



Industrie 4.0: Implement it!



*Ein Leitfaden zur erfolgreichen
Implementierung von Industrie 4.0-Lösungen*

2018

Günther Schuh
Wolfgang Boos
Christoph Kelzenberg
Johan de Lange
Felix Stracke
Jens Helbig
Julian Boshof
Christoph Ebbecke

WZL | **RWTH AACHEN**
UNIVERSITY

Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen

Das Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen steht mit seinen 900 Mitarbeitern weltweit als Synonym für erfolgreiche und zukunftsweisende Forschung und Innovation auf dem Gebiet der Produktionstechnik. In vier Forschungsbereichen werden sowohl grundlagenbezogene als auch an den Erfordernissen der Industrie ausgerichtete Forschungsvorhaben durchgeführt. Darüber hinaus werden praxisgerechte Lösungen zur Optimierung der Produktion erarbeitet. Das WZL deckt mit den vier Lehrstühlen Fertigungstechnik, Werkzeugmaschinen, Messtechnik und Qualität sowie Produktionssystematik sämtliche Teilgebiete der Produktionstechnik ab.

Impressum

Industrie 4.0: Implement it! – Ein Leitfaden zur erfolgreichen Implementierung von Industrie 4.0-Lösungen

Copyright © 2018

Autoren: Günther Schuh, Wolfgang Boos, Christoph Kelzenberg, Johan de Lange, Felix Stracke, Jens Helbig, Julian Boshof, Christoph Ebbecke

Gestaltung: Karlla Giol
ISBN: 978-3-946612-32-2
Druck: printclub, 1. Edition

Werkzeugmaschinenlabor WZL
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
Campus-Boulevard 30
D-52074 Aachen

www.wzl.rwth-aachen.de

Industrie 4.0: Implement it!

***Ein Leitfaden zur erfolgreichen
Implementierung von Industrie 4.0-Lösungen***

2018

Günther Schuh
Wolfgang Boos
Christoph Kelzenberg
Johan de Lange
Felix Stracke
Jens Helbig
Julian Boshof
Christoph Ebbecke



Inhaltsverzeichnis



Einleitung



Vorstellung Use-Cases



Organisatorischer Ordnungsrahmen zur Implementierung von Industrie 4.0



Prozess zur Entwicklung und Umsetzung von Industrie 4.0-Use-Cases



Industrie 4.0-Reifegradmodell zur Zielbestimmung und Ideenfilterung



Quantitative Bewertung von Industrie 4.0-Use-Cases



Fazit und Ausblick



Anhang



Einleitung



89 %

der Unternehmen erwarten, dass die strategische Bedeutung von Industrie 4.0 in den nächsten Jahren steigen wird

(E&Y 2017)

Der Begriff Industrie 4.0 prägt seit 2011 die gesamte produzierende Industrie. Er steht für die sogenannte vierte industrielle Revolution, welche einen Nutzensgewinn für produzierende Unternehmen mittels digitaler Vernetzung verspricht. So kann Industrie 4.0 als die echtzeitfähige, intelligente, horizontale und vertikale Vernetzung von Menschen, Maschinen, Objekten und IKT-Systemen zur dynamischen Beherrschung komplexer Systeme verstanden werden. Ziel ist die Optimierung von Produktionsprozessen, Produkten und Dienstleistungen mithilfe modernster Technologien.

Anders als die vorhergegangenen industriellen Revolutionen ist die vierte industrielle Revolution nicht alleine aus der Weiterentwicklung und Technisierung von produzierenden Unternehmen, also aus dem Markt selber, entstanden. Sie wurde hingegen von der Bundesregierung als strategisches Zukunftsprojekt ausgerufen. Daher ist es nicht

verwunderlich, dass in den ersten Jahren nach Proklamation zunächst ein breiter Diskurs über Definition, Umfang und Ziele von Industrie 4.0 entbrannt ist. Unternehmen haben sich entsprechend nur zögerlich und Schritt für Schritt mit dem Thema beschäftigt. Mittlerweile hat sich nicht nur das Verständnis von Industrie 4.0 nach der oben genannten Definition geschärft, auch ist das Thema in der breiten Masse der produzierenden Unternehmen bekannt geworden. In Deutschland schätzen 80 % aller produzierenden Unternehmen Industrie 4.0 für strategisch relevant ein und 89 % der Unternehmen erwarten, dass die strategische Bedeutung zukünftig weiter steigen wird.

Die aktuelle Bilanz der Umsetzung von Industrie 4.0 ist mehr als 7 Jahre nach dem postulierten Start ernüchternd. Lediglich 45 % der Unternehmen setzen vereinzelt Industrie 4.0-Lösungen ein, während weitere 20 % der Unternehmen die Einführung von entsprechen-



den Lösungen planen. Somit kann konstatiert werden, dass die vierte industrielle Revolution zwar gestartet, aber längst noch nicht vollständig und durchgängig erfolgt ist.

Warum aber ist die Umsetzung von Industrie 4.0 trotz des vielversprechenden strategischen Nutzens noch nicht in großem Umfang und in der Gesamtheit der Industrie erfolgt? Ein wesentlicher Grund, neben hohen Investitions- und Entwicklungsaufwänden, sind mangelnde organisatorische Strukturen und Vorgaben. Unternehmen fehlt es vielfach an geeigneten Konzepten und einer strukturierten Vorgehensweise, um Industrie 4.0 in die gesamte Organisation zielgerichtet einzuführen und nachhaltig zu verankern. So bleibt die Einführung von Industrie 4.0 oft auf einzelne Use-Cases und Lösungen beschränkt, die nur in einzelnen Bereichen umgesetzt und nicht über einen Pilotstatus hinaus weiterentwickelt werden. An dieser Stelle kann eine Analogie zur Entwicklung und Umsetzung des Lean-Management-Konzepts Ende der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts festgestellt werden. Auch dieses Konzept hat schnell breites Interesse in der produzierenden Industrie gefunden. Es hat jedoch einige Jahre gedauert, bis geeignete organisatorische Elemente und Strukturen wie Produktionsmanagementsysteme, Lean-Management-Abteilungen

und Lean-Manager installiert wurden, um das Konzept auch ganzheitlich in den Unternehmen zu implementieren. Der vorliegende Leitfaden „Industrie 4.0: Implement it!“ adressiert das beschriebene Problem und gibt Impulse und Handlungsempfehlungen in Form eines Umsetzungskonzepts zur ganzheitlichen Implementierung einer Industrie 4.0-Strategie. Hierzu werden konkrete organisatorische Strukturen, Prozesse und Instrumente vorgestellt, damit die operative Umsetzung von Industrie 4.0 gelingen kann. Um die Inhalte praxisnah zu vermitteln, werden in der gesamten Studie zwei Use-Cases betrachtet, die zunächst vorgestellt und an denen die vorgestellten Inhalte exemplarisch angewandt werden.

Viel Freude bei der Lektüre und der anschließenden Umsetzung!



Ihr
Günther Schuh



45 %

**der Unternehmen
setzen derzeit
Industrie 4.0-Lösungen
ein**

(E&Y 2017)

Vorstellung Use-Case Smart Glasses

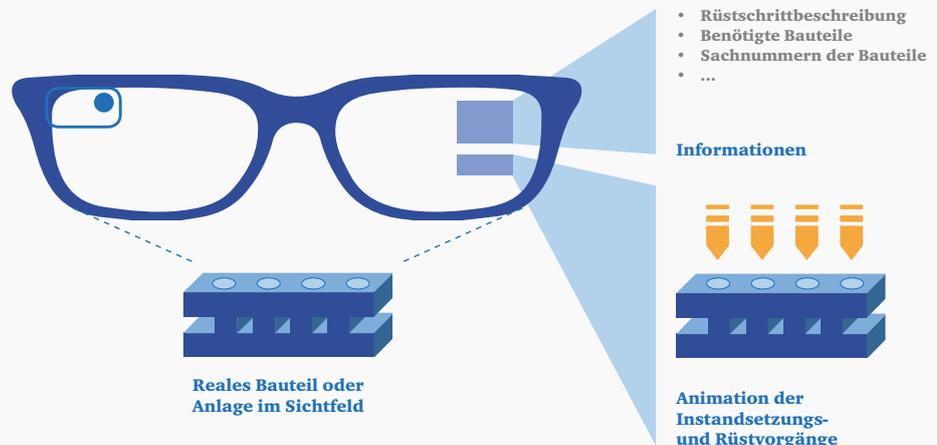
In einem Beispielunternehmen ist es vermehrt zu der Situation gekommen, dass Mitarbeiter ihre Kollegen anderer Unternehmensstandorte per Videotelefonie angerufen haben, um sich gegenseitig bei Maschinenausfällen und Rüstproblemen zu helfen. Aufgrund der häufigen Verwendung dieses Mediums zur Problembeseitigung wurde die Schwachstelle im Produktionsablauf erkannt.

Nach intensiven Beratungen hat man sich darauf verständigt, mit den Mitarbeitern eine Industrie 4.0-Lösung unter Anwendung einer Smart Glass zu entwickeln. Die Brille ermöglicht auf bedienerfreundliche Weise die Übertragung des Sichtfelds des Brillenträgers. Ebenfalls soll es dem empfangenden Kollegen möglich sein, seinerseits wichtige Informationen in Form von bspw. Montagehinweisen oder Maschinendaten in das Sichtfeld der Brille zu projizieren. Durch diese Form der Kommunikation wird die Übertragung von Wissen zwischen den Mitarbeitern merklich vereinfacht und die Instandsetzungs- und Rüstprozesse optimiert.

Smart Glasses sind ein Überbegriff für verschiedene Arten von intelligenten Datenbrillen, die digitale Informationen im Sichtfeld des Trägers einblenden können. Es wird zwischen Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) unterschieden. Bei der Nutzung von Augmented Reality können

mithilfe einer integrierten Kamera Objekte erkannt und dazugehörige Informationen eingeblendet werden. AR ist insbesondere für Hands-Off-Tätigkeiten nützlich und bietet sich entsprechend neben Fernwartungstätigkeiten auch für Prozessvisualisierungen an. Im Rahmen der Fernwartung kann ein Mitarbeiter vor Ort an der zu wartenden Maschine eine Smart Glass nutzen, sodass ein Wartungsexperte an jedem beliebigen anderen Ort am Bildschirm genau sehen und nachvollziehen kann, was der Mitarbeiter gerade tut. Es können Anweisungen oder hilfreiche Informationen (z.B. Extrusionszeichnungen oder Montageschritte) direkt im Sichtfeld des Mitarbeiters angezeigt werden. Komplexe Wartungsaufgaben können mit dieser Unterstützung auch von weniger geschultem Personal durchgeführt werden. VR eignet sich insbesondere für Schulungszwecke, soll an dieser Stelle aber nicht weiter vertieft werden.

Aufgrund ihres Gewichts, eines eingeschränkten Komforts und einer limitierten Laufzeit sind die meisten Smart Glass Modelle bislang nur zeitlich begrenzt nutzbar. Ebenfalls wird für einen sinnvollen Einsatz einer Smart Glass eine Internetverbindung an allen Einsatzorten benötigt. Zuletzt ist es vor allem der hohe Aufwand der Integration neuer Anwendungsfälle, der Unternehmen an einer flächendeckenden Implementierung von Smart Glasses hindert.





Vorstellung Use-Case Data Lake

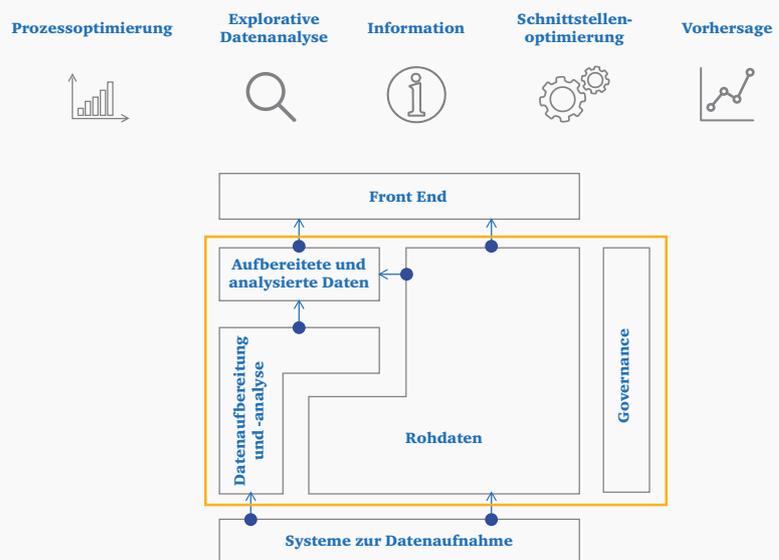
Im Zuge einer „Digitalisierungsoffensive“ hat ein Beispielunternehmen in den letzten Jahren umfangreich in die Erfassung von Daten investiert, ist allerdings bisher mit den daraus gewonnenen Erkenntnissen und Potenzialen sehr unzufrieden. Nach internen Analysen ist der Grund dafür schnell gefunden. Statt einer abgestimmten Strategie wurde standort- und abteilungsspezifisch in viele unterschiedliche Systeme investiert, die bisher nicht oder nur unzureichend über Schnittstellen miteinander verknüpft sind. Bei Problemstellungen werden daher aktuell durch interne Lean Manager Excel-Ausleitungen erzeugt, deren Analyse und Verknüpfung häufig längere Zeit in Anspruch nimmt. Dennoch sind diese Analysen für das Unternehmen von sehr hohem Wert. In der Vergangenheit konnte z.B. erkannt werden, dass ein Engpass in der Montage mit der falschen Lieferreihenfolge zusammenhängt. Auch konnte die gehäufte Reklamation eines Produkts auf eine falsch kalibrierte Messeinrichtung zurückgeführt werden.

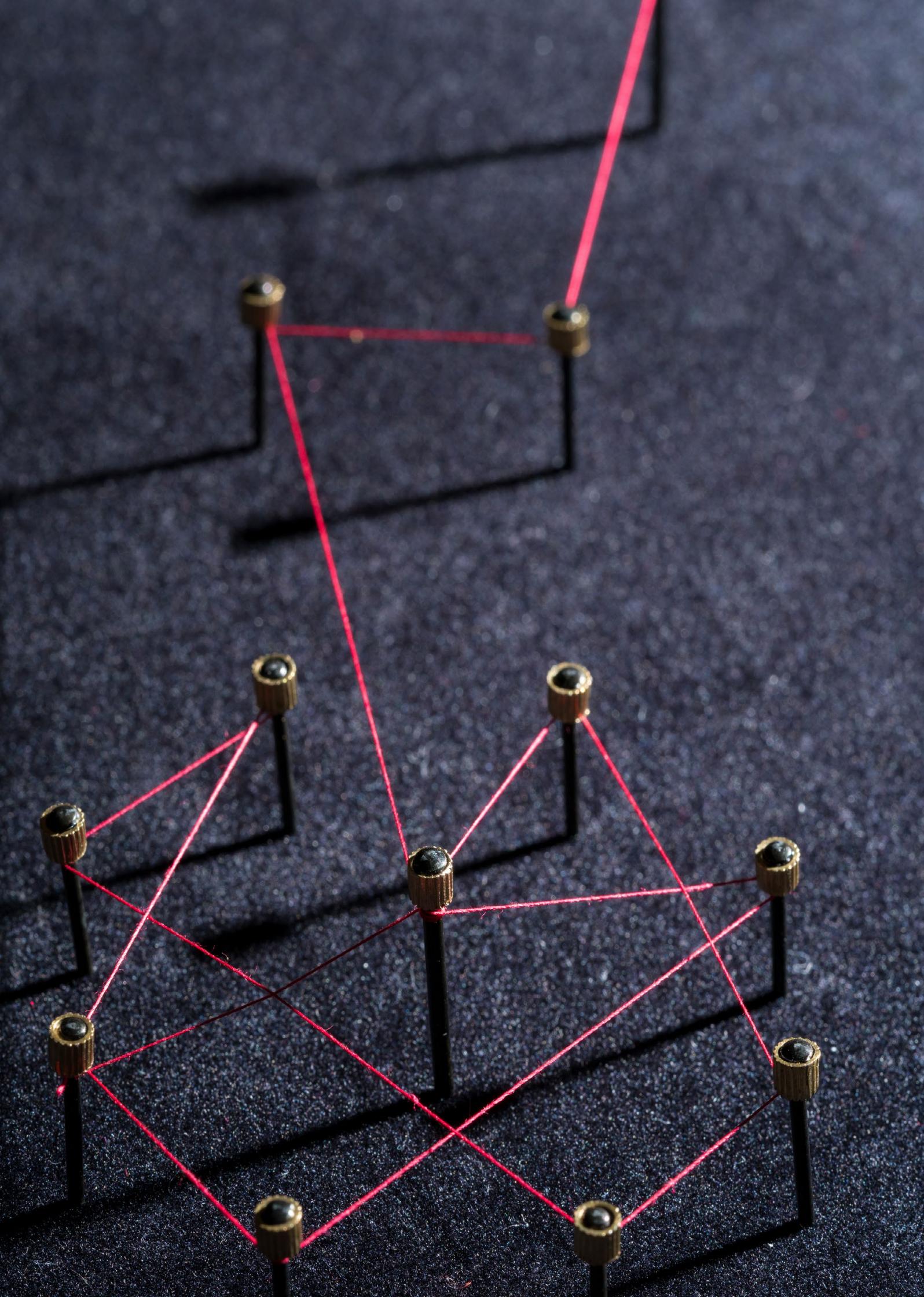
Die Unternehmensleitung möchte die hohen Aufwände und langen Reaktionszeiten nicht länger akzeptieren. Die dafür angedachten Industrie 4.0-Lösungen benötigen zur Identifikation korrelativer Zusammenhänge allerdings den Zugriff auf die großen Datenmengen. Dies ist durch die vielen im Einsatz befindlichen Systeme und die nicht abgestimmten Schnittstellen jedoch nicht unmittelbar zu realisieren. An dieser Stelle schafft der unternehmensweite Data Lake Abhilfe. Dieser stellt ein zentrales „Sammelbecken“ für alle Daten dar, die in einem Unternehmen erzeugt werden. Egal ob Produktions-, Entwicklungs- oder Logistikdaten – alle Daten werden an einem zentralen (virtuellen) Ort zusammengeführt, um deren maximale Verfügbarkeit zu gewährleisten.

Im Gegensatz zu einem Data Warehouse sind weder Struktur noch Erfassungsschema der Daten definiert. Während beim Data

Warehouse eine hohe (Prozess-)Effizienz für interaktive Analysen und Berichte im Vordergrund steht und Informationen individuell für den Benutzer aufbereitet sind, ermöglicht ein Data Lake das einfache Entdecken neuer Zusammenhänge in nicht aufbereiteten Daten. Dies ist vor allem sinnvoll, wenn nicht klar ist, ob Nutzen aus den Daten generiert werden kann. Der Data Lake ist dabei in einen Rohdatenbereich und einen Bereich mit aufbereiteten, integrierten und qualitätsgesicherten Daten unterteilt. Die Governance bildet ein Regelwerk hinsichtlich Datensicherheit, Datenschutz und Datenqualität. Das Frontend stellt die Schnittstelle zum Anwender dar, über die Informationen und Analysen dargestellt werden.

Durch seine Funktion stellt der Data Lake eine Voraussetzung für ein tieferes Verständnis der alltäglichen Prozesse und ihrer Wechselwirkungen dar. Zu beachten ist, dass ein Data Lake trotz häufig hoher initialer Investitionen keinen direkten finanziellen Nutzen bringt. Erst im Zusammenhang mit anderen Industrie 4.0-Lösungen kann ein Unternehmen von einem Data Lake profitieren.







Organisatorischer Ordnungsrahmen zur Implementierung von Industrie 4.0

Seit den 90er Jahren wird in Unternehmen der westlichen Welt die Umsetzung des Lean Gedankens praktiziert. Die Vergangenheit zeigt jedoch, dass eine simple Adaption des japanischen Gedankens nicht zwangsläufig zu einer erfolgreichen Implementierung führt. Ein entscheidender Faktor für die erfolgreiche Umsetzung des Lean Gedankens war bzw. ist die Anpassung der Organisa-

tionsstrukturen. Eine ebenso bedeutende Stellung nimmt die Veränderungen der Organisationsstrukturen ein, wenn es darum geht, Industrie 4.0-Lösungen im Unternehmen zu implementieren. Im Rahmen des Leitfadens verfolgt dieses Kapitel das Ziel, aufzuzeigen, welche organisatorischen Rahmenbedingungen für die Implementierung von Industrie 4.0 geschaffen werden müssen.

Der organisatorische Ordnungsrahmen

Zur Umsetzung von Industrie 4.0-Lösungen in Unternehmen sind organisatorische Voraussetzungen zu schaffen. Hierunter zählt einerseits die Schaffung neuer Entitäten sowie ihre Einordnung in bestehende Organisationsstrukturen. Andererseits sind bestehenden Entitäten punktuell neue bzw. zusätzliche Funktionen zuzuweisen. Der organisatorische Ordnungsrahmen beschreibt, welche zusätzlichen und bestehenden Entitäten mit neuen Funktionen innerhalb einer bestehenden Organisationsstruktur implementiert werden müssen, um Industrie 4.0-Lösungen erfolgreich in produzierenden Unternehmen zu realisieren. Neu zu schaffende Entitäten sind das Industrie 4.0-Steering Committee inklusive eines Globalen Industrie 4.0-Managers. Des Weiteren repräsentieren die Industrie 4.0-Garage sowie der Industrie 4.0-Werksmanager ebenfalls neue Entitäten. Das Management sowie die Werke stellen dagegen Entitäten dar, welche bereits existieren. Innerhalb der Werke kommt es zu notwendigen Anpassungen, sodass der Industrie 4.0-Werksmanager und die Industrie 4.0-Werksprojekte in die bestehende Organisationsstruktur der Werke implementiert werden können.

Das Management als oberste leitende und steuernde Entität einer Organisationsstruktur erfährt keine Modifikation in organisatorischer Zusammensetzung oder wachsenden Funktionen. Einfluss auf die neu zu schaffenden Entitäten kann das

Management jedoch über entsprechende Zielvorgaben und die Bereitstellung von finanziellen Mitteln nehmen.

Zentraler Ansprechpartner des Managements für die Implementierung von Industrie 4.0-Lösungen ist das Industrie 4.0-Steering Committee. Diese Entität muss neu geschaffen werden. Das Industrie 4.0-Steering Committee besteht aus einem unternehmensweit verantwortlichen Industrie 4.0-Manager (Globaler Industrie 4.0-Manager) sowie mehreren Experten aus verschiedenen Fachbereichen, wie z.B. der IT-Experte oder der Projektmanagement-Experte des produzierenden Unternehmens. Eine der zentralen Aufgaben des Industrie 4.0-Steering Committee ist die übergeordnete Steuerung aller Industrie 4.0-Projekte in einem Unternehmen. Des Weiteren bewertet das Industrie 4.0-Steering Committee, ob Industrie 4.0-Projekte gestartet, verworfen, im Verlauf weiter forciert oder ggf. beendet werden sollen.

Zur Bearbeitung und Umsetzung von Industrie 4.0-Projekten existieren zwei Optionen. Einerseits können Ideen für potenzielle Industrie 4.0-Use-Cases in den Werken auf dem Shopfloor entstehen und dort in Form von standortspezifischen Industrie 4.0-Projekten bearbeitet werden. Es handelt sich hierbei in der Regel um kurzfristige Projekte, die von temporären Industrie 4.0-Projektteams neben dem eigentlichen operativen



Weniger als

30 %

der Unternehmen haben eine konkrete Industrie 4.0-Strategie inklusive Verantwortungen definiert

(McKinsey 2016)

“
Die Koordination von unternehmensweiten Handlungen wird von Führungskräften als größte Herausforderung für die Implementierung von Industrie 4.0-Lösungen gesehen.”



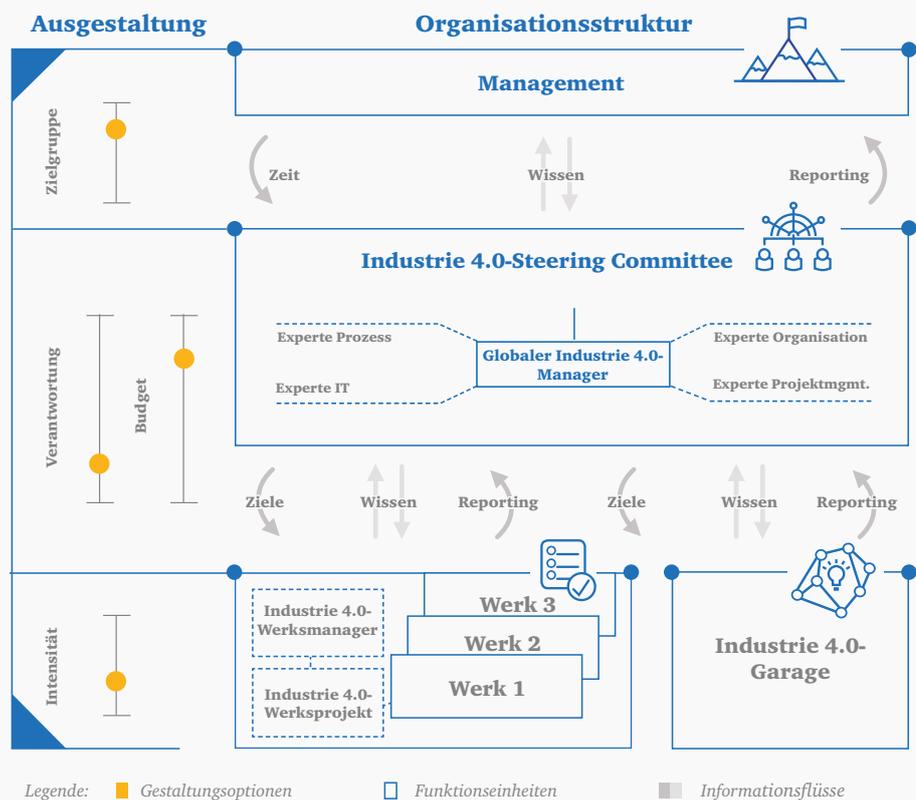
5 %

ihres Umsatzes planen Unternehmen bis 2020 in Industrie 4.0-Lösungen zu investieren

(PwC 2016)

Tagesgeschäft erarbeitet werden. Für jedes Werk existiert ein lokaler bzw. ein sogenannter Industrie 4.0-Werksmanager zur Koordination der Projekte in den Werken. Die zweite Option, Industrie 4.0-Lösungen zu entwickeln, wird innerhalb der sogenannten Industrie 4.0-Garage realisiert. Die Industrie 4.0-Garage steht für die Bearbeitung langfristiger und ergebnis-offener Projekte. Ziel ist es, dass Mitarbeiter vom operativen Tagesgeschäft unabhängig Industrie 4.0-Use-Cases sowie Industrie 4.0-Lösungen erforschen, entwickeln, testen und validieren können.

