



Industrielles IoT und führende Technologien als Treiber der digitalen Transformation in der Produktion

Wie es gelingt, Geschäftsbereiche, Organisation und Technologie zur Skalierung der Wertschöpfung aufeinander abzustimmen

Vorwort

Unter den Spitzentechnologien im Produktionssektor finden sich zahlreiche digitale Innovationen: Advanced Analytics, Automatisierung, das industrielle Internet der Dinge (IIoT), Industrie 4.0, Machine Learning, künstliche Intelligenz (KI), Cloud-Plattformen etc. Diese Innovationen haben zum einen das Potenzial, die Produktivität von Unternehmen im traditionellen Geschäft zu steigern. Zum anderen ermöglichen diese modernen Technologien bei etablierten Unternehmen völlig neue, digital gestützte Geschäftsmodelle und verbessern sowohl die operative Effizienz als auch das Kundenerlebnis in Produktion und Logistik. Deshalb sind solche Technologien für moderne Produktionsunternehmen unverzichtbar und es ist davon auszugehen, dass jede große Organisation im produzierenden Gewerbe zumindest teilweise bereits damit arbeitet.

Das industrielle Internet der Dinge (IIoT) oder Industrie 4.0 – zwei Bezeichnungen, die wir in diesem Bericht synonym verwenden – ist dabei für die produzierende Industrie von besonderer Relevanz. Doch während viele Unternehmen bereits mit Pilotprojekten in das Thema eingestiegen sind, ist es bislang den wenigsten gelungen, die IIoT-basierten Use Cases (Anwendungsfälle) so zu skalieren, dass sie operativ und finanziell nennenswert davon profitieren. Die Hauptursache für diese „Pilotprojekt-Fälle“ („pilot trap“) dürfte darin liegen, dass die meisten Unternehmen die größte Herausforderung beim IIoT in der technischen Umsetzung sehen und deshalb die Einführung und Skalierung in die Hände von IT- und OT-Spezialisten legen.

Wir stellen hingegen immer wieder fest, dass das IIoT erst dann einen echten Mehrwert für die Geschäftsprozessanpassung und -optimierung bringt, wenn das Topmanagement geeignete Rahmenbedingungen für das Anpassen von Prozessen im gesamten Unternehmen schafft und damit einer breit angelegten, nachhaltigen Wertsteigerung den Weg ebnet. Wenn ein Unternehmen Produktionsanlagen mit einer Internetanbindung versieht, kann es über vorausschauende Wartung die Nutzung der Anlagen effektiver steuern. Wenn es jedoch die beteiligten Geschäftsprozesse nicht ebenfalls anpasst und optimiert, beschränkt sich der Mehrwert immer nur auf einen einzelnen Bereich. Um das Wertpotenzial des IIoT voll auszuschöpfen, müssen auch bei Personal und Prozessen Veränderungen stattfinden. Deshalb ist die obere Führungsebene gefordert zu gewährleisten, dass das IIoT keine IT-Initiative ist, sondern Teil der Unternehmenskultur wird.


Die Skalierung des IIoT birgt natürlich auch technische Herausforderungen. So haben z.B. zahlreiche Unternehmen noch keine Lösung für die Problematik von heterogenen System- und Anwendungsumgebungen gefunden. Außerdem wissen sie noch nicht genau, welches System am besten welche Funktionen übernehmen sollte (z.B. PLM, ERP, SCM, MOM). Darüber hinaus stellt sich die Frage, wo diese Funktionen bereitgestellt werden sollen, d.h. am Produktionsstandort oder in der Cloud. Deren Beantwortung hängt dabei ab von der Governance zwischen IT und OT, Produktionsstandorten und Konzernfunktionen.

Auf Grund all dieser Schwierigkeiten sollten selbst Unternehmen mit einer soliden IIoT-Erfolgsbilanz nicht davon ausgehen, dass sie es im Alleingang schaffen können. Technische IIoT-Ökosysteme werden jeden Tag größer und besser. In vielen Fällen kann die Zusammenarbeit mit anderen – häufig Akteuren mit hoher Kompetenz in Bereichen wie Advanced Analytics, IIoT und Cloud-Plattformen innerhalb des Industriesoftware-Stacks – einen Wettbewerbsvorteil bewirken. Darüber hinaus wirft die Komplexität der entstehenden Ökosysteme Fragen auf hinsichtlich Investitionen, Führung und Governance.

Letztendlich bedeutet dies: Wer die oben genannten Herausforderungen meistern will, muss Organisation und Technologie erfolgreich zusammenführen. Ausgehend von McKinseys „Digital Transformation Services“-Ansatz bietet dieser Bericht Leitlinien, wie es gelingen kann, digitale Transformationen durch das erfolgreiche Aufeinanderabstimmen der Faktoren Geschäftsbereich, Organisation und Technologie voranzutreiben. So soll er Entscheidungsträgern in Produktion und Technologie helfen, die IIoT-Landschaft besser zu verstehen und ihr Unternehmen so zu positionieren, dass es die Vorteile des IIoT voll ausschöpfen kann.

Januar 2021

Ihrem Erfolg in IIoT, digitaler Produktion und damit verbundenen Dienstleistungen verpflichtet



Lisa Åberg
Senior Partner
Stockholm



Venkat Atluri
Senior Partner
Chicago



Aamer Baig
Senior Partner
Chicago



Harald Bauer
Senior Partner
Frankfurt



Thomas Baumgartner
Senior Partner
Wien



Andreas Behrendt
Partner
Köln



Nico Berhausen
Partner
Stockholm



Sven Blumberg
Senior Partner
Düsseldorf



Dirk Breitschwerdt
Senior Partner
München



Ondrej Burkacky
Partner
München



Gianluca Camplone
Senior Partner
Chicago



Raffaele Carpi
Partner
Lissabon



Albert Chang
Partner
Taipei



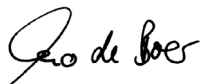
Michael Chui
Partner
San Francisco



Andreas Cornet
Senior Partner
München



Mike Coxon
Partner
Cleveland



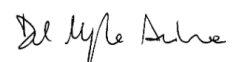
Enno de Boer
Partner
New Jersey



Marc de Jong
Partner
Amsterdam



Hugo del Campo
Senior Partner
Madrid



Andrea del Miglio
Senior Partner
Mailand



Valerio Dilda
Partner
Paris



Ewan Duncan
Senior Partner
Seattle



Karel Eloot
Senior Partner
Shanghai



Katy George
Senior Partner
New Jersey



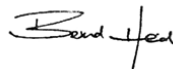
Ferry Grippink
Senior Partner
Amsterdam



Mikael Hanicke
Partner
Göteborg



Holger Harreis
Senior Partner
Düsseldorf



Bernd Heid
Senior Partner
Köln



Nicolaus Henke
Senior Partner
London



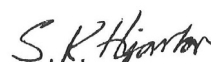
Dorothee Herring
Partner
Düsseldorf



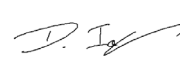
Ruth Heuss
Senior Partner
Berlin



Anne Hidma
Partner
Amsterdam



Klemens Hjartar
Senior Partner
Kopenhagen



Daniele Iacovelli
Partner
Hamburg



Christian Jansen
Partner
Hamburg



Paul Jenkins
Senior Partner
Oslo



Andras Kadocsa
Partner
Budapest



Axel Karlsson
Senior Partner
Stockholm



Matthias Kässer
Partner
München



Richard Kelly
Partner
Stamford

Bodo Koerber
Partner
Düsseldorf

Jean-Frederic Kuentz
Senior Partner
Taipei

Eric Lamarre
Senior Partner
Boston

Martin Lehnich
Partner
Shenzhen

Martin Linder
Senior Partner
München

Martin Lösch
Senior Partner
Stuttgart

Jürgen Meffert
Senior Partner
Düsseldorf

Lukas Michor
Partner
Wien

Roberto Migliorini
Partner
London

Niko Mohr
Partner
Düsseldorf

Nicolai Müller
Senior Partner
Köln

Olivier Noterdaeme
Partner
Brüssel

Asutosh Padhi
Senior Partner
Chicago

Mark Patel
Senior Partner
San Francisco

Anders Rasmussen
Senior Partner
London

Gérard Richter
Senior Partner
Frankfurt

Wolf Richter
Partner
Berlin

Mikael Robertsson
Senior Partner
Stockholm

Matthias Roggendorf
Partner
Berlin

Tamim Saleh
Senior Partner
London

Christoph Schmitz
Senior Partner
Frankfurt

Ulf Schrader
Senior Partner
Hamburg

Abhyudaya Shrivastava
Partner
Singapur

Anil Sikka
Partner
Taipei

Markus Simon
Partner
Köln

Kate Smaje
Senior Partner
London

Naomi Smit
Partner
Amsterdam

Francois Soubien
Partner
Paris

Jacob Staun
Partner
Kopenhagen

Gernot Strube
Senior Partner
München

Rupert Stuetzle
Partner
Berlin

Daniel Swan
Senior Partner
Stamford

Yoshi Takanuki
Senior Partner
London

Andreas Tschiesner
Senior Partner
München

Steve Van Kuiken
Senior Partner
New Jersey

Joris van Niel
Partner
Amsterdam

Rutger Vrijen
Partner
Silicon Valley

Martin Wrulich
Partner
Wien

Jan Wüllenweber
Senior Partner
Köln

Rodney Zimmel
Senior Partner
New York

Inhalt

Vorwort	3
Einführung und Kernaussagen	8
Teil A: Branchentrends signalisieren vielversprechende Entwicklung in digitaler Produktion	14
1 Der technische Fortschritt und Folgen für die digitale Produktion	14
1.1 Technologietrends sind vielversprechend	14
1.2 Mit einer IIoT-gestützten Plattform können Unternehmen aus dem Global Lighthouse Network ihre Leistung deutlich verbessern	16
2 Produktionsunternehmen sollten weiter auf digitale Innovationen setzen – und ihre digitalen Initiativen überprüfen	20
Teil B: Erfolgsrezept zum Erschließen des Wertpotenzials von IIoT	24
1 Geschäftsbereich (Produktion)	27
1.1 Use Cases ermitteln und priorisieren	27
Schritt 1: Longlist mit Use Cases erstellen – top-down und bottom-up	27
Schritt 2: Use Cases katalogisieren, qualifizieren und priorisieren	28
Schritt 3: Leuchtturmprojekte als Vorbilder aufbauen	29
1.2 Rollout planen und Standorte vorbereiten	30
Schritt 1: Rollout auf Wertschöpfung und Wirkung fokussieren	30
Schritt 2: Daten zusammentragen und aggregieren, wichtige Aktivitäten parallel durchführen	33
Schritt 3: Die Prozesse und ein Kollaborationsmodell für den erforderlichen Rollout aufbauen	33
2 Organisation	35
2.1 Wertpotenzial erschließen: Veränderungs- und Verbesserungsmanagement	35
Schritt 1: Fahrplan für IIoT-Transformation erstellen und Zielvorgaben für Use Cases definieren	35
Schritt 2: Organisation, Modell und Mechanismus zur Erschließung des Wertpotenzials einrichten	35
Schritt 3: Einheitliches Abweichungsmanagement implementieren	36
2.2 Kompetenzen aufbauen und neue Arbeitsweisen etablieren	36
Schritt 1: Änderungen der Organisationsstruktur etablieren sowie neue Governance und Arbeitsweisen implementieren	36
Schritt 2: Kompetenzdefizite ermitteln und beheben	40
Schritt 3: Rollenverschiebungen managen und mit einem Change-Prozess ein Umdenken über Hierarchieebenen hinweg fördern	41

3	Technologie	44
3.1	IIoT und Dateninfrastruktur: Plattform designen (inklusive IT-OT-Cybersicherheit)	44
	Schritt 1: Aktuelle IT- und OT-Brownfield-Umgebung vollständig bewerten	51
	Schritt 2: Zielarchitektur für gewünschte Use Cases konzipieren	53
	Schritt 3: Cybersicherheits-Herausforderungen bei der IT-OT-Konvergenz effektiv managen	60
	Schritt 4: Für Implementierung der Plattform keinen bloßen Anbieter, sondern einen Partner auswählen	64
3.2	IIoT-Plattform: Cloud Computing in der Produktion etablieren	65
	Schritt 1: Dafür sorgen, dass die Cloud sich kurzfristig bezahlt macht	66
	Schritt 2: Cloud-Transformation konsequent steuern	69
	Schritt 3: Infrastrukturteam einsetzen, das wie ein App-Entwicklerteam arbeiten kann	69
3.3	Tech-Ökosystem aufbauen	70
	Schritt 1: Kernelemente eines nachhaltigen Ökosystems verstehen	70
	Schritt 2: Die richtigen Partner auswählen, um im plattformgestützten Ökosystem einen ausgewogenen Mix an Partnern zu erreichen	71
	Schritt 3: Business-Development-Teams implementieren, um das komplexe Ökosystem zu managen und Agilität zu gewährleisten	73
	Ausblick: Vorbereitung auf die digitale Transformation in der Produktion	74
	Glossar	75
	Autoren	80
	Kontakte	81









Einführung und Kernaussagen

Innovationen im industriellen Software-Stack sowie Anwendungen für Advanced Analytics, KI, Machine Learning, 5G-Netze, Edge Computing und das IIoT können für Produktionsunternehmen wertvolle Assets sein. Unsere Untersuchungen und unsere Praxiserfahrung zeigen aber, dass die größten Herausforderungen der Produktionsunternehmen derzeit weniger in der Auswahl geeigneter Technologien bestehen, sondern vielmehr im Erschließen des Wertpotenzials und im Skalieren sinnvoller Use Cases.

Abbildung 1

Digital Transformations Services von McKinsey ist ein bewährter integrierter Ansatz zur ganzheitlichen Transformation von Geschäftsbereichen, Organisation und Technologie

Geschäftsbereich

Umsatz steigern		Kosten senken				Liquidität optimieren	
							
Digitalvertrieb und -marketing	Digitale Produktgestaltung/agile F&E	Digitaler Einkauf	Design to Cost/DTX	Digitale Produktion	Prozessdigitalisierung im Back-/Mid-/Front-Office	Digitale Lieferkette/Bestandsführung	Forderungen/Verbindlichkeiten/Investitionen

Fokus dieses Reports

Organisation

Leistungs-/Verbesserungsinfrastruktur „Das Gehirn“	Mittels strenger Taktung exzellente Umsetzung und messbare Wertschöpfung gewährleisten, um finanzielle Initiativen, Ziele und Schlüsselergebnisse voranzutreiben
Finanzielle Transparenz „Das Auge“	Finanzielle Transparenz schaffen und GuV-wirksame Werttreiber ansetzen, damit sich praktische Verbesserungen in den Geschäftszahlen niederschlagen
Change Management „Das Herz“	Umdenken und neue Verhaltensweisen fördern, um in einer digitalisierten Umgebung bestehen zu können und die Dynamik der Transformation aufrechtzuerhalten
Aufbau digitaler Fähigkeiten „Der Muskel“	Bestehende Organisation mit neuen Fähigkeiten ausstatten in den Bereichen Führung, funktionales Know-how, Digitalisierung und Transformation
Agile Organisation „Der Yogi“	Anhand agiler Prinzipien interdisziplinär und iterativ organisieren, arbeiten, erneuern und transformieren

Technologie

IIoT-Infrastruktur „Das Skelett“	Ganzheitliche Planung und IIoT-Architektur entwickeln, um digitale Use Cases unternehmensweit zu skalieren
Dateninfrastruktur „Das Blut“	Die richtigen Daten zur richtigen Zeit in geeigneter Qualität erheben, um Digital- und Analytics-Use-Cases zu ermöglichen
Tech-Ökosystem „Die Community“	Netzwerk um Unternehmen erweitern, mit denen sich Partnerschaften eingehen bzw. Lizenzvereinbarungen schließen lassen, um neue Fähigkeiten in das Unternehmen einzubringen

Quelle: McKinsey DTS

Solche Use Cases müssen auf einer digitalen Basis stehen, aber heterogene System- und Anwendungsumgebungen stellen hier oft ein beträchtliches Hindernis dar. Ursache solcher fragmentierten Umgebungen sind unterschiedliche Bestandssoftware, organisches Wachstum, Fusionen und Übernahmen und/oder dezentral eingekaufte Lösungen und Technologien. In Verbindung mit einem unklaren Geschäftsplan und unzureichenden organisatorischen Fähigkeiten führen solche technologischen Herausforderungen bei vielen Unternehmen dazu, dass sie dem „Fegefeuer der Pilotprojekte“ nicht mehr entkommen.

Die Technologie hat sich in den vergangenen Jahren immens verbessert, insbesondere im Bereich skalierbarer Konnektivität und Integration, mit der Produktionsunternehmen endlich in der Lage sind, ihre bestehenden Lösungen einzubinden und zu erweitern, statt sie zu ersetzen. Wenn Unternehmen diesen Fortschritt erfolgreich für sich nutzen, können sie mit einem vertretbaren Aufwand wirksame Use Cases realisieren und skalieren, die über alle Produktionsstandorte hinweg dauerhaft Wertpotenzial erschließen.

Die Arbeit von McKinseys Digital Transformation Services hat gezeigt, dass Produktionsunternehmen mit einem integrierten Ansatz am erfolgreichsten sind. Diese Unternehmen erschließen den geschäftlichen Mehrwert der industriellen Digitalisierung entlang der gesamten Wertschöpfungskette, also auch bei ihren Lieferanten und Kunden. Sie erkennen bei der Transformation von Anfang an, welche wichtigen und großen Veränderungen bei Organisation und Technologie erforderlich sind und dass diese Veränderungen jenseits einzelner Funktionen auf globaler Ebene konzipiert werden müssen (Abbildung 1). Dieser Bericht konzentriert sich auf die digitale Produktion und auf die dafür notwendigen organisatorischen und technischen Veränderungen.

Ziel dieser Publikation ist es, tiefgreifende, sofort umsetzbare Erkenntnisse zu den Herausforderungen anzubieten, die mit neuen Technologien einhergehen, und aufzuzeigen, wie Produktionsunternehmen das Wertpotenzial dieser Technologien ausschöpfen und entsprechende Use Cases skalieren können.

McKinseys IoT and Manufacturing Practice hat ein Forschungsprojekt durchgeführt, um herauszufinden, welche Faktoren ausschlaggebend sind, um das IIoT-Wertpotenzial im großen Stil – d.h. skaliert und nicht nur in Pilotprojekten – ausschöpfen zu können. Die Ergebnisse finden Sie in diesem Bericht. Er legt dar, warum Unternehmen weiterhin IIoT-basierte Technologien nutzen sollten, und bietet eine Anleitung für die praktische Umsetzung. Dabei stützt sich der Bericht sowohl auf das Wissen aus den Digital Transformation Services von McKinsey als auch auf McKinseys umfangreiche Projekterfahrung. Ergänzend kommen die jüngsten Forschungsergebnisse von McKinsey und Erkenntnisse aus wissenschaftlichen Quellen hinzu (Textbox 1).

Textbox 1: Quellen unserer Erkenntnisse

- McKinseys „Digital Transformation Services“-Ansatz
- Ergebnisse einer gemeinsamen Studie von McKinsey und dem Weltwirtschaftsforum (WEF) zu 54 Lighthouses im Bereich der digitalen Produktion¹
- Weitere Erkenntnisse basierend auf Klientenstudien mit führenden Produktionsunternehmen in den Bereichen IIoT, Analytics und cloudbasierte Transformationen, die zur Verbesserung ihrer Konnektivität, Datenarchitektur und Edge Centricity moderne Spitzentechnologien einsetzen
- Lektionen aus erfolgreichen digitalen, datengetriebenen Transformationen mit Fokus auf der Transformation der Kompetenzen, dem Aufbau neuer Fähigkeiten und Veränderungsmanagement
- Forschungsprojekte von McKinsey und Austausch mit führenden Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Branchenverbänden sowie Branchenerhebungen

Zielgruppe sind nicht nur Manager² in IT, OT und im gesamten Digitalbereich, sondern auch Führungskräfte in den unterschiedlichsten betrieblichen Funktionen – einschließlich Operations, Lieferkette, Prozessoptimierung und Services.

Hinweis für eilige Leser

Zeit ist ein knappes Gut, und wir wollen, dass Sie aus diesem Bericht das Beste für sich herausziehen. Da sich die meisten Leser für bestimmte Themen interessieren, bieten wir hier eine Orientierung, für welche Leser welche Kapitel am relevantesten sind:

- CEOs, Geschäftsführungs- und Vorstandsmitglieder sowie Topmanager der oberen Führungsebene, die vermuten, dass in ihrer Produktion eine IIoT-gestützte digitale Transformation notwendig ist, aber nicht so recht wissen, wie sie das Thema angehen sollen: Informieren Sie sich in Teil A zunächst über Trends und Erkenntnisse zum Thema „IIoT in der Produktion“ und erfahren Sie anhand der von McKinsey und dem Weltwirtschaftsforum ermittelten Lighthouses, welche Wirkung sich damit erzielen lässt. Lesen Sie anschließend die Einführung zu Teil B, um sich einen Überblick zu verschaffen über unser Modell für eine erfolgreiche IIoT-gestützte digitale Produktionstransformation.
- COOs, Senior-Manager im Produktionsbereich und Werksleiter, die wissen wollen, welches geschäftliche Wertpotenzial das IIoT birgt und wie es sich erschließen lässt: Beginnen Sie mit Kapitel 1 von Teil B. Dort erfahren Sie, wie sie digitale Use Cases in der Produktion priorisieren und in einem Standortnetz ausrollen und skalieren können. Lesen Sie außerdem Kapitel 2 von Teil B. Dort erhalten Sie einen Überblick über die Voraussetzungen für eine erfolgreiche digitale Produktionstransformation. Sie erfahren, wie sich das Wertpotenzial digitaler Use Cases erschließen lässt und wie Sie die Belegschaft der Zukunft mit den notwendigen Rollen und Fähigkeiten aufbauen können.

¹ World Economic Forum und McKinsey & Company, „Global Lighthouse Network: Four durable shifts for a great reset in manufacturing“, Weltwirtschaftsforum, September 2020, <https://www.weforum.org/whitepapers/global-lighthouse-network-four-durable-shifts-for-a-great-reset-in-manufacturing>

² Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich, weiblich und divers (m/w/d) verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

- CIOs, die überzeugt sind, dass IIoT-Technologien ihr Geschäft voranbringen können, aber mit der bisherigen Leistung solcher Technologien unzufrieden sind: Beginnen Sie mit Kapitel 3 von Teil B. Dort erfahren Sie, wie IIoT-Infrastruktur die operative Effizienz steigern kann, wie das IIoT den operativen Abteilungen zugutekommt und wie ein Ökosystem aus externen Partnern Innovationen und die technologischen Fähigkeiten voranbringen kann.
- CDOs, die aktuelle Erkenntnisse und Erfahrungen aus der Umsetzung digitaler Initiativen suchen, mit denen sie strategische Innovationen und geschäftliche Transformationen in der Produktion vorantreiben können: Konzentrieren Sie sich auf Teil A und Kapitel 1 von Teil B.
- CTOs, die die übergeordnete Technologieinfrastruktur ihrer Organisation aus einer neuen Perspektive betrachten und wissen wollen, wie sich marktfähige Technologien entwickeln lassen, welche neuen Technologien sie implementieren könnten, wie die Interaktion mit externen Käufern aussehen kann und wie die Budgetierung am besten funktioniert: Lesen Sie zuerst Kapitel 1 von Teil B und anschließend Kapitel 3 von Teil B.

Aus unseren Untersuchungen und Analysen haben wir Erkenntnisse gewonnen, die die Struktur für diesen Bericht vorgeben.

I. Warum Produktionsunternehmen bei der digitalen Transformation auf das IIoT und führende Technologien setzen sollten

Eine Reihe guter Gründe spricht dafür, dass Unternehmen moderne Technologien auf der Basis des IIoT einführen oder weiterhin nutzen sollten:

IIoT-Hürden fallen ...

- Use Cases lassen sich leichter skalieren, weil die Plattformen benutzerfreundlicher werden, z.B. durch Plug-and-Play-Software – d.h. Software mit möglichst wenig oder keinem händischen Programmier- oder Integrationsaufwand.³ Entwicklung und Installation sind dank neuer Toolpakete kostengünstiger denn je.
- Dezentrale Rechenleistung – nicht mehr in der Fabrik vor Ort, sondern in der Cloud oder als Kombination von vor Ort („edge“) und Cloud – wird Standard. Mit modernen Infrastrukturlösungen lassen sich auch weit verzweigte Netzwerke von Plattformressourcen leicht steuern und „Echtzeitanforderungen“ sind kein Problem mehr.
- Standards wie OPC-UA und die neue Mobilfunkgeneration 5G bringen entscheidende Verbesserungen für Integration und Konnektivität. Anders als die aktuellen Alternativen bieten sie schnelle, überaus sichere und flexible Lösungen.
- Die Computer- und Rechenleistung ist exponentiell gewachsen, während die Kosten für Speicher und Prozessoren drastisch gesunken sind.

... und die Vorteile des IIoT sind beträchtlich

- Das IIoT ermöglicht deutliche Verbesserungen bei Produktivität und Ergebnis, Nachhaltigkeit, Agilität, Speed to Market und Marktanpassung, wie die derzeit 54 globalen „Lighthouses“⁴ zeigen (genaue Zahlen finden Sie in Abbildung 2).

³ Bei Plug-and-Play-Software werden grafische „Code-Bausteine“ benutzt, um beispielsweise Applikationen zu erstellen oder Prozesse zu automatisieren. Hierbei ist der benötigte Code bereits fertig geschrieben in jedem „Baustein“ enthalten. Im Vordergrund steht die Zeitersparnis – dennoch bleibt die Flexibilität erhalten, detailliert in jeden Baustein einzugreifen, um diesen mit eigenem Code anzupassen.

⁴ Stand: Oktober 2020

- Eine Umstellung auf moderne Produktionssysteme macht Unternehmen erheblich krisenfester, denn so können sie dank moderner digitaler Arbeitsplanungstools und eines höheren Automatisierungsgrads in einer Krise schneller reagieren.

II. Wie eine optimale Abstimmung von Geschäftsbereichen, Technologie und Organisation im gesamten Unternehmen Mehrwert bringt

Eine erfolgreiche Skalierung von IIoT-Technologie berücksichtigt sieben Prozesse in drei Dimensionen:

- **Geschäftsbereich.** Zuerst müssen Use Cases ermittelt, priorisiert und mit Pilotprojekten gestartet werden. Dann gilt es, einen Fahrplan zu erstellen und die Fähigkeiten aufzubauen, die nötig sind, um die Use Cases an allen Standorten umzusetzen. Dabei werden auch die nötigen Maßnahmen definiert, um das Wertpotenzial zu erschließen und die Fähigkeiten aufzubauen – immer unter Berücksichtigung der übergeordneten Wirkung und ohne sich von lokalen Lösungsanforderungen ablenken zu lassen. Im Sinne einer kontinuierlichen Verbesserung der lokalen Initiativen müssen diese jedoch in jedem Fall überwacht und weiter verfolgt werden.
- **Organisation.** Hier sind zunächst klare Zielvorgaben für die gesamte Transformation zu definieren, und es ist eine Einheit einzurichten, die den Fortschritt im Auge behält und bei Bedarf Kurskorrekturen vornimmt. Anschließend gilt es, einen neuen Arbeitsmodus zu etablieren, der eine funktionsübergreifende Interaktion fördert und dafür sorgt, dass relevante Fähigkeiten und Kompetenzen aufgebaut werden.
- **Technologie.** Nach einer Analyse der Ausgangslage wird eine Zielarchitektur für die IIoT-Plattform konzipiert und es wird definiert, wie sich die für die Use Cases notwendigen Daten sinnvoll zusammentragen, verknüpfen, aufnehmen und integrieren lassen. Dazu gehört auch die Steuerung der Cybersicherheit für die Plattform. Anschließend wird ein Ökosystem aus Lieferanten und Partnern geplant und aufgebaut, die die Implementierung unterstützen. Dabei sind unterschiedliche Komplexitätsgrade einzelner Werke zu berücksichtigen (z.B. in Bezug auf Produktionstyp und Produkte, Betriebsgröße und IT-OT-Umgebung).

Diese Schritte werden im Folgenden detailliert beschrieben (einen Überblick der verknüpften Einzelschritte zeigt Tabelle 1). Unternehmen, die sich ehrliche und kritische Fragen zu ihren Zielen, ihrer digitalen Reife, ihrer organisatorischen Bereitschaft und den Herausforderungen stellen, denen sie gegenüberstehen, können sich allerdings bereits für den Erfolg rüsten, noch bevor sie den ersten offiziellen Schritt machen.

Tabelle 1:**Die sieben Prozesse einer digitalen Transformation der Produktion und ihre wichtigsten Schritte im Überblick**

Dimension	Prozess	Schritte	Seite
Geschäfts- bereich (Produktion)	1.1 Use Cases ermitteln und priorisieren	– Schritt 1: Longlist mit Use Cases erstellen – top-down und bottom-up	27
		– Schritt 2: Use Cases katalogisieren, qualifizieren und priorisieren	28
		– Schritt 3: Leuchtturmprojekte als Vorbilder aufbauen	29
	1.2 Rollout planen und Standorte vorbereiten	– Schritt 1: Rollout auf Wertschöpfung und Wirkung fokussieren	30
		– Schritt 2: Daten zusammentragen und aggregieren, wichtige Aktivitäten parallel durchführen	33
		– Schritt 3: Die Prozesse und ein Kollaborationsmodell für den erforderlichen Rollout aufbauen	33
Organisation	2.1 Wertpotenzial erschließen: Veränderungs- und Verbesserungs- management	– Schritt 1: Fahrplan für IIoT-Transformation erstellen und Zielvorgaben für Use Cases definieren	35
		– Schritt 2: Organisation, Modell und Mechanismus zur Erschließung des Wertpotenzials einrichten	35
		– Schritt 3: Einheitliches Abweichungsmanagement implementieren	36
	2.2 Kompetenzen aufbauen und neue Arbeitsweisen etablieren	– Schritt 1: Änderungen der Organisationsstruktur etablieren sowie neue Governance und Arbeitsweisen implementieren	36
		– Schritt 2: Kompetenzdefizite ermitteln und beheben	40
		– Schritt 3: Rollenverschiebungen managen und mit einem Change- Prozess ein Umdenken über Hierarchieebenen hinweg fördern	41
Technologie	3.1 IIoT und Dateninfrastruktur: Plattform designen (inklusive IT-OT- Cybersicherheit)	– Schritt 1: Aktuelle IT- und OT-Brownfield-Umgebung vollständig bewerten	51
		– Schritt 2: Zielarchitektur für gewünschte Use Cases konzipieren	53
		– Schritt 3: Cybersicherheits-Herausforderungen bei der IT-OT- Konvergenz effektiv managen	60
		– Schritt 4: Für Implementierung der Plattform keinen bloßen Anbieter, sondern einen Partner auswählen	64
	3.2 IIoT-Plattform: Cloud Computing in der Produktion etablieren	– Schritt 1: Dafür sorgen, dass die Cloud sich kurzfristig bezahlt macht	66
		– Schritt 2: Cloud-Transformation konsequent steuern	69
		– Schritt 3: Infrastrukturteam einsetzen, das wie ein App- Entwicklerteam arbeiten kann	69
	3.3 Tech-Ökosystem aufbauen	– Schritt 1: Kernelemente eines nachhaltigen Ökosystems verstehen	70
		– Schritt 2: Die richtigen Partner auswählen, um im plattformgestützten Ökosystem einen ausgewogenen Mix an Partnern zu erreichen	71
		– Schritt 3: Business-Development-Teams implementieren, um das komplexe Ökosystem zu managen und Agilität zu gewährleisten	73

Teil A: Branchentrends signalisieren vielversprechende Entwicklung in digitaler Produktion

Vielen Industrieunternehmen fällt es immer noch schwer, die Möglichkeiten des IIoT und der Digitalisierung in vollem Umfang gewinnbringend zu nutzen. Dennoch scheint mit der Digitalisierung ein beträchtliches Wertpotenzial zum Greifen nah. Deshalb sollten Produktionsunternehmen die digitale Innovation entschlossen weiter vorantreiben.

Dieser Teil des Berichts bietet einen Überblick über die kurzfristigen technischen Möglichkeiten (Teil A, Kapitel 1.1). Anschließend werden die operativen und finanziellen Ergebnisse beschrieben, die Vorreiter unter den Produktionsunternehmen bei der Einführung digitaler (IIoT-bezogener) Technologien bereits erzielen (Teil A, Kapitel 1.2). In Teil A, Kapitel 2 werden weitere neue Erkenntnisse zum gegenwärtigen Stand der digitalen Produktion erörtert. Ausgehend von den Informationen aus dem vorangegangenen Kapitel wird beschrieben, wie Industrieunternehmen von einem umfassenden Programm der digitalen Transformation profitieren können. Das genaue Vorgehen wird in Teil B erörtert.

1 Der technische Fortschritt und Folgen für die digitale Produktion

Die Umsetzung IIoT-basierter Use Cases ist bereits seit einigen Jahren technisch möglich. Inzwischen bieten sich allerdings völlig neue Möglichkeiten für eine effiziente Umsetzung technisch anspruchsvoller, innovativer Use Cases. Leuchtturmprojekte aus dem Global Lighthouse Network des Weltwirtschaftsforums gehen sogar bis an die Grenzen des technisch Machbaren. Wenn man es richtig angeht, kann eine IIoT-gestützte Plattform einen Industriebetrieb weit voranbringen – in allen Branchen und mit den unterschiedlichsten Use Cases.

1.1 Technologietrends sind vielversprechend

Im IIoT-Kontext zeichnen sich drei wichtige Technologietrends für Use Cases und Verbindungstechnologien ab

I. Use Cases lassen sich leichter implementieren

Vier Entwicklungen erleichtern aktuell die Umsetzung von Use Cases:

- **Netzwerkeffekte.** IIoT-Plattformen werden immer nutzerfreundlicher, da die Software die Erweiterung des Benutzerkreises unterstützt. Durch den breiteren Zugang zur IIoT-Softwareentwicklung wird auch die Experimentierfreude größer. Hiervon profitiert das gesamte IIoT-Ökosystem in der Produktion.
- **Einfachere Entwicklung.** Die große Bandbreite an vorgefertigten Schnittstellen (APIs) und Microservices, gängigen und weniger gängigen Kommunikationsstandards sowie verfügbaren Applikationen und Editoren, durch die die Codeerstellung ganz oder größtenteils entfällt, macht die Entwicklung und Implementierung von Use Cases kostengünstiger. Dank solcher Low-Code/No-Code-Plattformen haben kleine und mittlere Unternehmen Zugang zu IIoT-Softwarefunktionen und sind nicht mehr wie die Early Adopters auf Programmierer angewiesen.
- **Eingebaute Skalierbarkeit.** Routinen für eine schnelle Bereitstellung und Aktualisierung von Apps in wiederverwendbaren Datenpipelines, die Containerisierung zur hardware-unabhängigen Softwareimplementierung in verschiedenen Edge-Geräten sowie technisch anspruchsvolle Lösungen für das Management des gesamten Software-/Hardware-Stacks erleichtern die Anwendung von DevSecOps⁵-Methoden. Außerdem ermöglichen sie eine schnelle Skalierung von Plattformen in Fabriken und Werken.
- **Größere Verfügbarkeit von Use Cases.** Die Rechen- und Verarbeitungsleistung hat sich enorm erhöht. Gleichzeitig sind die Speicher- und CPU-Kosten extrem gesunken (Abbildung 2).

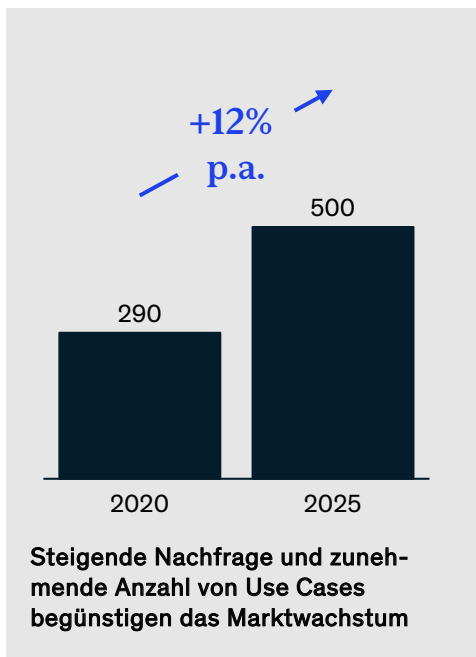
⁵ DevSecOps, das die Bereiche Softwareentwicklung, IT-Sicherheit und IT-Betrieb umfasst, erweitert den etablierten DevOps-Ansatz um den wichtigen Faktor Cybersicherheit; für weitere Details siehe Glossar.

