

DIGITAL IN NRW

DAS KOMPETENZZENTRUM
FÜR DEN MITTELSTAND



 **Fraunhofer**
IML

ERP-
Marktstudie
2016



AUSWIRKUNGEN VON INDUSTRIE 4.0 AUF DIE ANFORDERUNGEN AN ERP-SYSTEME

PHILIPP KLINK, CHRISTOPH MERTENS, KATHARINA KOMPALKA

Mittelstand-
Digital 

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

VORWORT

Die vierte industrielle Revolution, kurz Industrie 4.0, wird großen Einfluss auf die etablierten Geschäftsmodelle produzierender Unternehmen haben. Gerade auch KMU's müssen sich mit diesem Wandel auseinandersetzen, um sich mittel- bis langfristig auf einem globalisierten Weltmarkt zu behaupten. In diesem Zuge müssen Unternehmen ihre Geschäftsprozesse modernisieren, um mit der voranschreitenden Digitalisierung und dem steigenden Wettbewerbsdruck Schritt zu halten.

Fundamentale Voraussetzung für die Umsetzung von Industrie 4.0-Anwendungen ist eine moderne IT-Systeminfrastruktur, die in der Regel aus einem Enterprise Resource Planning System (ERP-System) besteht. ERP-Systeme stellen die Grundlage für digitale Prozesse dar. Sie unterstützen die Planung, Steuerung und Kontrolle unternehmerischer Entscheidungen.

Die Umsetzung von Industrie 4.0 verläuft im Mittelstand jedoch schleppend. Es gibt diverse Hindernisse. Viele KMU's arbeiten mit veralteten IT-Systemen oder führen ihre betrieblichen Prozesse gänzlich ohne Systemunterstützung durch. Umsetzungsbestrebungen werden in der betrieblichen Praxis häufig aufgrund fehlender leistungsfähiger ERP-Systeme „ausgebremst“. Wichtige systemseitige Voraussetzungen für die Einführung von Industrie 4.0 sind damit nicht gegeben. Ferner existieren insbesondere bei KMU's Ängste den operativen Betrieb zu gefährden und es mangelt an dem notwendigen Know-How rund um das Thema Industrie 4.0.

Die vorliegende Marktstudie setzt hier an und führt Unternehmen in die Thematik der Industrie 4.0 und deren Bausteine ein. Sie beleuchtet technologische und funktionale Kriterien, die bei der Auswahl eines neuen ERP-Systems berücksichtigt werden sollten. Die Studie wurde vom Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Dortmund in fachlicher Kooperation mit dem Team ERP LOGI-

STICS des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik erstellt. Sie beruht auf einer schriftlichen Befragung von mittelstandsorientierten ERP-Herstellern.

Die Auswirkungen der Industrie 4.0 werden sich nicht nur auf die Produktion und Logistik beschränken, z. B. durch cyber-physische Systeme (CPS) und dezentrale autonome Planungsprozesse, sondern sich auch auf die kaufmännischen und administrativen Bereiche eines Unternehmens auswirken. Für die Umsetzung von Industrie 4.0 zeichnen sich dabei mehrere Phasen der Veränderung ab:

- Zunächst gilt es die vorhandenen Techniken und Systeme für eine möglichst weitgehende Digitalisierung von Geschäftsprozessen zu nutzen.
- Anschließend folgt eine Phase der Integration und Vernetzung von Assistenzsystemen
- Die letzte Stufe ist erreicht, wenn IT-Systeme je nach Bedarf dezentrale autonome Entscheidungen treffen können.

Der Mittelstand sollte selbstkritisch beurteilen, auf welcher Stufe sich das eigene Unternehmen in der Ausgangslage befindet und anschließend die notwendigen Maßnahmen ableiten. Hierbei können die Angebote der Mittelstand 4.0-Kompetenzzentren eine wertvolle Unterstützung darstellen. Die vorliegende Studie gibt erste Hinweise darauf, welche Bereiche, die für die Industrie 4.0 erforderlich sind, von aktuellen ERP-Systemen bereits heute abgedeckt werden können. Darüber hinaus wird dargestellt, in welchen Themengebieten ERP-Systeme innerhalb ihrer Standards noch nicht in der Lage sind von ihren zentralen deterministischen Berechnungsalgorithmen abzuweichen.



INHALTSVERZEICHNIS

1. Motivation für die Marktstudie	4
2. Wissenschaftliche Grundlagen	6
Definition Industrie 4.0	6
Wesentliche Merkmale der Industrie 4.0	8
Wesentliche Bausteine der Industrie 4.0	10
Allgemeine Anforderungen an ERP-Systeme im Kontext von Industrie 4.0	15
3. Ergebnisse der Marktstudie	26
Vorgehensweise der Untersuchung	26
Teilnehmer der Untersuchung	27
Thesen	28
Ergebnisse der Befragung	30
4. Management Summary	54
5. Abkürzungsverzeichnis	58
6. Abbildungsverzeichnis	59
7. Literaturverzeichnis	60
8. Impressum	66

1. MOTIVATION FÜR DIE MARKTSTUDIE

ERP-MARKTSTUDIE 2016

Das Konzept der Industrie 4.0 wird seit mehreren Jahren intensiv diskutiert. Die Vision der Industrie 4.0 ist im Rahmen der Hannover Messe im Jahr 2011 erstmalig vorgestellt worden. Seitdem wird dessen Erforschung sowie Realisierung durch die Bundesregierung intensiv gefördert [Sen13].

Der Ausdruck Industrie 4.0 beschreibt die Idee, mithilfe von cyber-physischen Systemen (CPS), die über das Internet der Dinge und Dienste miteinander verbunden sind, eine hochflexible Produktion zu ermöglichen. Die Überlegung besteht darin, dass Produktionsmaschinen technisch und technologisch so ausgestattet werden, dass sie ihre Abläufe selbst koordinieren, die Materialversorgung autonom steuern und z. B. erforderliche Transporte von Endprodukten auf Ladungsträgern anstoßen können. Betriebsmittel, Produkte und Ladungsträger sind dabei über das Internet der Dinge miteinander vernetzt und kommunizieren miteinander mit dem Ziel, die Wertschöpfungskette sowohl unternehmensintern als auch unternehmensübergreifend zu automatisieren und zu optimieren. Industrie 4.0 beschreibt somit eine neue Form der wirtschaftlichen Produktion. Übergeordnetes Ziel ist es, Geschäftsprozesse durchgängig zu digitalisieren und zu automatisieren.

Im Augenblick gibt es kein anderes Thema mehr, dass die Forschung und Entwicklung intensiver beschäftigt. Auch in der medialen Berichterstattung wird der Industrie 4.0 immer mehr Aufmerksamkeit gewidmet. Während Großunternehmen bereits Industrie 4.0-Anwendungen implementiert haben oder intensiv daran arbeiten, verläuft die Umsetzung im Mittelstand zögerlich.

Viele Konversationen mit Mittelständlern belegen es: Zahlreiche KMU's haben Angst mit der Einführung von Industrie 4.0-Anwendungen ihren operativen Betrieb signifikant zu stören oder gar lahmzulegen. Ferner fehlt es häufig an Know-How hinsichtlich der ganz konkreten, auf

den eigenen Betrieb bezogenen, Möglichkeiten, die sich durch die neuen Technologien ergeben. Begrenzte Personalkapazitäten erschweren den Wissensaufbau hinsichtlich der Potentiale von Industrie 4.0. Viele Unternehmen haben noch keine Kenntnisse darüber, dass es mittelstandsorientierte Einführungsunterstützung, wie z. B. von Organisationen wie dem Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum, gibt. Die Angebote der Mittelstand 4.0-Kompetenzzentren sind vielfältig und enorm hilfreich, da sie die KMU's in Abhängigkeit des jeweiligen Wissensstands zur Einführung von Industrie 4.0 befähigen können.

Im Rahmen des Austauschs mit Mittelständlern wird jedoch insbesondere eines deutlich: Die Einführung von Industrie 4.0 wird häufig dadurch erschwert, dass die systemseitigen Geschäftsprozesse in den Betrieben auf einer alten und unzureichenden IT-Infrastruktur basieren. In diesem Fall stolpert die eigene Organisation über eine wesentlich größere „Baustelle“, die der Implementierung von moderner Technologie in der Produktion und Logistik entgegensteht. Über moderne ERP-Systeme, die Industrie 4.0 tauglich sind, verfügen häufig nur finanzstarke KMU's. Bei einer nach wie vor großen Anzahl an Unternehmen werden veraltete, häufig auch „selbstgestrickte“ IT-Systeme eingesetzt. Einigen Betrieben fehlt es gänzlich an einer durchgängigen Software zur Unterstützung der Geschäftsprozesse. Nicht selten werden zur Planung und Steuerung der betrieblichen Abläufe dezentrale, wenig gesicherte Datenbankablagensysteme oder Excel-Listen eingesetzt.

So kann der Wunsch nach Modernisierung der Prozesse und Technologien auf der operativen Ebene noch so groß sein. Liegen veraltete IT-Prozesse in Unternehmen vor, wird der Sprung in die moderne Welt der Industrie 4.0 als zu groß wahrgenommen. Industrie 4.0-Anwendungen setzen zwar nicht immer ein Manufacturing Execution System (MES-System) oder Betriebsdatenerfassungssystem (BDE-System), aber in der Regel mindestens ein leistungsfähiges

ERP-System voraus. Oder anders ausgedrückt: Die Potentiale von Industrie 4.0-Anwendungen können nur dann vollständig erschlossen werden, wenn der systemseitige „Überbau“, sprich das ERP-System, leistungsfähig ist. Schließlich müssen die durch die modernen Anwendungen auf der Produktions- und Logistikebene generierten neuen Daten auch verarbeitet werden können. Sie haben sonst keinen Mehrwert für die betrieblichen Entscheidungen. Bevor also ein Unternehmen über die Umsetzung von Industrie 4.0-Anwendungen nachdenkt, sollte geprüft werden, ob eine Modernisierung des ERP-Systems nicht zwingend der erste notwendige Schritt in Richtung Digitalisierung ist.

Die Frage ist, wie man dieses Dilemma im Mittelstand lösen kann. Die vorliegende Marktstudie greift diese Fragestellung auf und liefert einen wichtigen Baustein für Unternehmen, um die schrittweise Entwicklung in Richtung Industrie 4.0 zu vereinfachen. Die Studie klärt zum einen über die Industrie 4.0 sowie die damit verbundenen Elemente in mittelstandsgerechter Sprache auf. Zum anderen wird die Bedeutung von ERP-Systemen sowie deren Rolle im Zusammenhang mit der Industrie 4.0 erläutert. Dabei werden insbesondere die technologischen und funktionalen Anforderungen beleuchtet, die Unternehmen an ERP-Systeme im Kontext der Industrie 4.0 stellen sollten. Es werden wichtige Auswahlkriterien dargestellt, die bei einer ERP-Auswahl berücksichtigt werden sollten.

Der deutsche Mittelstand kann sich mittel- bis langfristig nur dann am Wettbewerb halten oder die Wettbewerbsposition ausbauen, wenn sämtliche Geschäftsprozesse, angefangen in der Auftragsabwicklung, über die Produktion, bis hin zu der Auftragserfüllung inklusive der finanziellen Abwicklung, einen modernen Stand aufweisen, denn die Hauptanforderungen werden zunehmend Schnelligkeit, Flexibilität und auch Kosteneffizienz sein. Ein ERP-System ist in diesem Zusammenhang ein wichtiger Befähiger für die Erfüllung dieser Kriterien.

ERP-Systeme integrieren bereits heute nahezu alle Funktionsbereiche eines Unternehmens wie z. B. Vertrieb, Einkauf, Produktion, Logistik und Finanzwesen. Sie fungieren auch als Integrationszentrum für IT-Systeme, die in spezifischen Funktionsbereichen eingesetzt werden (Product Lifecycle Management (PLM), QM-Systeme etc.). ERP-Systemen wird in diesem Zusammenhang eine sogenannte Hub-Funktion zugesprochen. Mit der Umsetzung von Industrie 4.0-Konzepten steigt die Anzahl der zu integrierenden IT-Systeme zwangsläufig, denn CPS bedürfen eine spezifische Systemsteuerung, die zwar nicht zentral organisiert ist, jedoch mit vorhandenen ERP-Systemen vernetzt sein muss.

Eine wesentliche Frage im Rahmen der Studie war, welche konkreten Anforderungen an ERP-Systeme aufgrund der Industrie 4.0 gestellt werden und wie diese Anforderungen von mittelständischen Unternehmen bei der ERP-Auswahl berücksichtigt werden müssen. Ziel war es ferner Erkenntnisse über die zukünftigen Anforderungen und die veränderte Rolle von ERP-Systemen zu gewinnen. Mittels einer Onlineumfrage und Experteninterviews wurde ein ausgewählter Kreis an mittelstandsorientierten ERP-Anbietern unter Berücksichtigung von allgemeinen technischen und funktionalen Anforderungen an ERP-Systeme im Kontext der Industrie 4.0 zu folgenden Aspekten befragt:

- Derzeitige Aktivitäten und Treiber für die Weiterentwicklung der ERP-Systeme,
- Zukünftige ERP-Funktionalitäten und Eigenschaften von ERP-Systemen sowie
- Entwicklung des ERP-Marktes.

Der schriftlichen Befragung von ERP-Anbietern zum Thema „Rolle der ERP-Systeme im Kontext der Industrie 4.0“ ging eine wissenschaftliche Ausarbeitung der wissenschaftlichen Grundlagen zu diesem Thema voraus.

2. WISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN

2.1 DEFINITION INDUSTRIE 4.0

Mit Beginn der Industrialisierung haben unterschiedliche Technologiesprünge zu Paradigmenwechseln geführt, die heute ex post als Revolutionen bezeichnet werden (vgl. Abbildung 1) [Las14]. So war die Mechanisierung von Produktionsanlagen und die Verwendung von Wasser- und Dampfkraft zum Ende des 18. Jahrhunderts die sogenannte erste industrielle Revolution [Sim13]. Die zweite Stufe der industriellen Revolution erfolgte zu Beginn des 20. Jahrhunderts und war gekennzeichnet durch die intensive Nutzung der elektrischen Energie und der von Taylor und Ford getriebenen Realisierung der Massenproduktion durch Arbeitsteilung. Mit der umfassenden Automatisierung und Digitalisierung durch Elektronik und IT-Systemen folgte in den 70er Jahren die dritte industrielle Revolution [Las14].

Heute und in Zukunft kann eine weiter fortschreitende Digitalisierung innerhalb von Fabrik- und Logistikhallen beobachtet werden. Diese Digitalisierung ist geprägt durch die Zusammenführung

der Internettechnologie mit Zukunftstechnologien im Bereich der sogenannten smarten Objekte [Las14]. Die sogenannte vierte Revolution basiert auf der Nutzung des Internets als Infrastruktur und den darin miteinander verbundenen CPS [Dro15; Spa14; Ker14; Bot15], auf die in einem gesonderten Kapitel eingegangen wird (vgl. Kapitel 2.3.3).

Der Gedanke der Digitalisierung ist nicht völlig neu. Bereits in den 1980er Jahren brachte der Gedanke der zunehmenden Digitalisierung die Idee des Computer Integrated Manufacturing (CIM) hervor. Grundlage für das damalige CIM-Konzept war eine sehr zentralistische top-down orientierte IT-Struktur [Bot15]. Mit dem technokratischen CIM-Ansatz wurden primär Insellösungen einzelner Hersteller lauffähig gemacht [VDI15]. Der Schwerpunkt lag zudem auf der Schaffung integrierter Softwaresysteme zur Produktionsplanung und -steuerung, um

softwarebezogenen Insellösungen entgegenzuwirken [Kur93]. Das CIM-Konzept scheiterte in der Vergangenheit unter anderem aufgrund unausgereifter und unzureichend leistungsfähiger Informations- und Kommunikationstechnik, mit der die Komplexität nicht handhabbar wurde [Sim13; VDI15].

Verleitet von der beschriebenen Zukunftserwartung der geplanten vierten Stufe der industriellen Revolution hat sich ex ante der Ausdruck Industrie 4.0 entwickelt. Der Begriff erinnert an die Versionierung von Software und verdeutlicht mit dem Ausdruck „4.0“, dass diese Entwicklung nicht nur vom klassischen Maschinen- und Anlagenbau, sondern auch in hohem Maße von der IT getrieben werden wird [Las14; Bot15; Sim13].

Die wissenschaftliche Forschung und die Industrie verbinden mit dem Begriff Industrie 4.0 eine Vielzahl aktueller Konzepte wie z. B. vernetzte Fabrik, resiliente Fabrik, Smart Factory, CPS, Selbstorganisation, neue Systeme im Vertrieb und in der Beschaffung, neue Systeme in der Produkt- und Serviceentwicklung sowie Anpassung an den Menschen. Die genaue Abgrenzung des Begriffs ist schwierig [Las14]. Für den vornehmlich in der Bundesrepublik Deutschland geprägten Begriff Industrie 4.0 gibt es momentan über 30 Definitionen [Wan14]. Im Folgenden wird die Definition von HEGMANNS et al. aufgegriffen.