Während der organisatorische Ordnungsrahmen die grundsätzliche betriebliche Ordnung darstellt, existieren für jede Entität Regler. Sie berücksichtigen unterschiedliche Unternehmensrahmenbedingungen und helfen dabei, spezifische Ausgestaltungsoptionen der Entitäten festzulegen. Die jeweiligen Reglermöglichkeiten dienen zudem als Instrument, um zwischen wichtigen und unwichtigen Projekten die Bearbeitungsintensität differenzieren zu können. Im Folgenden wird jede einzelne Entität im Detail beschrieben. Zudem wird erläutert, wie die einzelnen Reglerausprägungen die Bearbeitung der Industrie 4.0-Projekte unterstützen.





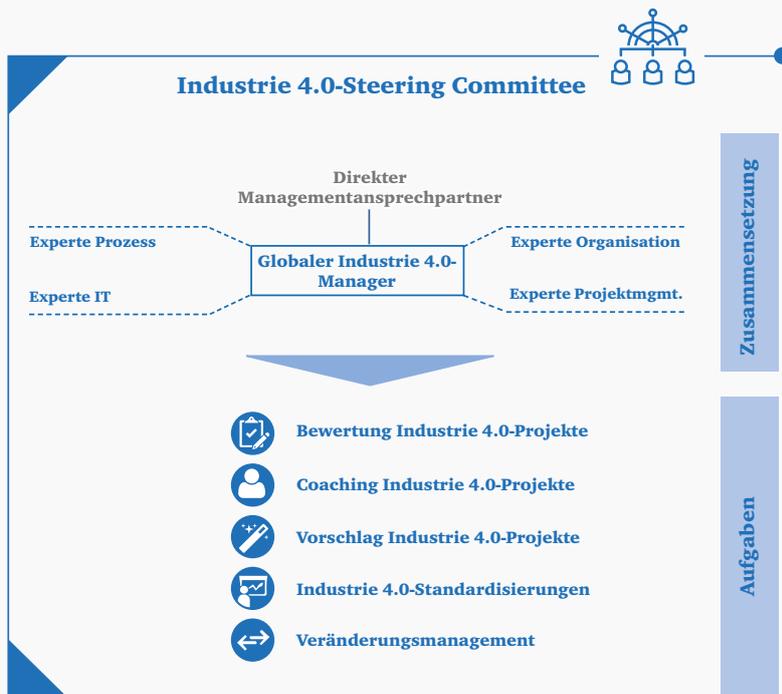
Industrie 4.0-Steering Committee

Für eine erfolgreiche Implementierung von Industrie 4.0 nimmt aus organisatorischer Perspektive das Industrie 4.0-Steering Committee eine zentrale Position ein. Das Industrie 4.0-Steering Committee bildet den Ausgangspunkt für Entscheidungen für jede potenzielle Entwicklung und Umsetzung einer Industrie 4.0-Lösung. Neben einer Bewertung der Industrie 4.0-Projekte begleitet das Industrie 4.0-Steering Committee die Projekte durch Coaching und Veränderungsmanagement. Durch eine Bündelung von Fachwissen dient das Industrie 4.0-Steering Committee als Ansprechpartner für eine erfolgreiche Umsetzung. Des Weiteren ist es verantwortlich für die Steuerung der Industrie 4.0-Garage und zum Reporting an das Management verpflichtet.

Damit die vorgesehene Funktion des Industrie 4.0-Steering Committee erfüllt werden kann, setzt es sich aus verschiedenen Personen zusammen. Die Stelle des Globalen Industrie 4.0-Managers muss neu erschaffen werden. Der Globale Industrie 4.0-Manager leitet in Vollzeit das Industrie 4.0-Steering Committee und übernimmt die unternehmensweite Organisation aller Industrie 4.0-

Projekte. Hierbei steht vor allem die Koordination und Synchronisation aller Industrie 4.0-Projekte im Fokus. Hierunter zählt bspw. eine standardisierte Dokumentation aller Projekte, sodass die gesammelten Erfahrungen im Rahmen der laufenden Industrie 4.0-Projekte für die Bewertung zukünftiger Industrie 4.0-Projekte genutzt werden können. Weitere Aufgaben sind Vorschläge und Bewertungen von Industrie 4.0-Projekten, Durchführung des notwendigen Veränderungsmanagements sowie Coaching. Bei allen Aufgaben stehen jedoch, je nach Bedarf, die weiteren Mitglieder des Industrie 4.0-Steering Committee als Experten zur Verfügung.

Außer dem Globalen Industrie 4.0-Manager sind alle weiteren Mitglieder des Industrie 4.0-Steering Committee bereits in der bestehenden Organisationsstruktur vorzufinden. Sie erhalten aufgrund ihrer Expertise eine Zusatzfunktion für das Industrie 4.0-Steering Committee, welche bei Bedarf für die Entscheidungsprozesse und die Aufgaben des Industrie 4.0-Steering Committee herangezogen wird. Die Besetzung der Mitglieder des Industrie 4.0-



Steering Committee erfolgt ausschließlich auf Basis der benötigten Expertise. Um Industrie 4.0-Projekte richtig bewerten und beratend unterstützen zu können, müssen folgende Kompetenzen der Experten zwingend vorzufinden sein:

- IT-Fachwissen
- Prozesswissen
- Organisationswissen
- Projektmanagementwissen

Personen, welche diese Kompetenzen aufweisen, können bspw. die Leiter der Bereiche IT, Supply Chain Management, Projektmanagement oder Lean Management sein.

Die Arbeitsweise des gesamten Industrie 4.0-Steering Committee erfolgt auf Basis zyklischer Sitzungen. Dies bedeutet, dass sich der Globale Industrie 4.0-Manager mit den Experten des Industrie 4.0-Steering Committee in zeitlich definierten Abständen trifft. Sollten dringende Entscheidungen

bzgl. existierender oder zukünftiger Industrie 4.0-Projekte getroffen werden, kann der Globale Industrie 4.0-Manager ad-hoc Meetings mit den Industrie 4.0-Steering Committee Mitgliedern einberufen.

Zwei zentrale Regler des Industrie 4.0-Steering Committee stellen die Anzahl der Mitglieder und das zur Verfügung gestellte Budget dar. So kann die numerische Größe des Industrie 4.0-Steering Committee auf Basis der Intensität der Industrie 4.0-Projekte in einem Unternehmen variieren, wobei die Mitgliederanzahl bei hoher Intensität größer ist. Das Budget stellt dagegen den monetären Handlungsspielraum des Industrie 4.0-Steering Committee dar. Bei einer hohen Bedeutung der Industrie 4.0-Projekte innerhalb des Unternehmens, werden dem Industrie 4.0-Steering Committee höhere Budgets zur Verfügung gestellt, sodass es mit einer hohen Intensität die jeweiligen Industrie 4.0-Projekte unterstützen kann.

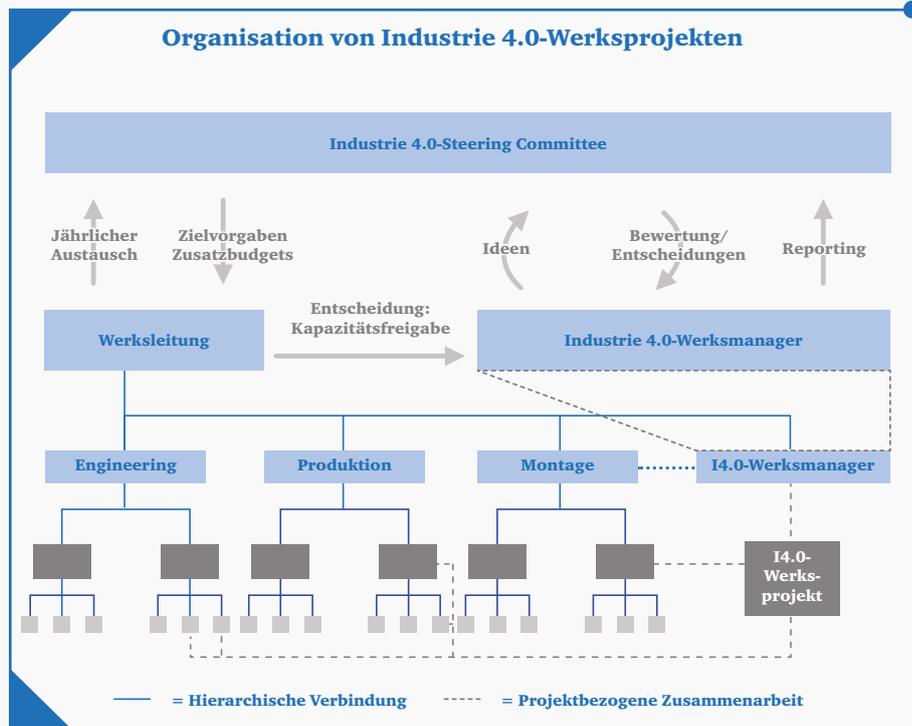


Werke

Es existieren Industrie 4.0-Projekte, deren Umsetzung vom Management auf Basis langfristiger und strategischer Entscheidungen getroffen wird. Die Organisationsstruktur muss jedoch auch Möglichkeiten bereitstellen, wie Industrie 4.0-Lösungen erarbeitet werden, dessen Ursprung auf dem Shopfloor bis hin zu indirekten Bereichen bzw. dem gesamten Produktherstellungsprozess liegen. Um diese Voraussetzung realisieren zu können, müssen sogenannte Industrie 4.0-Werksmanager in den jeweiligen Produktionswerken vorgesehen werden. Ein Industrie 4.0-Werksmanager ist hierarchisch der Werksleitung unterstellt und hat die Aufgabe, Schwachstellen im Produktherstellungsprozess des Standorts zu identifizieren, welche durch Industrie 4.0-Lösungen optimiert werden können. Des Weiteren ist er zentraler Ansprechpartner für Lösungsvorschläge der Mitarbeiter innerhalb des jeweiligen Werks.

Die identifizierten Ideen werden dem Industrie 4.0-Steering Committee zur Bewertung und Entscheidung durch den Industrie 4.0-Werksmanager präsentiert. Im Falle einer Freigabe durch das Industrie 4.0-Steering Committee muss der Industrie 4.0-

Werksmanager die Werksleitung darüber informieren. Da die Bearbeitung der Industrie 4.0-Werksprojekte jedoch im Rahmen des operativen Tagesgeschäfts erfolgt, muss sich der Industrie 4.0-Werksmanager zusätzlich eine Kapazitätsfreigabe von der Werksleitung erteilen lassen. Erst wenn das Industrie 4.0-Steering Committee und die Werksleitung eine Freigabe erteilt haben, darf der Industrie 4.0-Werksmanager temporäre Industrie 4.0-Projektteams zusammenstellen. Die Teams formieren sich dabei aus bereichsübergreifenden Shopfloormitarbeitern, die aufgrund ihres Fachwissens und ihrer Kompetenz für die Erarbeitung der jeweiligen Industrie 4.0-Lösung am geeignetsten sind. Dabei erfolgt die Teamzusammensetzung in enger Abstimmung mit den Mitarbeitern. Im Zuge dessen werden Arbeitsumverteilungsregeln definiert. Hierbei wird bspw. zugeordnet, welche Mitarbeiter sowohl kapazitiv als auch kompetenzseitig die temporären Ausfälle der Teammitglieder für die Industrie 4.0-Projekte kompensieren können. Der Industrie 4.0-Werksmanager ist dazu verpflichtet, dem Globalen Industrie 4.0-Manager Bericht über den Projektfortschritt zu erstatten.



Der Regler Intensität der Industrie 4.0-Projektbearbeitung der Werke kann insbesondere durch die Kapazitätsfreigabe der Werksleitung gesteuert werden. Soll ein Projekt mit hoher Intensität erarbeitet werden, kann die Werksleitung bspw. die betroffenen Mitarbeiter für das operative Tagesgeschäft vollständig zur Projektbearbeitung freistellen. Bei geringer Intensität und Bedeutung könnte eine Arbeitsfreistellung von nur einem prozentualen Anteil der Kapazität der Projektmitarbeiter erfolgen. Einen Regler, über den das Industrie 4.0-Steering Committee für die

Werke verfügt, liegt in der Incentivierung der Werksleitung. Die Werksleitung muss motiviert werden neben dem eigentlich operativen Tagesgeschäft auch Industrie 4.0-Projekte in ihrem Werk durchzuführen. So kann die Werksleitung neben Zielvorgaben bspw. Zusatzbudgets für die Umsetzung von Industrie 4.0-Projekten an ihrem Standort erhalten. Des Weiteren kann sie durch erfolgreiche Implementierungen von Industrie 4.0-Lösungen mit persönlichen Bonuszahlungen motiviert werden.

Industrie 4.0-Garage

Eine Vielzahl von Industrie 4.0-Projekten ist dadurch charakterisiert, dass das gewünschte Projektergebnis sowie der Weg zur Erreichung der Ergebnisse zu Projektbeginn nicht bekannt sind. Die Bearbeitung dieser Projekte ist meist nicht zielorientiert und von unvorhersehbarer Dauer geprägt. Um aber auch solche Aspekte bei der Entwicklung von innovativen Industrie 4.0-Lösungen adressieren zu können, ist es aus organisatorischer Perspektive sinnvoll, eine Industrie 4.0-Garage in die Unternehmensorganisation zu integrieren.

Die Industrie 4.0-Garage ist eine Art Labor, in dem komplizierte und langfristige Industrie 4.0-Lösungen erarbeitet werden. In der Industrie 4.0-Garage sollten mindestens zwei Vollzeit angestellte Mitarbeiter arbeiten. Die erforderliche Mitarbeiterqualifikation muss hierbei die technische Ausbildung der Beschäftigten fokussieren. Dabei sollten Kenntnisse über die Anwendung und die Besonderheiten der unternehmensspezifischen Produktion sowie Kenntnisse in Bezug auf Industrie 4.0 relevante Technologien vorhanden sein. Die technische Ausstattung beinhaltet Bearbeitungsmaschinen zur Entwicklung, Umsetzung und Erprobung von potenziellen Industrie 4.0-Use-Cases. Hierunter zählen bspw. Fräs- oder Bohrmaschinen. Das technische Equipment der Industrie 4.0-Garage ist mit einer Werkstattausstattung zu vergleichen,

wie z.B. Equipment zur Bearbeitung von Elektronik oder Hydraulik. Je nach finanziellem Budget der Industrie 4.0-Garage sind zudem zukunftsweisende Technologien wie bspw. Robotik oder 3D-Drucker vorzufinden. Durch die Ausstattung der Industrie 4.0-Garage mit zukunftsweisenden und aktuell im Unternehmen verwendeten Technologien wird sie in die Lage versetzt, eigenständig nach Verbesserungsmöglichkeiten durch Industrie 4.0-Lösungen zu forschen. Des Weiteren befähigt die unabhängige Ausstattung, dass die Industrie 4.0-Garage reaktionsschnell auf top-down zugewiesene Themen durch den Globalen Industrie 4.0-Manager reagieren kann. Die Industrie 4.0-Garage stellt eine separate Organisationseinheit dar, welche idealerweise einen Standort besitzt, der geografisch vom restlichen Unternehmen getrennt ist. Ziel ist es, dass die Industrie 4.0-Garage so unabhängig wie möglich vom operativen Tagesgeschäft agieren kann.

Die Arbeitsweise der Industrie 4.0-Garage soll den Charakter des unabhängigen Handelns ebenfalls fördern. Während die Industrie 4.0-Garage dem Globalen Industrie 4.0-Manager unterstellt ist, erfolgt das Reporting durch Festlegung der Mitarbeiter der Industrie 4.0-Garage. Die Garage ist im Rahmen der langfristigen Projektbearbeitung dazu verpflichtet, dem Globalen Industrie 4.0-Manager



Status Updates zu übermitteln. Jedoch erfolgen die Reportingzeitpunkte auf Basis einer freiwilligen Wahl durch die Industrie 4.0-Garage. Der Globale Industrie 4.0-Manager schreibt der Industrie 4.0-Garage lediglich Zeiträume vor, innerhalb derer Reportings erfolgen müssen. Hierdurch wird erreicht, dass die Industrie 4.0-Garage so wenige organisatorische Regularien wie möglich erhält. Diese Freiheitsgrade sollen dabei helfen, komplizierte und visionäre Ideen in Form von Industrie 4.0-Lösungen erarbeiten zu können.

Die Industrie 4.0-Garage kann über verschiedene Regler hinsichtlich ihrer Intensität für die Projektbearbeitung gesteuert werden. Soll bspw. ein Industrie 4.0-Use-Case oder eine Industrie 4.0-Lösung mit hoher Intensität innerhalb der Industrie 4.0-Garage erarbeitet werden, kann das Industrie 4.0-Steering Committee die Garage für temporäre Zeiträume um Mitarbeiter in Vollzeit aus dem eigenen produzierenden Unter-

nehmen vergrößern. Des Weiteren kann die Industrie 4.0-Garage eigene Budgetverantwortung erhalten, in dessen Rahmen unter anderem externe Experten zur Mitarbeit engagiert werden dürfen. Im Zuge einer geringeren Priorität der Projektbearbeitung wird die Budgetverantwortung der Industrie 4.0-Garage jedoch limitiert und zur Konsultation dürfen nur unternehmensinterne Mitarbeiter hinzugezogen werden.

Bei einer zusammenfassenden Betrachtung des organisatorischen Ordnungsrahmens zur Implementierung von Industrie 4.0 lässt sich resümieren, dass für die erfolgreiche Umsetzung von Industrie 4.0-Lösungen in Unternehmen die Anpassung der Organisation als Grundvoraussetzung angesehen werden muss. Im Zuge dessen gilt es, neue Entitäten zu schaffen, bereits bestehende Entitäten stellenweise mit zusätzlichen Funktionen auszustatten und existierende Organisationsstrukturen mit neuen organisationalen Veränderungen zu vereinen.

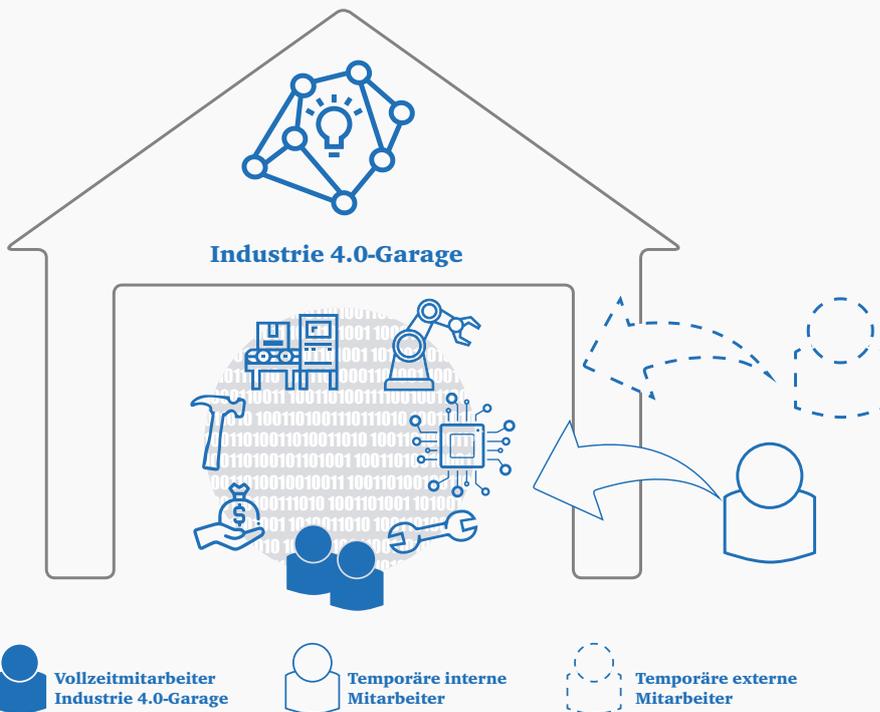


Innovationsumgebungen entwickeln sich bei Großunternehmen seit einigen Jahren zum Standard – so weisen mehr als

70 %

der DAX30-Unternehmen solche Einheiten auf

(Schuh et. al. 2017)



**Vollzeitmitarbeiter
Industrie 4.0-Garage**

**Temporäre interne
Mitarbeiter**

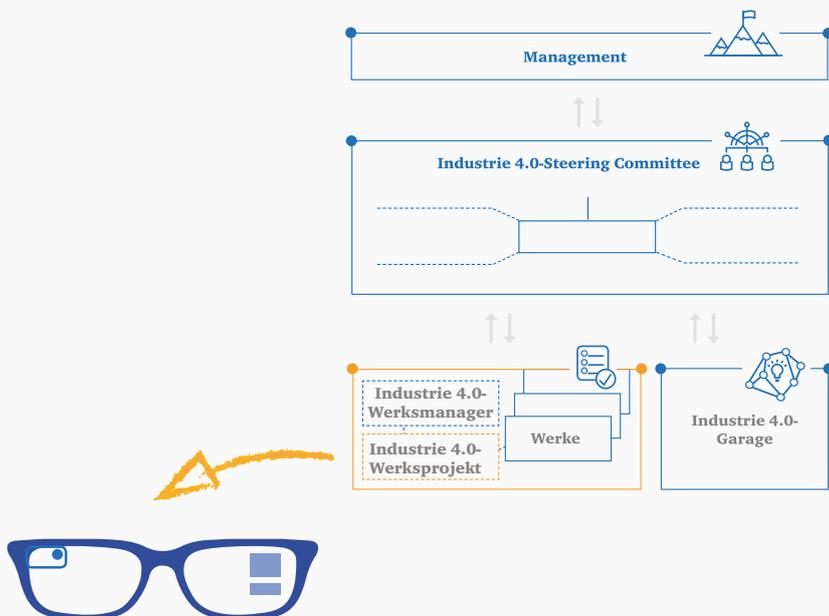
**Temporäre externe
Mitarbeiter**

Use-Case Smart Glasses

Um Industrie 4.0-Lösungen zu entwickeln, besitzen die Mitarbeiter der Werke die Möglichkeit, bottom-up ein Industrie 4.0-Werksprojekt beim Industrie 4.0-Steering Committee zu beantragen. Im Falle einer Projektbestätigung und erhaltener Freigabe der Werksleitung ist der Industrie 4.0-Werksmanager in der Lage, ein temporäres Industrie 4.0-Projektteam zusammenzustellen. Ziel des Projekts ist es, mit den Mitarbeitern einen Industrie 4.0-Use-Case in Form einer Smart Glass zu entwickeln.

Bei der Zusammensetzung des Projektteams achtet der Industrie 4.0-Werksmanager auf die Auswahl geeigneter Mitglieder. In diesem Projekt fällt die Auswahl auf zwei vom Problem betroffene Maschinenbediener, einen IT-Experten im Werk sowie einen jungen Werksstudenten im Unternehmen. Während die Maschinenbediener als finale Anwender unverzichtbar sind, leistet der IT-Experte seinen Beitrag zur tatsächlichen Umsetzung. Der Werksstudent wird vom Industrie 4.0-Werksmanager ausgewählt, da er sich hierdurch neuen universitären Forschungsinput für die Projekterarbeitung erhofft.

Die beim Werksleiter beantragte Bearbeitungsintensität wird durch den Industrie 4.0-Werksmanager als gering eingestuft. Die geringe Intensität wird durch den Industrie 4.0-Werksmanager gewählt, da die benötigte Hardware bereits am Markt verfügbar ist. Die generelle Kapazitätsfreigabe wird dagegen durch die Häufigkeit des auftretenden Problems, die Datenunsicherheit der bisherigen Anwendung sowie die direkte Auswirkung auf die Produktivität begründet. Durch die geringe Intensität erhalten alle beteiligten Mitarbeiter pro Tag lediglich maximal eine Stunde zur Umsetzung des Industrie 4.0-Werksprojekts, um eine sich am Markt befindliche Lösung auf die spezifische Unternehmensproblematik zu adaptieren und entsprechend zu modifizieren. Hierfür erhält das Team die Möglichkeit, sich in einem separaten Raum täglich treffen zu können. Die Häufigkeit der Treffen bestimmen hier beide Teammitglieder selbst. Im vorliegenden Use-Case werden sich die Teammitglieder zu Beginn täglich zur Problembeschreibung und Anforderungsaufnahme treffen. Im Anschluss wird der durch den Werksstudenten unterstützte IT-Experte punktuell weitere Treffen einberufen, um mit den Maschinenbedienern die Zwischenergebnisse in der praktischen Anwendung zu validieren und zu optimieren. Den Projektfortschritt müssen die Teammitglieder am Ende einer Woche dem Industrie 4.0-Werksmanager berichten. Bedarf das Team Hilfe oder weiteren Input des Industrie 4.0-Werksmanagers, kann dieser jedoch auch zwischenzeitlich kontaktiert werden. Da es sich aber um ein Industrie 4.0-Werksprojekt mit geringer Intensität handelt, dürfen die Projektmitarbeiter nicht ohne Erlaubnis des Industrie 4.0-Werksmanagers auf weitere Mitarbeiter zugehen. Durch diese Schnittstellenregulierung soll vermieden werden, dass weitere Mitarbeiter vom operativen Tagesgeschäft abgehalten werden und Ineffizienzen entstehen. Aufgrund der geringen Intensität legt der Industrie 4.0-Werksmanager die Projektzeitdauer vorerst auf vier Wochen fest.