Abbildung 2

Infolge von Fortschritten in den Kerntechnologien des IIoT wird dessen Marktvolumen bis 2025 auf 500 Mrd. USD ansteigen

Grobe Schätzung

IIoT-Ausgaben 2020 - 25¹
in Mrd. USD



Wichtige Wachstumstreiber

	2000er	2021
Sensor-kosten	Durchschnittlicher Stückpreis liegt bei über 1,30 USD pro Sensor	Stückpreis ist auf unter 0,50 USD pro Sensor gesunken
Daten-speicher-kosten	Speicherung von 1 GB Daten kostet mehr als 500 USD	1 GB Daten kann für weniger als 0,02 USD gespeichert werden
Verbrei-tung	IoT-Geräte sind auf spezielle Anwendungen beschränkt, z.B. Sicherheitskameras	8,4 Mrd. IoT-Geräte sind im Einsatz; digitaler Kunde besitzt im Schnitt ca. 4 vernetzte Geräte
Konnek-tivität	Mobilfunkstandard 2G mit ca. 50 kb pro Sekunde; WiFi und Bluetooth wurden gerade erst eingeführt	5G-Mobilfunknetz unterstützt bis zu 20 GB pro Sekunde (400.000x schneller); WiFi und Bluetooth sind Standard

1. Inkl. Baugewerbe, produzierendes Gewerbe, Rohstoffindustrie und Transportwirtschaft

Quelle: IDC; McKinsey

II. Edge-Computing wird Allgemeingut

Drei Faktoren bewirken eine Verlagerung der Rechenkapazitäten von der Cloud in die Werke vor Ort: 1) Edge-Technologien sorgen für eine intermittierende Konnektivität, die mehr Funktionen unterstützt als eine reine Online-Technologie, 2) technisch anspruchsvolle Geräte sind in der Lage, Entscheidungen in Echtzeit zu treffen, 3) diese Entscheidungen erfordern keine größere Rechenleistung. Erwartungen zufolge könnte das Wertpotenzial von Edge-Computing-Hardware bis 2025 auf 175 bis 215 Mrd. USD steigen. Den größten Anteil daran haben Reisen, Transport und Logistik sowie der Einzelhandel. Zusammen machen diese Branchen rund 32% der aktuellen Umgebungen für Use Cases aus.

III. 5G bietet Konnektivitätslösung

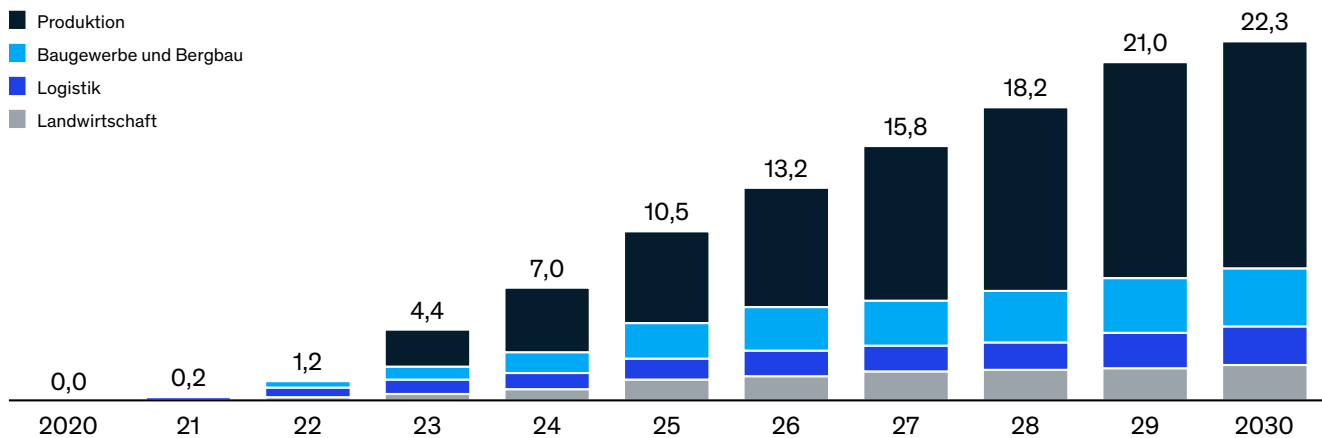
Produktionsunternehmen, die auf Industrie 4.0 umstellen wollen, verspricht 5G-IIoT schnelle Hilfe. Das deutlich leistungsstärkere 5G-IIoT überwindet die hohen Interferenzen, die für Produktionsumgebungen aus der Zeit vor Industrie 4.0 typisch sind. Deshalb ist davon auszugehen, dass der 5G-Absatz für bestimmte Use Cases zu mehr als 50% auf die industrielle Produktion entfallen wird (Abbildung 3).

Einige besonders überzeugende Use Cases für 5G in der Produktion sind fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF) und die Echtzeit-Prozesssteuerung. Die Software für FTF wird heutzutage entweder auf einem lokalen Server oder über eine Cloud bereitgestellt und ist

Abbildung 3

Bei Industrie-4.0-Use-Cases, die signifikant von 5G profitieren, entfallen die meisten Verkäufe von 5G-IoT-Einheiten auf die Produktion

Absatzprognose 5G-IoT für Industrie-4.0-Anwendungen (ausschließlich B2B-Anwendungen mit signifikantem Nutzen aus 5G)
in Mio. Stück



Industrie-4.0-Use-Cases, für die 5G einen erheblichen Nutzen darstellt, werden für einen starken Anstieg der 5G-IoT-Verkäufe ab 2023 sorgen

Quelle: McKinsey-Analyse

mitunter nicht gut in das Netzwerk integriert, wohingegen 5G auch FTF der neuen Generation unterstützt. Diese können von festen Routen abweichen und lernen, ihre Entscheidungen an die sich ständig ändernde Produktionsumgebung anzupassen. Sie fügen sich dadurch besser in Produktionsabläufe ein. Darüber hinaus erhöht 5G über nahtlose Konnektivität auch die Zuverlässigkeit, wenn sich die FTF durch die Fabrik bewegen und zwischen Zugangspunkten oder Funksystemen hin- und herspringen. Bei der Echtzeit-Prozesssteuerung kommen drahtgebundene Steuerungen und Sensoren schon seit Jahren zum Einsatz. 5G eröffnet jedoch neue Lösungswege, indem es hilft, Module zu verbinden und gezielte Sensor-Antriebsanalysen relativ einfach durchzuführen – insbesondere für Altgeräte, deren Systeme zur Steuerung und Energieversorgung sich häufig weniger für moderne Technologien eignen.

1.2 Mit einer IIoT-gestützten Plattform können Unternehmen aus dem Global Lighthouse Network ihre Leistung deutlich verbessern

Über 70% der Unternehmen fällt es schwer, fortschrittliche Technologien so einzusetzen und zu skalieren, dass sich ihre Investitionsrendite oder wichtige operative Leistungsindikatoren signifikant verbessern. 2016 begann das Weltwirtschaftsforum in Zusammenarbeit mit McKinsey, Vorreiter in der Anwendung von Industrie-4.0-Technologien zu ermitteln und diese zu einem Netzwerk von „Lighthouses“ zusammenzufassen. Ziel war und ist es, Praktiken zu ermitteln und Erkenntnisse zu sammeln, um die Verbreitung innovativer Produktionstechnologien zu beschleunigen. 2018 wurden mehr als 1.000 Produktionsanlagen untersucht. 16 Unternehmen wurden als Vorreiter für moderne Produktionssysteme ausgezeichnet. Diese Pioniere konnten ihre operativen und finanziellen Kennzahlen deutlich verbessern. 2019 kamen 28 Anlagen zum Global Lighthouse Network hinzu und 10 weitere im Jahr 2020.

Was diese 54 Lighthouses des Weltwirtschaftsforums gemeinsam haben, ist ein innovatives Betriebssystem, dessen Rückgrat eine integrierte IIoT-Plattform ist, die das Ineinandergreifen von Geschäftsprozessen und Managementsystemen unterstützt und ermöglicht. Die Lighthouses beginnen oft damit, ein minimal lebensfähiges Produkt (Minimum Viable Product, MVP) des IIoT-Betriebssystems zu entwickeln, das dann im Unternehmen repliziert und skaliert wird. Mit agilen Prozessen sorgen sie schon früh für schnelle Iterationen in der MVP-Entwicklung, bevor unternehmensweit Ressourcen investiert werden müssen.

Dank IIoT-Infrastruktur und agiler Arbeitsweise können die Lighthouses in kürzester Zeit neue Use Cases zu minimalen Kosten aufgreifen. Auf diese Weise ist es vielen von ihnen gelungen, zahlreiche innovative Use Cases in ihrem Produktionsnetz zu implementieren, z.B. eine durchgängige (Ende zu Ende, E2E) Produktentwicklung, Planung oder Produktion, Kundenkonnectivität und digital unterstützte Nachhaltigkeit. Gemeinsam haben all diese Use Cases die nahtlose Integration mehrerer IT-Systeme, z.B. ERP (Enterprise Resource Planning), Produktlebenszyklus-Management und Manufacturing Operations Management (MOM). Letzteres wird häufig mit MES gleichgesetzt, also Manufacturing Execution Systems (Einzelheiten hierzu finden Sie im Glossar).

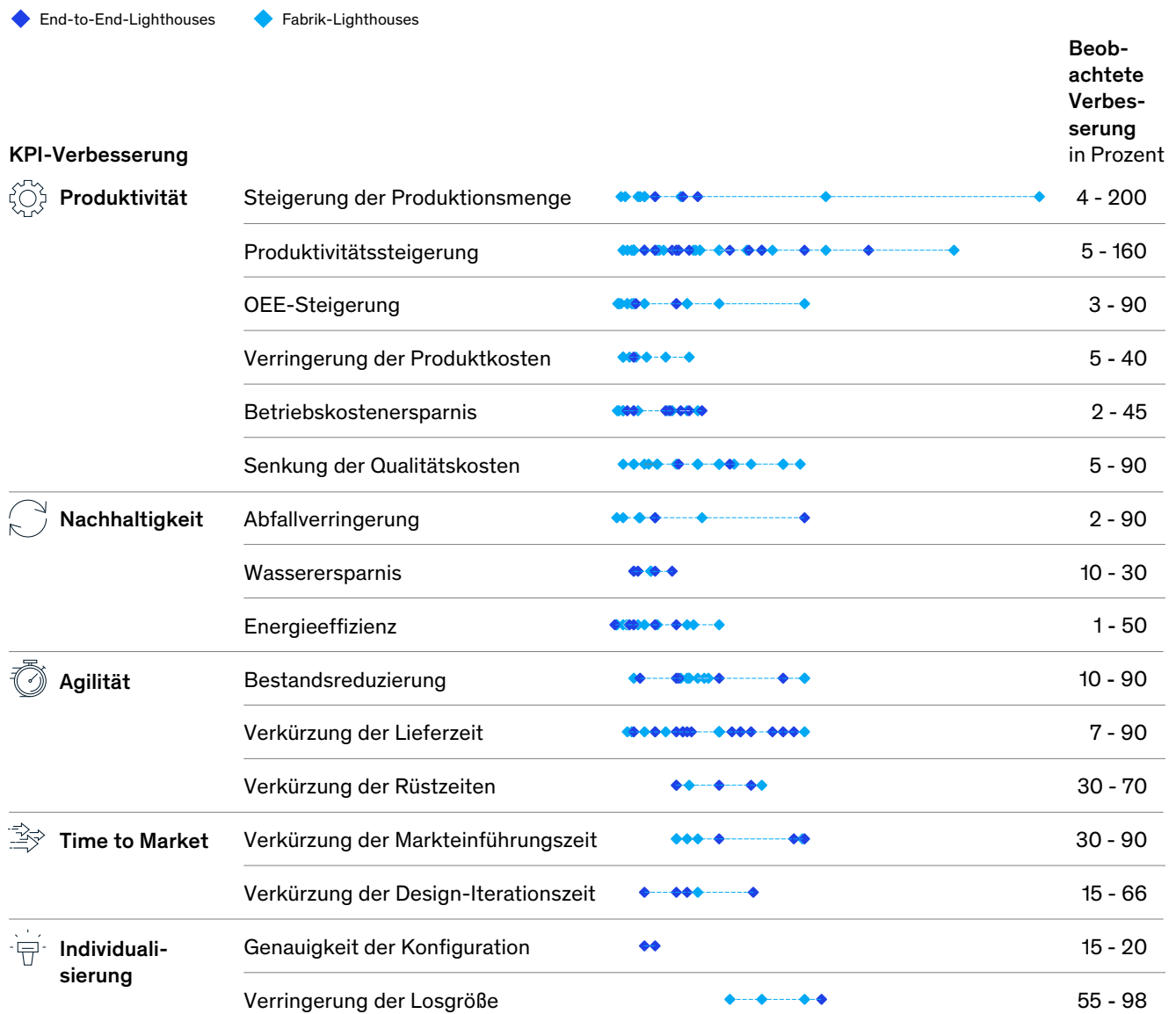
An die Erfolge der Industrieunternehmen aus dem Global Lighthouse Network kommen andere Unternehmen bei Weitem nicht heran. Als Lighthouses gelten einerseits Fabriken (als räumlich begrenzte Gebäudekomplexe) und andererseits E2E-Produktionsanlagen, die Verbesserungen in ihren Wertschöpfungsketten erzielen. Als Beispiel für eine einzelne Fabrik ist ein Halbleiterwerk in Singapur zu nennen, das seinen Ausschuss mithilfe von IIoT um 22% verringert hat. Bei einem anderen Beispiel aus dem E2E-Bereich handelt es sich um eine Produktionsstätte für Kontaktlinsen, die mit einer IIoT-gestützten Prozessautomatisierung direkt eine zweistellige Kosteneinsparung erreichte. Abbildung 4 zeigt die im Global Lighthouse Network beobachteten finanziellen und operativen Verbesserungen bei den 54 Lighthouses.⁶

Im Wandel zu Industrie 4.0 wird es Gewinner und Verlierer geben. Wie schnell neue Technologien angenommen werden, entscheidet darüber, wie groß der Abstand zwischen Vorreitern, Nachahmern und Nachzüglern ist. 2018 prophezeite das McKinsey Global Institute eine beträchtliche Kluft zwischen Unternehmen, die KI innerhalb der ersten fünf bis sieben Jahre anwenden, und Nachzüglern (Abbildung 5). Vorreiter, d.h. Unternehmen, die KI-Technologien anwenden, dürfen eine Erhöhung ihres Cashflows um insgesamt 122% erwarten; Nachahmer könnten hingegen nur 10% zulegen. Schlimmer noch: Unternehmen, die in dem Zeitraum von fünf bis sieben Jahren keine KI anwenden, müssen sogar mit Cashflow-Einbußen von 23% rechnen.

⁶ Weitere Informationen zu den Ergebnissen der Lighthouses aus dem Global Lighthouse Network siehe: World Economic Forum und McKinsey & Company, „Global Lighthouse Network: Four durable shifts for a great reset in manufacturing“, Weltwirtschaftsforum, September 2020, <https://www.weforum.org/whitepapers/global-lighthouse-network-four-durable-shifts-for-a-great-reset-in-manufacturing>

Abbildung 4

Globale Lighthouses haben unterschiedlich starke operative und finanzielle Leistungsverbesserungen erzielt – auf Werksebene sowie über die gesamte Lieferkette hinweg



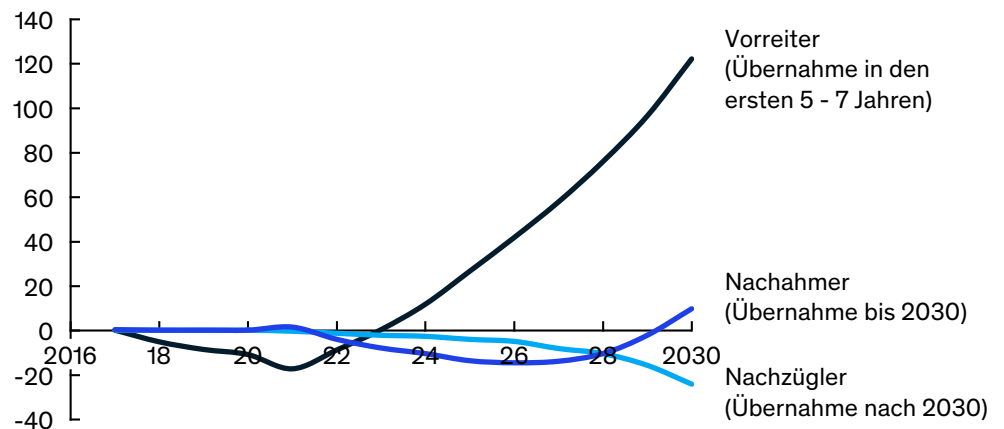
Quelle: World Economic Forum; McKinsey

Abbildung 5

Wirtschaftliche Vorteile der Vorreiter, Nachahmer und Nachzügler in der KI-Anwendung

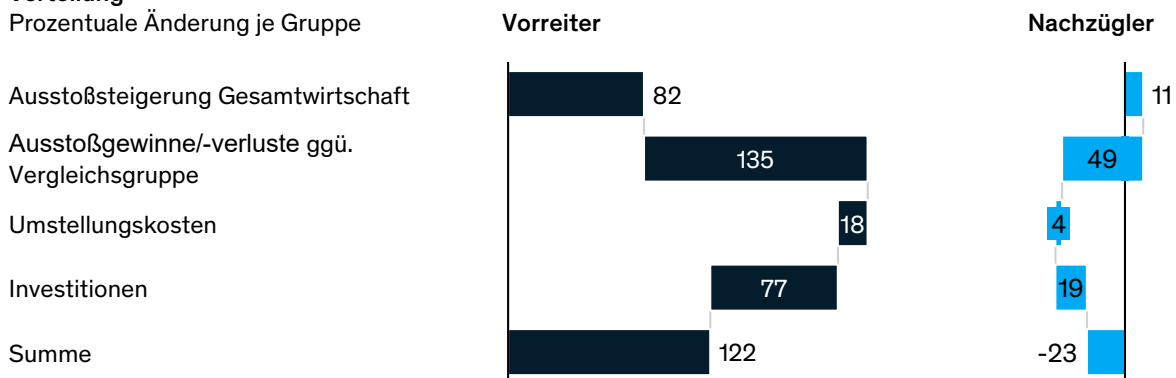
Simulation

Relative Cashflow-
Änderung nach „KI-
Anwendung“-Gruppe
Kumulierte prozentuale
Änderung je Gruppe



Verteilung

Prozentuale Änderung je Gruppe



Hinweis: Die hier aufgeführten Zahlen sind simuliert. Sie dienen als Anhaltspunkt und stellen keine Prognose dar

Quelle: McKinsey Global Institute

2 Produktionsunternehmen sollten weiter auf digitale Innovationen setzen – und ihre digitalen Initiativen überprüfen

IIoT und digitale Produktionslösungen können ein wichtiger Hebel für Unternehmen sein, um ihre Profitabilität und Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen. Am Beispiel der Lighthouses ist dies deutlich erkennbar. Gleichzeitig zeichnet sich immer mehr ab, dass es sich auf Grund der zunehmenden Bedeutung von Daten und Interkonnektivität nicht lohnt, auf günstigere und bessere Technologie zu warten – denn am stärksten dürften die Vorreiter profitieren. Unternehmen, vor allem solche, die in der Pilotprojekt-Falle stecken, sollten ihre digitalen Initiativen zügig auf den Prüfstand stellen und ein umfassendes Programm zur digitalen Transformation auf den Weg bringen, um die Möglichkeiten auszuschöpfen.

Weshalb lohnt sich digitale Innovation in der Produktion? Was sollten Unternehmen beachten und wie gehen sie dabei am besten vor? Zu diesen Fragen sind im Folgenden fünf Erkenntnisse aufgeführt – als Motivation und Orientierungshilfe.

IIoT ist real, rentiert sich und hilft Produktionsunternehmen, (digital) am Ball zu bleiben

Das IIoT verbreitet sich zwar anscheinend langsamer als erwartet, es setzt sich aber trotzdem immer mehr durch (Abbildung 6). Da die digitale Produktion bis 2025 einen erheblichen Anteil des gesamten IIoT-Markts ausmachen dürfte, ist klar, dass hier großes Gewinnpotenzial besteht.

Dieses Wertpotenzial basiert zu einem erheblichen Teil auf der Aussicht auf substantielle Effizienzsteigerungen (siehe Kapitel 1.2 und Abbildung 4). Es steht unabhängig von der Firmengröße jedem Produktionsunternehmen offen, das bereit ist, auf digitale Innovationen und Kerntechnologien der Industrie 4.0 zu setzen, die über die unterschiedlichen Branchen hinweg zahlreiche Use Cases ermöglichen (Abbildung 7).

Abbildung 6

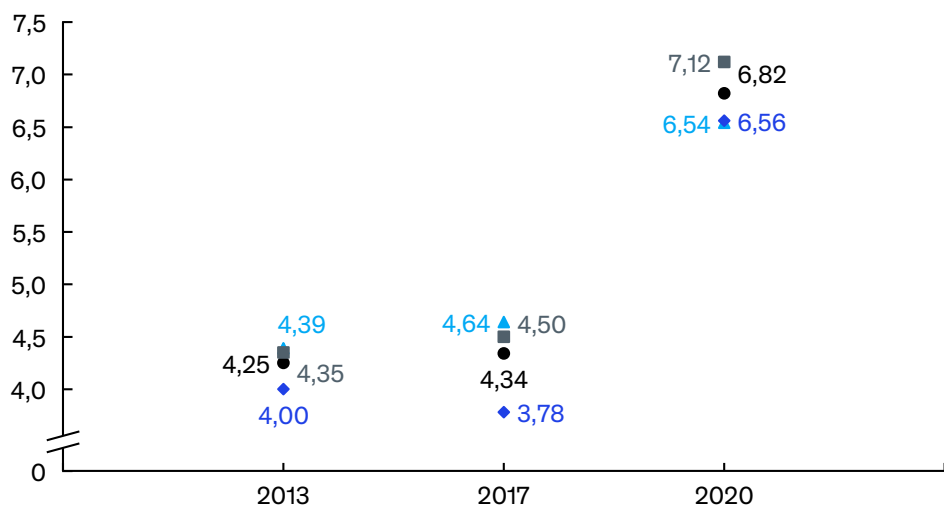
Die IIoT-Einführung gewinnt an Dynamik

Entwicklung IIoT-Geschäftsindex

Zunahme IIoT-Anwendung 2013 - 20

- 0 - 2 = nicht vorhanden
- 2 - 4 = in Entwicklung
- 4 - 6 = in Planung
- 6 - 8 = erste Umsetzung
- 8 - 10 = breite Anwendung

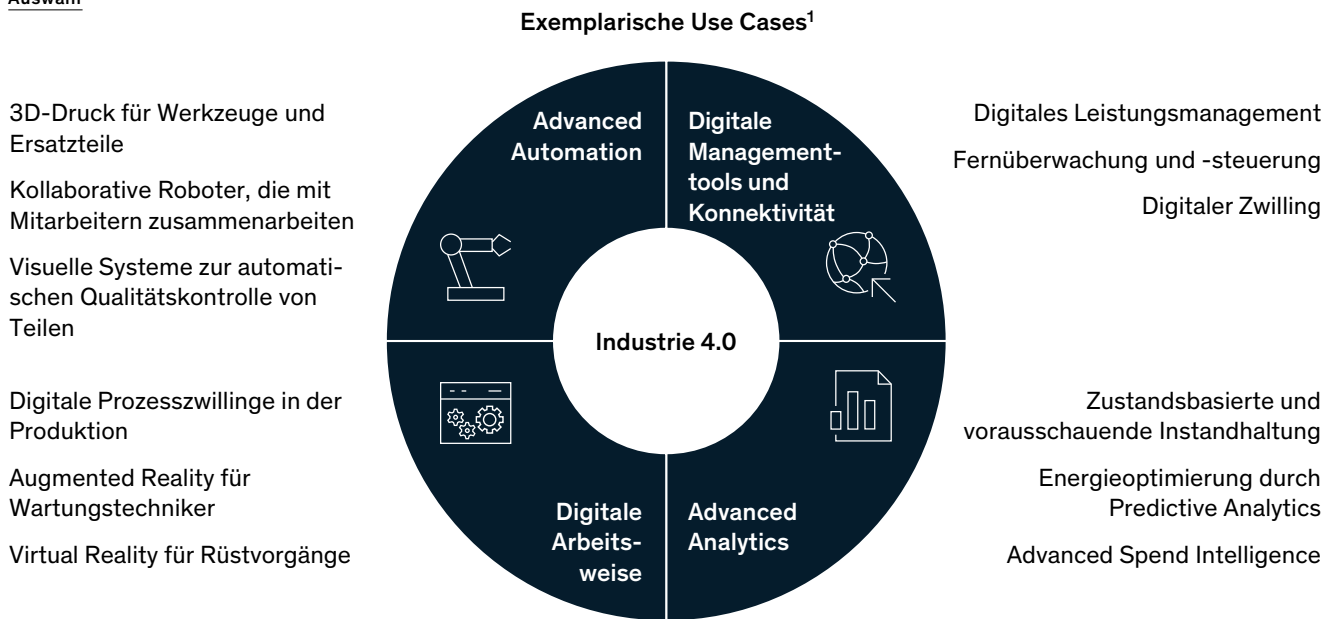
Interne Prozesse



Quelle: Economist Intelligence Unit

Kerntechnologien für Industrie 4.0 unterstützen bereits eine Vielzahl an Use Cases in allen Branchen

Auswahl



1. Die Digital Use Case Library von McKinsey umfasst derzeit mehr als 300 Use Cases aus verschiedenen Branchen

Quelle: McKinsey

Neben Effizienzsteigerung und Innovationsförderung sind IIoT-Transformationen auch deshalb für die produzierende Industrie wichtig, weil die zunehmende Integration und die Ökosysteme die Unternehmen zum Mitmachen zwingen: Wenn ein Unternehmen eine IIoT-Transformation durchführt, müssen alle anderen nachziehen, um im Spiel zu bleiben.

Singuläre Wachstumstreiber gibt es nicht – breite Umsetzung ist Trumpf

Eine einzelne Anwendung reicht nicht aus, um mit IIoT außerordentliche Wachstumsraten zu erzielen; es braucht vielmehr eine ganze Reihe von Anwendungen, die in der Regel einen Umsatz von 10 bis 100 Mio. USD erwirtschaften. Mit anderen Worten: Ein einzelner IIoT-Use Case ist noch nicht das große Los. Eine breite Umsetzung (d.h. die Implementierung mehrerer Use Cases und das anschließende Hochskalieren) ist viel wichtiger als die Wahl des optimalen Use Case. Die vom Weltwirtschaftsforum ausgewählten Leuchtturmprojekte zeigen, wie groß die Leistungssteigerung in puncto Produktivität, Nachhaltigkeit, Agilität, Speed to Market und Individualisierung sein kann.⁷

⁷ Weitere Informationen siehe: Agustin Gutierrez, Ashish Kothari, Carolina Mazuera, und Tobias Schoenherr, „Taking supplier collaboration to the next level“, McKinsey & Company, 7. Juli 2020, <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/taking-supplier-collaboration-to-the-next-level>

Innovative Produktionssysteme machen Unternehmen krisenfester

Disruptive Entwicklungen, ausgelöst etwa durch die COVID-19-Pandemie, zeigen deutlich, wie wichtig es ist, die Umstellung auf moderne Produktionssysteme konsequent und teilweise sogar schneller voranzutreiben. Dies gilt insbesondere für digitale Planungs- und Managementtools sowie vernetzte und digitalisierte Mitarbeiter:

- **Digitale Planungs- und Managementtools.** Die Krise hat gezeigt, dass digitalisierte Geschäftsprozesse schneller und besser auf Veränderungen reagieren können. So können Unternehmen mit vollständig digitalisierten Planungstools ihre Produktionskapazitäten früher und schneller anpassen.
- **Vernetzte und digitalisierte Mitarbeiter.** Ein hoher Digitalisierungsgrad trug zur Resilienz in der frühen Phase der COVID-19-Pandemie bei, weil die betreffenden Unternehmen besser in der Lage waren, betriebliche Prozesse aus der Ferne zu steuern.

Für Vorreiter der IIoT-Technologie war die Pandemie ein ultimativer Stresstest für ihre digitalen Geschäftsprozesse und eine Chance, wichtige Erkenntnisse für die Zukunft zu sammeln.

In den Dimensionen Geschäftsbereich, Organisation und Technologie existieren allgemeingültige Erfolgsfaktoren ...

Um der Pilotprojekt-Falle zu entkommen und ein Hochskalieren zu ermöglichen, müssen Produktionsunternehmen ihre digitalen Initiativen von Grund auf neu bewerten. Dabei müssen sie zeitgleich die drei Dimensionen Geschäftsbereich, Organisation und Technologie bearbeiten. Ein Beispiel: Technische Hürden (etwa technische Systeme, Anwendungen und Geräte mit unterschiedlichen Betriebssystemen) sind zwar ein wichtiger Grund, warum Unternehmen es nicht schaffen, Pilotprogramme zu skalieren. Viel größer sind jedoch die organisatorischen Hürden. Tabelle 2 fasst die wichtigsten Erkenntnisse zusammen, die McKinsey aus digitalen Transformationen gewonnen hat.

Umfang und Breite der produzierenden Industrien, die im Global Lighthouse Network vertreten sind, zeigen: Wesentliche Erfolgsfaktoren sind in ihrem (jeweiligen) Produktionskontext nahezu allgemeingültig.⁸

... und wir bieten einen bewährten integrierten Ansatz für eine Ende-zu-Ende-Transformation

Der strukturierte Ansatz der Digital Transformation Services, der in Teil B dieses Berichts erläutert wird, bietet praxiserprobte Richtlinien für eine ganzheitliche Planung und IoT-Architektur, um die digitalen Use Cases über die gesamte Organisation hinweg zu skalieren.

⁸ Weitere Informationen zu den fünf Prinzipien für die Skalierung der digitalen Produktion siehe: Enno de Boer, Søren Fritzen, Rehana Khanam und Frédéric Lefort, „Preparing for the next normal via digital manufacturing's scaling potential“, McKinsey & Company, 10. April 2020, <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/preparing-for-the-next-normal-via-digital-manufacturing-scaling-potential>

Tabelle 2: Erkenntnisse der Digital Transformation Services von McKinsey

Geschäftsbereich	<ul style="list-style-type: none">– Digitale Transformationen müssen von der Geschäftsseite aus betrieben werden und auf Rendite ausgerichtet sein; sie sind nicht bloß „noch so ein IT-Projekt“.– Ein integriertes Vorgehen, das sich über verschiedene Wertschöpfungsstufen erstreckt, einschließlich der Zulieferer und Kunden, liefert die besten Ergebnisse.– Den einen „Glückstreffer“ gibt es nicht: Es sind immer mehrere Use Cases (Lösungen, Programme) nötig. Diese müssen zudem in Domänen organisiert sein und top-down priorisiert werden, damit die lukrativsten als Erste umgesetzt werden.
Organisation	<ul style="list-style-type: none">– Digitale Transformationen sind mehrjährige, unternehmensweite Entwicklungsprojekte, die von der Spitze her geführt werden müssen und einen zentralen Transformationsmotor erfordern.– Innovative Konzepte zum Aufbau digitaler Fähigkeiten ermöglichen die schnelle Weiterbildung von Tausenden Mitarbeitern – neben der Neueinstellung und Bindung geeigneter Arbeitskräfte.– Führende Unternehmen haben ihre Arbeitsweise sehr schnell umgestellt auf agile Sprints und die zeitgleiche Entwicklung und Implementierung von Lösungen mit ganzheitlicher Governance, die die angestrebten geschäftlichen Ergebnisse fördern.
Technologie	<ul style="list-style-type: none">– Die IIoT-Infrastruktur muss radikal umgestaltet werden, damit sie zukunftssicher ist, d.h., sie muss bezahlbar, sicher und auf mehrere Standorte sowie Funktionen übertragbar sein.– Vorreiter schließen strategische Partnerschaften mit bedeutenden Technologieunternehmen.

Einige Unternehmen sind vorgeprescht und können als Vorbild dienen – doch das Rennen ist noch offen

Die Lighthouses dienen als Vorbild für erfolgreiche digitale Transformationen und beweisen, dass es möglich ist, beträchtliche Wertpotenziale zu realisieren. Sie geben die Richtung vor und zeigen den anderen, wie man betriebliche Prozesse im New Normal der digitalen Produktion neu denken und gestalten kann. Auch wenn sie zurzeit eine Vorreiterstellung einnehmen, sind die Leuchttürme selbst noch nicht am Ende ihrer Reise angekommen – sie haben gerade erst damit begonnen, das Potenzial der Industrie-4.0-Technologien auszuschöpfen.

Angesichts dessen wird eines klar: Produktionsunternehmen sollten ihre digitalen Initiativen jetzt auf den Prüfstand stellen. Bei ihren Bemühungen, ein umfassendes Programm zur digitalen Transformation zu formulieren, mit dem sich große Wertpotenziale realisieren lassen, hilft ihnen das „Erfolgsmodell“, das in Teil B dieses Berichts vorgestellt wird.

Teil B: Erfolgsrezept zum Erschließen des Wertpotenzials von IIoT

Nachhaltige und skalierbare digitale Transformationen sind sowohl in der diskreten Fertigung als auch in der Prozessfertigung (zu Gemeinsamkeiten und Unterschieden siehe Textbox 2) ehrgeizige Projekte, bei denen es darauf ankommt, die gesamte Organisation mitzunehmen. Erste Use Cases lassen sich in der Regel innerhalb von sechs bis acht Wochen realisieren, aber eine ganzheitliche Transformation durch die Digital Transformation Services von McKinsey dauert je nach Projektumfang und Unternehmensgröße zwei bis drei Jahre. Solche Projekte laufen in drei Phasen ab (Abbildung 8):

- **Basis und Wertbeiträge festlegen.** Gesamtpotenzial des Unternehmens ermitteln und einen Fahrplan erstellen für die Transformation digitaler und operativer Hebel mit unterstützenden Organisationsstrukturen und Technologien
- **Organisation mobilisieren.** Organisation für die Entwicklung eines detaillierten Transformationsplans mit Bottom-up-Initiativen gewinnen, für die Linienverantwortliche die volle Verantwortung übernehmen
- **Agil umsetzen.** Eine Reihe von Implementierungssprints durchführen (mit kontinuierlicher Aufstockung, um Verluste auszugleichen); vollständige Umsetzung der Maßnahmen starten, um den gewünschten Ergebniseffekt zu erzielen; neue Arbeitsweisen skalieren und institutionalisieren.

Textbox 2: Gemeinsamkeiten und Unterschiede der diskreten Fertigung und der Prozessfertigung bei nachhaltigen und skalierbaren digitalen Transformationen

Insgesamt weisen die Prozessfertigung und die diskrete Fertigung in der Cloud eine sehr ähnliche Referenzarchitektur auf. Erste Unterschiede bestehen beim Einsatz von Edge Devices; je weiter wir uns der eigentlichen Fertigung nähern, desto größer werden die Unterschiede. Im Betrieb lassen sich die Unterschiede zwischen diskreter und Prozessfertigung wie folgt beschreiben:⁹

Relevante Eigenschaften der Prozessfertigung

- **Datenverfügbarkeit.** In der Prozessfertigung stehen bereits viele Daten zur Verfügung, weil hier traditionell in hohem Maße Sensoren, Verkabelungen und zentrale Kontrollräume zum Einsatz kommen, mit dezentralen Steuerungssystemen sowie SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) für Steuerungsprozesse und Schwermaschinen durch die Bediener. Zu jedem beliebigen Zeitpunkt stehen Hunderttausende von Variablen bereit und wichtige Daten werden für die Bediener auf Bildschirmen visualisiert. Sowohl analoge Werte in Echtzeit als auch diskrete An/Aus-Werte stehen zur Verfügung.
- **Datenerhebung und -speicherung.** In der Prozessfertigung zeichnet das Archivsystem („Plant Historian System“) in der Regel alle Prozesse und Daten mit Zeitstempel auf. Diese Systeme erfüllen eine ähnliche Funktion wie die Black Box in einem Flugzeug: Wenn es zu einem Zwischenfall kommt, ermöglichen sie eine forensische Analyse. Somit bietet die Prozessfertigung mit ihrer umfassenden und detaillierten Massendatenspeicherung ideale Bedingungen für das Entwickeln und Anlernen von Algorithmen und den Aufbau künstlicher Intelligenz (KI).

Relevante Eigenschaften der diskreten Fertigung

- **Datenverfügbarkeit.** In der diskreten Fertigung sind Maschinensensoren in der Regel auf die jeweilige Maschine beschränkt; d.h., sie erzeugen ausschließlich Daten, die innerhalb der Maschine selbst verarbeitet werden. Zentrale Kontrollräume gibt es kaum.

⁹ Weitere Einzelheiten zu den Eigenschaften der diskreten Fertigung und der Prozessfertigung finden sich in Textbox 8.

Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) steuern die Maschinen lokal. Sind mehrere SPS miteinander verbunden, werden nur relevante Daten ausgetauscht. Eine langfristige Aufzeichnung der Daten erfolgt in der Regel nicht, wenn die Daten nicht für Qualitätsprüfungen oder das Nachverfolgen von Produktionsschritten erforderlich sind. Erst seit Kurzem entsteht ein Bewusstsein für die Vorteile einer ganzheitlichen und umfassenden Datenspeicherung. So führen manche Werke mit diskreter Fertigung jetzt eine umfassende Datenspeicherung ein. Schwierigkeiten ergeben sich meist durch die Hersteller von Maschinen, die den Zugriff auf die Maschinen und deren Daten als Geschäftsgeheimnis betrachten und nicht bereit sind, ihre proprietären Schnittstellen zu öffnen, wengleich sich dies durch offene Standards allmählich ändert.

- **Datenerhebung und -speicherung.** Da in der diskreten Fertigung im Allgemeinen weniger Daten anfallen, ist das Erheben und Speichern von Daten komplizierter und daher weniger verbreitet. Zwar wächst das Bewusstsein für eine umfassende Datenerfassung, aber in der Praxis hängt die tatsächliche Datenerhebung immer noch in hohem Maße vom konkreten Use Case ab, was wiederum zu sehr spezifischen Datensätzen führt. Daher ist die Möglichkeit begrenzt, vom Use Case unabhängige Datenbanken aufzubauen, die als Grundlage dienen könnten für komplexere, wertsteigernde Use Cases wie eine Leistungsoptimierung für ganze Maschinengruppen oder eine intelligente Interaktion zwischen Maschinen.

Unabhängig von diesen Unterschieden müssen sich Unternehmen sowohl in der diskreten Fertigung als auch in der Prozessfertigung auf dieselben sieben geschäftlichen, organisatorischen und technologischen Grundlagenprozesse konzentrieren, wenn sie nachhaltige, praxistaugliche und skalierbare Plattformen aufbauen wollen.

Die Prozessindustrie hat bereits erfolgreich KI-basierte Echtzeit-Optimierungsmodelle eingeführt, die über einen intelligenteren Einsatz von Prozessen und Schwermaschinen Ergebnisverbesserungen bewirken. Bei Maschinen in der diskreten Fertigung finden auf lokaler Ebene Pilottests statt mit einer Optimierung auf Basis von Echtzeitintelligenz. Diese führen z.B. zu Einsparungen beim Energieverbrauch und versetzen Werke mit Machine-Learning-Algorithmen im Closed-Loop-Modus in die Lage, sich besser an Veränderungen des Umfelds anzupassen. Intelligente Anwendungen laufen in der Regel über Edge Devices, die über moderne Kommunikationssysteme verbunden sind mit verteilten Kontrollsystemen sowie SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) oder den SPS der lokalen Maschinen.

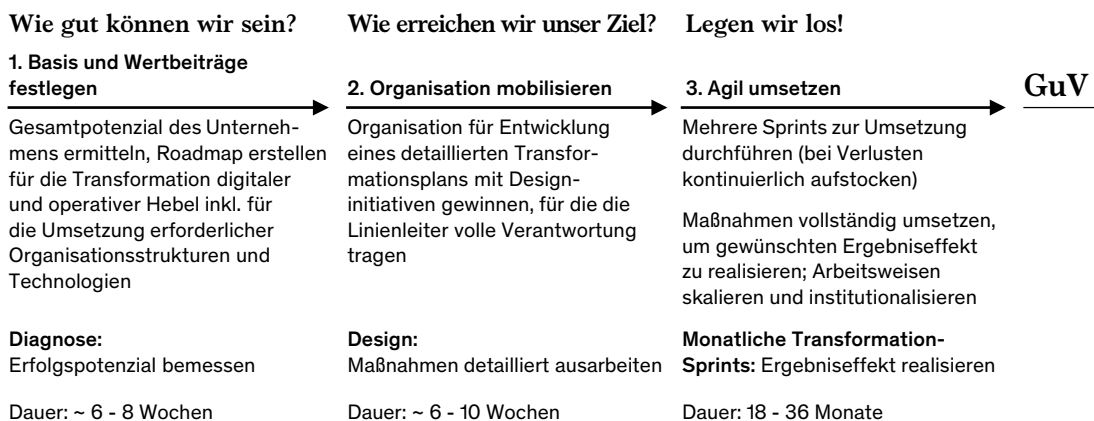
Mit dem Ziel, pragmatische und praxisrelevante Erkenntnisse zu liefern, konzentriert sich dieser Bericht innerhalb der genannten Phasen auf sieben Grundlagenprozesse in den Dimensionen Geschäftsbereich, Organisation und Technologie.

Aus geschäftlicher Sicht ist es für das Festlegen der Ziele und Vorgehensweisen entscheidend, Use Cases top-down zu ermitteln (zur Definition von „Use Case“ siehe Textbox 3) und den Rollout zu planen. Wenn die anwendbaren Use Cases feststehen, kann passend zum Rolloutplan auch ein Fahrplan für die Implementierung erstellt werden. Zur organisatorischen Säule der IIoT-Plattform gehört es, das Wertpotenzial der implementierten Lösungen auszuschöpfen, das in hohem Maße von den neu etablierten Arbeitsweisen und Fähigkeiten abhängt. In den Bereich der Technologie fallen das Entwickeln des erforderlichen IIoT-Plattformdesigns – wobei bestehende technische Möglichkeiten des IIoT-Technologiestacks möglichst umfassend genutzt werden – und das Steuern der Cloud-Transformation. Darüber hinaus wird ein Ökosystem konzipiert, das auf den Betrieb und das Lebenszyklusmanagement des IIoT-Systems als Ganzes ausgerichtet ist.

Auch wenn es aus verschiedenen Gründen verlockend scheinen mag, sich einzelne Grundlagenprozesse herauszupicken: In der Praxis sollte das übergeordnete Ziel eine ganzheitliche digitale Transformation der gesamten Produktionsorganisation sein, denn damit lässt sich ein erheblich größerer und nachhaltigerer Effekt erzielen.

Ganzheitliche digitale Transformationen zeigen typischerweise nach 2 - 3 Jahren erste Erfolge in der GuV

In den Kapiteln 1.1 bis 3.3 erläuterte Aktivitäten



Geschäftsbereich (Produktion)

1.1 Use Cases ermitteln und priorisieren	Longlist mit Use Cases erstellen	Leuchtturmprojekte als Vorbilder aufbauen
	Use Cases katalogisieren, qualifizieren und priorisieren	
1.2 Rollout planen und Standorte vorbereiten	Rollout auf Wertschöpfung fokussieren	
	Mit dem Zusammentragen und Aggregieren von Daten starten	
	Die Prozesse für den Rollout aufbauen	

Organisation

2.1 Wertpotenzial erschließen: Veränderungs- und Verbesserungsmanagement	Übergreifenden Fahrplan erstellen	Einheitliches Abweichungsmanagement implementieren
	Organisation zur Erschließung des Wertpotenzials einrichten	
2.2 Kompetenzen aufbauen und neue Arbeitsweisen etablieren	Kompetenzdefizite ermitteln und beheben	
	Änderungen der Organisationsstruktur etablieren sowie neue Arbeitsweisen implementieren	
	Rollenverschiebungen managen und einen Change-Prozess implementieren	

Technologie

3.1 IIoT und Dateninfrastruktur: Plattform designen (inkl. IT-OT-Cybersicherheit)	Aktuelle IT- und OT-Brownfield-Umgebung vollständig bewerten	Zielarchitektur für gewünschte Use Cases konzipieren
	Für Implementierung der Plattform keinen bloßen Anbieter, sondern einen Partner auswählen	
	Cybersicherheits-Herausforderungen bei der IT-OT-Konvergenz effektiv managen	
3.2 IIoT-Plattform: Cloud Computing in der Produktion etablieren	Dafür sorgen, dass die Cloud sich kurzfristig bezahlt macht	Cloud-Transformation konsequent steuern
	Infrastrukturteam einsetzen, das wie ein App-Entwicklerteam arbeiten kann	
3.3 Tech-Ökosystem aufbauen	Kernelemente eines nachhaltigen Ökosystems verstehen	Die richtigen Partner auswählen, um einen ausgewogenen Mix an Partnern zu erreichen
	Business-Development-Teams implementieren, um das komplexe Ökosystem zu managen	

Quelle: McKinsey DTS



1 Geschäftsbereich (Produktion)

1.1 Use Cases ermitteln und priorisieren

Die Ermittlung und Priorisierung von Use Cases (Textbox 3) erfolgt in einem dreistufigen Verfahren. Das Vorgehen ist iterativ, d.h., sollten sich auf einer Stufe neue Erkenntnisse ergeben, so werden die vorherigen Stufen erneut durchlaufen und entsprechende Änderungen vorgenommen, etwa wenn neue Use Cases hinzukommen oder bereits vorhandene neu priorisiert werden.

Textbox 3: Definition Use Case

Ein Use Case auf Basis digitaler Technologie und moderner Analysetools löst ein Problem für den Nutzer und erhöht Produktivität, Effizienz und Benutzerfreundlichkeit. Meistens wird dabei eine spezielle Software verwendet bzw. entwickelt. Der Unterschied zu klassischen, kontinuierlichen Verbesserungsmaßnahmen besteht darin, dass

- Der Wertbeitrag signifikant ist
- Der Erfolg klar messbar ist
- Investitionen und gezielte Anstrengungen notwendig sind
- Entscheidungen über das weitere Vorgehen und die Verteilung von Ressourcen erforderlich sind.

► Schritt 1: Longlist mit Use Cases erstellen – top-down und bottom-up

Im ersten Schritt wird top-down und bottom-up eine umfassende Longlist mit geeigneten Use Cases erstellt.

Top-down-/Outside-in-Verfahren.¹⁰ Datenbanken mit Use Cases enthalten Fallstudien und Beispiele mit bewährten Verfahren aus denselben oder vergleichbaren Branchen und Unternehmensfunktionen.¹¹ Beim Top-down-Verfahren werden aus solchen Datenbanken die infrage kommenden Use Cases ausgewählt und als Ausgangspunkt verwendet. Nach einem iterativen Bewertungs- und Auswahlverfahren werden die ausgewählten Use Cases entweder direkt umgesetzt oder als Vorlage zur weiteren Entwicklung verwendet.

Bottom-up-/Inside-out-Verfahren.¹² Am Anfang steht hier eine Problemanalyse der bestehenden (physischen) Prozesse, z.B. Engpässe. Nachdem die Prozessführung der betreffenden Anlagen und die Arbeitsweise der entsprechenden Mitarbeiter anhand von Diagnosen und Befragungen analysiert wurde, werden Verbesserungsmöglichkeiten ermittelt. Auf Grundlage der spezifischen Herausforderungen können dann wiederum Lösungsvorschläge entwickelt werden. Use Cases werden definiert und Lösungsmöglichkeiten in Form von Prototypen ausgestaltet. Erfolgreiche Use Cases werden schließlich dokumentiert, kodifiziert und in eine entsprechende Bibliothek aufgenommen.

Bei diesem Verfahren ist es wichtig, dass die Use Cases bei operativen Kennzahlen ansetzen, die den tatsächlichen Erfolg des Unternehmens im Sinne von Effizienz und Effektivität widerspiegeln. So ist sichergestellt, dass wirklich wertstiftende Herausforderungen angegangen werden. Dabei ist es ratsam, nach signifikanten Verbesserungen zu streben, die über inkrementelle Veränderungen hinausgehen (Clean-Sheet-Methode).

¹⁰ Beim Outside-in-Verfahren wird externes Wissen in den Innovationsprozess integriert.

¹¹ McKinseys Digital Use Case Library etwa umfasst derzeit mehr als 300 Use Cases aus verschiedenen Industrien.

¹² Beim Inside-out-Verfahren wird internes Wissen nach außen verwertet.

► **Schritt 2: Use Cases katalogisieren, qualifizieren und priorisieren**

Nachdem eine erste, umfangreiche Auswahlliste möglicher Use Cases erstellt wurde, sind diese hinsichtlich ihrer Wirkung und Umsetzbarkeit zu analysieren und zu bewerten, um die Auswahl weiter einzuzugrenzen.

Die Ergebniswirkung lässt sich zumeist an dem voraussichtlichen finanziellen Effekt der Use Cases bemessen, genauer gesagt an der resultierenden Kostenersparnis bzw. dem Zusatzgewinn. Anschließend wird eine weitere Priorisierung anhand der Umsetzbarkeit vorgenommen. Hierfür sind zum einen der Gesamtaufwand und die finanzielle Investition im Zusammenhang mit der Umsetzung des Use Case zu schätzen sowie zum anderen die Komplexität im Sinne der Umsetzung. Abschließend können die Use Cases nach ihrer Umsetzbarkeit und ihrem finanziellen Effekt in eine Matrix eingeordnet werden (Abbildung 9).

Abbildung 9

Use Cases werden nach ihrem finanziellen Effekt und ihrer Umsetzbarkeit priorisiert



Quelle: McKinsey

Diese Einordnung dient als erster Gradmesser für die relative Attraktivität eines Use Case. Vergleichsweise leicht umzusetzende Use Cases mit hohem Wirkungsgrad sollten als Erstes untersucht werden. Am anderen Ende des Spektrums befinden sich Use Cases, die sich schwer umsetzen lassen und gleichzeitig geringen finanziellen Nutzen stiften. Trotzdem dürfen diese Use Cases nicht von vornherein abgeschrieben werden; sie fallen vielmehr in die Kategorie „Abwarten“. Angesichts des schnellen technischen Fortschritts könnte ihre Umsetzung im Lauf der Zeit sehr viel leichter fallen.

Use Cases, die schwer umsetzbar sind, aber dennoch eine große Wirkung besitzen, fallen in die Kategorie „Strategisch wichtig“. Unternehmen, die in solchen Fällen als erste das Erfolgsrezept entschlüsseln, können von ihrer Vorreiterstellung profitieren und ihre Wettbewerbsfähigkeit verbessern. Relativ leicht umzusetzende Use Cases, die jedoch nur wenig Ertrag abwerfen, können nachrangig bearbeitet werden, d.h. nachdem die aussichtsreichsten Fälle realisiert worden sind.

Nach der Vorauswahl anhand der oben genannten Matrix werden unter den erstrangigen Use Cases Leuchttürme für skalierbare Projekte ausgewählt. Da die meisten Use Cases stark technisch getrieben sind, basiert die Auswahl auf harten technischen Kriterien sowie weicheren kulturellen oder wissensbasierten Kriterien (Abbildung 10).

Abbildung 10

Exemplarische Bewertungskriterien für Use Cases

Harte und weiche Faktoren in der ersten Bewertungsrunde

Illustrativ

	Repräsentative Auswahlkriterien	Nicht okay	Okay	Gut	Ideal	Beschreibung des Ideals
Verbesserungen	Umfang: Wie groß ist das Verbesserungspotenzial?				✓	Beträchtlicher finanzieller Effekt (im Einklang mit der Optimierungsstrategie)
	Datenverfügbarkeit: Liegen genügend Rohdaten in ausreichender Granularität vor?			✓		Leicht verfügbare, nicht fragmentierte Daten für wichtige Variablen des Vorjahres
	Zustand der Maschinen: Sollten für die nächsten 12 Monate Reparaturen, Wartungen oder längere Stillstände geplant werden?			✓		Keine größeren Wartungsarbeiten/Stillstände während der Dauer des Pilotprojekts
Kultur	Innovationserlebnis: Wurden bereits Erfahrungen gemacht mit früheren Technologieentwicklungsprojekten (z.B. Fuzzy-Logik, Big Data) und Transformationsmaßnahmen (z.B. Instandhaltung)?			✓		Hohe Lern-, Entwicklungs- und Innovationsbereitschaft der Ingenieure/Techniker Erfahrung mit früheren Digital-/Innovationsprojekten
	Technische Fähigkeiten: Gibt es vor Ort freie Kapazitäten für ein Analytics-Pilotprojekt?			✓		Fertigungsingenieure, IT-/OT-/Automatisierungsmanager sind verfügbar
	Leuchtturm-Wirkungsfaktor: Wie sichtbar und wirkungsvoll wird der Erfolg eines Leuchtturmprojekts sein?				✓	Standort gilt als „Referenzwerk“ des Konzerns (in puncto technische Kompetenz, Erfahrung etc.)

Quelle: McKinsey

▶ Schritt 3: Leuchtturmprojekte als Vorbilder aufbauen

In dieser Phase werden die Use Cases hinsichtlich ihres Skalierungspotenzials im Produktionsnetzwerk analysiert. Während einige Use Cases sehr spezifisch sind und nur ein einziges Mal umgesetzt werden können (z.B. an einem konkreten Prozess in einem bestimmten Werk), lassen sich andere mindestens einmal oder sogar viele Male replizieren.

In solchen Fällen bietet sich ein Leuchtturmprojekt an: Ein bestimmter Problemfall und Use Case wird damit erstmals gelöst. Das Team muss von Beginn an nicht nur auf die technische Umsetzung bedacht sein, sondern es muss auch Zeit verwenden auf die Kodifizierung, die Schulung und Einweisung von Mitarbeitern, Anleitungen und sonstige unterstützende Mechanismen. Nur so können das Hochskalieren und die Einführung in anderen Werken schnell vorstattengehen. Das erste skalierbare Projekt erfordert daher einen zusätzlichen Zeit- und Kraftaufwand, der sich jedoch bezahlt macht durch die schnellere Einführung und Reproduktion an anderen Standorten des Produktionsnetzwerks.

1.2 Rollout planen und Standorte vorbereiten

Nachdem Use Cases ermittelt, priorisiert und hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf andere Werke im Produktionsnetzwerk kategorisiert wurden, wird im nächsten Schritt ein Fahrplan für ihre Umsetzung entwickelt. Dieser Prozess umfasst ein dreistufiges Verfahren unter Berücksichtigung folgender Kriterien:

- Maximaler Wertbeitrag in kürzester Zeit – lokal und konsolidiert
- Verfügbare Ressourcen und Fähigkeiten sowie Einstellung und Weiterbildung von Mitarbeitern
- Logik der Wertrealisierung unter steuerlichen, rechtlichen und sonstigen strukturellen Bedingungen
- Marktkräfte und verfügbare Investitionen in Technologien und unterstützende Mechanismen
- Geschwindigkeit, mit der unterstützende Technologien eingeführt werden können, z.B. Data Lakes, Sensoren, IIoT-Plattformen.

Der Fahrplan für die Implementierung erstreckt sich insbesondere für größere Organisationen vermutlich über einen längerfristigen Zeitraum von bis zu drei Jahren, wobei der Schwerpunkt der Aktivitäten in die ersten 12 bis 18 Monate fällt. Der Fahrplan gibt an, welche Use Cases realisiert werden, wie sie realisiert werden und wer für die Realisierung verantwortlich ist. Ein Masterplan mit Maßnahmen, Endprodukten, Zeitplänen und Umsetzungsschritten kontrolliert sehr genau alle Maßnahmen und liefert Updates für Monitoring- und Korrekturzwecke.

▶ Schritt 1: Rollout auf Wertschöpfung und Wirkung fokussieren

Der Rollout der ersten Use Cases ist eine Investition in die Skalierung, die ein strategisches Vorgehen erforderlich macht (siehe das Automotive-Beispiel in Abbildung 11). In den meisten Fällen empfiehlt es sich, Use Cases nach Wertbeitrag und Umsetzbarkeit auszurollen. Als Erstes werden die Use Cases ausgewählt, die einen sofortigen oder kurzfristigen Mehrwert bieten. Aussortiert werden hingegen diejenigen, bei denen erst aufwändig neue Daten gesammelt werden müssen oder andere schwierige Voraussetzungen zu erfüllen sind. Zwar liegt der Fokus in der Regel auf Use Cases, die mit wenig Aufwand viel Ertrag bringen, trotzdem spricht viel dafür, auch ausgewählte Use Cases zu verfolgen, die nur eine geringe oder gar keine Rendite versprechen. Denn ein Use Case könnte zwar selbst keinen unmittelbaren Nutzen stiften, aber den Weg bereiten für künftige Use Cases. Diese Entscheidung will im Vorfeld gut durchdacht sein. Entscheidungsgründe sind klar zu kommunizieren, damit alle Beteiligten die Investition und den Ertrag verstehen – selbst wenn dieser erst mit Verzögerung eintritt.

Bewährte Verfahren für einen erfolgreichen Rollout von Use Cases sind:

- **Agile Arbeitsweise.** Der Rollout sollte agil sein und in mehreren Wellen verlaufen, die mit den Teams genau abgestimmt werden. Eine gewisse Flexibilität ist nötig, damit das Vorgehen in künftigen Wellen ggf. angepasst werden kann. Änderungen an einer bereits gestarteten Welle sind hingegen zu vermeiden, da sie unnötige Störungen verursachen und den Rollout bremsen.
- **Einhaltung von Standards in der Organisation und kontinuierliches Lernen.** Es empfiehlt sich, Use Cases zeitlich versetzt in den Werken zu implementieren, unabhängig davon, ob das Produktionsnetzwerk heterogen oder homogen ist. So können Erkenntnisse, die in einem Betrieb gesammelt wurden, für spätere Rollouts an anderen Standorten genutzt werden. Ein stabiler Feedbackprozess sorgt dafür, dass die Rollout-Teams auf Probleme hingewiesen werden und sich z.B. über die laufende Software austauschen (ggf. vor Ort; das Cloud-Backend sollte identisch sein). Neue Erkenntnisse können so weitergegeben werden und Doppelarbeit wird vermieden.

Abbildung 11

Um eine Skalierung der Wertschöpfung realisieren zu können, ist ein strukturiertes, zeitlich abgestuftes Vorgehen in mehreren Wellen notwendig

Beispiel Automobilbranche

■ Verifizierung und Wertbestimmung des Use Case ■ Umsetzung/Rollout

Welle 1: Verifizierung der Use Cases und Umsetzung bestimmter MVP



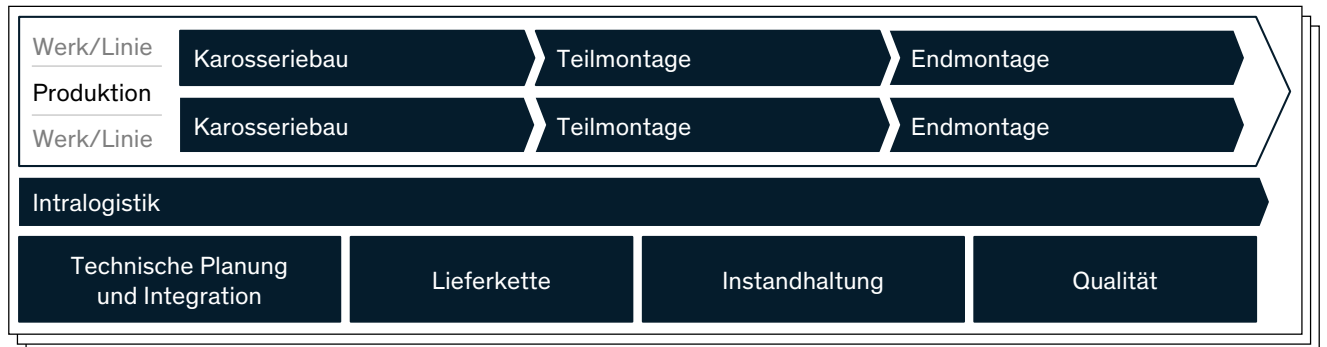
Fokus auf Folgenabschätzung in allen wichtigen Produktions- und Logistikbereichen, Etablierung von MVPs/PoCs für Use Cases in Schwerpunktbereichen

Welle 2: Weiterer Rollout bewährter Use Cases, Einbeziehung indirekter Funktionen



Rollout priorisierter Maßnahmen aus der 1. Welle in allen Produktionsbereichen, zusätzlich ausgewählte Anwendungen in unterstützenden Bereichen

Welle 3: Rollout im Betrieb und in einem breiteren Netzwerk



Rollout der priorisierten Maßnahmen aus der 2. Welle für alle Gewerke jeder Produktionslinie in der digitalen Transformation

Quelle: McKinsey

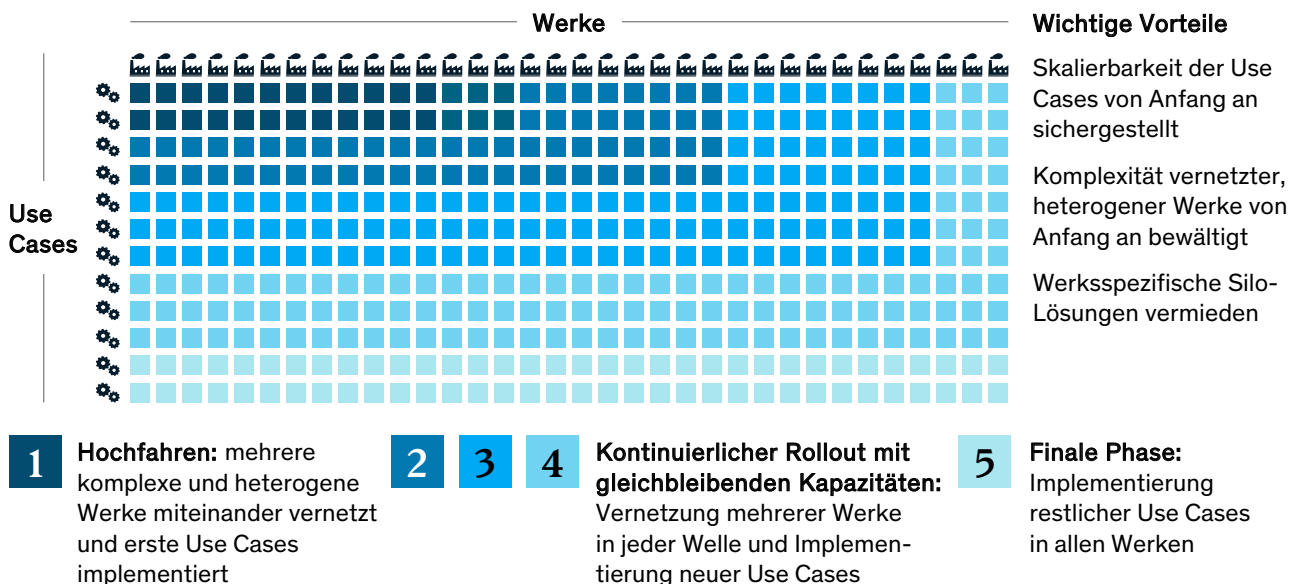
Abbildung 12 zeigt den Verlauf eines Rollouts mehrerer Use Cases in einer Vielzahl von Werken. Bei diesem Rollout konnte das Unternehmen auf Grund ähnlicher Fertigungslinien und Produkte dieselben Use Cases an mehreren Standorten implementieren.

Ist das Produktionsnetzwerk heterogen (d.h., es umfasst verschiedene Linien, Produkte und Industriezweige), so empfiehlt sich ein differenzierter Rollout, in dem fallweise vorgegangen wird. Gleichgelagerte Maßnahmen sollten dabei bestmöglich gebündelt werden. Mit einem wertorientierten Ansatz lässt sich leicht ein erstes Cluster bestimmen, das im weiteren Verlauf nachgeschärft werden kann, um die Implementierung zügig ins Rollen zu bringen.

Einzig die Maschinenkonnektivität und Datenerfassung bzw. der Edge Layer der Technologiearchitektur dürften in jedem Werk unterschiedlich aussehen. Dieser Layer ist deshalb so heterogen, weil üblicherweise Maschinen, Anlagen, Steuerungen und Sensoren unterschiedlichen Alters sowie unterschiedlicher Hersteller zum Einsatz kommen (mit unterschiedlichen Kommunikationsprotokollen). Daher sind spezielle Lösungen erforderlich, die sorgfältig zu Clustern zusammengeführt werden müssen. Grundsätzlich wird die Anzahl der Cluster in dieser Schicht höher sein. Die Verwendung derselben Hard- und Software, um bestimmte Datenquellen (z.B. herstellereigene SPS) zu verknüpfen, verringert jedoch den künftigen Wartungsaufwand, da die Anzahl der Systeme möglichst gering gehalten wird.

Abbildung 12

Der Rollout sollte mit einigen wenigen Use Cases in mehreren Werken beginnen



Quelle: McKinsey

▶ Schritt 2: Daten zusammentragen und aggregieren, wichtige Aktivitäten parallel durchführen

Nicht alles muss fix geplant sein, wenn der Rollout beginnt. Konkret heißt das: Schon bevor erste Daten verknüpft und ausgewertet werden, liefert die Priorisierung der Use Cases eine Übersicht der benötigten Datenquellen und eine genauere Kenntnis der Daten, die zusammengeführt werden können. Anhand dieser Informationen kann die Architektur für die Datenerfassung nachjustiert oder an die jeweilige OT-Hardware und Datenquellen angepasst werden.

Gleichwohl darf die Entwicklung einer zentralen Plattform als einheitliche Grundtechnologie und Kern der Gesamtarchitektur keinesfalls vernachlässigt werden. Sie sollte synchron mit der Entwicklung der Use Cases erfolgen. Die Datenquellen sind so schnell wie möglich zu vernetzen, damit die Daten automatisiert erfasst werden können. Je nachdem, wie weit die Implementierung der Zielarchitektur fortgeschritten ist, lässt sich der Use Case anhand der vorgegebenen Architektur auf einem Server vor Ort erstellen. Dafür sind Rahmenvorgaben notwendig, die im Backend (Datenverarbeitung im Hintergrund, z.B. Data Layer) verwendet werden. Die Implementierung der finalen Architektur dürfte allerdings dank der Priorisierung der ersten Use Cases nur wenig Zeit in Anspruch nehmen, so dass die Migration der ersten Use Cases nach wenigen Wochen möglich sein sollte. Danach sollte jeder Use Case in der Zielarchitektur implementiert werden. Zur besseren Vorbereitung sollte die nächste Welle unter Rückgriff auf die erforderlichen Datenquellen früherer Wellen geplant und vollzogen werden.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass viele Use Cases eine längere Vorbereitungszeit erfordern, da ggf. einige erforderliche Datenquellen noch gar nicht existieren. So kann es z.B. notwendig sein, Sensoren einzubauen, die SPS-Logik der Maschinen zu ändern oder Systeme zu aktualisieren.

▶ Schritt 3: Die Prozesse und ein Kollaborationsmodell für den erforderlichen Rollout aufbauen

Für das Onboarding neuer Standorte ist ein Standardprozess festzulegen, damit ein Team bereitsteht, wenn der Rollout beginnt. Das Implementieren von Use Cases bedeutet immer auch, dass sich Arbeitsweisen und Einstellungen in der Organisation grundlegend ändern müssen. Ein sorgfältiges Veränderungsmanagement ist deshalb ebenso wichtig wie der Rollout der Use Cases selbst. Der Erfolg eines Use Case kann untergraben werden, wenn sein Mehrwert nicht klar genug kommuniziert wurde und die Mitarbeiter die neue Anwendung oder das neue System in ihrer Arbeit entweder gar nicht oder falsch benutzen.

Ein zentrales IIoT-Rollout-Team kümmert sich um die Anforderungen der einzelnen Standorte und sorgt dafür, dass alle Voraussetzungen erfüllt sind, bevor die Einführung beginnt. Die Liste der Anforderungen umfasst die Fähigkeiten und technischen Grundlagen, die für den Use Case nötig sind. Das IIoT-Team sucht vor Ort nach geeigneten Kandidaten für das Management des Rollouts und bringt sich ggf. mit seinem Wissen in die Problemlösung ein. Das Team überwacht zudem den Fortschritt des Rollouts und eventuell auftretende Probleme und behält so den Überblick über den realisierten Nutzen, den Stand der Umsetzung und Problemlösungen. Daraus lassen sich wiederum bewährte Verfahren für nachfolgende Werke ableiten. Fast immer dürfte eine genauere Analyse ergeben, dass der Use Case Fähigkeiten erfordert, die in der Organisation oder an einem einzelnen Standort noch nicht vorhanden sind. Die Einarbeitung neuer Mitarbeiter und die Weiterbildung vorhandener Mitarbeiter müssen frühzeitig beginnen, damit die Fähigkeiten vorhanden sind, wenn sie benötigt werden. Kenntnisse und Fähigkeiten sind kontinuierlich aufzubauen und weiterzuentwickeln, weil die Einführung von Use Cases ein nie endender Prozess ist, sondern vielmehr in eine neue Arbeitsweise der fortlaufenden Innovation münden sollte. Investitionen in diesem Bereich sind ein absolutes Muss für jedes Unternehmen, das mit Industrie 4.0 erfolgreich sein will.

Wichtig ist auch ein klares Kollaborationsmodell, in dem es je Teilprojekt einen einzigen Ansprechpartner mit klarem Zuständigkeitsbereich gibt. Die Kommunikation innerhalb der Organisation, etwa zwischen den Standorten, aber auch zwischen der Organisation und ihren Partnern muss effektiv sein. Typische Partner entlang der Wertschöpfungskette sind Maschinenhersteller, Technologieanbieter, Systemintegratoren und Funktionsspezialisten.

Die Weiterbildung der Mitarbeiter muss schon vor (oder zeitgleich mit) dem Rollout beginnen, so dass alle die neuen Möglichkeiten kennen und verstehen und von den Use Cases profitieren. Lerneinheiten sind wichtig und es sollte genügend Zeit auf die Beantwortung von Fragen und Anliegen der Mitarbeiter verwendet werden. Mitarbeiter, die mit neuen Anwendungen arbeiten werden, sollten in den Entwicklungsprozess einbezogen und um Feedback gebeten werden. So orientieren sich neue Anwendungen stärker an ihren Bedürfnissen. Die Mitarbeiter nehmen auf diese Weise neue Systeme besser an und nutzen sie entsprechend mehr. Wichtig ist auch, klar zu formulieren, was von den Verantwortlichen der Use Cases erwartet wird und welche Aufgaben sie erfüllen müssen. Denn sie sind es, die nachfolgend Use Cases definieren und den Fortschritt und eventuelle Probleme melden. Prozesse, etwa zur Kommunikation oder Status- und Fortschrittskontrolle, müssen gut abgestimmt sein.

Neben dem Fahrplan muss die technische Ausgangslage klar sein. So muss etwa die bestehende IT- und OT-Landschaft klar ersichtlich sein (siehe Kapitel 3.1), auch in organisatorischer Hinsicht.



2 Organisation

Dieser vermeintlich „weiche Faktor“ wird gern unterschätzt; dabei können Unternehmen den organisatorischen Teil gar nicht ernst genug nehmen. Organisatorische Hürden zu überwinden, ist die Voraussetzung für eine Bewältigung des technischen Teils der digitalen Transformation in der Produktion. Deshalb gehen wir im Folgenden auf zwei Voraussetzungen ein, die von grundlegender Bedeutung sind, um Wertpotenzial erschließen zu können: neue Arbeitsweisen einzuführen und neue Kompetenzen aufzubauen.

2.1 Wertpotenzial erschließen: Veränderungs- und Verbesserungsmanagement

Der Wert einer digitalen Transformation in der Produktion hängt von einer nachhaltigen Implementierung der Use Cases ab. Deshalb ist es für die erfolgreiche Steuerung der IIoT-Transformation entscheidend, das Wertpotenzial dieser Use Cases zu erschließen. Dafür muss die Organisation für die gesamte Transformation eine Roadmap mit klaren Zielvorgaben aufstellen, eine effiziente Nachverfolgung und Berichterstattung einrichten und für ein konsequentes Abweichungsmanagement sorgen. Ein ganzheitliches Tracking der Implementierung über alle Werke hinweg ist eine Voraussetzung für den weiteren Rollout und das Priorisieren von Use Cases für die Implementierung (Planung der nächsten Welle).

▶ Schritt 1: Fahrplan für IIoT-Transformation erstellen und Zielvorgaben für Use Cases definieren

Die wichtigsten Elemente eines strukturierten Ansatzes, um das Wertpotenzial einer digitalen Transformation zu erschließen, sind eine klare Roadmap mit wichtigen Meilensteinen für Projekte und Use Cases und das Definieren von Zielwerten für diese Use Cases. Diese Zielvorgaben sollten neben dem geschätzten quantifizierten Nutzen eines Use Case auch Kennzahlen für das Budget und einen Gesamtstatus in der Zeitplanung umfassen. Der geschätzte quantifizierte Nutzen kann auch als Grundlage für die Priorisierung, den Abschluss der Implementierung und die Rolloutplanung von Use Cases verwendet werden.

Um den Wert von IIoT-basierten Technologien vollständig und korrekt beziffern zu können, ist ein ganzheitlicher Blick auf die Use Cases entlang der Roadmap erforderlich. Dazu gehört ein gutes Verständnis des gesamten Implementierungsprozesses, angefangen bei der Auswahl der Use Cases über die Verbesserungszyklen bis hin zu Skalierung und Industrialisierung.

