlich

aufgebaut sind, doch aufgrund unterschiedlicher Entwicklungen eine Vergleichbarkeit auf übergeordneter Ebene nicht möglich ist. Um der Gesamtstrategie auf Konzernebene und den individuellen Aspekten auf Werksebene gerecht zu werden, wurde ein vierstufiges Vorgehen angewendet.

Zuerst erfolgte die Definition von strategischen Zielen auf Konzernebene. In den Werken wurden der jeweilige Status quo erhoben und die Ergebnisse anschließend in eine Roadmap überführt. Nach jeder Durchführung folgte dann pro Werk die Überführung der Ergebnisse in eine übergreifende Roadmap. Die Implementierung wurde durch Unterstützung zentraler Technologien vorangetrieben (siehe Abbildung 10).

Auf ZF-Konzernebene wurde das Systemhaus Industrie 4.0 gegründet, um unternehmensweite Standards und Lösungen wie strategische Fertigungsmanagementsysteme, Gerätekonnektivität und IT-Sicherheit in der Produktion zu entwickeln und anzubieten. Für die Realisierung der digitalen Transformation musste ein Kompromiss zwischen einer zentralen Strategie zur Nutzung von Synergieeffekten einerseits und individuellen Anpassungen auf Bereichs- und Werksebene andererseits gefunden werden. Dies leistet das Systemhaus Industrie 4.0 als zentrale Organisation. Es ermöglicht auch den Austausch von Best Practices und ist für den Einsatz von Task Forces verantwortlich und legt zudem einen gemeinsamen Standardrahmen fest, um die Transformationsaktivitäten innerhalb von Werken und werksübergreifend zu strukturieren.

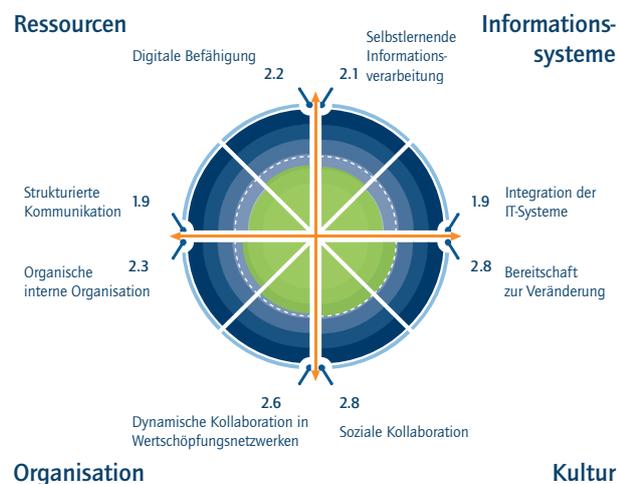


Abbildung 11: Beispielhafte Bewertung des Status quo eines Werks bei ZF (Quelle: ZF Friedrichshafen AG und Industrie 4.0 Maturity Center)

Bei ZF wurde bereits frühzeitig mit dem Aufbau von Systemhaus Industrie 4.0 auf Konzernebene begonnen, es fehlte jedoch ein standardisiertes Werkzeug, das den Entwicklungsstand der Werke objektiv bewertet und diese Ergebnisse in eine Digitalisierungsstrategie überführt. Um das Tool in die Gesamtorganisation zu integrieren, diente das bereits bestehende ZF Production System als Vorbild. Dort sind auf lokaler Ebene Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für das „Lean Management“ (zu Deutsch: schlankes Management) zuständig. So findet durch den organisatorischen Aufbau und die Standardisierung eine zentrale Entwicklung statt. Die Wahl des standardisierten Tools für die digitale Transformation fiel dann auf den acatech Industrie 4.0 Maturity Index, der nun Bestandteil von Systemhaus Industrie 4.0 geworden ist. Grund für diese Wahl war zum einen die Objektivität, die sich durch den Fragebogen und das standardisierte Vorgehen ergab. Zudem werden organisatorische und kulturelle Aspekte miteinbezogen, die eine nahtlose Verknüpfung mit den Lean-Aktivitäten ermöglichte. Des Weiteren war ZF wichtig, dass dieses Werkzeug nach einer Anlaufphase auch von den eigenen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern objektiv angewendet werden kann, um alle Werke in die digitale Transformation einzubeziehen.

In der Anlaufphase wurde bei ZF die Analyse mit dem Industrie 4.0 Maturity Index an 14 Standorten in 10 Ländern in Europa, Asien und Nordamerika auf unterschiedliche Prozesse wie Produktion, Logistik, Qualität, Planung angewendet. Für jedes Werk wurde in einer Reifegradstudie der Status quo erstellt. Dabei fokussierte sich das Team, unterstützt von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Industrie 4.0 Maturity Center, auf die jeweils wichtigen Prozesse für das Werk (siehe Abbildung 11). Die Status-quo-Ergebnisse zeigen, dass sich die einzelnen Werke zwar in ihren Details unterscheiden, aber auch immer wieder ähnliche Schwerpunkte aufweisen. Beispielsweise sind nahezu alle Werke in Bezug auf kulturelle Prinzipien und dynamische Zusammenarbeit im Wertschöpfungsnetzwerk besser positioniert als dies bei den Gestaltungsfeldern Informationssysteme und Ressourcen der Fall ist. Im Hinblick auf die werkseigenen Prozesse (Planung & Steuerung, Fertigung & Montage, Logistik & Lagerhaltung, Engineering & Instandhaltung, Qualität) sind nur wenige Unterschiede zwischen den einzelnen Standorten feststellbar. Dies indiziert, dass die Implementierung von Industrie 4.0 relativ gleichmäßig zwischen den unterschiedlichen Geschäftsbereichen verlaufen ist und pro Werk einen ähnlichen Fortschritt für die einzelnen Prozesse mit sich bringt.

Ausgehend von den lokalen Ergebnissen an den Standorten wurde zunächst eine individuelle Roadmap für die einzelnen Werke erstellt. Diese Roadmap, vergleichbar mit Abbildung 12,

zeigt systematisch Maßnahmen auf, um einen höheren Reifegrad in den verschiedenen Geschäftsfeldern zu realisieren. Damit wird nicht nur eine gleichmäßige Entwicklung über die Prinzipien erreicht, sondern der systematische Aufbau führt ebenfalls zu einer Risikominimierung bei der Umsetzung der gesamten digitalen Transformation. Die konzernweite Roadmap wurde für die Bereiche Planung & Steuerung, Fertigung & Montage, Logistik & Lagerhaltung, Engineering & Instandhaltung, Qualität und übergeordnete Ebenen hergeleitet. Jedem Bereich wurden bis zu fünf Maßnahmen zugeordnet. Für jede in der Roadmap vorgeschlagene Maßnahme wurden detaillierte Profile erstellt,

inklusive einer genauen Beschreibung von erforderlichem Aufwand, Nutzen, Profitbeitrag, Gestaltungsfeld und Entwicklungsstufe des Industrie 4.0 Maturity Index sowie den betroffenen Prozessen.

Um Synergieeffekte innerhalb des Konzerns nutzen zu können, muss die Entwicklung über die Werksgrenzen hinausgehen. Dazu werden nach der Identifikation gleicher oder ähnlicher Maßnahmen die Roadmaps der Werke konsolidiert. In solchen Fällen bietet sich die Erstellung eines divisions- oder konzernweiten Standards an. Beispiele standardisierter digitaler Lösungen sind

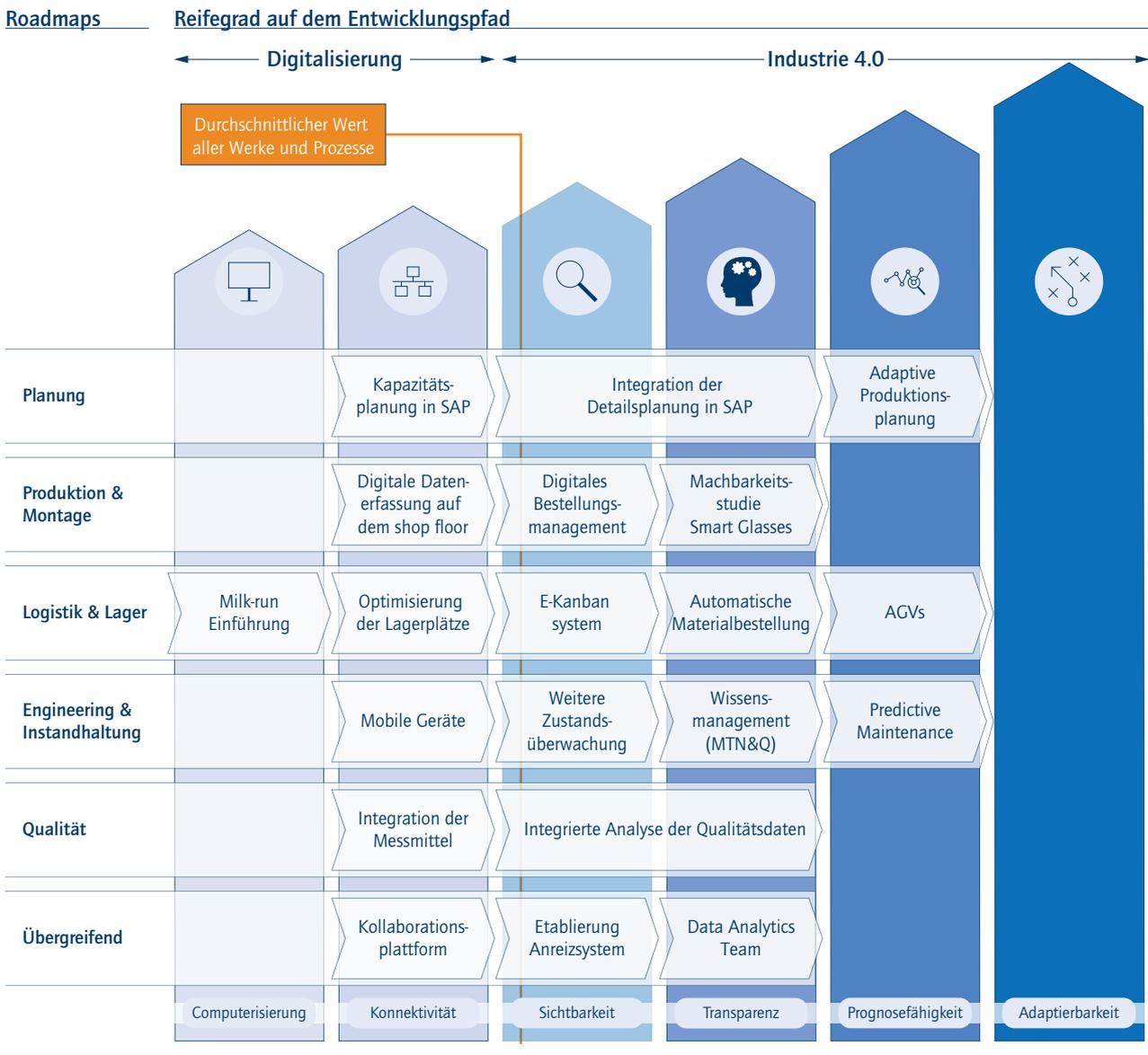


Abbildung 12: Beispielhafte Roadmap mit Umsetzungsmaßnahmen für die digitale Transformation bei ZF (Quelle: ZF Friedrichshafen AG und Industrie 4.0 Maturity Center)

Software, Geräte oder Sensorik, die zentral bereitgestellt und wie bei einem App-Store zentral angeboten werden. Diese Standardmaßnahmen können von unterschiedlichen Geschäftsbereichen und Werken ausgewählt, implementiert und an ihre individuellen Anforderungen angepasst werden.

Um die Projekte nach der Anlaufphase selbst durchführen zu können, wurden ausgewählte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in den Divisionen in der Anwendung der Methodik explizit im Detail ausgebildet. So entwickelte sich pro Division eine Anzahl von Expertinnen und Experten, die die digitale Transformation im weiteren Verlauf unterstützen konnten.

Um die digitale Transformation jedes Werks effektiv umsetzen zu können, wird für jedes Werk eine lokal verantwortliche Person, eine lokale Digitalisierungsmanagerin beziehungsweise ein lokaler Digitalisierungsmanager, definiert. Es erfolgt die Einrichtung zentraler Dienste. Darüber hinaus wird eine zunehmende Anzahl an internen Beraterinnen und Beratern ausgebildet, um die digitale Transformation zu managen. Ähnlich der bestehenden Lean-Struktur führt die konzernweite Vernetzung der Digitalisierungsmanagerin beziehungsweise des Digitalisierungsmanagers zu einem werksübergreifenden Austausch von Ideen und Lösungen. Soweit wie möglich, werden konzernweite Standardtools eingesetzt und die Projekte agil umgesetzt.