„Industrie 4.0 ist ein Metabegriff für die Weiterentwicklung der Produktions- und Wertschöpfungssysteme durch die Verknüpfung der realen und der digitalen Welt. Diese Verknüpfung entsteht durch selbststeuernde CPS, die mit eingebetteten Systemen ausgestattet sind. Industrie 4.0 beschreibt die vertikale (innerhalb eines Unternehmens) und die horizontale Verknüpfung dieser CPS (sowohl über mehrere Unternehmensbereiche als auch über mehrere Unternehmen entlang der Supply Chain hinweg) zur effizienten, dezentral organisierten und flexiblen Produktion von Erzeugnissen oder Durchführung von Dienstleistungen.“ [Heg15]

Ein wichtiger zu ergänzender Aspekt, der in der Definition von HEGMANNS et al. [Heg15] unzureichend angesprochen wird, ist, dass sich die smarten Produkte sowie die CPS ad-hoc vernetzen und agieren [Kag13]. Ein ad-hoc Netzwerk besteht aus mindestens zwei Endgeräten. Diese Endgeräte verbinden, kommunizieren und konfigurieren sich autonom. Eine Hierarchie existiert in diesem Netzwerk nicht [ITW12].

Des Weiteren ist die Rolle des Menschen in der Definition nicht berücksichtigt. Hierbei ist insbesondere die dezentrale Organisationsphilosophie zu nennen, die besagt, dass nicht vornehmlich die Informationen über die Menschen erzeugt, verarbeitet und aufbereitet sowie die menschlichen Fähigkeiten ersetzt werden sollen, sondern die Informationen für den Menschen erzeugt, verarbeitet und aufbereitet werden und die menschlichen Fähigkeiten unterstützt bzw. verstärkt werden [Bot15]. Der Mensch wird diesbezüglich auch als Dirigent der Produktion verstanden [BIT15]. Durch die Ergänzung der erläuterten Aspekte wird der Begriff Industrie 4.0 im Rahmen dieser Marktstudie wie folgt definiert:

Industrie 4.0 beschreibt die Weiterentwicklung von Produktions- und Wertschöpfungssystemen durch die Verknüpfung der realen und der digitalen Welt mittels sich ad-hoc vernetzender smarter Produkte, Ladungsträger sowie Transport- und Betriebsmittel, sogenannte cyber-physische Systeme (CPS). Die vertikale und horizontale Integration dieser CPS unter Berücksichtigung der dezentralen Organisationsphilosophie, die den Menschen als Dirigenten betrachtet, führt zu einer effizienten dezentral organisierten und flexiblen Produktion von Erzeugnissen oder Durchführung von Dienstleistungen.

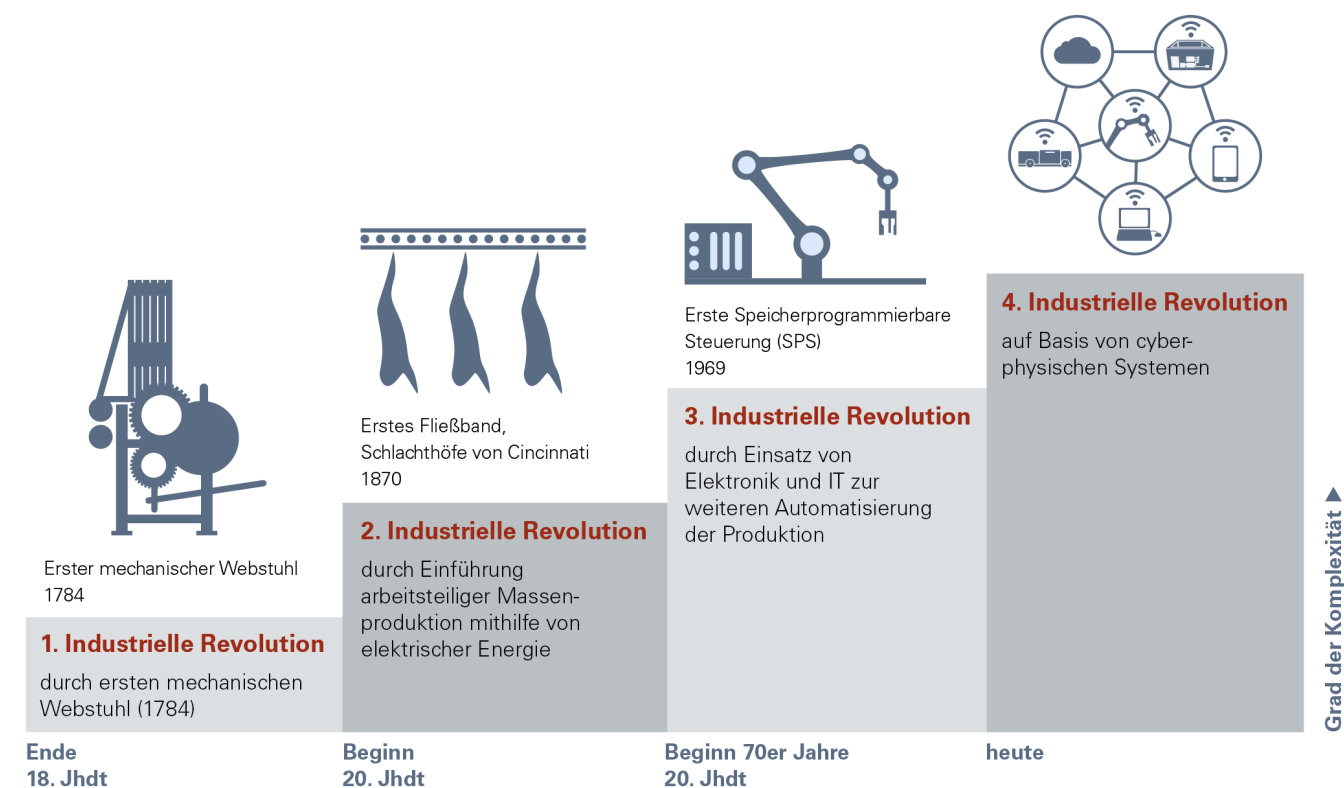


Abbildung 1: Stufen der industriellen Revolution [Dro15]

2. WISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN

2.2 WESENTLICHE MERKMALE DER INDUSTRIE 4.0

Die wesentlichen Merkmale, die sich aus der Definition des Begriffs Industrie 4.0 ergeben, sind die horizontale sowie die vertikale Integration, die zunehmende Verknüpfung der realen und digitalen Welt und digitale Durchgängigkeit des Engineerings, der Mensch in seiner Rolle als Dirigent sowie die Dezentralität und Autonomie (vgl. Abbildung 2) [BIT15]. Des Weiteren ist auch die Dienstleistungsorientierung als ein wesentliches Merkmal der Industrie 4.0 zu nennen. Die aufgeführten Merkmale werden im Folgenden kurz erläutert.



Abbildung 2: Merkmale der Industrie 4.0 i. A. a. [BIT15]

2.2.1 Horizontale und vertikale Integration

Werden die inner- sowie überbetrieblichen Prozesse und Ressourcen entlang der Wertschöpfungskette miteinander vernetzt, wird dies als horizontale Integration bezeichnet [Heg15; Sch14e; Sch14d; Kag13]. In Bezug auf die Industrie 4.0 geht die horizontale Integration über einen einzelnen Fabrikstandort hinaus und fokussiert die überbetriebliche bzw. unternehmensübergreifende Integration der Prozesse und Ressourcen.

Unter der vertikalen Integration wird die Verknüpfung physischer und technischer Prozesse inklusive der Ressourcen mit Geschäftsprozessen über verschiedene Unternehmensebenen verstanden [Heg15; Sim13; Kag13]. Vertikale Integration bezieht sich entsprechend auf eine reine unternehmensinterne Sicht.

2.2.2 Digitale Durchgängigkeit

Unter dem Merkmal der Verknüpfung der realen und digitalen Welt werden insbesondere die digitale Durchgängigkeit des Engineerings über die gesamte Wertschöpfungskette und den Lebenszyklus der Produkte und Betriebsmittel verstanden [VDI15]. ADOLPHS & EPPLER erläutern den Begriff der digitalen Durchgängigkeit etwas präziser. Technische, administrative und kommerzielle Daten und Informationen, die rund um ein Produktionsmittel oder Werkstück entstehen, werden bei einer digitalen Durchgängigkeit über die komplette Wertschöpfung konsistent gehalten und sind jederzeit über das Netzwerk greifbar. [Ado15]

Voraussetzung hierfür ist die aktive Kommunikation der unterschiedlichen Komponenten in der Produktion [Roß14]. Als erste wesentliche Komponente der Industrie 4.0 ist das zu produzierende Produkt selbst zu nennen. Das Produkt ist mit einem integrierten Chip bzw. einer Auto-ID-Technologie ausgestattet. Es fungiert damit als Informationsträger und soll sich somit selbst durch die Produktion steuern [Sim13]. Auf dem Chip können diverse relevante Informationen, wie Prozessparameter, gespeichert sein [Sim13]. Darüber hinaus wird durch den Einsatz von beschreibbaren integrierten Chips die von der ISO 9001 geforderte Rückverfolgbarkeit von Produkten vollständig sichergestellt [Sim13]. Ein Produkt, das die beschriebenen Funktionalitäten bietet, wird auch als smartes Produkt bezeichnet.

Industrie 4.0 ist nicht nur auf die Produktion eingeschränkt. Neben den zu produzierenden Produkten können auch Transporthilfsmittel, wie

z. B. Kleinladungsträger, mit der beschriebenen Technologie ausgestattet sein und den Materialtransport kleiner Bauteile, die unter Umständen über keinen integrierten Chip verfügen, gesteuert werden. Der Materialtransport erfolgt entsprechend über funk- und sensorgesteuerte Transportsysteme [Sim13]. Die Transport- und Betriebsmittel, die über entsprechende Sensoren verfügen, können die Informationen eigenständig erfassen und verarbeiten. Sind die Betriebsmittel darüber hinaus Internet Protocol fähig, spricht IP-fähig, können diese über eine Kommunikationsinfrastruktur untereinander verbunden und als CPS bezeichnet werden.

Kernmerkmal von Industrie 4.0 ist es entsprechend die Informations- und Datenverarbeitungsprozesse in Unternehmen mit den physischen Abläufen und ihrer Geschäftstätigkeit auf neue Weise zu verknüpfen.

2.2.3 Mensch, Automatisierung und Dezentralisierung

Der Mensch ist das flexibelste und intelligenteste Element der heutigen Fabrik. Da nicht überall vollautomatisierte Prozesse realisierbar sind und flexible Prozesse auch weiterhin wichtig sein werden, wird der Mensch auch in der künftigen Produktion ein wichtiger Bestandteil bleiben.

Bereits in der Vergangenheit wurden mit steigendem Automatisierungsgrad die vollautomatisierten Systeme den Anforderungen an Flexibilität nicht gerecht. Mit der Flexibilisierung der Automatisierung wird der Mensch durch die vorhandenen Systeme unterstützt und entlastet. Die notwendige Flexibilität ist nur durch den Menschen erreichbar [Sch14b]. Mitarbeiter werden trotz zunehmender Automatisierung ihre Rolle als kompetent Handelnde, Entscheider sowie Nutzer der Technik nicht verlieren. Die Kommunikation zwischen Mensch und Technik muss jedoch auf eine möglichst intuitive Art und Weise realisiert werden [Bot15]. Im Rahmen der Industrie 4.0 wird es einen erhöhten Bedarf an qualifizierten

Mitarbeitern geben. In diesem Zusammenhang spricht man auch von „Arbeiten 4.0“.

Neben der Flexibilisierung und der entscheidenden Rolle des Menschen ist auch die Dezentralität und Autonomie, die zusammenfassend die veränderte Art der Steuerung der Produktionsabläufe beschreiben, als wesentliche Merkmale der Industrie 4.0 zu nennen [Ker14]. Im Rahmen der Industrie 4.0 Bestrebungen ist ein Wandel von der sequentiellen Fertigung, wie es aus der heutigen Massenfertigung mit der Fließbandfertigung bekannt ist, hin zu einer entkoppelten flexiblen Fertigung zu beobachten. Die entkoppelte flexible Fertigung ist gekennzeichnet durch Fertigungsinseln, Anlagen oder Robotern, die eine Vielzahl von Operationen ausführen können [SIM13]. Die Grundidee besteht dabei darin, dass die Produktionssysteme Schwachstellen eigenständig erkennen und Probleme melden sowie benötigte Ersatzteile identifizieren und entsprechende Lieferanten auswählen [Wan14]. Welche konkrete Rolle der Mensch in diesem neuen Konstrukt hat, wird in verschiedenen Forschungsvorhaben erforscht.

2.2.4. Dienstleistungsorientierung

Ein weiteres Merkmal, das zugleich auch einen Enabler darstellt, ist der zunehmende Wandel von der Produkt- hin zur Dienstleistungsorientierung [Las14]. SCHEER prognostiziert im Rahmen der Industrie 4.0 die Entwicklung einer Vielzahl neuer Geschäftsideen und damit einhergehender neuer Unternehmenstypen. Neue Geschäftsmodelle und Unternehmenstypen werden spezielle Rollen im Fertigungsprozess bzw. in Fertigungsnetzwerken übernehmen [Sch12]. So ist es z. B. denkbar, dass vergleichbar zu Brokern und Clearingstellen in der Finanzdienstleistungsbranche analoge Unternehmenstypen auch innerhalb der Industrie entstehen [Las14]. Die Information als Ressource und die Verarbeitung von Daten nimmt deutlich an Bedeutung zu und kann in Zukunft sogar noch wichtiger werden als die eigentliche Produktion der Erzeugnisse [Sim13].

2. WISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN

2.3 WESENTLICHE BAUSTEINE DER INDUSTRIE 4.0

Im Folgenden werden die wesentlichen Voraussetzungen für das Konzept der Industrie 4.0 beleuchtet. Die Abbildung 3 zeigt die unterschiedlichen Technologien, die als Bausteine oder Befähiger der Industrie 4.0 angesehen werden. Als Befähiger sind das Internet der Dinge und Dienste, das Cloud Computing, die CPS sowie die Softwaresystemtechnik zu nennen. In den folgenden Kapiteln werden die identifizierten Bausteine näher erläutert.

2.3.1 Internet der Dinge und Dienste

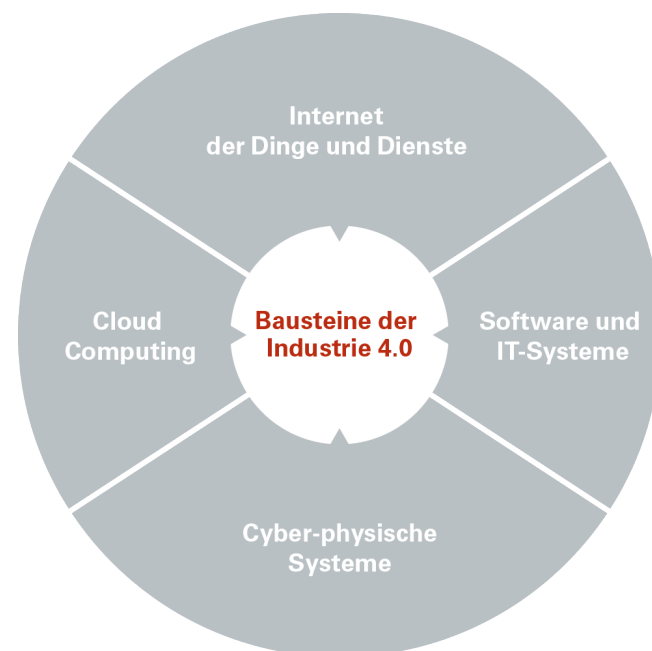


Abbildung 3: Bausteine der Industrie 4.0

Das Internet hat die Welt in einer unbeschreiblichen Art und Weise verändert. Es gibt keine andere vergleichbare technische Entwicklung mit einer solchen Durchschlagskraft [Dai14].

Das Internet ist auch heute noch der Haupttreiber des industriellen Fortschritts und wird als Auslöser für die vierte industrielle Revolution angesehen [Sim13]. Die Entwicklung des Internets begann mit der Vernetzung von Dokumenten (Web 0) bzw. der Vernetzung von Unternehmen (Web 1.0) in den Jahren zwischen 1990 und

2000. Den Begriff „Internet of Things“ (kurz IoT oder deutsch Internet der Dinge und Dienste) entwickelte Kevin Ashton. Er war Mitbegründer des Auto-ID-Centers am Massachusetts Institute of Technology in den USA.

Mit der zunehmenden privaten Nutzung von 2000 bis 2010 vernetzte das Internet die Menschen (Web 2.0), sodass seitdem jeder mit jedem in Echtzeit kommunizieren kann. Seit dem Jahr 2010 entwickelte sich das Internet durch die zunehmende Integration von technischen Objekten zu dem sogenannten Internet der Dinge und Dienste (Web 3.0). In der Vergangenheit sind die reale und virtuelle Welt zunehmend verschmolzen. [Dai14; Sim13; Roß14; Hör15]

Das Internet der Dinge und Dienste ermöglicht neben der Kommunikation zwischen Menschen insbesondere die Kommunikation zwischen Maschinen sowie zwischen Mensch und Maschine [Roß14]. Der Austausch von Informationen erfolgt über ein Funknetz oder das Internet [Sch14e]. Das Internet der Dinge und Dienste bildet somit „die Infrastruktur für die Vernetzung cyber-physischer Systeme [...] und ermöglicht Menschen sowie CPS den steuernden, kontrollierenden, koordinierenden sowie ortsunabhängigen Zugriff auf die eingebundenen CPS“ [Heg15].