▶ Schritt 2: Organisation, Modell und Mechanismus zur Erschließung des Wertpotenzials einrichten

Um das Wertpotenzial einer digitalen Transformation in der Produktion zu erschließen, empfiehlt es sich, eine eigene Organisation dafür einzurichten. Ein „Value Capture Office“ kann als zentrale Koordinierungsstelle fungieren und z.B. den Vorstand/die Geschäftsführung und andere Interessengruppen über den Implementierungsfortschritt informieren. Um nachvollziehen zu können, wie viel die Use Cases zu den Zielvorgaben beitragen, ist ein (idealerweise) automatisches Überwachen und Reporting notwendig. Um Versionenkonflikte zu vermeiden sowie für eine schnelle und korrekte Bereitstellung der Daten zu sorgen, ist es wichtig, über eine zentrale Datenbank als „Single Source of Truth“ zu verfügen. Berichte sollten auf die unterschiedlichen Hierarchieebenen zugeschnitten sein, die an der Steuerung des Programms beteiligt sind. Dazu gehört auch die Aggregation von Kosten- und Nutzenszahlen für die einzelnen Ebenen.

Das Value Capture Office überwacht außerdem, ob die Zielwerte erreicht werden, und greift ein, wenn der erschlossene Wert über das Ziel hinausgeht. Dafür kann das Value Capture Office Taskforces zusammenstellen und einsetzen (z.B. aus einem zentralen Expertenpool), um die Umsetzung der Use Cases zu unterstützen (z.B. in den Werken).

▶ **Schritt 3: Einheitliches Abweichungsmanagement implementieren**

Das Value Capture Office muss ebenfalls ein konsequentes Abweichungsmanagement einrichten und nachverfolgen. Dieses umfasst drei Funktionen:

- a) Abweichungen vom Implementierungsplan ermitteln und Ursachen ergründen, einschließlich übergeordneter Herausforderungen und Engpässe im gesamten Programm, jenseits einzelner Use Cases
- b) Abhilfemaßnahmen definieren, um die Entwicklung und Implementierung von Use Cases wieder auf Kurs zu bringen
- c) Die Umsetzung der Maßnahmen bei einzelnen Use Cases/Projektleitern unterstützen, z.B. durch das Entsenden von Taskforces.

2.2 Kompetenzen aufbauen und neue Arbeitsweisen etablieren

Eine digitale Transformation in der Produktion geht Hand in Hand mit weitreichenden organisatorischen Veränderungen. Dies betrifft z.B. Organisationsstrukturen, Arten der Zusammenarbeit und Kollaborationspartner sowie Job- und Rollenprofile. In der Folge sind neue Arbeitsweisen und neue Fähigkeiten erforderlich, um IIoT sowie digital gestützte Use Cases erfolgreich zu implementieren und zu skalieren. Die folgenden Maßnahmen sind für eine erfolgreiche Transformation entscheidend. Wir haben sie hier als „Schritte“ definiert, aber ob sie nacheinander oder gleichzeitig umgesetzt werden, hängt von den Gegebenheiten der Organisation ab, unter anderem vom jeweiligen Ausgangspunkt.

▶ **Schritt 1: Änderungen der Organisationsstruktur etablieren sowie neue Governance und Arbeitsweisen implementieren**

An einer ganzheitlichen digitalen Transformation in der Produktion sind eine Reihe von Funktionen und Bereiche beteiligt (z.B. Betriebsorganisation, IT, OT, zentrale Produktionseinheiten). Es entstehen neue funktionale Schnittstellen und es sind neue funktionsübergreifende Arbeitsweisen zu etablieren. Dafür müssen starre Grenzen innerhalb der Organisation beseitigt werden, die in großen Unternehmen oft tief verankert sind. Deshalb stehen Unternehmen beim Zusammenführen von IT und OT in der Regel vor einer Reihe von Herausforderungen (Abbildung 13):

- Komplexe Entscheidungsfindung auf Grund einer Aufteilung der Verantwortlichkeiten auf IT und OT, insbesondere bei der Cybersicherheit
- Fehlende Governance-Gremien und Strukturen für die Abstimmung der Interessen und Anforderungen von IT und OT
- Langsame Einführung neuer Technologien in OT-Bereichen – z.B. Cloud, CI (Continuous Integration¹³) und CD (Continuous Delivery¹⁴)
- Nur begrenzt gemeinsames Management und gemeinsame Umsetzung von technologieübergreifenden (IT- und OT-)Strategien und Projekten
- Fehlende Standardisierung und Prozessharmonisierung über die einzelnen Werke hinweg
- Zahlreiche Prozessdoppelungen und -überschneidungen zwischen IT und OT
- Fehlende interdisziplinäre Kompetenzprofile, die sowohl IT- als auch OT-Anforderungen abdecken.

Auch die Integration von externen Kollaborationspartnern mit unterschiedlichen Organisationsstrukturen und Arbeitsweisen erfordert ein strukturelles Umdenken. Um die Anwendungsentwicklung in den einzelnen Werken zu koordinieren, kann ein zentrales Expertenteam mit einem funktionsübergreifenden Kompetenzprofil hilfreich sein, das sowohl IT- als auch OT-Anforderungen abdeckt. Dieses Team kann in Zusammenarbeit mit der IT-Abteilung Entwicklungsbemühungen unterstützen, technisches Fachwissen beisteuern und bei der technischen Umsetzung helfen, z.B. bei cloudbasierter IIoT-Technologie in Form einer IIoT-Plattform. Zudem gibt es Standards vor und liefert der dezentralen Organisation in den einzelnen Werken bewährte Verfahren. Umgekehrt greift das Expertenteam die Anforderungen der Werke auf, um die Implementierung der IIoT-Plattform und der Use Cases zu unterstützen (Abbildung 14). Auch das Value Capture Office kann auf das Expertenteam zurückgreifen, z.B. um Taskforces zu entsenden, wenn es bei der Implementierung zu Verzögerungen kommt.

¹³ Continuous Integration ist ein Begriff aus der Software-Entwicklung, der den Prozess des fortlaufenden Zusammenfügens von Komponenten zu einer Anwendung beschreibt.

¹⁴ Continuous Delivery bezeichnet eine Sammlung von Techniken, Prozessen und Werkzeugen, die den Softwareauslieferungsprozess verbessern.

IT und OT werden zumeist von verschiedenen Vorstandsbereichen gemanagt – das bremst die Ermöglichung und Einführung von IIoT

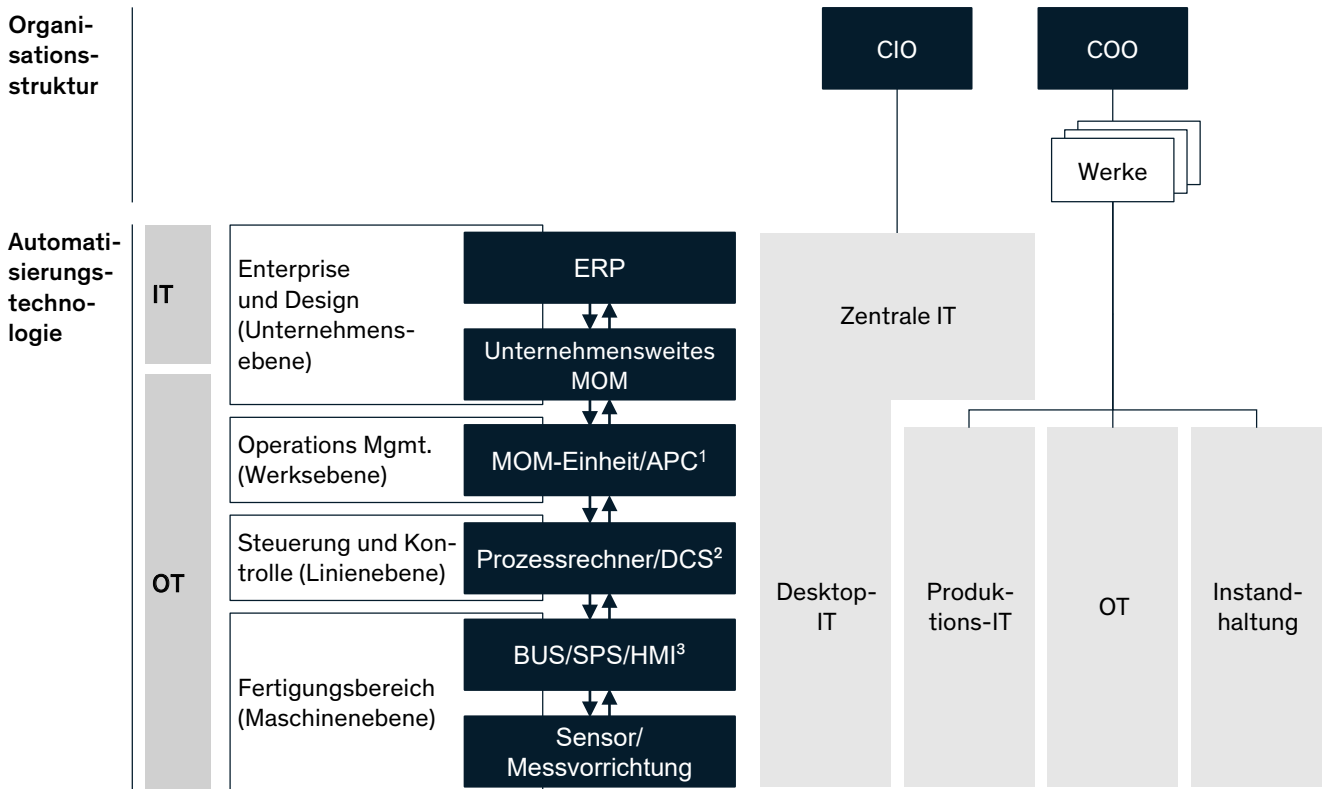
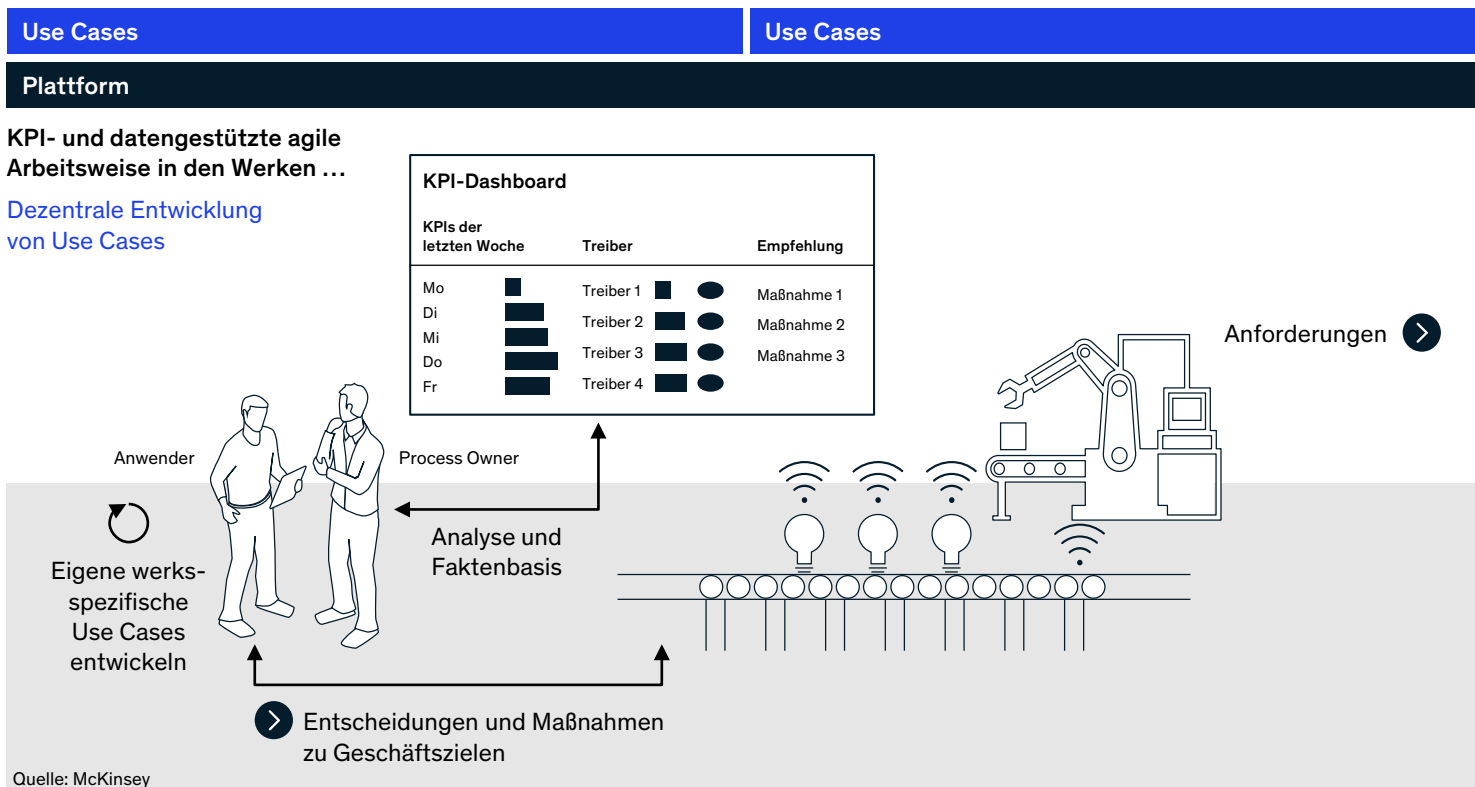


Abbildung 14

Digitale Produktionstechnologie ermöglicht eine neue Arbeitsweise, bei der die zentrale Projektleitung den werksübergreifenden Rollout der Plattform und Use Cases steuert und unterstützt



Quelle: McKinsey



Beobachtungen

IT und OT werden meistens unabhängig voneinander gemanagt und wie isolierte Technologien behandelt, weil die meisten Unternehmen die Konvergenz von IT und OT nicht vorhergesehen haben

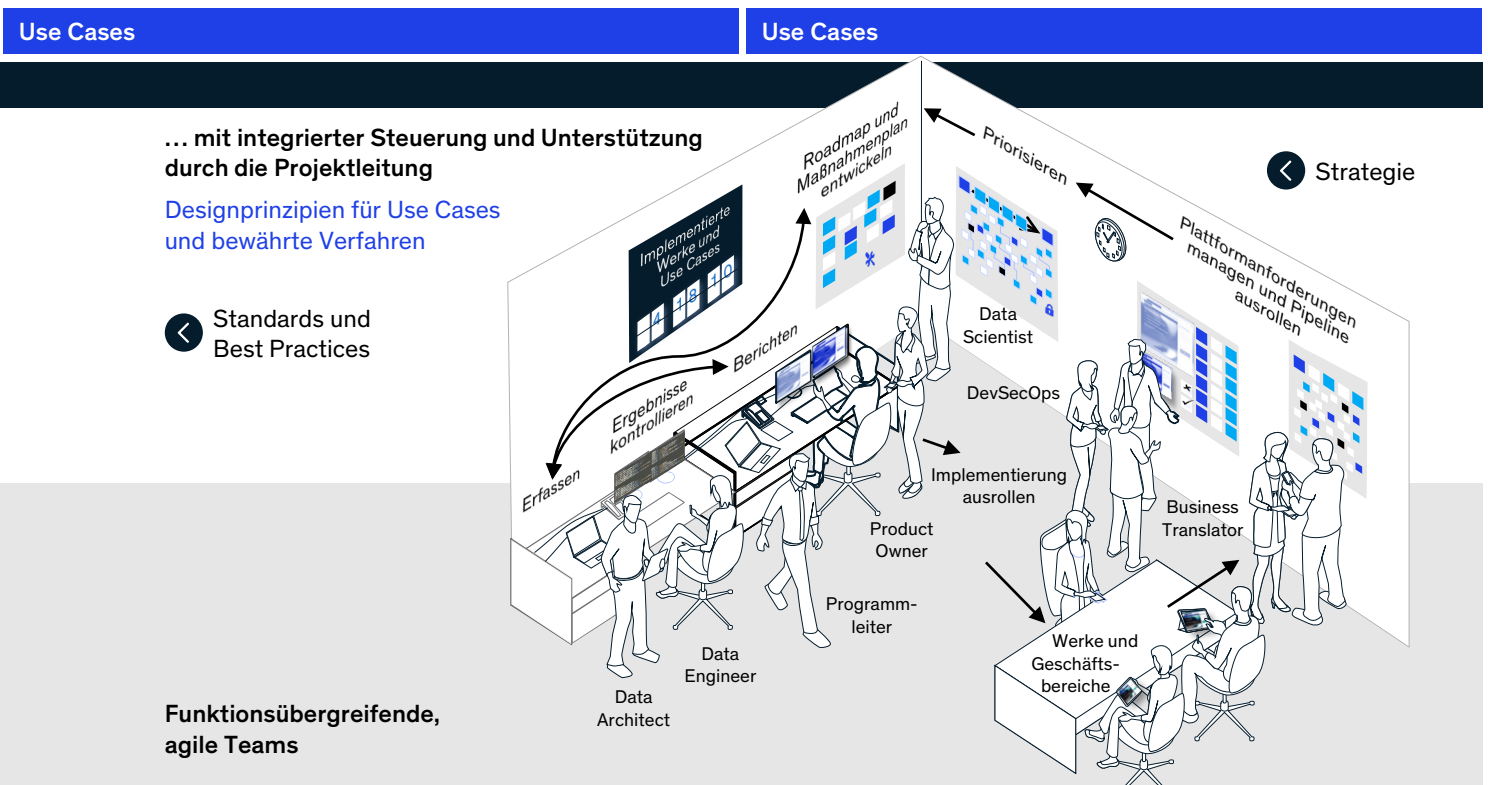
Während die IT vom CIO geleitet wird, werden OT-Systeme vom COO oder Bereichsleiter geleitet

Auf Grund der unterschiedlichen Problemstellung in der Implementierung von IT und OT weichen auch die Architekturen und Protokolle voneinander ab

Dies führt zu ineffizienten und teuren Strukturen, die Innovationen und Standardisierung bremsen

1. Advanced Process Control
2. Distributed Control System
3. Human-Machine Interface

Quelle: McKinsey



Es gibt gewiss keinen Standardansatz für eine organisatorische Annäherung von IT und OT. Unsere Erkenntnisse über diese Herausforderung und unsere Beobachtungen bei den Unternehmen, die in diesem Punkt am erfolgreichsten sind, zeigen jedoch folgende Grundprinzipien für die Zusammenführung von IT und OT:

— **Gemeinsames Governance-Modell**

- Zentrale Governance-Gremien einrichten, in denen sowohl IT- als auch OT-Fachwissen vertreten ist, um Leitlinien für die Zukunft von IT und OT zu definieren
- Auf Basis von Branchenstandards ein gemeinsames Architekturmodell für IT und OT definieren

— **Prozessharmonisierung**

- Auf Basis der übergeordneten Leitlinien und eines integrierten Organisationsmodells Prozessdoppelungen und -überschneidungen in IT und OT harmonisieren
- Prozesse über die einzelnen Werke hinweg standardisieren, um ein besseres Qualitätsmanagement zu ermöglichen

— **Gemeinsame Kennzahlen**

- Gemeinsame Kennzahlen für IT und OT einführen (z.B. für den Implementierungsfortschritt und das Erschließen des Wertpotenzials), um einen zusätzlichen Anreiz für die Konvergenz der beiden Bereiche zu schaffen
- Schnelle und kontinuierliche Implementierung neuer Produkte, Technologien und Features in den Produktionsprozessen gewährleisten, um Kosten zu senken

— **Zentrales Daten- und Sicherheitsmanagement**

- Governance- und Sicherheitsrichtlinien für OT formalisieren
- Verantwortlichkeit für die Sicherheit von IT und OT in einer zentralen Stelle bündeln
- Integrierten Ansatz für Sicherheits- und Incident-Management über IT und OT hinweg verfolgen, um bessere Sicherheitsmaßnahmen gegen externe Bedrohungen zu ermöglichen und eine zentrale Sicherheits-Governance für die gesamte Wertschöpfungskette zu etablieren

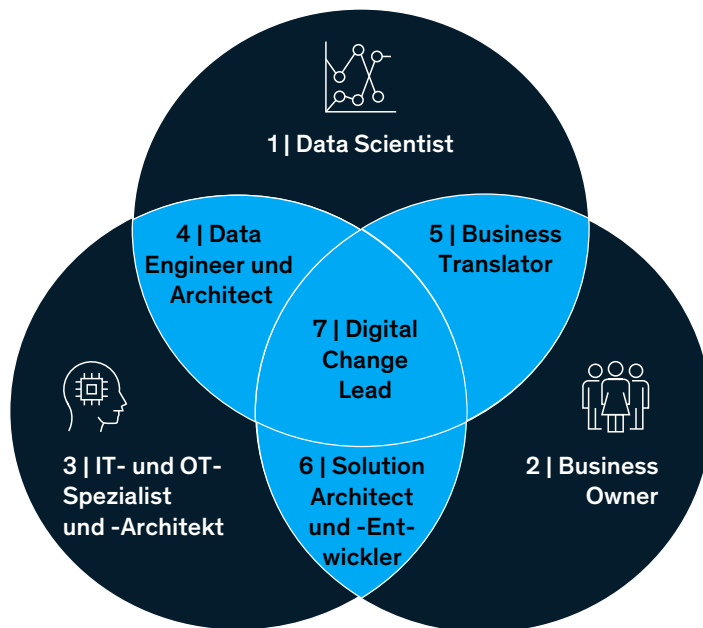
— **Personaltransformation**

- Rollen- und Kompetenzprofile definieren, die das integrierte Betriebsmodell und die integrierte Governance unterstützen
- Schulungsansatz für die bestehenden Ressourcen definieren und einen langfristigen Personalgewinnungsplan ableiten.

▶ **Schritt 2: Kompetenzdefizite ermitteln und beheben**

Um mit einer digitalen Transformation in der Produktion einen nachhaltigen Mehrwert zu erzielen, verschieben sich die Jobprofile bei direkten und indirekten Mitarbeitern, insbesondere in den Werken, in Richtung IIoT und digitale Fähigkeiten. Deshalb sind die erforderlichen Rollen und Fähigkeiten der künftigen Organisation zu definieren. Insbesondere müssen die richtigen Fähigkeiten für Entwicklung, Bereitstellung und Umsetzung digitaler Use Cases vorhanden sein. Data Scientists, IT/OT-Experten und Business Owners müssen Hand in Hand arbeiten, und auch hier gilt es, neue Rollen zu etablieren (Abbildung 15).

Neues Personalparadigma an der Schnittstelle zwischen klassischen Funktionen



Rollenbeschreibung

- 1 Schafft analysefähige Datenstrukturen und setzt Advanced-Analytics-Modelle um, um Informationen zu gewinnen und künftige Ereignisse vorherzusagen
- 2 Trägt als funktionaler Nutzer Business-Input zur Entwicklung bei und verantwortet später die Use Cases
- 3 Managt die technischen Aspekte der Automatisierungsprojekte und der Technologielandschaft
- 4 Managt die Dateninfrastruktur inkl. Sicherstellung robuster Datenpipelines und Entwicklung von Funktionen; bereinigt und strukturiert Daten
- 5 Identifiziert digitale Potenziale und managt die Schnittstelle zwischen Business und Data Scientists bei der Iteration von Modellen und Erkenntnissen
- 6 Gestaltet und entwickelt Lösungsarchitektur und Benutzerschnittstelle
- 7 Koordiniert Ressourcen und Anforderungen, um geschäftlichen Nutzen zu realisieren

Quelle: McKinsey

Data Engineers, Business Translators und Solution Architects sind nur einige der neuen Rollen, die notwendig sind (Abbildung 16), aber in nicht digitalen Produktionsunternehmen in der Regel nicht vertreten sind. Neben Neueinstellungen ist auch die vorhandene Belegschaft beim Aufbau der Fähigkeiten zu berücksichtigen: So können etwa Ressourcen umverteilt und bestehende Mitarbeiter geschult und neu qualifiziert werden. Viele der erforderlichen künftigen Rollen sind eine Weiterentwicklung von Fähigkeiten, die bereits vorhanden sind, z.B. Use-Case-getriebene Prozessveränderungen, die von Prozessingenieuren implementiert werden, oder OT-Konnektivität und -Nachrüstung, die neu zur Rolle des Wartungs- oder Automatisierungstechnikers hinzukommen.

Abbildung 17 zeigt ein Beispiel für Synergien zwischen alten und neuen Rollen. Gezielte Trainings für Mitarbeiter aus unterschiedlichen Bereichen sind unerlässlich. Dies erfordert eine sorgfältige Abwägung der (oft völlig) unterschiedlichen Niveaus und Wissensarten. Ein erster allgemeiner Teil der Trainings kann daher dazu beitragen, allen eine grundlegende Wissensbasis zu vermitteln, bevor der stärker spezialisierte Teil der Schulung beginnt.

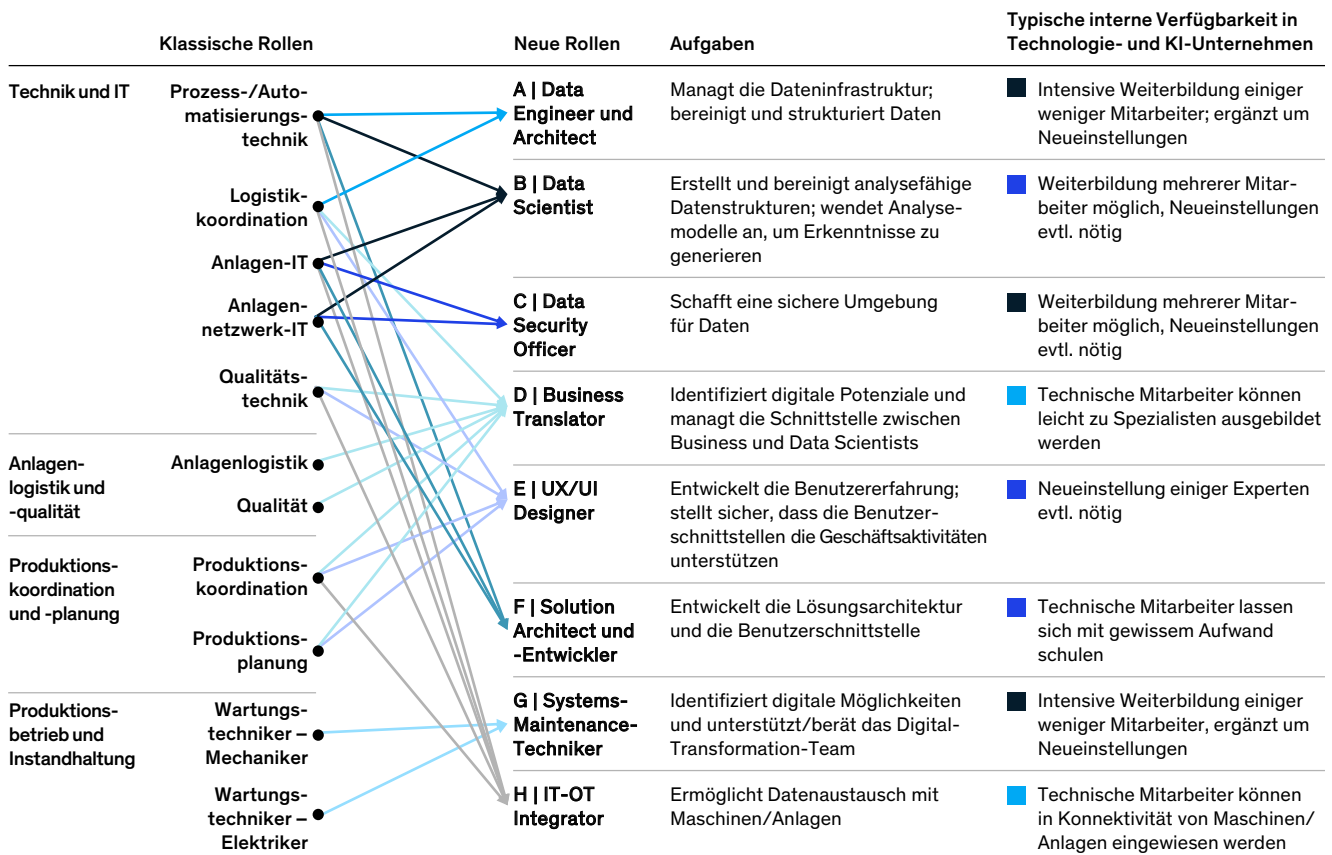
► Schritt 3: Rollenverschiebungen managen und mit einem Change-Prozess ein Umdenken über Hierarchieebenen hinweg fördern

Die Belegschaft so zu transformieren, dass sie den neuen, in Zukunft erforderlichen Kompetenzkanon abdeckt, erfordert ein sorgfältiges Management des Übergangs in neue Rollen. Dieser Prozess umfasst eine Definition aller erforderlichen Fähigkeiten und die Konzeption von Entwicklungspfaden. Die Entwicklungspfade sollten im Detail definiert und für alle Mitarbeiter vollständig

Neue Rollen können nach entsprechenden Weiterbildungsmaßnahmen zum Teil mit vorhandenen Mitarbeitern besetzt werden

Beispiel

Besetzung neuer Rollen mit vorhandenen Mitarbeitern ■ Leicht ■ Mittel ■ Schwer



Quelle: McKinsey

transparent gemacht werden. Eine klare Perspektive für die individuelle berufliche Entwicklung und die künftigen Anforderungen trägt dazu bei, dass die Mitarbeiter Vertrauen in die neue Technologie setzen und sie unterstützen. Damit die gesamte Belegschaft das Potenzial des IIoT voll ausschöpft, ist ein Veränderungsmanagement-Prozess erforderlich.

Organisationen, die eine digitale Transformation in der Produktion angehen, müssen anerkennen, dass die Personaltransformation der Belegschaft kein „Nebeneffekt“ ist. Sie betrifft die gesamte Organisation in ihrem Kern: Bis zu 90% der Beschäftigten (vor allem in den Werken) sind von Trainings, Neuqualifizierungen oder von Neueinstellungen externer Talente betroffen (Abbildung 17).

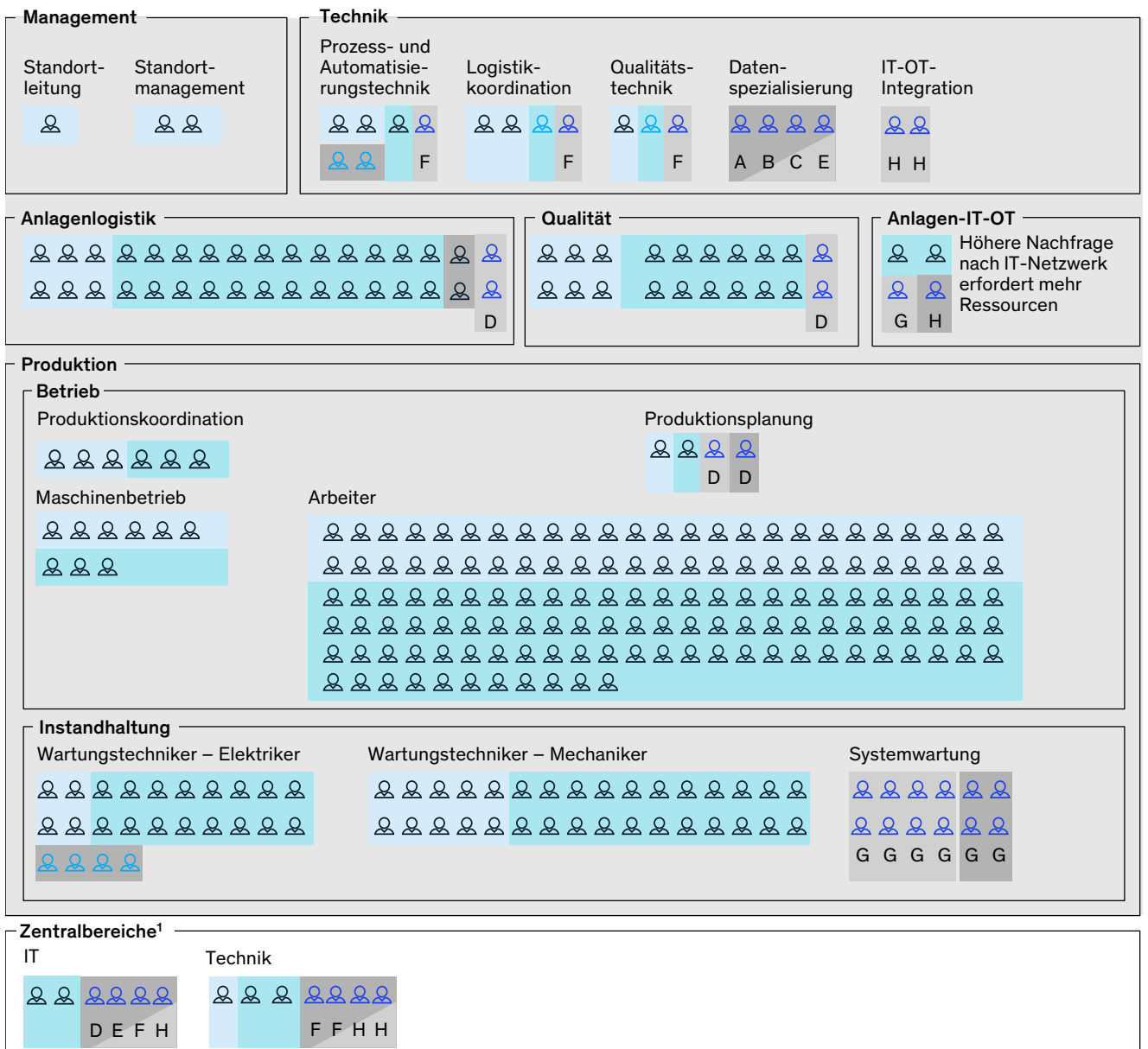
Die richtigen Fähigkeiten innerhalb der Organisation aufzubauen und die Belegschaft zukunftsfähig aufzustellen, ist einer der wichtigsten Erfolgsfaktoren in dem Bestreben, eine nachhaltige geschäftliche Wirkung zu erzielen. Insbesondere in großen Unternehmen ist ein gut konzipierter und umgesetzter Wandel der Belegschaft entscheidend für die Gesundheit des Unternehmens. Aspekte, die bei diesem Wandel eine Rolle spielen, sind z.B. die Motivation und die Zufriedenheit der Mitarbeiter und das Bewahren von Wissen und Fähigkeiten. Sowohl die geschäftliche Wirkung als auch die Gesundheit des Unternehmens sind entscheidende Erfolgsfaktoren bei einer digitalen Transformation in der Produktion.

Das Werk der Zukunft kann seinen Personalbedarf durch Fort- und Weiterbildung sowie Neueinstellungen decken

10 - 25%	50 - 65%	10 - 15%	15 - 20%
Keine Maßnahme erforderlich Fähigkeiten sind bereits vorhanden, weil sich die Rollen kaum verändern – gilt meist für Leitungsfunktionen und Koordinatoren	Weiterbildung Kenntnisse und Fähigkeiten für neue Aufgaben vorhandener Rollen lassen sich intern durch einen abgeschlossenen Lernpfad aufbauen – wichtige Strategie für Rollen im gesamten Werk	Umschulung Kenntnisse und Fähigkeiten für neue Rollen lassen sich intern durch Identifizierung und Weiterbildung geeigneter Mitarbeiter aufbauen – neue Rollen in IT, Technik und Instandhaltung können so besetzt werden	Neueinstellung Fähigkeiten können nicht intern durch Fort- und Weiterbildung aufgebaut werden und müssen durch Neueinstellungen bezogen werden – gilt v.a. für digitale Rollen mit starkem IT-Bezug

Zielzustand

● Betrieb
 ● Vorhandene Mitarbeiter
 ● Zusätzliche Mitarbeiter
 ● Neue Rollen
 × Rollenbezeichnung in Schaubild 16



1. Doppelte Berichtslinie von internen Rollen des Werks zur zentralen IT, um isolierte Entwicklung von Lösungen in getrennten Geschäftseinheiten zu vermeiden

Quelle: McKinsey



3 Technologie

Nachdem wir den Business Case für die industrielle Stack-Entwicklung – und die dadurch ermöglichten Use Cases – erläutert haben, konzentrieren wir uns in diesem Abschnitt auf die Technologie auf den drei Ebenen Dateninfrastruktur, Cloud-Integration und Ökosystem.