Um die Entwicklungen in den Werken und die Ausrichtung an der Unternehmensstrategie im Auge zu behalten, werden die Statusquo-Bewertungen untereinander verglichen und bei Bedarf regelmäßig wiederholt. Die fortlaufende Kontrolle bereits umgesetzter Maßnahmen und die Validierung neuer Maßnahmen ermöglichen ein flexibles Reagieren auf Veränderungen. So wird die Effizienz der Maßnahmen hinsichtlich ihres Beitrags zur digitalen Transformation des Unternehmens weltweit sichergestellt.

3.3 HARTING Stiftung & Co. KG: Der Industrie 4.0 Maturity Index als Startpunkt einer ganzheitlichen Strategie

Die HARTING Technologiegruppe ist ein führender Hersteller von Industriesteckverbindern, Geräteanschlussstechnik, konfektionierten Systemkabeln und Netzwerkkomponenten. HARTING zählt mit über 5.300 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern an 14 Produktionsstätten nach EU-Definition als Großunternehmen,

weist aber dennoch mittelständige Strukturen auf. Hauptsitz und größter Fertigungsstandort befindet sich im ostwestfälischen Espelkamp. Neben den Fertigungsstandorten in Deutschland produziert HARTING unter anderem in China, Rumänien und den USA. Zusätzlich zur Verbindungstechnik beinhaltet das Produktportfolio von HARTING auch Informationstechnologien, wie beispielsweise RFID (Radio Frequency Identification).

Als Mitglied des it's-OWL Clusters war HARTING bereits in der ersten Fassung der acatech STUDIE *Industrie 4.0 Maturity Index* involviert. Im Zuge dieser Beteiligung fand Anfang August 2016 eine der ersten Validierungen des acatech Industrie 4.0 Maturity Index bei HARTING statt. Die zentralen Ergebnisse, die bereits in der ersten STUDIE im Jahr 2017 veröffentlicht wurden, ergaben, dass das Unternehmen schon zu diesem Zeitpunkt im Durchschnitt die Stufe „Sichtbarkeit“ erreichte (siehe Abbildung 13). Der Ausbau der IT-Infrastruktur in den letzten Jahren und eine konsequente Erfassung von Prozessdaten aus der Produktion ergeben ein digitales Abbild der Produktion in den Informationssystemen und stellen die Basis für weitere Entwicklungen dar. Besonders in der Produktion hat sich HARTING bereits 2016 intensiv mit dem Thema Industrie 4.0 auseinandergesetzt, sodass die Abteilungen einem weiteren Einsatz von Technologien offen gegenüberstehen. Der Einsatz verschiedener Piloten führte zwar zu lokalen Prozessverbesserungen, die jedoch vielfach isoliert und fragmentiert waren, da die Potenziale nicht über die Produktionslinien hinweg genutzt wurden.

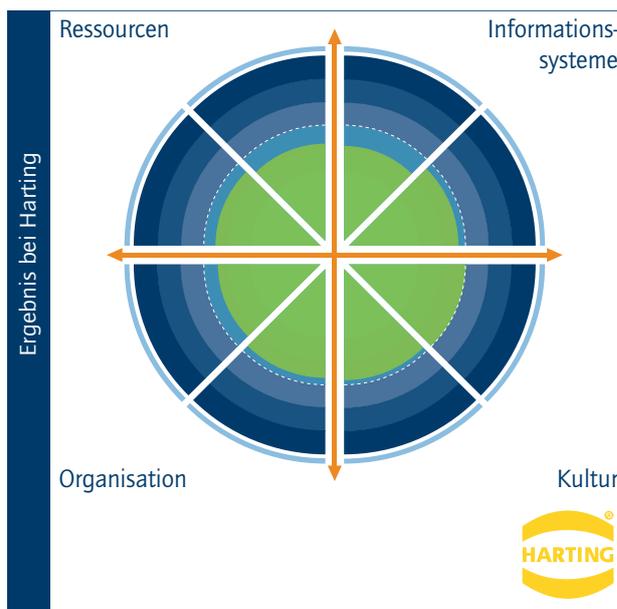


Abbildung 13: Beispielhafte Bewertung des Status quo eines Werks bei HARTING (Quelle: acatech Industrie 4.0 Maturity Index 2020)

Aus diesem Grund galt intern die Validierung des Industrie 4.0 Maturity Index auch als Startpunkt zur Umsetzung einer ganzheitlichen Digitalisierungsstrategie. In einem Vorstandsbeschluss wurden 2016 die wesentlichen Leitlinien für den Transformationsprozess herausgegeben:

- **Örtliche Fokussierung:** Im Fokus der digitalen Transformation sollen zunächst die beiden Produktionswerke in Espelkamp stehen. Espelkamp stellt zum einen den größten Produktionsstandort dar, zum anderen ist für den Erfolg der digitalen Transformation die Nähe zu den Entscheidungsträgern, dem Entwicklungsteam und dem IT-Bereich vor Ort wichtig.
- **Kompetenzaufbau:** Externe Kompetenzen, wie beispielsweise die Expertise des Industrie 4.0 Maturity Center aus Aachen, sollen zwar als Ideengeber und Netzwerkpartner eingebunden werden, ein eigener Kompetenzaufbau steht jedoch im Vordergrund. Damit kann insbesondere ein späteres Ausdehnen auf weitere globale Werke verwirklicht werden. Neben fachlichen Anforderungen aus verschiedenen Disziplinen bedarf es auch Kompetenzen im Projektmanagement, die in ihrer agilen

Herangehensweise den Anforderungen der digitalen Transformation entsprechen.

- **Ziele:** Die digitale Transformation soll Teil einer übergreifenden Firmenstrategie sein und ihr Erfolg sich in den Produktionskennzahlen widerspiegeln. Als finales Ziel des Transformationsprozesses wurde das Erreichen des sechsten Reifegrads, „Adaptierbarkeit“, festgelegt. Wesentlich für die Zielentwicklung ist dabei der agile Gedanke: Bereits zwischenzeitlich sollen erste messbare Erfolge zu verzeichnen sein. Außerdem muss sich die Betrachtung nach einer Pilotphase auf den gesamten Wertschöpfungsprozess beziehen, um die Potenziale umfänglich ausschöpfen zu können.

Nach diesem Vorstandsbeschluss und der Präsentation der Ergebnisse (Status quo und Roadmap) durch das Industrie 4.0 Maturity Center fand ein Workshop statt, um die einzelnen Elemente der Roadmap weiter zu priorisieren und erste Projekte auszuwählen. Wichtige Ziele waren hierbei auch die organisatorische Verankerung im Unternehmen und der Aufbau eines Commitments zur digitalen Transformation. Daher wurden bei diesem Workshop



Abbildung 14: HARTING Dashboard (Quelle: HARTING Technologiegruppe)

neben dem Produktionsvorstand auch die Werksleiter der Espelkammer Werke und die Kompetenzzenterleiter der einzelnen Fertigungsbereiche eingebunden. Aufgrund der Fokussierung auf das Werk Espelkamp und zur finalen Erreichung von Reifegrad 6 wurde das Projekt „Digitale Integration Maschinenpark Espelkamp“ (DIME) ins Leben gerufen.

Für die Realisierung wurde ein Kernteam aus Expertinnen und Experten aus den Domänen Industrial Engineering, Instandhaltung, Qualitätsmanagement, Sensorik, Automatisierung und IT-/Software-Entwicklung gebildet, das von einer Teammanagerin oder einem Teammanager Industrie 4.0 bei HARTING geführt wurde. Um die Transformation erfolgreich umzusetzen, war es wichtig, alle notwendigen Disziplinen miteinzubeziehen. Unterstützung fand das Team im zentralen Projektmanagement, das Methodiken zur Steuerung und Strukturierung der Projekte bereithält. Um schnelle Fortschritte verzeichnen zu können, wurde auf eine agile Projektdurchführung gesetzt, deren kurzzyklische Arbeitsabschnitte, sogenannte Sprints, durch wöchentliche Regeltermine gesteuert wurden. Dazu werden die anstehenden Projekte in einzelne Bestandteile aufgeteilt. Diese entsprechen jeweils einem Arbeitsauftrag des Gesamtumfangs der Aufgaben, dem sogenannten „Backlog“. Gemäß Priorität und Umsetzbarkeit werden diese dann angestoßen und von den entsprechenden Expertinnen und Experten vorangetrieben. Über einen Projektleitungskreis erfolgt die Abstimmung mit dem Produktionsvorstand, dem Werksleiter und anderen internen Stakeholdern.

Ein Ausgangspunkt für die weitere Transformation war dann die Integration der Maschinenparks mittels standardisierter und zukunftsfähiger Schnittstellen. Pilotbereich war das Geschäftsfeld Spritzguss, dort wurden die ersten Schnittstellen bearbeitet. Neben der reinen Integration wurden bei Bedarf weitere Daten durch externe Sensorik erhoben. Parallel dazu erfolgte der Aufbau einer leistungsfähigen IT-Infrastruktur, die in der Lage ist, hochvolumige Datenmengen zu verarbeiten und mögliche Cloud-Dienste zur späteren Datenanalyse zu nutzen. Um eine gleichzeitig effiziente und kostengünstige Lösung umzusetzen, wurde zwischen schnell verarbeitenden Datenströmen („hot“) und zeitlich weniger priorisierten Datenströmen („cold“) unterschieden.

Ziel der Integration von Maschinen und der Einbindung weiterer Daten ist die Bereitstellung entscheidungsrelevanter Informationen für die Belegschaft, um die Steuerung des Produktionssystems zu vereinfachen. Dazu wurden beispielsweise

Dashboards entwickelt, um den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bei der Maschinenführung frühzeitig ein bevorstehendes Auftragsende oder einen -wechsel und den nächsten Rüstvorgang anzuzeigen oder auf eine mögliche Störung hinzuweisen (siehe Abbildung 14). Neben der direkten Versorgung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mit Informationen via Dashboards erlaubt die Integration des Maschinenparks auch die automatische Übertragung von Einstelldaten an die Maschinen unter Einbindung des steuernden ME-Systems. Die digitale Fehlerarten-Erfassung in der produktionsbegleitenden Prüfung führt zu einem weiteren Aufbau von digital verwertbarem Wissen.

Die digitale Transformation eines Unternehmens, das eine Größe wie HARTING aufweist, ist selbstverständlich auch nach drei Jahren noch nicht abgeschlossen. Es folgt eine weitere Nutzung der aufgenommenen Daten, um daraus Rückschlüsse für die Optimierung der Produktion zu ziehen und sich von der aktuellen Reifegradstufe 4 in Richtung der Reifegrade 5 und 6 zu entwickeln. Nichtsdestotrotz stellt die schnelle Nutzung erster Potenziale eine wichtige Anforderung an den Transformationsprozess dar. Über die letzten drei Jahre konnte HARTING eine Steigerung der Produktivität und des Umsatzes erreichen. Die Steigerung beider Kenngrößen ist auch ein Resultat der fortschreitenden Digitalisierung der Produktionsumgebung. Für die Teammanagerin oder den Teammanager Industrie 4.0 spielt dabei auch die Umsetzungsgeschwindigkeit eine relevante Rolle. Nur dank der schnellen und strukturierten Erstellung der Roadmap durch den Industrie 4.0 Maturity Index konnten erste Maßnahmen früh angegangen und das Risiko fehlender Basiselemente reduziert werden. Neben der praktischen Umsetzung und den inhaltlichen Ergebnissen ist insbesondere die Zusammenarbeit mit der internen IT ein wichtiger Baustein. Themen wie IT-Sicherheit, standardisiertes Datenmodell, Nutzung gemeinsamer Tools und geteiltes Verständnis der Ziele stehen hier auf der Agenda. Die Anforderung an einen eigenen Kompetenzaufbau erweist sich rückblickend auch als richtige Direktive, da hierdurch ein tiefes Verständnis im Kernteam aufgebaut werden konnte und eine Ausweitung auf weitere Fertigungsbereiche somit einfach durchführbar ist. Durch die Zusammenarbeit mit dem Industrie 4.0 Maturity Center war trotzdem eine Orientierung an bestehenden Best Practices anderer Unternehmen möglich. Zwar wurde bislang keine weitere Status-quo-Erhebung durchgeführt, eine Steigerung des bestehenden Reifegrads im Vergleich zur letzten Erhebung konnte jedoch auch von den Expertinnen und Experten des Industrie 4.0 Maturity Center bescheinigt werden.