Nach Auffassung von HEGMANNS et al. sowie ROßMEIßL basiert das Internet der Dinge und Dienste dabei auf den folgenden vier Grundsätzen [Heg15; Roß14]:

- Speicherung individueller Information am Objekt
- Allgegenwärtige Vernetzung der Objekte: Digitalisierung von Alltagsgegenständen, Datenerfassung (Auslesen, Filtern und Interpretieren)
- Allgegenwärtige Intelligenz: individuelle Entscheidungsfindung auf Basis lokal ausgewerteter Information und proaktive autonome Regelung

- Allgegenwärtige Assistenz: individuelle Services auf Abruf zur echtzeitnahen, ereignisorientierten Steuerung von Prozessen

Neben Radio Frequency Identification (RFID) als Technologie für die Speicherung individueller Informationen an Objekten, ist mit dem neuen Internetprotokoll IPv6 die Grundlage für die Vernetzung der Objekte und der damit verbundenen Notwendigkeit einer eigenen Internetadresse geschaffen worden [Sim13; BIT14]. Während das Internetprotokoll IPv4 nur 4,3 Milliarden (109) Internetadressen ermöglicht, können mit dem Internetprotokoll IPv6 340 Sextillionen (1036) Objekte adressiert und vernetzt werden [IPV].

Die exponentielle Entwicklung des Internets der Dinge und Dienste lässt sich anhand des Moorschen Gesetzes erklären. Dieses besagt, dass sich die Zahl der auf einen Chip integrierbaren elektronischen Komponenten alle 18 bis 24 Monate verdoppelt [Moo65; Rec99; Roß14]. Durch die Tatsache, dass in Zukunft eine steigende Anzahl technischer Objekte nahezu permanent Daten generieren, um ein präzises digitales Abbild der realen Welt zu zeichnen, ist es notwendig den relevanten Inhalt zu erkennen und zu

extrahieren [Dai14]. Erst durch die Verbindung des Internets der Dinge mit der Fähigkeit, vernetzte Daten in Echtzeit zu analysieren, entsteht das Internet der Dinge und Dienste (Abbildung 4) [Dai14].

Das Cloud Computing nimmt diesbezüglich eine wichtige Rolle ein und stellt die entsprechenden Dienste für die Datenverarbeitung in der sogenannten Cloud bereit, ohne dass eine Installation der Software notwendig ist [Sim13; Hör15]. Da die diversen Objekte im Internet der Dinge und Dienste sich zum einen nicht nur an fixen Orten befinden und zum anderen eine Verkabelung der Fabrikssysteme aufgrund der Menge kaum denkbar ist [Sim13], muss die Kommunikation in der Industrie 4.0 über kabellose Kommunikationsmethoden, z. B. über WLAN oder das Funknetz, stattfinden. [Bec14]

Bezüglich der Anwendung für die Industrie 4.0 sind auch die mittelbaren kontaktlosen Auto-ID-Technologien zu nennen, die eine Grundlage für das Internet der Dinge und Dienste bilden und die Verbindung von Informations- und Materialflüssen ermöglichen [Cip15]. Neben den gängigen optischen Auto-ID-Technologien wird

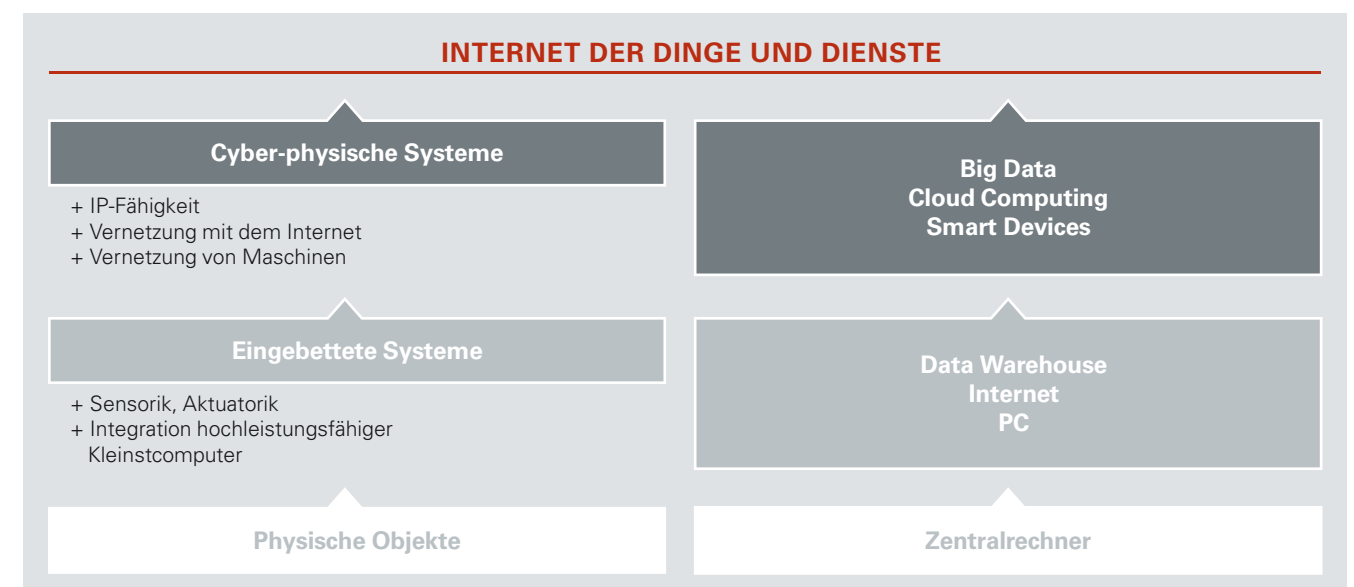


Abbildung 4: Internet der Dinge und Dienste [Kag14]

die Bedeutung von RFID zukünftig weiter steigen [Sim13]. Das Internet der Dinge und Dienste dient zusammenfassend als einer der wesentlichen Innovationstreiber von Industrie 4.0 und unserer Zeit.

2.3.2 Cloud Computing

Die grundlegende Idee des Cloud Computing ist es, Dienste der Informationsverarbeitung nicht selbst bereitzustellen, sondern zu mieten.

Dem Cloud Computing liegen die beiden Konzepte der SOA (Serviceorientierte Architektur) und Virtualisierung zu Grunde [Bau11]. Zu den Zielen der Virtualisierung zählt es, den Nutzen eines schwach ausgelasteten Systems zu erhöhen sowie die Administration zu vereinfachen [Pla11]. SOA bricht Softwareprozesse in granulare „Services“ beziehungsweise Funktionalitäten auf. Diese können einzeln und unabhängig voneinander angepasst bzw. konfiguriert werden. Ziel der Serviceorientierung ist es, Entwicklungskosten zu sparen und die Flexibilität innerhalb der Systemumgebung zu erhöhen. Serviceorientierte Architekturen ermöglichen es, Geschäftsprozesse in kleinere, einfach zu modifizierende Funktionen aufzuteilen. Auf diese Weise können unternehmensindividuelle Regeln besser im System abgebildet und bei Bedarf verändert werden. Jeder dieser Dienste bildet einen abgegrenzten und abgeschlossenen Funktionsbereich ab, der im Netzwerk eindeutig identifiziert und von weiteren Diensten im Netzwerk genutzt werden kann [Bil14].

Im Bereich des Cloud Computings findet eine intensive Bereitstellung solcher Dienste statt, wobei hier zwischen den Erscheinungsformen bzw. Schichten Software-as-a-Service (SaaS), Platform-as-a-Service (PaaS) und Infrastructure-as-a-Service (IaaS) unterschieden wird. SaaS meint die Bereitstellung von Softwareanwendungen über das Internet. PaaS umfasst die Bereitstellung einer Entwicklungsumgebung, IaaS die Bereitstellung einer Rechnerinfrastruktur [Bil14].

Im Detail bedeutet SaaS, dass der Zugang zu einem Dienst bzw. einer Software on-demand gemietet statt on-premise gekauft und installiert wird. Dabei wird der Zugang zu diesem Dienst bzw. dieser Software über das Internet oder einem Intranet gewährleistet. Die Abrechnung erfolgt zudem nutzungsabhängig, z. B. abhängig von der Nutzeranzahl, zeitraum- und mengenbezogen und nach Rechenleistung oder Speichergröße. Aufgrund dynamischer Skalierung, also einer bedarfsweisen feingranularen und kurzfristigen Zu- und Abschaltung von Ressourcen, wird eine Elastizität der nutzbaren Rechenleistung oder Speichergröße ermöglicht, die dem Nutzer den Eindruck von nicht beschränkten Ressourcen vermittelt [Pla11; Web12; Bau11].

Von Betreiberseite werden Pools von Ressourcen, wie z. B. von Rechnern, Datenspeicher, Netzen und Software, für eine Vielzahl von Unternehmen zur Verfügung gestellt [Pla11]. Für den Anbieter von Cloud-Diensten ergeben sich Skaleneffekte z. B. seitens der Hardwareanschaffung oder effizienter Ressourcenauslastung [Rep10].

Neben den Schichten des Cloud Computing (SaaS, PaaS und IaaS) werden Cloud-Angebote anhand ihrer Nutzungsmodelle unterschieden. Hierbei erfolgt die Unterscheidung zwischen den für jedermann zugänglichen und nutzbaren Public Cloud (auch als External Cloud bezeichnet) und solchen, die nur unternehmens- oder organisationsintern genutzt werden (Private und Internal Cloud) [Bed13; Nie14; Rep10]. In einer Public Cloud werden von Anbietern typischerweise hochstandardisierte Anwendungen und Dienste über das Internet verfügbar gemacht, die durch den Benutzer kaum individuell angepasst werden können [Glö15]. Ein weiterer Schwachpunkt der Public Cloud und der Vorteil einer Private bzw. Internal Cloud ist der Datenschutz [Glö15]. Während bei einer Private Cloud der jeweiligen Organisation lediglich die Ausübung der Kontrolle über die angemieteten Ressourcen obliegt, ist bei einer Internal Cloud die Organisation der Betreiber, der sich im Besitz befindlichen physi-

schen Infrastruktur [Bed13]. Die wesentlichen Vorteile der Internal Cloud gegenüber den sonstigen Nutzungsmodellen liegen in der Kontrolle und dem Schutz der Daten sowie der leichteren Durchsetzung von Unternehmensrichtlinien [Bed13]. Allerdings ist die Flexibilität und Skalierbarkeit im Vergleich zu einer Private sowie Public Cloud eingeschränkt und stark von den zur Verfügung stehenden Ressourcen (Servern) abhängig [Bed13]. ABOLHASSAN hat festgestellt, dass bereits 40 Prozent der Unternehmen im Automobilbereich die Migration in die Private Cloud bewältigt haben und derzeit auch mittelständische Unternehmen diesem Weg folgen [Abo15]. Neben der Public und Private sowie Internal Cloud haben sich unterschiedliche hybride Formen von Cloud-Lösungen wie z. B. die Virtual Private Cloud und Community Cloud entwickelt [Glö15, Bed13]. Hierbei können geschäftskritische Anwendungen in der Internal Cloud und die geschäftsunkritischen in der Public Cloud laufen [Rep10]. Die Verfügbarkeit von Community Clouds, auf denen sich Produzenten, Lieferanten, Dienstleister und Kunden miteinander verbinden können, sieht GLÖCKL-FROHNHOLZER als eine der wesentlichen Voraussetzungen für die Industrie 4.0 [Glö15]. Bereits heute nutzen eine Vielzahl von Unternehmen für die Zusammenarbeit in ihren Lieferketten Geschäftsnetzwerke, dessen Verwendung nach Auffassung von Kleinemeier in Zukunft für immer mehr Geschäftsbereiche eine tragende Rolle spielen wird [Glö15].

Ein früheres Konzept, welches dem Cloud-Computing ähnelt, war das Application Service Providing (ASP). Das ASP zeichnete sich durch eine individuelle Betreuung jedes Kundensystems aus. Das Konzept konnte sich in dieser Form jedoch nicht durchsetzen [Web12; Bed13].

Im Vergleich zu innerbetrieblichen Serverlösungen können im Rahmen von Cloud-Computing wesentlich größere Datenmengen verarbeitet werden [BIT14]. Aus diesem Grund stellt das Cloud-Computing eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Industrie 4.0 dar. Das Cloud

Computing ermöglicht die Nutzung von Methoden zur Analyse, Planung, Regelung und Optimierung, die allgemein auch als Big Data bezeichnet werden [BIT14].

2.3.3 Cyber-physische Systeme (CPS)

Nachdem mit dem Internet der Dinge und Dienste die notwendige Kommunikationsinfrastruktur für die Industrie 4.0 bereits beschrieben wurde, wird mit der Begrifflichkeit CPS, die eigentliche technologische Grundlage für die Industrie 4.0, erläutert [Spa14].

In der Industrie 4.0 treten an die Stelle rein mechanischer und mechatronischer Produkte branchenübergreifend multidisziplinäre, softwaregesteuerte und über das Internet der Dinge und Dienste vernetzte Systeme. Diese werden als CPS bezeichnet [Sen14]. Diese physischen Objekte sind ein Verbund von mechanischen und elektronischen Komponenten, besitzen mit den sogenannten eingebetteten Systemen (engl. embedded systems) eine eigene Steuerung und sind mit Sensoren und Aktoren ausgestattet [Heg15; Woc14; Sim13; Spa14]. Ein eingebettetes System stellt hierbei ein physisches Objekt dar, das mit einem Kleinstcomputer mit integrierter Rechenleistung ausgestattet ist. Durch das eingebettete System, ausgestattet mit einer IP-Adresse, wird dem übergeordneten CPS eine Identität und darüber hinaus die Fähigkeit gegeben, Informationen zu speichern und sich selbst zu steuern [Heg15]. Konkret bedeutet dies, dass ein CPS die Informationen der Sensoren nutzen kann, um Umweltinformationen zu erfassen und gleichzeitig mithilfe der Aktoren auf diese einzuwirken [Vog14b; ACA11]. Darüber hinaus ist es einem CPS möglich, die weltweit verfügbaren Daten und Dienste zu nutzen und über eine Reihe von multimodaler Mensch-Maschine-Schnittstellen (Touchdisplays, Sprach- und Gestensteuerung etc.) zu interagieren [Vog14a; ACA11]. Dank der IP-Fähigkeit (IPv6) der einzelnen CPS können sich mehrere CPS über digitale Kommunikationsnetze (sowohl drahtlos als auch drahtgebunden; sowohl lokal

als auch global) zu einem sogenannten cyber-physischen Produktionssystem (CPPS) vernetzen [Heg15; Sim13; Vog14a].

Die CPS unterstützen aktiv den gesamten Produktionsprozess, indem sie z. B. Informationen weiterleiten, Aufträge annehmen und sich dementsprechend konfigurieren [Gei12, Hir14, Sim13, Woc14]. Die Vernetzung der CPS zu einem CPPS über offene und globale Informationsnetze [VDI13] gewährleistet die Echtzeitfähigkeit der neuen industriellen Entwicklungsstufe [Spa14; Heg15] und ermöglicht die Verschmelzung von realer und virtueller Welt [Vog14b].

Werden die CPS und andere Objekte in der Produktion (Werkstücke, Ladungsträger etc.) vernetzt, wird eine quasi in Echtzeit dezentrale selbstorganisierende Produktion realisiert. Durch jederzeit zugängliche Echtzeitinformationen über den Ist-Zustand bzw. die Ist-Situation in der Produktion (Bestände, Bearbeitungs- und Betriebsmittelstatus, Ausschuss etc.), kann flexibler und schneller reagiert werden als es heute mit entsprechend größeren Regelkreisen der Fall ist [Mül15].

2.3.4 Software und IT-Systeme

Software und IT-Systeme stellen die letzten wesentlichen Befähiger von Industrie 4.0 dar. Für die Industrie 4.0 werden auf der einen Seite Technologien benötigt, mit denen die dezentrale Steuerung von CPS und die damit angestrebte Automatisierung sowie Autonomie realisiert werden. Auf der anderen Seite werden Technologien für die Verarbeitung von großen Datenmengen und zur Modularisierung von Software und der Bereitstellung in der Cloud benötigt. Gerade in diesem Bereich sind zukünftig eine Vielzahl neuer Geschäftsmodelle und Systemlösungen zu erwarten [Heg15].

Aufgrund der enormen Menge an neuen Daten, die bereits heute und verstärkt zukünftig in der

Produktion und Logistik erzeugt werden, wird das Thema Big Data eine immer wichtigere Rolle einnehmen.