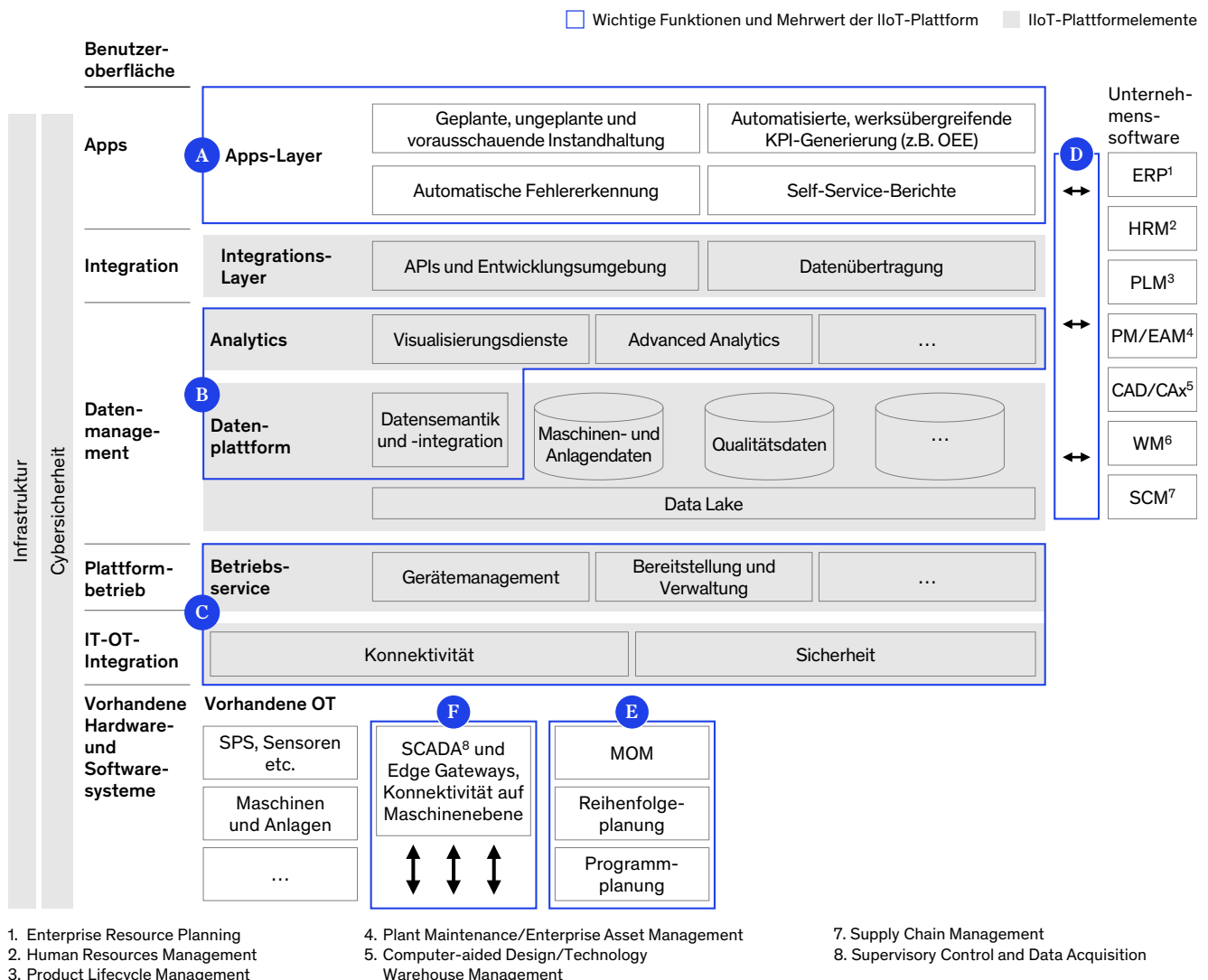
3.1 IIoT und Dateninfrastruktur: Plattform designen (inklusive IT-OT-Cybersicherheit)

Beim Designen der Plattform geht es primär darum, die künftige Zielarchitektur für die IIoT-Plattform zu konzipieren (Textbox 4). Diese Zielarchitektur deckt alle relevanten technischen Voraussetzungen der ermittelten Use Cases ab und basiert auf den in der IIoT-Plattform erfassten Daten und Entscheidungsschemata im Kontext der Brownfield-Fertigungsumgebung (Abbildungen 18 und 19).

Abbildung 18

Die Zielarchitektur eines Produktionsunternehmens integriert ERP, MOM, PLM und IIoT in einer Plattform

Beispiel: IIoT-Plattform in Produktion und Logistik



Quelle: McKinsey

Das Design der Plattform erfordert daher vor allem zwei Dinge: Erstens die Kenntnis, welche Fortschritte die IIoT-Plattformtechnologie bei der Industrieautomatisierung und IT-OT-Integration bietet und warum; zweitens gut definierte und priorisierte Use Cases, die als erste implementiert werden.

Abbildung 19

Für die Zielarchitektur und den Implementierungsfahrplan sind vorab mehrere zentrale Aspekte zu klären und auszuarbeiten

Wichtige Funktion

A

Fähigkeiten und Apps-Layer

Anwendungen für bestimmte Use Cases, die auf einer standardisierten Plattformfunktion aufsetzen, z.B. vorausschauende Instandhaltung oder automatische Fehlererkennung

Apps externer Hersteller oder Plattformbetreiber, die den Nutzern über einen App-Store zur Verfügung stehen, z.B. OEE für Maschinen

B

Analytics- und Datenplattform

Standardisierte (Self-Service-) Berichts-, Analytics-, Visualisierungs- oder Standortdienste, die über API für alle Apps zur Verfügung stehen und auf Algorithusbibliotheken beruhen

Datenintegration und -harmonisierung unter Berücksichtigung der Semantik verschiedener Protokolle und Maschinen

C

Betrieb

Hochskalierbare Dienste für grundlegende Plattformfunktionen, die allen Standorten auf Basis von Mikroservices und APIs zur Verfügung stehen, u.a. Gerätemanagement (z.B. Rechte und Rollen, Zugriffsmanagement), Hosting-Dienste, Bereitstellung und Verwaltung (z.B. Aktivitätsüberwachung, Ressourcennutzung), Konnektivität und Sicherheit (z.B. verschlüsselte Datenübertragung, wichtige öffentliche Infrastruktur, Zertifikate)

D

Integration in Enterprise-IT-Systeme

Schnittstelle zur Unternehmenssoftware wie ERP, SCM, PLM oder CAD durch Aggregation von Daten und Informationen, die in den Apps- oder Analytics- und Datenplattform-Layers in Formaten generiert werden, die von der Unternehmenssoftware bearbeitet werden können

Unternehmenssoftware mit Zugriff auf Analytics- und Datenplattform und eventuell über API auch auf Apps, um Datenverarbeitung durchzuführen, die nicht nativ verfügbar ist

E

Integration der IIoT-Plattform mit MOM

Integration der Plattform mit dem MOM-Layer, um detaillierte Produktionsplanung, Schichtpläne, Reihenfolgeplanung, Produktionslinienplanung, Konfiguration und Statusinformationen zu unterstützen – Input für operative Analytics (Qualität, Anlagenverwaltung, OEE) und andere individualisierte Anwendungen

F

SCADA, Edge Gateways und Konnektivität auf Maschinenebene

Daten-Routing und Datenaustausch mit Edge-Geräten und Maschinen, inkl. Software zur Priorisierung von Datenströmen in der Weiterleitung von Roh- oder vorverarbeiteten Daten an die Cloud

Routing, Priorisierung und Speicherung von Daten durch eigene Verarbeitung und Speicherung in Edge Gateways

Leichte Integration von Geräten in die Plattform per Plug & Play

Textbox 4: Plattform

In der Regel besteht eine Plattform aus Software und Hardware; dazu können eine Betriebsumgebung, Speicher, Rechenleistung, Sicherheitsvorkehrungen, Entwicklungstools und zahlreiche andere allgemeine Funktionen gehören (Abbildung 20).

Plattformen sind nützlich, weil sie zahlreiche allgemeine Funktionen von der Anwendungslogik des jeweiligen Einzelfalls auf eine allgemeine und abstrakte Ebene heben. Anwendungsentwickler können sich ausschließlich auf das konkrete Problem konzentrieren, an dem sie gerade arbeiten, und nutzen allgemeine Fähigkeiten in den Bereichen Rechenleistung, Speicher oder Sicherheit. Somit senkt eine gute Plattform die Entwicklungs- und Wartungskosten einzelner Anwendungen enorm.

Abbildung 20

Zur Entmystifizierung der Plattform – Überblick über alle Basistechnologien zur Unterstützung von Apps und Analytics

Plattform

Plattform kann vor Ort, als unternehmensinterner Service oder von einem externen Dienstleister gehostet werden

Layer	IloT-Automatisierungs-Stack	Technologie-Stack	Komponenten								
Enterprise und Design (unternehmensweit, inkl. Zulieferer)	Cloud	Cloud-Apps	Apps	Apps für Unternehmen und Verbraucher	App Store	Self-Service-Portal/UI					
				Analytics und Visualisierung	Datenorchestrierung	Hadoop	Maschinelles Lernen				
Operations Mgmt. (Werks-ebene)	„Lokale“ Software	IoT/Cloud-Plattform	SW-Infrastruktur und Apps	Cloud-Infrastruktur	Datenverarbeitung	Protokoll-normalisierung	Daten-Caching/-Speicherung	Datenvalidierung	Daten-Logging	Apache Hadoop	
					Datenspeicherung	Relationale DB	Nicht-relationale DB	Operational Data Stores	Datensicherung und DWH	Datenindizierung	Orchestrierung und Sicherheit
				Systemlösungen	API-Management	API Publishing und Discovery	Tokenisierung/Authentifizierung	API Analytics/Reporting	Entwickler-Tools/-Portal		
Steuerung und Kontrolle (Linien-ebene)	Embedded	Konnektivität	Konnektivität	Unterstützungsplattform	App Engine	SDK	Suche und Abfrage	Benutzer-authentifizierung	BLOB-Management	Algorithmen-Engine	
					Geräte-management	Registrierung und Passwort-mgmt.	Richtlinien-mgmt., Schlüssel-rotation	Authentifizierung	Log-Verfolgung	Konfigurations-mgmt.	Patches/Updates
Fertigungsbereich (Maschinen-ebene)	Embedded	Smart-Sensoren	Hardware (und Embedded Software)	Geräte/Verpackung	Backhaul	2G/3G/4G/LTE/5G	LTE-U	Drahtgebunden			
					Lokal	WLAN	BT	NFC	802.15.4 (Zigbee)	Infrarot	DSRC
Fertigungsbereich (Maschinen-ebene)	Embedded	Maschinen/Hardware	Hardware (und Embedded Software)	Geräte/Verpackung	Sicherheit	Endpunktsicherheit und IAM	Erkennung von Bedrohungen	Identitäts- und Zugangs-mgmt.	Antivirensoftware		
					On-Device-Software	SDK (inkl. Libraries Message Bus)	HDK	RTOS	Firmware, Treiber	OS	API
Fertigungsbereich (Maschinen-ebene)	Embedded	Maschinen/Hardware	Hardware (und Embedded Software)	Board-Komponenten	Smart-Sensoren	Prozessoren	Sensoren/AFE	Modem	Sicherer Bootloader	Daten-Caching/-Speicherung	Aktoren
					Maschinen/Hardware	Prozessoren	Sensoren/AFE	Modem	Sicherer Bootloader	Daten-Caching/-Speicherung	Aktoren

Quelle: McKinsey

IloT-Plattformtechnologie bietet Fortschritte bei Industrieautomatisierung und IT-OT-Integration

Seit Jahrzehnten wird in zahlreichen Branchen weltweit massiv in IT investiert, um die Kosten zu senken, die operative Effizienz und Visibilität zu verbessern und letztlich den Gewinn zu steigern. Damit hat die IT die Grundlage für das digitale Unternehmen geschaffen, also eine Organisation, die sich sowohl bei internen als auch bei externen Abläufen mit Technologie einen Wettbewerbsvorteil sichert. Doch während die IT früher vor allem die Bereiche der betrieblichen Verwaltung betraf – Finanzen, Buchhaltung, Human Resources, Produktivität von Büroangestellten usw. – nutzt ein („voll“) digitales Unternehmen heute IT und vernetzte Geräte auch dort, wo das Unternehmen tatsächlich einen Mehrwert für die Kunden schafft; bei einem Fertigungsunternehmen sind das z.B. Produktion, Design und Service.

Unternehmen haben bereits massiv in OT investiert.¹⁵ Der Großteil davon floss in immer intelligenteren Maschinen und Systemen, um Teile der diskreten Fertigung und kontinuierliche Prozesse zu automatisieren. Dazu gehören Automatisierungssteuerung und allgemeine OT-Managementplattformen, um die Leistung der OT effizient steuern, überwachen und optimieren zu können und die Anlagenauslastung zu maximieren.

Im Bereich der IT-OT-Integration arbeiten viele Fertigungsunternehmen bereits seit einiger Zeit mit MOM-Systemen. Sie liefern minutengenau, oft sogar in Echtzeit, exakte produktionsbezogene Daten, etwa zur Gesamtanlageneffektivität, zu den Produktionskosten, Wartungszwischenfällen und zum Qualitätsstatus. Eine Zeit lang waren die Ergebnisse zufriedenstellend; sie verbesserten die Visibilität und ermöglichten eine bessere Steuerung der alltäglichen betrieblichen Abläufe, z.B. Planungsanpassungen.

Dann entstanden jedoch neue Herausforderungen, als die Globalisierung und das zunehmende Outsourcing zu global verteilten Produktions- und Lieferketten führten. Seitdem reichen MOM-Systeme für einzelne Werke nicht mehr aus, weil die operativen Abläufe und Kennzahlen über alle Fertigungslinien und Werke hinweg einheitlich sein müssen.

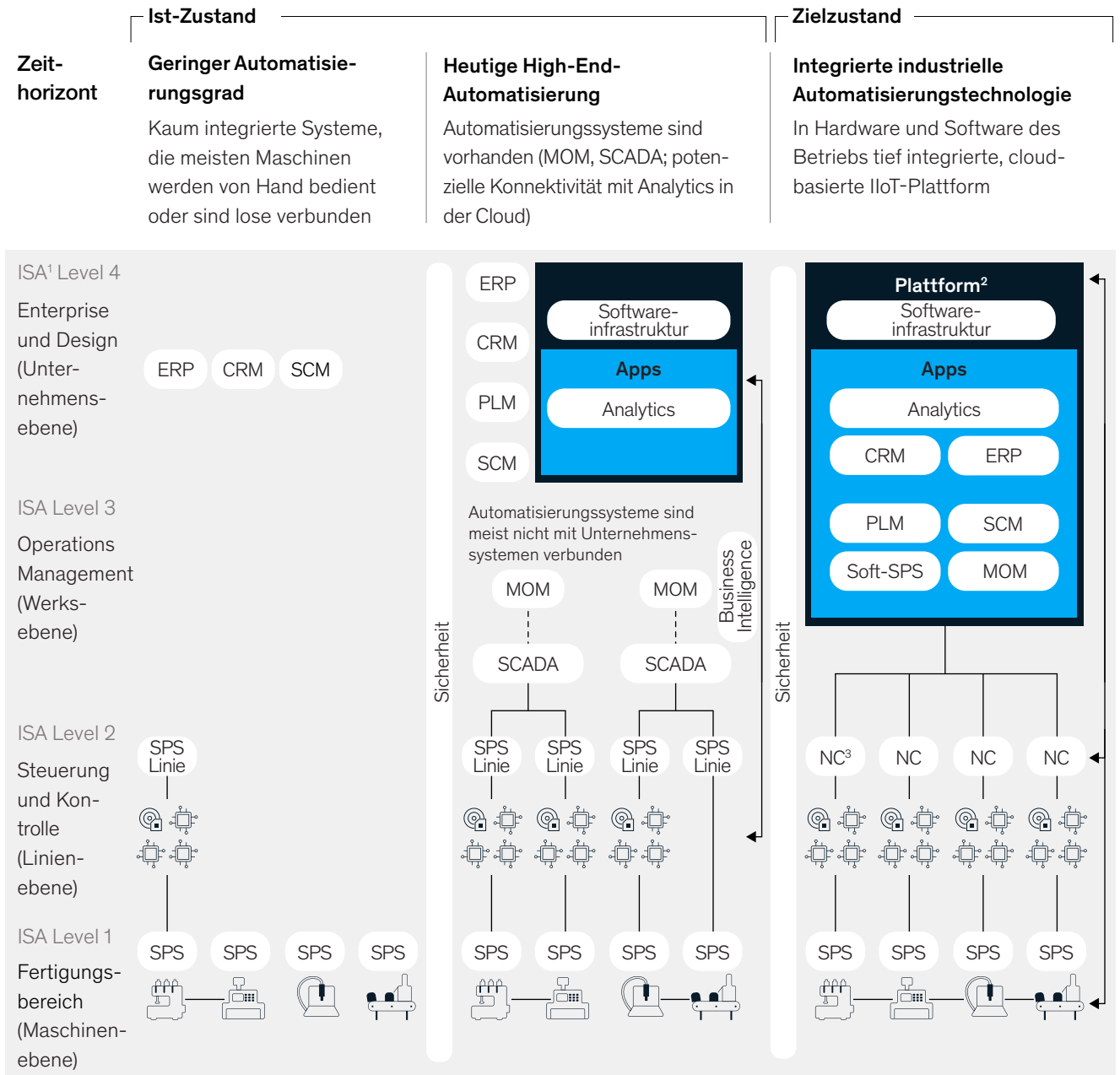
Wer das Wertpotenzial des IloT voll ausschöpfen will, braucht Integrationsansätze, die deutlich mehr bieten als Automatisierungsabläufe

Eine Verbindung von IT und OT würde ein umfassend digitalisiertes Unternehmen ermöglichen. Die vollständige Integration der beiden Strukturen bildet die Grundlage für eine schnelle, zuverlässige, sichere und moderne IloT-Plattform (Abbildung 21). Leider gestaltet sich der Datenaustausch zwischen diesen beiden Bereichen für allzu viele Unternehmen schwierig, weil die beiden Netzwerkinfrastrukturen weder auf dem neuesten Stand noch ausreichend vernetzt sind.

¹⁵ Für weitere Informationen zu OT im Allgemeinen und zur Terminologie sowie IT- und OT-Standards der International Society of Automation (etwa ISA-95) im Besonderen siehe: „ISA95, Enterprise-Control System Integration“, International Society of Automation, 2020, „<http://www.isa.org/isa95/>“ www.isa.org/isa95/

Abbildung 21

Der traditionelle Technologie-Stack wird mit einer IIoT-Plattform vernetzt und digital aktiviert



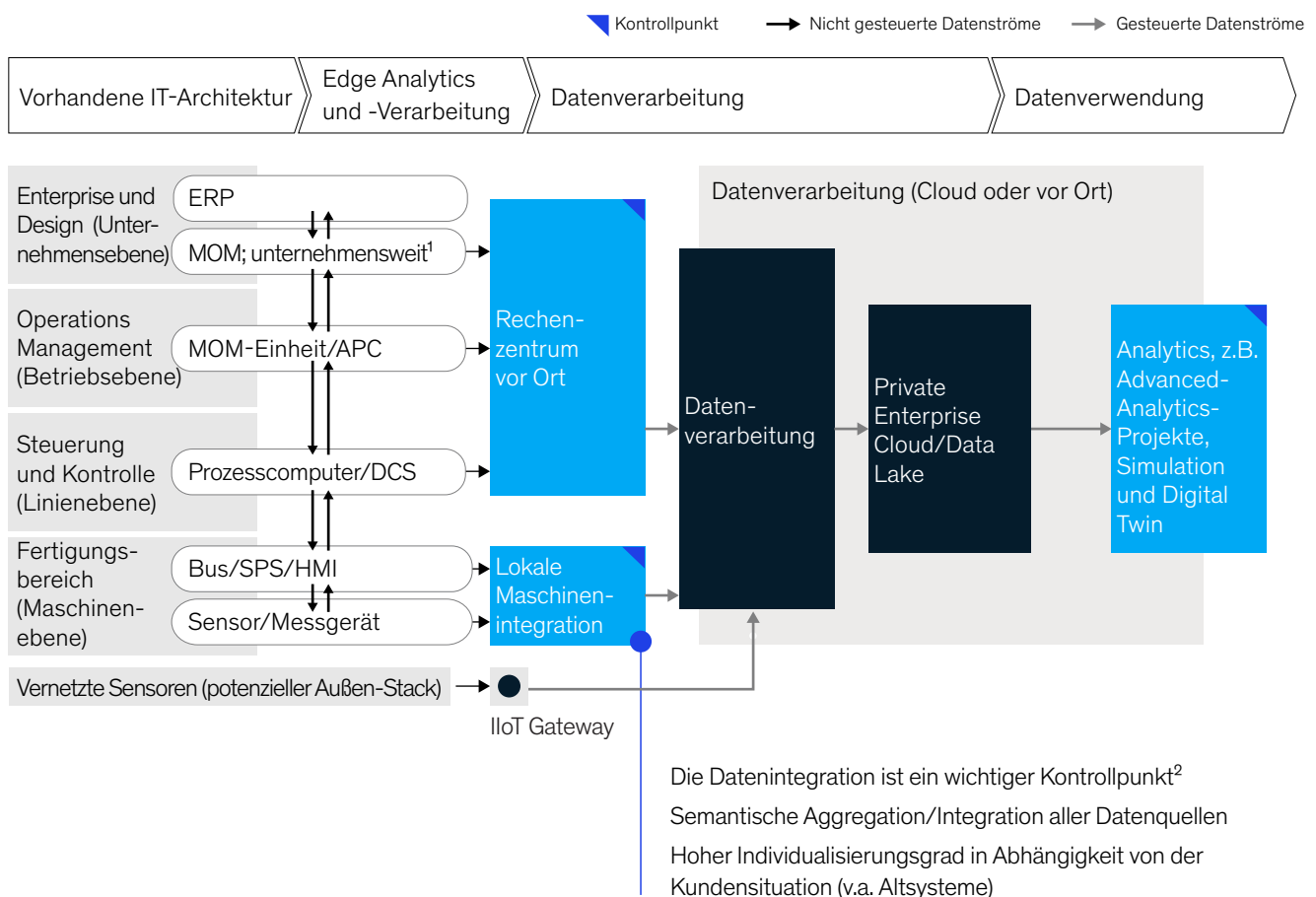
1. International Society of Automation
2. Plattform kann vor Ort, als unternehmensinterner Service oder von einem externen Dienstleister gehostet werden
3. Numerical Control

Quelle: McKinsey

Gleichzeitig brauchen die Hersteller nicht nur einen Informationsaustausch, sondern auch einen Datenmodellstandard mit lückenloser Transparenz in allen Werken und Regionen. Darüber hinaus benötigen sie ausreichend Kontrollmöglichkeiten, um operative Abläufe mit Auswirkungen auf die Lieferkette über ein heterogenes Umfeld aus IT, OT und Anwendungssystemen sowie ein dezentrales Unternehmen hinweg anstoßen und steuern zu können. Beim traditionellen Automatisierungs-Stack bestehen also nach wie vor Herausforderungen, vor allem bei Unternehmen mit diskreter Fertigung. Auch bei der zu Grunde liegenden Datenarchitektur gibt es noch Schwierigkeiten. So muss die Datenarchitektur auf allen Ebenen – vom Unternehmen über Werke und Fertigungslinien bis hin zu einzelnen Maschinen – sämtliche Datenaktivitäten von der Erhebung bis zur Nutzung unterstützen (Abbildung 22).

Abbildung 22

Der industrielle Automatisierungs-Stack erfordert eine geeignete Datenarchitektur



1. Sofern vorhanden

2. Ausgehend vom aktuellen Redundanz- und Latenzbedarf, der für 100%ig cloudbasierte Lösungen bisher nicht gegeben ist

Quelle: McKinsey

Einige dieser Herausforderungen erfordern Softwarelösungen, die ein Unternehmen bei der Auswahl seiner Architektur und digitalen Fertigungsplattform priorisieren kann. Letztlich müssen Fertigungsunternehmen entscheiden, wie effektiv und reaktionsschnell ihre betriebliche Infrastruktur ist und wie gut die Leistung dieser Infrastruktur die Geschäftsstrategie des Unternehmens unterstützt. Nach einer Analyse der aktuellen Infrastruktur muss das Unternehmen sich für einen der zahlreichen Wege entscheiden, die zu einem vollintegrierten Automatisierungs-Stack führen.

Vor diesem Hintergrund sind die folgenden vier Fragen von entscheidender Bedeutung für die Konzeption des Plattformkerns und für die Cybersicherheit. Zu jeder dieser Fragen werden im Folgenden Lösungsansätze präsentiert, die alle dem gleichen vierstufigen Ansatz folgen.¹⁶

- Welche Lücken gibt es in der aktuellen Bestands-/, „Brownfield“-Umgebung bei der Integration von operativen Daten (OT-System), die für die Umsetzung der priorisierten Use Cases geschlossen werden müssen?
- Wie lassen sich bestehende und neue (IT-)Anwendungen und Datenquellen in einer gemeinsamen Plattform zusammenführen?
- Welcher Dienstleister sollte für die Implementierung der IIoT-Plattform (oder ihrer Komponenten) und die Integration von Datenströmen gewählt werden?
- Wie lassen sich Cybersicherheits-Herausforderungen bei der Zusammenführung von IT und OT wirksam meistern?

▶ Schritt 1: Aktuelle IT- und OT-Brownfield-Umgebung vollständig bewerten

Zunächst ist genau zu ermitteln, wo und inwiefern das aktuelle System die priorisierten Use Cases nicht unterstützt. Es gibt zwei Datenquellen, die im Hinblick auf Use Cases und Entscheidungsstrukturen analysiert werden müssen: OT, die sich in der Produktion findet – von Sensoren bis hin zu SPS und Edge-Devices – und IT in Form von übergeordneten Systemen wie ERP, Supply Chain Management, Anlageninstandhaltung, MOM und Produktlebenszyklus-Management.

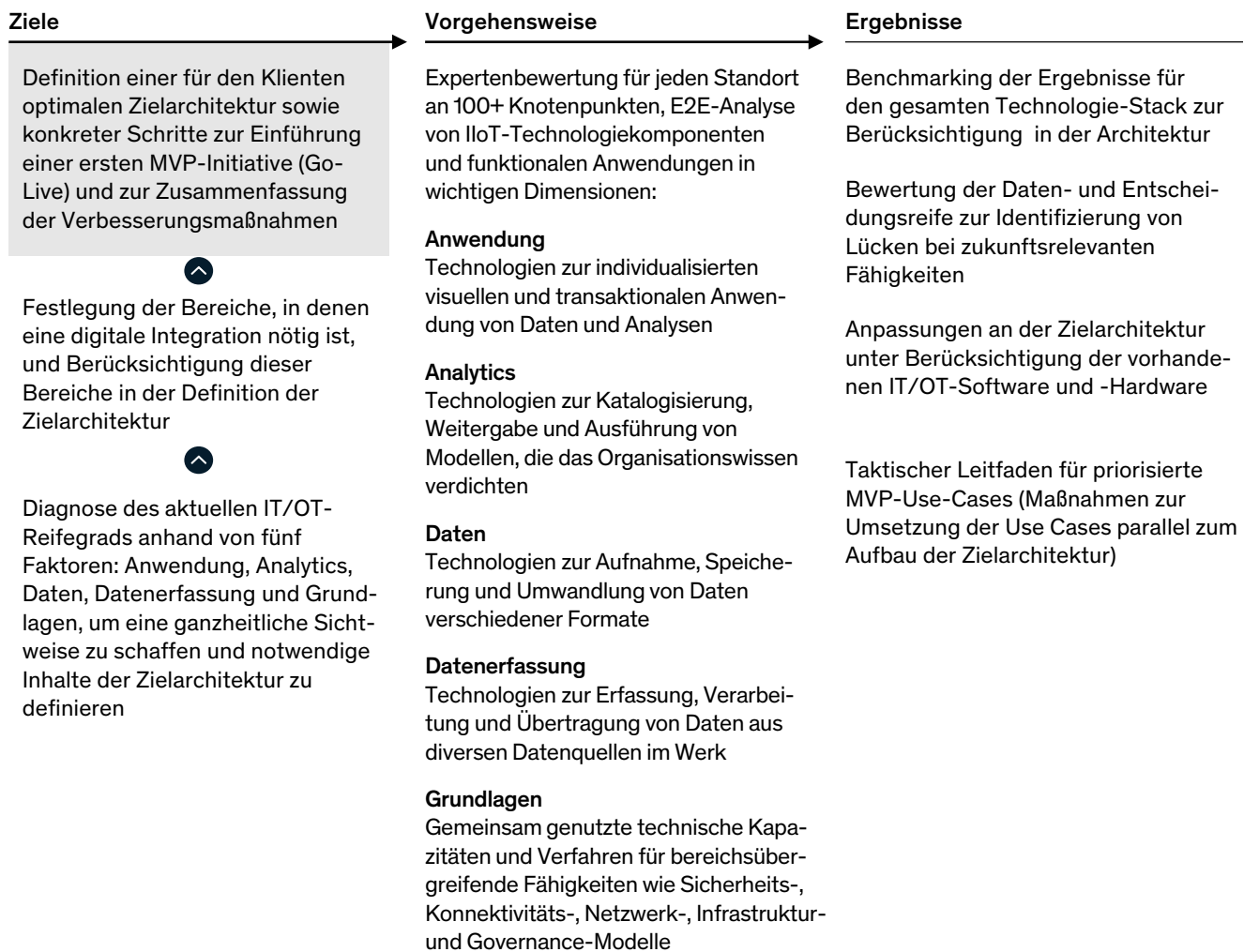
Die technischen Dimensionen des IIoT-Technologie-Stacks erfordern eine gründliche Analyse der IT-/OT-Umgebung (Abbildung 23). Dabei liegt das Hauptaugenmerk auf einer Bewertung der Optionen für die technische Integration in Bezug auf folgende Punkte:

- Datenerhebung in funktionalen Systemen mit operativen Daten, d.h., welche Technologien können Daten erfassen, bearbeiten und aus Datenquellen in andere Bereiche des Werks schicken?
- Konnektivität über unterschiedliche Werksnetzwerke und Maschinen hinweg, um eine sichere Anbindung zum IT-Netzwerk und darüber hinaus zu ermöglichen
- Dateninfrastruktur, d.h., welche Technologien stehen zur Verfügung, um Daten in unterschiedlicher Form aufzunehmen, zu speichern und zu transformieren?
- Analyseumgebung, die nach einem Standard für agile Umsetzung entwickelt wurde, um Modelle im gesamten Datenwertstrom anzuwenden
- Anwendungsumgebung für den Einsatz transaktionaler Fähigkeiten für Daten und Erkenntnisse, die nach einem Standard für agile Umsetzung entwickelt wurde.

¹⁶ Siehe auch Eric Lamarre und Brett May, „Making sense of Internet of Things platforms“, McKinsey & Company, 12. Mai 2017, <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/making-sense-of-internet-of-things-platforms>

Die standardisierte Bewertung der IT-OT-Reife bildet die Grundlage für eine ganzheitliche, optimierte Architektur

■ Hauptziel ⬆️ Vorstufen der MVP-Beschleunigung



Quelle: McKinsey

Die OT-Analyse befasst sich primär mit zwei Fragen: Welche Datenquellen stehen auf der Produktionsebene zur Verfügung? Und: Wie sollten sie miteinander verknüpft werden? Wichtige Dimensionen für die Analyse sind:

- Verfügbare Maschinensensordaten und ihre Eigenschaften (z.B. Häufigkeit, analog/digital, Auflösung, erforderliche Bandbreite)
- Verfügbare Anbindungen von Anlagen und Maschinen an das Standortumfeld (z.B. keine Anbindung, kabelgebunden, drahtlos) und Verbindungseigenschaften (z.B. Kommunikations-Port, interne Festplatten, Kommunikationsprotokolle)
- Bereits erhobene Daten und Kontextualisierung (d.h. Entscheidungsgrundlage).

Zu den typischen Herausforderungen bei einer solchen Analyse ist, dass es unterschiedliche Sensoren, Kommunikationsprotokolle, Schnittstellen usw. gibt, die auf einer gemeinsamen Plattform zusammengeführt werden müssen. Dieses Maß an technischer Komplexität erfordert die Fachkompetenz von fähigen OT-Architekten, Data Architects und Data Engineers. Auf der anderen Seite erfordern Use Cases unter Umständen Daten, die bisher nur in unzureichendem Maße oder gar nicht erfasst werden (z.B. Vibrationsanalyse in höheren Frequenzbändern); dafür müssen zusätzliche Sensoren installiert werden.

Um sicherzustellen, dass die Voraussetzungen erfüllt sind, um das Wertpotenzial zu erschließen und die geschäftlichen Top-down-Ziele der IIoT-Lösung zu erreichen, sollte eine vollständige Gap-Analyse im gesamten Technologie-Stack durchgeführt werden. Das Gesamtrisiko und der Wert, der auf dem Spiel steht, nehmen im Technologie-Stack von oben nach unten stetig zu, also hin zu den OT-Systemen, die die Wertschöpfung physisch vorantreiben.

Bei der IT-Analyse geht es primär um die Frage, wie Altsysteme in die IIoT-Systeme integriert werden, damit Daten angereichert und bestehende Schnittstellen genutzt werden können. Automatisierte Anlagen, MOM, Produktlebenszyklus-Management, ERP und andere Systeme müssen integriert werden, um folgende Ziele zu erreichen:

- **Produktanpassung.** Rapid Design und Anpassung von unterschiedlichen Produkten
- **Flexible Produktion.** Effiziente und gemischte Fertigung für unterschiedliche Produkte
- **Mehrwertdienste.** Wertschöpfung durch Big-Data-Analysen.

Dies erfordert unter Umständen einen individuellen Adapter oder API, der die Kommunikation zwischen den Altsystemen und der IIoT-Plattform ermöglicht; im Vordergrund steht dabei, korrekt bezeichnete Daten zu haben (insbesondere mit Zeitstempel), um diese im Datenmodell der IIoT-Plattform nutzen zu können.

Standards für Schnittstellen, Kommunikationsprotokolle usw. sind in Referenzarchitekturen festgeschrieben, die von den IIoT-Plattformanbietern bereitgestellt werden. Diese Angebote haben in der Regel den Vorteil, dass die gesamte IIoT-Plattform von einem einzigen Anbieter mit einem einheitlichen Technologie-Stack bereitgestellt wird. Allerdings entsteht dadurch eine Bindung an diesen Anbieter („Lock-in“) und es drohen Defizite in Bereichen, die nicht zu den Kernkompetenzen dieses Anbieters zählen. Vor dem Hintergrund der besonderen Umstände des aktuellen Umfelds und aus strategischen Gründen ist auch ein Best-of-Breed-Ansatz möglich, bei dem für jeden Fall oder jede Anbindung der jeweils beste Anbieter ausgewählt wird. Dies erhöht allerdings die Gesamtkomplexität (z.B. bei der Instandhaltung der Plattform) und die Gesamtkosten (Total Cost of Ownership).

▶ Schritt 2: Zielarchitektur für gewünschte Use Cases konzipieren

Bei diesem Schritt wird die künftige Zielarchitektur entlang des Technologie-Stacks entwickelt. Mit dem Ziel, Datenströme zu ermöglichen, wird dabei definiert, wie Daten erfasst, verknüpft und aus der Fertigungsebene in die IIoT-Plattform aufgenommen werden.

Erfassung

Die größte Herausforderung beim Zusammenführen von isolierten und funktional getrennten Datenquellen in einem IIoT-Lösungs-Stack sind die sehr unterschiedlichen Anforderungen von OT- und IT-Systemen. Diese Unterschiede gehen zurück auf die Eigenschaften der produzierten und verarbeiteten Daten: erforderliche Geschwindigkeit, relative Bedeutung, Quantität und Komplexität. Früher waren OT-Systeme von den IT-Systemen ausgeschlossen, weil sie einen deterministischen und wiederholbaren Datenaustausch zwischen

Spezialsystemen mit hoher Geschwindigkeit erfordern. OT-Systeme einfach an eine größere IIoT-Lösungsarchitektur „anzuschließen“, könnte im schlimmsten Fall zu Maschinenausfällen und Sicherheitsverstößen führen, wenn die funktionalen Anforderungen der drei genannten Eigenschaften nicht sorgfältig berücksichtigt wurden.

Vor dem Hintergrund, dass die Einbindung von bestehenden Brownfield-Datenquellen eine der größten Herausforderungen bei der Digitalisierung auf Fertigungsebenen ist (Textbox 5), bemühen sich Anbieter von Plattformen, Software und Spezialanlagen mit erheblichem Aufwand, Zugang zu bestehenden Daten zu ermöglichen. Es existieren jedoch bereits standardisierte Schnittstellen mit den meisten proprietären Kommunikationsschnittstellen, die sich von IIoT-Plattformen nutzen lassen, was die Lösung des Problems erleichtert.

Darüber hinaus wird die Kommunikation von Edge Devices untereinander und mit der Plattform mit Standards wie OPC Unified Architecture (OPC UA) harmonisiert. Dieser anbieterunabhängige, offene Kommunikationsstandard wird von allen relevanten Branchensegmenten als De-facto-Standard bezeichnet. Er ermöglicht eine einfache Einbindung von Edge Devices auf der Grundlage von klaren Publish-Subscribe-Routinen und unterstützt die höchsten Sicherheits- und Datenstandards. Dazu gehören moderne, leichte Kommunikationsprotokolle wie MQTT, mit denen sich Remote-Geräte mit geringem Programmieraufwand und einer sehr geringen Netzwerkbandbreite einbinden lassen.