3.4 Kuraray Co Ltd.: Steigerung der Gesamtanlageneffektivität

Kuraray Co Ltd. („Kuraray“) mit Hauptsitz in Tokio ist ein weltweit agierendes Spezialchemieunternehmen mit mehr als 10.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Es zählt zu den größten Anbietern von Polymeren und synthetischen Mikrofasern und ist international führend in der Entwicklung und Anwendung innovativer Hochleistungsmaterialien. Seine Produkte kommen in Verbundsicherheitsglas-Anwendungen in den Bereichen Architektur, Automobil und Photovoltaik zum Einsatz. Außerdem umfasst das Produktportfolio chemikalische Spezialprodukte, Aktivkohlefilter, thermoplastische Elastomere, Kunstfasern, Kunstleder und Dentalprodukte.

In Deutschland unterhält Kuraray drei Betriebe für die stufenweise Produktion von Produkten (Beispiel: Verbundglas-Zwischenlagen). Die Betriebe kooperieren und kommunizieren untereinander, da die Prozesse aufeinander aufbauen und die Zwischenprodukte standortübergreifend transferiert werden. Diese Dreiteilung der Betriebe birgt Herausforderungen für das Unternehmen, da eine bereichsübergreifende Planung hohe Koordinationsaufwände zur Folge hat. Alle Anlagen stellen unterschiedliche Produkte her, haben produktspezifische Abläufe und divergente Prioritäten. Zudem sind die Anlagen, wie in der Chemie- und Prozessindustrie üblich, für eine lange Lebensdauer konzipiert. Dies hat zur Folge, dass ein Nachrüsten aufgrund der komplexen Bauweise sehr zeitaufwendig ist. Darüber hinaus produzieren alle Standorte im Dauerbetrieb, was eine Einschränkung der Implementierung neuer (IT-)Systeme mit sich bringt. Jedoch ist ebendiese Realisierung neuer Systeme von besonderer Wichtigkeit, da nur so ein automatisierter und kontinuierlicher Informationsfluss gewährleistet werden kann. Ein strukturiertes und geplantes Vorgehen ist daher zwingend erforderlich, da die Implementierung neuer und die Aktualisierung bestehender Systeme Zeit in Anspruch nehmen wird und Stillstandzeiten eingeplant werden müssen. Zudem ist im Besonderen die IT-Sicherheit bei der Herstellung der Materialien in der Chemie- und Prozessindustrie von elementarer Bedeutung. Der Schutz vor unbefugtem Datenzugriff oder gar dem Zugriff auf die Produktionsanlagen hat oberste Priorität. Dies erschwert einerseits die Implementierung neuer Systeme innerhalb eines Produktionsstandorts, andererseits beeinträchtigt es eine betriebsübergreifende Konnektivität. Aber gerade ein vereinfachter Austausch von Informationen über Betriebsgrenzen hinweg ist von besonderer Relevanz, da Materialien beziehungsweise Zwischenprodukte zwischen den Standorten ausgetauscht werden. Daher ist ein strukturierter Ansatz mit einem

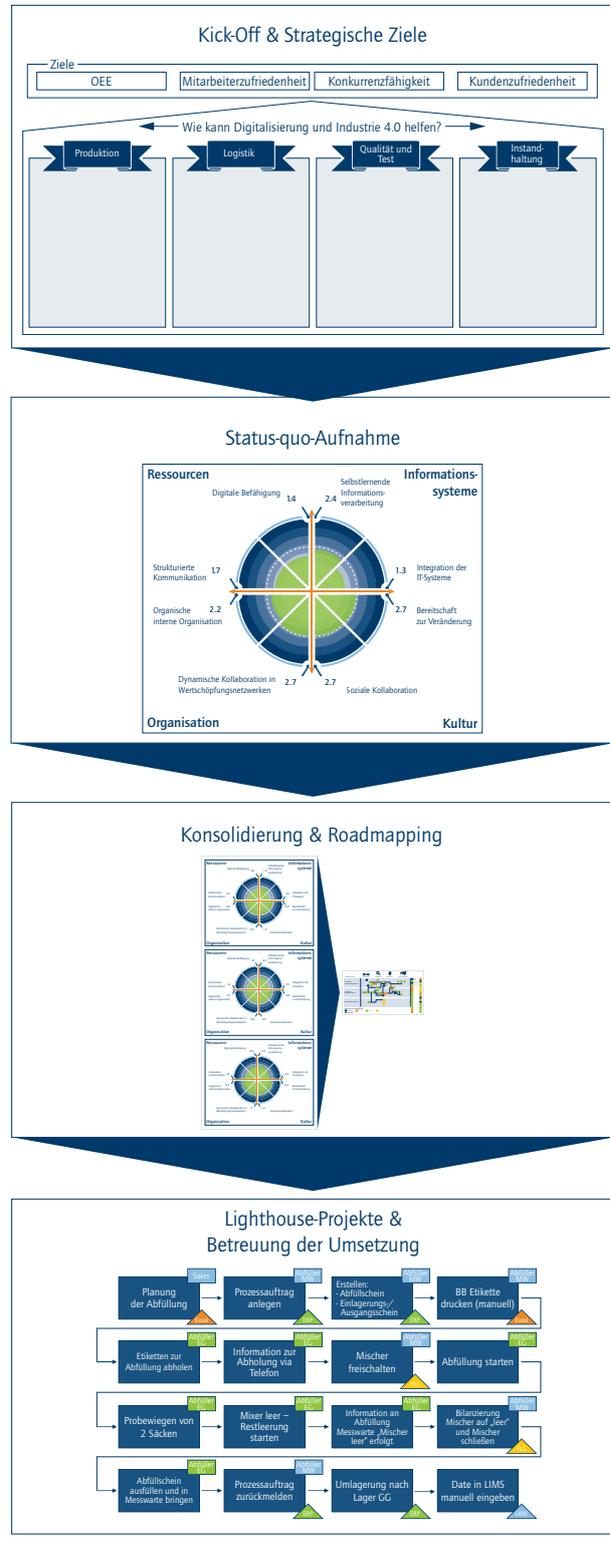


Abbildung 15: Vorgehen zur digitalen Transformation bei Kuraray (Quelle: Kuraray Co Ltd. und Industrie 4.0 Maturity Center)

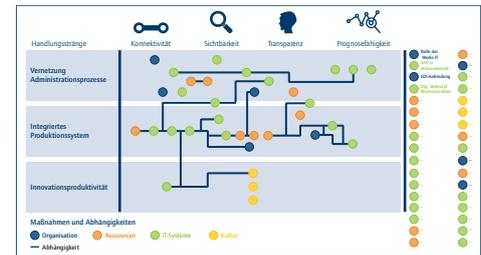
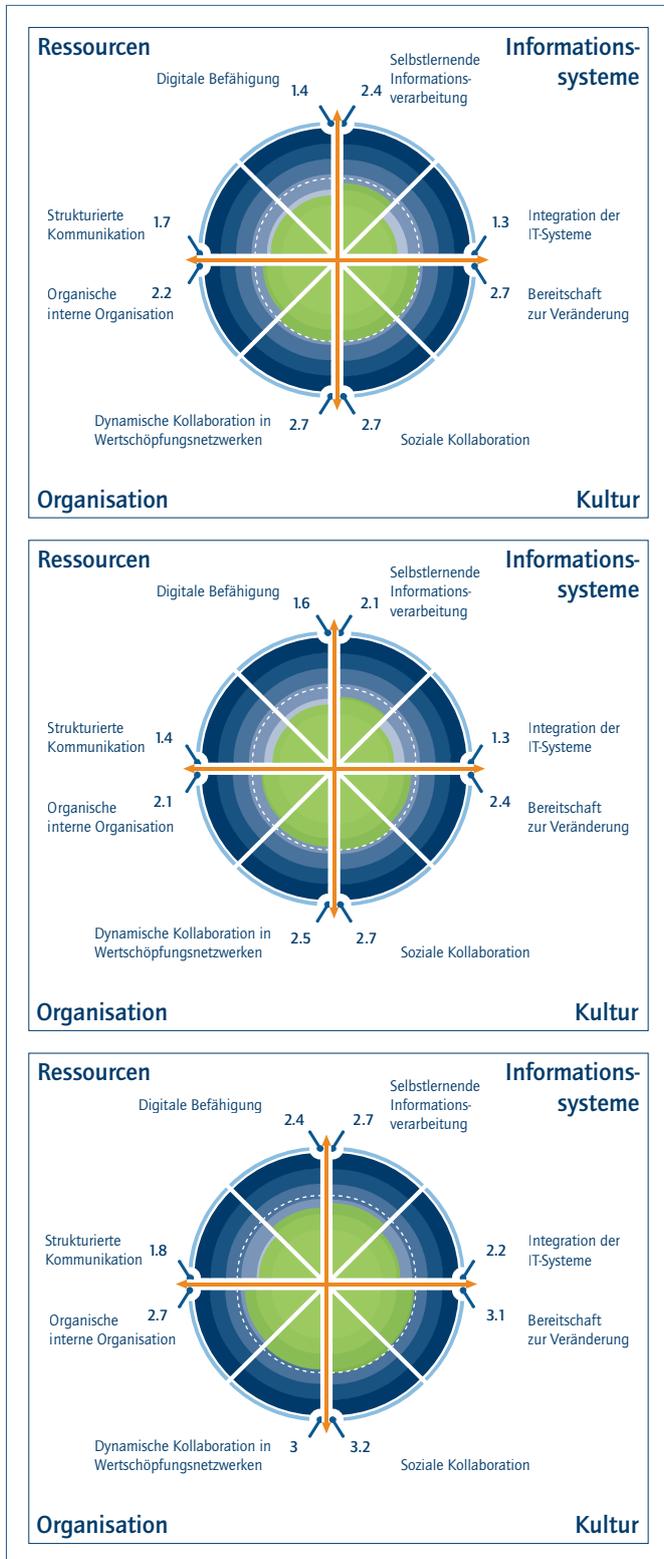


Abbildung 16: Status-quo-Auswertung aller Standorte mit einer konsolidierten Roadmap (Quelle: Kuraray Co Ltd. und Industrie 4.0 Maturity Center)

methodisch fundierten Rahmen hier notwendig, um die digitale Transformation bei Kuraray voranzutreiben. Hier kam der acatech Industrie 4.0 Maturity Index zum Zuge.

Drei Ziele definierte Kuraray im Vorfeld: Erstens soll eine verbesserte Gesamtanlageneffektivität (OEE, vom Englischen: Overall Equipment Effectiveness) erreicht werden. Zu den Ansatzpunkten zählen die Vermeidung von Ausfällen sowie die Realisierung einer Leistungssteigerung durch Prozessverbesserungen. Zudem steht ein transparenter Materialfluss aller (Zwischen-)Produkte im Fokus der OEE, um eine nachvollziehbare Datengrundlage für datenbasierte Entscheidungen zu erhalten. Zweitens wurden iterative Entwicklungsschritte von Produkten sowie kurze Time-to-Market-Zyklen für schnellere Produktverbesserungen definiert. Nicht zuletzt stand die Betriebs- und Arbeitssicherheit im Fokus. Hierbei wurden das Lernen aus Ereignissen sowie ein aktives Change-Management als Bestandteile der dritten Zielstellung festgelegt. Alle Ziele wurden unter der Prämisse erstellt, dass diese bereichsübergreifend Anwendung finden.