Insbesondere die zunehmende Serviceorientierung inklusive der Konzepte SaaS, IaaS und PaaS sowie die damit einhergehende Appisierung sind von hoher Bedeutung für die Industrie 4.0 [Hör15]. Software und IT-Systeme müssen zukünftig noch stärker in der Lage sein Echtzeitinformation schnell zu verarbeiten. Die Datenverarbeitung muss zukünftig noch weiter beschleunigt werden.

2. WISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN

2.4 ALLGEMEINE ANFORDERUNGEN AN ERP-SYSTEME IM KONTEXT VON INDUSTRIE 4.0

ERP-Systeme spielen im Kontext der Industrie 4.0 eine wichtige Rolle, denn sie sind die Datendrehscheibe für alle betrieblichen Prozesse. Sie haben einen integrativen Charakter, da sie nicht nur die Hoheit über die Stamm- sondern auch über Bewegungsdaten haben. Im Folgenden werden die technologischen und funktionalen Anforderungen an ERP-Systeme im Kontext der Industrie 4.0 dargestellt.

2.4.1 Technologische Anforderungen

Der prognostizierte Paradigmenwechsel in der Informations- und Kommunikationstechnologie umfasst die Dezentralisierung, den Wandel von Software-Suits zu Apps (auch als Appisierung bezeichnet), sowie den Wandel von der Integration zur Kommunikation. Offene Standards und die Verarbeitung von Echtzeitdaten sind die neuen Anforderungen der betrieblichen Informationstechnologie (IT) [Bau15b]. Auch WOCHINGER nennt die Appisierung und die offene Standardisierung als Anforderungen an die betriebliche IT und ergänzt das Cloud Computing als Anforderungen bzw. als notwendigen Enabler [Woc14].

SONTOW & SCHÜRMEYER nennen in ihrer Studie insbesondere die mobile Verfügbarkeit, die Vernetzung, die Mensch-Maschine-Interaktion und die Massendatenfähigkeit als neue bzw. zusätzliche Anforderungen an ERP-Systeme im Kontext der Industrie 4.0 [Son14b]. Die Abbildung 5 zeigt die genannten Anforderungen. In den folgenden Kapiteln werden die Anforderungen im Hinblick auf die Industrie 4.0 näher ausgeführt.

Dehierarchisierung und Modularisierung

Das Konzept der Industrie 4.0 sieht den Abbau von Hierarchien der Kommunikationsstruktur vor. Der Philosophie der Industrie 4.0 folgend soll die Produktion nicht mehr zentral, sondern dezentral gesteuert werden.

HOPPE spricht in diesem Zusammenhang von einer Dehierarchisierung der betrieblichen IT, sodass mittels „einer intelligenten Vernetzung [...] jedes Gerät oder jeder Dienst eigenständig eine Kommunikation zu anderen Diensten initiieren“ kann. Es wird prognostiziert, dass „sich die strikte Trennung der Ebenen und der Top-Down-

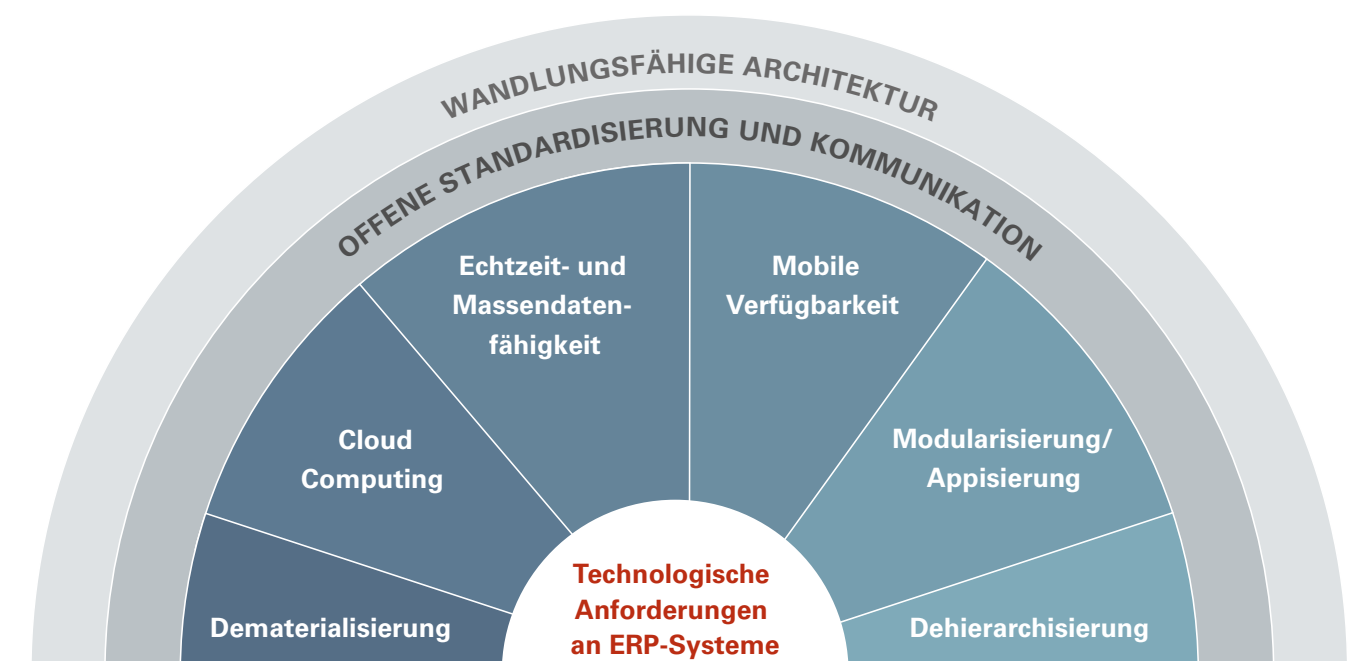


Abbildung 5: Technologische Anforderungen im Kontext der Industrie 4.0

Ansatz des Informationsflusses aufweichen und vermischen“ werden [Hop14]. Auch BENFER teilt diese Sichtweise und ist der Meinung, dass Material, Maschinen und Lagersysteme Informationen austauschen und eigene Entscheidungen im Rahmen ihrer zugesicherten Möglichkeiten treffen werden, ohne den Umweg über das ERP-System als Verteilerbahnhof vollziehen zu müssen“ [Ben15].

Unklar ist jedoch, wie sich die zukünftige Struktur darstellen wird. Grundsätzlich ist mit Industrie 4.0 sowohl eine Top-Down-Architektur möglich und erlaubt. Völlig frei kommunizierende, autonome IT-Systeme sind ebenfalls denkbar und erwünscht [Hop14]. Für KLEINEMEIER bedeutet die Auflösung der Hierarchie der Automatisierungspyramide aber nicht, dass die Systeme auf den jeweiligen Ebenen überflüssig werden. Eine wesentliche Anforderung an IT-Systeme wird die nahtlose Verbindung der verschiedenen Ebenen sein [Kle14]. Abbildung 6 veranschaulicht die Auflösung der Hierarchie von IT-Systemlandschaften. Heutzutage sind die betrieblichen IT-Systeme über Schnittstellen miteinander verbunden.

Aufgrund der Starrheit der jeweiligen Systeme stellen sich neben der Einführung auch die Änderungen an den IT-Systemen als sehr aufwendig heraus [Woc13]. Vor allem durch die unternehmens- und werksspezifische Ausgestaltung der betrieblichen IT-Systeme ist die unternehmensübergreifende Zusammenarbeit in der Praxis komplex. Im Kontext von Industrie 4.0 besteht die Anforderung, dass die Interoperabilität und Offenheit der einzelnen IT-Systeme in einem Unternehmen verbessert wird.

Mit der Auflösung der hierarchischen Gliederung und der Dezentralisierung geht die Entwicklung von neuen Funktionen, die auf Services basieren, einher [Woc14]. Die historisch gewachsenen Anbieter von betrieblichen IT-Systemen haben ihre ERP-Systeme zwar häufig mit einer neuen grafischen Oberfläche ausgestattet, basieren jedoch noch zumeist auf den alten Frameworks [Ber15]. Nur wenige Anbieter nehmen den Mehraufwand auf sich, um ihre Systeme durch SOA mittels moderner Programmiersprachen, wie z. B. Java, aufzubrechen und neu zu konfigurieren [Ber15]. Im Einzelfall ist zu prüfen, inwieweit ein nachträg-

liches Befähigen von bestehenden ERP-Systemen für die Industrie 4.0, ein sogenannter IT-Retrofit, möglich ist.

Die einzelnen Funktionsmodule oder Apps müssen userzentrisch sein, obwohl die einzelnen Vorgänge und Schritte prozesszentrisch sind [Mei15]. Für die Umsetzung der Industrie 4.0 und der damit einhergehenden Dehierarchisierung müssen die existierenden Prozesse und Wege der Entscheidungsfindung modularisiert und zahlreiche unternehmensspezifische Rahmenbedingungen berücksichtigt werden [Ben15]. In der Fachliteratur wird die Forderung laut, dass durch SOA einfache Apps entwickelt werden. Diese Apps sollen sich gleichberechtigt, ohne in einer IT-Hierarchie fest verankert bzw. strukturiert zu sein, untereinander austauschen können [Mei15]. Die Zukunft soll sich weiterhin dahin entwickeln, dass für ERP-Anwender die Möglichkeit geschaffen wird, benötigte Apps selber zu entwickeln [Woc14].

Das Geschäftsmodell der Anbieter als reiner Lieferant des IT-Systems wird sich im Kontext der Industrie 4.0 durch die weitgehende Serviceorientierung Everything-as-a-Service (XaaS) grundlegend verändern müssen. Es wird vermutet, dass Anbieter zukünftig Entwicklungsplattformen als Service (PaaS) sowie zusätzliche Services, wie z. B. Datenauswertungen, anbieten.

Offene Standardisierung und Kommunikation

Eine der größten Herausforderungen im Zuge der digitalen Transformation ist die Standardisierung. WOCHINGER spricht im Zusammenhang mit den betrieblichen IT-Systemen von einer erforderlichen Fokussierung auf die Informationen und die Semantik [Woc14]. Derzeit fehlen offene Standards, wie sie im Internet vorhanden sind [Mei15; Woc14]. Darüber hinaus werden häufig hauptsächlich proprietäre Systeme eingesetzt, sodass eine aufwendige Gestaltung der Schnittstellen über Enterprise Application Integration (EAI) oder

Enterprise Service Bus (ESB) notwendig ist. ERP-Systeme werden im Zusammenhang mit der Industrie 4.0 offene Schnittstellen zu den nachgelagerten Systemen benötigen [Kle14].

Aufgrund der Vielzahl an variablen und dezentralen Produktionsprozessen sowie der damit verbundenen Komplexität der Anlagen, ist auch eine Standardisierung von produktionsübergreifenden Datenformaten und Protokollen unbedingt notwendig [Kle14]. Insbesondere die Auftragsabwicklung liegt bei der aktuellen Forschung und den Aktivitäten im Bereich der Industrie 4.0 nicht im Fokus und wird wenig bis gar nicht berücksichtigt [Mei15]. Der überbetriebliche Informationsaustausch findet entweder über den Postweg oder über EDI statt. Bei postalisch zugestellten Dokumenten müssen diese mit großem manuellen Aufwand oder mittels Optical Character Recognition (OCR)-Scannern erfasst und verarbeitet werden. Durch den Austausch von Objekten, wie z. B. Rechnung, Lieferschein und Aufträgen mittels EDI, kann dies vermieden werden. Nach Auffassung von MEISSNER weist EDI aber Defizite auf [Mei15]. Durch eine anbieterübergreifende Standardisierung der Datenstrukturen, Semantik und Syntax aller Objekte (Rechnung, Auftrag, Lieferavis etc.) kann eine direkte und bidirektionale Kommunikation zwischen verschiedenen ERP-Systemen ermöglicht werden [Mei15].

Eine industrieweite Standardisierung und die Definition einer Referenzarchitektur sind nach Auffassung von KAGERMANN et al. von höchster Bedeutung für die Realisierung von Szenarien der Industrie 4.0 [Kag13]. Mit der Veröffentlichung der Normungs-Roadmap [DKE13] wurde mit einer konsensbasierten Normung und Standardisierung für die Industrie 4.0 begonnen und das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0, kurz RAMI 4.0, erarbeitet.

Das RAMI 4.0 ist ein dreidimensionales Modell. Auf der senkrechten Achse werden die einzelnen Schichten (engl. layer) für die Darstellung der unterschiedlichen Sichtweisen, wie Datenabbild,

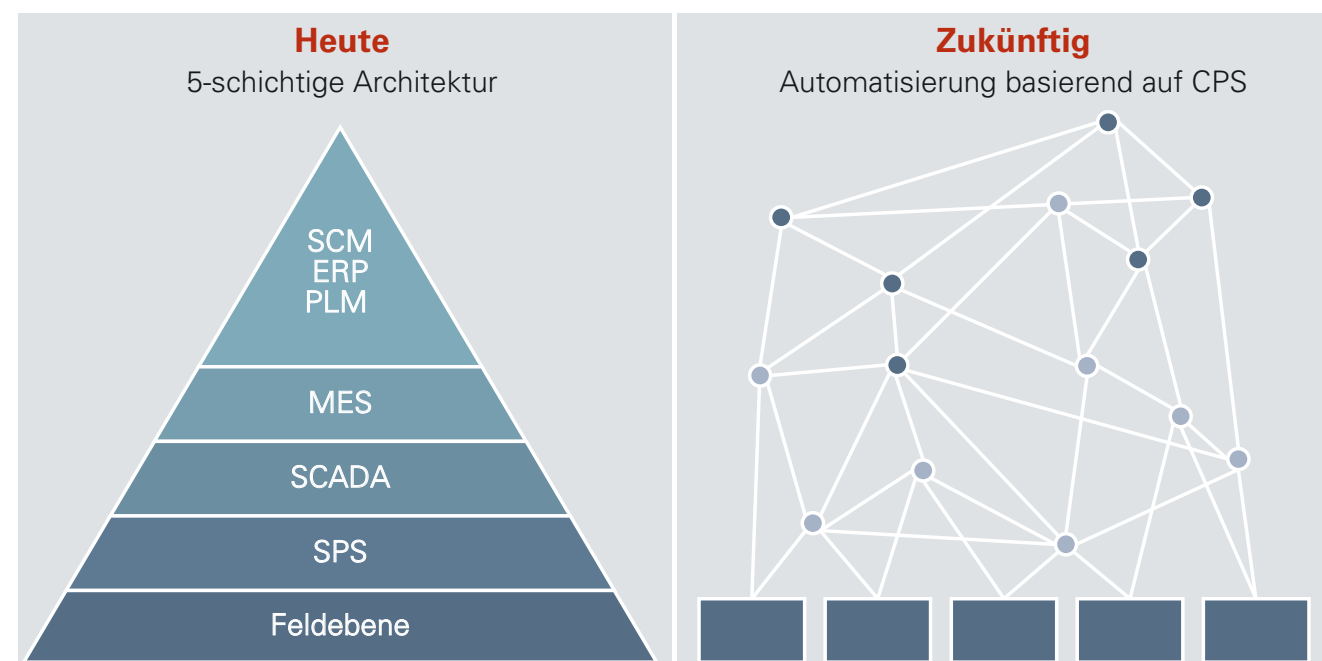


Abbildung 6: Zukünftige IT-Architektur [Woc13]

funktionale Beschreibung, Kommunikationsverhalten, Hardware oder auch Geschäftsprozesse, verortet. Die waagrechte Achse stellt den Lebenszyklus von Anlagen bzw. Produkten dar, um die durchgängige Datenerfassung über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts abbilden zu können. In der dritten Achse sind Funktionalitäten und Verantwortlichkeiten innerhalb der Fabriken und Anlagen dargestellt. Während in der Automatisierungspyramide von unterschiedlichen Hierarchieebenen der IT-Systeme gesprochen wurde, geht es an dieser Stelle um eine funktionale Hierarchie.

Es ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass der Business Layer, der sowohl die Integrität der Funktionen in der Wertschöpfungskette sicherstellt sowie die Dienste des Functional Layers aufeinander abstimmt, sich nicht auf konkrete Systeme wie beispielsweise ein ERP-System bezieht. Bestimmte im Prozesskontext arbeitende ERP-Funktionen finden sich typischerweise im Functional Layer wieder [Ado15].

Für die Realisierung eines Communication Layers wurde unter Beachtung der International Electrotechnical Commission (IEC) 62541 der Kommunikationsstandard Open Platform Communications Unified Architecture (OPC-UA) aufgegriffen. Auf Basis von OPC-UA kann nach Auffassung von HOPPE die nahtlose vertikale Integration, ergo die Verknüpfung von ERP, MES, Shop-Floor und Datenbanken, mit Echtzeitinformatoren realisiert werden [Hop14].