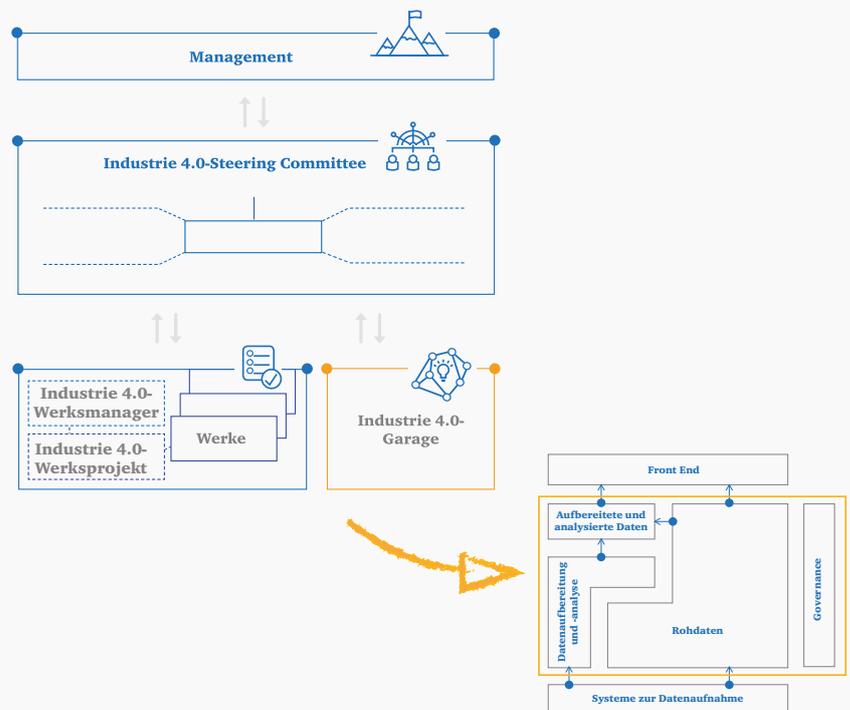




Use-Case Data Lake

Ein Data Lake wird im Unternehmen benötigt, um die Verfügbarkeit von Daten, ihre Verknüpfung sowie ihre Untersuchung auf korrelative Zusammenhänge zu realisieren. Der Aufbau eines unternehmensweiten Data Lake ist jedoch mit einem hohen finanziellen Aufwand verbunden. Des Weiteren handelt es sich hierbei um eine komplexe Aufgabe, welche einen langen Umsetzungszeitraum erfordert. Hierdurch ist eine langfristige Entscheidung mit hohem finanziellen Invest verbunden, welche durch das Management getroffen werden muss. Um auch top-down bestimmte Industrie 4.0-Projekte mit hoher Komplexität bearbeiten zu können, ist es sinnvoll, die Industrie 4.0-Garage mit der Entwicklung eines unternehmensweiten Data Lake zu beauftragen. Die Industrie 4.0-Garage ist durch ihre Separierung vom operativen Tagesgeschäft in der Lage, diese langfristig komplexe Aufgabe zu erarbeiten. Aufgrund der strategischen Wichtigkeit des Industrie 4.0-Projekts für das Gesamtunternehmen, erhält die Industrie 4.0-Garage eine hohe Budgetverantwortung. Im Rahmen dieser Budgetverantwortung wird vor allem die Integration eines externen IT-Fachmanns über mehrere Monate berücksichtigt. Des Weiteren werden Investitionen vorgesehen, welche die Realisierung der benötigten Server-Infrastruktur ermöglichen. Aufgrund der hohen strategischen Bedeutung des Projekts, erhält die Industrie 4.0-Garage zudem unternehmensinterne Personalunterstützung, indem zwei interne IT-Experten Vollzeit mit der Garage zusammenarbeiten. Die Projektbearbeitung der Industrie 4.0-Garage erhält somit durch den Globalen Industrie 4.0-Manager sowohl kapazitative als auch finanzielle Handlungsspielräume, sodass eine Umsetzung des Data Lake durch die Industrie 4.0-Garage forciert werden kann. Vor Projektbeginn legen der Globale Industrie 4.0-Manager und die Mitglieder der Industrie 4.0-Garage fest, dass ein Reporting des Projektfortschritts einmal pro Monat erfolgen muss. Der genaue Zeitpunkt wird letztlich durch die Mitglieder der Industrie 4.0-Garage bestimmt. Der Modus der Zusammenarbeit

innerhalb der Industrie 4.0-Garage wird von den Mitarbeitern selbst bestimmt. Die Festlegung der Herangehensweise bzw. Planung der Projektbearbeitung wird durch die zwei Vollzeit beschäftigten Mitarbeiter der Industrie 4.0-Garage vorgenommen, da beide Erfahrungen in der Bearbeitung von ergebnisoffenen und komplexen Projekten besitzen. Die spezifische Umsetzung der festgelegten Aufgaben bzw. Teilprojekte erfolgt jedoch durch die jeweiligen Mitglieder der Industrie 4.0-Garage individuell und ohne Vorgaben. Die jeweiligen Umsetzungen werden begleitet durch einen täglichen Austausch der Mitglieder, um gegenseitige Synergieeffekte nutzen oder auftretende Problematiken frühzeitig beheben zu können. Grundsätzlich besitzen die Mitarbeiter der Industrie 4.0-Garage die Möglichkeiten, Schnittstellen zu anderen Unternehmensbereichen zur Projektbearbeitung aufzubauen. Wegen der strategischen Bedeutung des Data Lake darf die Industrie 4.0-Garage deshalb Kollegen verschiedener Abteilungen im produzierenden Unternehmen kontaktieren, wenn sie bspw. Informationen über Inhalte ihrer Tätigkeiten benötigen.





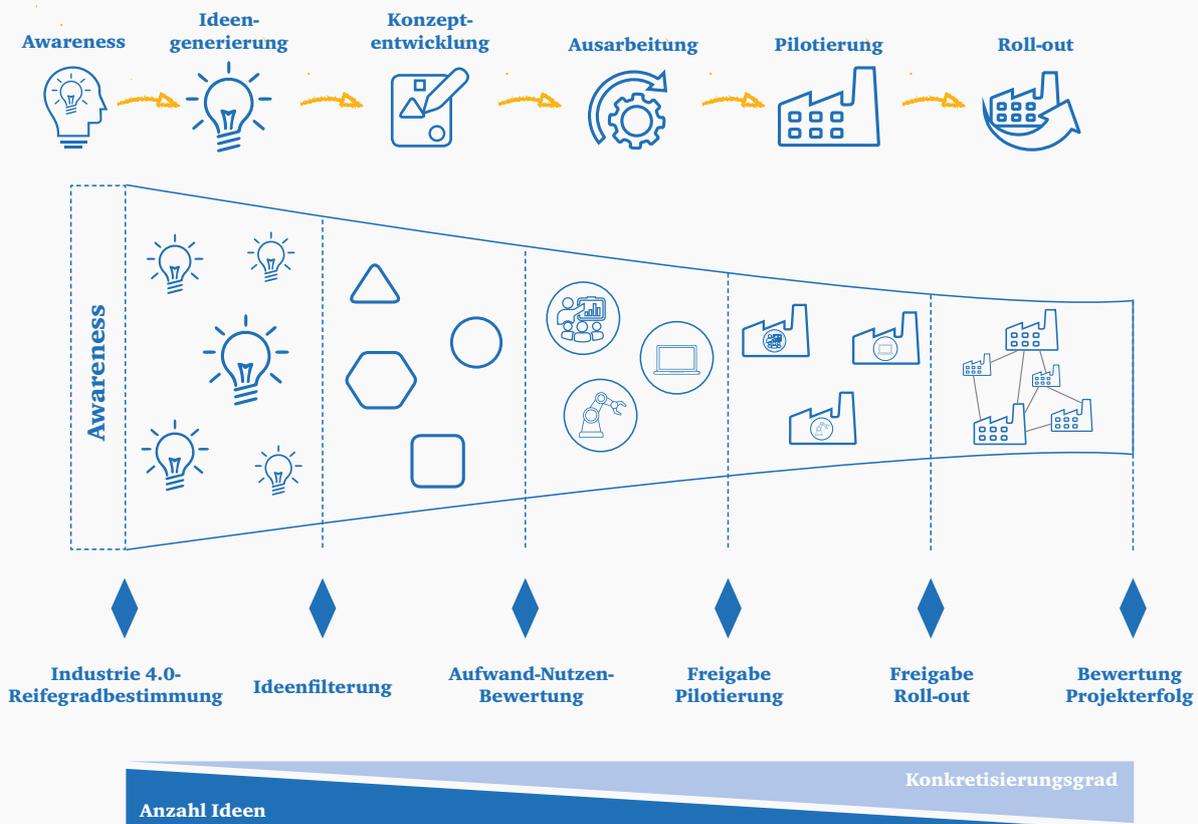


Prozess zur Entwicklung und Umsetzung von Industrie 4.0-Use-Cases

Das Ziel des gesamten Prozesses ist die Entwicklung und Implementierung von Industrie 4.0-Lösungen. Die trichterartige Darstellung des Implementierungsprozesses verdeutlicht den Ansatz des hier vorgestellten Leitfadens. Der Implementierungsprozess besteht aus einzelnen Phasen, in denen die zunächst wenig konkreten Ideen über die Konzeptentwicklung, Ausarbeitung und Pilotierung sukzessive konkretisiert werden. Anschließend erfolgt der Roll-out der entwickelten Anwendungen.

Zwischen den einzelnen Phasen existieren Meilensteine, die die Funktion eines Filters übernehmen. An den vorgesehenen Meilensteinen werden die anfänglichen Ideen und späteren ausgestalteten Anwendungen bewertet, um diejenigen Anwendungen mit dem besten Aufwand-Nutzen-Verhältnis zu

identifizieren und weiterzuentwickeln. Einleitend wird die Bestimmung des aktuellen Industrie 4.0-Reifegrads sowie die Definition von strategischen Zielen hinsichtlich der digitalen Vernetzung durchgeführt. Eine detaillierte Beschreibung des Reifegradmodells erfolgt in im weiteren Verlauf der Studie. Losgelöst vom chronologisch durchzuführenden Implementierungsprozess ist der Schritt „Awareness“ zu durchlaufen. In diesem Schritt sollen die Mitarbeiter dazu befähigt werden, in der Phase Ideengenerierung zielgerichtet Ideen zur Umsetzung von Industrie 4.0 zu entwickeln. Dieser vom Prozess losgelöste Schritt Awareness kann bei Bedarf zu späteren Zeitpunkten wiederholt werden.





77 %

der Unternehmen sehen die Verantwortung zur Fokussierung der digitalen Transformation von Unternehmen bei der Geschäftsführung

(Kienbaum 2017)

Vorbereitungsphase: Awareness

Eine Herausforderung bei der Implementierung von Industrie 4.0 ist einerseits die große Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten, andererseits ein mangelndes Bewusstsein für potenziellen Lösungen bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Anders als bei kontinuierlichen Verbesserungsprozessen kann die Idee für eine Industrie 4.0-Lösung aufgrund ihres scheinbar revolutionären Charakters oder ihrer hohen Komplexität kaum allein aus diesem Prozessverständnis entstehen. Vielmehr muss der Mitarbeiter über die konkreten Ziele und Anwendungsmöglichkeiten von Industrie 4.0 informiert werden. Dafür ist das Bewusstsein (engl. Awareness) für Industrie 4.0 erforderlich. Dies betrifft alle Bereiche und Hierarchieebenen eines produzierenden Unternehmens. Angepasst an die jeweilige Zielgruppe gibt es dabei verschiedene Möglichkeiten, diesen Prozessschritt durchzuführen.

Eine Möglichkeit zur Erzeugung von Bewusstsein ist die Vorstellung bereits bestehender Industrie 4.0-Lösungen aus anderen Standorten, Unternehmen und Branchen. In Einzelfällen kann die Vorstellung bestehender Lösungen um Referenzbesuche bei

anderen Standorten oder Unternehmen ergänzt werden. Eine weitere Möglichkeit zur Schaffung von Awareness ist die Durchführung von internen oder externen Schulungen und Workshops. Hier können die notwendigen Voraussetzungen und daraus folgende Einsatzmöglichkeiten für die Umsetzung von Industrie 4.0 aufgezeigt werden. Im Prozessverlauf können die beschriebenen Schulungsmaßnahmen beliebig oft wiederholt werden.

Verantwortlich für die Auswahl der Möglichkeiten zur Schaffung von Awareness ist der Industrie 4.0-Werksmanager. Zu seinen Aufgaben zählt zudem die Ausarbeitung und Durchführung geeigneter Fortbildungsmaßnahmen sowie die Gewährleistung eines Wissenstransfers zwischen den einzelnen Unternehmensstandorten. Im Ergebnis sollen Mitarbeiter eigenverantwortlich Ideen zur Anwendung von Industrie 4.0 generieren können.





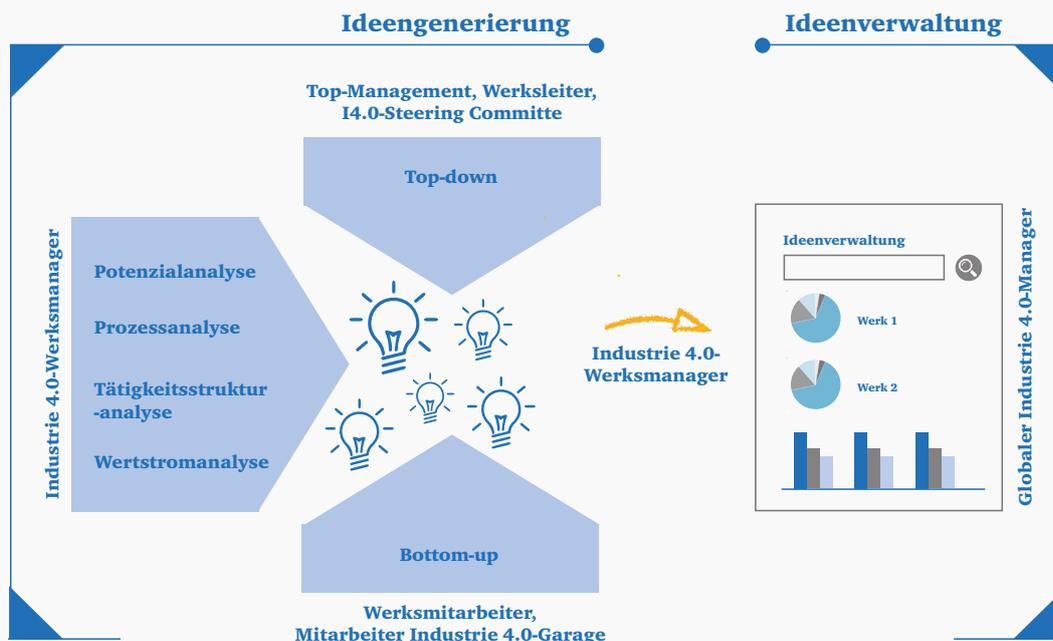
Phase 1: Ideengenerierung

Notwendige Voraussetzung für die Umsetzung von Industrie 4.0 ist eine Vielzahl guter Ideen. Bei der Ideengenerierung geht es darum, diese Ideen auf allen Hierarchieebenen in hoher Quantität und Qualität zu entwerfen. Dabei lassen sich drei generelle Ansätze unterscheiden.

Im Top-Down-Ansatz werden Ziele zur Umsetzung von Industrie 4.0 durch das Management vorgegeben, um strategisch wichtige Themen im Unternehmen weiterzuentwickeln. Charakteristisch für den Top-Down-Ansatz ist die Perspektive des Managements, welches ein übergeordnetes Verständnis von Industrie 4.0 hat. Daher ist das Management im Wesentlichen dafür verantwortlich, Ideen für eine übergeordnete Infrastruktur zu generieren, um wichtige Voraussetzungen für Industrie 4.0 zu schaffen. Beispielsweise kann die durchgängige Vernetzung von IT-Systemen oder die Entwicklung intelligenter Service-Systeme eine wichtige Richtung für das Unternehmen vorgeben. Um die Zahl generierter Ideen zu erhöhen, kann die Vorgabe einer gewissen Anzahl von Industrie 4.0-Ideen als ein Teil der persönlichen Zielvorgaben sinnvoll sein. Über den variablen Gehaltsanteil können für das Management Anreize geschaffen werden, die Ideengenerierung aktiv voranzutreiben.

Dem Top-Down-Ansatz steht der Bottom-Up-Ansatz gegenüber. Anders als das Management verfügen die Mitarbeiter im Werk und in der Industrie 4.0-Garage über eine operativere Perspektive. Das bedeutet, dass die Mitarbeiter im Unternehmen im Gegensatz zum Management über ein tiefergreifendes Verständnis für ihren entsprechenden Bereich verfügen. Daher kennen sie die Potenziale in den einzelnen Prozessschritten, die durch Industrie 4.0-Lösungen adressiert werden können, besser als das Management. Eine spezifische Innovationsprämie – ähnlich wie in vielen Unternehmen im Vorschlagswesen üblich – kann Anreize für die Mitarbeiter schaffen, um die Anzahl generierter Ideen zu erhöhen.

Die proaktive Entwicklung von Ideen als weiterer Ansatz ist Aufgabe des Industrie 4.0-Werksmanagers. Dieser muss zusätzliche Impulse zur Ideengenerierung setzen und eigene Ideen entwickeln. Hierfür eignen sich verschiedene Analysetools, um Potenziale in unternehmensinternen Prozessen zu identifizieren. Beispielhafte Analysetools sind die Prozess-, Potenzial-, Tätigkeitsstruktur- oder Wertstromanalyse.





13 %

**des F&E Budgets
investieren deutsche
Unternehmen in
Industrie 4.0- Lösungen**

(McKinsey 2016)

Zur Erfassung und Verwaltung einer hohen Anzahl von Ideen bietet sich eine einheitliche, unternehmensweite Plattform zur Ideenverwaltung an. In diese Plattform können alle Ideen in einem einheitlichen Standard eingepflegt werden. Ziel ist es, dass ein Ideengeber prüfen kann, ob eine ähnliche Idee bereits eingebracht wurde und ob diese mit der eigenen verknüpft werden kann. Die

Meilenstein: Ideenfilterung

Nach der Ideengenerierung findet eine erste Bewertung der generierten Ideen statt. Die Ideenfilterung sowie auch alle nachfolgenden Phasen und Meilensteine werden für jede einzelne Idee durchgeführt. Im Meilenstein wird die Idee in das Industrie 4.0-Reifegradmodell eingeordnet und mit den Zielvorstellungen des Unternehmens abgeglichen. Sofern die Idee mit den Zielvorstellungen übereinstimmt, wird sie weiterverfolgt. Andernfalls wird sie nicht weiterbearbeitet und in der Plattform für die Ideenverwaltung dokumentiert. Das detaillierte Vorgehen zur Einordnung einer Idee in das

Phase 2: Konzeptentwicklung

Ziel dieses Schritts ist die Detaillierung der ausgewählten Ideen, um anschließend eine erste quantitative Bewertung der entwickelten Konzepte durchführen zu können. Für diese Bewertung ist die Definition einheitlicher Anforderungen an das zu erstellende Konzept notwendig, um Vergleichbarkeit sicherzustellen. Ausgehend von dem im vorherigen Meilenstein definierten Intensitätsniveau kann die Ausgestaltung der folgenden Schritte abgeleitet werden.

Bevor mit der inhaltlichen Konzeptentwicklung begonnen werden kann, muss das dafür notwendige Team bestimmt werden. In Abhängigkeit von der Idee gilt es, über die notwendigen Kompetenzen und die zu verteilenden Rollen zu entscheiden. Ein zusätzlicher bestimmender Faktor bei der Teambildung ist die Verfügbarkeit der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, da eine Freistellung von Ressourcen unter Umständen zu langen Wartezeiten führen kann. Sofern eine Idee

übergeordnete Verantwortung für diese Plattform trägt der Globale Industrie 4.0-Manager.

Ergebnis der Phase 1 ist eine möglichst große Anzahl generierter Ideen in allen Bereichen und Hierarchieebenen des produzierenden Unternehmens, die in der zentralen Ideenverwaltung dokumentiert werden.

Industrie 4.0-Reifegradmodell wird im Kapitel „Industrie 4.0-Reifegradbestimmung“ beschrieben. Bestandteil der Bewertung ist die Zuordnung eines Intensitätsniveaus. Dieses soll darstellen, wie intensiv und mit welchem Zeitaufwand die Idee weiterentwickelt werden soll. Des Weiteren wird über Komplexität und Bearbeitungsart, Garage oder Werk, entschieden. Die Entscheidung über das Intensitätsniveau hat einen Einfluss auf den weiteren Arbeitsmodus, der nachfolgend beschrieben wird, und wird durch das Industrie 4.0-Steering Committee getroffen.

ohne großen zeitlichen Verzug ausgearbeitet werden soll, kann es daher sinnvoll sein, die Garage mit der Konzeptentwicklung zu beauftragen.

Nachdem das Team gebildet und die Entscheidung getroffen worden ist, ob das Konzept werksintern oder übergeordnet in der Garage entwickelt werden soll, startet nun die Arbeitsphase. Hier bieten sich je nach gewählter Intensität und Komplexität der Industrie 4.0-Lösung verschiedene Arbeitsmodi an.

Vollzeitbearbeitung durch die Industrie 4.0-Garage

Bei einer sehr hohen Intensität und Komplexität der zu entwickelnden Industrie 4.0-Lösung ist es sinnvoll, die Garage mit der Konzeptentwicklung zu beauftragen. Innerhalb von 2-3 Tagen kann die Idee hier in Vollzeit von den entsprechenden Experten zu einem Konzept weiterentwickelt werden.



Vollzeitbearbeitung durch das Werk

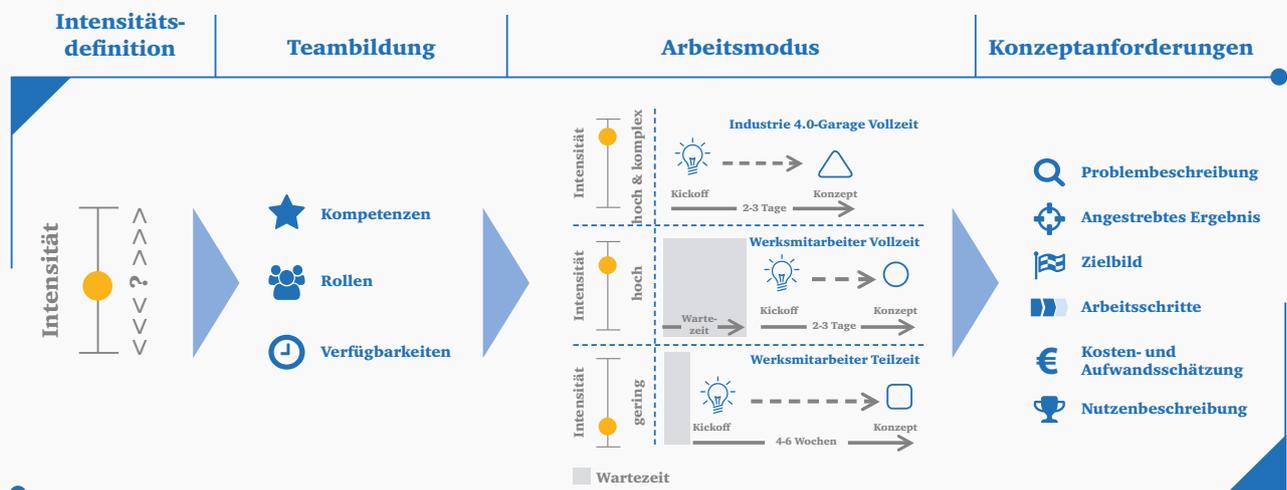
Bei einer geringeren Komplexität können die Ideen auch durch die Werksmitarbeiter in Vollzeit zu einem Konzept weiterentwickelt werden. Bei hoher Intensität sollte die Konzeptentwicklung in Vollzeit bearbeitet werden. In diesem Arbeitsmodus kann beispielsweise in ganztägigen, durch den Industrie 4.0-Werksmanager moderierten Workshops zusammengearbeitet werden. In Vollzeit kann die Konzeptentwicklung im Werk ebenfalls innerhalb von 2-3 Tagen erfolgen.

Teilzeitbearbeitung durch das Werk

Sofern nicht genügend Mitarbeiter für eine Vollzeitbearbeitung zur Verfügung stehen oder die Idee mit einer geringeren Intensität weiterbearbeitet werden soll, kann eine Teilzeitbearbeitung erfolgen. Hierbei arbeiten die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter neben dem operativen Tagesgeschäft zu einem Teil ihrer Arbeitszeit (z.B. 10-20 %) an der Ausarbeitung von Industrie 4.0-Lösungen. Die Konzeptentwicklung dauert dadurch länger und ist erst nach 4-6 Wochen abgeschlossen. Die drei beschriebenen Arbeitsmodi stellen

beispielhafte Ausprägungen der Zusammenarbeit dar. In der betrieblichen Praxis ist auch ein individueller Arbeitsmodus denkbar, der sich aus einer Kombination dieser Arbeitsmodi zusammensetzt. Projektabhängig kann die Einbindung der späteren Anwender bereits bei der Konzeptentwicklung vorteilhaft sein. Da es bei dem Konzept allerdings darum geht, ein quantitativ bewertbares Konzept der Idee zu erstellen ohne die Anwenderschnittstellen zu entwickeln, ist die vollständige Integration des Anwenders in die Projektarbeit noch nicht zwingend erforderlich.

Ergebnis von Phase 2 ist ein entwickeltes Konzept, das alle Informationen für eine quantitative Aufwand-Nutzen-Bewertung integriert. Wesentliche Inhalte des Konzepts sind eine kurze Beschreibung der durch die geplante Industrie 4.0-Lösung zu behandelnden Problemstellung sowie des zu erwartenden Ergebnisses. Zudem sind die für die Umsetzung erforderlichen Arbeitsschritte inklusive einer groben Kosten- und Aufwandsschätzung sowie der konkrete Nutzen der Anwendung zu beschreiben.



Meilenstein: Aufwand-Nutzen-Bewertung

In diesem Meilenstein wird das Konzept unter betriebswirtschaftlichen Aspekten bewertet und eine Aufwand-Nutzen-Bewertung durchgeführt. Die Weiterentwicklung einer kostenintensiven Idee, welche keine wirtschaftlichen Vorteile bietet, kann so frühzeitig vermieden werden. Verantwortlich für die

Bewertung und die anschließende Freigabe ist das Industrie 4.0-Steering Committee. Das Vorgehen zur Auswahl der weiter ausarbeitenden Industrie 4.0-Lösungen wird im Kapitel „Quantitative Bewertung von Industrie 4.0-Use Cases“ detailliert beschrieben.