Für die Umsetzung dieser Ziele und das Vorantreiben der digitalen Transformation bei Kuraray wurde ein Digitalisierungsprojekt ins Leben gerufen. Federführend bei der Projektdurchführung waren Mitarbeitende des Industrie 4.0 Maturity Center in Aachen. Diese Projektdurchführung umfasste, wie in Abbildung 16 zu erkennen ist, unter anderem die Herleitung der Digitalisierungsziele, die Vor-Ort-Phase an den jeweiligen Produktionsstandorten mit der Status-quo-Aufnahme sowie die Analysephase mit der Erstellung der Digitalisierungsroadmap. In diesem Zusammenhang wurden die Fähigkeiten der jeweiligen Gestaltungsfelder fokussiert, welche nach den sechs Reifegradstufen unterteilt sind. Nachdem im ersten Schritt die bereichsübergreifenden Ziele erarbeitet und festgelegt wurden, konnte in der Vor-Ort-Phase eine Status-quo-Aufnahme aller relevanten Kennzahlen, Prozesse und Informationsflüsse durchgeführt werden. Diese Aufnahme erfolgte auf Grundlage der vier Gestaltungsfelder Ressourcen, Informationssysteme, Organisationsstruktur und Kultur des Industrie 4.0 Maturity Index. Wie sich herausstellte, ist Kuraray in den Gestaltungsfeldern Organisationsstruktur und Kultur sehr fortschrittlich aufgestellt. Hier zeigte sich die Entschlossenheit, ein digital agierendes Unternehmen zu werden und sich in diese Richtung zu entwickeln – erste Grundlagen dafür sind bereits gelegt. So wurden beispielsweise schon Lean-Management-Methoden umgesetzt sowie ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess für eine Optimierung von Arbeitsabläufen durchlaufen. Dennoch konnte im Bereich dieser Felder festgestellt werden, dass eine Projektpriorisierung und -planung nicht standardisiert und der standortübergreifende Informations- und

Materialaustausch nur lokal optimiert ist. Auch im Hinblick auf die Dimension des Gestaltungsfelds Informationssysteme waren bereits weit fortgeschrittene Ansätze zu erkennen. Dies lässt den Schluss zu, dass die richtigen Schritte in Richtung eines intelligenten und agilen Unternehmens gemacht wurden. Wie die festgelegten Ziele zeigen, liegt ein besonderer Fokus auf der bereichsübergreifenden Integration von IT-Systemen sowie der vollumfänglichen Nutzung der Potenziale der vorhandenen Systeme. Im Gestaltungsfeld Ressourcen war indes ein größerer Nachholbedarf festzustellen. Besonders die Anbindung der hochkomplexen Anlagen an ein Leitsystem sowie das Nachvollziehen der Materialflüsse und Prozessinformationen in Echtzeit erwiesen sich als große Herausforderung. Eine maßnahmenspezifische, konsolidierte Roadmap für alle drei Standorte konnte im weiteren Verlauf erarbeitet werden. Herausforderung und Ziel zugleich war die Vereinheitlichung der Maßnahmen für alle Standorte in ebenjener Roadmap. Insgesamt mehr als siebzig Maßnahmen konnten aus den jeweiligen Bedarfen der Status-quo-Aufnahme abgeleitet werden, um auf diese Weise Kuraray schrittweise zu einem agilen und datengetriebenen Unternehmen zu machen. Die Roadmap wurde im Anschluss in drei operative Handlungsstränge aufgeteilt. Zum einen verleihen diese den Maßnahmen innerhalb der Roadmap einen konzeptionellen Rahmen, zum anderen kann so strukturiert und sequenziell auf ein Ziel hingearbeitet werden. Die Handlungsstränge ermöglichen ein umfassenderes Verständnis der Prozesse an den jeweiligen Standorten, eine betriebsübergreifende Planung und Steuerung von Informations- und Materialflüssen sowie ein transparentes Asset-Management. Die Priorisierung der Maßnahmen erfolgt entlang der Reifegradstufen und ist sowohl zeitlich als auch strategisch ausgerichtet. Dies bedeutet, dass in einem ersten Schritt alle Maßnahmen eines Gestaltungsfelds auf eine Stufe gebracht werden sollen. Es soll also eine Basis für das weitere Vorgehen geschaffen werden. Im zweiten Schritt können dann Themen fokussiert werden, die das Unternehmen in puncto Industrie 4.0 wachsen lassen.

Auf dieser Grundlage konnten erste Projekte ausgewählt werden, die nach einer wirtschaftlichen Betrachtung als pilothafte Digitalisierungsprojekte umgesetzt wurden. So wurde gemeinsam mit dem Industrie 4.0 Maturity Center eine Industrial-Internet-of-Things (IIoT)-Plattform ausgewählt. Diese soll zum einen als Datendrehscheibe dienen und somit das zentrale Element in der IT-Architekturlandschaft zur Datenspeicherung und -bereitstellung darstellen. Zum anderen soll die Plattform als priorisiertes Anwendungssystem mit bedarfsgerechter, echtzeitfähiger Visualisierung genutzt werden. Von besonderer Wichtigkeit bleibt, dass die Plattform bereichsübergreifend in allen drei Werken Anwendung findet.

Dazu ein Kommentar von Christoph Lang, bei Kuraray Verantwortlicher für Digitalisierung in der Produktion: „Mithilfe der Industrie 4.0 Maturity Center GmbH und des strukturierten, systematischen Ansatzes des Maturity Index konnten komplexe Prozesse strukturiert analysiert werden. Auf dieser Grundlage konnten wir bereits erste Projekte initiieren und umsetzen. Ein Projektbeispiel, bei welchem wir weiterhin vom Industrie 4.0 Maturity Center unterstützt wurden, war die Auswahl einer IIoT-Plattform, um standortübergreifende Informations- und Materialflüsse zu optimieren.“

3.5 Schokoladenwerk: Erhöhung der Produktivität

Der Industrie 4.0 Maturity Index fand im Jahr 2019 in einem Schokoladenwerk in Deutschland Anwendung. Als Basis für einen zielgerichteten Entwicklungspfad wurden zunächst individuelle Zielgrößen aus den spezifischen Potenzialfeldern abgeleitet. In der Lebensmittelindustrie steht insbesondere die Erhöhung von Effizienz und Output im Fokus. Sowohl in der Produktion als auch in indirekten Bereichen lassen sich dabei zumeist signifikante Potenziale zur schlankeren Prozessgestaltung und Senkung der entstehenden Kosten aufdecken.

Die Aufnahme des Status quo dauert insgesamt etwa eine Woche und erfolgt mittels eines webbasierten Fragebogens, der den Industrie 4.0 Maturity Index abbildet. Dieser lässt sich durch Konzentration auf die Kernprozesse unternehmensspezifisch anpassen. Im konkreten Beispiel wurden Produktionsplanung,

Produktion, Logistik, Instandhaltung und Qualitätssicherung betrachtet. Durch Vor-Ort-Begehungen und Interviews mit den verantwortlichen Führungskräften wurden die notwendigen Informationen gesammelt und unmittelbar dokumentiert. Dabei generiert sich der individuelle Maturity Index sukzessive auf einem hohen Detaillierungslevel bezüglich bestimmter Fähigkeiten in den einzelnen Prozessen und lässt sich zur Analyse bedarfsspezifisch aggregieren.

Für das gesamte Schokoladenwerk wurde ein durchschnittlicher Reifegrad von 2,4 ermittelt. Aufbauend auf der weitgehend bestehenden Konnektivität kann eine zunehmende Sichtbarkeit von Informationen erreicht werden. Allerdings zeigt sich kein homogenes Ergebnis, sondern eine große Bandbreite bezüglich der Reifegrade. Heruntergebrochen auf einzelne Prinzipien der vier Gestaltungsfelder Ressourcen, Informationssysteme, Organisationsstruktur und Kultur reicht dieses Spektrum von 1,7 bis 3,1 (siehe Abbildung 17). Betrachtet man einzelne Prozesse, so erstrecken sich die Reifegrade vom Wert 1,0 bis zum Wert 3,7. Die ausgeprägte Streuung legt einen unausgewogenen Fortschritt hinsichtlich verschiedener Fähigkeiten des Unternehmens nahe.

Im Detail lässt sich erkennen, dass sich Kultur und Organisationsstruktur bereits nahe der dritten Stufe befinden. Funktionsübergreifende Zusammenarbeit wird gefördert und weitgehend praktiziert. Eine ausreichende Veränderungsbereitschaft der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie deren strukturierte Einbindung in Veränderungs- und Verbesserungsprozesse des Unternehmens sind gegeben. Auch die meisten wesentlichen digitalen Fähigkeiten sind in einem hohen Maße entwickelt. Maschinen verfügen über die notwendige Technik für Datenerfassung, Verarbeitung und Austausch über Schnittstellen, und die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind entsprechend geschult.

Das Hauptdefizit besteht in einem gestörten Informationsfluss. Die unzureichende Integration zwischen den bestehenden Informationssystemen (Enterprise-Resource-Planning, Manufacturing Execution System, Labor-Information- und Management-System etc.) führt zu Medienbrüchen und behindert den Austausch und die Sichtbarkeit von Informationen. Die Kommunikation auf Mitarbeiter- wie auf Maschinenebene ist daher zum Teil unstrukturiert. Als allgemeine Beispiele sind weitreichend bilaterale Kommunikation, teilweise papierbasierte Dokumentation, manuell durchgeführte Datenanalysen sowie inkonsistente Nutzung von Systemen (zum Beispiel für die Produktionsplanung) zu nennen. Im Speziellen gibt es ein großes Defizit bei der Reduzierung kleiner Maschinenstillstände in der Produktion: Obwohl sich diese zu einem bedeutenden Anteil



Abbildung 17: Aggregiertes Ergebnis der Status-quo-Analyse für ein Schokoladenwerk (Quelle: Industrie 4.0 Maturity Center)

der Ausfallzeiten summieren und damit großen Einfluss auf die Produktivität haben, werden sie nicht strukturiert erfasst und dokumentiert. Weitergehende Analysen und Präventionsmaßnahmen bleiben damit unberührt.

Ausgehend von der detaillierten Analyse des Status quo konnten Maßnahmen zur Verbesserung abgeleitet und in einer übergreifenden Roadmap der digitalen Transformation koordiniert werden. Auch die Ausarbeitung der Maßnahmen und deren Aggregation in der Roadmap dauert insgesamt etwa eine Woche. Unter Berücksichtigung der Unternehmensziele wurde im konkreten Fall eine konsistente Transparenz in Reifegradstufe 4 als Ziel für die kommenden Jahre festgelegt. Die Roadmap fokussiert sich auf entsprechende Maßnahmen und zielt im ersten Schritt darauf ab, durch Schließen der identifizierten Entwicklungslücken eine homogene Konnektivität (Reifegradstufe 2) zu erreichen. Nach Ablauf des anvisierten Zeitraums sollten der dann erreichte Status quo analysiert und eine erneute Ausrichtung der Aktivitäten vorgenommen werden. Das iterative Vorgehen fördert zugleich eine Konzentration auf die dringendsten und einen Engpass bildenden Maßnahmen sowie eine agile Justierung des Transformationsprozesses.

In der Roadmap werden Maßnahmen in einen zeitlichen und relationalen Zusammenhang gebracht. Wie in Abbildung 18 zu erkennen, ergibt sich teilweise eine sequenzielle Anordnung, in

der sich verschieden stark ausgeprägte Abhängigkeiten widerspiegeln. Neben der Zuordnung zu bestimmten Reifegradstufen können operationale Handlungsstränge dazu genutzt werden, die Maßnahmen hinsichtlich bestimmter Stoßrichtungen zu bündeln und sie so einer einheitlichen Strategie zuzuordnen. Dabei zeigt sich über die koordinierende und integrierende Funktion hinaus die zentrale Rolle der Roadmap bei der internen Bewerbung des Transformationsprozesses. In diesem Zusammenhang ist auch die Integration bereits laufender Projekte zu sehen, die zusätzlich zu bestehenden Budgets und Fortschritten eine Steigerung der Akzeptanz bei der Belegschaft versprechen.