Textbox 5: Brownfield-Herausforderung meistern

Eine schnelle Anbindung des bestehenden Brownfield-Produktionsumfelds an die IIoT-Plattform ist eine der grundlegenden Herausforderungen beim Implementieren einer solchen Plattform. Auch wenn dies häufig als „Plug and Play“ angepriesen wird, sollten Unternehmen hier mit einem sorgfältig durchdachten und klar strukturierten Aktionsplan vorgehen. Fehler bedeuten an dieser Stelle nicht nur teure Nachbesserungen und Verzögerungen, sondern führen schnell zu Frust im Team und bösen Überraschungen in späteren Implementierungsphasen, z.B. zu fehlerhaften Sensorwerten.

Die folgenden bewährten Verfahren basieren auf Praxiserfahrungen und können helfen, die Brownfield-Herausforderung zu meistern:

1) Datenanforderungen des Use Case genau klären. Jeder Use Case ist mit unterschiedlichen Datenanforderungen verbunden, die wiederum Anforderungen an die Sensorwerte stellen. Während die Maxime „alles analysieren“ in Situationen mit unbegrenzten Daten hilfreich sein mag, ist dies schlicht nicht möglich, wenn jeder Datenpunkt Kosten für einen neuen Sensor verursacht. Stattdessen sollten Teams ihre Kompetenz einsetzen, um zu klären, welche Daten für den Use Case erforderlich sind, und dabei die Art und die physischen Eigenschaften der Maschinen berücksichtigen (z.B. Überwachung des Zustands von Kugellagern mit einem Vibrationssensor). Sinnvoll ist es, ein Master-Template zu erstellen, die alle erforderlichen Datentypen enthält (Maßeinheit, Datenformate), und die vorgibt, wie häufig sie erfasst, wie sie gespeichert (z.B. auch wie lange) und wie sie verwendet werden.

2) Datenversorgung der einzubindenden Maschinen analysieren. Jede Maschine in der Fertigung hat eine Vielzahl von Sensoren, die für den Standardbetrieb erforderlich sind. Häufig lassen sich die Sensorwerte aber nicht extern abrufen; sie verbleiben im geschlossenen Steuerkreislauf der Maschine und seiner SPS. Auch wenn es Schnittstellen für den Datenaustausch gibt, sind diese zum Teil vom Anbieter gesperrt und für den Nutzer nicht zugänglich. In anderen Fällen bieten sie nicht ausreichend Bandbreite, ermöglichen keinen kontinuierlichen Datenaustausch oder sind schlicht zu alt für eine Anbindung an moderne Schnittstellen.

Erst durch die Analyse der verfügbaren Daten auf Basis des in Schritt 1 erstellten Master-Templates können Lücken gründlich ermittelt werden. Dann sind zusätzliche Sensoren erforderlich, die das Erstellen einer modernen Infrastruktur ermöglichen, unter Umständen aber physische Veränderungen an der Maschine erfordern. Deshalb sollten solche Sensoren immer vorsichtig eingebaut werden (unter Berücksichtigung von Gewährleistung/Garantie).

3) Lücken mit stabilen Lösungen schließen. Häufig stehen mehrere Lösungen zur Verfügung, um die in der Gap-Analyse ermittelten Lücken zu schließen. Denkbar ist es, die SPS einer Maschine um weitere Hardware zu ergänzen, die Datenschnittstellen einer Maschine durch den Hersteller öffnen zu lassen oder neue Sensoren zu installieren. Bei der Auswahl der besten Lösung müssen Unternehmen Anschaffungskosten, Schwierigkeitsgrad der Implementierung und Benutzerfreundlichkeit, aber auch die Stabilität der Lösung selbst berücksichtigen. Manchmal ist ein neuer Sensor vielleicht billig und bietet genau den einen benötigten Wert, fällt aber auf Grund von unvorhergesehenen externen Einflüssen (z.B. Staub) häufig aus. Die gewählte Lösung sollte sich daher in der Praxis bereits bewährt haben.

Konnektivität

Ohne Konnektivität geht im digitalen Raum nichts. Sie macht es möglich, dass Daten mit der nötigen Bandbreite und unter Beachtung anderer Voraussetzungen von der Quelle an den Verwendungsort gelangen. Bei alten Infrastrukturen erweist sich die Konnektivität jedoch häufig als das größte Hindernis, dessen Beseitigung die gleiche Sorgfalt erfordert wie die Auswahl der Geräte für die Zusammenführung der Daten.

Derzeit läuft der Datenaustausch in Produktionsunternehmen noch überwiegend kabelgebunden ab, aber drahtlose Verbindungen sind auf dem Vormarsch. Meist ist WLAN die Funktechnologie der Wahl, und das weiterentwickelte WiFi 6 kommt in Bezug auf Funktionalität und Leistung schon nahe an 5G heran. 5G bietet jedoch Vorteile: zuverlässiges, lizenziertes Spektrum, hohe Bandbreitenverfügbarkeit mit der Einführung von mmWave, Interferenzmanagement und standardisierte Ausrüstung, die das erwartete Leistungsniveau unabhängig von Anbieter und Spezifikation sicherstellt.

WLAN dürfte weiterhin eine wichtige Rolle spielen, da es als Ökosystem im Vergleich zum Mobilfunk deutlich etablierter ist und sich viel einfacher als ein Mobilfunknetz betreiben lässt, mit dem der vertikale Markt häufig keine Erfahrung hat. In Fällen, in denen WLAN jedoch bereits heute an seine Grenzen stößt, interessieren sich viele Hersteller mittlerweile für 5G – z.B. in Szenarien mit sehr vielen Geräten auf engem Raum, komplexem Traffic, missionskritischen Anforderungen an die Funktionalität oder flächenmäßig großem Abdeckungsbedarf. Da WLAN-Netze im nicht lizenzierten Spektrum betrieben werden, bieten sie Geräte- und Softwareanbietern zwar mehr Flexibilität bei den Spezifikationen, dies geht allerdings mit größerer Volatilität in der Leistung einher. Das lizenzierte 5G-Spektrum könnte also für die oben genannten Szenarien die bessere Lösung sein. Ein detaillierter Vergleich zwischen 5G und Konkurrenzstandards findet sich in Textbox 6.

Textbox 6: Das Wertversprechen von 5G an die Fertigungsindustrie

Die Fertigungsindustrie ist an 5G interessiert, weil es gleichzeitig hohe Geschwindigkeiten, extrem niedrige Latenzen und hohe Zuverlässigkeit bietet, eine große Anzahl von Geräten mit verschiedenen Arten von Traffic bedienen kann – und gleichzeitig Verkabelungskosten spart und echte Mobilität für alle Geräte schafft (Abbildung 24).

Abbildung 24

5G bietet der produzierenden Industrie erhebliche Vorteile gegenüber den heute verwendeten Konnektivitätstechnologien

	Mobilität	Hinzufügen von Geräten/ Sensoren	Latenz ²	Jitter	Durchsatz	Spektrum ³
Fixed / Ethernet	Begrenzt durch Kabel	Komplex durch Neuverkabelung	< 1 ms	~ 40 µs	10+ Gbps	Entf.
WiFi 5	Ja, geringere Reichweite im Vergleich zu 5G im gleichen Spektrum	Einfacher als bei Kabel	~ 30 ms	< 30 ms	~ 3 Gbps	Ohne Lizenz Bis zu 120 MHz Bandbreite
WiFi 6			~ 10 ms	< 10 ms	10+ Gbps	
5G ¹	Ja	Einfacher als bei Kabel	< 1 ms	10 - 100 µs	10+ Gbps	Mit Lizenz 100 - 500+ MHz Bandbreite je nach Band

1. Mittleres Frequenzband oder mmWave vorausgesetzt

2. Prüfungsgeschwindigkeiten sind Richtwerte; angestrebte Real-Life-Einsätze bei 5G unter 20 ms, je nach Nähe der Geräte und Berechnung

3. Variiert je nach Geografie

Quelle: McKinsey

Dennoch wird 5G in industriellen Umgebungen in absehbarer Zukunft mit WLAN und kabelgebundener Konnektivität koexistieren, die die nächste Welle von IIoT-Anwendungen ermöglichen und die Automatisierung fördern. Gleichzeitig wird sich dadurch die Komplexität der Abläufe kurzfristig erhöhen, weil Produktionsstätten z.B. keine Erfahrung im Betrieb von Mobilfunknetzen haben. Dies könnte sich ändern, sobald Aufbau und Betrieb eines privaten 5G-Netzes so einfach wie bei WLAN sind, doch bis dahin muss die IIoT-Fertigungslandschaft sowohl für 5G als auch für WLAN ausgelegt sein.¹⁷

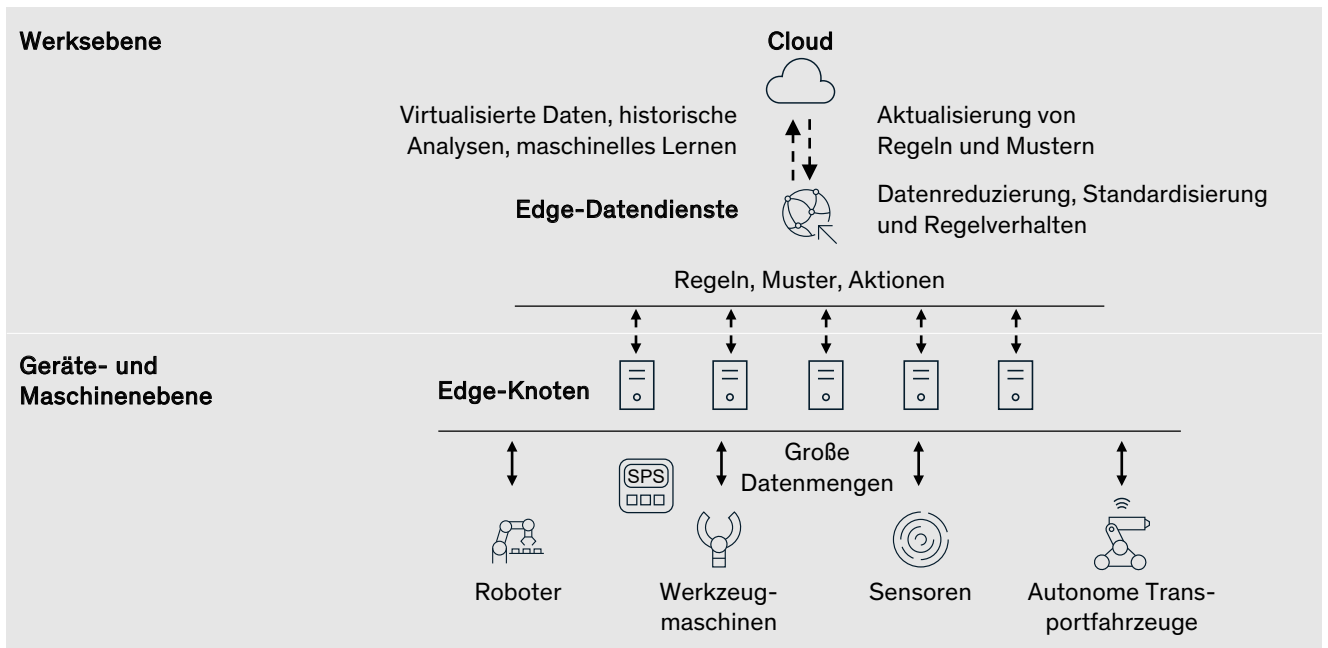
¹⁷ Für eine detaillierte Diskussion der künftigen Bedeutung von 5G in der Produktion, siehe: Ondrej Burkacky, Alexander Hoffmann, Stephanie Lingemann und Markus Simon, "The 5G era: New horizons for advanced electronics and industrial companies," McKinsey & Company, 21. Februar 2020, <https://www.mckinsey.com/industries/advanced-electronics/our-insights/the-5g-era-new-horizons-for-advanced-electronics-and-industrial-companies>

Datenerfassung

Die Leistungsstärke einer IIoT-Plattform basiert zum Großteil auf modernen Cloud-Lösungen, die ein enormes Potenzial für die Skalierung der Rechenleistung bieten, moderne Datenverwaltungslösungen ermöglichen und Zugang zu einem breiten Spektrum an unterschiedlichen Softwarelösungen für Datenvisualisierung, Machine Learning und Data Analytics bieten. Trotzdem sind auch noch physische Schnittstellen erforderlich, um Daten in der Produktion zu erheben. Die Hardware, mit der Daten erfasst und an die IIoT-Plattform gesandt werden, muss mit den Geräten verbunden sein – entweder kabelgebunden oder drahtlos – und sie muss in der Lage sein, sowohl mit dem jeweiligen Gerät als auch mit der Plattform zu kommunizieren. Auf Grund von begrenzenden Faktoren, z.B. Bandbreite, Sicherheitsbedenken oder Bedarf an kurzer Latenz in Closed-Loop-Systemen, muss die Rechenleistung häufig nah an der Quelle bereitgestellt werden. Dabei werden die Datenerfassungsgeräte von einfachen Schnittstellen zu leistungsstarken Recheneinheiten aufgewertet. Diese Rechenknoten sind Teil des so genannten Edge Computing. Dabei gibt es eine klare Aufgabenteilung, die festlegt, was von den Edge Devices und was in der Cloud verarbeitet wird (Abbildung 25).

Die künftige IIoT-Architektur kombiniert die Vorteile von Edge Computing mit einer klaren Aufgabenverteilung für Edge und Cloud

Unternehmen



Erwägungen zur Nutzung von Edge Intelligence	Technische Vorteile	Wirtschaftliche Vorteile
CEP¹-basierte Echtzeitanalyse von Streaming-Daten	Geeignet für innovative, industrielle Closed-Loop-Anwendungen mit geringer Latenz	Liefert schneller aussagekräftige Daten für eine höhere betriebliche Effizienz (Betriebszeit, Ertrag, Energieersparnis)
Iteratives maschinelles Lernen (ML) mit industriellen Live-Daten	Kontinuierliche Auswertung aller Sensordaten (inkl. Video, Audio) für Closed-Loop-ML	Liefert bessere vorausschauende Erkenntnisse für eine höhere Anlagenleistung und Prozessverbesserungen
Weitaus geringere Anforderungen an Datenpersistenz und -transport	Verarbeitung von Live-Daten an der Quelle spart Ressourcen für Datennetzwerk und -speicherung	Verringert die Kosten für Cloud-Speicherung und Kommunikation um das 100- bis 1.000-Fache
Höhere Sicherheit	Macht Übertragung kritischer OT-Daten innerhalb des Netzwerks überflüssig	Reduziert die Sicherheitsinfrastruktur, mindert Risiken und rechtliche Compliance-Kosten
Cloud-neutral	Vermeidet Bindung an einen Cloud-Anbieter und ermöglicht Multi-/Hybrid-Cloud-Strategien	Erhöht die Verhandlungsmacht ggü. Cloud-Anbietern, senkt Einkaufskosten
Nutzung von undokumentiertem OT-Wissen	Übersetzt Fachwissen des Bedieners in Analytics-Sprache und ML-Modelle	Ist günstiger und schneller als SPS-Neuprogrammierung; vermeidet teure cloudbasierte KI-Aktivitäten
Nutzung kompakter Edge-Computing-Systeme und Controller-HW	Läuft auf industriellen Steuerungs- oder eingeschränkten Edge-Computing-Systemen	Minimiert Investitionen in teure Rechner oder neue industrielle Steuerungssysteme
Abonnement, keine Abrechnung nach Verbrauch	Skalierungsanforderungen lassen sich leichter nach ersten PoCs vorhersagen	Betriebskosten sind besser kontrollierbar/vorhersehbar, für datenintensive Anwendungen sehr viel günstiger

1. Complex Event Processing
Quelle: Cisco; McKinsey

In der Regel wird ein mehrstufiger Ansatz gewählt, der unterschiedliche Arten von Edge Computing und Public Clouds kombiniert sowie Server vor Ort einbindet (Textboxen 7 und 8).

Textbox 7: Mit Edge Analytics die „Echtzeit-Herausforderung“ meistern

Die technische Entscheidung, wo und wie Daten verarbeitet und wie weit sie transportiert werden sollen, ist eng mit den individuellen Latenzanforderungen des jeweiligen Use Case verbunden. Einmal pro Minute ein paar Kilobytes an Temperaturmessdaten in die Cloud zu senden, um eine Visualisierung auf einem einfachen Dashboard zu erhalten, ist kein Problem. In vielen Fällen ist es hingegen physisch unmöglich unter Einhaltung von Latenzanforderungen, ein hochauflösendes Video an eine Cloud-Plattform zu streamen, wo es analysiert wird, bevor die Ergebnisse zurückgesendet werden, um bestimmte Prozessanforderungen zu erfüllen. Denn der physische Transport kann maximal mit Lichtgeschwindigkeit erfolgen, es kann zu Schwierigkeiten mit der Bandbreite kommen und die Rechenprozesse können schlichtweg zu lange dauern für „Echtzeit“-Use-Cases mit einer Anforderung an sehr geringe Latenz.

Wenn Daten verwendet werden, um diese Aufgaben sinnvoll zu überwachen oder zu kontrollieren, muss die gesamte Prozesskette – vom Sensor über den Algorithmus bis zur Steuereinheit – in weniger als einer Sekunde ablaufen. Edge Computing kann hier die passende Lösung sein, denn die Technologie ermöglicht sehr geringe Latenzzeiten und bietet gleichzeitig ein hohes Maß an Flexibilität, Anwenderfreundlichkeit und eine hohe Rechenleistung. Industrielle PCs mit leistungsstarker CPU- und GPU-Hardware bieten die nötige Rechenleistung, um Datenströme nahe der Quelle zu analysieren.

In die IIoT-Plattform eingebundene industrielle PCs (IPCs) sind mit leistungsstarker Software für die Analyse und die Kommunikation mit der Plattformumgebung ausgestattet. Moderne IIoT-Plattformen bieten sofort einsatzfähige Software, um industrielle PCs als Edge-Knoten ins Gesamtsystem einzubinden, und anwenderfreundliche Routinen, um diese dezentrale Rechnerkapazität einzurichten und zu verwalten. Die Konzeption der Plattform muss, ausgehend von den Latenzanforderungen der einzelnen Use Cases, die Verteilung der Rechenleistung am Edge, also an den Rändern des Netzwerks, berücksichtigen. Eine Reihe von Lösungen kann dabei helfen, die Echtzeit-Herausforderung zu meistern:

- **Datenvorverarbeitung am Edge.** Das Edge Device fungiert als Kommunikationsknoten für die Plattform und hilft, „rohe“ Datenströme mit hohem Bandbreitenbedarf in vorverarbeitete Daten mit einem geringeren Bandbreitenbedarf zu transformieren, die bereits mehr Informationen enthalten (z.B. Transformation von rohen Vibrationsdaten in Frequenzspektra). So lassen sich Bandbreitenbeschränkungen überwinden und Rechenleistung kann dezentral verteilt werden. Die eigentlichen Erkenntnisse werden trotzdem auf den Servern vor Ort oder in der Cloud produziert.
- **Vollständige Analyse am Edge.** Das Edge Device ist vollauf in der Lage, Daten von Sensoren zu erfassen und zu verarbeiten, weil es nicht nur mit der richtigen Hardware, sondern auch mit komplexer Software ausgestattet ist. Wenn bei der Auswertung von Daten Machine-Learning-Algorithmen zum Einsatz kommen (z.B. maschinelles Sehen mit neuronalen Netzen), läuft auf dem Edge Device ein fertig trainiertes neuronales Netz. Soll es neu trainiert werden, erfolgt dies häufig über Server in der Cloud oder auch vor Ort.
- **KI-basierte Kontrolle am Edge.** Da moderne Edge Devices in der Lage sind, Daten mit einer sehr geringen Latenz zu analysieren, wird der nächste Entwicklungsschritt darin bestehen, die dezentralisierte Intelligenz für die direkte Steuerung der Prozesse innerhalb des Produktionsprozesses einzusetzen. Diese Closed-Loop-Systeme auf der Basis von Edge Analytics werden die autonome Anpassung von Prozessparametern ermöglichen, um Abweichungen vom vordefinierten Prozess automatisch zu korrigieren und Fehlern entgegenzuwirken, bevor sie entstehen.

Zusätzlich zu Edge Devices, die letztlich Hardware-Komponenten sind, die gewartet werden müssen, bieten moderne Cloud-Anbieter eine weitere potenzielle Lösung für Rechenleistung mit geringer Latenz, und zwar in Form von lokalen Servern innerhalb von 5G-Netzen. Die Cloud-Server nutzen die Infrastruktur des Anbieters und werden in einem klar definierten Bereich eingesetzt, z.B. in derselben 5G-Zelle wie das jeweilige Werk. So erfolgt der physische Transport über 5G auf dem kürzestmöglichen Weg, um eine sehr geringe Latenz zu ermöglichen. Da Cloud-Dienstleister auch „On-Campus-5G-Netze“ anbieten, können die Kunden diese Services innerhalb ihres eigenen Netzwerks nutzen und auf diese Weise moderne Cloud-Infrastruktur und das Leistungsspektrum von 5G voll ausnutzen.

Textbox 8: Edge-Computing-Überlegungen in der diskreten Fertigung und in der Prozessfertigung

Prozessindustrien haben in der Regel eine dezentrale Steuerungsarchitektur, mit Gruppen von Supervisory Controls, Kontrollräumen und Datenerfassungssystemen für die Produktionssteuerung. Dafür gibt es in der Regel mehrere große Bildschirme und Sollwerteingaben durch die Bediener, um dezentrale Fertigungsmaschinen und -prozesse zentral zu steuern.

Mitte der 1990er-Jahre wurde die Spezifikation OPC Data Access entwickelt, um eine standardisierte Anbindung von Microsoft-Windows®-basierten Anlagen an proprietäre Automatisierungssysteme unterschiedlicher Anbieter zu ermöglichen. Diese Spezifikation wurde inzwischen zu einer neueren und vielseitigeren Version weiterentwickelt: der OPC Unified Architecture, die eine Anbindung an nicht-Microsoft-Windows®-basierte Systeme und Subsysteme ermöglicht.

Dank OPC ist Edge Computing schon seit Langem eine gängige Praxis, bei der Mehrwertlösungen und Subsysteme mit dezentralen Steuerungssystemen verbunden werden. Weit verbreitet sind dabei so genannte Unternehmens-Historians. Dahinter verbergen sich Archivsysteme in Form von hochentwickelten, Microsoft-Windows®-basierten Datenloggern. Sie zeichnen alle Prozessdaten einer Zeitreihe auf und speichern sie, damit sie in der Zukunft schnell abrufbar sind.

Diese Vorläufer zeigen, dass Edge Computing in den Prozessindustrien mit lokaler Datenverarbeitung kein neues Konzept ist; Cloud Computing hingegen schon. Neue Lösungen mit Advanced Analytics und KI kopieren den „Unternehmens-Historian“-Ansatz und stellen über OPC Data Access oder Unified Architecture eine direkte Verbindung zu einem dezentralen Steuersystem her. Die Datenverarbeitung erfolgt auch lokal – am Edge – mit minimaler Latenz (d.h. minimalen Verzögerungen) und maximaler Effizienz.

Im Gegensatz zur Prozessfertigung weist die diskrete Fertigung ein höheres Maß an OT-Dezentralisierung auf. Dies liegt daran, dass es mehr Spezialhersteller und Nischenanbieter gibt, die ihre Maschinen traditionell mit speziellen Steuereinheiten ausgestattet haben, die Echtzeit-Datenverarbeitung in der Maschine ermöglichen. Deshalb besteht ein hoher Konsolidierungsbedarf bei Daten aus einem breiten und heterogenen Datenökosystem, was wiederum zu neuen IIoT-Software-Angeboten geführt hat. Eines davon sind moderne Softwarezwischen-schichten mit einem breiten Spektrum an Schnittstellen zu unterschiedlichen Maschinen, um das Erfassen und Aufnehmen von Daten zu ermöglichen.

Edge-Lösungen cloudfähig zu machen und die optimale Verbindung aus lokaler und zentraler Datenverarbeitung zu finden, ist der richtige Weg in die Zukunft. Dieser kann z.B. so aussehen, dass lokale Daten verarbeitet werden und über die Cloud gleichzeitig ein Benchmarking mit Peer-Systemen stattfindet oder ergänzende Informationen beschafft werden, die das Ergebnis verbessern.

▶ Schritt 3: Cybersicherheits-Herausforderungen bei der IT-OT-Konvergenz effektiv managen

Das IIoT führt zu erheblich mehr vernetzten Geräten in der industriellen Produktion, und es gibt deutlich mehr Daten, die regelmäßig aus solchen Geräten aufgenommen und dezentral oder zentral aggregiert und ausgewertet werden. Mit diesem Trend hin zu mehr Daten, einer stärkeren Vernetzung und Aggregation dürfte auch das Risiko von Angriffen auf das IIoT deutlich zunehmen.

Vor diesem Hintergrund haben wir einige Eigenschaften von Produktionsunternehmen zusammengetragen, die die Absicherung von OT erschweren:

- Altsysteme und systemimmanente Schwachstellen in der Technologie einer Organisation, u.a. begrenzte Sicherheitsmechanismen und Protokolle, erschweren die Absicherung von OT.
- Produktionsunternehmen setzen bei Bereitstellung und Management von OT in hohem Maße auf OEM und können deshalb selbst nur begrenzt Sicherheitsmaßnahmen für ihre OT-Systeme implementieren (anders als in der IT).
- Trends im Lieferantenmanagement haben zu einem Anstieg der Remote-Verbindungen geführt und die Zahl der externen Parteien, die sich in ein Netzwerk einloggen, drastisch erhöht.
- Unklare Verantwortlichkeiten für die Cybersicherheit von OT und fehlende Standards erschweren innerhalb der Organisation die Umsetzung von Cyberkontrollen im Bereich der OT.
- Ein schwach ausgeprägtes Bewusstsein für Cyberbedrohungen bei den Entscheidungsträgern im OT-Bereich und konkurrierende geschäftliche Prioritäten beschränken die Möglichkeiten, OT-Sicherheitsmaßnahmen umzusetzen.
- Die Kompetenzdefizite im Bereich der Cybersicherheit sind noch größer bei der OT, wo Spezialisten in beiden Bereichen gefragt sind.
- Es gibt unternehmerische und technische Beschränkungen, etwa die Tatsache, dass Produktionslinien nicht einfach abgeschaltet werden können, um das alte Betriebssystem zu reparieren oder zeitkritische Lösungen zu implementieren.

Darüber hinaus umfasst das IIoT-Konzept vier Schwerpunktbereiche, von denen jeder mit einem eigenen Sicherheitsrisiko verbunden ist:

- Local Area Networks (LAN) für das Erfassen und lokale Verarbeiten von Daten aus vernetzten Industriesteuersystemen
→ Sicherheitsrisiko: Fehlende Authentifizierung und Sicherheitsvorkehrungen bei Prozesssensoren
- Datenübertragung an die Cloud über Gateways
→ Sicherheitsrisiko: Fehlende Sicherheitsvorkehrungen bei Protokollen und Gateways
- Verarbeitung und Speicherung von Daten in der Cloud über entsprechende Plattformen und besondere Algorithmen, z.B. Big Data
→ Sicherheitsrisiko: Fehlende Datensicherungsmaßnahmen
- Schnittstelle zwischen Plattformen und Endnutzern zu Überwachungszwecken
→ Sicherheitsrisiko: Fehlen von sicheren Kommunikationsprotokollen.

Datenschutzverstöße können zu Schäden an Anlagen und Maschinen führen oder zu unvorhergesehenen operativen Problemen sowie zu aufsichtsrechtlichen Schwierigkeiten

oder sogar einer Gefährdung der persönlichen Sicherheit. Dies bedeutet: Die Cloud-Computing-Umgebung bringt Risiken für die Sicherheit und die operativen Abläufe mit sich, die Unternehmen angehen müssen, insbesondere in OT-Umgebungen, die nicht auf einen Remote-Zugriff ausgelegt sind.

Um die für Big-Data-Analysen erforderlichen zusätzlichen Daten zu beschaffen, werden IIoT-Anwendungen und -Netzwerke in der Regel mit bestehenden Geräten für Industrie-steuersysteme ausgestattet. Damit übernehmen sie aber auch den Mangel an Sicherheitsvorkehrungen dieser Geräte. Darüber hinaus arbeiten vernetzte Geräte aktuell mit individuellen Protokollen oder Gateways, um zu Standards für den Datenaustausch wie OPC Unified Architecture zu gelangen. Diese individuellen Protokolle und Gateways werden allerdings häufig ohne ausreichende Sicherheitsvorkehrungen entwickelt.

Unternehmen, die in der gesamten Organisation Sicherheitskontrollen einführen wollen, brauchen sowohl in der IT- als auch in der OT-Umgebung ein tiefgreifendes Verständnis der Netzwerkarchitektur. Wer die Netzwerkarchitektur kennt, kann besser analysieren, wo eine Bedrohung herkommt und welche Kontrollen in der Netzwerkarchitektur eingerichtet werden müssen, um die Bedrohung zu bannen.

Vor diesem Hintergrund und als Reaktion auf die immer schneller voranschreitende Digitalisierung bei der Konvergenz von IT und OT beginnen leistungsstärkere Cybersicherheits-Funktionen, die Fähigkeiten ihrer Organisation in drei Bereichen zu verändern: Sie verwenden quantitative Risikoanalysen für die Entscheidungsfindung, bauen Cybersicherheits-Elemente in die Wertschöpfungskette ein und ermöglichen neue Technologieplattformen, die zahlreiche Innovationen vereinen.¹⁸

Zu diesen Innovationen gehören agile Ansätze, Robotik, Cloud Computing und DevOps (die Kombination von Softwareentwicklung sowie IT und OT, um die Entwicklungszeiten zu verkürzen und neue Features, Fehlerbehebungen und Updates bereitzustellen, die den geschäftlichen Anforderungen entsprechen).

¹⁸ Siehe auch: James Kaplan, Wolf Richter und David Ware, „Cybersecurity: Linchpin of the digital enterprise“, McKinsey & Company, 19. Juli 2019, <https://www.mckinsey.com/business-functions/risk/our-insights/cybersecurity-linchpin-of-the-digital-enterprise>; James Kaplan, Chris Toomey und Adam Tyra, „Critical resilience: Adapting infrastructure to repel cyberthreats“, McKinsey & Company, 15. Januar 2019, <https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-transport-infrastructure/our-insights/critical-resilience-adapting-infrastructure-to-repel-cyberthreats>; Johannes Deichmann, Benjamin Klein, Gundbert Scherf und Rupert Stuetzle, „The race for cybersecurity: Protecting the connected car in the era of new regulation“, McKinsey & Company, 10. Oktober 2019, <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-race-for-cybersecurity-protecting-the-connected-car-in-the-era-of-new-regulation>

Quantitative Risikoanalysen als Entscheidungsgrundlage nutzen

Unternehmen beginnen, das geschäftliche und das technologische Umfeld mit quantitativen Risikoanalysen zu stärken, damit sie bessere, faktenbasierte Entscheidungen treffen können. Dazu gehören eine sinnvolle Segmentierung von Mitarbeitern und Zulieferern sowie Verhaltensanalysen, um Anzeichen für mögliche Bedrohungen von innen zu erkennen, z.B. in Form von verdächtigen E-Mail-Aktivitäten. Notwendig ist auch eine risikobasierte Authentifizierung unter Berücksichtigung von Metadaten, z.B. dem Standort von Nutzern und der jüngsten Zugangshistorie, um zu entscheiden, ob der Zugang zu kritischen Systemen gewährt wird oder nicht. Letztlich werden Unternehmen Management-Instrumententafeln verwenden, die Anlagen, Bedrohungsinformationen, Schwachstellen und potenzielle Gegenmaßnahmen verbinden, um Topmanagern zu helfen, bei ihren Investitionen in die Cybersicherheit die besten Entscheidungen zu treffen. Beim Aufbau eines solchen Dashboards sollten folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- Es sollte ein System mit Bedrohungsinformationen geben, damit die Organisation über Risiken jederzeit auf dem neuesten Stand ist und sich darauf vorbereiten kann.
- Grundlegende Sicherheitskontrollen sollten auf allen Ebenen der Organisation stattfinden.
- Bedrohungsanalysen und Korrelationslösungen, die Informationen über verschiedene Umfelder hinweg erfassen, sollten als Entscheidungshilfe für das Managementteam genutzt werden.

Mit diesen Maßnahmen können sich Unternehmen auf die Bereiche konzentrieren, die am stärksten geschützt werden müssen, und zwar so, dass die betrieblichen Abläufe kaum gestört und die Kosten möglichst gering gehalten werden.

Cybersicherheit in die Wertschöpfungskette einbauen

Jedes digitale Unternehmen tauscht sensible Daten aus und geht Netzwerkverbindungen mit Kunden, Lieferanten und anderen Geschäftspartnern ein. Deshalb sind Vertraulichkeit und Cybersicherheit in vielen Sektoren zu einem zentralen Aspekt der Wertschöpfungsketten geworden. Folgende Erfordernisse sollten berücksichtigt werden:

- Die Vision, Strategie und Umsetzung eines Businessplans muss die Aspekte Schutz, Zuverlässigkeit und Sicherheit berücksichtigen. Sie sollten auf allen Ebenen der Organisation Teil des geschäftlichen Planungsprozesses sein (von den IoT-Lösungsanbietern bis zu den Kunden).
- Auf oberster Führungsebene sollte es IT- und OT-übergreifend einen zentralen Sicherheitsverantwortlichen geben. Sicherheitsregelungen, Governance und die Aufklärung der Endnutzer müssen IT- und OT-übergreifend sein, da die Systeme miteinander verbunden sind.
- Es braucht ein klares Verständnis der Technologien und Bedrohungen in der IT und bei der OT. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass Technologien, die im IT-Umfeld funktionieren, nicht notwendigerweise auch im OT-Umfeld funktionieren. Außerdem sind die beiden Bereiche unter Umständen mit unterschiedlichen Bedrohungen konfrontiert.
- Organisationen müssen verstehen, dass zu einem OT- und IT-übergreifenden Risikomanagement auch das Verwalten von Versionen, Status, Updates, Steuersystem- und Patch-Versionen usw. gehört.

Über alle Umgebungen hinweg müssen regelmäßig Risikobewertungen erfolgen, um Schwachstellen aufzudecken und sicherzustellen, dass geeignete Sicherheitskontrollen stattfinden. Führende Unternehmen gehen noch einen Schritt weiter und bauen Cybersicherheit in ihre Kunden- und Lieferantenbeziehungen sowie ihre Produktionsprozesse ein. Zu den angewandten Methoden zählen:

- Die Auswertung von Sicherheitserhebungen, um herauszufinden, was die Firmenkunden erwarten, und um Wissensdatenbanken aufzubauen, die Vertriebsteam helfen, in Verhandlungen die Sicherheitsfragen von Kunden überzeugend zu beantworten. Ein SaaS-Anbieter hat z.B. herausgefunden, dass seine Kunden auf besonders strengen Maßnahmen zur Vorbeugung von Datenverlust bestehen.
- Cybersicherheit als Kernfunktion des Produktdesigns betrachten
- Mitarbeiter in sicherem Digitalverhalten schulen
- Globale Perspektive auf die traditionell separaten Bereiche Informationssicherheit und OT-Sicherheit einnehmen, um Schwachstellen zu verhindern. Ein Automobilzulieferer etwa stellte fest, dass das System, auf dem die Masterversion seiner Firmware installiert ist, als Angriffsvektor für das von ihm hergestellte Einspritzsystem dienen könnte. Mit diesem Wissen konnte das Unternehmen zusätzliche Schutzmaßnahmen ergreifen.
- Bedrohungsinformationen verwenden, um Lieferantentechnologienetzwerke extern zu befragen und das Risiko von Schwachstellen zu bewerten
- Strenge Kontrollen etablieren für den Remote-Zugriff und die Netzwerksegmentierung sowie zusätzliche Abtrennung innerhalb von Zonen über VPNs.

Agile, cloudbasierte operative Plattform mit DevSecOps ermöglichen

Viele Unternehmen scheinen in ihren IT- und OT-Bereichen alles gleichzeitig verändern zu wollen, um die Digitalisierung zu beschleunigen. Sie ersetzen traditionelle Software-Entwicklungsprozesse durch agile Methoden, holen gleichzeitig Software Engineers von Lieferanten ins Unternehmen und gewähren Entwicklern Zugriff auf die Infrastruktur. Manche schaffen sogar ihre Rechenzentren ab, weil sie vollständig auf Cloud-Dienste umsteigen wollen.