Phase 3: Ausarbeitung



6 %

6 % der Unternehmen haben eine eigene Funktion für Digitale Themen geschaffen

(Kienbaum 2017)

Ziel der Ausarbeitungsphase ist die Entwicklung und prototypische Umsetzung einer zu pilotierenden Industrie 4.0-Lösung. Das Team, welches die Idee bereits zu einem Konzept weiterentwickelt hat, arbeitet auch in dieser Phase weiter zusammen und leistet einen wesentlichen Teil der nötigen Arbeitsleistung. Der Vorteil dieser konsekutiven Arbeitsweise ist, dass das bereits gesammelte anwendungsspezifische Wissen nicht aufwendig weitergegeben werden muss. Darüber hinaus kann das Team während der Konzeptentwicklung gewonnene Erkenntnisse für die konkrete Umsetzung nutzen. Auch hier wird je nach geforderter Intensität – ähnlich zum Vorgehen während der Konzeptentwicklung – ein geeigneter Arbeitsmodus gewählt. Die Wahl des optimalen Arbeitsmodus spielt in der Ausarbeitungsphase eine größere Rolle als bei der Entwicklung eines etwas abstrakteren Konzepts, da die Phase der Ausarbeitung meist aufwendiger und zeitintensiver ist. Die frühe Einbindung eines späteren Anwenders kann zudem erheblichen Einfluss auf das Endergebnis haben und nachfolgende Iterationsschleifen vorbeugen.

einer geringen Intensität bieten sich analog zu der Phase der Konzeptentwicklung flexible Arbeitszeitmodelle an. Ein wichtiger Vorteil einer Ausarbeitung des Konzepts in Teilzeit ist die Einbindung von Werksmitarbeitern bei gleichzeitiger Fortsetzung der operativen Tätigkeiten. Zu beachten ist bei solchen Teilzeitmodellen die längere Bearbeitungszeit. Zudem kann bei dieser Ausarbeitungsform nur in Ausnahmefällen eine mit anderen Arbeitsmodi vergleichbare inhaltliche Güte erreicht werden. Bei der Ausarbeitung aufwendiger und umfangreicherer Anwendungen ist daher eine Bearbeitung in Vollzeit sinnvoll. Zu beachten ist hierbei analog zur Konzepterstellung die notwendige Koordination, um über genügend freigestellte Mitarbeiter verfügen zu können. Bei der Bearbeitung in Vollzeit können die Werksmitarbeiter in iterativen Sprints interdisziplinär schnelle Arbeitsfortschritte erreichen. Empfohlen wird dabei die Nutzung des sogenannten Scrum-Ansatzes. Sofern das Projekt werksintern nicht bearbeitet werden kann, ist die Garage in das Projekt zu integrieren. Da die Garage eine geringere Nähe zu den Prozessen im Werk hat, ist gegebenenfalls im Anschluss eine werkspezifische Anpassung der Industrie 4.0-Lösung notwendig.

Sofern die intensive Einbindung eines Anwenders in das Projektteam sinnvoll ist, sollte die Ausarbeitung werksintern erfolgen. Bei

	Arbeitsmodus	+	-
Intensität hoch & komplex	Industrie 4.0-Garage Vollzeit 	<ul style="list-style-type: none"> Hohe Kompetenz Schnelle Bearbeitung Keine Benötigung sonstiger Kapazitäten 	<ul style="list-style-type: none"> Geringer Einbezug des Anwenders möglich Gegebenenfalls geringe Praxistauglichkeit
Intensität hoch	Werksmitarbeiter Vollzeit 	<ul style="list-style-type: none"> Schnelle Bearbeitung Anwender und Experten im Team 	<ul style="list-style-type: none"> Notwendige Freistellung der Mitarbeiter Konflikt mit operativem Tagesgeschäft Gegebenenfalls Wartezeit bis Bearbeitungsstart
Intensität gering	Werksmitarbeiter Teilzeit 	<ul style="list-style-type: none"> Aktiver Einbezug von Mitarbeitern neben operativem Tagesgeschäft (zb. 70-20-10-Regel) Anwender und Experten im Team 	<ul style="list-style-type: none"> Lange Bearbeitungszeiten Hohe Anforderungen an das Zeitmanagement der Mitarbeiter Gegebenenfalls geringere inhaltliche Tiefe



Meilenstein: Freigabe Pilotierung

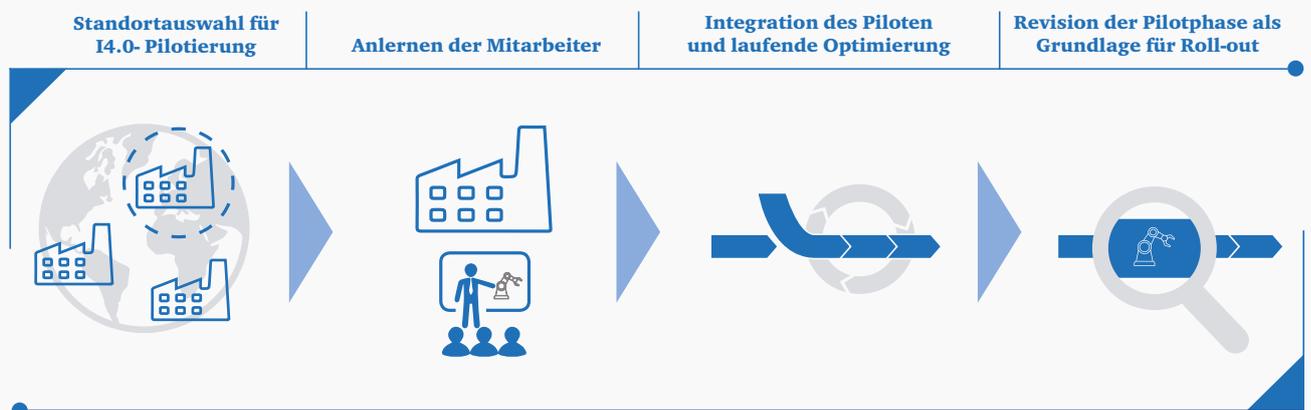
Vor der Pilotierung der Industrie 4.0-Lösung erfolgt eine retrospektive Bewertung durch das Industrie 4.0-Steering Committee, die analog zum Meilenstein Aufwand-Nutzen-Bewertung erfolgt. Die erneute quantitative Bewertung zu diesem Zeitpunkt ist deutlich valider. Somit wird die Anwendung hinsichtlich der Praxistauglichkeit evaluiert und über den Start der Pilotphase entschieden. Wird die Pilotierung freigegeben, wählt das Industrie 4.0-Steering Committee den Standort für das Pilotprojekt aus. Sollte die

Industrie 4.0-Lösung nicht für die Pilotierung freigegeben werden, erfolgt eine Optimierung der Anwendung durch die erneute Durchführung der Ausarbeitungsphase. Sofern der Fall eintritt, dass die entwickelte Industrie 4.0-Lösung auf Basis der Erkenntnisse aus der Ausarbeitungsphase den erwarteten Mehrwert nicht erfüllen kann oder der Aufwand den Nutzen signifikant übersteigt, kann die Weiterentwicklung der Industrie 4.0-Lösung an diesem Meilenstein gestoppt werden.

Phase 4: Pilotierung

Die entwickelte und prototypisch umgesetzte Industrie 4.0-Lösung wird in einem Unternehmensstandort getestet. In den meisten Fällen ist es sinnvoll, einen Lead-Standort für Industrie 4.0-Pilotierungen auszuwählen. In diesem Standort werden alle Industrie 4.0-Lösungen vor dem Roll-out in weitere Standorte getestet. Im Lead-Standort kann auf diese Weise ein umfangreicher Erfahrungsschatz im Bereich der Implementierung von Industrie 4.0-Lösungen aufgebaut werden. Anwendungsspezifische Vorteile, die andere Standorte z.B. in Bezug auf eingesetzte Prozesse oder Fertigungsverfahren im Einzelfall bieten, kann der Lead-Standort hingegen nicht vollumfänglich abbilden. Daher muss das Industrie 4.0-Steering Committee im Einzelfall über die Standortwahl der Pilotierung entscheiden.

Die Integration der Pilotanwendung erfordert darüber hinaus eine Einweisung der Nutzer in die neue Anwendung. Schulungen können je nach Komplexität ein geeigneter Ansatz sein. Wichtig ist, dass dieser Schritt der Qualifizierung abschließend evaluiert wird und die gewonnenen Erkenntnisse für einen anschließenden Roll-out dokumentiert werden. Anschließend wird die Pilotanwendung in die laufenden Prozesse integriert. Regelmäßiges Feedback der Nutzer ist dabei besonders wichtig, um sowohl den Piloten als auch den Integrationsprozess im späteren Roll-out zu optimieren.



Die Pilotphase muss durch eine umfassende Revision abgeschlossen werden, welche Erkenntnisse aus dem Anlern- und Integrationsprozess bündelt. Für die Begleitung der Pilotierung ist der Aufbau eines eigenen Implementierungsteams für die jeweilige Industrie 4.0-Lösung erforderlich. Das Implementierungsteam setzt sich aus den

Mitarbeitern zusammen, die die Industrie 4.0-Lösung entwickelt haben, sowie aus Mitarbeitern, die für den Bereich verantwortlich sind, in dem die Industrie 4.0-Lösung implementiert wird. Das Team sollte den anschließenden Roll-out ebenfalls wesentlich unterstützen und kann dafür die Erkenntnisse aus der Pilotierung verwenden.

Meilenstein: Freigabe Roll-out

Nach der Pilotierung ist der Umsetzungserfolg der Industrie 4.0-Lösung zu prüfen. Dazu werden die Erfahrungen aus Pilotierung analog zum Meilenstein Freigabe Pilotierung mit der vorher durchgeführten Aufwand-Nutzen-Bewertung abgeglichen. In einem Treffen des Industrie 4.0-Steering Committee wird entschieden, ob der gewünschte Mehrwert durch die Umsetzung erreicht wurde oder ob die Industrie 4.0-Lösung in einer weiteren Ausarbeitungsphase optimiert wer-

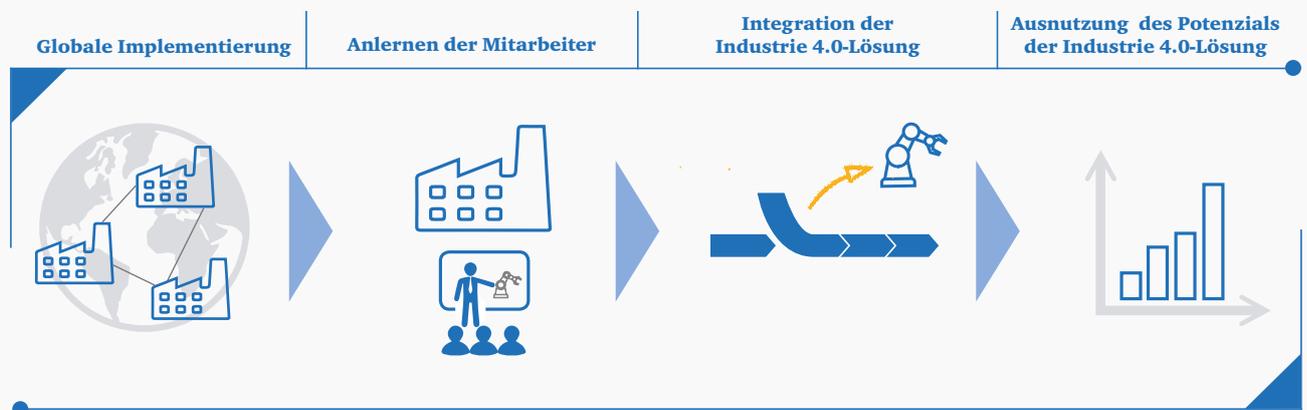
den muss. Ist eine weitere Optimierung der Anwendung nicht erforderlich und fällt die Aufwand-Nutzen-Bewertung der Pilotierung positiv aus, erfolgt die Implementierung der Industrie 4.0-Lösung in Form eines Roll-outs in weiteren Werken. Analog zum Meilenstein Freigabe Pilotierung kann im Einzelfall aufgrund eines negativen Aufwand-Nutzen-Verhältnisses auch an dieser Stelle der Roll-out der Industrie 4.0-Lösung abgelehnt werden.



Phase 5: Roll-out

Der Roll-out im gesamten Unternehmen erfolgt analog zur Phase 4. Die relevanten Schritte sind auch hier eine initiale Installation der Industrie 4.0-Lösung in weiteren Werken, die Qualifikation der Mitarbeiter und die Integration der Industrie 4.0-Lösung in das operative Tagesgeschäft. Die Umsetzung der während der Pilotphase erkannten Möglichkeiten zur Verbesserung des Prozesses ist für einen optimierten Ablauf entscheidend. Darüber hinaus werden sich während der Implementierung der

Industrie 4.0-Lösung in den einzelnen Unternehmensstandorten aufgrund leicht unterschiedlicher Rahmenbedingungen weitere Optimierungsmaßnahmen identifizieren lassen. Daher ist eine weitere, standortspezifische Verbesserung der Industrie 4.0-Lösung erforderlich. Hierbei ist es entscheidend, einen Verantwortlichen vor Ort in jedem Werk zu definieren, welcher den lokalen Integrationsprozess koordiniert. Diese Aufgabe wird vom lokalen Industrie 4.0-Werksmanager wahrgenommen.



Meilenstein: Bewertung Projekterfolg

Nach Abschluss des Roll-outs sollte wie am Ende der Pilotphase eine Revision stattfinden, um die Erfahrungen zu bündeln und zu sichern. In diesem Zusammenhang erfolgt die finale Bewertung des Umsetzungserfolgs der Industrie 4.0-Lösung. Die Bewertung erfolgt durch spezifische Prozesskennzahlen, die den Nutzen der Industrie 4.0-Lösung messbar darstellen. Darüber hinaus erfolgt nach jedem umgesetzten Roll-out einer Industrie 4.0-Lösung eine Aktualisierung des aktuellen Umsetzungsgrads von

Industrie 4.0 im Reifegradmodell. Erfahrungen aus der Entwicklung der Lösung werden in einer Projektretrospektive analysiert und dokumentiert, um sie für die weiterführende Umsetzung von Industrie 4.0 nutzbar zu machen. In halbjährlichen oder jährlichen Abständen erfolgt zudem eine Aktualisierung des zukünftigen Zielzustands im Reifegradmodell analog zum Meilenstein Industrie 4.0-Reifegradbestimmung.

Use-Case Smart Glasses

In der Vorbereitungsphase Awareness wird bei der Vorstellung bereits bestehender Use-Cases in anderen Unternehmen unter anderem eine Smart Glass vorgestellt. Die Smart Glass ist eine Brille, die ein Videosignal live überträgt und Informationen im Sichtfeld des Brillenträgers einblenden kann. Ein Mitarbeiter aus dem Service-Bereich erkennt das Potenzial für die Durchführung von Montagetätigkeiten bei der Fernwartung und reicht diese in der Ideenverwaltungsplattform ein. Das Industrie 4.0-Steering Committee entscheidet beim nächsten Zusammentreffen über diesen Use-Case und ordnet ihn in das Reifegradmodell ein. Die Idee wird als wenig komplex eingestuft und soll lediglich mit geringer Intensität verfolgt werden, da die Brille und die benötigte Hardware bereits am Markt verfügbar sind. Die weiteren Aufgaben können deswegen werksintern mit einem Teilzeitmodell bearbeitet werden. Die entsprechenden Mitarbeiter sollen für die Konzeptentwicklung sowie für die Ausarbeitung der Industrie 4.0-Lösung 15 % ihrer Arbeitszeit aufwenden. In der Konzeptentwicklung werden als nächstes weitere Entwicklungsschritte definiert, der Nutzen der Industrie 4.0-Lösung abgeschätzt sowie notwendigen Ausgaben quantifiziert. In der Aufwand-Nutzen-Bewertung vergleicht das Industrie 4.0-Steering Committee nun die zu erwartenden Effizienzgewinne mit den Kosten und kalkuliert eine Amortisationsdauer von einem halben Jahr. Da für diesen Use-Case der Grenzwert für die Amortisationsdauer auf drei Jahren festgelegt worden ist, trifft das Industrie 4.0-Steering Committee die Entscheidung, das Projekt

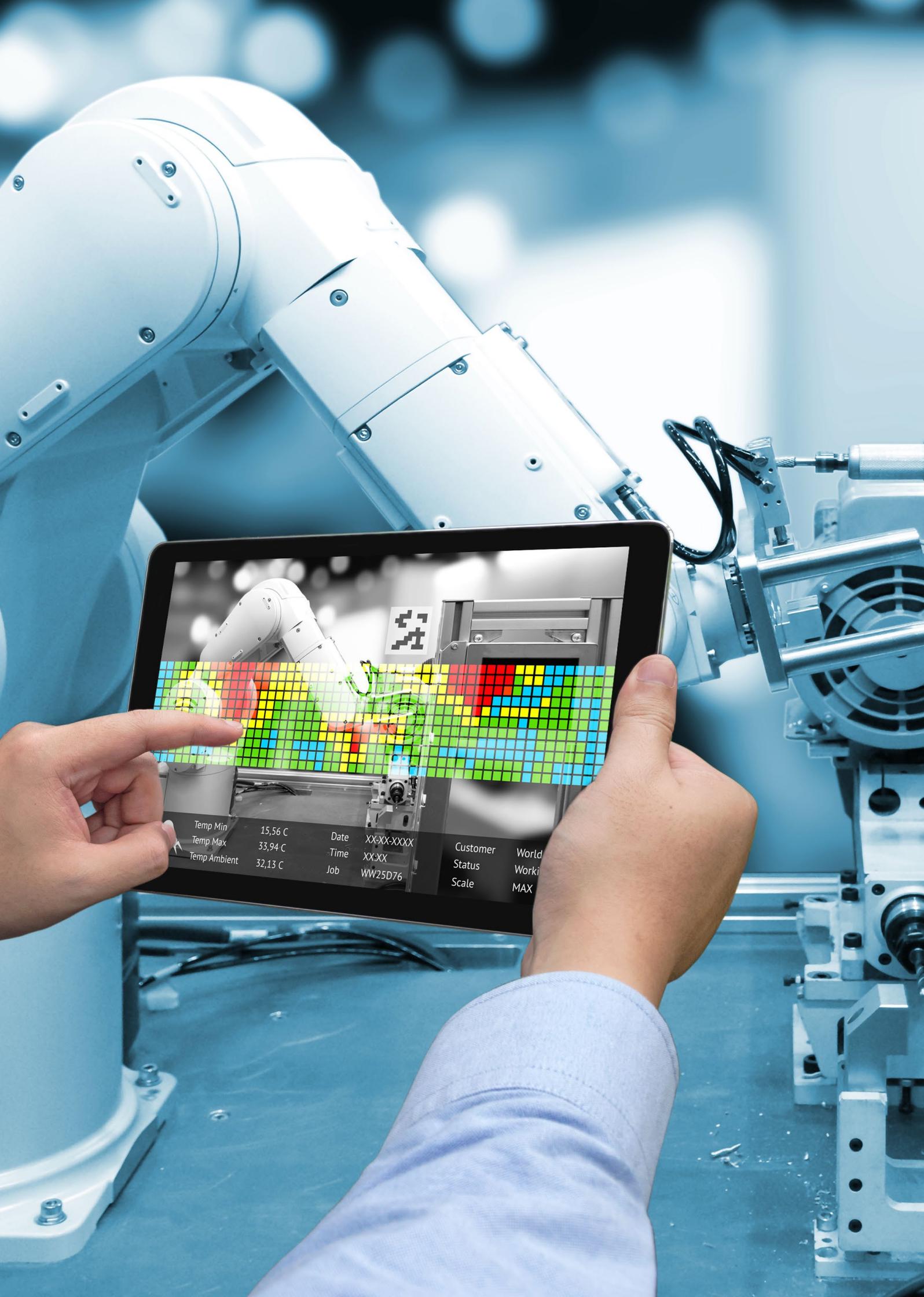
in weiteren Schritten auszuarbeiten. Die Hauptaufgabe in der nächsten Phase ist die Ausarbeitung geeigneter Schnittstellen, um die Zusammenarbeit zwischen einem Experten am Schreibtisch und einem Monteur vor Ort effizient zu gestalten. Die Entwicklung einer Tabletapplikation für den Experten ist in diesem Fall sinnvoll, da über den Touchscreen einfach mit dem Videosignal des Monteurs interagiert werden kann. Die Pilotierung findet nach der Freigabe an zwei Standorten statt, um die Fernwartung mithilfe der Smart Glass unter realen Bedingungen testen zu können. Der Hauptsitz des Unternehmens in Deutschland, der als Lead-Standort für die Implementierung von Industrie 4.0-Lösungen vorzugsweise ausgewählt wird, ist einer der beiden Standorte. Darüber hinaus wird ein Produktionswerk in Asien, in dem die Monteure durch den Standort in Deutschland mittels der Smart Glass angeleitet werden, für die Pilotierung des Use-Cases ausgewählt. Die Pilotphase zeigt, dass die Experten und die Fachkräfte vor Ort ohne großen Aufwand in das intuitive System eingewiesen werden können und der Use-Case zu den gewünschten Effizienzsteigerungen führt. Nach der Umsetzung von kleineren Verbesserungsmaßnahmen, die aus der Pilotierung abgeleitet werden, erfolgt der globale Roll-out. In dieser Phase findet die Implementierung der Industrie 4.0-Lösung in allen Produktionswerken sowie die Qualifizierung der betroffenen Mitarbeiter statt.



Use-Case Data Lake

In einem Fachvortrag über das „Internet of Production“ werden Führungskräften einige Voraussetzungen für Industrie 4.0 vorgestellt. Unter anderem wird erkannt, dass die Verfügbarkeit von Daten sowie die Datendurchgängigkeit („Single source of truth“) entlang der gesamten Prozesskette erhöht werden muss. Die Idee einer einheitlichen Datenplattform als sogenannter Data Lake wird in die Ideenverwaltung eingepflegt und auf Überschneidungen mit anderen Ideen geprüft. Da dies nicht der Fall ist, wird die Idee dem Industrie 4.0-Steering Committee vorgelegt. Bei der Einordnung in das Reifegradmodell wird der grundlegende Charakter des Data Lake deutlich, sodass das Industrie 4.0-Steering Committee die Idee weiterentwickeln möchte. Die Entwicklung des Data Lake benötigt ein hohes Maß an IT-Know-how und wird als sehr aufwendig eingeschätzt, sodass die Konzeptentwicklung und die Ausarbeitung mit einer hohen Intensität erfolgen soll. Die Garage ist somit der geeignete Ort für die Fortführung der Idee. Auch der Anwenderbezug ist in diesem Use-Case eher gering. Lediglich die Definition der Anforderungen an den Data Lake erfolgt in Abstimmung mit den Werken. Das Team entwirft ein Konzept, in dem der zu erwartende Aufwand und Nutzen quantifiziert wird. Da ein Data Lake alleine keine direkten monetären Vorteile hat, ist die Entscheidung im Meilenstein der Aufwand-Nutzen-Bewertung strategischer Art. Die Relevanz des Data Lake für viele weitere Industrie 4.0-Lösungen spielt dabei die entscheidende Rolle. Nachdem über die Weiterführung des Projekts entschieden worden ist, wird das Konzept ausgearbei-

tet. Die Ausarbeitung findet ebenfalls in der Industrie 4.0-Garage statt, um das Konzept im gleichen Team ausarbeiten zu können. Nach der Freigabe für die Pilotierung wird die Implementierung am Lead-Standort für Industrie 4.0 in Deutschland gestartet, da hier sowohl die Industrie 4.0-Garage ansässig ist, welche die Pilotierung begleiten kann, als auch die zentrale IT-Abteilung des Unternehmens ihren Hauptsitz hat. Da der Data Lake selbst kaum Schnittstellen mit Anwendern auf dem Shopfloor hat, spielt der Prozess des Anlernens lediglich eine untergeordnete Rolle und sollte vorrangig dazu dienen, Akzeptanz und Verständnis für die Pilotierung aufzubauen. In dem Fall des Data Lake kann versucht werden, die Qualität und Relevanz der gesammelten Daten und deren Quellen zu beurteilen. Im Zuge der Pilotierungsphase müssen noch einige Optimierungsmaßnahmen umgesetzt werden. Anschließend erfolgt der globale Roll-out. Bei dem globalen Roll-out kommt es darauf an, die standortspezifischen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen und die werksinternen IT-Mitarbeiter zu schulen, um eine fortlaufende Erweiterung des Data Lake eigenständig durchführen zu können.



Temp Min	15,56 C	Date	XX-XX-XXXX	Customer	World
Temp Max	33,94 C	Time	XX:XX	Status	Worki
Temp Ambient	32,13 C	Job	WW25D76	Scale	MAX

Temp Min	15,56 C	Date	XX-XX-XXXX	Customer	World
Temp Max	33,94 C	Time	XX:XX	Status	Worki
Temp Ambient	32,13 C	Job	WW25D76	Scale	MAX



Industrie 4.0-Reifegradmodell zur Zielbestimmung und Ideenfilterung

In der praktischen Unternehmenswelt wird die Implementierung von Industrie 4.0 in vielen Fällen im Sinne einer groben Richtungsangabe, teilweise auch als verpflichtende strategische Initiative behandelt. Hierbei werden in den seltensten Fällen klare, strukturierte und vor allem realistische Ziele gesetzt. Grundlage zur erfolgreichen Umsetzung von Industrie 4.0 ist daher die strukturierte Analyse des Status quo des betreffenden Unternehmens in den einzelnen Handlungsfeldern von Industrie 4.0 entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Das Instrument zur Bestimmung dieses Status quo sind Industrie 4.0-Reifegradmodelle. In Literatur und Praxis finden sich zahlreiche Reifegradmodelle unterschiedlichen Umfangs und Detailgrads. Im Rahmen des in dieser Studie vorgestellten Ansatzes, wird ein Industrie 4.0-Reifegradmodell vorgeschlagen,

welches universell in allen Unternehmen der produzierenden Industrie anwendbar ist. Basierend auf dem ermittelten Reifegrad können konkrete und realistische Ziele ermittelt werden, deren Erreichung in einem definierten Zeitraum angestrebt wird. Neben der initialen Anwendung der Reifegradbewertung zur Analyse des gesamten Unternehmens ermöglicht die Bewertung einzelner, umzusetzender Industrie 4.0-Use-Cases zudem die Definition von Umsetzungsvoraussetzungen. Durch dieses Vorgehen kann sichergestellt werden, dass die Umsetzung von Industrie 4.0 kontinuierlich sowie zielgerichtet stattfindet. Im Folgenden wird das Reifegradmodell selbst und das Vorgehen zu dessen Anwendung beschrieben.