Der Digitalisierungspfad des betrachteten Schokoladenwerks wurde an drei Handlungssträngen ausgerichtet. Zunächst wird im ersten Strang eine stärkere Vernetzung der Administrationsprozesse angestrebt. Dazu beziehen sich verschiedene Maßnahmen auf einen verbesserten Informationsaustausch innerhalb des gesamten Produktionsbereichs. Beispiele sind eine durchgängige interne Produktionsplanung oder die vollständige Elektronische-Datenaustausch(EDI)-Anbindung der Lieferanten. Der zweite Handlungsstrang fokussiert die Integration des Produktionssystems. Darunter fallen die Anbindung von Anlagen sowie eine parallele Anpassung der Prozesse an die wachsende Verfügbarkeit von Informationen. Hier wäre exemplarisch die automatische Erzeugung von Instandhaltungsmeldungen zu nennen. Begleitend zielt ein dritter Handlungsstrang auf die

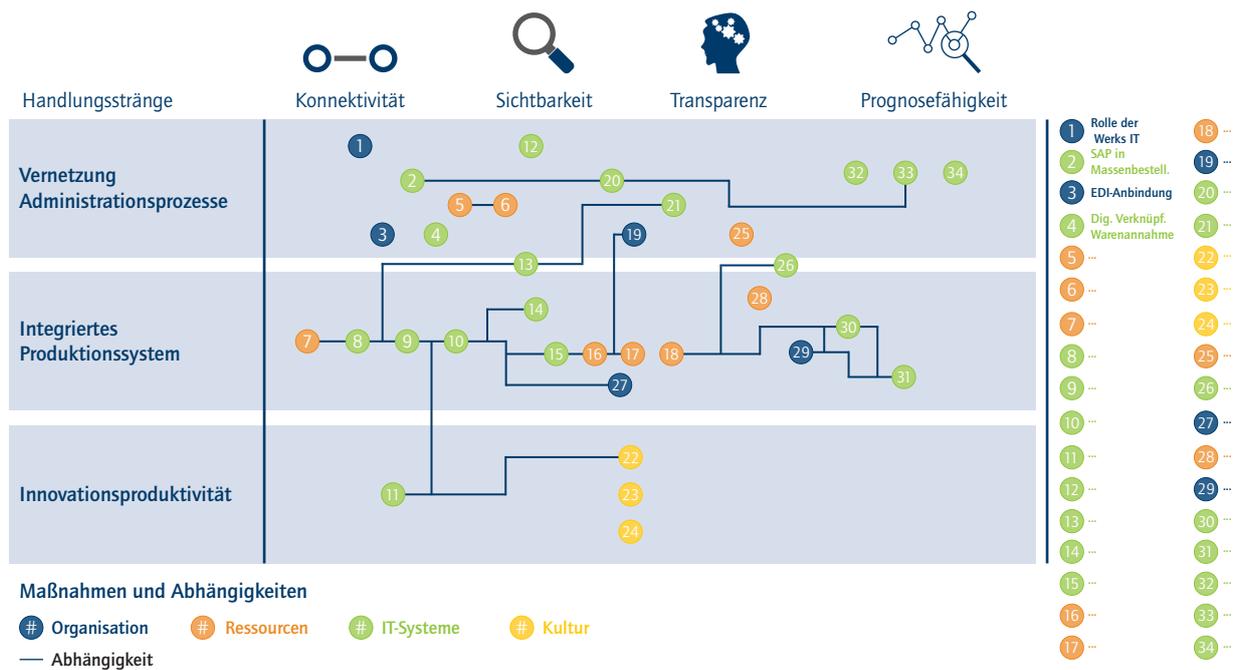


Abbildung 18: Roadmap der digitalen Transformation für das betrachtete Schokoladenwerk (Quelle: Industrie 4.0 Maturity Center)

Stärkung der Innovationsproduktivität ab: Er umfasst vor allem befähigende Aspekte, wie zum Beispiel den Aufbau und das Management von Wissen.

Die Roadmap umfasst insgesamt 34 Maßnahmen, um das angestrebte Ziel der Digitalisierung zu erreichen. Die notwendige Priorisierung muss sich am Beitrag zum Transformationsprozess orientieren. Besonders herausfordernd ist dabei die Nutzenquantifizierung unter Einbeziehung indirekter Effekte durch Befähigung von Folgemaßnahmen. Bei der Konzeption von Maßnahmen sollte allgemein auf spezifische Projekte von kleinem Umfang und kurzer Dauer abgestellt werden, da diese eine größere Agilität erlauben. Gleichzeitig sind Projekte mit langfristiger Ausrichtung und großem Umfang teils unumgänglich, wie zum Beispiel bei der durchgehenden Implementierung eines Manufacturing Execution System. Es gilt dann, ein iteratives Vorgehen mit schrittweiser Ausrichtung und Generierung von Mehrwert zu implementieren. Im Sinne eines zügigen Fortschritts bietet sich auch ein hybrides Vorgehen mit parallel durchgeführten agilen Projekten an. Diese schaffen bereits kurzfristig bestimmte Voraussetzungen für Folgemaßnahmen und beschleunigen so den Transformationsprozess.

Beispielsweise kann zur Analyse von Ausschuss simple Sensorik in Form eines Retrofits installiert und übergangsweise in einem separaten System analysiert werden, solange die notwendigen Informationen nicht über eine vollständig integrierte Plattform verfügbar sind.

Zu jeder der in Abbildung 18 aufgeführten Maßnahmen wird mit der Roadmap auch eine detaillierte Beschreibung erarbeitet. Diese umfasst eine Zusammenfassung der Problemstellung und der Durchführung sowie eine Einschätzung von Schwierigkeitsgrad und Tragweite der Maßnahme. Zusätzlich werden generierbarer Nutzen und notwendige Voraussetzungen definiert. Da sich viele Herausforderungen in ähnlicher Weise innerhalb der Branche und teilweise auch branchenübergreifend zeigen, kann bei der Planung und Umsetzung der Maßnahmen auf Best Practices und Use Cases anderer Unternehmen zurückgegriffen werden. Unter Einsatz des acatech Industrie 4.0 Maturity Index kann auf diese Weise innerhalb von zwei bis drei Wochen eine detaillierte Status-quo-Analyse vorgenommen sowie eine umfassende Roadmap aus konkreten Maßnahmen als Fahrplan für die digitale Transformation abgeleitet werden.

4 Ausblick: Die nächsten Schritte in der digitalen Transformation

Der acatech Industrie 4.0 Maturity Index hat sich in seiner Anwendung bewährt. Einige produzierende Unternehmen haben in den vergangenen Jahren ihren Industrie 4.0-Reifegrad bewertet und Roadmaps für die digitale Transformation abgeleitet. Dabei zeigte sich, dass der derzeit drängendste Handlungsbedarf vor allem bei den Reifegradstufen 2, „Konnektivität“, bis 4, „Transparenz“, besteht.

Der Umgang mit den Reifegradstufen „Prognosefähigkeit“ und „Adaptierbarkeit“ wird die produzierende Industrie aber in den nächsten fünf Jahren beschäftigen. Der Vorteil dieser Reifegrade liegt auf der Hand: eine schnelle Anpassung an sich ändernde Rahmenbedingungen.

Im Folgenden werden einzelne Zukunftsthemen für die vier Gestaltungsfelder Ressourcen, Informationssysteme, Organisationsstruktur und Kultur vor diesem Hintergrund erläutert, die die Unternehmen mittelfristig werden angehen müssen.

4.1 Selbstorganisierende Ressourcen, agile Infrastrukturen

Soziotechnische Systeme, in denen Mensch und Maschine von der Produktions- und Montageinsel bis hin zur Abbildung interner Transportprozesse Hand in Hand als selbstorganisierende Ressourcen interagieren – in der von Industrie 4.0 geprägten Fabrik werden aus starren Produktions- und Transportsystemen hochagile, modulare Systeme, deren Ressourcen autonom Arbeitsaufträge verhandeln und bearbeiten. Hierbei nehmen im Sinne der Social Networked Industry die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter weiterhin die zentrale Rolle ein: Mit ihnen kooperierende cyberphysische Systeme (CPS) passen sich an sie und ihre spezifischen Fähigkeiten und Bedürfnisse an – insbesondere in der Kommunikation und Interaktion.⁸

Selbstorganisation in der Produktionsplanung und -steuerung am Beispiel SMART FACE

Selbstorganisation erfordert einen Paradigmenwechsel: Anstelle eines zentralen IT-Systems, das hierarchisch die Produktionsplanung und -steuerung übernimmt, erfüllen diese Aufgaben dezentral cyberphysische Systeme des Produktionssystems.⁹ Wie diese Selbstorganisation in einer Industrie 4.0-Modellfabrik erfolgen kann, wurde in dem durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Forschungs- und Entwicklungsprojekt SMART FACE (Smart Micro Factory für Elektrofahrzeuge mit schlanker Produktionsplanung) anhand von Montagestationen aufgezeigt:

Die Montagestationen bestehen aus Industrierobotern, Lagern und verschiedenen fahrerlosen Transportfahrzeugen. Auf Basis der eingesetzten cyberphysischen Systeme, ausgestattet mit Aktoren und Sensoren sowie eingebetteter Software, entsteht ein Netzwerk, in dem Mensch und Maschine Aufträge untereinander verhandeln und ausführen. Entscheidungen basieren auf einem individuellen Regelwerk, das Abhängigkeiten und Zielgrößen abbildet. Liegen keine Abhängigkeiten vor, stellen sich sowohl Stationen als auch zu bearbeitende Teile gleichrangig dar und werden entsprechend den Zielgrößen (kürzeste Wege, schnellste Bearbeitungszeit etc.) berücksichtigt.¹⁰

Diese dezentrale Produktionssteuerung soll die Kleinstfertigung in der Automobilindustrie bei der Produktion von Elektrofahrzeugen

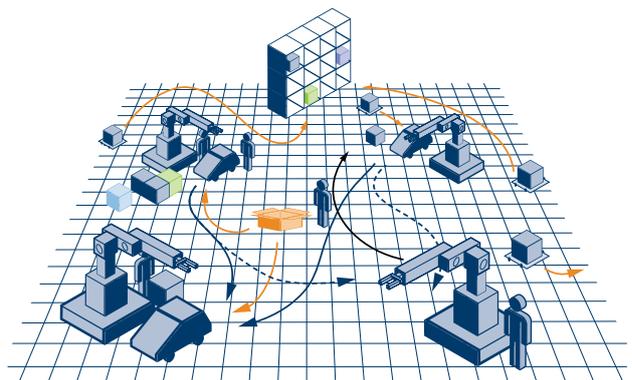


Abbildung 19: Selbstorganisierende Ressourcen in einer Industrie 4.0-Modellfabrik (Quelle: SMART FACE/Logata Digital Solutions GmbH)

8 | Vgl. ten Hompel et al. 2016, S. 3.

9 | Vgl. Müller 2016, S. 18.

10 | Vgl. Müller 2016, S. 18.

ermöglichen, um dem steigenden Kundenwunsch nach einer Individualisierbarkeit des Produkts nachzukommen. Starre, wenn auch hocheffiziente Montagelinien erlauben keine kurzfristige Anpassung bei verändertem Nachfrageverhalten. Manufakturähnliche Systeme hingegen sind weder ausreichend schnell noch kostenoptimal. Mit der Abkehr vom für die Automobilindustrie typischen Perlenkettenprinzip wird die Montage durch die inselbasierten Arbeitsstationen von SMART FACE flexibilisiert, sodass kurzfristig auf Reihenfolgeänderungen reagiert werden kann. Der Materialfluss erfolgt selbstorganisiert, die Versorgung mit Bauteilen entsprechend bedarfsgerecht. Auch Ausfälle einzelner Stationen bedingen keinen Stillstand einer gesamten Montagelinie.¹¹

Agile Infrastrukturen im intelligenten High-Speed-Schwarm

Tradierte Infrastrukturen in der Intralogistik sind häufig weder schnell noch modular oder skalierbar. Mit der Entwicklung einer neuen Klasse von autonomen Transportfahrzeugen können eine Vielzahl logistischer Prozesse durch besonders hohe Geschwindigkeiten und erhöhte Flexibilität abgebildet werden. Mit dem schwarmintelligenten Loadrunner®, einem hocheffizienten und modularen Transportfahrzeug, existiert jetzt ein Anwendungskonzept, das über eine hohe Fahrdynamik bei gleichzeitig maximaler Autonomie verfügt. Ausgestattet mit einer besonderen Form der Lastaufnahme und -abgabe koordiniert sich der Loadrunner® bei einer Geschwindigkeit von bis zu zehn Metern pro Sekunde selbstorganisierend im Schwarm und ist

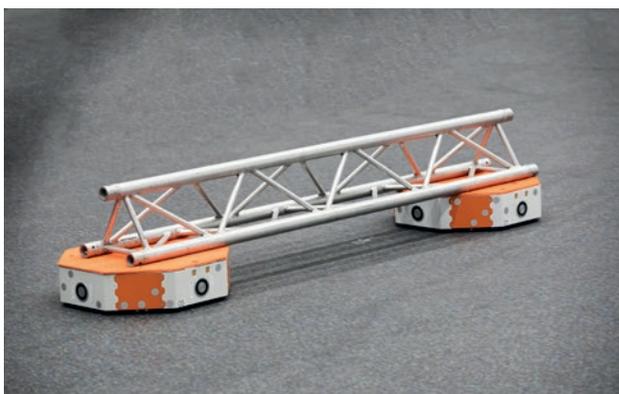


Abbildung 20: Kollaboratives Transportieren einer Traverse (Quelle: Michael Neuhaus/Fraunhofer IML)

zudem durch seine Fähigkeit, sich mit Anhängern und anderen Loadrunnern® zu koppeln, modular einsetzbar.¹² Die hohen Geschwindigkeiten stellen besondere Anforderungen an die Sensorik der Fahrzeuge sowie deren exakte Lokalisierung und Manövrierfähigkeit. Neben dem Einsatz in Flughäfen, wo sie als Alternative zu Gepäckförderanlagen genutzt werden können, gelten als weitere Anwendungsbereiche innerhalb der Intralogistik die hochdynamische Sortierung von Paketen sowie die Übernahme produktionslogistischer Prozesse. Über die bloße Abbildung von physischen Prozessen hinaus trägt der Loadrunner® durch das Verhandeln und Ausführen von Aufträgen und die hohe Intelligenz zur Vernetzung – nicht nur im eigenen Schwarm, sondern auch mit Menschen und Plattformen – das Potenzial in sich, einen großen Beitrag zur Silicon Economy zu leisten.¹³

4.2 Künstliche Intelligenz für industrielle Anwendungen

Der operative Einsatz von Cloud- und Edge-Technologien zur horizontalen und vertikalen Integration der IT-Architektur von Unternehmen ist eine komplexe infrastrukturelle Maßnahme, die zu höheren Industrie 4.0-Reifegraden der digitalen Transformation führt. Eine ganzheitliche Analyse und Implementierung ist unter Berücksichtigung kaufmännischer Aspekte, technologischer Erweiterbarkeit sowie selbstbestimmender Souveränität für die Partnerauswahl des Plattformanbieters entscheidend.