Dies geschieht alles im Bestreben, die Technologie schnell und skalierbar genug zu machen, um die digitalen Ziele des Unternehmens zu erreichen. Doch ein modernes Technologiemodell erfordert auch ein weitaus flexibleres, reaktionsschnelleres und agileres Cybersicherheits-Betriebsmodell. Hier sind einige der wichtigsten Grundsätze, die solch ein System erfüllen sollte:

- Gezielt IT-OT- und softwareerfahrene sowie umsetzungsstarke Cybersicherheits-Fachleute rekrutieren, die tiefgreifende Kenntnisse in mehreren Bereichen der IT-OT-Konvergenz haben (z.B. in integrativer Problemlösung, Automatisierung und Entwicklung) sowie in Sicherheitstechnologien.
- Bei Sicherheitsservices ticketbasierte Schnittstellen auf APIs umstellen. Dies erfordert die Automatisierung von jeder denkbaren Interaktion und das Einbinden von Cybersicherheit in die Kette der Software-Entwicklungstools. Anschließend können Entwicklungsteams auf Schwächen prüfen, die Regeln zum Schutz vor Datenverlust anpassen, Anwendungssicherheit etablieren und Managementservices ermitteln und nutzen.
- Sicherheitsteams als agile Scrum- oder Scrumban-Teams aufstellen, die von Entwicklern erkennbare Services managen, z.B. die Identitäts- und Zugriffsverwaltung oder das Verhindern von Datenverlust. Außerdem kann es hilfreich sein, Entwicklungsteamleiter als Product Owners für Sicherheitsservices einzustellen, genauso wie Manager im operativen Bereich Product Owners für die Customer Journey und kundenorientierte Services sind.

- Sicherheitsmaßnahmen eng mit Enterprise-Services für Endnutzer verknüpfen, damit Beschäftigte und externe Dienstleister über ein intuitives Portal einfach auf Produktivitäts- und Kollaborationstools zugreifen können
- Cloud-natives Sicherheitsmodell aufbauen, das gewährleistet, dass Entwickler innerhalb bestimmter Schranken sofort und nahtlos auf Cloud-Dienste zugreifen können
- Mit Infrastruktur- und Architekturteams in IT und OT zusammenarbeiten, um die erforderlichen Sicherheitservices in standardisierte Lösungen für Advanced Analytics und Prozessautomatisierung durch Roboter zu integrieren; dazu gehören:
 - Host-basierte Intrusion-Prevention- und Intrusion-Detection-Systeme der nächsten Generation für IT und OT, einschließlich aller IoT- und IIoT-Protokolle
 - Schutz vor Malware und Ransomware in IT- und OT-Umgebungen
 - Whitelisting für IT- und OT-Umgebungen
 - Netzwerk-Sandbox-Technologie, die Schwächen und Bedrohungen bei unterschiedlichen Arten von IoT-Protokollen erkennen und analysieren kann, ohne die operativen Prozesse zu beeinträchtigen
 - Verschlüsselungstechnologien für Authentifizierung und Verifizierung, die für alle IoT-Geräte und Steuersysteme ein Muss sind
 - Technologie für das Versionenmanagement bei Geräten, Steuersystemen, Patches usw. in der IT- und OT-Umgebung
 - APIs, die sich direkt in Geräte integrieren lassen
 - Sicherheitsfähigkeiten in Form von Software Development Kits oder Anwendungsprogrammierung.

All diese Maßnahmen haben sich für die Sicherheit einer Organisation als absolut notwendig erwiesen. Ohne sie kommt es häufiger zu Sicherheitsverstößen, oft auch mit gravierenden Folgen. Die erforderlichen Maßnahmen stehen jedoch in einem Spannungsverhältnis zum neuen Modell des digitalen Unternehmens, das sich als Ergebnis einer umfassenden digitalen Transformation vom Kundenkontakt bis zu den Backoffice-Prozessen zieht. Unternehmen, die Public-Cloud-Dienste nutzen wollen, stellen häufig fest, dass das Thema Sicherheit bei der Nutzung von Anwendungen über eine Public-Cloud-Infrastruktur der schwierigste Part ist.¹⁹

▶ **Schritt 4: Für Implementierung der Plattform keinen bloßen Anbieter, sondern einen Partner auswählen**

Eine Zielarchitektur zu erstellen und die richtige technische Konfiguration der IIoT-Plattform festzulegen, ist eine komplexe Aufgabe. Da ist es kein Wunder, dass die Auswahl der Anbieter für das Implementieren einer Plattform ein entscheidender Schritt ist. Wie bei allen wichtigen Entscheidungen muss auch die Auswahl der Anbieter auf Basis einer strukturierten Bewertung der unterschiedlichen Alternativen erfolgen. Auf der Suche nach dem perfekten Implementierungspartner sind folgende Aspekte der Plattform sorgfältig zu prüfen:

- **Geschäftsmodell.** Ermöglicht es den Kunden, ihr eigenes Angebot zu erstellen? Wie ermöglicht es die Skalierung? Wem gehören die Daten?

¹⁹ Für weitere Details in diesem Zusammenhang, siehe: James Kaplan, Wolf Richter und David Ware, „Cybersecurity: Linchpin of the digital enterprise,“ McKinsey & Company, 19. Juli 2019, <https://www.mckinsey.com/business-functions/risk/our-insights/cybersecurity-linchpin-of-the-digital-enterprise>

- **Marktreife.** Ist das Preismodell nachvollziehbar? Wie effektiv ist die Organisationsstruktur?
- **Angebot an Use Cases.** Gibt es erfolgreiche, vollständig implementierte Leuchtturmprojekte?
- **Bestehende Entwicklungsfähigkeiten.** Wie viel liegt dem Anbieter daran, die bestehende Plattform weiterzuentwickeln? Gibt es eine lebhaftere Entwicklergemeinschaft?
- **Technologie.** Wie offen und modular ist die Plattform? Gibt es einen ausgeklügelten Sicherheitsplan?
- **Operations.** Wie gut sind das Releasemanagement und die Updatesteuerung? Wie reibungslos funktioniert der Support?

Bei der Auswahl des richtigen Partners sollten nicht nur der Preis und technische Aspekte eine Rolle spielen, sondern auch die Frage, ob er einen Wettbewerbsvorteil bei künftigen Entwicklungen fördert. Dazu ist eine sorgfältige Beurteilung von Partnerschaftskomponenten erforderlich, z.B. die Partnerschaftsstrategie (Mit welcher Strategie werden Partner gesucht, die ihre eigenen Services und Lösungen über ihre Plattform anbieten?), die Entwicklungsfähigkeiten (Wie stark ist der Anbieter daran interessiert, die Plattform weiterzuentwickeln?) und die Einbindung in die Entwicklergemeinschaft (Gibt es eine aktive Entwicklergemeinschaft, die auf der Plattform ihre eigenen Apps, Angebote oder Lösungen anbietet?).

3.2 IIoT-Plattform: Cloud Computing in der Produktion etablieren

Bei Cloud Computing denken die meisten an die Verlagerung von zentralen IT-Aktivitäten, Zugang zu On-Demand-Infrastruktur, das Bereitstellen von Rechen-, Speicher- und Datenbankdiensten usw. Das ist alles richtig, nur verlieren Topmanager darüber oft die weitergehenden Auswirkungen aus den Augen, die die Cloud bei der Umstellung auf ein vollständig digitales Betriebsmodell und vor allem auf das Unternehmen an sich haben kann.²⁰ Wenn sie einen Business Case erstellen, analysieren sie monatelang die Kosten im Betrieb, vergleichen sie mit den Cloud-Kosten und beschäftigen sich viel weniger mit dem wichtigsten Werttreiber der Cloud: den Vorteilen aus unternehmerischer Sicht.

Viele Industrieunternehmen haben mit übermäßig komplexen Systemen zu kämpfen. So rationalisierte ein Unternehmen z.B. mehr als 30 ERP-Systeme, die es durch eine Reihe von Übernahmen angesammelt hatte. Diese Komplexität stand der Transparenz im Weg und bremste Prozesse in der Produktion, in der Lieferkette und in anderen betrieblichen Funktionen. Daten, mit denen das Unternehmen geschäftliche Verbesserungen hätte auf den Weg bringen können, gab es nur in Tabellen und Systemen, die in der gesamten Organisation verteilt waren. Die Skalierung jeder Idee, die tatsächlich etwas bewirken konnte, erforderte daher ein mehrjähriges Programm.

Solche Herausforderungen mit der Cloud zu lösen, war nicht einfach. Viele Cloud-Migrationen sind gescheitert, weil nicht zuerst die IT-Landschaft vereinfacht und ein klares Datenverwaltungskonzept etabliert wurde, d.h. eine saubere Data Governance. Außerdem gefährdeten häufig zusätzliche Kosten den finanziellen Erfolg:

- Umstellungskosten für den Parallelbetrieb von Cloud-Diensten und Rechenzentren vor Ort resultieren aus komplexen Anwendungen und der fehlenden Bereitschaft, schnell alles zu migrieren.

²⁰ Siehe auch: Joe Dertouzos, Ewan Duncan, Matthias Kässer, Satya Rao, Wolf Richter et al., „Making the cloud pay: How industrial companies can accelerate impact from the cloud“, McKinsey & Company, 1. Oktober 2020, <https://www.mckinsey.com/industries/advanced-electronics/our-insights/making-the-cloud-pay-how-industrial-companies-can-accelerate-impact-from-the-cloud>

- Versteckte Kosten können entstehen, wenn Plattformen, Tools und Services nicht gut verstanden sowie Angebot und Nachfrage nicht aktiv gesteuert werden.
- Die Kosten für Systemintegratoren können sich bis ins dritte oder vierte Jahr nach der Cloud-Umstellung hinziehen – durch Fehlanreize eines zeit- und materialbasierten Modells.
- Die Kosten für Add-on-Services können drei- bis viermal höher sein als notwendig, wenn Anwendungen nicht gut konfiguriert sind.
- Buchhaltungsregeln und schlechte Governance können diese Kosten noch erhöhen oder zusätzliche Kosten verursachen durch die Wertberichtigung von noch nicht vollständig abgeschriebenen IT-Anlagen.

Doch während die meisten Kosten der Cloud in der IT anfallen, wird der größte Mehrwert auf unternehmerischer Seite generiert (Abbildung 26). Erstens ermöglicht die Cloud Zugang zu Innovationen von Cloud-Anbietern, etwa KI- und ML-Engines. Zweitens bietet die Cloud die Möglichkeit, mit neuen Produkten und Features zu experimentieren, denn eine „Sandbox“-Umgebung einzurichten, kostet nahezu nichts. Darüber hinaus kommt das Unternehmen mit neuen Produkten und Leistungen in Kontakt, z.B. Vertriebstools aus dem Partnerökosystem, die die Hürden für eine Kollaboration erheblich senken.

Lokal installierte und sogar gehostete (Private-Cloud-)Plattformen kommen bei der stetig zunehmenden Komplexität und den ständig steigenden Anforderungen der modernen Produktionswirtschaft nicht mehr hinterher. Die Mitarbeiter bei Produktionsunternehmen und Zulieferern sowie die Kunden brauchen einen schnellen und kontrollierten Zugang zu operativen und geschäftlichen Daten, um bessere Entscheidungen treffen zu können. IIoT-Cloud-Plattformen bieten genau diesen flächendeckenden Zugang und diese Konnektivität.

Cloud-Systeme haben vor allem den Vorteil, dass mit einer einzigen Datenquelle (Single Source of Truth) gearbeitet wird. Verstreute Tools und Datensilos sind passé und mit ihnen auch manuelle Dateneingaben und Verzögerungen bei der Synchronisierung von Daten. Dies führt zu weniger Fehlern, weniger Engpässen und einfachen Aufgaben bei der Optimierung von Prozessen und Workflows.

Die Cloud ermöglicht IT-Effizienzsteigerungen, wenngleich diese vielleicht nicht ausreichen, um die Cloud-Kosten zu decken. Es entstehen aber auch Effizienzen bei den Arbeitskosten, denn die Standardinstrumentierung der Cloud erhöht die Entwicklungsproduktivität durch verbesserte Software-Engineering-Praktiken und eine verstärkte Automatisierung bei der Entwicklung und Wartung von Anwendungen, DevSecOps, Infrastruktur, Tickets und Support. Nicht arbeitsbezogene Effizienzsteigerungen ergeben sich aus der geringeren Anzahl an lokalen Rechenzentren, geringeren Hardwareausgaben (auch auf Grund von Standardisierung) und der Rationalisierung von Anwendungen, wenn alte stillgelegt werden. Darüber hinaus können Cloud-Angebote auch den OT-Bereich aufwerten, weil sie Daten aus OT-Geräten an allen physischen Standorten und für leistungsstarke ML- und KI-Anwendungen (die ebenfalls in der Cloud ablaufen) bereitstellen.

▶ **Schritt 1: Dafür sorgen, dass die Cloud sich kurzfristig bezahlt macht**

Mit vier Maßnahmen können Industrieunternehmen dafür sorgen, dass sich die Cloud schon kurzfristig bezahlt macht (Abbildung 27):

- Nach strategischen Gesichtspunkten festlegen, welche Anwendungen in welcher Reihenfolge in die Public Cloud migriert werden und welche in der Private Cloud oder vor Ort (Edge) bleiben; anschließend die Cloud-Nutzung managen. Die Vision für den endgültigen Zustand sollte festlegen, welche Anwendungen und Daten migriert werden

Abbildung 26

Während der Großteil der Cloud-Kosten in der IT entsteht, findet die Wertschöpfung hauptsächlich auf der Business-Seite statt

Wichtige Elemente des Business Case für Cloud Computing

IT-Kosten

Wichtige Kostenkategorien

Laufende Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ● Verbrauchskosten für (Hybrid- und Multi-) Cloud (inkl. Cloud-Roaming, d.h. Kosten für Synchronisierung div. Cloud-Umgebungen)¹⁾ ● Weiterbetrieb von Altsystemen <p>Höhere Netzwerkkosten in hybriden Cloud-Modellen</p> <p>Bindung von Cloud-Spezialisten, aber auch des alten Infrastrukturateams</p>
Migrationskosten	<ul style="list-style-type: none"> ● Interne Migrationskosten, inkl. Kosten für parallele Infrastruktur während der Migration <p>Externe Migrationskosten, z.B. System-integrator</p> <p>Einmalige Anfangsinvestition (z.B. Fähigkeitenaufbau in Geschäftsfunktionen, Modernisierung der IT)</p> <p>Datenmanagementkosten</p>

● Ausschlaggebend für positiven Business Case – erfordert proaktives Management

Business-Nutzen

Beispiele für Use Cases

Vertriebs-gemeinkosten und Verwaltungsgemeinkosten	Allgemein und Verwaltung	Betrugs- und Schuldenanalysen Analytics-basiertes Rechnungswesen/IT
	Marketing und Vertrieb	Lead-Generierung Allokation des Marketingbudgets
	Aftersales	Antizipative Services/ Maßnahmen Kundendienst-Mgmt.
Produkt-daten	F&E	F&E-Data-Mining Plattform für Projektportfolio-Mgmt.
	Neue Dienste und Geschäftsmodelle	Hardware as a Service Zusatzdienste/ vernetztes Produkt
OT	Fertigung	Vorausschauende Instandhaltung Sichtprüfung/ Qualitätskontrolle
	Supply Chain Management	Intelligente Routenplanung Vertikale Supply-Chain-Integration (JIT)
	Einkauf	Ausgabenanalysen Modellierung von Rohstoffpreisen

Erwarteter Effekt auf EBIT-Marge²

ca. 0,2
Prozentpunkte

ca. 9
Prozentpunkte

Aktuelle Cloud-Programme ersetzen meist nur IT-Infrastruktur und lassen Wertpotenziale ungenutzt

Austausch von IT-Infrastruktur zeigt oft nicht die erhoffte Wirkung – komplexe und versteckte Kosten von Cloud-Migration und -Betrieb liefern bei mangelhafter Umsetzung oft keinen überzeugenden Business Case; selbst erfolgreiche Programme rentieren sich erst nach 3 - 4 Jahren

1. Häufig wird unterschätzt, dass Datenbanken in der Cloud oft erheblich (bis zu 10x) teurer sein können; Cloud-Datenbanken fehlt oft die Reinigungsfunktion, so dass die Speicherkosten höher sind als Datenbanken vor Ort
 2. Geschätztes Potenzial eines typischen Automobilunternehmens bis 2025 aus Cloud Computing durch Einsatz von Advanced Analytics, neue Geschäftsmodelle, höhere operative Effizienz etc. – ohne Investitionen

Quelle: McKinsey

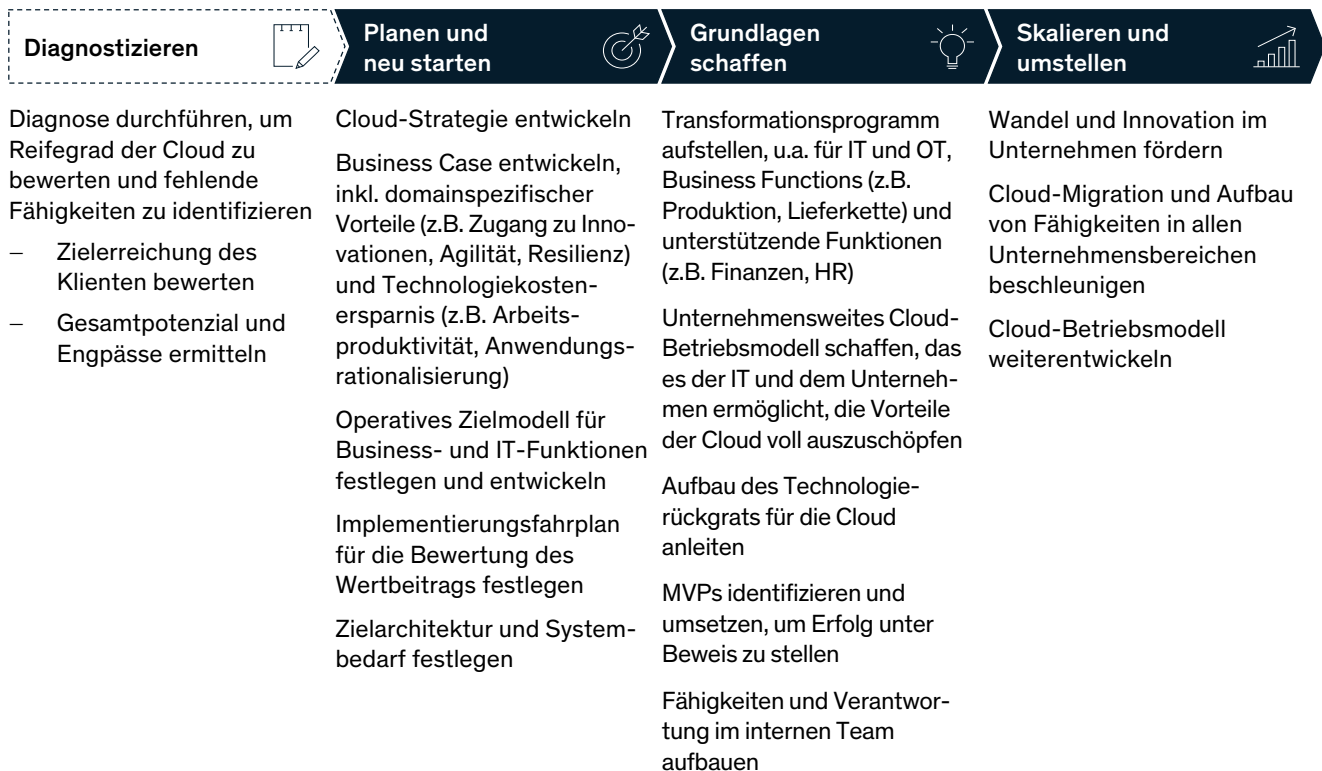
und welche bleiben. Cloud-Leistungen gibt es in unterschiedlichen Umgebungen, nicht nur in der Public Cloud.

- IT- und OT-Betriebsmodell frühzeitig verändern, um Tempo und Produktivität erheblich zu steigern, insbesondere bei DevSecOps und im Infrastrukturmanagement. Die Verwendung eines Software-Engineering-Modells kann die Produktivität der IT-Personalausgaben steigern.
- Infrastruktur-Migration ein kontinuierliches cloudbasiertes Business Redesign gegenüberstellen. Letzteres kann dafür sorgen, dass sich die Transformation mit der Zeit selbst finanziert. Zu einem solchen Redesign gehören unter Umständen Industrie-4.0-Werkzeuge und die Integration von OT, neue Analytics-Fähigkeiten oder neue Geschäftsmodelle. Vorrang sollte die Verbesserung von Geschäftsprozessen haben, häufig auf Basis von Analytics, bei denen die Investitionen geringer sind und schneller Wirkung zeigen.
- Mit der Flexibilität der Cloud laufende geschäftliche Innovationen vorantreiben, z.B. eine schnellere Einführung neuer Produkte, mehr externe Partnerschaften und neue Ökosystemkonzepte.

Abbildung 27

Ein bewährter Ansatz für die Skalierung von Cloud-Transformationen umfasst 4 Schritte

Illustrativ



Quelle: McKinsey

▶ Schritt 2: Cloud-Transformation konsequent steuern

Das Management einer Cloud-Transformation erfordert eine starke Governance. Dies sind einige der kritischen Aktivitäten:

- Quantifizieren des geschäftlichen Nutzens einer jeden Initiative des Transformationsprogramms
- Planung und Umsetzung einer Ende-zu-Ende-Transformation nach Geschäftsbereich statt Konzentration auf einzelne Use Cases
- Vorbereitung der bestehenden Anwendungs- und Datenlandschaft im Vorfeld der Transformation, einschließlich Einrichten einer starken Data Governance
- Integration der Rationalisierung und Stilllegung von Anwendungen in die Transformations-Governance
- Schulung der gesamten relevanten Organisation, ein Bereich nach dem anderen
- Etablieren eines einheitlichen und nachhaltigen Governance-Modells für IT und betriebliche Funktionen, einschließlich zentraler (Konzern-)Funktionen und dezentraler Funktionen wie IT und OT an den Fertigungsstandorten
- Implementieren eines agilen Prozesses vom Nachfragemanagement bis zur Lieferung
- Gewährleisten von operativen Verbesserungen, indem von Anfang an in Veränderungsmanagement investiert und das Commitment der betrieblichen Funktionen eingeholt wird, z.B. Supply Chain und Fertigung, und eine Abstimmung zwischen IT und OT erfolgt.

Für viele Topmanager ist es ein verlockendes Konzept, Infrastruktur als Dienstleistung zu beziehen (IaaS), d.h., einen externen Anbieter zu beauftragen, das Netzwerk, die Hardware und die Ressourcen eines Unternehmens zu managen. Doch es ist ein Trugschluss zu glauben, IaaS würde die Infrastrukturorganisation des Unternehmens vollständig ersetzen. Durch die Cloud sind zwar in der internen Infrastrukturgruppe und darüber hinaus völlig andere Tätigkeiten, Talente und Betriebsmodelle erforderlich, aber ein Infrastrukturmanagement bleibt trotzdem notwendig.

Unternehmen müssen die neue Partnerschaft zwischen der IT und dem allgemeinen geschäftlichen Teil des Unternehmens in einem Betriebsmodell verankern, das die wachsenden Investitionen in die Cloud widerspiegelt und unterstützt. Hier hilft es, das Ganze als integriertes System zu verstehen, nicht als Ansammlung von Einzeltechnologien. Dies erfordert organisatorische Veränderungen in der IT und in vielen operativen Geschäftsbereichen und betrieblichen Funktionen. Dieses Betriebsmodell kombiniert cloudbasierte digitale Technologien mit agilen operativen Fähigkeiten in einem integrierten, gut strukturierten Modell, das die digitale Strategie und Transformation rasch beschleunigen kann.

▶ Schritt 3: Infrastrukturteam einsetzen, das wie ein App-Entwicklerteam arbeiten kann

Wenn Unternehmen auf die Cloud umsteigen, stoßen sie auf Hunderte von Leistungen, die sich so kombinieren und konfigurieren lassen, dass sie sich auf Performance, Sicherheit, Widerstandsfähigkeit und anderes auswirken. Sie brauchen ein Infrastrukturteam, das Standardvorlagen, Architekturen und Services für die Entwicklerteams aufbauen und managen kann. Da die Infrastruktur in der Cloud über Code gesteuert wird, braucht das Infrastrukturteam unterschiedliche Fähigkeiten (z.B. Einchecken von Code), so dass es ähnlich wie ein App-Entwicklerteam arbeiten kann. Ohne ein Infrastrukturteam, das standardisierte Services und Plattformen erstellt, werden viele Unternehmen das fragmentierte Durcheinander ihrer lokal installierten Lösungen einfach in der Cloud nachbilden.

Um dieser veränderten Funktion gerecht zu werden, müssen Infrastrukturteams ihr reaktives gegen ein proaktives Betriebsmodell austauschen. Statt auf Anpassungsanfragen von Entwicklungsteams zu reagieren, was Monate dauern und schnell teuer werden kann, sollten Infrastrukturteams vorausschauend die Anforderungen der Organisation berücksichtigen. Damit liegt die Verantwortung stärker bei den Entwicklerteams selbst, die dann mehr Flexibilität haben, um die Ressourcen, die sie brauchen, schnell zu konfigurieren. Dadurch erhalten die Teams nicht nur mehr direkte Verantwortung für die Kosten, die größere Flexibilität führt auch zu einer höheren Produktivität und einem höheren Tempo.

Infrastrukturveränderungen helfen nicht nur beim Cloud-Management, sondern sind auch notwendig, um das gesamte Spektrum der Cloud-Vorteile zu erkennen. Traditionelle Infrastrukturteams wären für das Managen einer Cloud nicht nur zu groß und zu teuer, sie müssten auch auf den Vorteil verzichten, dass App-Teams die Kosten, die sie verursachen, mitverantworten. Andererseits wäre es für die Fähigkeit eines Unternehmens, die Cloud zu managen und sinnvoll zu nutzen, verheerend, überhaupt kein Infrastrukturteam zu haben. Stattdessen brauchen Unternehmen eine schlankere, stärker spezialisierte Infrastrukturorganisation, um das Potenzial der Cloud in Bezug auf Agilität, Innovation und Performance voll ausschöpfen zu können.

3.3 Tech-Ökosystem aufbauen

Nicht jedes Unternehmen hat Erfolg damit, Ökosysteme zusammenzustellen. Für viele ist es sinnvoller, sich einem bestehenden Ökosystem anzuschließen. In beiden Fällen müssen Unternehmen jedoch neue Fähigkeiten entwickeln: von „Ökosystem-IT-Systemen“, die mehrere Unternehmen auf Plattformen zusammenbringen, und innovativen externen Dienstleistungen bis hin zu neuen Managementfähigkeiten, um mit dem Ausmaß und der Komplexität von Ökosystembeziehungen zurechtzukommen. Durchsetzen werden sich diejenigen, die neue Beziehungen und neue Formen der Zusammenarbeit annehmen.

Partnerschaften und Allianzen haben Unternehmen schon seit jeher geschlossen, aber da Ökosysteme so weitreichend sind, erweisen sich die traditionellen Ansätze für das Beziehungsmanagement hier als ungeeignet. Erfolgreiche Unternehmen finden neue Wege, Partner auszuwählen und zu managen und Geschäfte zu machen. Drei Schritte sind in diesem Zusammenhang von besonderer Bedeutung:²¹

▶ Schritt 1: Kernelemente eines nachhaltigen Ökosystems verstehen

Ein Ökosystem muss ein überzeugendes Wertversprechen bieten, das für viele Unternehmen attraktiv, offen und relevant ist, um erfolgreich zu sein. Die führenden Ökosysteme unserer Zeit wurden von aufstrebenden Technologieunternehmen aufgebaut, die mit Hyperscale-Plattformen gegen die Angebote traditioneller Wettbewerber angetreten sind, Zwischenstufen eliminiert und die traditionellen Angebote häufig sogar ersetzt haben. Das Entscheidende dabei ist, dass diese Plattformbetreiber die Schnittstelle zum Kunden und die Kontrollpunkte steuern.

Um vom IIoT als Grundlage eines Ökosystems zu profitieren, hilft es, eine Plattform zu haben, auf der Anwendungen erstellt und verwaltet, Analysen durchgeführt sowie Daten gespeichert und gesichert werden können. Ökosystempartner, Unternehmen und Entwickler können aus einer erstaunlichen Vielfalt von Optionen auswählen, die völlig unterschiedliche Fähigkeiten haben können.

²¹ Siehe auch: Jürgen Meffert und Anand Swaminathan, „Management’s next frontier: Making the most of the ecosystem economy“, McKinsey & Company, 27. Oktober 2017, <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/managements-next-frontier>

Die führenden IloT-Unternehmen nutzen offenbar lieber Fähigkeiten eines Ökosystems aus Technologiepartnern, als sich auf die eigenen Fähigkeiten zu verlassen. Bei der Auswahl einer IloT-Plattform, die ihren Anforderungen am besten entspricht, gehen sie anders vor als die Nachzügler: Sie orientieren sich nicht primär an den Software-Entwicklungsumgebungen, die eine IloT-Plattform unterstützt, sondern wählen Plattformen danach aus, ob sie eine lebendige Community von externen Entwicklern anlocken und unterstützen. Vielleicht weil diese Fähigkeiten so speziell sind, verlassen sich die führenden Unternehmen für ihre IloT-Plattformen häufiger auf externe Partner.

▶ **Schritt 2: Die richtigen Partner auswählen, um im plattformgestützten Ökosystem einen ausgewogenen Mix an Partnern zu erreichen**

Wer eine effektive Ökosystemstrategie entwickeln will, muss wissen, wo das Wertpotenzial liegt. Den Wert von immateriellen Vermögensgegenständen wie Kundenbeziehungen, proprietären Daten und bestehenden Fähigkeiten zu berechnen und auszuloten, wo neue Marktchancen liegen, zeigt am besten, wo dieses Wertpotenzial zu finden ist. Wenn Unternehmen diese Informationen besitzen, können sie potenzielle Partnerschaften danach beurteilen, ob sie Fähigkeiten, Märkte und Technologien erschließen, die die eigenen strategischen Ziele voranbringen und ergänzen.

Unternehmen sollten der Versuchung widerstehen, im gleichen Sektor oder in der gleichen Region nach Kooperationspartnern zu suchen. Sinnvoller ist es, Ökosystempartner systematisch nach Branchen und Grundtypen zu sortieren, Kriterien zu ermitteln (z.B. Zugang zu neuen Kunden oder Fähigkeiten) und zu erwartende Kompromisse abzuwägen (etwa Fachwissen, Einschließeffekte und Marktpotenzial).

In diesem Zusammenhang sollten Unternehmen vier Überlegungen anstellen: Würde dieses Unternehmen ein Ökosystem mit vielfältigen und sich ergänzenden Fähigkeiten und Wertversprechen fördern? Ist das Geschäftsmodell des Kandidaten flexibel, kundenorientiert und zukunftssicher genug? Sind die Mitarbeiter und das Topmanagement besonders erfolgreich? Passt die Arbeitsweise des Unternehmens zur Kultur der übrigen Ökosystemteilnehmer?

Mit zunehmender Konsolidierung auf dem Ökosystemmarkt sollten Unternehmen versuchen, einen Partner zu finden, der entweder groß ist und langfristig dabei sein dürfte oder der hochspezialisiert ist und ihre schwierigsten Probleme lösen kann. Dabei müssen Unternehmen den gesamten Technologiesektor betrachten, nicht nur die Anwendungen.

Sie müssen außerdem beachten, dass das Maß an Vielfalt des angestrebten Ökosystems unterschiedlich ausfallen kann: Die Spanne reicht von eher monolithisch mit nur einer Handvoll Lösungsanbietern und Supportservices bis zu stark fragmentiert mit Hunderten von Hardware-, Software- und Supportanbietern. Bei der Zusammensetzung der erforderlichen Hardware, Software und Services für vertikale Anwendungen und Plattformen lassen sich hinsichtlich der Vielfalt drei Grundtypen unterscheiden (Abbildung 28):

- Best-in-Class-Akteure für jede Kategorie – Hardware, Software und Support – auszuwählen (Abbildung 28, Grundtyp 1: diversifiziert), hilft, in jeder der drei Kategorien optimale Ergebnisse zu erzielen. Allerdings werden die Supportbelastung, der Aufwand für die Integration der Kategorien und die Zahl der potenziellen Fehlerstellen erheblich zunehmen.
- Möglichst wenig Vielfalt im Technologie-Stack (Abbildung 28, Grundtyp 2: monolithisch) verringert den Supportbedarf, vereinfacht die Integration unterschiedlicher Systeme und sorgt für weniger potenzielle Fehlerstellen. Ein monolithisches Ökosystem kann jedoch zu großen Abhängigkeiten von einzelnen Anbietern (Einschließeffekt) führen und die Fähigkeit schmälern, sich an veränderte Anforderungen der Endnutzer und des Unternehmens anzupassen.

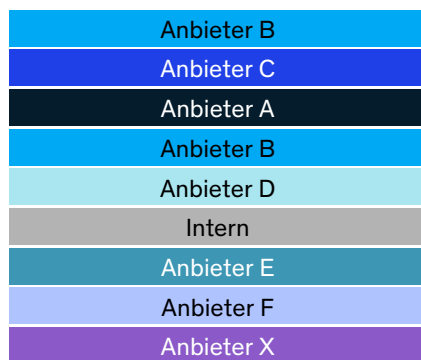
- Ein hybrider Ansatz (Abbildung 28, Grundtyp 3: kombiniert) strebt einen Ausgleich zwischen den Bedürfnissen des Unternehmens und den Kosten für Implementierung und Betrieb an. Er versucht trotzdem, bestmögliche Technologielösungen zu nutzen, die sich in ein übergeordnetes Ökosystem eingliedern lassen. Dabei sind die Anforderungen des Unternehmens und der Endverbraucher der IIoT-Lösung sowie der zu Grunde liegenden Architektur sorgfältig abzuwägen gegenüber kurz- und langfristigen Zielen, dem Implementierungsaufwand und dem Wert, der auf dem Spiel steht (Value at Stake).

Abbildung 28

Die 3 Archetypen der Ökosystemlandschaft

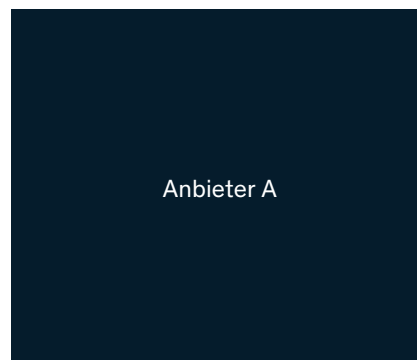
Aspekte der IIoT-Plattformlösung

1. Diversifiziert



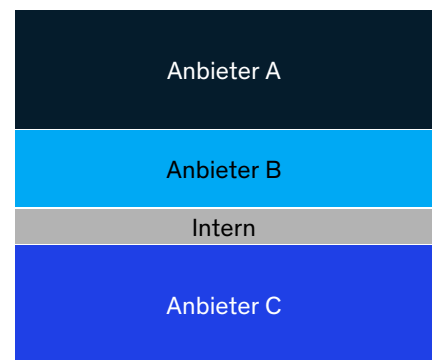
Ungünstig wegen aufwändiger Koordination und unterschiedlicher Schnittstellen

2. Monolithisch



Nicht machbar, da es keinen Anbieter gibt, der alle IIoT-Technologien abdeckt, und das Lock-in-Risiko hoch ist

3. Kombiniert



Ermöglicht Ausgleich zwischen effizienter Beschaffung und Vermeidung von Lock-ins

Quelle: McKinsey

Die meisten Best-in-Class-Unternehmen liegen in Bezug auf die Vielfalt in der Mitte dieser Spanne – mit einer stärkeren Konsolidierung über die Plattform hinweg und Baustein-kategorien. Dies liefert eine einheitliche Pipeline für die Entwicklung und den Support von speziellen Anwendungen – sei es für die Optimierung der Produktionsplanung in Bezug auf Rohstoffkosten und Zeitplanung oder für die Maximierung des Durchsatzes von Fertigungslinien bei minimaler Verschwendung.

Darüber hinaus werden Plattformen (z.B. Enterprise Planning, Vernetzung von Maschinen und industrielle Wearables) und ihre Bausteine (z.B. Schnittstellen, Konnektivität und Sicherheit) oft von mehreren vertikalen Anwendungen genutzt, während die eigentlichen Anwendungen oft Use-Case- und nutzerspezifisch sind.

Taktische Lösungen neigen häufig zu einem stärker monolithischen Ökosystem. Doch die meisten IIoT-Lösungen sind eher diversifiziert, was vor allem an der Vielfalt der Systeme für die Industrieautomatisierung und der zu Grunde liegenden OT liegt.

▶ **Schritt 3: Business-Development-Teams implementieren, um das komplexe Ökosystem zu managen und Agilität zu gewährleisten**

Um die Beiträge dieser Plattform- und Lösungsanbieter optimal zu nutzen, arbeiten führende Unternehmen mit Business-Development-Teams, die ähnlich wie zentrale Vertriebsteams bei B2B-Unternehmen funktionieren. Sie umfassen aber auch Topmanager und Führungskräfte aus den Bereichen Unternehmensentwicklung, Management, Recht, Business Development und Technologie. In Verhandlungsteams auch Rechtsexperten an Bord zu haben, ist besonders wichtig, wenn man bedenkt, wie viele Fragen bei der Arbeit mit externen Partnern zu klären sind – zu Themen wie Cybersicherheit, geistigem Eigentum, Dateneigentum, Lizenzierung, Datenschutz, Gewinnaufteilung, Haftung, aufsichtsrechtlicher Compliance und Kundenmanagement.