Erst durch die nahtlose Verknüpfung von Maschinendaten, z. B. über ein MES, mit den kaufmännischen Prozessen des ERP-Systems wird eine lückenlose Verfolgung und Überwachung der Fertigungsabläufe ermöglicht [Blö15]. Allerdings wird nach Auffassung von BERLAK OPC-UA derzeit noch unzureichend berücksichtigt [Ber15]. Das Unternehmen Microsoft hat OPC-UA bereits in der eigenen Cloud Azure integriert und ermöglicht auf diese Weise die Anbindung von Sensoren bis in die Cloud [Hop15]. Des Weiteren sollten die Schnittstellen von IT-Systemen analog

zu der SPS-Kommunikation nach dem Push- und Pull-Prinzip funktionieren, denn ohne das Push-Prinzip ist eine effiziente und zielführende Datenerfassung und -verarbeitung nicht möglich [Ber15].

Massendaten- und Echtzeitfähigkeit

Die Massendatenfähigkeit der betrieblichen IT-Systeme wird in Zukunft eine enorme Rolle für Unternehmen spielen. Während im Jahr 2014 bereits 90 Prozent der auf der Welt generierten Daten aus den letzten zwei Jahren stammen, wird im Jahr 2020 das Datenvolumen auf das 50-fache ansteigen [Woc14]. Die Data Mining Studie des Fraunhofer Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) aus dem Jahr 2014 belegt, dass bereits 77 Prozent der befragten Unternehmen (n = 86) von einer steigenden Menge an verfügbaren Daten im eigenen Unternehmen ausgehen, 68 Prozent von einer zunehmenden Bedeutung von Data Mining überzeugt sind und 47 Prozent den damit einhergehenden Aufwand als gerechtfertigt ansehen [Woc14]. MEISSNER stellt allerdings eine unzureichende Massendatenfähigkeit heutiger ERP-Systeme fest [Mei15]. In Zukunft müssen immer mehr Maschinendaten, so z. B. auch Geschwindigkeit, Druck, Temperatur sowie Qualitäts- und Energiedaten, mit den betriebswirtschaftlichen Daten und Vorgängen im ERP-System verknüpft werden [Blö15]. Die Maschinen und Anlagen werden ihren Arbeitszustand bzw. Status an das ERP-System übermitteln, so dass die Werksleiter auf diese Weise einen Echtzeitüberblick über die Produktion erhalten und bei auftretenden Komplikationen kurzfristig reagieren sowie die Produktionspläne flexibel an die aktuellen Gegebenheiten anpassen können [Kle14]. Dies bedeutet natürlich, dass Daten in großen Mengen beschafft, verarbeitet und auch interpretiert werden müssen.

ERP-Systeme müssen künftig über Technologien zur Beschleunigung der Datenauswertung verfügen, um diese nahezu in Echtzeit realisieren zu können [Tis15]. Darüber hinaus ist die Fähigkeit

notwendig, Simulationen wie z. B. Potenzial- oder Was-Wäre-Wenn-Simulationen in Echtzeit durchführen zu können. Echtzeit Simulationen ermöglichen es, Handlungsalternativen zu vergleichen und somit eine höhere Entscheidungsqualität zu erreichen [Woc14; Sti15].

BORGERS ist der Ansicht, dass ERP-Systeme vergangenheitsbezogene Daten passiv verarbeiten, für strategische Entscheidungen bereitstellen und insbesondere den Anforderungen der Produktion nicht gerecht werden [Bor15]. Für die Steuerung der Produktion sind jedoch Systeme notwendig, die Echtzeitdaten aktiv verarbeiten. Aktuelle Ist-Situationen, mögliche Maschinenstörungen oder Lieferrückstände müssen berücksichtigt werden [Bor15]. Um diese Lücken von ERP-Systemen zu minimieren, wurden in der Vergangenheit zahlreiche Insellösungen oder Eigenentwicklungen implementiert [Bor15]. Durch die Dematerialisierung der Software und Verwendung von sogenannten CPS-Plattformen kann die Zahl der Insellösungen reduziert werden.

Mobilität der Prozesse

Nach Auffassung von 73 Prozent der von SPATH befragten Unternehmen (n = 661) eröffnet der Einsatz mobiler Endgeräte neue Möglichkeiten bei der Nutzung aktueller Produktionsdaten [Spa14]. Durch den mobilen Zugriff sollen schnellere Entscheidungen unabhängig von Ort und Zeit getroffen werden können [Ste15].

Bei dem sogenannten Mobile ERP gibt es zwei grundsätzliche Möglichkeiten. Zum einen können bestimmte Teile des ERP-Systems über den Webbrowser aufgerufen werden. Zum anderen kann eine native Applikation (App) auf einem mobilen Endgerät installiert und genutzt werden. Während bei der Cloud-Lösung, also der Zugriff auf Teile des ERP-Systems über den Webbrowser, dauerhaft eine Internetverbindung benötigt wird, liegt der Nachteil einer nativen App in der notwendigen Synchronisierung und dem Abgleich der Daten der nativen App mit dem ERP-System.

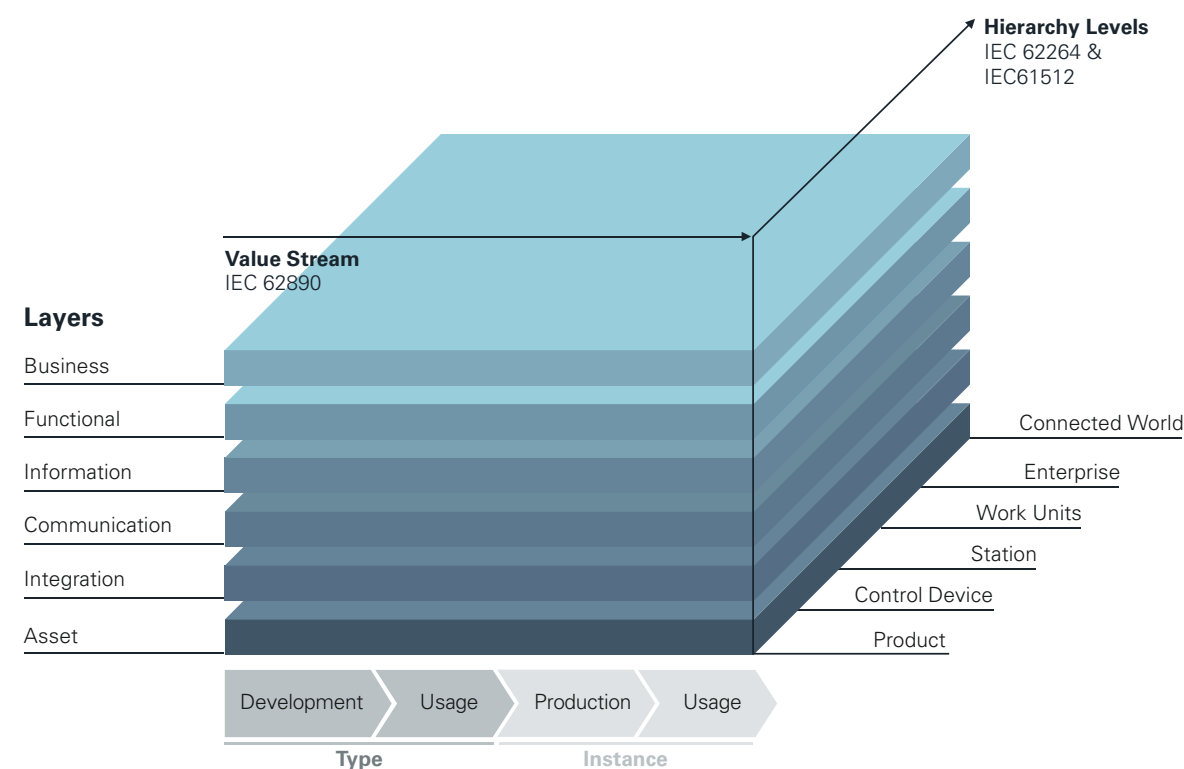


Abbildung 7: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 [Ado15]

Für beide mobile ERP-Lösungen gilt jedoch, dass diese nicht die Komplexität und den Funktionsumfang eines ERP-Systems aufweisen, sondern vornehmlich als Spezialanwendungen für Funktionsbereiche ausgestaltet sind, bei denen gezielt mobile Anwender unterstützt werden sollen [Sch14c].

In diesem Zusammenhang gibt es die Vision, die ganzheitlichen ERP-Systeme durch SOA in eine Vielzahl von cloud-basierten Spezialanwendungen aufzubrechen bzw. „bestimmte Funktionen als Services zu isolieren und miteinander interagieren zu lassen“. Funktionsbereiche, in denen mobile Anwendungen eine hohe Bedeutung haben, sind insbesondere der Vertrieb und der Einkauf mit dem dazugehörigen CRM und SRM, das Transportmanagement und das SCM. Darüber hinaus spielt auch das Berichtswesen sowie das Monitoring von Kennzahlen z. B. über die Kapazitätsauslastung in der Fertigung eine wichtige Rolle. Im Rahmen des Konzepts „Bring your own Device“ (BYOD) sind weitere Funktionen wie z. B. die betriebliche Zeiterfassung, die Personaleinsatzplanung oder das Lagermanagement als Teil der mobilen ERP-Lösung denkbar. Damit der Nutzen von mobilen Anwendungen maximiert werden kann, sollten diese kontextsensitiv sein. Kontextsensitiv meint in diesem Zusammenhang, dass mobilen Anwendern abhängig von ihrem Standort entsprechende Informationen z. B. über Kunden, Maschinen oder unterschiedlichen Aufträgen direkt angezeigt werden.

Wandlungsfähige Architektur

Einhergehend mit den Überlegungen der Industrie 4.0 steigen die Anforderungen an die Flexibilität sowie Anpassungsfähigkeit von ERP-Systemen. Ein ERP-System muss für zukünftige Änderungen, unvorhergesehene Ereignisse sowie neue Anforderungen flexibel erweiterbar sein. Insbesondere für mittelständische Unternehmen sind die nachträgliche Erweiterbarkeit und bedarfsgerechte Ausbaustufen wichtig.

Die Eigenschaften eines wandlungsfähigen ERP-Systems sind die Interoperabilität, Skalierbarkeit, Modularität, allgegenwärtige Verfügbarkeit, Unabhängigkeit, Selbstorganisation und -ähnlichkeit sowie Wissen. Das Architekturmodell wandlungsfähiger ERP-Systeme ergänzt das etablierte dreischichtige Modell um eine Kontrollschicht, mit der die Modellierung der Geschäftsprozesse abgebildet wird. Die Modellierung der Geschäftsprozesse ist weiterführend mit allen anderen Schichten verbunden, sodass Veränderungen in die anderen Elemente übertragen werden. Des Weiteren werden alle Schichten vertikal durch eine Adaptionsschicht durchzogen, welche die wandlungsfähigen Elemente jeder Schicht enthält. Hierzu gehören unter anderem die typischen Customizing-Einstellungen von ERP-Systemen [Gro14].

Zur Erhöhung der Wandlungsfähigkeit nennt GRONAU die softwaretechnischen Maßnahmen Model-View-Controller (MVC), komponentenbasierte Architektur sowie SOA [Gro14]. Durch die durchgehende Anwendung der Dreiteilung von MVC in jeder Schicht, wird ein sehr flexibles Modell erreicht, in dem Änderungen und Erweiterungen bei moderater Komplexität vorgenommen werden können [Gro14]. Durch die komponentenbasierte Architektur wird eine Modularisierung vorgenommen, durch die eine Wiederverwendbarkeit sowie bessere Wartbarkeit erreicht wird [Gro14]. Eine höhere Automatisierung, Wiederverwendbarkeit und Modularisierung kann wiederum durch SOA ermöglicht werden [Gro14; Ste15]. Während der Vorteil in der Kapselung der einzelnen Funktionen als Services liegt und durch Ortsunabhängigkeit ein verteiltes Rechnen ermöglicht wird, ist der hohe Aufwand zur Überführung von historisch gewachsenen IT-Systemen in die SOA der große Nachteil [Gro14]. Die Identifizierung von Funktionen oder Modulen sowie die Trennung der einzelnen Codefragmente ist kompliziert und häufig nicht möglich [Gro14].

Cloud Computing und Dematerialisierung der Software

WOCHINGER nennt die Abbildung der notwendigen Anforderungen über Apps, die schnelle und einfache Anpassung auf Veränderungen sowie den gemeinsamen Zugriff auf relevante Daten über eine Cloud-Lösung als die notwendigen Änderungen von der heutigen zur zukünftigen IT-Architektur [Woc13]. Der gemeinsame Zugriff auf Daten schließt dabei nicht nur die Mitarbeiter eines Unternehmens sondern insbesondere auch die anderen Mitglieder eines Wertschöpfungsnetzwerkes, d. h. Zulieferer, das eigene Unternehmen und die Kunden, ein.

Cloud-basierte Plattformen können als Mediator dienen und Produzenten, Lieferanten, Dienstleister und Kunden miteinander vernetzen [Kle14]. Des Weiteren ermöglicht das Cloud Computing die Bereitstellung von umfangreichen Funktionen von Big Data, Business Intelligence (BI), Simulationen sowie den bereits beschriebenen mobilen Einsatz von ERP-Software. Insbesondere durch die Effizienzvorteile von Clouds [Woc14] sind die Kosten geringer, sodass zusätzliche Funktionen wie z. B. Big Data auch für kleinere und mittelständische Unternehmen erschwinglich werden.

Eine weitere technologische Anforderung an ERP-Systeme ist die Dematerialisierung von Software. Dematerialisierung bedeutet, dass Software nicht mehr integrierter Teil einer Maschine ist, sondern über einen Kommunikationskanal mit dieser verbunden ist [Bau15a]. Die Dematerialisierung der Software von Maschinen hat somit auch Auswirkung auf die betrieblichen IT-Systeme. Sie erleichtert unter anderem die Realisierung von Betriebs- und Maschinendatenerfassung (BDE bzw. MDE) und die Verknüpfung von materiellen mit kaufmännischen Abläufen.

Bezüglich der Rollenverteilung und der Dehierarchisierung der betrieblichen IT werden durch die Dematerialisierung von Software „typische MES-Funktionen, wie z. B. die Fertigungssteue-

rung, das Qualitätsmanagement oder das Tracking and Tracing, als sogenannte CPS-Dienste in die Automatisierungs- und Feldebene“ [VDI15] übergehen.

2.4.2 Funktionale Anforderungen

Moderne ERP-Systeme beinhalten bereits heute viele der benötigten Funktionalitäten und sind für die Industrie 4.0 gut vorbereitet [Iss15]. Nicht alle betrieblichen Geschäftsprozesse werden sich signifikant verändern, sodass ERP-Systeme auch weiterhin Einsatz finden werden [Kle14]. Insbesondere die Funktionsbereiche Finanz- und Rechnungswesen sowie das Personalwesen sind von den Veränderungen, die das Industrie 4.0-Konzept mit sich bringt, weniger betroffen.

ERP-Systeme müssen sich jedoch über die genannten Funktionsbereiche hinaus funktional weiterentwickeln. Die Abbildung 8 stellt die funktionalen Anforderungen an ERP-Systeme im Kontext der Industrie 4.0 dar. Diese Anforderungen werden im Folgenden näher erläutert.

Vernetzung und Kollaboration

Nach SPATH wird in der Produktion die Nutzung von Social Media deutlich zunehmen [Spa14]. In diesem Zusammenhang wird häufig von Social ERP gesprochen, das die Beschleunigung der abteilungsübergreifenden Zusammenarbeit zum Ziel hat [Ste15]. Neben der innerbetrieblichen Kommunikation und Vereinfachung der unterschiedlichen Geschäftsprozesse, wie z. B. vom Rechnungseingang über die Rechnungsprüfung bis hin zur Bearbeitung in der Buchhaltung, wird unter Social ERP auch die Anbindung an soziale Netzwerke (Facebook, Twitter, etc.) zur Kundenbindung, Personalrekrutierung sowie Produktentwicklung verstanden.

Supply Chain Management (SCM)

ERP-Systeme weisen aufgrund der Stärke in konventionellen Funktionsbereichen großes

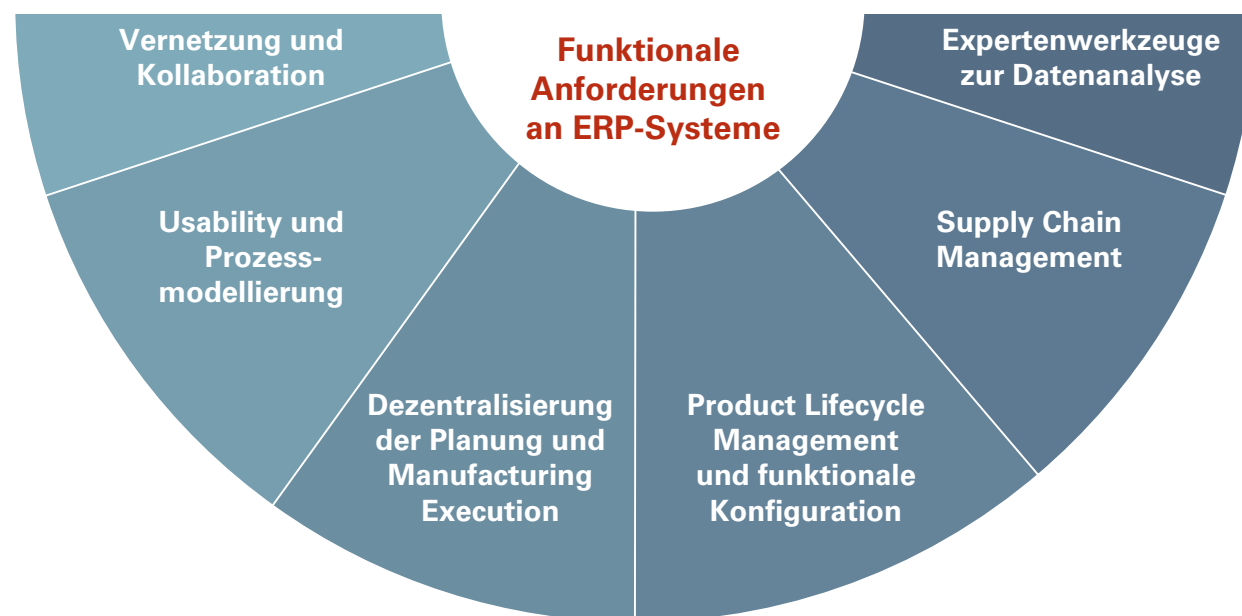


Abbildung 8: Funktionale Anforderungen im Kontext der Industrie 4.