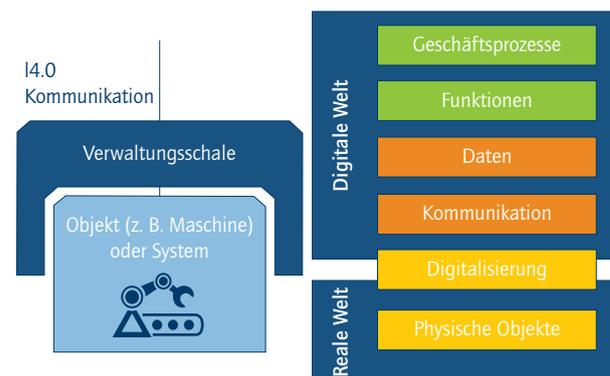


Abbildung 21: Prinzipskizze einer Verwaltungsschale (Quelle: Contreras et al. 2017)

11 | Vgl. BMWi 2016, S. 40 f.

12 | Vgl. Fraunhofer IML 2020, S. 12.

13 | Vgl. Fraunhofer IML 2020, S. 12.

Unabhängig von der zugrunde liegenden Dateninfrastruktur oder Dienstplattform bietet das Konzept der Verwaltungsschalen¹⁴ einen Ordnungsrahmen zur Beherrschbarkeit von verteilten und heterogenen Daten zu produktionsrelevanten Entitäten, sogenannten Assets (siehe Abbildung 21). Dabei können Daten zu Assets aus heterogenen Quellen und in unterschiedlichen Formaten, das heißt aus verschiedensten Altsystemen, logisch in einem Ort, der Verwaltungsschale, zusammengeführt werden. Dadurch entsteht letztlich ein digitaler Zwilling des Assets. Eine Verwaltungsschale identifiziert ihr Asset eindeutig und beschreibt dieses über den gesamten Lebenszyklus hinweg. Hierzu verweist sie auf eine im Netzwerk verteilte Menge an Teilmodellen, die nach „unten“ über eine entsprechende Konnektivität zu einem Altsystem verfügen und nach „oben“ Daten und Funktionen des Assets in der Sprache der Verwaltungsschale anbieten. Die Bestandteile eines Teilmodells, nämlich definierte Eigenschaften, Operationen und Ereignisse, können mit semantischen Konzepten annotiert werden. Diese Konzepte sind beispielsweise weltweit im Common Data Dictionary,¹⁵ in der eCl@ss-Bibliothek¹⁶ oder in anderen branchenspezifischen Ontologien standardisiert.

Auf diese Art und Weise wird in Zukunft eine semantische Interoperabilität erreicht, die – ausgehend von aktuell vorherrschenden Insellösungen – abteilungs-, bereichs- oder gar unternehmensübergreifende industrielle Anwendungen Künstlicher Intelligenz (KI-Anwendungen), etwa zur Produktionsoptimierung, ermöglicht. Diese KI-Anwendungen sind per se auch übertragbar, da Verwaltungsschalen technologieneutral und somit nicht an einen bestimmten Plattformanbieter gebunden sind. Beim Einsatz von Edge-Technologien hat sich bereits der Begriff „Edge-KI“

herausgebildet: Er bezieht sich auf die Anwendung von KI-Verfahren auf der „Edge“. In diesem Zusammenhang ergeben sich weitere Herausforderungen, die es zu beachten gilt. Initial stellt sich die Frage, wie eine effiziente Modellbildung, etwa für maschinelle Lernverfahren auf der Edge, funktioniert, wenn die dazu notwendigen Daten nicht in der im Vergleich zum Edge-Knoten viel leistungsstärkeren (on-premises) Cloud verfügbar sind. Weiterhin sind die kontinuierliche Aktualisierung und die damit verbundenen Strategien für das effiziente, sichere und automatisierte Deployment von KI-Modellen auf die Edge aktueller Forschungsgegenstand.

Der Hauptfokus bestehender Plattformen liegt in der Steigerung der Wertschöpfung der Produktionsphase, während eine durchgängige Betrachtung des Produktlebenszyklus noch Optimierungspotenzial aufweist. Die Herausforderung liegt hierbei darin, eine Nachverfolgbarkeit entlang des Produktlebenszyklus zu gewährleisten sowie die Rückverfolgbarkeit zur Wertschöpfungs-optimierung sicherzustellen. In diesem Zusammenhang schafft der Einsatz von Verwaltungsschalen auf Daten- und Modellebene eine Interoperabilität zwischen Produktion und vorausgehendem Engineering. Dadurch beschleunigen sich die Innovationszyklen hin zu einem kontinuierlichen Engineering. Das modellbasierte System Engineering (MBSE) betrachtet hierbei die Verwendung von Modellen zur Unterstützung von Anforderungen, Konstruktion, Analyse, Verifikation und Validierung über alle Phasen des Produktlebenszyklus hinweg. Dokumentenzentrierte Methoden der Systemtechnik werden durch den Ansatz datengetriebener Systemmodelle ersetzt. Somit können bislang verborgene Optimierungspotenziale wertschöpfend hervorgehoben werden (siehe Abbildung 22).

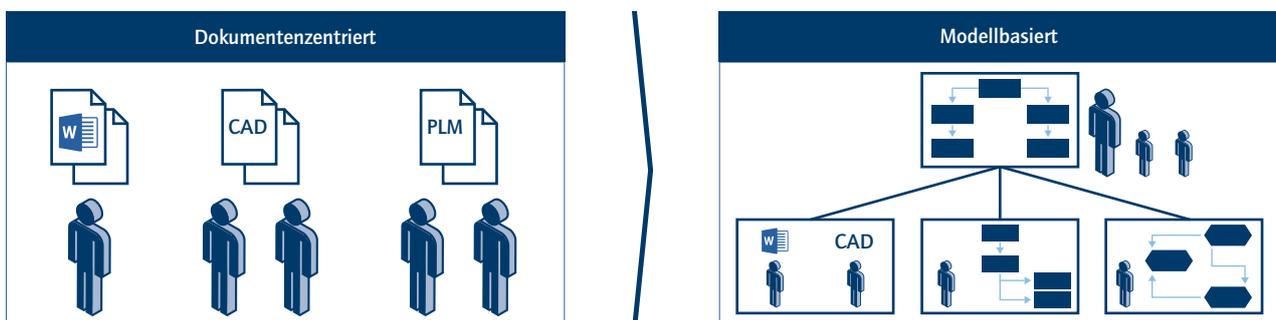


Abbildung 22: Wechsel von dokumentenzentrierten hin zu modellbasierten Methoden in der Produktentwicklung (Quelle: Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion (DiK), TU Darmstadt)

14 | Vgl. BMWi 2019b.

15 | Weiterführende Informationen unter: <https://cdd.iec.ch/>

16 | Weiterführende Informationen unter: <https://www.eclass.eu/index.html>

4.3 Wie sich das Miteinander von Mensch, Organisation und Technik ändert

Trotz der vielversprechenden Möglichkeiten scheuen insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) den Einsatz neuer Technologien. Dies liegt weniger in technischen Herausforderungen als vielmehr in schwer abzuschätzenden Risiken hinsichtlich ihrer Organisation sowie ihrer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter begründet. Denn selbst wenn die Installation neuer Technologien glückt (zum Beispiel Montageassistenzsystem), ist der nutzenstiftende Betrieb maßgeblich von kompatiblen Prozessen, adäquaten Kompetenzen und Mitarbeiterakzeptanz abhängig. Industrie 4.0 ist somit keine rein technische Fragestellung, sondern beeinflusst Mensch, Technik und Organisation gleichermaßen. Das Zusammenspiel dieser drei Dimensionen wird unter dem Begriff des soziotechnischen Systems zusammengefasst. Dieses Geflecht aus Mensch, Technik und Organisation ist bei der Einführung von Industrie 4.0-Lösungen zu berücksichtigen.¹⁷

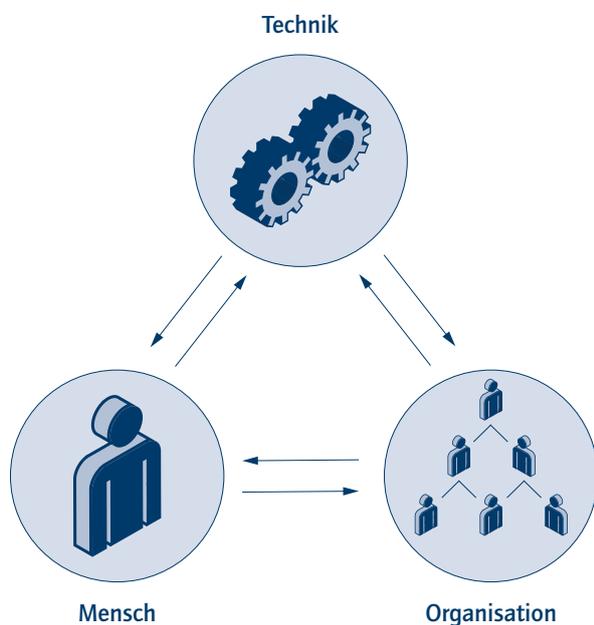


Abbildung 23: Mensch, Technik und Organisation (Quelle: Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn)

Zukünftig müssen Unternehmen Auswirkungen und insbesondere Risiken identifizieren können, die mit einer für sie relevanten Industrie 4.0-Lösung einhergehen. Es gilt daher, die Unternehmen zu befähigen, soziotechnische Risiken frühzeitig zu identifizieren und Industrie 4.0-Lösungen mit geeigneten Strategien und Maßnahmen risikooptimiert einzuführen. Dabei können sich Unternehmen am klassischen Vorgehen des Risikomanagements orientieren.¹⁸ Folglich sind Risiken zu identifizieren, zu analysieren, zu bewerten, zu steuern und zu überwachen.¹⁹ Bei jedem dieser Schritte müssen jedoch die damit verbundenen Wechselwirkungen innerhalb der soziotechnischen Dimensionen berücksichtigt werden.

Die Einführung von Industrie 4.0-Lösungen geht mit einer Vielzahl von Risiken einher. Beispiel hierfür sind die Überwachung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter durch die Erhebung personenbezogener Daten, eine Informationsüberflutung durch Assistenzsysteme, eine zu komplizierte Bedienung von Assistenzsystemen, eine mangelnde Pflege der Datenbasis digitaler Systeme oder eine fehlende Änderungsbereitschaft im Unternehmen.²⁰ Dies verdeutlicht die starke Diversität der Risiken bei der Einführung von Industrie 4.0-Lösungen, wodurch diese Risiken für Unternehmen nicht direkt ersichtlich sind. Dem kann durch die systematische Bildung von Risikoklassen begegnet werden.²¹ Kennzahlen in den Risikoklassen geben Aufschluss über das Ausmaß der Auswirkung eines Risikos und ermöglichen eine Priorisierung der Risiken.²²

Die Risikoidentifikation und -bewertung bildet die Grundlage für die Risikosteuerung. Bei der Risikosteuerung gilt es, eine auf das Unternehmen angepasste Risikostrategie zu ermitteln. Eine Risikostrategie stellt die Leitlinien für Maßnahmenprogramme dar, die zur Steuerung der Risiken angewendet werden. Diese Programme müssen konsistente Maßnahmenbündel enthalten, da einzelne Maßnahmen weitere Wechselwirkungen innerhalb der soziotechnischen Dimensionen zur Folge haben können. Als Beispiel sei an dieser Stelle das Risiko der fehlenden Mitarbeiterakzeptanz genannt, dem mit der Beauftragung von Technologiepromoterinnen und promotern²³ entgegengewirkt werden kann. Deren Aufgabe ist es, Technologieaufklärung innerhalb des Unternehmens zu leisten. So können Vorurteile gegenüber neuen Technologien gemindert und den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern wesentliche Vorteile nähergebracht werden. Durch die Einführung einer

17 | Vgl. Hirsch-Kreinsen et al. 2016, S. 10 f.