22 %

der befragten mittelständischen Unternehmen haben klare Ziele im Kontext von Industrie 4.0 formuliert

(Deloitte 2016)

Ansatz zur Bestimmung des Industrie 4.0-Reifegrads

Das Reifegradmodell zur Bewertung des Umsetzungsstands von Industrie 4.0 wird an zwei Stellen im Implementierungsprozess eingesetzt, wobei drei voneinander zu differenzierende Funktionen erfüllt werden. Zunächst erfolgt eine initiale Industrie 4.0-Reifegradbestimmung als Ausgangspunkt des Implementierungsprozesses. Diese dient einerseits der Bestimmung des Status quo und andererseits der Definition von konkreten Zielen und Vorgaben zur weiteren Umsetzung von Industrie 4.0. Durchzuführen sind diese beiden ersten Funktionen durch das Industrie 4.0-Steering Committee, um eine konsistente Anwendung des Reifegradmodells über das gesamte Unternehmen sicherzustellen. Hierbei können sowohl Bewertung des Status quo als auch Zieldefinition für einzelne Standorte oder Werke individuell durchgeführt werden. Zudem ist eine weitere Detaillierung der Bewertung möglich. Ein weiterer Einsatz des Industrie 4.0-Reifegradmodells erfolgt im Meilenstein der Ideenfilterung. Hierbei

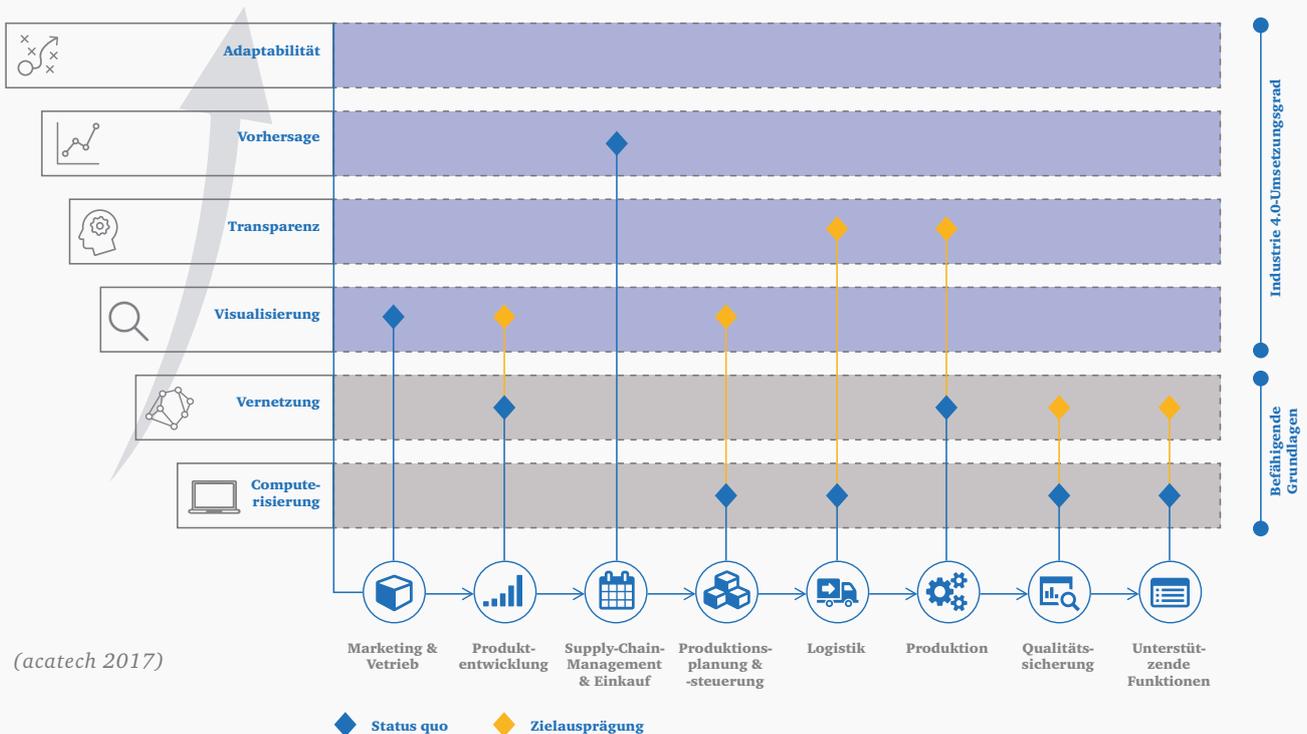
werden individuelle, von Mitarbeitern auf der operativen Ebene entwickelte Industrie 4.0-Lösungsansätze auf ihren Beitrag zur weiteren Umsetzung von Industrie 4.0 überprüft und in das Reifegradmodell eingeordnet. Mit der Ausübung dieser dritten Funktion ist das Industrie 4.0-Steering Committee in der Lage, den Implementierungsprozess durch die Identifizierung jener Lösungsansätze zu steuern, welche der Erreichung der initial definierten Ziele dienen. Im Folgenden werden die Struktur des Industrie 4.0-Reifegradmodells und die hiermit erfüllten Funktionen näher erläutert.

Das Reifegradmodell bewertet die Umsetzung von Industrie 4.0 in produzierenden Unternehmen in 6 Stufen. Jede Stufe repräsentiert einen Schritt auf dem Weg der vollständigen Umsetzung von Industrie 4.0. Dies schließt sowohl die Bewertung von Umsetzungsvoraussetzungen, als auch die eigentliche Umsetzung von Industrie 4.0

im Unternehmen ein. Die nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über das Industrie 4.0-Reifegradmodell.

Die Stufen Computerisierung und Vernetzung bilden die Grundlagen zur Umsetzung von Industrie 4.0. Hierbei bezeichnet die **Computerisierung** die Verwendung digitaler Systeme anstatt analoger Lösungen. Eine Vernetzung der digitalen Einzelsysteme zur Realisierung eines Informationsaustauschs führt zur Erreichung der Stufe **Vernetzung**. Ohne eine unternehmensweite digitale Verwaltung und Nutzung von Informationen ist eine Umsetzung von Industrie 4.0 nicht möglich. Die erste, auf der Computerisierung und Vernetzung der Produktion aufbauende Stufe der Umsetzung von Industrie 4.0 ist die **Visualisierung** relevanter Vorgänge. Mithilfe von Sensor- und Übertragungstechnik wird auf dieser Stufe Sichtbarkeit über Zustände und Abläufe erzeugt, indem eine digitale Sammlung von Informationen entlang der Prozesse zur Produkterstellung sowie Produktinformationen entlang des Produktlebenszyklus realisiert wird. Als zweite Stufe folgt das Erlangen von **Transparenz** über die Ursachen der bislang lediglich visualisierten Zustände und Abläufe. Dies

wird durch die Identifizierung von Wirkzusammenhängen ermöglicht, durch welche ein Verständnis über produktionstechnische Vorgänge und deren Hintergrund erreicht wird. Dem schließt sich die dritte Stufe des Industrie 4.0 Entwicklungswegs an – die **Vorhersage**. Aufbauend auf den identifizierten Wirkzusammenhängen wird das Unternehmen auf dieser Stufe in die Lage versetzt, zukünftige Zustände zu prognostizieren und die jeweilige Eintrittswahrscheinlichkeit zu bewerten. In der Folge hat das Unternehmen die Möglichkeit, vorhergesagte Ereignisse zu antizipieren. Die Fähigkeit, Daten auszuwerten, das Verständnis von Wirkzusammenhängen in der Produktion und die Möglichkeit, Zustände zu prognostizieren, ist die Voraussetzung zur Erreichung der vierten und letzten Stufe des Reifegradmodells von Industrie 4.0 – die **Adaptabilität**. Selbstoptimierende Prozesse ermöglichen, dass die Systeme eines Unternehmens in der Lage sind, Daten in Echtzeit aufzunehmen, diese zu interpretieren und entsprechende Maßnahmen automatisch durchzuführen. Die Aufgabe des Menschen verlagert sich somit auf die Überwachung und Weiterentwicklung der Systeme eines Unternehmens.





Die Bewertung des Industrie 4.0-Reifegrads findet in den verschiedenen Unternehmensfunktionen entlang der Wertschöpfungskette produzierender Unternehmen statt. Ergänzend hinzu kommen unterstützende Funktionen wie beispielsweise Unternehmensführung, Personalwesen oder Controlling. Dies dient der Strukturierung der durch das Industrie 4.0-Steering Committee durchgeführten Bewertung des Status quo. Eine ausschließlich globale Bewertung des Umsetzungsstands von Industrie 4.0 ist nicht ausreichend, um die Komplexität eines produzierenden Unternehmens abzubilden. Zudem ist diese Detaillierung der Bewertung für die weiteren beiden Funktionen des Industrie 4.0-Reifegradmodells, der Zieldefinition und der Ideenfilterung, unerlässlich. Eine Sammlung definierter Industrie 4.0-Reifegrad-Ausprägungen in den einzelnen Unternehmensfunktionen ist im Anhang zu finden. Ist der Industrie 4.0-Umsetzungsstand des Unternehmens in den einzelnen Unternehmensfunktionen bestimmt, so folgt die Zieldefinition. Obwohl das eigentliche Ziel die vollumfängliche Umsetzung von Industrie 4.0 über alle Unternehmensfunktionen ist, erfordert eine erfolgreiche Implementierung die Strukturierung und Priorisierung notwendiger Teilschritte im Prozess der Industrie 4.0-Implementierung. Hierzu bestimmt das Industrie 4.0-Steering Committee konkrete Umsetzungsziele und -vorgaben, die definieren, in welchen Unternehmensfunktionen die Umsetzung von Industrie 4.0 forciert werden soll. Diese Ziele werden beispielsweise von der Unternehmensstrategie oder von identifizierten Schwachstellen in der Wertschöpfungskette abgeleitet. Das Ergebnis der Zieldefinition dient als Input für die im folgenden Schritt durchzuführende Ideenfilterung. Hierzu werden durch das Industrie 4.0-Steering Committee Industrie 4.0-Lösungsansätze dahingehend analysiert, welchen Effekt eine Umsetzung auf den Umsetzungsstand von Industrie 4.0 in einzelnen Unternehmensfunktionen hat. Ergibt diese Analyse, dass die Erreichung der definierten Ziele durch den untersuchten Lösungsansatz unterstützt wird, so wird

dieser weiterverfolgt. Zur Überprüfung der Effektivität der umgesetzten Lösungsansätze auf den Industrie 4.0-Reifegrad ist die Bewertung des Status quo in regelmäßigen Abständen zu aktualisieren.

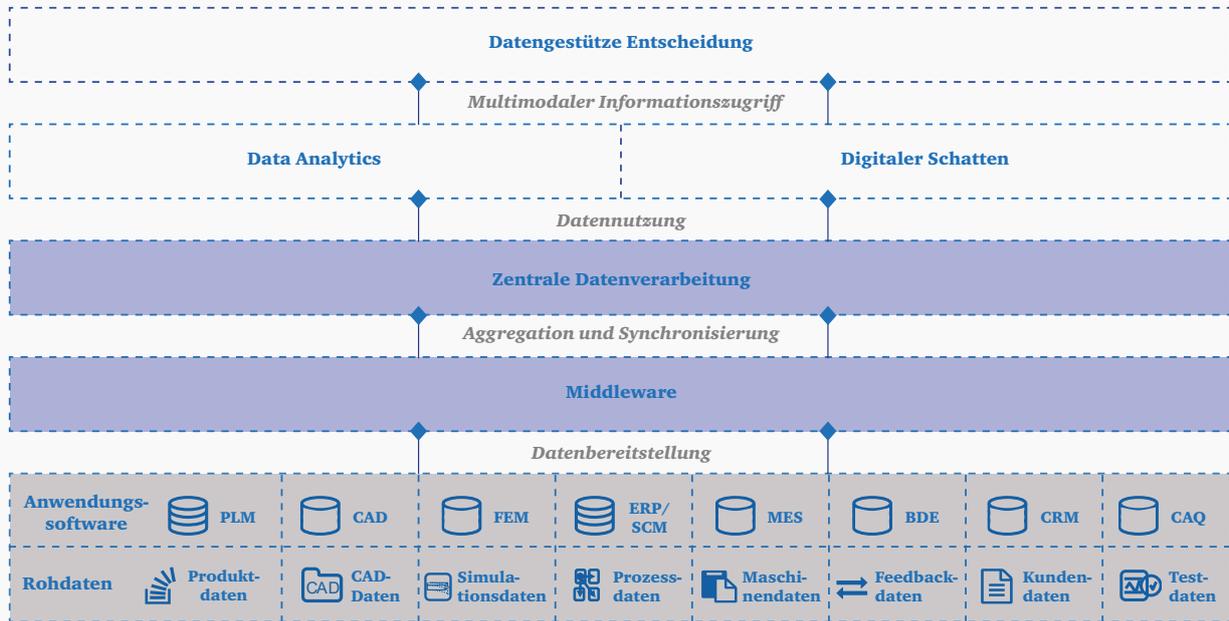
Zusätzlich zum Industrie 4.0-Reifegradmodell stellt die vorliegende Studie einen Ansatz zur systematischen Ermittlung von Voraussetzungen zur Umsetzung bestimmter Industrie 4.0-Lösungsansätze zur Verfügung. Dies dient als Input zur Aufwand-Nutzen-Bewertung im nächsten Schritt des Implementierungsprozesses. Abgeleitet ist dieser Ansatz vom am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen entwickelten Modell des „Internet of Production“. Der Ansatz zur Ermittlung von Umsetzungsbedingungen ist mehrstufig aufgebaut. Das zu erreichende Ziel, die oberste Stufe, ist die Realisierung einer datengestützten Entscheidung. Die hierzu notwendigen Voraussetzungen werden durch die übrigen Stufen symbolisiert. Auf der untersten Ebene finden sich zur Umsetzung von Industrie 4.0-Lösungsansätzen potenziell benötigte Rohdaten und die entsprechenden Systeme, in welchen diese üblicherweise vorliegen. Mithilfe einer sogenannten Middleware-Lösung werden diese Informationen in der nächsthöheren Stufe aggregiert und synchronisiert, sodass sie in ihrer Gesamtheit nutzbar werden. Im Anschluss werden die aggregierten und synchronisierten Informationen zentral gespeichert und verwaltet, um zur weiteren Nutzung vollumfänglich und direkt zur Verfügung zu stehen. Die Nutzung dieser Daten erfolgt multimodal mithilfe von Methoden der Data Analytics oder des digitalen Schattens. Die hieraus gewonnenen Informationen können zur datengestützten Entscheidungsfindung verwendet werden.



2,62 Mrd. €

**sollen 2020
von deutschen
Unternehmen in
Industrie 4.0-Projekte
investiert werden**

(Statista 2018)



Entsprechend der beschriebenen Vorgehensweise ist für jeden Industrie 4.0-Lösungsansatz, der die Ideenfilterung passiert hat, individuell zu untersuchen, welche Rohdaten zur Umsetzung erforderlich sind und in welchen Softwarelösungen diese vorliegen. Anschließend wird bewertet, ob und in welchem Umfang eine Aggregation und Synchronisation der Informationen notwendig ist und

welche Analysemethoden zur Umsetzung des untersuchten Lösungsansatzes benötigt werden. Abschließend erfolgt ein Abgleich mit dem Status quo bezüglich der identifizierten Voraussetzungen zur Umsetzung im Unternehmen, sodass der notwendige Aufwand zur Umsetzung ermittelt und eventuell notwendige Maßnahmen aufgezeigt werden können.

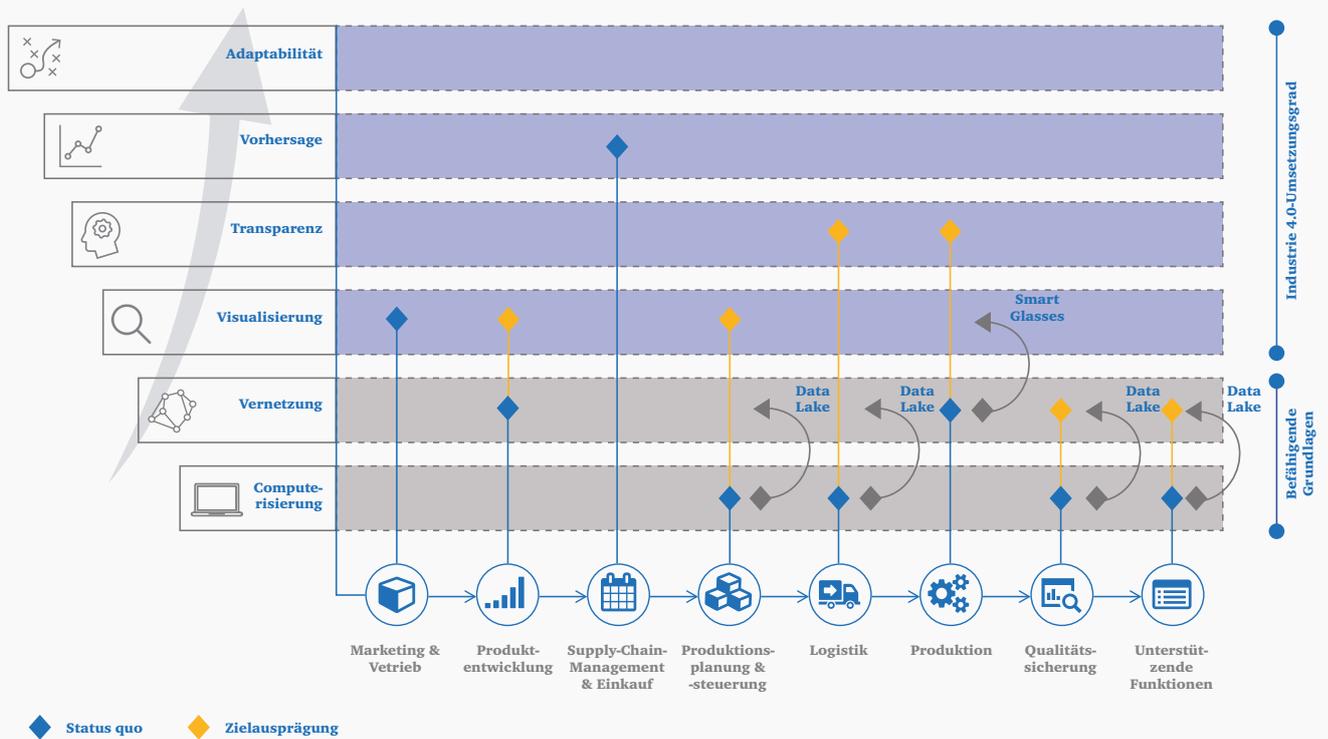


Beispielanwendung Use-Cases

Die durch das Industrie 4.0-Steering Committee durchgeführte Bewertung sowie Zielbestimmung ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Die Reifegradbestimmung hat ergeben, dass lediglich in den Unternehmensfunktionen des Supply-Chain-Managements und Einkaufs sowie im Marketing und Vertrieb bereits eine erfolgreiche Implementierung von Industrie 4.0 stattgefunden hat. So sind im Supply-Chain-Management bereits Lösungen umgesetzt, die eine Vorhersage von Änderungen in der Auftragslage ermöglichen und demzufolge eine frühzeitige Reaktion durch das Supply-Chain-Management erlauben. Im Marketing und Vertrieb wird bereits eine Visualisierung aktueller Absatzzahlen sowie der Verkaufsentwicklung durchgeführt. Lediglich in der Produktentwicklung und der Produktion werden die beiden Stufen der befähigenden Grundlagen von Industrie 4.0 erfüllt, indem eine Computerisierung als auch eine Vernetzung umgesetzt ist. In den übrigen Unternehmensfunktionen werden zwar digitale Systeme

verwendet, jedoch sind diese Insellösungen, welche aufgrund einer fehlenden Vernetzung keinen bidirektionalen Informationsaustausch ermöglichen. Basierend auf einer Bewertung des sich ergebenden Optimierungspotenzials hat das Industrie 4.0-Steering Committee entschieden, dass insbesondere in Produktentwicklung, Produktionsplanung und -steuerung sowie Logistik und Produktion Industrie 4.0-Lösungen implementiert werden sollen. Hierbei soll in Logistik und Produktion die Stufe der Transparenz, in Produktentwicklung sowie Produktionsplanung und -steuerung zunächst lediglich die Stufe der Visualisierung erreicht werden. Die gesetzten Ziele sollen durch entsprechende zu implementierende Maßnahmen innerhalb der nächsten 6 Monate erreicht werden.

Nachdem im ersten Schritt des Industrie 4.0-Implementierungsprozesses die Bestimmung des Status quo sowie die Definition von Zielen der Industrie 4.0-Umsetzung durchgeführt wurde, erfolgt im



Schritt der Ideenfilterung die Analyse der Use-Cases durch eine Einordnung in das Industrie 4.0-Reifegradmodell.

Der Use-Case Smart Glasses beinhaltet im vorliegenden Anwendungsfall die digitale Unterstützung von Montage- sowie von Wartungs- und Reparaturvorgängen in der Fertigung. Eingeordnet in das Industrie 4.0-Reifegradmodell führt eine Umsetzung zu einer optimierten Abstimmung fertigungstechnischer Abläufe, indem Informationen über aktuelle Zustände in der Produktion für die Mitarbeiter visualisiert werden. Demzufolge unterstützt der Einsatz von Smart Glasses in der Fertigung die Erreichung der Stufe der Visualisierung, als einen Teilschritt zur angestrebten Stufe der Transparenz. Aus diesem Grund wird in der Ideenfilterung eine weitere Verfolgung des Use-Cases durch das Industrie 4.0-Steering Committee entschieden.

Ein Data Lake stellt eine zentrale Sammelstelle für Unternehmensdaten dar. Dies bedeutet, dass die alleinige Umsetzung des

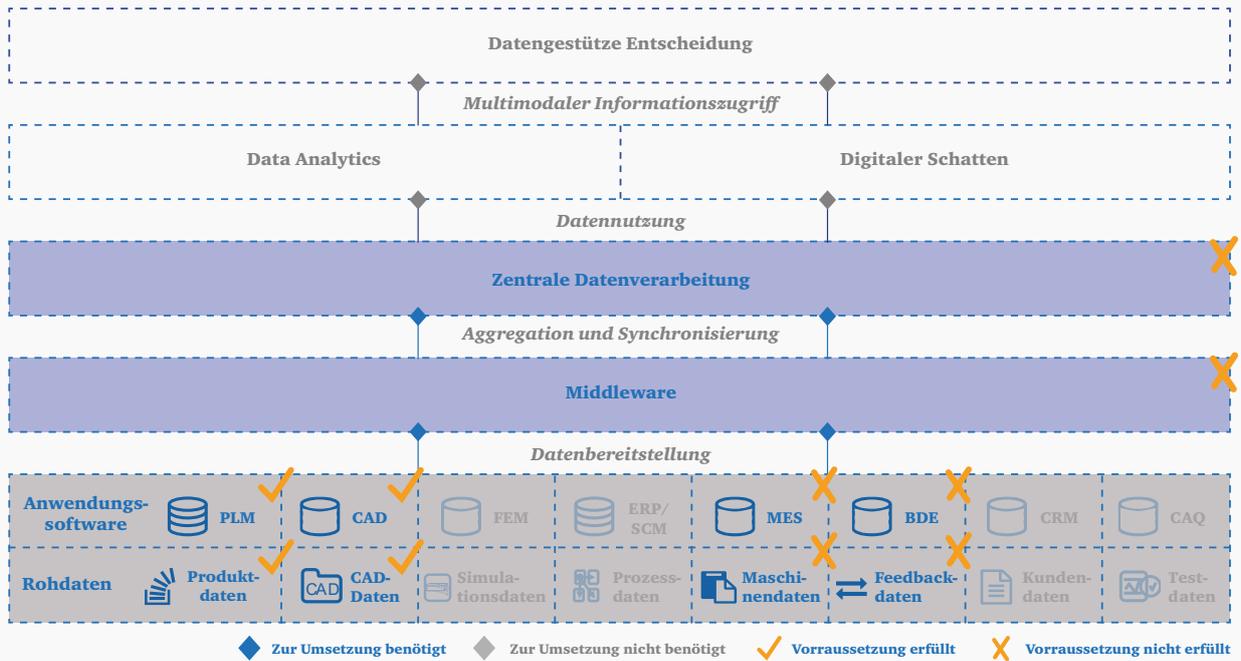
unternehmensweiten Data Lake noch keine Realisierung von Industrie 4.0 bedeutet. Jedoch wird so die Grundlage zur Implementierung von Industrie 4.0-Lösungen geschaffen, da benötigte Informationen zentral verfügbar gemacht werden. Demzufolge kann durch die Umsetzung des Use-Cases über alle Unternehmensfunktionen die Stufe der Vernetzung erreicht werden. Da dies die Grundlage für alle weiteren Umsetzungsaktivitäten ist und die Umsetzungsziele in der Produktionsplanung und -steuerung sowie der Logistik direkt unterstützt werden, entscheidet das Industrie 4.0-Steering Committee in der Ideenfilterung, dass mit der Konzeptentwicklung fortgefahren werden wird.

Ergänzend zur Einordnung in das Industrie 4.0-Reifegradmodell werden die Use-Cases Smart Glasses und Data Lake hinsichtlich der Voraussetzung einer Umsetzung im Unternehmen untersucht. Dies dient als Input zur Aufwand-Nutzen-Bewertung im nächsten Schritt des Implementierungsprozesses.