Potenzial auf sich zu integrierten SCM-Suiten zu entwickeln [Woc13]. Bereits heute haben viele ERP-Anbieter diesen Trend erkannt und erweitern ihre Systeme verstärkt um SCM-Funktionalitäten [Woc13]. TISCHNER & HOHMANN sehen für Industrie 4.0 insbesondere „eng verzahnte Supply Chains mit einem reibungslosen und bestmöglich abgesicherten Informationsfluss bis hinein in das ERP-System“ [Tis15] als notwendige Anforderung. Nach Auffassung von ISSING & OBERMEYER sind für die Industrie 4.0 leistungsfähige Multi-Site und Inter-Site-Funktionalitäten von ERP-Systemen erforderlich, um die immer stärkere Verzahnung innerhalb der Supply Chain abbilden und standortübergreifend planen zu können [Iss15]. Die Anforderung, neben den nationalen auch die internationalen Standorte eines Unternehmens zu planen und zu steuern, macht die Internationalisierung von ERP-Systemen notwendig [Iss15]. Hierbei ist unter anderem die Unterstützung unterschiedlicher Sprachen, gesetzlicher Regelungen und steuerlicher Rahmenbedingungen gemeint. Zu diesem Funktionsbereich gehören auch die Einbindung von Funktionen für das CRM und SRM sowie die Anbindung von Kunden- und Lieferantenportalen.

Product Lifecycle Management und funktionale Konfiguration

HEGMANN et al. fordern, dass Qualitäts-, Entwicklungs- und Produktionsdaten einem Produkt eindeutig zugeordnet werden. Die Datenspeicherung soll produktbezogen erfolgen [Heg15]. Bereits heute werden die produktbeschreibenden Informationen, wie z. B. Arbeitspläne und Stücklisten, häufig in den Produktionsplanungssystemen verwaltet. Sie sind Teil der mehr betriebswirtschaftlich orientierten ERP-Systeme [Sch14a]. Da die Produktdaten bei der Produktentwicklung entstehen und weniger als Nebenprodukt der Produktionsplanung anzusehen sind, werden sich nach Auffassung von SCHEER das Konzept des Product Lifecycle Management (PLM) durchsetzen und die Zuständigkeiten innerhalb der IT-Systeme ändern [Sch14a]. Die Produktdaten werden als eine zentrale Ressource im PLM verwaltet und für benötigte Planungszwecke an die entsprechenden Planungsfunktionen überführt. In der Fachliteratur wird das PLM-System zumeist als Single Source of Truth System bezeichnet [Sti15]. Die Daten und Informationen aus dem PLM können darüber hinaus als eine adaptive

Montageanweisung für den Werker verwendet werden, wodurch weiterführend auch das Konzept der Augmented Reality realisiert werden kann [Sti15].

In der Studie ERP2020 wird die funktionale Konfiguration als eine wesentliche Anforderung zukünftiger ERP-Systeme angesehen. Funktionale Konfiguration ermöglicht ein strukturiertes sowie schnelleres Einbringen von Produkten in den Markt. Mit einer fehlerfreien Produkt- bzw. Auftragskonfiguration können Stücklisten automatisiert generiert werden. Auch die Angebotserstellung kann beschleunigt werden [Woc13]. Insbesondere mit den Konzepten Virtual Engineering, Augmented Reality sowie 3D-Druck, die im Kontext der Industrie 4.0 von hoher Relevanz sein werden, wird das Thema der Produktkonfiguration in Verbindung mit dem PLM von hohem Interesse für ERP-Anwender sein. Auf diese Weise können die in der Entwicklung und Konstruktion erstellten 3D-Zeichnungen unmittelbar für die Produktkonfiguration verwendet sowie aktuelle Produktinformationen von unterschiedlichen Varianten eingesehen werden.

Usability und dynamische Prozessmodellierung und -kontrolle

Die Gestaltung der Benutzeroberflächen von ERP-Systemen bzw. die Usability ist für Anwender von ERP-Systemen von großer Bedeutung. ERP-Anwendungen sollen aus diesem Grund prozessorientiert, ereignisbezogen und analysegetrieben sein [Bin15a]. Während die bisherige Benutzerführung von ERP-Anwendungen standardmäßig funktionsorientiert gestaltet ist, wird zunehmend eine rollen- und prozessorientierte Benutzerführung gefordert. Insbesondere durch den großen Umfang an Funktionalitäten und eine große Auswahl an möglichen Funktionen, sind die grafischen Oberflächen vieler ERP-Systeme unübersichtlich geworden.

Prozessorientierte Benutzerführung bedeutet, dass dem jeweiligen Benutzer mit seiner spezifi-

schon Rolle im Unternehmen, nur die Funktionalitäten angezeigt werden, die er für die Ausübung seiner Funktion benötigt [Bin15b]. Dies steigert die Usability. Neben der Reduktion der angezeigten Funktionen auf das Wesentliche werden auch adaptive Oberflächen benötigt. Insbesondere wird zunehmend die individuelle Gestaltung der grafischen Oberfläche inklusive der unterschiedlichen Cockpits und Dashboards notwendig, um unterschiedliche Devices (Desktop, Tablets, Smartphones etc.) sowie jeden einzelnen Anwender optimal zu unterstützen. Eine wichtige Anforderung in diesem Zusammenhang ist die sogenannte Release- bzw. Upgrade-Fähigkeit von ERP-Systemen, die besagt, dass alle individuell vorgenommenen Einstellungen auch nach einem Versionswechsel der Software bestehen bleiben. Eine weitere Anforderung an ERP-Systeme ist, dass ERP-Anwendungen ereignisbezogen sind. In Verbindung mit neuen Benutzeroberflächen sollen ERP-Systeme in der Lage sein, individualisierte Handlungsaufforderungen anzugeben. Des Weiteren sollen diese Handlungsempfehlungen auf Basis von in Echtzeit analysierten operativen Daten erfolgen [Bin15a].

Neben der Usability ist eine dynamische Prozessmodellierung und -kontrolle inklusive der Abbildung der zugehörigen Rollen im ERP-System notwendig [Was15; Son14a]. Auch STEHLIK nennt das Geschäftsprozessmanagement zur Realisierung leistungsfähiger und flexibler Automation als ein wichtiges Kriterium für die Reaktionsfähigkeit eines ERP-Systems [Ste15]. Neben der Möglichkeit die Prozesse und Rollen flexibel zu gestalten, muss hierbei auch die erforderliche Robustheit berücksichtigt und gewährleistet werden. Ein Forschungsprojekt, das die Flexibilität und Robustheit der Prozesse sowie die Einbindung unterschiedlicher Komponenten entsprechend ihrer Rolle ermöglichen soll, ist das Projekt „Sense & Act“ des Fraunhofer IPA [Bau15b].

Expertenwerkzeuge zur Datenanalyse

Um auch für mittelständische Unternehmen Expertenwerkzeuge zur Datenanalyse nutzbar zu machen, muss die Bedienung dieser Expertenwerkzeuge möglichst einfach sein [Heg15]. Es muss die Möglichkeit bestehen Datenexporte aus dem ERP-System in Microsoft Office Anwendungen wie z. B. Excel ohne Zeitverzug durchzuführen. Darüber hinaus muss auch der Import von ausgewerteten Daten in ein ERP-System punktuell möglich sein.

Eine ganzheitliche Betrachtung der Produktionsprozesse und deren Integration in die Informationsflüsse eines ERP-Systems wird häufig dadurch erschwert, dass die Aufbereitung und Auswertung der Daten sehr zeitaufwändig ist und wichtige Key Performance Indicators (KPI) nicht zeitnah erhoben werden. Wichtige Kennzahlen über Rüst- und Ausfallzeiten, Fertig-, Gut- und Ausschussteile sowie Nutzungsgrad oder Overall Equipment Effectiveness (OEE) werden heutzutage häufig in Insellösungen erfasst und stellen eine inhomogene Datenbasis dar [Blö15]. Vor diesem Hintergrund besteht die Anforderung, dass ein ERP-System integrierend arbeitet, produktions- und logistikahe Kennzahlen ermittelt und diese in geeigneter Art und Weise zielgruppenspezifisch zur Verfügung stellen kann. Angesichts der mit der Industrie 4.0 zunehmenden Anzahl an Daten in der Produktion muss das ERP-System eine Hub Funktion für Kennzahlen einnehmen und dezentralen Lösungen vorbeugen.

Ein ERP-System muss ferner individuelle sowie automatische Suchanfragen (engl. business activity queries) ermöglichen. Funktionen wie z.B. Business Intelligence (BI) sind dabei wichtig, um Daten strukturiert auswerten zu können, um somit eine bessere Sicht auf Zusammenhänge und Abhängigkeiten zu schaffen [Ste15]. Individuelle Dashboards unter dem Aspekt Industrie 4.0 werden zukünftig eine größere Rolle spielen, um ERP-Nutzern einen schnellen und umfassenden

Überblick über den jeweiligen Verantwortungsbereich und neue Kennzahlen aus der Produktion und Logistik zu liefern [Ste15]. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass ein ERP-System mit einem dynamischen Produktionsreporting, leistungsstarken Analysewerkzeugen und Dashboards ein zentraler Baustein und notwendige Voraussetzung für die Vorhaben in Richtung Industrie 4.0 ist [Tis15].

Dezentralisierung der Planung und Manufacturing Execution

In Bezug auf Industrie 4.0 liegt die große Stärke eines ERP-Systems darin begründet, dass es in der Lage ist kaufmännische Prozesse und materielle Abläufe in einem gemeinsamen Datenmodell zu verzahnen [Spa14]. Das gemeinsame Datenmodell ermöglicht die zeitnahe und detaillierte kaufmännische Erfassung und finanzielle Bewertung von Arbeitsprozessen sowie Materialbewegungen.

Damit die kaufmännischen und planerischen Funktionen über das Datenmodell gewährleistet werden können, ist jedoch ein hoher Aufwand für die Anpassungen sowie Pflege dieses Datenmodells notwendig. Die Problematik, „dass dieses Modell sowohl den kaufmännischen als auch den planerischen Belangen genügen muss, stellt den großen Nachteil von ERP-Systemen dar“. Des Weiteren fehlen nicht selten geeignete „Modelle für die Planung von relevanten technischen, organisatorischen oder logistischen Aspekten und Informationen“, die den Anforderungen aufgrund des steigenden Genauigkeitsgrads bzw. des damit verbundenen enormen Buchungsaufwands zur Erfassung der materiellen Abläufe gerecht werden [Spa14].

Die neuen informationstechnischen Möglichkeiten einer Industrie 4.0 können dieses Problem prinzipiell lösen [Spa14]. Allerdings basieren „die verwendeten kaufmännischen Modelle und planerischen Prozesse [...] nahezu ausnahmslos auf dem Gedanken der zentralen Planung, Erfassung

und Kontrolle aller materiellen und immateriellen Abläufe“ [Spa14]. Außerdem werden die dezentrale Struktur und Selbststeuerungsmöglichkeiten von Industrie 4.0 hierbei nur wenig berücksichtigt [Spa14]. Da die heutigen betrieblichen IT-Systeme auch in Zukunft noch die Arbeitsgrundlage von vielen Unternehmen darstellen werden, wird es zukünftig darauf ankommen, diese Systeme funktionell und technologisch so flexibel zu gestalten, dass sich diese mit den neuen IT-Systemen der Industrie 4.0 verbinden lassen [Spa14].

In Bezug auf die Industrie 4.0 wird erwartet, dass sich die deterministisch-zentrale Produktionsplanung zukünftig stark verändern wird [Spa14]. Die konventionellen Formen der deterministisch-zentralen Planung berechnen einen Produktionsplan im Voraus und terminieren die Aufträge für alle Produktionsressourcen. Dies führt dazu, dass in den meisten Fällen eine Feinsteuerung manuell erfolgen muss [Spa14]. In einem Industrie 4.0-Szenario holen selbst organisierende CPS die Aufträge auf Basis externer Impulse ab, sodass die Prozesse mit deutlich weniger manuellen Eingriffen ablaufen werden [Iss15]. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass ERP-Systeme künftig flexible Methoden wie z. B. Kanban unterstützen müssen [Iss15].

Neben der Dezentralisierung der Produktionsplanung wird es mit der Implementierung von Industrie 4.0 Prozessen künftig stärker notwendig sein, ERP- und MES-Systeme besser zu integrieren, um eine bessere Verknüpfung von Management und Produktion zu realisieren [Ste15]. Insbesondere die bemängelten Schwächen von ERP-Systemen bezüglich der Feinsteuerung der Produktion lassen sich derzeit nur mit MES-Funktionalitäten verringern. Es ist weiterführend möglich, dass sich durch die Dematerialisierung der Software die MES-Funktionen aber unter Umständen auch ERP-Funktionen in Richtung der CPS verschieben werden.

3. ERGEBNISSE DER MARKTSTUDIE

3.1 VORGEHENSWEISE DER UNTERSUCHUNG

Die vorliegende Marktstudie wurde unter Anwendung eines dreistufigen Verfahrens durch das Team ERP LOGISTICS des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik IML durchgeführt. Die erste Stufe beinhaltete die Definition von 7 Thesen, die sich auf die zukünftige Rolle von ERP-Systemen im Kontext des Industrie 4.0-Konzepts beziehen. Die Thesen wurden abgeleitet aus aktuellen wissenschaftlichen und projektbezogenen Erkenntnissen.

Die zweite Stufe umfasste die Überprüfung dieser Thesen. Zu diesem Zweck führte das Fraunhofer IML eine quantitative schriftliche Befragung mittels eines standardisierten Fragebogens durch. Der Befragung ging eine Untersuchung des deutschen ERP-Marktes und Identifizierung der deutschen ERP-Anbieter voraus. Die Befragung richtete sich lediglich an ERP-Anbieter, die auf dem deutschen Markt tätig sind und laut eigenen Angaben ein ERP-System anbieten, das überwiegend in produzierenden Unternehmen Anwendung findet. Die Befragung wurde im Zeitraum Oktober - November 2015 durchgeführt. Für die Online-Befragung wurde die Software „Limesurvey“ des Fraunhofer IML genutzt.

Insgesamt haben 40 ERP-Anbieter an der schriftlichen Befragung teilgenommen. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass nicht alle ERP-Anbieter die Gesamtheit aller Fragen vollständig beantwortet haben. Die Befragung ergab dabei 32 vollständig ausgefüllte Fragebögen. Die hohe Rücklaufquote zeigt das große Interesse der ERP-Anbieter an dem Thema Industrie 4.0.

Um weitere qualitative Informationen über aktuelle Entwicklungen von ERP-Anbietern im Kontext der Industrie 4.0 zu gewinnen, wurden im Nachgang der Online Befragung zahlreiche Experteninterviews mit ERP-Anbietern durchgeführt (Dritte Stufe). Die nachfolgende Abbildung gibt zusammenfassend einen Überblick über das dreistufige Verfahren der Marktstudie.



Abbildung 9: Vorgehensweise der Untersuchung

3. ERGEBNISSE DER MARKTSTUDIE

3.2 TEILNEHMER DER UNTERSUCHUNG

In der nachfolgenden Tabelle werden die 21 ERP-Anbieter aufgelistet, die an der Online-Befragung teilgenommen haben und einer namentlichen Nennung ihrer Unternehmen in der Marktstudie zugestimmt haben. Alle weiteren Teilnehmer der Marktstudie wollten anonym bleiben.

Es ist darauf hinzuweisen, dass im Hinblick auf die Repräsentativität und Aussagekraft der Antworten keine optimale Zahl an Umfrageergebnissen vorliegt. Die Auswertung sowie die daraus gewonnenen Erkenntnisse geben kein vollständiges Bild über alle in Deutschland agierenden ERP-Anbieter und deren Einschätzung zur Rolle von ERP-Systemen im Kontext von Industrie 4.0. Allerdings ist festzuhalten, dass aufgrund der Teilnahme von ERP-Anbietern mit einem großen Spektrum an ERP-Systemen für unterschiedliche Branchen, Fertigungstypen sowie Unternehmensgrößen eine realitätsnahe Stichprobe vorliegt.