18 | Vgl. Brühwiler 2008, S. 26–27.

19 | Vgl. Oehmen 2019, S. 10.

20 | Vgl. Dumitrescu et al. 2017, S. 7 f.

21 | Vgl. Wolke 2008, S. 201 ff.

22 | Vgl. Wolke 2008, S. 11 ff.

23 | Vgl. Walter 1998, S. 103–106.

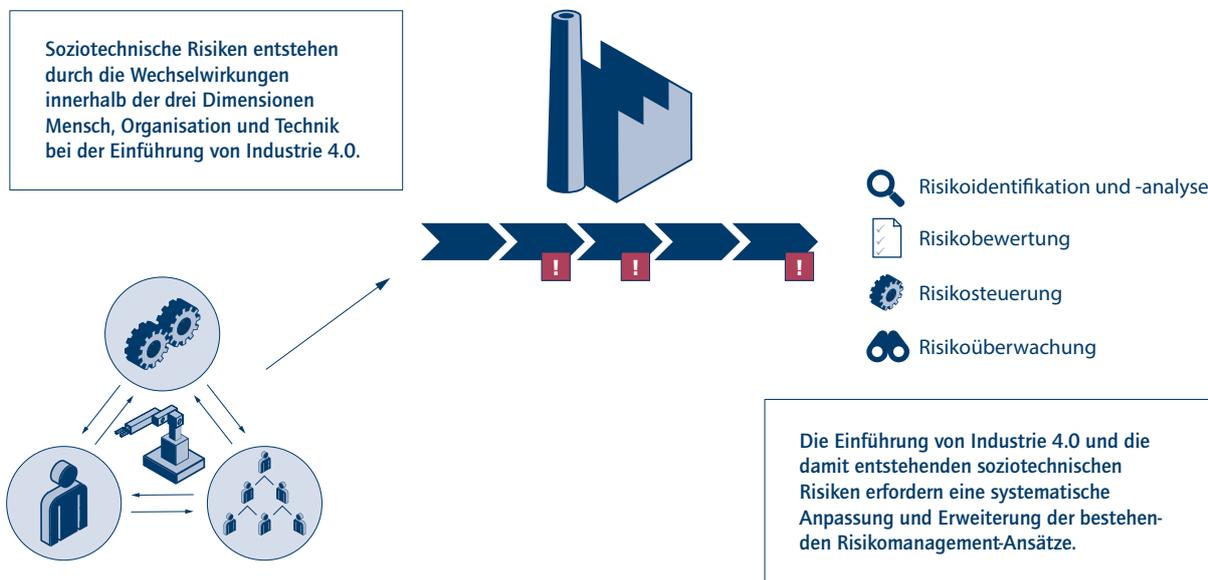


Abbildung 24: Soziotechnische Risiken entlang der gesamten Wertschöpfungskette (Quelle: Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn)

Technologiepromoterin beziehungsweise eines Technologiepromoters wirkt sich diese Maßnahme wiederum auf die Dimension Organisation aus – denn der Funktionsbereich einer Technologiepromoterin beziehungsweise eines Technologiepromoters muss neu definiert und die Zuständigkeiten festgelegt werden. Innerhalb konsistenter Maßnahmenbündel werden diese Wechselwirkungen berücksichtigt. Dies verhindert, dass neue Risiken bereits durch die Steuerung bestehender Risiken entstehen können.²⁴

Während der Einführung von Industrie 4.0-Lösungen ist die Entwicklung der Risiken stets zu überwachen und zu überprüfen. Dabei können Ansätze aus dem Prämissen- und Zielcontrolling das Risikomanagement unterstützen, um frühzeitig Abweichungen erfassen und Anpassungen in der Risikosteuerung vornehmen zu können.²⁵

Ein ganzheitliches Risikomanagement ermöglicht somit durch die Berücksichtigung soziotechnischer Wechselwirkungen eine risikooptimierte Einführung von Industrie 4.0-Lösungen.²⁶ Durch die Verzahnung von Risiko- und Unternehmensstrategie kann das Risikomanagement außerdem zur Ableitung notwendiger

Anpassungen der Unternehmensstrategie infolge der Digitalisierung beitragen.

4.4 Unternehmens- und Mitarbeiterführung „4.0“ in der digitalisierten Arbeitswelt

Die zunehmende Digitalisierung der Arbeitswelt führt aktuell dazu, dass sich innerbetriebliche Prozesse verändern und neu ausgerichtet werden. Wesentliche Gestalter der Digitalisierung in den Unternehmen stellen die Führungskräfte dar: Sie sind für eine erfolgreiche Einführung verantwortlich. Wie bei anderen Change-Prozessen bewegen sich Führungskräfte auch hier in Widersprüchen und Zielkonflikten, die es erfolgreich zu bewältigen gilt.²⁷ Im Zuge der Digitalisierung kommt nun jedoch ein weiteres Spannungsfeld hinzu: Führungskräfte müssen sich plötzlich mit ihrer eigenen Rolle auseinandersetzen und Antworten auf die Frage finden, wie Führung in Unternehmen vor dem Hintergrund von Effektivitäts- und Effizienzaspekten überhaupt

24 | Vgl. Schwarz 2016.

25 | Vgl. Sorger 2008, S. 135 f.

26 | Das Verbundprojekt „Soziotechnisches Risikomanagement bei der Einführung von Industrie 4.0 (SORISMA)“ adressiert ein ganzheitliches Risikomanagement bei der Einführung von Industrie 4.0-Lösungen. Das Vorhaben wird vom Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) mit rund 2,7 Millionen Euro gefördert.

27 | Vgl. Claßen 2019.

ausgestaltet sein sollte. Häufig sind in diesem Zusammenhang sogar Äußerungen zu hören, dass Führung in Unternehmen infolge der Digitalisierung gänzlich ersetzt würde.²⁸ Um hier kompetent agieren zu können, benötigen Führungskräfte ein differenziertes Verständnis von Führung.

Das Phänomen muss genauer betrachtet werden: Führung kann als eine Form der Verhaltensbeeinflussung gesehen werden. Klassischerweise läuft diese interaktiv zwischen Personen ab. Es handelt sich also um eine Aktivität zwischen Menschen. Ziel ist die Bewirkung einer bewussten Verhaltensänderung, etwa im Bereich Können (Qualifikation und Lernen), Wollen (Motivation) und soziales Dürfen oder soziales Sollen (Werte und Normen) (siehe Abbildung 25).²⁹

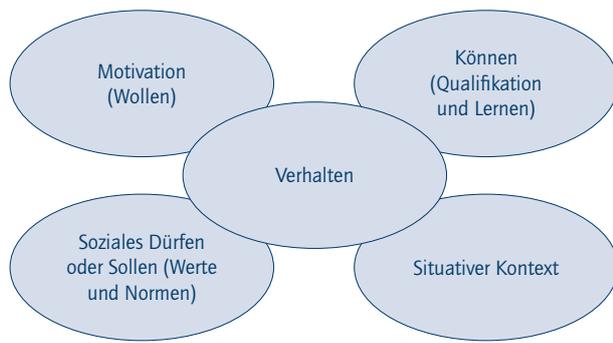


Abbildung 25: Einflüsse auf das Verhalten des Menschen (Quelle: Industrie 4.0 Maturity Center, FIR e. V. an der RWTH Aachen)

Die Digitalisierung vereinfacht und beschleunigt die Kommunikation. Weiterhin erfordern die veränderten Kommunikationsformen angepasste Strukturen und Kulturen. So verlieren zukünftig Hierarchien an Bedeutung, und Machtverhältnisse verschieben sich. Zudem verändert sich das Wissen immer schneller, es wird immer kleinteiliger und spezieller. Die Beschäftigten können dadurch zu Expertinnen und Experten mit exklusivem Wissen werden, das nur noch schwer kontrollierbar ist.³⁰ Führungskräfte besetzen daher möglicherweise nicht mehr so ein starkes Machtmonopol in den Unternehmen wie vor der Digitalisierung. Hinzu kommt, dass digitale Systeme (zum Beispiel Planungstools) die Ausführung von Aufgaben der Beschäftigten erleichtern, zur Selbststeuerung beitragen können und Führungskräfte auf dem Weg entlasten.

Aufgrund dieser Verschiebungen werden auf Führungskräfte andere Rollen und Funktionen in Unternehmen zukommen. Welche Aufgabenbereiche und Aktivitäten von Führungskräften wegfallen und ob es sich eher um strategische, taktische oder operative Führungsaufgaben handelt, ist aktuell noch eine offene Frage, kaum erforscht und aufgrund der Heterogenität von Führungsaufgaben in verschiedensten Abteilungen (zum Beispiel Shopfloor) in Unternehmen und Branchen (zum Beispiel Handwerk, Industrie) nicht pauschal zu beantworten. Sicher ist, dass sich Führung verändern wird, das heißt, manche Aufgaben werden wegfallen und dafür neue Funktionen hinzukommen. Die Führungskräfte werden zunehmend die Rolle von Lerncoachs beziehungsweise Mentorinnen und Mentoren übernehmen. Ihnen kommt daher eine Unterstützungsfunktion zu, das heißt es geht um die Schaffung gemeinsamer Werte, die Förderung des Zusammenhalts in der Gruppe und das Vorgeben von Entwicklungsrichtungen in sich selbst steuernden Teams.

Im Zuge dessen werden vor allem bei jungen Unternehmen in digitalaffinen Branchen neue Organisationskonzepte eingeführt. Beispielhaft ist die Holokratie zu erwähnen.³¹ Sie arbeitet nicht mit traditionellen Hierarchien, sondern mit Rollen und Zuständigkeiten (Abbildung 26). Ein zentrales Regelwerk soll dabei helfen, ein Unternehmen zu lenken, und kann ständig weiterentwickelt werden. Holokratie setzt auf kleine, schnelle Kurskorrekturen, die große Umsteuerungsmanöver verhindern sollen. Sie zielt auf Konsensbildung statt auf Mehrheitsentscheidungen ab. Ob in solchen Settings dann allerdings noch von Führungskräften gesprochen wird, ist fraglich. Ein Beispiel ist Markus Stelzmann vom Wiener Produktionsunternehmen Tele Haase. Selbst nennt er sich nach Abschaffung der Führungskräfte nun Regisseur: „Ich bin Lobbyist für Themen, Märchenonkel, Kindergärtner, Kummerkasten und vielleicht auch eine Art von Mentor. Nebenbei darf ich in meiner Rolle als Regisseur im Unterstützungsprozess Bilanzen unterschreiben und unter anderem mit Banken sprechen. Irgendwie bin ich für alles nach ‚außen‘, was noch einen ‚Geschäftsführer‘ braucht, das notwendige Gegenüber.“³²

Bedeutet das nun tatsächlich, dass keine Führung mehr benötigt wird? Blickt man auf den Kern von Führung als Verhaltensbeeinflussung, so wird deutlich, dass Führung durch Digitalisierung nicht verschwinden wird, denn auch in sich selbst steuernden Teams sind Beeinflussungen zwingend erforderlich. Allerdings könnte sich der Beruf Führungskraft fundamental verändern

28 | Vgl. Weber et al. 2018.

29 | Vgl. Weibler 2016.

30 | Vgl. Volkmann 2019.

31 | Weiterführende Informationen: <https://www.holacracy.org/>

32 | Vgl. <https://www.tele-online.com/team/stelzmann-markus/>

oder gänzlich auf dem Spiel stehen. In Konstellationen wie der Holokratie wird Führung dann nicht mehr an einzelne Personen gebunden, sondern als Funktion gesehen, die ein Unternehmen bei Bedarf hervorbringen kann. Führung läuft somit vielmehr verteilt und plural ab. Unternehmen benötigen dann die Kompetenz, zu erkennen, wann Führung gebraucht wird und wer einspringen soll. Alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter müssen in solchen „Settings“ theoretisch führungsfähig sein, ohne dass konkrete Führungskräfte vorher benannt wurden. Hierauf muss sich auch die Kompetenzentwicklung in Unternehmen

ausrichten und gewährleisten, dass Führung zu einer generellen Kompetenz wird. Lernkulturen sind also zwingend zu etablieren, damit alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter diese Kompetenz erwerben können. Dabei geht es nicht darum, einzelne, isolierte „New-Work-Praktiken“ einzuführen, sondern eine passende Konfiguration für das jeweilige Unternehmen zu finden. Alle Elemente müssen in adäquater Weise zusammenspielen, zu den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, den Kompetenzen und der Branche passen. Zudem sollten Führungskräfte die Digitalisierung als Chance begreifen.