Use-Case Smart Glasses

Zur Unterstützung von Montage- und Reparaturvorgängen durch den Einsatz von Smart Glasses werden einerseits Produkt- und CAD-Daten sowie andererseits Maschinen- und Feedbackdaten benötigt, um Mitarbeitern entsprechende Informationen zur Verfügung stellen zu können. Aktuell liegen Produkt- und CAD-Daten im Unternehmen bereits in entsprechenden Softwarelösungen vor. Allerdings findet bislang keine Sammlung von Maschinen- oder Feedbackdaten aus der Fertigung statt. Auch existiert bislang weder eine zur Aggregation und Synchronisation der Informationen entsprechende

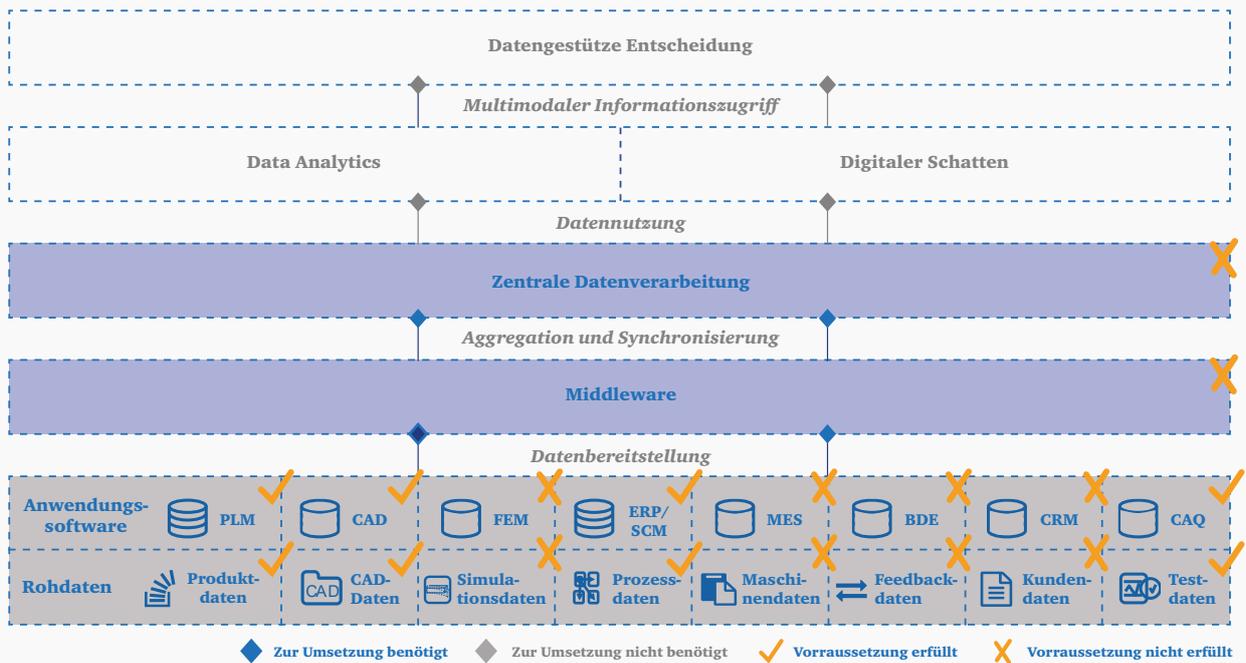
Middleware-Lösung, noch eine zentrale Datenverwaltung, welche die benötigten Informationen für die angestrebte Smart Glasses-Anwendung zur Verfügung stellen könnte. Anwendungen der Data Analytics oder des digitalen Schattens werden im vorliegenden Fall nicht benötigt. Eine datengestützte Entscheidung ist für eine Umsetzung des Use-Cases ebenfalls nicht notwendig. Die Ergebnisse der Analyse sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

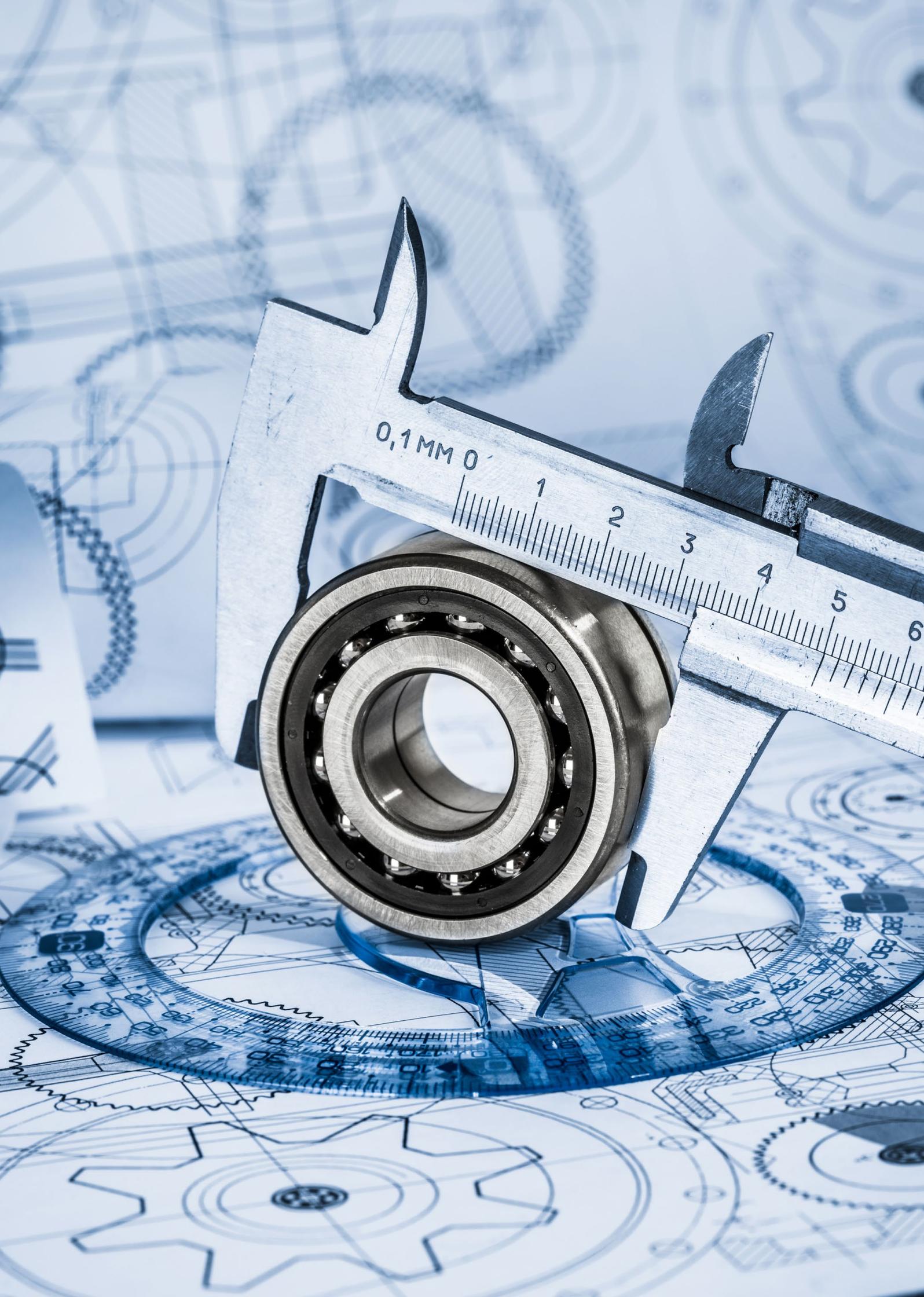


Use-Case Data Lake

Zur Umsetzung des unternehmensweiten Data Lake ist eine Sammlung aller verfügbarer Daten in den verschiedenen Unternehmensfunktionen entlang der Wertschöpfungskette notwendig. Demzufolge werden sämtliche Daten zur Ermittlung der Umsetzungsvoraussetzungen benötigt, um sie im Data Lake zentral zu sammeln und verfügbar zu machen. Diese Daten sind mithin durch eine geeignete Middleware-Lösung zu aggregieren sowie zu synchronisieren und müssen anschließend in einer zentralen Datenverwaltung nutzbar gemacht werden. Aktuell

sind im Unternehmen bereits Produkt-, CAD, Prozess- und Testdaten über entsprechende Softwarelösungen nutzbar. Jedoch werden Simulations-, Maschinen-, Feedback- und Kundendaten bislang nicht systematisch gesammelt. Auch existiert weder eine Middleware-Lösung noch eine zentrale Datenverwaltung, sodass diese zur Umsetzung des Use-Cases zu realisieren wären. Nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über die Ergebnisse der Analyse der benötigten Voraussetzungen.







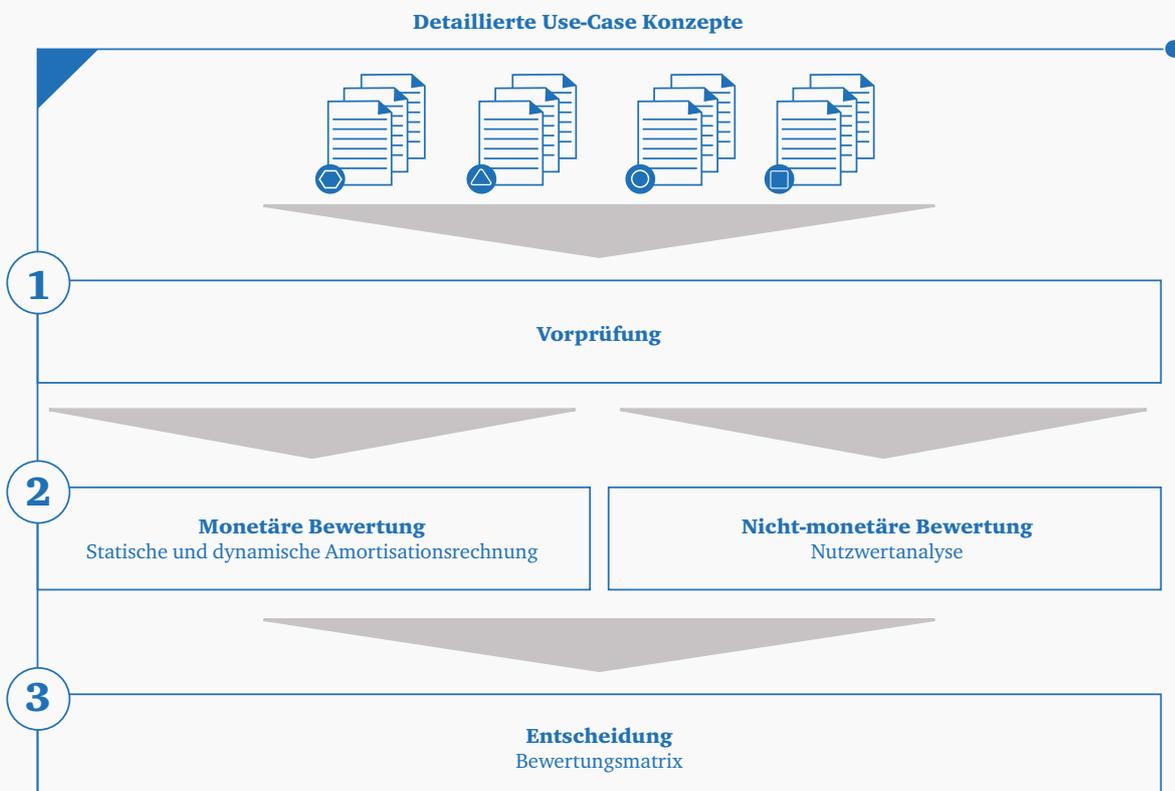
Quantitative Bewertung von Industrie 4.0-Use-Cases

Einleitung und Zielbild

Die Bewertung von Aufwand und Nutzen stellt oftmals eine der zentralen Schwierigkeiten dar, mit der sich Unternehmen in Bezug auf Industrie 4.0 konfrontiert sehen. Häufig ist bei der Betrachtung innovativer Industrie 4.0-Lösungen nicht klar, wie sich diese kurz-, mittel- oder langfristig auf Erlöse und Kosten eines Unternehmens auswirken. Dies erschwert das Treffen einer faktenbasierten Investitionsentscheidung mitunter erheblich. Teilweise wird Industrie 4.0 in der Folge als Selbstzweck gewertet, der ohne fundierte Aufwand- und Nutzenbewertung im Unternehmen umgesetzt wird. Insbesondere die umfangreichen technologischen Möglichkeiten entlang der gesamten Wertschöpfungskette eines Unternehmens ma-

chen jedoch eine Auswahl und Priorisierung von potenziellen Use-Cases vor dem Hintergrund begrenzter finanzieller Ressourcen notwendig. Das folgende Kapitel stellt im Prozess der Implementierung von Use-Cases daher den Meilenstein „Aufwand-Nutzen-Bewertung“ dar.

Dazu wird eine dreistufige Bewertung der Use-Cases vorgestellt, die neben quantifizierbaren Erlösen und Kosten ebenfalls „weiche“ Faktoren wie eine erhöhte Transparenz, Ergonomie oder Entscheidungsunterstützung der Mitarbeiter berücksichtigt. Dadurch wird die Möglichkeit gegeben, eine fundierte Entscheidung anhand objektiver Kriterien zu treffen. Die Entscheidung wird somit nicht





18 %

**der befragten
mittelständischen
Unternehmen benutzen
Kennzahlen und Indika-
toren zur Überprüfung
von Industrie 4.0-
Projekten**

(Deloitte 2016)

nur nachvollziehbar, sondern kann ebenfalls personenunabhängig getroffen werden.

Die im Rahmen der Use-Case-Bewertung durchgeführte Vorprüfung dient vorrangig der Überprüfung der vorgeschlagenen Use-Cases auf Vollständigkeit. Für die anschließende monetäre Bewertung wird eine statische oder dynamische Amortisationsrechnung angewendet, deren Auswahl von der Höhe des Investitionsvolumens und der geforderten Genauigkeit der monetären Bewertung abhängt. Bei äquivalenten Amortisationszeiträumen alternativer Lösungsmöglichkeiten kann die Amortisations-

rechnung im Anschluss um eine Kapitalwertberechnung ergänzt werden. Zur Bewertung der nicht-monetären Aspekte wird die Anwendung einer Nutzwertanalyse empfohlen. Diese bewertet Nutzenaspekte eines Industrie 4.0-Use-Cases, die sich nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand monetär bewerten lassen. Zur Durchführung der monetären und nicht-monetären Bewertung werden jeweils mögliche Kriterien zur Evaluation genannt. Der beschriebene Prozess erfolgt zentral durch den Globalen Industrie 4.0-Manager.

Vorprüfung

Ziel der Vorprüfung eines Use-Cases ist die Sicherstellung von Vollständigkeit und Validität relevanter Informationen vor dessen Bewertung. Hierzu sind fünf zentrale Voraussetzungen zu erfüllen:

- Konzept ist ausreichend präzisiert
- Relevante (Vorab-)Informationen liegen vor und sind validiert
- Neuheitsgrad des Use-Cases ist gewährleistet
- Zeitliche und finanzielle Rahmenbedingungen sind realisierbar
- Ansprechpartner für Rückfragen sind definiert

Zunächst muss das Vorhaben vor der Evaluierung im Rahmen der Konzeptentwicklung ausreichend präzisiert werden. Hierzu zählt neben der kurzen Beschreibung der Problemstellung eine detaillierte Beschreibung des Use-Cases und des dahinterstehenden Lösungskonzepts. Ebenso sollte eine erste

qualitative Abschätzung des zu erwartenden Nutzens sowie eine grobe Einschätzung hinsichtlich Projektdauer und -kosten vorliegen. Falls zur Detaillierung des Use-Cases Informationen z.B. in Form von externen Angeboten oder Machbarkeitsanalysen vorliegen, sind diese der Vorhabensbeschreibung beizufügen. Ebenfalls sollte sichergestellt werden, dass nicht bereits äquivalente Use-Cases im Unternehmen pilotiert oder umgesetzt wurden. Ist dies der Fall, so kann auf die Ergebnisse und Erfahrungen des bestehenden Use-Cases zurückgegriffen werden. Ferner sollten zeitliche und finanzielle Rahmenbedingungen (sofern abschätzbar) realisierbar sein. Zuletzt müssen Ansprechpartner definiert sein, sodass die bewertenden Instanzen des Industrie 4.0-Steering Committee bei Fragen zur Lösung, der damit verbundenen Aufwände oder Benefits Rückfragen tätigen können. Sollten alle Voraussetzungen erfüllt werden, kann die monetäre Bewertung durchgeführt werden.



Monetäre Bewertung von Use-Cases

Investitionsalternativen oder Use-Cases können mit unterschiedlichen Methoden hinsichtlich des finanziellen Aufwand-Nutzen-Verhältnisses untersucht werden. Neben einer einfachen Kosten- oder Gewinnvergleichsrechnung sind hier z.B. die Rentabilitätsvergleichsrechnung, die Kapitalwertmethode oder die Vermögensendwertmethode zu nennen. Der Nachteil der meisten dieser Rechnungen liegt entweder in deren Simplizität begründet, sodass sie z.B. entweder Aufwand oder Nutzen quantifizieren, oder darin, dass sie die Vorgabe eines festgelegten Betrachtungszeitraums verlangen. Die Festlegung eines solchen kann bei der Bewertung neuer Technologien und Use-Cases aus zweierlei Gründen schwierig sein. Erstens weisen unterschiedliche Investitionsgüter teilweise divergierende Abschreibungszeiträume auf. Zweitens ist die Abschätzung des Nutzungszeitraums teilweise nur schwer möglich. Dementsprechend wird die Amortisationszeit (Return on Investment – ROI) als zentrale Kenngröße bei der finanziellen Bewertung von Use-Cases gewählt. Neben der Darstellung des Amortisationszeitraums repräsentiert die Amortisationszeit außerdem das Risiko einer Investition. Je höher der Amortisationszeitraum ausfällt, desto größer sind die Unsicherheiten der Investition.

Die Amortisationszeit kann dabei je nach Anforderung an die Genauigkeit statisch oder dynamisch berechnet werden. Die statische Auslegung sollte aufgrund der Einfachheit vor allem bei finanziell weniger umfangreichen Use-Cases oder bei solchen, die schwierig monetär bewertbar sind, angewendet werden. Die dynamische Amortisationsrechnung ist genauer, bedarf allerdings auch umfangreicherer Informationen sowie eines größeren Berechnungsaufwands. Während die statische Amortisationsrechnung keine Unterscheidung der Rückflüsse einzelner Perioden macht und Abzinsungsfaktoren nicht berücksichtigt werden, ist sowohl eine Periodendifferenzierung als auch die Berücksichtigung von Zinsen Teil der dynamischen Amortisationsrechnung. Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit einzelner Use-Cases sollten diese stets mit derselben

Art der Amortisationsrechnung berechnet werden. Dazu muss initial die Wahl der Methode im Unternehmen festgelegt werden. Im Anschluss werden dann relevante Berechnungsgrößen zur Quantifizierung des Nutzens in Form zusätzlicher Umsätze oder eingesparter Kosten genannt.

Statische Amortisationsrechnung

Bei der statischen Amortisationsrechnung wird keine Unterscheidung zwischen den Betrachtungsperioden vorgenommen, sondern stattdessen auf Basis einer hypothetischen Durchschnittsperiode kalkuliert. Die in folgenden Perioden angenommenen Ein- und Auszahlungen werden als stets gleich angenommen. Die Amortisationszeit wird folgendermaßen berechnet:

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{\text{Eingesetztes Kapital}}{\text{Durchschnittliche Rückflüsse}}$$

Das eingesetzte Kapital wird durch die Anschaffungskosten der Investition beziffert. Als Rückflüsse werden gesteigerte Umsätze oder eingesparte Kosten verstanden. Ist zu erwarten, dass das Investitionsobjekt nach Ende der Nutzungsdauer verkauft werden kann, sind die Liquidationserlöse zu subtrahieren. Die Berechnung erfolgt gemäß folgender Formel:

$$\text{Eingesetztes Kapital} = \text{Anschaffungskosten} - \text{Liquidationserlöse}$$

Die durchschnittlichen Rückflüsse sind das Saldo laufender Ein- und Auszahlungen (Cash-Flow-Rechnung). Demnach können diese wie folgt berechnet werden:

$$\text{Durchschnittliche Rückflüsse bzw. Nettozahlungen} = \text{Laufende Einzahlungen} - \text{Laufende Auszahlungen}$$

Ein Use-Case ist relativ vorteilhaft, wenn er gegenüber anderen Investitionsalternativen geringere Amortisationszeiten aufweist. Als absolut vorteilhaft wird eine Alternative bezeichnet, wenn sie eine vom Unternehmen festgelegten Zeitraum für die Amortisation einer Investition unterschreitet.



**Bisher führen nur
29 %
der Unternehmen
im Kontext von
Industrie 4.0
Investitionsrechnungen
durch**

(Deloitte 2016)



**56 %
bejahen gleichzeitig die
Aussage, nur Projekte
durchzuführen, deren
Erfolg bereits sicher
abgeschätzt
werden kann**

(Deloitte 2016)

Dynamische Amortisationsrechnung

Im Gegensatz zur statischen Amortisationsrechnung werden keine durchschnittlichen Zahlungen betrachtet. In jeder Periode t fallen individuelle Nettozahlungen N_t , also Ein- und Auszahlungen, an, die sich von Periode zu Periode unterscheiden können. Zur allgemeinen Bestimmung dieser Nettozahlungen wird auf die bereits vorgestellte Formel verwiesen.

Periode $t = 0$ repräsentiert hierbei den Zeitpunkt der Anschaffung des Investitionsobjekts. Die Anschaffungskosten sind also eine Nettozahlung mit negativem Wert. Für die weiteren Nettozahlungen in den folgenden Perioden wird zudem die sogenannte Zeitpräferenz finanzmathematisch berücksichtigt. Dies bedeutet, dass der Barwert W_1 einer Zahlung N zum Zeitpunkt t_1 ein anderer ist, als der Barwert W_2 derselben Zahlung N zu einem anderen Zeitpunkt $t_2 \neq t_1$. Zur Gewährleistung einer Vergleichbarkeit von Zahlungen aus unterschiedlichen Perioden, werden diese mit folgender Formel auf den Zeitpunkt $t = 0$ transformiert und abgezinst:

$$W_t = N_t \cdot (1+i)^{-t}$$

Der Term $(1+i)^{-t}$ stellt den sogenannten Abzinsungsfaktor dar, um die Zahlung N_t in einen Wert zum Zeitpunkt $t = 0$ zu transformieren. Bei der dynamischen Amortisationsrechnung wird für den Zinssatz i ein für alle Perioden konstanter Wert angenommen. Um die dynamische Amortisationszeit einer Investitionsalternative zu bestimmen, werden die Barwerte aller Perioden schrittweise kumuliert, um beurteilen zu können, in welcher Periode t^* ein positiver, kumulierter Barwert kW_t erreicht wird. Dieser wird mithilfe der folgenden Formel berechnet:

$$kW_t = \sum_{t=0}^t N_t \cdot (1+i)^{-t}$$

Mittels einer linearen Interpolation zwischen der letzten Periode t^* mit negativem Barwert und der ersten positiven Periode t^*+1 lässt sich der genaue Amortisationszeitpunkt AZ_c bestimmen:

$$AZ_c \approx t^* + \frac{kW_{t^*}}{kW_{t^*} - kW_{t^*+1}}$$

Berechnungsgrößen zur Nutzenbewertung

Nach Festlegung der Berechnungsmethode besteht häufig eine Schwierigkeit in der ganzheitlichen Quantifizierung des durch einen Use-Case generierten Zusatznutzens in Form der erwähnten Nettozahlungen. Dieser ist notwendig, um die durch Umsetzung eines Use-Cases auftretenden Kosten zeitnah zu amortisieren. Dazu stehen zwei Stellgrößen zur positiven Beeinflussung der durchschnittlichen Rückflüsse N_t (s.o.) zur Verfügung. Entsprechend der Formel können durch Umsetzung eines Use-Cases Einnahmen in Form von zusätzlichen Umsätzen generiert werden. Dies ist z.B. durch die frühere Einführung neuer Produkte und die damit verbundene Realisierung sogenannter Monopolrenten möglich. Weiterhin können durch Umsetzung eines Use-Cases Auszahlungen (Kosten) im Wertschöpfungsprozess eingespart und damit initiale Investitionsausgaben gerechtfertigt werden.

Zur ganzheitlichen Betrachtung ist eine Aufstellung aller relevanten Einflussgrößen notwendig. Einflussgrößen, die sich nicht signifikant auf den Cash-Flow eines Use-Cases auswirken, können im Hinblick auf Aufwandsminimierung vernachlässigt werden. Zur Berücksichtigung möglicher Einflussgrößen hinsichtlich Ertragssteigerung und Kostenreduktion sei an dieser Stelle auf die zugehörige Tabelle des Anhangs verwiesen. Dort werden Einflussgrößen entlang der Unternehmensfunktionen des Reifegradmodells beispielhaft zusammengestellt und mit entsprechenden Formeln hinterlegt. Anwender müssen zur Evaluation eines gesteigerten Umsatzes oder zur Reduktion der Kosten die jeweils betreffenden Positionen ermitteln und deren Saldo anhand der gegebenen Formeln berechnen.

Absicherung der Bewertung bei äquivalenten Amortisationszeiträumen

Bei einer hohen Anzahl bewerteter Use-Cases besteht die Möglichkeit, dass sich einzelne Anwendungen im Hinblick auf die Amortisationszeit gleichen. Um den finanziellen Nutzen eines Use-Cases gegenüber anderen abzusichern, wird die Prüfung durch eine



Kapitalwertberechnung empfohlen. Diese bewertet die finanzielle Vorteilhaftigkeit auch über die Amortisationszeit hinweg und vergleicht den langfristigen monetären Nutzen von Investitionen. Als Formel kann

hierfür ebenfalls der Barwert kW_t unter Festlegung eines einheitlichen, vorgegebenen Betrachtungszeitraums t verwendet werden.



Durch Industrie 4.0 wird ein Anstieg der Unternehmensproduktivität von bis zu

40 %

erwartet

(Behrendt et. al. 2017)

Nicht-monetäre Bewertung von Use-Cases

Die ausschließlich monetäre Bewertung von Use-Cases ist nicht zielführend. Um auch nicht-monetäre Aspekte zur Bewertung der Use-Cases berücksichtigen zu können, sollte eine Nutzwertanalyse eingesetzt werden. Anhand der Nutzwertanalyse werden nicht-monetäre Aspekte der Use-Cases quantifizierbar gemacht. Zu diesem Zweck läuft sie in vier Schritten ab, die im Folgenden erläutert werden.

Bestimmung der Zielkriterien

Entsprechend des Reifegradmodells sind Zielkriterien der Bereiche Marketing & Vertrieb, Produktentwicklung, Supply-Chain-Management & Einkauf, Produktionsplanung & -steuerung, Logistik, Produktion, Qualitätssicherung sowie unterstützender Funktionen für die Umsetzung von Industrie 4.0 im Unternehmen relevant. Darüber

hinaus sind übergeordnete Kriterien zu nennen, die im Reifegradmodell nicht vorkommen, welche für die Evaluation des Nutzens eines Industrie 4.0-Use-Cases aber dennoch von hoher Wichtigkeit sind. Diese müssen einmalig für eine zu definierende Betrachtungsperiode festgelegt werden. Hier bietet sich an, die Kriterien bei einer (Re-)Evaluation des Reifegrads festzulegen. Es ist zu beachten, dass der Nutzen eines Use-Cases signifikant mit der Wahl und Gewichtung der Zielkriterien korreliert. Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit sollten konkurrierende Use-Case-Alternativen daher mit äquivalenten Zielkriterien sowie einer übereinstimmenden Gewichtung bewertet werden. Diese sollten so ausgewählt werden, dass sie vor allem die Bereiche abdecken, in denen das Unternehmen Schwachstellen aufweist und/oder sich verbessern möchte.

Übergeordnete Kriterien	Marketing & Vertrieb	Produktentwicklung	Supply-Chain-Management & Einkauf	Produktionsplanung & -steuerung
Datenverfügbarkeit und -qualität	Markt- und Kundenkenntnis	Innovationsgrad	Lieferantenbasis und Leistungsfähigkeitskenntnis	Flexibilität
Wissenserfassung und -weitergabe	Angebots-geschwindigkeit	Anforderungsgerecht-heit (Kenntnis der Kundenanforderungen)	Bedarfsglättung	Adaptibilität
Informationstransparenz und -aktualität		Fertigungsgerechtheit		Durchlaufzeit
Time-to-Market				Termintreue

Logistik	Produktion	Qualitätssicherung	Unterstützende Funktionen
Engpasserkennung	Automatisierbarkeit	Qualitätssteigerung	Usability
Materialfluss-optimierung	Wandlungsfähigkeit	Ursachenidentifikation	
Ergonomie	Skalierbarkeit		
	Prozesssicherheit		
	Ergonomie		

Mit der Nutzung vieler Kriterien erhöhen sich Ergebnisgenauigkeit und Nutzen, jedoch ebenfalls der Aufwand. Entsprechend sollte die Auswahl der Kriterien kritisch erfolgen. Bereiche, in denen ein hohes Verbesserungspotenzial besteht, sollten durch mehr Kriterien bewertet werden. Bereiche in denen geringes Verbesserungspotenzial besteht, mit entsprechend weniger.