ERP-Anbieter	ERP-System
abas Software AG	abas ERP
ams.Solution AG	amsERP
APS delta GmbH	ISSOS
autinity systems GmbH	autinityERP
avus:erp	avus
BBO Datentechnik GmbH	Microsoft Dynamics NAV
Comarch Software und Beratung AG	Comarch ERP
Comtri	unipps
EPICOR Software	ERP 10
godesys AG	godesys ERP
GUS Deutschland GmbH	GUS-OS Suite 6.0
Hamburger Software GmbH & Co. KG	HS - Hamburger Software
Hilmer Business IT	FERIX
ImPuls AG	ImPuls fashion XL
Intex Consulting GmbH	Intex ERP
jKARAT GmbH	jKARAT.ERP
OpenZ	OpenZ Open Source ERP
Promatis	Oracle
QAD Deutschland GmbH	QAD Enterprise Applications
SIV.AG	kVASy®
yQ-it GmbH	SilvERP

Abbildung 10: Teilnehmer der Marktstudie

3. ERGEBNISSE DER MARKTSTUDIE

3.3 THESEN

Auf Basis der wissenschaftlichen Grundlagen zum Thema „Rolle von ERP-Systemen im Kontext von Industrie 4.0“ wurden insgesamt sieben Thesen für die Marktstudie abgeleitet, die als inhaltliche Basis für die Befragung fungiert haben. Diese Thesen sollten im Rahmen der schriftlichen Befragung der ERP-Anbieter verifiziert oder falsifiziert werden.

These 1: ERP-Systeme erfahren eine Desintegration bzw. eine nicht weiter voranschreitende Integration von Funktionalitäten. Sie werden zunehmend offen und kommunikationsfähig gestaltet.

ERP-Systeme werden mit Umsetzung von Industrie 4.0-Anwendungen zunehmend modularer. ERP-Systeme müssen zunehmend modular bzw. als einzelne Anwendungen (Apps) gestaltet sein. Der Fokus der zukünftigen IT-Architektur von ERP-Systemen liegt auf der Wandlungsfähigkeit. ERP-Systeme werden weniger integrative Aufgaben, sondern verstärkt Kommunikationsaufgaben übernehmen.

These 2: Die Nachfrage sowie Entwicklung von Cloud-Lösungen wird weiter zunehmen.

Das Cloud Computing ist ein wesentlicher Enabler der Industrie 4.0 und Grundlage für die Vernetzung von CPS im Internet der Dinge und Dienste. Public und Private Cloud bzw. die hybride Cloud-Lösung, wie z. B. die Community Cloud, werden sich stetig weiterentwickeln. Der Markt hierfür wird wachsen. Das Cloud Computing im Bereich der betrieblichen IT-Systeme inklusive des damit einhergehenden Konzepts SaaS wird weiter an Relevanz gewinnen. Im Zusammenhang damit stehen insbesondere die Anforderungen der Massendatenfähigkeit, der Trend der zunehmend mobilen Datenerfassung und -verarbeitung sowie der notwendigen Wandlungsfähigkeit der IT-Systeme.

These 3: Hemmnis für die horizontale Integration ist nicht der Mangel an Standards, sondern das mangelnde Interesse auf Seiten der Unternehmen.

Horizontale Integration umfasst die Vernetzung von inner- sowie überbetrieblichen Prozessen und Ressourcen entlang Wertschöpfungskette über einen Fabrikstandort hinaus. Für die horizontale Integration existieren bereits einige Standards für die Datenübertragung. Das Interesse an horizontaler Integration auf Unternehmensseite ist jedoch gering.

These 4: Der ERP-Markt wird sich aufgrund zunehmender Innovationsgeschwindigkeit weiter konsolidieren.

Es ist bereits zu beobachten, dass sich der ERP-Markt immer weiter konsolidiert. Konzepte der Industrie 4.0 lassen die Anforderungen an ERP-Systeme rasant ansteigen. Die Innovationsgeschwindigkeit nimmt zu. Es wird davon ausgegangen, dass viele der derzeit auf dem Markt befindlichen ERP-Anbieter die zu erwartende Innovationsgeschwindigkeit nicht erfüllen können. Dies wird zu einer Konzentration auf dem ERP-Anbietermarkt führen.

These 5: Der Kommunikationsstandard OPC-UA ist ein De-facto-Standard für den Daten- und Informationsaustausch.

Insbesondere für die vertikale Integration von betrieblichen IT-Systemen mit der Automatisierungsebene bzw. den CPS, werden einheitliche Standards benötigt. Im Rahmen des RAMI 4.0 wurde der Kommunikationsstandard OPC-UA entwickelt. Aus diesem Grund ist zu vermuten, dass sich dieser Standard durchsetzen und somit auch an Relevanz für die ERP-Systeme gewinnen wird.

These 6: Systemgrenzen werden sich auflösen. Es findet eine Dehierarchisierung der Automatisierungspyramide statt.

Durch die Dematerialisierung der Software (z. B. durch Cloud Computing) werden sich die Systemgrenzen zwischen der Automatisierungstechnik und den betrieblichen IT-Systemen, wie z. B. ERP sowie auch MES zunehmend auflösen. Des Weiteren werden sich bezüglich der unterschiedlichen betrieblichen IT-Systeme der Unternehmens- und Betriebsleitebene zunehmend Überschneidungen von Funktionalitäten abzeichnen.

These 7: Die Usability ist eine der wichtigsten Kundenanforderungen. Aus diesem Grund werden in ERP-Systemen zunehmend kontextsensitive rollenorientierte Anwendungen mit benutzerindividuellen Gestaltungsmöglichkeiten realisiert.

Bezugnehmend auf die wichtige Mensch-Maschinen-Interaktion in der Industrie 4.0, ist die Usability betrieblicher IT-Systeme von hoher Bedeutung. Als wichtigste Anforderung der ERP-Anwender wird insbesondere die Benutzerindividualität von Anwendungen zunehmen und von den ERP-Anbietern stetig verbessert. Insbesondere die Kontextsensitivität von ERP-Anwendungen, vor allem für die mobilen ERP-Anwendungen, wird immer wichtiger. Auch die rollen- sowie ereignisorientierte Gestaltung von ERP-Anwendungen wird weiterhin von großer Bedeutung sein.

3. ERGEBNISSE DER MARKTSTUDIE

3.4 ERGEBNISSE DER BEFRAGUNG

In den nachfolgenden Ausführungen werden die Ergebnisse der Marktstudie vorgestellt. Die folgenden Auswertungen beinhalten allgemeine Informationen zu den einzelnen ERP-Anbietern, deren Geschäftsmodell und Zielgruppen. In den Auswertungen wird die Anzahl der ERP-Anbieter, die die jeweilige Frage beantwortet haben, jeweils in der Überschrift angegeben (n=x).

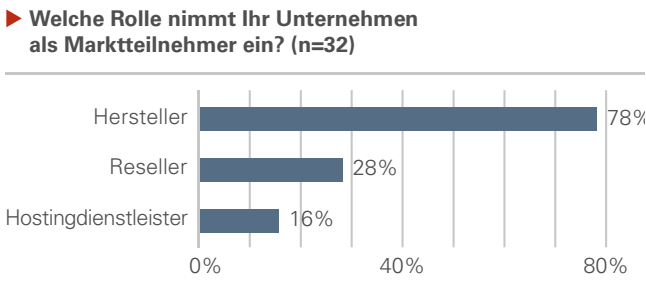


Abbildung 11: Rolle der ERP-Anbieter im ERP-Markt (Mehrfachnennung möglich)

Die Mehrheit der ERP-Anbieter (74 Prozent), die an der Umfrage teilgenommen haben, sind originärer Hersteller eines ERP-Systems. Ein ERP-Hersteller programmiert und entwickelt ein oder mehrere ERP-Systeme. Etwa ein Drittel der Anbieter (28 Prozent) bezeichnet sich als Reseller.

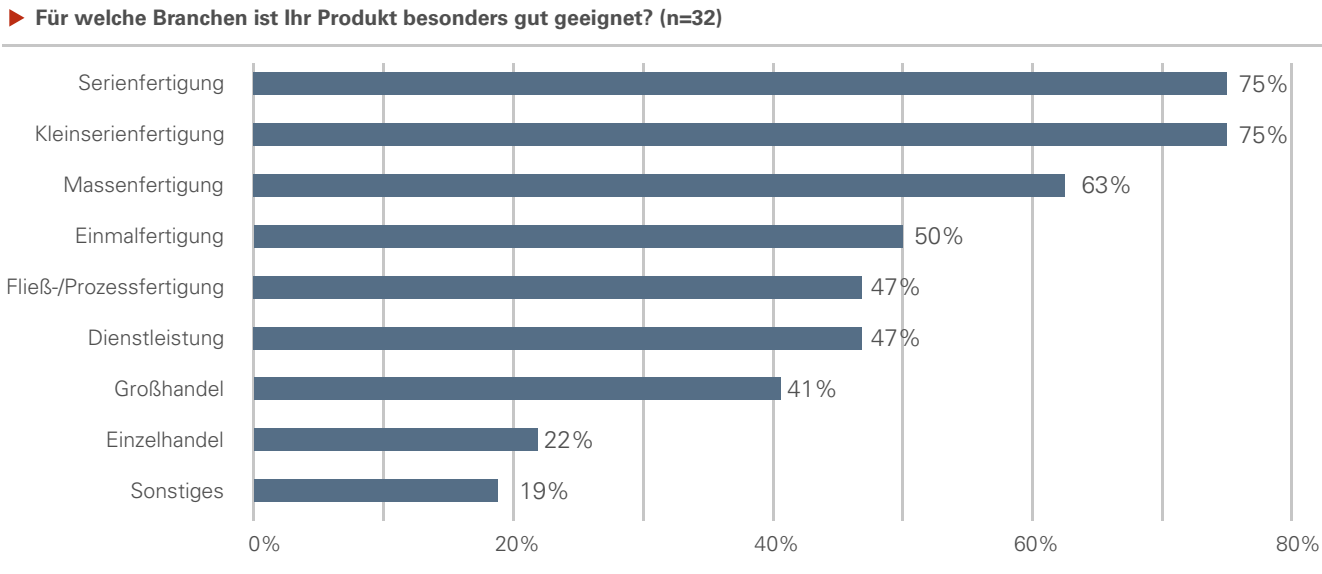


Abbildung 12: Tätigkeitsbereiche der ERP-Anbieter

ler. Reseller sind ERP-Partnerunternehmen von ERP-Herstellern, die keine eigene ERP-Software entwickeln bzw. programmieren, jedoch die Software von einem oder mehreren ERP-Herstellern vertreiben und in Unternehmen als sogenannter Partner oder Systemintegrator der ERP-Hersteller implementieren.

Lediglich 16 Prozent der Teilnehmer sind Hosting Dienstleister. Diese Unternehmen bieten über die Beratungs- und Implementierungsleistung hinaus das Hosting der Software in ihrem eigenen Rechenzentrum an. Sie stellen nicht nur die Software, sondern auch die Hardware für Kunden gegen ein Entgelt zur Verfügung.

Im Rahmen der Befragung wurden in erster Linie ERP-Anbieter berücksichtigt, die Projekte und Erfahrungen im Bereich Produktion aufweisen. Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht die Fokussierung der ERP-Anbieter auf den produzierenden Bereich und eine ausgeprägte Kompetenz der Teilnehmer der Marktstudie in der Kleinserienfertigung sowie Serienfertigung. Die Anbieter konnten in dieser Frage mehrere Branchen angeben.

Ein weiteres Kriterium, das zur Beschreibung der Stichprobe herangezogen wurde, war die Zielgruppe, auf die ERP-System-Anbieter fokussiert sind. Die Anbieter wurden befragt, für welche Unternehmensgrößen ihre Software besonders geeignet ist. Mehrfachnennungen waren in dieser Frage möglich.

88 Prozent der Anbieter ist auf Kunden mit einer Mitarbeiteranzahl zwischen 51-250 Mitarbeitern ausgerichtet. Die ERP-Anbieter, die an der Umfrage teilgenommen haben, sind folglich überwiegend auf den Mittelstand fokussiert.

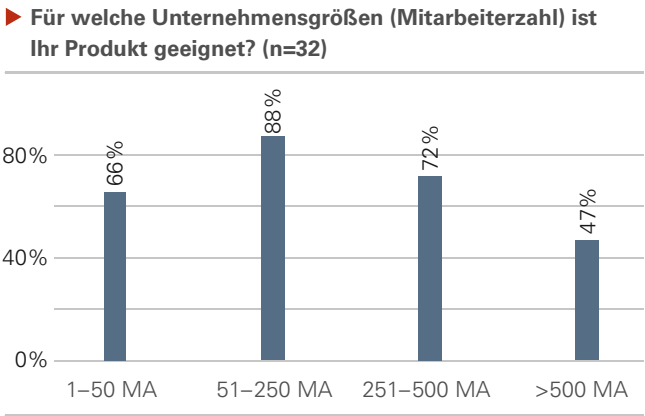


Abbildung 13: Unternehmensgrößenfokus der ERP-System-Anbieter

3.4.1 Aktuelle Aktivitäten im Kontext der Industrie 4.0

In den nachfolgenden Ausführungen werden die aktuellen Aktivitäten der ERP-Anbieter im Kontext der Industrie 4.0 sowie die Relevanz von Forschungsprojekten für die Weiterentwicklung der ERP-Systeme untersucht. Im Rahmen der Befragung wurde die aktuelle Gestaltung der Anwendungen der ERP-Systeme sowie der Trend der Modularisierung bzw. Appisierung thematisiert.

Die Abbildung 14 zeigt die wesentlichen Treiber der ERP-Anbieter für die Weiterentwicklung ihrer ERP-Systeme. Mehrfachnennungen waren zugelassen.

Größter Treiber für Weiterentwicklungen der ERP-Systeme sind direkte Kundenwünsche. Insgesamt 90 Prozent der ERP-Anbieter nennen konkrete Kundenanforderungen als wesentlichen Treiber für Anpassungen am ERP-System. 75 Prozent der ERP-Anbieter entwickeln ihr ERP-System auf Basis allgemeiner Marktentwicklungen weiter. Wenige Entwicklung sind rein forschungsgetrieben. So gaben lediglich 20 Prozent der Anbieter an Weiterentwicklungen aufgrund von aktuellen Forschungsvorhaben durchzuführen. Insgesamt fünf ERP-Anbieter (13 Prozent) führen eigene Produktentwicklungs- oder Markterschließungsstrategien, eigene Ideen oder technologische Entwicklungen als sonstige Treiber für die Weiterentwicklung des ERP-Systems auf.

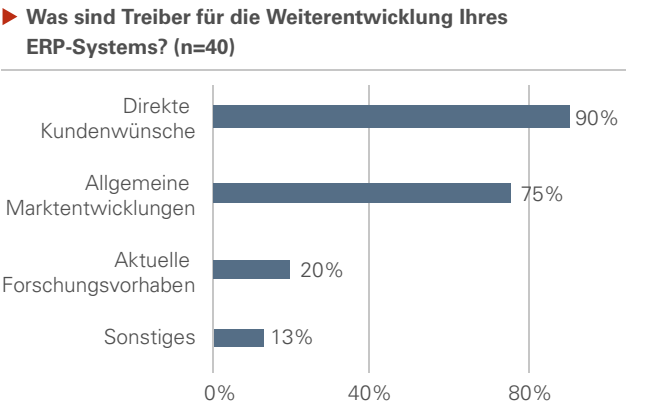


Abbildung 14: Treiber für die Weiterentwicklung des ERP-Systems

Die Normung und Standardisierung für die Industrie 4.0 hat bereits begonnen und das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI) hervorgebracht. Im Rahmen des RAMI wurde u. a. der Kommunikationsstandard Open Platform Communications Unified Architecture (OPC-UA) entwickelt. Dieser Kommunikationsstandard soll die nahtlose vertikale Integration, ergo die enge Verknüpfung von ERP, MES, Shop-Floor und Datenbanken mit Echtzeitinformationen ermöglichen. Im Rahmen der Befragung wurde untersucht, inwieweit das Normungsmodell RAMI unter den ERP-Anbietern bekannt ist. Das Ergebnis ist ernüchternd. Von den 38 befrag-

ten ERP-Anbietern ist das RAMI lediglich einem Drittel der befragten ERP-Anbieter bekannt. Nur ein Bruchteil der ERP-Anbieter plant Anpassungen am ERP-System aufgrund des RAMI innerhalb der nächsten fünf Jahre. Einige Anbieter haben ausgeführt, dass das RAMI 4.0 aus ihrer Sicht nur bedingt geeignet ist und sie die Standardisierungsthematik intern analysieren.