Unternehmen dürften auch Personal mit ungewöhnlichen technischen Fähigkeiten benötigen, z.B. Full-Stack-IT-Architekten, die sich um die Integration von verschiedenen Technologien über Infrastruktur, Apps und Services hinweg kümmern. Zu den wichtigsten Aufgaben eines Ökosystem-Business-Development-Teams gehört es, Unternehmen kontinuierlich zu überprüfen, Kontakt zu potenziellen Partnern aufzunehmen und auszuloten, welche Kandidaten gut passen würden. Das Team sollte eine Pipeline aufbauen, um den Fortschritt zu überwachen, und regelmäßige Überprüfungen bei bestimmten Meilensteinen einrichten, um zu ermitteln, ob und wie es vielversprechende Optionen verfolgen kann, und wann es nicht erfolgreiche Projekte am besten beendet. Das Team legt außerdem fest, wie neue Beziehungen zu gestalten sind, d.h. als Joint Venture, Unternehmenszusammenschluss oder Partnerschaft – je nach Wettbewerbsdruck und Marktpotenzial.

Das Management von Ökosystemen erfordert die richtige Mischung aus Standardisierung (um Chaos zu verhindern) und Flexibilität (um Chancen schnell zu nutzen). Die Standardisierung von Kernprozessen wie dem Pipelinemanagement, Verhandlungsvorlagen und Akzeptanzrichtlinien in der Softwareentwicklung kann die Entwicklung eines erfolgreichen Ökosystems beschleunigen. Gleichzeitig können Tools für Echtzeit-Performance-Tracking, flexible Vertragsstrukturen und Investitionen in agile Prozesse Unternehmen die nötige Flexibilität verschaffen, um sich an Veränderungen des Ökosystems anzupassen.

In Open-IT-Architektur, APIs und Microservices zu investieren, ist entscheidend, um eine technische Plattform zu entwickeln, die in Ökosystemen die nötige Flexibilität und Agilität ermöglicht. Darüber hinaus müssen Manager erwünschte Verhaltensweisen vorleben, z.B. indem sie dem Ökosystemmanagement oberste Priorität einräumen und Zeit mit externen Partnern verbringen.

Ausblick: Vorbereitung auf die digitale Transformation in der Produktion

Unser „Erfolgsmodell“ in Kapitel 2 beschreibt einen siebenstufigen Prozess, der den Erfolg der digitalen Transformation dauerhaft sichert. Unternehmen, die die Startbedingungen für den Transformationsprozess noch nicht erfüllen, können mit einigen vorbereitenden Maßnahmen die Voraussetzungen für den Einstieg schaffen.

Sieben pragmatische Empfehlungen sollen ihnen dabei helfen:

1. Unterstützung der Unternehmensspitze für die Digitalisierung als vorrangiges, unternehmensweites Projekt sichern
2. Ehrgeizige Ziele für eine neue Arbeitsweise festlegen und den erwarteten Nutzen klar kommunizieren
3. Acht bis zehn besonders vielversprechende Use Cases als Kern identifizieren und ihr Wertpotenzial zügig nachweisen
4. Nach strategischen Gesichtspunkten Use Cases mit Leuchtturmcharakter festlegen, die das IIoT-Potenzial möglichst gewinnbringend ausschöpfen, damit sich die Transformation selbst finanziert
5. Eine flexible IT-Architektur und ein Ökosystem mit Technologieanbietern aufbauen, um Use Cases zügig hochskalieren zu können
6. Den Bedarf an außergewöhnlichen Mitarbeiterfähigkeiten feststellen und entsprechend neue Mitarbeiter einstellen oder Fähigkeiten aufbauen
7. Zur Kenntnis nehmen, dass weniger als ein Drittel des Erfolgs von der Technologie abhängt, wohingegen Prozesse, Strukturen und Fähigkeitenaufbau zwei Drittel ausmachen.

Ein ganzheitlicher Ansatz für die digitale Produktion berücksichtigt neben technischen Faktoren auch die Grundlagen der Organisation und der Geschäftstätigkeit. Er kann den Industrieunternehmen helfen, die Hürden zwischen einem erfolgreichen Pilotprojekt und dem unternehmensweiten Rollout zu nehmen. Eine digitale Transformation kann, wenn sie richtig angegangen wird, den Wert eines Unternehmens erheblich steigern. Viele Beispiele aus der Praxis zeigen, wie es geht.

Glossar

Dieses Glossar erläutert, wie die Begriffe in diesem Bericht verwendet und abgekürzt werden.

5G: 5G ist der Standard der fünften Mobilfunkgeneration und wird von den Mobilfunkbetreibern seit 2019 als Netz aufgebaut. Die Entwicklung des neuen Standards fällt zusammen mit der Freigabe neuer Mobilfunkfrequenzen (z.B. höhere Frequenzbereiche, 28 GHz+), die von 5G zusätzlich zu den bereits freigegebenen Mobilfunkfrequenzen genutzt werden können. Die neuen Frequenzen bieten deutlich mehr Bandbreite und sorgen damit für hohe Übertragungsgeschwindigkeiten und eine geringe Latenz – beides Voraussetzungen für innovative Use Cases. Allerdings müssen die Funkzellen sehr engmaschig ausgebaut werden, da die Reichweite der Wellen gering und die Verbreitung schlechter als bei mittleren Frequenzbändern ist (unter 6 GHz). Neben Mobilfunknetzen wird 5G wahrscheinlich auch in privaten Netzwerken für IIoT-Anwendungen, in Unternehmensnetzen und in der kritischen Kommunikation eingesetzt.

Advanced Analytics: Advanced Analytics ist die autonome oder teilautonome Analyse von Daten oder Inhalten mithilfe anspruchsvoller Verfahren und Systeme. Diese gehen in der Regel über herkömmliche Business-Intelligence-Analysen hinaus und liefern tiefere Einblicke, Vorhersagen oder Empfehlungen. Zu den Advanced-Analytics-Verfahren zählen Data- und Text Mining, maschinelles Lernen, Mustervergleich, Forecasting, Visualisierung, semantische Analysen, Stimmungsanalysen, Netzwerk- und Clusteranalysen, multivariate Statistik, Graphenanalyse, Simulation, Complex Event Processing und neuronale Netze.

Advanced Automation: Advanced Automation bezeichnet technisch anspruchsvolle, automatisierte Systeme, die im Idealfall auch die Fähigkeit besitzen, sich selbst zu warten und zu reparieren, so dass der Mensch nicht mehr eingreifen muss – abgesehen von einer allgemeinen steuernden Funktion. Da diese Systeme auch ohne menschlichen Einsatz hochskaliert werden können, vergrößern sie die Produktionskapazitäten enorm und entkoppeln die menschliche Arbeitskraft von der industriellen Produktivität.

Brownfield: Brownfield-Entwicklung ist ein in der IT-Branche häufig verwendeter Begriff, der beschreibt, dass neue Softwaresysteme für Problemfelder entwickelt und bereitgestellt werden müssen, während ältere, bereits installierte Softwareanwendungen oder -systeme bestehen bleiben. Das bedeutet: Jede neue Softwarearchitektur muss diese Altsysteme berücksichtigen und neben diesen existieren. Gleiches gilt für operative Technologie (OT). Hier bezieht sich der Begriff Brownfield in der Regel auf bereits vorhandene und laufende Fertigungstechnik mit entsprechender OT.

Cloud Computing: Cloud Computing beschreibt die Bereitstellung von Computersystemressourcen nach Bedarf, vor allem Datenspeicher (Cloud-Speicher) und Rechnerleistung, ohne direkte, aktive Steuerung durch den Nutzer. Der Begriff bezeichnet meist Rechenzentren, die vielen Nutzern über das Internet zur Verfügung stehen. Große Clouds, die heutzutage überwiegen, bieten oft Funktionen, die auf zentralen Rechnern an verschiedenen Standorten verteilt sind. Manche Clouds werden nur von einer einzigen Organisation genutzt (Enterprise Cloud oder Private Cloud), andere stehen vielen Nutzern zur Verfügung (Public Cloud). Cloud Computing beruht auf der gemeinsamen Nutzung von Ressourcen, um Kohärenz und Economies of Scale zu realisieren. Verfechter von Public und Hybrid Clouds führen an, dass Unternehmen durch Cloud Computing Investitionen in IT-Infrastruktur vermeiden oder minimieren können. Befürworter behaupten auch, dass Unternehmen mit Cloud Computing Anwendungen schneller implementieren können, diese leichter und mit geringerem Wartungsaufwand verwalten können und IT-Teams Ressourcen schneller an eine schwankende und unberechenbare Nachfrage anpassen können.

DevSecOps: Dabei handelt es sich um eine Erweiterung von DevOps, bei der Sicherheitspraktiken in den DevOps-Ansatz integriert werden. Das klassische Modell mit einem zentralen Sicherheitsteam wird von einem föderierten Modell abgelöst, in dem jedes Delivery-Team geeignete Sicherheitsmaßnahmen in seine DevOps-Praktiken integriert.

Edge Computing: Im Gegensatz zum Cloud Computing bezeichnet Edge Computing die dezentrale Datenverarbeitung am Rande eines Netzwerks. Sie resultiert aus der Verlagerung von Computeranwendungen, Daten und Services von den zentralen Knotenpunkten (Rechenzentren) an den äußeren Rand eines Netzwerks. Mit anderen Worten: Datenströme sollen so nah wie möglich an der Quelle verarbeitet werden, denn dann ist die Latenz geringer, als wenn die Daten erst zum Cloud-Server geschickt werden müssen.

ERP: Enterprise Resource Planning ist ein Softwaresystem, das Informationen aus einer Organisation integriert, z.B. Supply-Chain-Daten, Bestandsdaten, Verkaufs- und Serviceaufträge sowie Kundeninformationen. Das System unterstützt den Austausch von Informationen zwischen allen Geschäftsfunktionen und steuert Datenverbindungen mit externen Kunden.

Geschlossene Regelkreise: Grundsätzlich existieren offene und geschlossene Regelkreise. Im Gegensatz zu offenen Regelkreisen (Closed Loop), bei denen der Regler unabhängig vom Prozessergebnis (oder der gesteuerten Prozessvariable) agiert, sind die Aktionen des Reglers in geschlossenen Regelkreisen vom Prozessergebnis abhängig. Der Regler in einem geschlossenen Regelkreis besitzt eine Rückführungsschleife, die dafür sorgt, dass der Regler anhand der Messgrößen aus dem Prozessergebnis Korrekturen vornimmt.

Global Lighthouse Network: Das Global Lighthouse Network ist eine Forschungskoooperation zwischen McKinsey und dem Weltwirtschaftsforum, die zu dem Ergebnis gekommen ist, dass Vorreiter in der Anwendung von Industrie-4.0-Technologien von ihrem Vorsprung profitieren und in allen Bereichen einen Wertzuwachs realisieren, nicht nur in einzelnen Fabriken. Eine genauere Untersuchung der Lighthouses hat ergeben, dass diese Unternehmen ihre Produktivität, Nachhaltigkeit, Betriebskosten und Speed to Market überdurchschnittlich verbessern.

Grafikprozessor: Ein Grafikprozessor (GPU) ist eine Leiterplatte, die grafikrelevante Berechnungen besonders schnell durchführt und Bilddaten an einen Framebuffer schickt, damit sie an einem Bildschirm ausgegeben werden können. GPUs werden in Embedded Systems, Handys, PCs, Workstations und Spielekonsolen verwendet. Wegen ihrer ausgeprägten Parallelstrukturen können sie Algorithmen, bei denen große Datenblöcke parallel verarbeitet werden, effizienter durchführen als CPUs. Deshalb eignen sie sich ideal für maschinelles Lernen.

IloT-gestütztes Rückgrat: Im Mittelpunkt des IloT stehen zuverlässige, leistungsstarke Kommunikations- und Verbindungsnetzwerke. Robuste und flexible Kommunikationsnetze sind nötig, um die Vision von Maschinen zu verwirklichen, die miteinander sprechen, Daten erheben und analysieren sowie entsprechende Berichte erstellen. In Industrieunternehmen müssen die Maschinen und Anlagen, die Daten erfassen und übertragen (z.B. Kabel, Stecker, Patchkabel, Sensoren und Schalter), den Bedingungen und hohen Anforderungen einer solchen Umgebung gerecht werden. Das Industrial Ethernet ist vergleichbar mit einem „Backbone“, dem Rückgrat eines Netzwerks, das alle Teile eines Fertigungsunternehmens verbindet – vom Zentralbereich über die Produktion bis zu entlegenen Standorten. Solche Plattformen bieten Internet- und Unternehmenskonnektivität.

IloT-Plattformen: Mit den im IloT erstellten Plattformen können Anwendungen implementiert werden, um vernetzte Geräte zu steuern, zu verwalten und zu kontrollieren. IloT-

Plattformen behandeln Probleme wie die Verknüpfung und Extraktion von Daten einer Vielzahl unterschiedlicher Endpunkte, die sich bisweilen an schwer zugänglichen Stellen mit lückenhafter Verbindung befinden.

Industrielles Internet der Dinge (Industrial Internet of Things, IIoT): IIoT bezeichnet die Verwendung von IoT-Technologie im industriellen Bereich, meistens im Business-to-Business-Kontext und oft im Rahmen operativer Prozesse, z.B. in der Produktion, in Lieferketten oder in der Logistik.

Industriesoftware-Stack: Der Industriesoftware-Stack umfasst alle notwendigen Softwareprodukte und -tools, um Daten von einem industriellen Endpunkt (z.B. einer Maschine) zu sammeln, nützliche Informationen aus diesen Daten zu gewinnen und daraus Entscheidungen abzuleiten, z.B. ob eine Maschine anders bedient werden muss oder wie der Geschäftsbetrieb effektiver gestaltet werden kann.

Industrie 4.0: Industrie 4.0 ist eines der Schlagworte für den aktuellen Automatisierungs- und Digitalisierungstrend in der Fertigungstechnik. Dazu zählen cyberphysische Systeme, IoT, Cloud Computing und Cognitive Computing. Industrie 4.0 fördert die Entwicklung „intelligenter Fabriken“ und wird oft als vierte industrielle Revolution bezeichnet. In modular strukturierten intelligenten Fabriken überwachen cyberphysische Systeme physische Prozesse. Sie schaffen eine virtuelle Kopie der physischen Welt und treffen dezentral Entscheidungen. Über das IoT kommunizieren und kooperieren die cyberphysischen Systeme in Echtzeit untereinander und mit Menschen, sowohl intern als auch extern im Rahmen verschiedener Unternehmensdienstleistungen, die von anderen Akteuren in der Wertschöpfungskette angeboten oder genutzt werden.

Informationstechnologie (IT): IT umfasst sämtliche Rechner, Speicher, Netzwerke oder sonstigen physischen Geräte, Infrastrukturkomponenten und Prozesse, um elektronische Daten in jeglicher Form zu erstellen, zu verarbeiten, zu speichern, zu sichern und zu übertragen.

Infrastructure/Platform/Software as a Service: Im Cloud Computing kann grundsätzlich zwischen drei Cloud-Service-Levels unterschieden werden, die aufeinander aufbauen: Infrastructure as a Service (IaaS), Platform as a Service (PaaS) und Software as a Service (SaaS). IaaS-Angebote umfassen in der Regel die Serverinstanz für Berechnungen, Datenspeicherung und Netzwerkfunktionen. PaaS bietet zusätzlich zur Serverinstanz eine Entwicklungsumgebung, mit der Unternehmen Anwendungen programmieren können. SaaS-Angebote umfassen eine sofort einsetzbare Software, die in einer Cloud bereitgestellt und verwaltet wird. Bei allen drei Levels werden abstrakte oder virtualisierte IT-Infrastrukturen bereitgestellt. Somit können IaaS, PaaS und SaaS wie alle Cloud-Computing-Dienste jederzeit dynamisch an die Bedürfnisse der Nutzer oder Unternehmen angepasst werden.

Internet der Dinge (IoT): IoT bezeichnet die Verbindung physischer Objekte und Geräte mit dem Internet zum Zwecke der Datenübertragung. In diesem Bericht sind mit IoT Anwendungen gemeint, die sich speziell an Endverbraucher richten, im Gegensatz zu industriellen Anwendungen, die unter dem Begriff IIoT zusammengefasst sind.

IO-Link: IO-Link ist ein Netzwerkstandard für die industrielle, bidirektionale, digitale, drahtgebundene (oder drahtlose) Punkt-zu-Punkt-Kommunikation im Nahbereich. Er verbindet digitale Sensoren und Aktoren mit einem industriellen Feldbus oder einem industriellen Ethernet. Der IO-Link soll eine Technologieplattform bieten, mit der Sensoren und Aktoren entwickelt und genutzt werden, die angereicherte Daten produzieren und verarbeiten können. Diese wiederum dienen der betriebswirtschaftlichen Optimierung industrieller, automatisierter Prozesse.

IT-OT-Konvergenz: IT-OT-Konvergenz ist die Integration von IT-Systemen mit OT-Systemen. IT-Systeme werden für datenorientierte Berechnungen genutzt; OT-Systeme überwachen Ereignisse, Prozesse und Geräte und korrigieren Unternehmens- und Industrieprozesse. Man unterscheidet im Wesentlichen drei Arten der IT-OT-Konvergenz: 1) die Prozesskonvergenz, die sich auf die Konvergenz von Arbeitsabläufen bezieht; 2) die Software- und Datenkonvergenz, bei der es um die Nutzung von Frontoffice-Software und -Daten zur Erfüllung von OT-Anforderungen geht; 3) die physische Konvergenz, d.h. die Ausstattung oder Nachrüstung physischer Geräte mit neuerer Hardware, um die IT in die herkömmliche OT zu integrieren.

Künstliche Intelligenz (KI): KI ist das Studium „intelligenter Agenten“. Darunter versteht man Geräte, die ihre Umgebung wahrnehmen und Handlungen vornehmen, die die Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung maximieren. Alternativ kann KI definiert werden als die Fähigkeit eines Systems, externe Daten korrekt zu interpretieren, aus diesen Daten zu lernen und dieses Wissen zu nutzen, um bestimmte Ziele und Aufgaben durch flexible Anpassung zu erfüllen.

Low-Code-/No-Code-Plattformen: Eine Low-Code-Entwicklungsplattform ist eine Software, die eine Entwicklungsumgebung schafft, mit der man Anwendungssoftware mithilfe grafischer Benutzeroberflächen erstellt oder konfiguriert, anstatt wie üblich durch manuelle Programmierung. Ein Low-Code-Modell bietet Entwicklern mit unterschiedlichem Wissensstand die Möglichkeit, Anwendungen zu erstellen mithilfe einer visuellen Benutzeroberfläche in Verbindung mit einer modellgetriebenen Logik. Mit einer No-Code-Entwicklungsplattform können Programmierer und Nicht-Programmierer eine Anwendungssoftware mithilfe grafischer Benutzeroberflächen erstellen oder konfigurieren, anstatt wie üblich durch manuelle Programmierung. No-Code-Entwicklungsplattformen stehen in enger Beziehung zu Low-Code-Entwicklungsplattformen, weil beide den Prozess der Anwendungsentwicklung beschleunigen.

Manufacturing Execution System (MES): Ein MES managt die Fertigungsprozesse in einer Fabrik. Das System erhält Produktdefinitionen, elektronische Arbeitsanweisungen und Geräteeinstellungen aus dem Produktlebenszyklus-Managementsystem und Bestellanforderungen aus dem ERP-System und gibt die Produktionsleistung und den Materialverbrauch an das ERP-System weiter.

Manufacturing Operations Management (MOM): MOM ist ein Verfahren, um die Effizienz eines Fertigungsprozesses durch eine ganzheitliche Betrachtung von Anfang bis Ende zu optimieren. Es gibt viele verschiedene Arten von MOM-Systemen. Dazu zählen Software für das Produktionsmanagement, die Analyse der Produktionsleistung, Qualitätssicherung und Compliance sowie Mensch-Maschine-Schnittstellen. Produktionsmanagement-Software liefert Echtzeitinformationen zu Arbeitsaufträgen und Bestellungen, Arbeit und Material, Maschinenstatus und Produktlieferungen. Software analysiert Leistungskennzahlen für Maschinen, Linien, einzelne Werke und das gesamte Unternehmen im situativen oder historischen Kontext. Qualitäts- und Compliance-Software fördert die Einhaltung von Standards und Spezifikationen betrieblicher Prozesse und Verfahren. Software für die Mensch-Maschine-Schnittstelle ist eine Art von MOM-Software, mit der Mitarbeiter industrielle und prozessgesteuerte Maschinen über eine computerbasierte Benutzeroberfläche verwalten können.

MQTT: MQTT ist ein modernes, leichtes Kommunikationsprotokoll, das mit geringem Programmieraufwand und sehr geringen Netzwerkbandbreiten eine effektive Verbindung räumlich getrennter Geräte ermöglicht.

Open Platform Communications (OPC): OPC ist der Interoperabilitätsstandard für eine sichere und zuverlässige Datenübertragung im Bereich der industriellen Automatisierung, aber auch in anderen Branchen. OPC ist plattformunabhängig und sorgt für einen reibungslosen Datenaustausch zwischen Geräten verschiedener Hersteller.

Operative Technologie (OT): Die für die Fertigung und Industrie typische OT umfasst industrielle Steuerungssysteme wie SCADA-Systeme. Während die Datenkommunikation von Natur aus Teil der IT ist, war die OT ursprünglich keine Netzwerktechnologie, d.h., sie war nicht über das Internet mit einem größeren Netzwerk verbunden. Viele Überwachungs- oder Steuerungsgeräte waren früher keine Computer und solche mit EDV-Ressourcen verwendeten in der Regel geschlossene, proprietäre Protokolle und SPS statt Technologien, die eine vollständige Steuerung per Computer erlauben.

Plattform: Eine Plattform ist Software und Hardware, die eine Betriebsumgebung, Speicher, Rechenleistung, Sicherheit, Entwicklungstools und viele andere gängige Funktionen umfassen kann. Mit solchen Plattformen soll eine Vielzahl kleinerer Anwendungen für Geschäftslösungen unterstützt werden.

Produktlebenszyklus-Management: Produktlebenszyklus-Management ist ein Softwaresystem, das Produktionsinformationen bündelt und die Entwicklung, Produktion, Betreuung und Entsorgung von Ressourcen im Produktionsprozess unterstützt.

Prozessleitsystem: Komplexe automatisierte Industrieanlagen benötigen ein Prozessleitsystem, um Fertigungsprozesse zu steuern. Diese Systeme sind hierarchisch organisiert und verbinden prozessnahe (z.B. in Produktionsanlagen verbaute) Komponenten wie Aktoren, Kontaktgeber, Motoren, Sensoren, Schalter und Ventile mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS). Die SPS ist wiederum mit einer Mensch-Maschine-Schnittstelle verbunden, meist eine Art von Display, über das der Mitarbeiter die Funktionsweise des Systems und das Verhalten der Komponenten kontrollieren und ggf. Stellgrößen korrigieren kann.

Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS): Eine SPS ist ein kleiner, modularer, halbleiterbasierter Computer mit individuellen Anweisungen, wie eine bestimmte Aufgabe auszuführen ist. SPS werden in industriellen Steuerungssystemen verschiedenster Branchen verwendet und haben mechanische Relais, Nockenschaltwerke und Trommelschalter größtenteils abgelöst.

Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA): SCADA ist eine Steuerungssystem-Architektur, die Prozesse mithilfe von Computern, Netzwerken zur Datenübertragung und grafischen Benutzeroberflächen überwacht und andere Peripheriegeräte wie SPS und diskrete Proportional-Integral-Differential-Regler nutzt, um mit der Anlage oder Maschine zu kommunizieren. Das SCADA-Computersystem arbeitet mit Benutzeroberflächen, die eine Überwachung und Ausgabe von Prozessbefehlen unterstützen, z.B. Sollwertänderungen des Reglers. Die Echtzeit-Steuerlogik bzw. die Reglerberechnungen werden jedoch von Netzwerkmodulen durchgeführt, die mit Feldsensoren und -aktoren verbunden sind.

Supply-Chain-Management-Software: Das Supply-Chain-Management erfordert Softwaretools oder -module, um Transaktionen in der Lieferkette durchzuführen, Lieferantenbeziehungen zu managen und damit verbundene Geschäftsprozesse zu steuern. Solche Systeme können sehr unterschiedliche Funktionen haben, besonders häufig sind Anforderungsmanagement, Auftragsbearbeitung, Vertrieb und Distribution, Bestandsmanagement, Wareneingang und Lagerwirtschaft sowie Lieferantenmanagement und Einkauf.

Autoren

Andreas Behrendt

Partner, Köln

Enno de Boer

Partner, New Jersey

Tarek Kasah

Associate Partner, Düsseldorf

Bodo Koerber

Partner, Düsseldorf

Niko Mohr

Partner, Düsseldorf

Gérard Richter

Senior Partner, Frankfurt

Co-Autoren

Isabel Blum

Associate Partner, Köln

Alexander Busse

Engagement Manager, Frankfurt

Alexander Knaak

Expert (Digital Labs), München

Florian Surek

IIoT Hub Manager, Taipei

Inhaltliche Beiträge

Beltir Caglar-Dayanik, Bill Corrigan, Leonides de Ocampo, Robert Feldmann, Yves Giraud, Jörg Hanebrink, Marnix Hollander, Zina Kolesova, Dennis Küsters, Prashanth Parthasarathy, Tyler Smith, Joris van Niel, Zach Warren, Adrian Widmer, Hayden Zheng

Kontakte

Ihre Ansprechpartner für diesen Bericht in den Americas, Europa und Asien-Pazifik

Amerikas

Venkat Atluri ist Senior Partner im McKinsey-Büro in Chicago
Venkat_Atluri@mckinsey.com

Aamer Baig ist Senior Partner im McKinsey-Büro in Chicago
Aamer_Baig@mckinsey.com

Gianluca Camplone ist Senior Partner im McKinsey-Büro in Chicago
Gianluca_Camplone@mckinsey.com

Michael Chui ist Partner im McKinsey-Büro in San Francisco
Michael_Chui@mckinsey.com

Mike Coxon ist Partner im McKinsey-Büro in Cleveland
Mike_Coxon@mckinsey.com

Enno de Boer ist Partner im McKinsey-Büro in New Jersey
Enno_de_Boer@mckinsey.com

Ewan Duncan ist Senior Partner im McKinsey-Büro in Seattle
Ewan_Duncan@mckinsey.com

Katy George ist Senior Partner im McKinsey-Büro in New Jersey
Katy_George@mckinsey.com

Richard Kelly ist Partner im McKinsey-Büro in Stamford
Richard_Kelly@mckinsey.com

Eric Lamarre ist Senior Partner im McKinsey-Büro in Boston
Eric_Lamarre@mckinsey.com

Asutosh Padhi ist Senior Partner im McKinsey-Büro in Chicago
Asutosh_Padhi@mckinsey.com

Mark Patel ist Senior Partner im McKinsey-Büro in San Francisco
Mark_Patel@mckinsey.com

Daniel Swan ist Senior Partner im McKinsey-Büro in Stamford
Daniel_Swan@mckinsey.com

Steve Van Kuiken ist Senior Partner im McKinsey-Büro in New Jersey
Steve_Van_Kuiken@mckinsey.com

Rutger Vrijen ist Partner im McKinsey-Büro im Silicon Valley
Rutger_Vrijen@mckinsey.com

Rodney Zimmel ist Senior Partner im McKinsey-Büro in New York
Rodney_Zimmel@mckinsey.com

Europa

Lisa Åberg ist Senior Partner im McKinsey-Büro in Stockholm
Lisa_Aberg@mckinsey.com

Harald Bauer ist Senior Partner im Frankfurter Büro von McKinsey
Harald_H_Bauer@mckinsey.com

Thomas Baumgartner ist Senior Partner im Wiener Büro von McKinsey
Thomas_Baumgartner@mckinsey.com

Andreas Behrendt ist Partner im Kölner Büro von McKinsey
Andreas_Behrendt@mckinsey.com

Nico Berhausen ist Partner im McKinsey-Büro in Stockholm
Nico_Berhausen@mckinsey.com

Sven Blumberg ist Senior Partner im Düsseldorfer Büro von McKinsey
Sven_Blumberg@mckinsey.com

Dirk Breitschwerdt ist Senior Partner im Münchner Büro von McKinsey
Dirk_Breitschwerdt@mckinsey.com

Ondrej Burkacky ist Partner im Münchner Büro von McKinsey
Ondrej_Burkacky@mckinsey.com

Raffaele Carpi ist Partner im McKinsey-Büro in Lissabon
Raffaele_Carpi@mckinsey.com

Andreas Cornet ist Senior Partner im Münchner Büro von McKinsey
Andreas_Cornet@mckinsey.com

Marc de Jong ist Partner im McKinsey-Büro in Amsterdam
Marc_de_Jong@mckinsey.com

Hugo del Campo ist Senior Partner im McKinsey-Büro in Madrid
Hugo_del_Campo@mckinsey.com

Andrea del Miglio ist Senior Partner im McKinsey-Büro in Mailand
Andrea_del_Miglio@mckinsey.com

Valerio Dilda ist Partner im McKinsey-Büro in Paris
Valerio_Dilda@mckinsey.com

Ferry Grijpink ist Senior Partner im McKinsey-Büro in Amsterdam
Ferry_Grijpink@mckinsey.com

Mikael Hanicke ist Partner im McKinsey-Büro in Göteborg
Mikael_Hanicke@mckinsey.com

Holger Harreis ist Senior Partner im Düsseldorfer Büro von McKinsey
Holger_Harreis@mckinsey.com

Bernd Heid ist Senior Partner im Kölner Büro von McKinsey
Bernd_Heid@mckinsey.com

Nicolaus Henke ist Senior Partner im McKinsey-Büro in London
Nicolaus_Henke@mckinsey.com

Dorothee Herring ist Partner im Düsseldorfer Büro von McKinsey
Dorothee_Herring@mckinsey.com

Ruth Heuss ist Senior Partner im Berliner Büro von McKinsey
Ruth_Heuss@mckinsey.com

Anne Hidma ist Partner im McKinsey-Büro in Amsterdam
Anne_Hidma@mckinsey.com

Klemens Hjartar ist Senior Partner im McKinsey-Büro in Kopenhagen
Klemens_Hjartar@mckinsey.com

Daniele Iacovelli ist Partner im Hamburger Büro von McKinsey
Daniele_Iacovelli@mckinsey.com

Christian Jansen ist Partner im Hamburger Büro von McKinsey
Christian_Jansen@mckinsey.com

Paul Jenkins ist Senior Partner im McKinsey-Büro in Oslo
Paul_Jenkins@mckinsey.com

Andras Kadocsa ist Partner im McKinsey-Büro in Budapest
Andras_Kadocsa@mckinsey.com

Axel Karlsson ist Senior Partner im McKinsey-Büro in Stockholm
Axel_Karlsson@mckinsey.com

Tarek Kasah ist Associate Partner im Düsseldorfer Büro von McKinsey
Tarek_Kasah@mckinsey.com

Matthias Kässer ist Partner im Münchner Büro von McKinsey
Matthias_Kaesser@mckinsey.com

Bodo Koerber ist Partner im Düsseldorfer Büro von McKinsey
Bodo_Koerber@mckinsey.com

Martin Linder ist Senior Partner im Münchner Büro von McKinsey
Martin_Linder@mckinsey.com

Martin Lösch ist Senior Partner im Stuttgarter Büro von McKinsey
Martin_Loesch@mckinsey.com

Jürgen Meffert ist Senior Partner im Düsseldorfer Büro von McKinsey
Juergen_Meffert@mckinsey.com

Lukas Michor ist Partner im Wiener Büro von McKinsey
Lukas_Michor@mckinsey.com

Roberto Migliorini ist Partner im McKinsey-Büro in London
Roberto_Migliorini@mckinsey.com

Niko Mohr ist Partner im Düsseldorfer Büro von McKinsey
Niko_Mohr@mckinsey.com

Nicolai Müller ist Senior Partner im Kölner Büro von McKinsey
Nicolai_Mueller@mckinsey.com

Olivier Noterdaeme ist Partner im McKinsey-Büro in Brüssel
Olivier_Noterdaeme@mckinsey.com

Anders Rasmussen ist Senior Partner im McKinsey-Büro in London
Anders_Rasmussen@mckinsey.com

Gérard Richter ist Senior Partner im Frankfurter Büro von McKinsey
Gerard_Richter@mckinsey.com

Wolf Richter ist Partner im Berliner Büro von McKinsey
Wolf_Richter@mckinsey.com

Mikael Robertson ist Senior Partner im McKinsey-Büro in Stockholm
Mikael_Robertson@mckinsey.com

Matthias Roggendorf ist Partner im Berliner Büro von McKinsey
Matthias_Roggendorf@mckinsey.com

Tamim Saleh ist Senior Partner im McKinsey-Büro in London
Tamim_Saleh@mckinsey.com

Christoph Schmitz ist Senior Partner im Frankfurter Büro von McKinsey
Christoph_Schmitz@mckinsey.com

Ulf Schrader ist Senior Partner im Hamburger Büro von McKinsey
Ulf_Schrader@mckinsey.com

Markus Simon ist Partner im Kölner Büro von McKinsey
Markus_Simon@mckinsey.com

Kate Smaje ist Senior Partner im McKinsey-Büro in London
Kate_Smaje@mckinsey.com

Naomi Smit ist Partner im McKinsey-Büro in Amsterdam
Naomi_Smit@mckinsey.com

Francois Soubien ist Partner im McKinsey-Büro in Paris
Francois_Soubien@mckinsey.com

Jacob Staun ist Partner im McKinsey-Büro in Kopenhagen
Jacob_Staun@mckinsey.com

Gernot Strube ist Senior Partner im Münchner Büro von McKinsey
Gernot_Strube@mckinsey.com

Rupert Stuetzle ist Partner im Berliner Büro von McKinsey
Rupert_Stuetzle@mckinsey.com

Yoshi Takanuki ist Senior Partner im McKinsey-Büro in London
Yoshi_Takanuki@mckinsey.com

Andreas Tschiesner ist Senior Partner im Münchner Büro von McKinsey
Andreas_Tschiesner@mckinsey.com

Joris van Niel ist Partner im McKinsey-Büro in Amsterdam
Joris_Van_Niel@mckinsey.com

Martin Wrulich ist Partner im Wiener Büro von McKinsey
Martin_Wrulich@mckinsey.com

Jan Wüllenweber ist Senior Partner im Kölner Büro von McKinsey
Jan_Wuellenweber@mckinsey.com

Asien-Pazifik

Albert Chang ist Partner im McKinsey-Büro in Taipei
Albert_Chang@mckinsey.com

Karel Eloit ist Senior Partner im McKinsey-Büro in Shanghai
Karel_Eloit@mckinsey.com

Jean-Frederic Kuentz ist Senior Partner im McKinsey-Büro in Taipei
Jean-Frederic_Kuentz@mckinsey.com

Martin Lehnich ist Partner im McKinsey-Büro in Shenzhen
Martin_Lehnich@mckinsey.com

Abhyudaya Shrivastava ist Partner im McKinsey-Büro in Singapur
Abhyudaya_Shrivastava@mckinsey.com

Anil Sikka ist Partner im McKinsey-Büro in Taipei
Anil_Sikka@mckinsey.com

Aktuelle McKinsey-Perspektiven auf IIoT, digitale Produktion und damit verbundene Dienstleistungen



Leveraging industrial software stack advancement for digital transformation



The 5G era: New horizons for advanced electronics and industrial companies



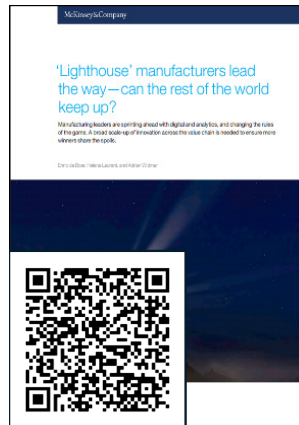
Industry 4.0: Capturing value at scale in discrete manufacturing



Customer centricity as key for the digital breakthrough



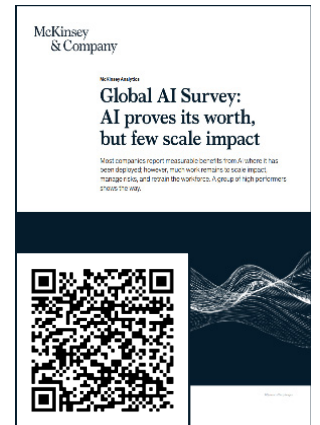
Global Lighthouse Network: Insights from the Forefront of the Fourth Industrial Revolution



“Lighthouse” manufacturers lead the way – can the rest of the world keep up?



Connected world: An evolution in connectivity beyond the 5G revolution



Global AI Survey: AI proves its worth, but few scale impact



Digital machinery: How companies can win the changing manufacturing game



Industry's fast-mover advantage: Enterprise value from digital factories



Growing opportunities in the Internet of Things



What separates leaders from laggards in the Internet of Things

Januar 2021
Copyright © McKinsey & Company
Designed by Visual Media Europe

www.mckinsey.com

 @McKinsey

 @McKinsey