Gewichtung der Zielkriterien

Im zweiten Schritt werden die ausgewählten Zielkriterien relativ zueinander gewichtet. Zu diesem Zweck wird die Methode des paarweisen Vergleiches genutzt. Beim paarweisen Vergleich werden den einzelnen Zielkriterien Gewichtungen zugeordnet, indem jedes Kriterium mit jedem anderen Kriterium

der Reihe nach verglichen wird. Beispielsweise vergleicht man zunächst Kriterium 1 mit den Kriterien 2 bis 5 und vergibt dazu in den entsprechenden Tabelleneinträgen Punkte. Hierfür gelten folgende Regeln:

- 2 Punkte: Das Kriterium in der Zeile ist wichtiger als das Kriterium in der Spalte
- 1 Punkt: Das Kriterium in der Zeile ist genauso wichtig wie das Kriterium in der Spalte
- 0 Punkte: Das Kriterium in der Zeile ist weniger wichtig als das Kriterium in der Spalte

Die Punktevergabe bzw. Gewichtung der Kriterien erfolgt auf Basis des Reifegradmodells.

	Kriterium 1	Kriterium 2	Kriterium 3	Kriterium 4	Kriterium 5	Σ Punkte	Gewichtung
Kriterium 1							
Kriterium 2							
Kriterium 3							
Kriterium 4							
Kriterium 5							
						Aufsummieren	Aufsummieren

Aufsummieren (diagonal), *komplementär* (diagonal), *a* (Kriterium 5 vs 2), *b* (Kriterium 2 vs 5)



Im Reifegradmodell werden durch den Soll-/Ist-Vergleich Verbesserungspotenziale in verschiedenen Bereichen festgelegt. Hierbei entstehen durch den Soll-/Ist-Vergleich sogenannte Deltas, die den Handlungsbedarf vom Soll- zum Ist-Zustand repräsentieren. Die Zielkriterien werden im paarweisen Vergleich so bewertet, dass Zielkriterien, die ein großes Delta aufweisen, sehr wichtig sind und entsprechend Zielkriterien, die ein kleines Delta aufweisen, weniger wichtig bewertet werden. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die Kriteriengewichtung den Handlungsbedürfnissen aus dem Reifegradmodell angepasst wird. Nach Abschluss der Gewichtung werden die Punkte der einzelnen Kriterien summiert. Wenn dabei ein Kriterium insgesamt null Punkte hat, wird

jedem Kriterium ein Punkt hinzugefügt, damit alle ausgewählten Zielkriterien in der weiteren Analyse berücksichtigt werden. Abschließend werden die relativen Gewichtungen der Kriterien ermittelt. Die relative Gewichtung g_i des Kriteriums i berechnet sich dabei aus dem Verhältnis der Punkte des Kriteriums K_i zu der Anzahl aller vergebener Punkte $\sum K_i$, wobei n der Anzahl der ausgewählten Kriterien entspricht. Es ergibt sich:

$$g_i = \frac{K_i}{\sum_{i=1}^n K_i}$$

Ermittlung der Teilnutzen

Die Ermittlung der Teilnutzen der Use-Cases erfolgt in zwei Teilschritten. Zunächst werden die Ausprägungen bzw. Zielerreichungswerte der einzelnen Use-Cases hinsichtlich der verschiedenen Zielkriterien ermittelt. Hierzu können sowohl Nominal-, Ordinal- als auch Kardinalskalen verwendet werden. In technischen Bereichen wird häufig die Alternative mit der besten Zielerreichung in einem Zielkriterium als Benchmark für die Beurteilung genutzt. Anschließend werden

die ermittelten Zielerreichungswerte in einen Teilnutzwert $n_{i,r}$ transformiert. Hierzu wird in der Regel eine kardinale, für die Zielkriterien einheitliche Teilnutzenskala von 1 bis 5 verwendet.

Zur weiteren Präzisierung ist hier eine Festlegung möglicher Nutzensausprägungen in den jeweiligen Zielkriterien möglich und zur Objektivierung der Bewertung angeraten.

1	2	3	4	5
Zielkriterium sehr schlecht erfüllt	Zielkriterium schlecht erfüllt	Zielkriterium erfüllt	Zielkriterium gut erfüllt	Zielkriterium sehr gut erfüllt

Ermittlung des Nutzwertes

Im letzten Schritt erfolgt die Nutzwertermittlung. In der Literatur finden sich hierzu verschiedene Aggregationsvorschriften. Eine Aggregationsvorschrift, die aufgrund der einfachen Durchführbarkeit gängige Praxis ist, ist die folgende Funktion:

$$N_{UC,r} = \sum_{i=1}^n g_i \cdot n_{i,r}$$

Hierbei wird der Nutzwert $N_{UC,r}$ eines Use-Cases r ermittelt, indem man seine Teilnutzwerte $n_{i,r}$ multipliziert mit den zugehörigen Gewichtungen g_i summiert. Auf diese Weise lässt sich nun der Nutzwert aller Use-Cases bestimmen. Diese können somit erstmalig hinsichtlich ihres nicht-monetären Nutzens miteinander verglichen werden. Hierdurch ist unter anderem die Bildung einer Rangfolge der betrachteten Use-Cases möglich.

Grafische Zusammenfassung und Entscheidung

Zur Entscheidungsfindung wird eine Portfoliomatrix genutzt, die die unterschiedlichen Investitionsalternativen hinsichtlich ihres monetären und nicht-monetären Nutzens darstellt. Neben der Darstellung der Amortisationsdauer auf der x-Achse und des Nutzwertes auf der y-Achse kann eine dritte Dimension gewählt werden. Hier sollte die qualitative Darstellung des Investitionsvolumens gewählt werden, sodass transparent ist, wie umfangreich sich ein Use-Case auf ein begrenztes Investitionsbudget auswirken würde. Ebenfalls lässt sich daran ablesen, wie hoch (unabhängig von der errechneten Amortisationszeit) das mit einem Use-Case einhergehende finanzielle Risiko ist. Alternativ kann aber auch z.B. der Kapitalwert einer Investition (siehe monetäre Bewertung) als dritte Dimension dargestellt werden, um somit die finanzseitige Aussagekraft über die reine Amortisationsrechnung hinaus zu erhöhen.

Beispielhaft ist eine Portfoliomatrix dargestellt. Als dritte Dimension wurden die Investitionskosten gewählt. Für die Ableitung einer Entscheidung aus der Portfoliomatrix kann eine sogenannte Indifferenzgerade in die Matrix integriert werden. Die Indifferenzgerade beschreibt, wie viel zusätzlichen, nicht-monetären Nutzen ein Use-Case aufweisen muss, um eine schlechtere Amortisationszeit hinsichtlich des Gesamtnutzens

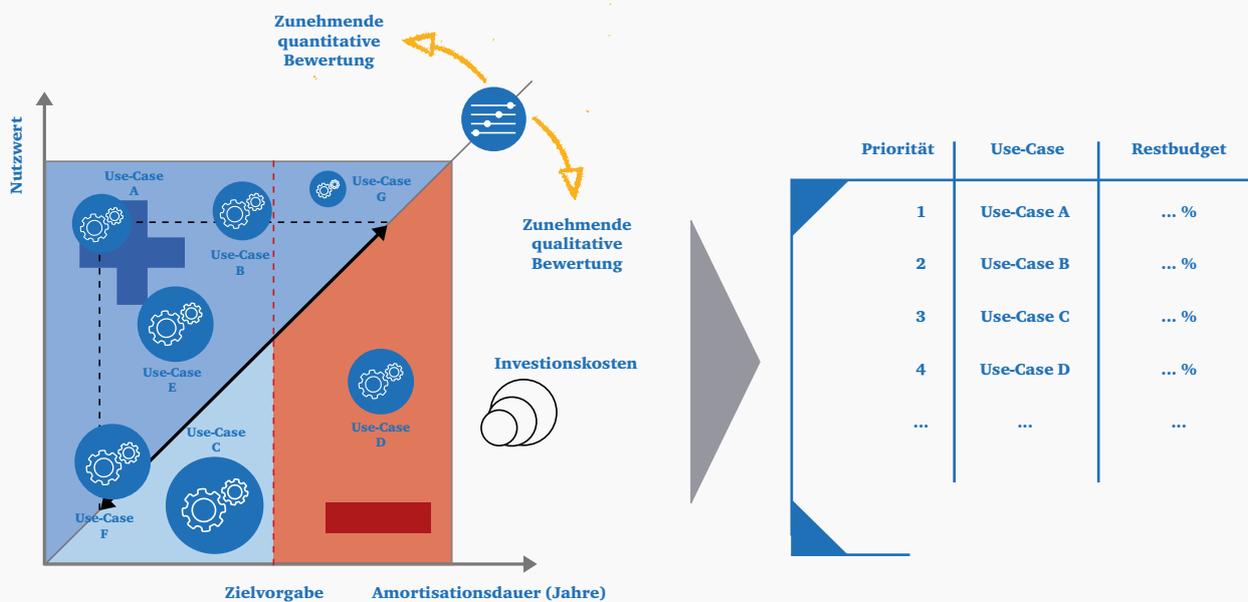
ausgleichen zu können. Das gleiche gilt entsprechend auch umgekehrt. Durch das Drehen der Kurve im Achsenkreuz kann eine tendenziell qualitativere oder quantitativere Bewertung erzielt werden. Zusätzlich kann durch das Skizzieren der Trendzonen in der Portfoliomatrix eine erste Indikation über den Erfüllungsgrad der Anforderungen geleistet werden. Use-Cases im oberen linken Abschnitt sind hinsichtlich der Zielerfüllung tendenziell besser bewertet als solche, die unten rechts eingezeichnet sind.

Zur Entscheidung über zu realisierende Use-Cases ist der Nutzen des zur Verfügung stehenden Investitionsbudgets bestmöglich zu optimieren. Dazu wird folgende grafische Lösung angewendet: Jeder Use-Case wird horizontal und vertikal mit der Indifferenzgerade verbunden (schwarze gestrichelte Linien). Für Use-Cases oberhalb der Indifferenzgerade ist die Reihenfolge der Use-Cases absteigend der Distanz der Schnittpunkte auf der Indifferenzgerade zu wählen. Die Use-Cases werden so lange weiter bewilligt, bis das Budget erschöpft ist. Sollte darüber hinaus noch Budget zur Verfügung stehen, können ebenfalls Use-Cases unterhalb der Indifferenzgerade ausgewählt werden. Hier ist absteigend von der kürzesten Distanz der Schnittpunkte mit der Indifferenzgerade zu sortieren.



In der Abbildung ist sichtbar, dass nicht alle Use-Cases die Zielvorgabe der Amortisationsdauer erfüllen können. Use-Cases, die im roten Bereich unterhalb der Indifferenzkurve liegen, werden nicht durchgeführt, da die Amortisationszeit außerhalb des vom Unternehmen definierten Zeitraums liegt. Use-Cases, die oberhalb der Indifferenzkurve liegen, können unter Umständen durchgeführt werden. In diesen Fällen rechtfertigt ein sehr hoher (oberhalb der Indifferenzkurve liegender) Nutzwert eine mögliche positive Investitionsentscheidung. Dieses Vorgehen liegt darin begründet, dass einige Use-Cases gegebenenfalls finanziel-

le Zielsetzungen nicht erfüllen können, für die Implementierung zukünftiger Use-Cases aber eine elementare Voraussetzung darstellen und dementsprechend hoch im Nutzwert bewertet sind. Eine Investitionsentscheidung kann somit ebenfalls über einen entsprechend hohen Nutzwert realisiert werden und muss nicht von vorneherein ausgeschlossen werden. Im Beispiel wurde so Use-Case G Use-Case F vorgezogen, da Use-Case G gemäß Indifferenzgeraden höheren Gesamtnutzen aufweist und im Gegensatz zu Use-Case F noch im Gesamtbudget berücksichtigt werden kann.



Beispielanwendung Use Cases

Das Unternehmen hat sich dazu entschieden, die präzisere der beiden Amortisationsrechnungen, d.h. die dynamische Amortisationsrechnung, anzuwenden. Der Zinssatz beträgt

Use-Case übergreifend 10 %. Außerdem wurden basierend auf dem ermittelten Reifegrad die Zielkriterien sowie deren Gewichtung ermittelt.

Use-Case Smart Glasses

Der Vorschlag zur Implementierung einer Smart Glass Anwendung hat alle vorherigen Prozessschritte durchlaufen und wurde im Zuge der Konzeptentwicklung weiter ausdetailliert. Die Vorprüfung ergibt, dass alle relevanten Informationen eingeholt wurden, der Neuheitsgrad gewährleistet ist, sowohl der zeitliche als auch der finanzielle Rahmen realisiert werden kann und ein Ansprechpartner für Rückfragen zur Verfügung steht. Dementsprechend kann mit der Evaluation der monetären und nicht-monetären Aspekte begonnen werden.

tion zur Berechnung berücksichtigt. Durch die vereinfachte Instandsetzung einer im Ausland stationierten Anlage kann nicht nur die Ausfallzeit gesenkt werden, sondern es werden ebenfalls Personal- und Reisekosten eingespart. Außerdem entgeht dem Unternehmen durch die verzögerte Reparatur Umsatz, obwohl kurzfristige Fremdvergaben zum Ausgleich des Anlagenausfalls angestoßen werden. Zuletzt werden die Rüstzeiten verkürzt und unproduktive Wartezeiten gesenkt. Nach Einbeziehung aller Faktoren amortisiert sich der Use-Case nach ca. einem halben Jahr.

Auf Seiten des monetären Nutzens werden vor allem Aspekte im Bereich der Produk-

Klassifizierung	Kostenart	Messgröße	Jahr								
			0	1	2	3	4	5	6	7	
Aufwand	Investitionskosten	Investitionskosten	-27.000,00 €	-	-	-	-	-	-	-	-
	Systempflege	Lizenzkosten	-	-1.100,00 €	-1.100,00 €	-1.100,00 €	-1.100,00 €	-1.100,00 €	-1.100,00 €	-1.100,00 €	-1.100,00 €
Nutzen	Produktion	Entgangene Umsätze	-	32.200,00 €	32.200,00 €	32.200,00 €	32.200,00 €	32.200,00 €	32.200,00 €	32.200,00 €	32.200,00 €
		Einsparung Wartungskosten (inkl. Reisekosten)	-	7.000,00 €	7.000,00 €	7.000,00 €	7.000,00 €	7.000,00 €	7.000,00 €	7.000,00 €	7.000,00 €
		Einsparung Rüstzeit	-	2.600,00 €	2.600,00 €	2.600,00 €	2.600,00 €	2.600,00 €	2.600,00 €	2.600,00 €	2.600,00 €
		Einsparung Wartezeit	-	2.200,00 €	2.200,00 €	2.200,00 €	2.200,00 €	2.200,00 €	2.200,00 €	2.200,00 €	2.200,00 €
		Einsparung kurzfristige Fremdvergabekosten	-	15.000,00 €	15.000,00 €	15.000,00 €	15.000,00 €	15.000,00 €	15.000,00 €	15.000,00 €	15.000,00 €
Ergebnis	Summe		-27.000,00 €	57.900,00 €	57.900,00 €	57.900,00 €	57.900,00 €	57.900,00 €	57.900,00 €	57.900,00 €	
	Barwert		-27.000,00 €	52.636,36 €	47.851,24 €	43.501,13 €	39.546,48 €	35.951,34 €	32.683,04 €	29.711,86 €	
	Kumulierter Barwert		-27.000,00 €	25.636,36 €	73.487,60 €	116.988,73 €	156.535,21 €	192.486,55 €	225.169,59 €	254.881,45 €	



Im Anschluss folgt wiederum die Bewertung des nicht-monetären Nutzens. Die relevanten Kriterien werden zunächst Use-Case übergreifend aus der Reifegradbewertung des Unternehmens ausgewählt und gewichtet. Durch die geringe Ausprägung des Reifegrads und der vom Unternehmen vorgegebenen Zielausprägung vor allem in den Bereichen Produktentwicklung, Produktionsplanung & -steuerung, Logistik und Produktion sowie Qualitäts-

sicherung wird durch Adressierung der Use-Cases ein hoher Nutzen generiert, der im Anschluss entsprechend hoch gewichtet wird. Da das Unternehmen im Bereich Supply-Chain-Management & Einkauf sowie in Marketing und Vertrieb bereits über eine sehr hohe Reife verfügt, werden dort keine Kriterien zur Bewertung des Nutzens berücksichtigt. Insgesamt werden durch das Industrie 4.0-Steering Committee folgende Kriterien zur Nutzenbewertung festgelegt:

Übergeordnete Kriterien	Produktentwicklung	Produktionsplanung & -steuerung	Logistik	Produktion	Qualitätssicherung
Informationstransparenz u. -aktualität	Fertigungsgerechtigkeit	Flexibilität	Materialflussoptimierung	Prozesssicherheit	Identifikation von Fehlerursachen
Wissenserfassung und -weitergabe		Durchlaufzeit		Ergonomie	

Die Gewichtung auf Basis des Reifegrades ergibt folgendes Ergebnis:

Gruppe	Kriterium	Gewichtung
Übergeordnete Kriterien	Informationstransparenz und -aktualität	0,17
	Wissenserfassung und -weitergabe	0,05
Produktentwicklung	Fertigungsgerechtigkeit	0,20
Produktionsplanung & -steuerung	Flexibilität	0,03
	Durchlaufzeit	0,15
Logistik	Materialflussoptimierung	0,21
Produktion	Prozesssicherheit	0,20
	Ergonomie	0,05
Qualitätssicherung	Identifikation von Fehlerursachen	0,04

Im Anschluss wird die Erfüllung der Kriterien bewertet und der Gesamtnutzen berechnet. Die Smart Glasses können im Bereich der Produktion sowohl die Prozesssicherheit als auch die Ergonomie erhöhen. Die Prozesssi-

cherheit kann sehr gut erfüllt werden, wobei die Ergonomie aufgrund des bisher geringen langfristigen Tragekomforts nur mit „mittel“ bewertet wird. Außerdem erfüllen sie übergeordnet die Kriterien Informationstranspa-

renz und -aktualität in mittlerer Ausprägung sowie die Wissenserfassung und -weitergabe sehr gut. Alle übrigen Kriterien werden sehr schlecht erfüllt. Daraus ergibt sich für den

Use-Case Smart Glasses ein Nutzwert von 2,44. Bevor der Use-Case in die Portfoliomatrix überführt wird, soll ebenfalls der unternehmensweite Data Lake evaluiert werden.

Use-Case Data Lake

Für den Use-Case Data Lake sind alle relevanten Informationen vorhanden, sodass dieser die Vorprüfung ohne notwendige Änderungen passieren kann. Hinsichtlich der monetären Bewertung hat das Unternehmen Schwierigkeiten, einen direkten Nutzen zu ermitteln. Um dennoch eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit treffen zu können, werden mögliche Use-Cases auf Basis des Data Lake in die Betrachtung ein-

bezogen. Es wird davon ausgegangen, dass diese vor allem in den Bereichen Qualitätssicherung, Logistik und Produktion zu finden sein werden. Diese werden jedoch erst nach ca. einem Jahr nach Inbetriebnahme des Data Lake zur Verfügung stehen. Nach intensiven Überlegungen mit den iden Use-Case involvierten Mitarbeitern wird durch den Globalen Industrie 4.0-Manager folgende Aufstellung gemacht:

Klassifizierung	Kostenart	Messgröße	Jahr								
			0	1	2	3	4	5	6	7	
Aufwand	Investitionskosten	Investitionskosten	-275.000,00 €	-	-	-	-	-	-	-	-
	Systempflege	Wartungskosten	-	-7.500,00 €	-7.500,00 €	-7.500,00 €	-7.500,00 €	-7.500,00 €	-7.500,00 €	-7.500,00 €	-7.500,00 €
Nutzen	Qualitätskosten	Verringerung Fehler- und Nacharbeitskosten	-	-	25.000,00 €	27.500,00 €	30.000,00 €	30.000,00 €	30.000,00 €	30.000,00 €	30.000,00 €
		Verringerung Prüfkosten	-	-	-	5.000,00 €	5.000,00 €	5.000,00 €	5.000,00 €	5.000,00 €	5.000,00 €
	Produktion	Verringerung Rüstkosten	-	-	5.000,00 €	6.000,00 €	6.000,00 €	6.000,00 €	6.000,00 €	6.000,00 €	6.000,00 €
		Verringerung Wartungskosten	-	-	-	3.000,00 €	5.000,00 €	5.000,00 €	5.000,00 €	5.000,00 €	5.000,00 €
		Verringerung Fremdvergabekosten	-	-	15.000,00 €	20.000,00 €	22.500,00 €	22.500,00 €	22.500,00 €	22.500,00 €	22.500,00 €
		Erhöhung Auslastung	-	-	7.000,00 €	7.000,00 €	7.000,00 €	7.000,00 €	7.000,00 €	7.000,00 €	7.000,00 €
	Logistik	Verringerung Suchaufwände	-	-	5.000,00 €	5.000,00 €	5.000,00 €	5.000,00 €	5.000,00 €	5.000,00 €	5.000,00 €
		Verringerung Transportzeiten	-	-	3.500,00 €	4.000,00 €	4.500,00 €	4.500,00 €	4.500,00 €	4.500,00 €	4.500,00 €
		Verringerung Rückmeldekosten	-	-	800	800	800	800	800	800	800
		Verringerung Umlaufvermögen	-	-	1.500,00 €	1.500,00 €	2.000,00 €	2.000,00 €	2.000,00 €	2.000,00 €	2.000,00 €
Ergebnis	Summe		-275.000,00 €	-7.500,00 €	55.300,00 €	72.300,00 €	80.300,00 €	80.300,00 €	80.300,00 €	80.300,00 €	
	Barwert		-275.000,00 €	-6.818,18 €	45.702,48 €	54.320,06 €	54.845,98 €	49.859,98 €	45.327,26 €	41.206,60 €	
	Kumulierter Barwert		-275.000,00 €	-281.818,18 €	-236.115,70 €	-181.795,64 €	-126.949,66 €	-77.089,68 €	-31.762,42 €	9.444,17 €	



Das Unternehmen ermittelt eine Amortisationszeit von ca. 6,8 Jahren. Diese liegt weit über der normalerweise vom Unternehmen ausgegebenen Zielwert von 3 Jahren. Im Anschluss folgt die Bewertung des nicht-monetären Nutzens. Dazu werden die im Rahmen des Smart Glasses Anwendung definierten Kriterien verwendet, um eine Vergleichbarkeit des Nutzwertes sicherzustellen.

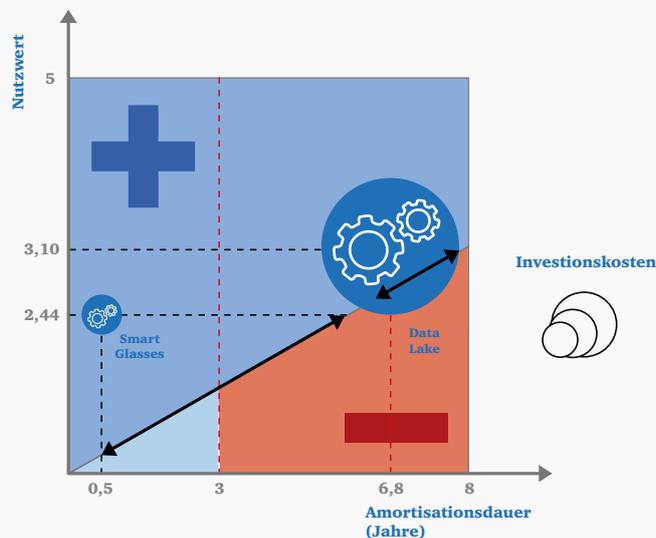
Der Data Lake schafft insbesondere Nutzen hinsichtlich Produktionsplanung & -steuerung, Logistik, Qualitätssicherung sowie in unterstützenden Bereichen (siehe Abschnitt Reifegradmodell). Außerdem werden auch hierbei übergeordnete Kriterien erfüllt. Die

Bewertung der übergeordneten Kriterien ergibt, dass die Informationstransparenz durch einen Data Lake signifikant verbessert werden kann und dementsprechend sehr gut erfüllt wird. Produktionsplanung & -steuerung, Logistik, Produktion und Qualitätssicherung können ebenfalls zukünftig durch entsprechende Applikationen verbessert werden, allerdings findet dies erst mittelfristig Anwendung. Der Data Lake erzielt dementsprechend in diesen Feldern lediglich eine mittlere Zielerreichung. Alle übrigen Kriterien werden sehr schlecht erfüllt. Dadurch ergibt sich ein Gesamtnutzen des Data Lake von 3,10.

Abschließende Bewertung

Es erfolgt eine Überführung beider Industrie 4.0-Use-Cases in die Portfoliomatrix. Insgesamt kann ein maximaler Nutzwert von 5 erreicht werden. Außerdem strebt das Unternehmen eine Amortisationsdauer klei-

ner drei Jahren an. Der monetäre Nutzen wird in der Portfoliomatrix zu 30 %, der nicht-monetäre Nutzen zu 70 % gewichtet. Das Ergebnis ist untenstehend dargestellt.

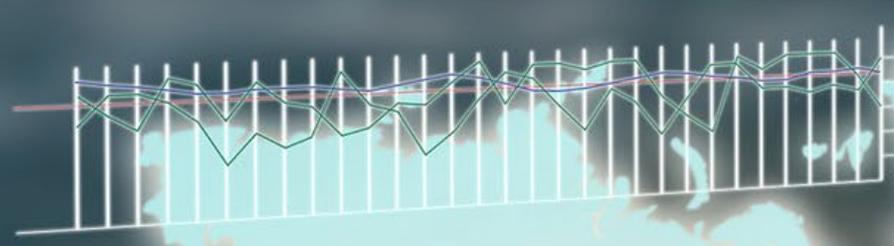


Aufgrund der grafisch ermittelten längeren Schnittpunktdistanz des Use-Cases Smart Glasses wird dieser im Unternehmen priorisiert. Aufgrund ausreichenden Budgets sowie der Erfüllung der Rahmenbedingungen kann der Data Lake ebenfalls umgesetzt werden. Das Beispiel zeigt, dass durch die

Ermittlung des monetären und nicht-monetären Nutzens eine Entscheidung objektiv ermittelt werden kann. Unternehmen werden somit befähigt, Use-Cases anhand definierter Kriterien zu bewerten und entsprechend des Nutzens umzusetzen.