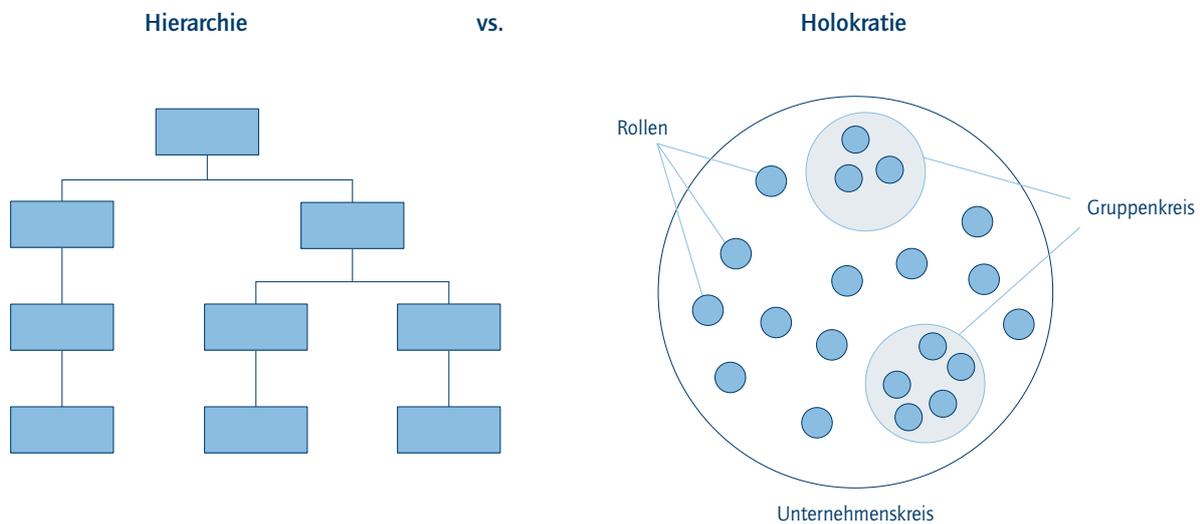


Abbildung 26: Klassische Hierarchie versus Holokratie (Quelle: Industrie 4.0 Maturity Center, FIR e. V. an der RWTH Aachen)

Literaturverzeichnis

Anderl 2015

Anderl, R.: „Industrie 4.0 – Technological Approaches, Use Cases, and Implementation“. In: *at-Automatisierungstechnik*, 63: 10, 2015, S. 753-765. DOI: 10.1515/auto-2015-0025.

Åkerman 2018

Åkerman, M.: *Implementing Shop Floor IT for Industry 4.0*, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2018.

Arbeitskreis Smart Service Welt/acatech 2015

Arbeitskreis Smart Service Welt/acatech (Hrsg.): *Smart Service Welt – Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Internet basierte Dienste für die Wirtschaft* (Abschlussbericht), Berlin 2015.

BMWi 2016

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.): *Begleitforschung AUTONOMIK für Industrie 4.0*. Ergebnisse, Berlin 2016, S. 40 ff.

BMWi 2019a

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.): *Das Projekt GAIA-X – Eine vernetzte Dateninfrastruktur als Wiege eines vitalen, europäischen Ökosystems*. Executive Summary, 2019. URL: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/das-projekt-gaia-x-executive-summary.pdf?__blob=publicationFile&v=16 [Stand: 21.02.2020].

BMWi 2019b

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.): *Specification Details of the Asset Administration Shell, Part 1 – The Exchange of Information between Partners in the Value Chain of Industrie 4.0 (Version 2.0)*, Plattform Industrie 4.0, Berlin 2019.

Brühwiler 2008

Brühwiler, B.: „ISO/DIS 31000 und ONR 49000:2008 Neue Standards im Risikomanagement“. In: *MQ – Management und Qualität*, 5: 1-2, 2008, S. 26-27.

Claßen 2019

Claßen, M.: *Spannungsfelder im Change Management – Veränderungen situativ gestalten*, Handelsblatt Fachmedien, 2019.

Contreras et al. 2017

Contreras, J. D./García, J. I./Díaz, J. D.: „Developing of Industry 4.0 Applications“. In: *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, 13: 10, 2017, S. 30-47.

Dumitrescu et al. 2017

Dumitrescu, R./Altemeier, K./Bansmann, M./Dietrich, O./Nettelstroth, W.: *Auf dem Weg zu Industrie 4.0 – Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten*, it's OWL Clustermanagement GmbH (Hrsg.), Paderborn 2017, S. 7 f.

Fraunhofer IML 2020

Fraunhofer IML: „Topthema: Silicon Economy“. In: *Logistik entdecken – Magazin des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik IML Dortmund*, Ausgabe #20, S. 12-13 (Thema „Loadrunner“).

Hirsch-Kreinsen et al. 2016

Hirsch-Kreinsen, H./ten Hompel, M./Ittermann, P./Niehaus, J./Dregger, J.: *Social Manufacturing and Logistics – Konturen eines Leitbildes digitaler Industriearbeit*. Begleitforschung AUTONOMIK für Industrie 4.0, Alfons Botthof (Hrsg.), VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Berlin, 2016, S. 10 f.

Müller 2016

Müller B.: „Die autonome Autofabrik“. In: *Mit Strom fahren* »weiter.vorn« Das Fraunhofer Magazin 4/15, München 2015, S. 18-19.

Oehmen 2019

Oehmen, J.: „Wertschöpfendes Risikomanagement in Technologieunternehmen“. In: *Controlling*, 31: 3, 2019, S. 10.

Schwarz 2016

Schwarz, S.: *Konsistente Maßnahmen zur Bewältigung extern verursachter Unternehmenskrisen. Das Beispiel kleiner und mittlerer deutscher Zulieferer der Automobilindustrie in der Absatzkrise 2008/2009*. Strategisches Management Band 191, Schriftenreihe Unternehmensführung & Organisation, Verlag Dr. Kovac, 2016.

SMART FACE/Logata Digital Solutions GmbH

SMART FACE/Logata Digital Solutions GmbH: *Infografik zur konzeptionellen Basis des Projektes „SMART FACE“ und dessen Einbindung in die Initiativen Cyber Physical Systems und Industrie 4.0*. URL: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Anwendungsbeispiele/243-smart-face-smart-micro-factory-fuer-elektrofahrzeuge-mitschlanker-produktionsplanung/beitrag-smart-face-smart-micro-factory-fuer-elektrofahrzeuge-mitschlanker-produktionsplanung.htm> [Stand: 25.05.2020].

Sorger 2008

Sorger, H.: *Entscheidungsorientiertes Risikomanagement in der Industrieunternehmung*, Forschungsergebnisse der Wirtschaftsuniversität Wien, Band 20, 2008, S. 135 f.

Ten Hompel et al. 2016

Ten Hompel, M./Putz, M./Nettsträter, A.: »Social Networked Industry«. Für ein positives Zukunftsbild von Industrie 4.0 (Whitepaper), Dortmund, 2016, S. 3.

VDI Verein Deutscher Ingenieure e. V. 2013

VDI Verein Deutscher Ingenieure e. V.: *Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation – Thesen und Handlungsfelder*, 2013.

Volkman 2019

Volkman, K.: „Hierarchien werden untergraben“ – Interview mit Prof. Dr. Jürgen Weibler, 2019. URL: <https://www.leadership-insiders.de/hierarchien-werden-untergraben-interview-mit-prof-dr-juergen-weibler/> [Stand: 16.02.2020].

Walter 1998

Walter, A.: *Der Beziehungspromotor. Ein personaler Gestaltungsansatz für erfolgreiches Relationship Marketing*, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 1998, S. 103-106.

Weber et al. 2018

Weber, C./Thomson, B./Pundt, F.: *Die Notwendigkeit von Führung in einer digitalisierten Arbeitswelt – eine Netnografie*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (bAuA), 2018.

Weibler 2016

Weibler, J.: *Personalführung*, München: Verlag Franz Vahlen, 3. Auflage, 2016.

Willner 2019

Willner, A.: „Weit verteilt – Industrielles Edge-Computing als neues Paradigma“. In: *iX Magazin 11*, 2019.

Wolke 2008

Wolke, T.: *Risikomanagement*, München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2. Auflage, 2008.

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

acatech berät Politik und Gesellschaft, unterstützt die innovationspolitische Willensbildung und vertritt die Technikwissenschaften international. Ihren von Bund und Ländern erteilten Beratungsauftrag erfüllt die Akademie unabhängig, wissenschaftsbasiert und gemeinwohlorientiert. acatech verdeutlicht Chancen und Risiken technologischer Entwicklungen und setzt sich dafür ein, dass aus Ideen Innovationen und aus Innovationen Wohlstand, Wohlfahrt und Lebensqualität erwachsen. acatech bringt Wissenschaft und Wirtschaft zusammen. Die Mitglieder der Akademie sind herausragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Ingenieur- und den Naturwissenschaften, der Medizin sowie aus den Geistes- und Sozialwissenschaften. Die Senatorinnen und Senatoren sind Persönlichkeiten aus technologieorientierten Unternehmen und Vereinigungen sowie den großen Wissenschaftsorganisationen. Neben dem acatech FORUM in München als Hauptsitz unterhält acatech Büros in Berlin und Brüssel.

Weitere Informationen unter www.acatech.de.

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Günther Schuh

FIR e.V. an der RWTH Aachen
Campus-Boulevard 55
52074 Aachen

Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl

Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion
Technische Universität Darmstadt
Otto-Berndt-Straße 2
64287 Darmstadt

Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu

Heinz Nixdorf Institut
Universität Paderborn
Fürstenallee 11
33102 Paderborn

Prof. Dr. Antonio Krüger

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz
GmbH, DFKI
Stuhlsatzenhausweg 3
66123 Saarbrücken

Prof. Dr. Michael ten Hompel

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 2-4
44227 Dortmund

Reihenherausgeber:

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2020

Geschäftsstelle

Karolinenplatz 4
80333 München
T +49 (0)89/52 03 09-0
F +49 (0)89/52 03 09-900

Hauptstadtbüro

Pariser Platz 4a
10117 Berlin
T +49 (0)30/2 06 30 96-0
F +49 (0)30/2 06 30 96-11

Brüssel-Büro

Rue d'Egmont/Egmontstraat 13
1000 Brüssel (Belgien)
T +32 (0)2/2 13 81-80
F +32 (0)2/2 13 81-89

info@acatech.de

www.acatech.de

Vorstand i.S.v. § 26 BGB: Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath, Karl-Heinz Streibich, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Prof. Dr. Reinhard F. Hüttl, Prof. Dr. Hermann Requardt, Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, Manfred Rauhmeier, Prof. Dr. Martina Schraudner

Empfohlene Zitierweise:

Schuh, G./Anderl, R./Dumitrescu, R./Krüger, A./ten Hompel, M. (Hrsg.): *Der Industrie 4.0 Maturity Index in der betrieblichen Anwendung. Aktuelle Herausforderungen, Fallbeispiele und Entwicklungstrends* (acatech KOOPERATION), München 2020.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften • 2020

Koordination: Joachim Sedlmeir, Dr. Johannes Winter

Redaktion: Alrun Straudi

Lektorat: Lektorat Berlin

Layout-Konzeption: Groothuis, Hamburg

Titelfoto: Florian Küttler/Westend61

Konvertierung und Satz: Fraunhofer IAIS, Sankt Augustin

Die Originalfassung der Publikation ist verfügbar auf www.acatech.de.



Die produzierende Industrie in Deutschland hat erkannt, dass für die Realisierung der vierten industriellen Revolution statt der Einführung einzelner, isolierter Prototypen ein systematisches Transformationsprogramm mit Fokus auf klaren wirtschaftlichen Mehrwerten notwendig ist. Der acatech Industrie 4.0 Maturity Index hat sich seit Veröffentlichung der acatech STUDIE 2017 als praktisches Werkzeug für die strukturierte, ganzheitliche Gestaltung der digitalen Transformation von Unternehmen bewährt.

Die in der vorliegenden Praxisbroschüre vorgestellten Beispiele zeigen, wie der Einsatz des Industrie 4.0 Maturity Index einen Mehrwert für unterschiedliche Unternehmen – vom Automobilzulieferer bis zum Chemieunternehmen – generiert hat. Durch Priorisierung und Strukturierung der Digitalisierungsaktivitäten in einer Roadmap können typische Fehler wie eine fragile Integration von Informationssystemen und die mangelnde Einbeziehung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern verhindert werden. Unternehmen können so von einer systematischen und wirtschaftlichen Transformation in Richtung einer agilen und lernenden Organisation profitieren.