- Refresh icon
- Gears icon
- Wrench icon
- Open book icon
- Wrench and screwdriver icon
- Envelope icon
- Phone icon
- Home icon



Fazit und Ausblick

Es gibt kaum ein Thema, welches in den letzten Jahren so zentral in den Fokus der Strategie deutscher Unternehmen gestellt wurde, wie Industrie 4.0. Durch die echtzeitfähige digitale Vernetzung von Mensch, Maschinen, Objekten und IKT-Systemen sollen Produktionsprozesse, Produkte und Dienstleistungen optimiert werden. Trotz erkennbar großer Bemühungen und teilweise hohem Kapitaleinsatz ist die Zahl bisheriger Erfolgsbeispiele überschaubar. So gibt es zwar eine Vielzahl von Pilotprojekten und prototypischen Anwendungen, jedoch ist der erwartete hohe Nutzen Gewinn auf Gesamtunternehmenssicht bislang ausgeblieben. Ein Hauptgrund hierfür ist, dass es an strukturierten Umsetzungskonzepten mangelt. In der vorliegenden Studie wurde daher ein konkreter Leitfadens präsentiert, welcher das Vorgehen zur erfolgreichen Implementierung von Industrie 4.0 in Unternehmen beschreibt. Dieser Leitfaden stellt erforderliche organisatorische Voraussetzungen und ein sechs Schritte umfassendes Vorgehen zur Implementierung vor.

Zentrales Element der zu schaffenden Organisationsstruktur ist das Industrie 4.0-Steering Committee, welches der zentrale Ansprechpartner des Managements und die steuernde sowie koordinierende Funktion zur Implementierung von Industrie 4.0 ist. Es besteht aus einem unternehmensweit verantwortlichen Industrie 4.0-Manager und mehreren Experten aus verschiedenen Fachbereichen. Die Umsetzung von Industrie 4.0-Projekten geschieht entweder auf dem Shopfloor in Projektteams oder in einer eigenständigen Organisationseinheit, der Industrie 4.0-Garage.

Das Vorgehen zur Umsetzung von Industrie 4.0-Projekten wird im vorgestellten Leitfaden in detaillierten Teilschritten beschrieben. Zunächst unkonkrete Ideen werden hierbei sukzessive konkretisiert und schließlich operativ im Unternehmen

umgesetzt. Ausgangspunkt ist die Bestimmung des aktuellen Industrie 4.0-Reifegrads des anwendenden Unternehmens. Dies ermöglicht die zielgerichtete Auswahl umzusetzender Use-Cases, welche vor der detaillierten Auswertung hinsichtlich des Aufwand-Nutzen-Verhältnisses bewertet werden. Nach einer erfolgreichen Pilotierung der Industrie 4.0-Use Cases erfolgt ein Roll-out im gesamten Unternehmen.

Die Anwendung des in dieser Studie vorgestellten Leitfadens befähigt Unternehmen, die Potenziale von Industrie 4.0 vollumfänglich zu realisieren. Entscheidend für den Erfolg der Implementierung von Industrie 4.0 ist die Ganzheitlichkeit und Strukturiertheit der Umsetzung. Die praktische Einführung des beschriebenen Konzepts erfordert in jedem Fall eine Adaption an die individuellen Voraussetzungen des anwendenden Unternehmens. Hierbei ist zu bewerten, in welchem Umfang Ressourcen für die Implementierung von Industrie 4.0 bereitgestellt werden und welche Mitarbeiter für die Besetzung der unterschiedlichen Rollen in Frage kommen. Die Auswahl hinsichtlich fachlicher und persönlicher Eignung geeigneter Mitarbeiter trägt in hohem Maße zum Erfolg des Konzepts bei. Zur Verankerung des Konzepts in den alltäglichen Arbeitsabläufen des Unternehmens ist zudem eine Schulung der Mitarbeiter erforderlich, welche durch entsprechende Impulse auch eine Motivation zur Annahme des neuen Konzepts beinhalten sollte. Es bietet sich an, die zur Einführung des Konzepts vorgenommenen Änderungen zunächst in Pilotbereichen wie beispielsweise einzelnen Abteilungen oder Standorten sowie mit ausgewählten Pilotprojekten zu erproben. Durch eine schrittweise Einführung im gesamten Unternehmen kann sichergestellt werden, dass die Potenziale von Industrie 4.0 zur Steigerung der Effizienz und Produktivität der Produktionsprozesse nachhaltig und ganzheitlich erschlossen werden.





Anhang

Industrie 4.0-Reifegradmodell – Aufbau und Erläuterungen

	Adaptabilität	Wie kann automatisch reagiert werden? „Selbstoptimieren“	<ul style="list-style-type: none"> Autonome Entscheidungsfindung Eigenständige Optimierung von Systemen
	Vorhersage	Was wird passieren? „Vorbereitet sein“	<ul style="list-style-type: none"> Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit verschiedener Ereignisse Frühzeitige Erkennung von Ereignissen
	Transparenz	Warum passiert es? „Verstehen“	<ul style="list-style-type: none"> Semantische Verknüpfung der Daten eines Systems Erreichung eines Verständnisses von Ursache-Wirkungs-Beziehungen
	Visualisierung	Was passiert? „Sehen“	<ul style="list-style-type: none"> Sichtbarmachung von Unternehmensvorgängen und -ereignissen Darstellung des Status quo von Zuständen, Vorgängen und Ereignissen
	Vernetzung	Wer mit wem? „Verbinden“	<ul style="list-style-type: none"> Gezielter Datenaustausch und Kommunikation in den Unternehmensprozessen Darstellung des Status quo von Zuständen, Vorgängen und Ereignissen
	Computerisierung	Welche Grundlage? „Digitalisieren“	<ul style="list-style-type: none"> Aktive Aufnahme und Speicherung von Daten im Unternehmenskontext Nutzung digitaler Systeme in Management-, Geschäfts- und Unterstützungsprozessen

Industrie 4.0-Reifegradmodell – Marketing & Vertrieb



	Adaptabilität	Wie kann automatisch reagiert werden? „Selbstoptimieren“	<ul style="list-style-type: none"> Autonome Entscheidungsfindung bei Marktveränderungen Eigenständige Umsetzung von Preis- und Absatzmengenanpassungen
	Vorhersage	Was wird passieren? „Vorbereitet sein“	<ul style="list-style-type: none"> Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Marktentwicklungen Frühzeitige Erkennung von Veränderungen der Absatzzahlen auf Basis von Vergangenheitswerten
	Transparenz	Warum passiert es? „Verstehen“	<ul style="list-style-type: none"> Semantische Verknüpfung von Vertriebsereignissen und Marktentwicklungen Logische Verknüpfung von Vertriebsereignissen mit Daten aus Produktentwicklung und Qualitätssicherung
	Visualisierung	Was passiert? „Sehen“	<ul style="list-style-type: none"> Aufzeigen aktueller Absatzzahlen Darstellung des Status quo von Verkaufsentwicklungen
	Vernetzung	Wer mit wem? „Verbinden“	<ul style="list-style-type: none"> Zusammenführung von Vertriebs- und Kundendaten Aufbau von Schnittstellen zur Interaktion mit Kunden
	Computerisierung	Welche Grundlage? „Digitalisieren“	<ul style="list-style-type: none"> Aktive Aufnahme und Speicherung von Verkaufsentwicklungen Verwendung digitaler Systeme im Vertrieb

Industrie 4.0-Reifegradmodell – Produktentwicklung



	Adaptabilität	Wie kann automatisch reagiert werden? „Selbstoptimieren“	<ul style="list-style-type: none"> Autonome Entscheidungsfindung zu Entwicklungszielen bei spezifischen Veränderungen und Entwicklungen des Marktes Proaktive zeitpunkt- und aufgabenspezifische Bereitstellung von relevanten Informationen in der Produktentwicklung
	Vorhersage	Was wird passieren? „Vorbereitet sein“	<ul style="list-style-type: none"> Prognostizierung von Eintrittswahrscheinlichkeiten von Produktentwicklungen Frühzeitige Erkennung von Marktpotenzialen
	Transparenz	Warum passiert es? „Verstehen“	<ul style="list-style-type: none"> Semantische Verknüpfung von Produktspezifikationen und Marktanforderungen Identifizierung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen zur Bestimmung von Produktanforderungen
	Visualisierung	Was passiert? „Sehen“	<ul style="list-style-type: none"> Aufzeigen von Marktentwicklungen Darstellung des Status quo von Geschäfts- bzw. Produktideen und Marktpotenzialen
	Vernetzung	Wer mit wem? „Verbinden“	<ul style="list-style-type: none"> Zusammenführung von Informationen der Produktentwicklung, Unternehmensstrategie, der Marktforschung und des Ressourcenmanagements
	Computersierung	Welche Grundlage? „Digitalisieren“	<ul style="list-style-type: none"> Aufnahme entwicklungsrelevanter Daten Verwendung digitaler Systeme in der Produktentwicklung

Industrie 4.0-Reifegradmodell – Supply-Chain-Management & Einkauf



	Adaptabilität	Wie kann automatisch reagiert werden? „Selbstoptimieren“	<ul style="list-style-type: none"> Autonome Entscheidungsfindung und -abwicklung bei Unter- und Überschreitungen von Kapazitätsgrenzen Eigenständige Umsetzung von Optimierungsmaßnahmen bei Auftragsveränderungen
	Vorhersage	Was wird passieren? „Vorbereitet sein“	<ul style="list-style-type: none"> Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Auftragsänderungen basierend auf dem Verhalten von Wertschöpfungspartnern Frühzeitige Erkennung von Änderungen in der Auftragslage
	Transparenz	Warum passiert es? „Verstehen“	<ul style="list-style-type: none"> Verknüpfung von Informationen zur Bewertung von Wertschöpfungspartnern und Beschaffungsprozessen Identifizierung von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen zwischen Warensteuerung und Auftragslage
	Visualisierung	Was passiert? „Sehen“	<ul style="list-style-type: none"> Aufzeigen des Status quo aktueller Vorgänge in der Supply-Chain Darstellung der Interaktion mit Wertschöpfungspartnern
	Vernetzung	Wer mit wem? „Verbinden“	<ul style="list-style-type: none"> Informationsaustausch zwischen Wertschöpfungspartnern im Beschaffungsprozess Aufbau unternehmensinterner und -externer Unternehmensschnittstellen
	Computersierung	Welche Grundlage? „Digitalisieren“	<ul style="list-style-type: none"> Aktive Aufnahme und Speicherung von Daten der Supply-Chain Verwendung digitaler Systeme zum Management der Supply-Chain



Industrie 4.0-Reifegradmodell – Produktionsplanung & -steuerung 

	Adaptabilität	Wie kann automatisch reagiert werden? „Selbstoptimieren“	<ul style="list-style-type: none"> Autonome Entscheidungsfindung zur proaktiven Anpassungen der Planung Eigenständige Optimierungen der Produktionsplanung und -steuerung
	Vorhersage	Was wird passieren? „Vorbereitet sein“	<ul style="list-style-type: none"> Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Produktionsereignissen auf Basis aktueller Daten sowie Vergangenheitsdaten Frühzeitige Erkennung von kritischen Aufträgen
	Transparenz	Warum passiert es? „Verstehen“	<ul style="list-style-type: none"> Semantische Verknüpfung der Ist-Produktionsdaten mit der kurz-, mittel- und langfristigen Produktionsplanung Identifizierung von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen von Planungsparametern und Regelmäßigkeiten durch Analyse der Produktionsdaten
	Visualisierung	Was passiert? „Sehen“	<ul style="list-style-type: none"> Aufzeigen von Produktionsvorgängen und -ereignissen Darstellung des Status quo von produktionsrelevanten Zuständen
	Vernetzung	Wer mit wem? „Verbinden“	<ul style="list-style-type: none"> Kombination mehrerer digitaler Systeme im Produktionsprozess zur Realisierung einer Planung Aufbau von Unternehmensschnittstellen aller an der Wertschöpfung beteiligter Entitäten
	Computerisierung	Welche Grundlage? „Digitalisieren“	<ul style="list-style-type: none"> Aktive Aufnahme und Speicherung von Auftragsdaten Verwendung digitaler Systeme in der Planung

Industrie 4.0-Reifegradmodell – Logistik 

	Adaptabilität	Wie kann automatisch reagiert werden? „Selbstoptimieren“	<ul style="list-style-type: none"> Autonome Entscheidungsfindung bei Notwendigkeit der Anpassung von Warenbewegungen Eigenständige Optimierung von Güterbewegungen auf Basis von Datenauswertungen
	Vorhersage	Was wird passieren? „Vorbereitet sein“	<ul style="list-style-type: none"> Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Veränderungen der Güter- und Informationsflüsse Frühzeitige Erkennung von logistischen Engpässen
	Transparenz	Warum passiert es? „Verstehen“	<ul style="list-style-type: none"> Semantische Verknüpfung der Daten von Logistikprozessen Erreichung eines Verständnisses von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen innerhalb von Güter- und Informationsflüssen
	Visualisierung	Was passiert? „Sehen“	<ul style="list-style-type: none"> Aufzeigen von Güterbewegungen Darstellung der aktuellen Beständen
	Vernetzung	Wer mit wem? „Verbinden“	<ul style="list-style-type: none"> Zusammenführung unternehmensinterner und -externer logistischer Vorgänge zur Versorgung von Standorten Aufbau von Schnittstellen zwischen der internen und externen am logistischen Vorgängen beteiligten Entitäten
	Computerisierung	Welche Grundlage? „Digitalisieren“	<ul style="list-style-type: none"> Aktive Aufnahme von Daten zu Güter- und Informationsbewegungen Verwendung digitaler Systeme in der Logistik

Industrie 4.0-Reifegradmodell – Produktion



	Adaptabilität	Wie kann automatisch reagiert werden? „Selbstoptimieren“	<ul style="list-style-type: none"> Autonome Entscheidungsfindung bei produktspezifischen Änderungen im Fertigungsprozess Eigenständige Optimierung von Prozessabläufen der Fertigung
	Vorhersage	Was wird passieren? „Vorbereitet sein“	<ul style="list-style-type: none"> Bewertung von Eintrittswahrscheinlichkeit verschiedener Szenarien in der Fertigung Frühzeitige Erkennung von bevorstehenden Veränderungen in der Fertigung
	Transparenz	Warum passiert es? „Verstehen“	<ul style="list-style-type: none"> Erreichung eines Verständnisses von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen in der Fertigung Definition einer abteilungsübergreifenden Informationslogistik der an der Fertigung beteiligter Abteilungen
	Visualisierung	Was passiert? „Sehen“	<ul style="list-style-type: none"> Aufzeigen aktueller Fertigungszustände Erreichung von Transparenz bezüglich logistischer und fertigungstechnischer Prozesse
	Vernetzung	Wer mit wem? „Verbinden“	<ul style="list-style-type: none"> Zusammenführung von Informationen verschiedener am Fertigungsprozess beteiligter Abteilungen Aufbau von Schnittstellen zur Interaktion mit vor- und nachgelagerten Prozessen
	Computersierung	Welche Grundlage? „Digitalisieren“	<ul style="list-style-type: none"> Aktive Aufnahme von Prozess-, Maschinen- und Produktdaten in einem digitalen System Verwendung digitaler Systeme in der Fertigung

Industrie 4.0-Reifegradmodell – Qualitätssicherung



	Adaptabilität	Wie kann automatisch reagiert werden? „Selbstoptimieren“	<ul style="list-style-type: none"> Autonome Entscheidungsfindung zur Qualitätsverbesserung Eigenständige Umsetzung von Optimierungsmaßnahmen
	Vorhersage	Was wird passieren? „Vorbereitet sein“	<ul style="list-style-type: none"> Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit von potenziellen Qualitätsveränderungen Frühzeitige Erkennung von Prozess- und Produktionenauigkeiten
	Transparenz	Warum passiert es? „Verstehen“	<ul style="list-style-type: none"> Semantische Verknüpfung der Daten der Qualitätssicherung Schaffung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen Qualitätsveränderungen und dem Produktionsprozess
	Visualisierung	Was passiert? „Sehen“	<ul style="list-style-type: none"> Aufzeigen unternehmensweiter Qualitätsdaten, die für End- und Zwischenprodukte relevant sind Darstellung des Status quo von qualitativen Produkt- und Produktionseigenschaften
	Vernetzung	Wer mit wem? „Verbinden“	<ul style="list-style-type: none"> Zusammenführung von Daten der Qualitätssicherung mit der Fertigung und dem Vertrieb Aufbau von Schnittstellen zwischen Fertigung und Qualitätssicherung
	Computersierung	Welche Grundlage? „Digitalisieren“	<ul style="list-style-type: none"> Aktive Aufnahme von qualitätsrelevanten Daten gefertigter Produkte Verwendung digitaler Systeme in der Qualitätssicherung



Industrie 4.0-Reifegradmodell – Unterstützende Funktionen / Beispiel: Controlling



	Adaptabilität Wie kann automatisch reagiert werden? „Selbstoptimieren“	<ul style="list-style-type: none"> • Autonome Entscheidungsfindung bei Abweichungen zwischen finanzieller Planung und Unternehmensergebnissen • Eigenständige Umsetzung von Optimierungen der Unternehmensparameter zur Steuerung der finanziellen Unternehmensergebnisse
	Vorhersage Was wird passieren? „Vorbereitet sein“	<ul style="list-style-type: none"> • Bewertung von Eintrittswahrscheinlichkeit verschiedener Unternehmensergebnisse • Frühzeitige Erkennung von Veränderungen finanzieller Kennzahlen auf Basis von Vergangenheitswerten
	Transparenz Warum passiert es? „Verstehen“	<ul style="list-style-type: none"> • Semantische Verknüpfung von Unternehmensergebnissen und finanzieller Planung • Identifizierung von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen zwischen finanzieller Planung und Unternehmensentwicklungen
	Visualisierung Was passiert? „Sehen“	<ul style="list-style-type: none"> • Aufzeigen von Unternehmensvorgängen und -ereignissen mit dem Fokus auf Finanzen • Darstellung aktueller finanzieller und produktiver Kennzahlen
	Vernetzung Wer mit wem? „Verbinden“	<ul style="list-style-type: none"> • Zusammenführung der Daten von Controlling und anderen relevanten Unternehmensbereichen • Aufbau von Unternehmensschnittstellen mit dem Controlling
	Computerisierung Welche Grundlage? „Digitalisieren“	<ul style="list-style-type: none"> • Aktive Aufnahme Controlling-relevanter Daten • Verwendung digitaler Systeme im Controlling

Quantifizierung Industrie 4.0 Use-Cases – Bereichsübergreifende Anforderungskriterien

Gesamtbetrieblich		
	Potenzial	Umsatz-/Kostenart
Umsatzsteigerung	Erhöhung der (Maschinen-)Auslastung	EU
	Steigerung des Produktabsatzes	EU
	Anforderungsgerechtigkeit	EU
	Steigerung des Marktpreises	EU
	Individualisierung	EU
	Verkürzung der Time-to-Market	EU
	Erhöhung der Qualität	EU
	Steigerung der Produktinnovation und Differenzierung	EU
	Verbesserung der Termintreue	EU
Kosteneinsparung	Informationsbeschaffungsaufwand	PK
	Instandhaltungsaufwand	PK, FVK, MK
	Datenpflegeaufwand	PK
	Konventionalstrafen (bei Terminverzug)	KS
	Abstimmungsaufwand	PK
	Datenaufbereitungs- und Analyseaufwand	PK
	Energieverbrauch	EK
	Administrationsaufwand (Papier, Drucker, ...)	MK
	Suchaufwand	PK
	Fehleranalyseaufwand	PK
Warte- und Liegezeiten	PK, MAK	



Quantifizierung Industrie 4.0 Use-Cases – Bereichsspezifische Anforderungskriterien

Produktentwicklung		
	Potenzial	Umsatz-/Kostenart
Kosteneinsparung	Aufwand Engineering & Konstruktion	PK, FVK
	Erstellung Prototypenteile	Pk, MK, FVK
	Änderungsaufwände und Iterationsschleifen	PK
	Optimierung der Fertigungsgerechtheit	PK, MAK, MK, FVK

Supply-Chain-Management & Einkauf		
	Potenzial	Umsatz-/Kostenart
Kosteneinsparung	Anbahnungs- und Abwicklungsaufwand	PK
	Mehrkosten durch geringe Lieferantenbreite	MK, FVK
	Lieferantenbetreuungsaufwand (Akquise, Auditierung, ..)	PK
	Speditonsaufwände	FVK
	Kostenpotenziale durch Fremdvergabe	PK, MK

Unterstützende Funktionen		
	Potenzial	Umsatz-/Kostenart
Kosteneinsparung	Aufwände für Human Resources	PK
	Berichtsaufwände	PK
	Nachkalkulation	PK

Produktionsplanung und -steuerung		
	Potenzial	Umsatz-/Kostenart
Kosteneinsparung	Umlaufvermögen	KK
	Planungs- und Steuerungsaufwände	PK
	Bedarfsbestimmung	PK

Logistik		
	Potenzial	Umsatz-/Kostenart
Kosteneinsparung	Transportkosten	PK
	Materialbereitstellungsaufwand	PK
	Prüfaufwand	PK
	Buchungsaufwände	PK
	Verpackungsaufwand	PK, MK
	Lagerkosten	PK, KK, LK
	Bestandsrisiken	BR

Produktion		
	Potenzial	Umsatz-/Kostenart
Kosteneinsparung	Rüstkosten	PK, MAK
	Reparatur- und Wartungsaufwand	PK, RK, MK, MAK
	Maschinenbetreuungsaufwand	PK
	Rückmeldeaufwand	PK



Qualitätssicherung		
Potenzial		Umsatz-/Kostenart
Kosteneinsparung	Prüfaufwände	PK
	Fehlerbehebungsaufwand	PK, MK, FVK
	Rückrufaufwand	PK, KS

Marketing & Vertrieb		
Potenzial		Umsatz-/Kostenart
Kosteneinsparung	Akquiseaufwand	PK, RK
	Vertriebsaufwand	PK, RK
	Markterweiterungsaufwand	PK, RK
	Distributionsaufwand	PK, FVK
	Kalkulationsaufwand	PK

Index	Kostenarten	Formel
MAK	Maschinenkosten	$MAK = \sum_{i=1}^n \text{Maschinenstundensatz}_i * \text{zusätzlich mögliche Stunden}_i$
PK	Personalkosten	$PK = \sum_{i=1}^n \text{Personalstundensatz}_i * \text{eingesparte Stunden}_i$
FVK	Fremdvergabekosten	$FVK = \sum_{i=1}^n \text{Fremdvergabekosten}_i$
MK	Materialkosten	$MK = \sum_{i=1}^n \text{Materialeinzelkosten}_i + \text{Anteil Materialgemeinkosten}_i$
EU	Entgangene Umsätze	$EU = \sum_{i=1}^n \text{Anzahl nicht/zusätzlich abgesetzter Produkte}_i * \text{Marktpreis}_i$
KS	Konventionalstrafen	individuell festgelegt
RK	Reisekosten	$RK = \sum_{i=1}^n \text{Reisekosten}_i$
KK	Kapitalkosten	$KK = \left(\frac{E}{V}\right) * kE + \frac{F}{V} * kF * (1 - sC)$ mit E=Eigenkapital, F= Marktwert des Fremdkapitals, V= Unternehmensgesamtwert, kE=Verzinsung der Eigenkapitalgeber, sC=Steuervorteil der Fremdkapitalkosten
LK	Lagerkosten	$LK = \sum_{i=1}^n \text{Lagerkostensatz}_i * \text{Benötigte Fläche}_i$
BR	Bestandsrisiken	$BR = \sum_{i=1}^n \text{Wert des Warenbestands}_i * \text{Ausfallrisiko}_i$
EK	Energiekosten	$EK = \sum_{i=1}^n \text{Energieverbrauch}_i * \text{Energiekosten}$

Quellenverzeichnis

acatech 2017:

Schuh, G.; Anderl, R.; Gausemeier J.; ten Hompel, M.; Wahlster, W. (Hrsg.): Industrie 4.0 Maturity Index. Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten (acatech STUDIE), München: Herbert Utz Verlag, 2017.

Behrendt et. al. 2017:

Behrendt, A.; Müller, N.; Schmitz, C.: Mit Industrie 4.0 zu mehr Produktivität, Handelsblatt Online, 27.01.2017.
<https://www.handelsblatt.com/adv/digitalatscale/keine-revolution-sondern-eine-weiter-entwicklung-mit-industrie-4-0-zu-mehr-produktivitaet/19303360.html>

Deloitte 2016:

Deloitte Touche Tohmatsu Limited: Industrie 4.0 im Mittelstand, 2016.
<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/Mittelstand/industrie-4-0-mittelstand-komplett-safe.pdf>

E&Y 2017:

Ernst & Young GmbH: Industrie 4.0: Status Quo und Perspektiven, 2017.
[https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-industrie-4-0-status-quo-und-perspektiven/\\$FILE/ey-industrie-4-0-status-quo-und-perspektiven.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-industrie-4-0-status-quo-und-perspektiven/$FILE/ey-industrie-4-0-status-quo-und-perspektiven.pdf)

Kienbaum 2017:

Kienbaum Consultants International GmbH: Die richtige Organisation zur digitalen Transformation, 2017.
http://assets.kienbaum.com/downloads/Die-richtige-Organisation-zur-digitalen-Transformation-_Key-Facts_Kienbaum_bayme-vbm_2017.pdf?mtime=20170829094757

McKinsey 2016:

McKinsey & Company, Inc.: Industry 4.0 after the initial hype: Where manufacturers are finding value and how they can best capture it, 2016.
https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/getting%20the%20most%20out%20of%20industry%204%200/mckinsey_industry_40_2016.ashx

PwC 2016:

PricewaterhouseCoopers International Limited: Industry 4.0: Building the digital enterprise, 2016.
<https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>

Schuh et. al. 2017:

Schuh, G.; Lau, F.; Vogt, F.; Zimmermann, R.: Whitepaper – empirische Studie: Gestaltung von Corporate Inkubatoren, 2017.
https://www.ipt.fraunhofer.de/content/dam/ipt/de/documents/TM/Fraunhofer-ipt_Gestaltung-von-Corporate-Inkubatoren.pdf

Statista 2018:

Statista GmbH: Investments in Industry 4.0 in Germany from 2013 to 2020, 2018.
<https://www.statista.com/statistics/668780/industry-40-investments-in-germany/>



Autoren



Prof. Dr. Günther Schuh

Inhaber des Lehrstuhls für Produktionssystematik
Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen



Prof. Dr. Wolfgang Boos

Geschäftsführender Oberingenieur
Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen



Christoph Kelzenberg

Leiter Abteilung Unternehmensentwicklung
Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen



Johan de Lange

Gruppenleiter Abteilung Unternehmensentwicklung
Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen



Felix Stracke

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Abteilung Unternehmensentwicklung
Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen



Jens Helbig

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Abteilung Unternehmensentwicklung
Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen



Julian Boshof

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Abteilung Unternehmensentwicklung
Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen



Christoph Ebbecke

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Abteilung Unternehmensentwicklung
Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen



Herausgeber

Werkzeugmaschinenlabor WZL

der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

Campus-Boulevard 30

52074 Aachen

www.wzl.rwth-aachen.de

978-3-946612-32-2



9 783946 612322