Aus den Experteninterviews gingen weitere Informationen hervor. Das RAMI 4.0 ist nach Auffassung einiger interviewten ERP-Anbieter noch nicht vollständig ausgereift, zu weit entfernt von der Praxis oder sogar als fehlerhaft bezeichnet worden. Ein ERP-Anbieter hat das RAMI 4.0 gemeinsam mit seinen Kunden diskutiert, um Anforderungen abzuleiten. Als Ergebnis ist eine praxisnahe Sicht geblieben, die sich von dem theoretischen Konstrukt des RAMI deutlich abgrenzt. Unter dem Normungsaspekt haben die Kunden insbesondere das Thema PLM als relevant klassifiziert. Der Verbreitungsgrad des RAMI konnte in dieser Studie nicht eindeutig beurteilt werden. Eine gewisse Relevanz des Modells für die Praxis ist grundsätzlich vorhanden. Ein ERP-Anbieter nutzt das RAMI 4.0 bspw. als ganzheitlichen Ansatz, um bei einem Kunden insbesondere das

Produktionssystem auf seine Industrie 4.0-Tauglichkeit zu überprüfen.

Die Abbildung 16 veranschaulicht die relative Verteilung der derzeitigen Aktivitäten der ERP-Anbieter im Kontext der Industrie 4.0. Die große Mehrheit der ERP-Anbieter (71 Prozent) führt aktuell Anpassungen ihres ERP-Systems durch, die im Zusammenhang mit der Industrie 4.0 stehen. Kooperationen sind bei den ERP-Anbietern offensichtlich ein probates Mittel, um komplexe Fragestellungen im Zusammenhang von Industrie 4.0-Anwendungen zu lösen. Kooperiert wird nahezu gleichermaßen mit Forschungseinrichtungen sowie Unternehmen der Informations- und Kommunikationstechnologie Branche (IKT). 26 Prozent der befragten ERP-Anbieter kooperieren mit Unternehmen im Maschinen- und Anlagenbau.

Lediglich zwei Anbieter gaben an, derzeit keinerlei Aktivitäten im Zusammenhang mit Industrie 4.0 durchzuführen. Über die abgefragten Aktivitäten hinaus, sind einige ERP-Anbieter in speziellen Industriegremien aktiv und versuchen Mitarbeiter fachlich für das Thema Industrie 4.0 zu qualifizieren. Vereinzelt haben ERP-Anbieter erwähnt,

► Welche Aktivitäten gibt es derzeit im Kontext der Industrie 4.0? (n=38)

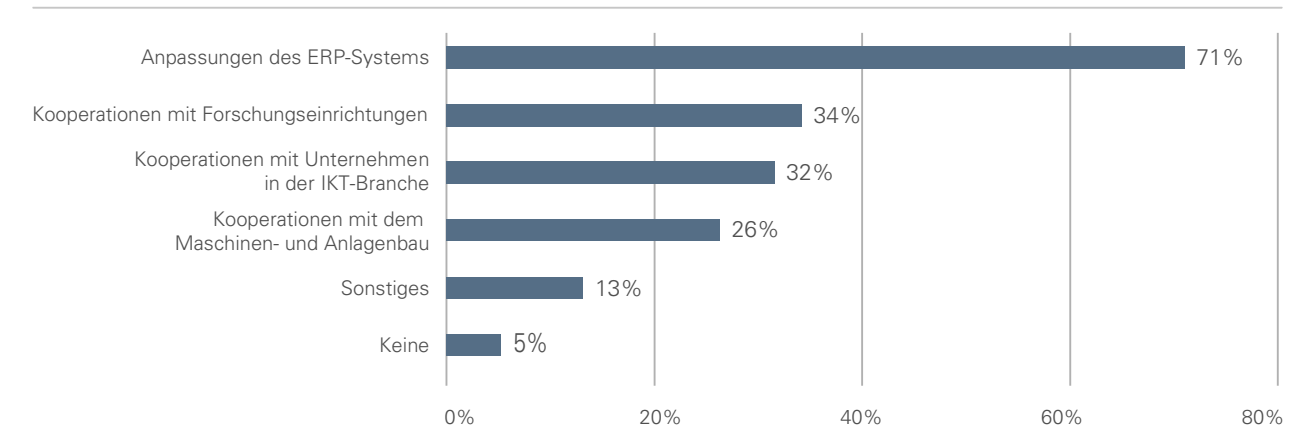


Abbildung 16: Aktuelle Aktivitäten im Kontext der Industrie 4.0

dass aktuell Kundenprojekte zum Thema Industrie 4.0 durchgeführt werden.

Ein Beispiel für eine Kooperation eines befragten Unternehmens ist die intensive Zusammenarbeit mit einem Sensorik-Hersteller sowie einer Hochschule. Ziel dieser Kooperation ist es, die Sensorik sowie entsprechende Prognosemodelle zur Optimierung der Fertigung mit dem ERP-System technisch zu verknüpfen.

27 ERP-Anbieter haben die Angabe gemacht im Kontext der Industrie 4.0 Anpassungen in ihrem ERP-System vorzunehmen. Die Abbildung 17 stellt die Schwerpunkte der aktuellen sowie geplanten Anpassungen und Weiterentwicklungen der ERP-Anbieter dar. Die große Mehrheit der befragten ERP-Anbieter entwickeln ERP-Anwendungen im Bereich BI (85 Prozent). Mit der Weiterentwicklung von EDI-Standardschnittstellen, von Big Data und von SCM Funktionalitäten befassen sich derzeit mehr als die Hälfte der befragten ERP-Anbieter. Die Befragung zeigt darüber hinaus, dass es einige Aktivitäten im Bereich MES-Funktionalität gibt. Weniger als die Hälfte der ERP-Anbieter entwickelt derzeit User-individuelle integrierte Darstellungen in ihren Systemen. 44 Prozent der Anbieter gaben an ERP-Oberflächen individuell auf Anwendergruppen anzupassen. Das PLM ist bei der gleichen Anzahl an Un-

ternehmen in der Weiterentwicklung. Insgesamt 41 Prozent der befragten ERP-Anbieter gaben an, Entwicklungen im Bereich der Integration von Sensordaten durchzuführen. Ein Drittel der befragten Unternehmen führen derzeit Veränderungen an der IT-Architektur ihres ERP-Systems im Kontext von Industrie 4.0 durch. Die Themen kontextsensitive mobile ERP-Anwendungen, Prozesssimulationen, Energiemanagement und Social ERP stehen derzeit nicht im Fokus der ERP-Anbieter. Nur wenige Anbieter sind in diesen Bereichen aktiv.

Einer der interviewten ERP-Anbieter hat insbesondere für die Funktionsbereiche Service und Instandhaltung mobile ERP-Funktionen entwickelt und kontextsensitiv gestaltet. Diese kontextsensitiven mobilen ERP-Anwendungen ermöglichen es z. B., dass Servicetechnikern in der Instandhaltung ausschließlich dem Standort entsprechende Maschinen des jeweiligen Kunden angezeigt werden.

In den Interviews wurde das Thema unternehmensübergreifender Datenaustausch weiter vertieft. Hierbei nannten die ERP-Anbieter, wie auch in Abbildung 17 ersichtlich, insbesondere die Implementierung von EDI-Schnittstellen als wichtigen Bereich, an dem intensiv gearbeitet wird. Entwicklungsaktivitäten gibt es derzeit auch im

► Ist Ihnen das RAMI 4.0 bekannt und planen Sie diesbezüglich Anpassungen an Ihrem ERP-System (n=38)

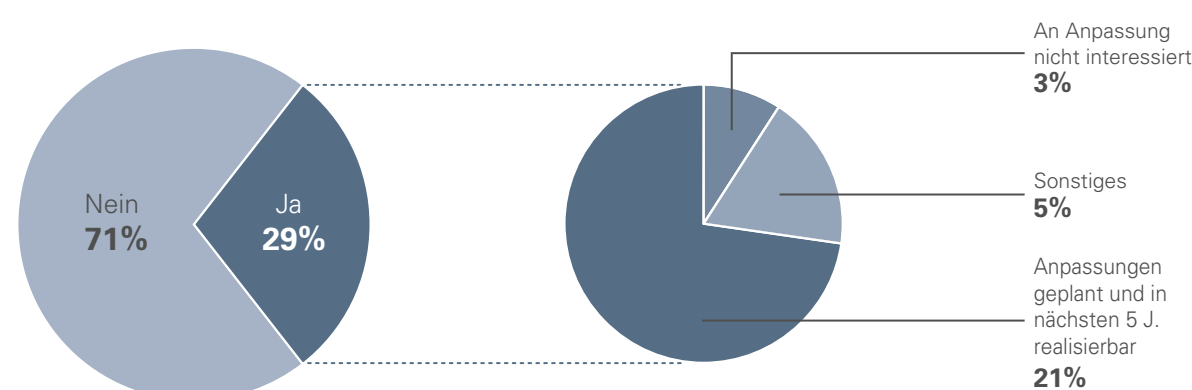


Abbildung 15: Bekanntheitsgrad und Berücksichtigung des RAMI 4.0

71 Prozent der ERP-Anbieter führen derzeit **Industrie 4.0-Anpassungen** in ihrem ERP-System durch.

Unternehmensübergreifender **Datenaustausch** - insbesondere die Implementierung von **EDI-Schnittstellen** ist ein **wichtiger Bereich**, an dem intensiv gearbeitet wird.

Modularisierung bzw. **Appisierung** werden zukünftig eine immer **größere Rolle** spielen.

Bereich der Definition von Schnittstellen nach XML und der Integration des Netzwerkprotokolls Odette File Transfer Protocol (OFTP 2). Zwei der befragten Unternehmen beschäftigen sich derzeit mit dem zentralen User Guide des Forums elektronischer Rechnungen Deutschland (ZUGFeRD). Dieses standardisierte Format dient der elektronischen Übertragung von Rechnungen. Vereinzelt entwickeln die Anbieter Speziallösungen für die digitale Betriebsprüfung, die konform sind mit den Grundsätzen zur ordnungsmäßigen Führung und Aufbewahrung von Büchern, Aufzeichnungen und Unterlagen in elektronischer Form sowie zum Datenzugriff (GoBD).

Betrachtet man das Thema ERP-Aufbau bzw. existierende ERP-Systemstrukturen und -hierarchien im Kontext von Industrie 4.0, ist festzustellen, dass die Modularisierung bzw. Appisierung zukünftig eine immer größere Rolle spielt. Modularisierung bzw. Appisierung bedeutet, dass ERP-Funktionalitäten nicht mehr starr in einem ERP-System verankert sind, sondern wie filigrane Module oder Anwendungen / Apps in ein ERP-System angedockt oder abgedockt werden können. Die Abbildung 18 veranschaulicht, inwieweit die ERP-Anbieter bei der Entwicklung ihrer ERP-Systeme der Anforderung der Modularisierung nachkommen.

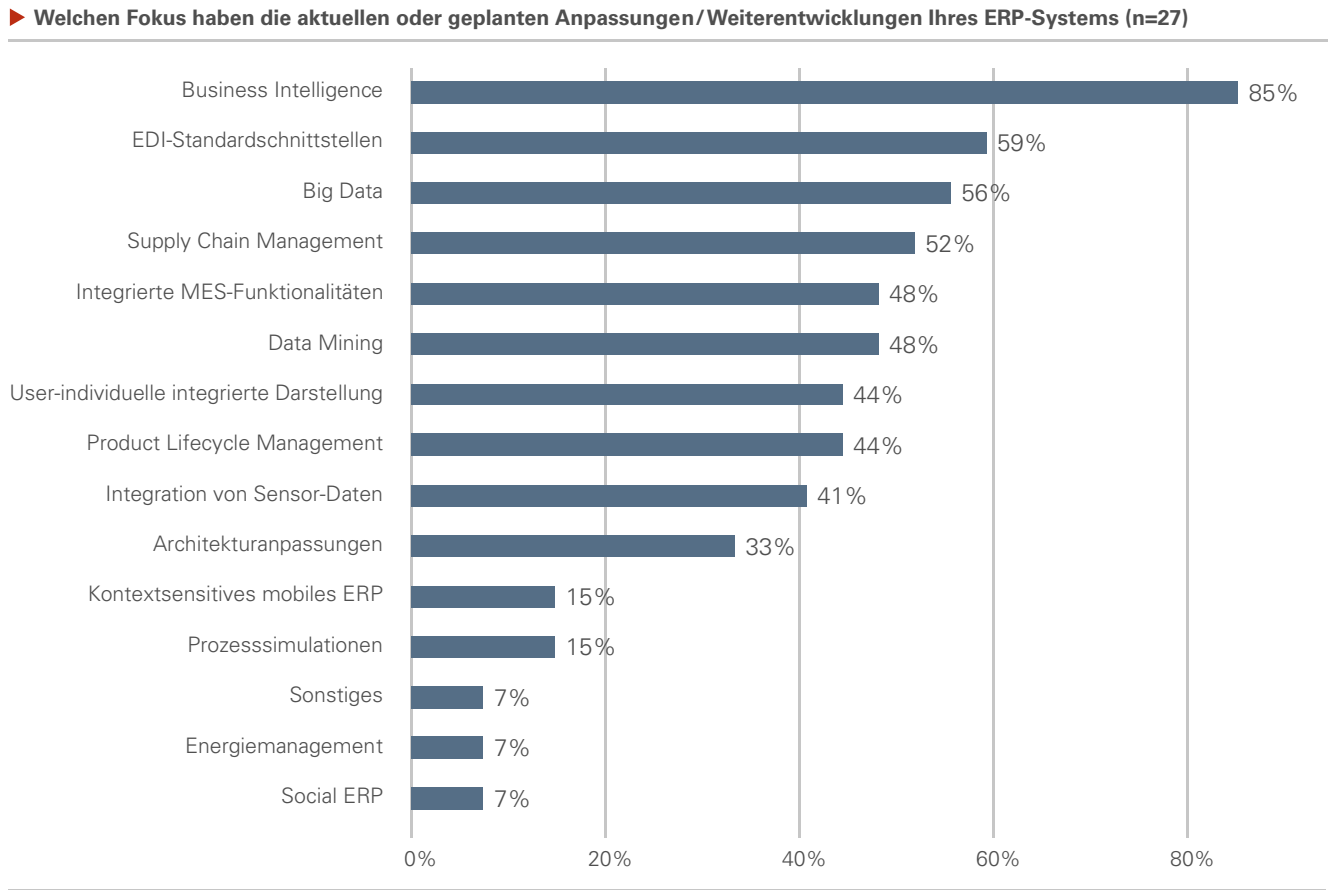


Abbildung 17: Fokus der aktuellen und geplanten Weiterentwicklungen

Die Veranschaulichung der Einschätzung der Anbieter zeigt, dass das Thema Modularisierung bzw. Appisierung bei der Mehrheit der ERP-Anbieter stark (38 Prozent) bis sehr stark (20 Prozent) im Fokus steht. Lediglich eine kleine Minderheit der befragten Unternehmen arbeitet derzeit nicht an der Modularisierung ihrer Software.

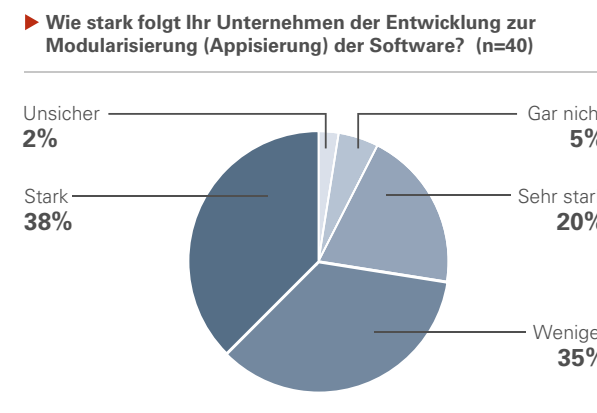


Abbildung 18: Bestrebungen der ERP-Anbieter zur Modularisierung (Appisierung) ihres ERP-Systems

Die Usability bzw. Bedienungsfreundlichkeit eines ERP-Systems ist bereits heute ein wichtiges Entscheidungskriterium für eine ERP-Auswahl. Im Kontext der Implementierung von Industrie 4.0-Konzepten wird diese Bedeutung noch weiter zunehmen. Da das Thema Usability aus Anwendersicht ein Kernthema ist und vermutlich auch weiterhin bleiben wird, wurde im Rahmen der Marktstudie das zugrundeliegende Konzept der Benutzerführung bei den ERP-Anbietern thematisiert. Da viele ERP-Systeme in der Lage sind mehrere Konzepte der Benutzerführung anzubieten, wurden bei dieser Frage Mehrfachnennungen zugelassen.

Bei der Mehrheit der Anbieter (73 Prozent) sind die ERP-Anwendungen aufgaben- bzw. prozess- oder funktionsorientiert. Prozessorientierte Anwendungen zeichnen sich dadurch aus, dass nur einfache und lediglich für die Aufgabe erforderlichen ERP-Funktionalitäten sowie relevanten Informationen angezeigt werden. Bei funktions-

orientierten Anwendungen wird einem ERP-Anwender ein vollständiger Funktionsumfang der Anwendungen angezeigt und somit zur Verfügung gestellt.

Bei rollenorientierten Anwendungen werden einfache und nur für die Rolle erforderlichen ERP-Funktionalitäten sowie relevanten Informationen angezeigt. Diese Form der Benutzerführung steht bei etwas über der Hälfte der befragten Unternehmen (58 Prozent) zur Verfügung. 35 Prozent der Anbieter haben ein ereignisorientiertes Konzept der Benutzerführung implementiert. Bei diesem Konzept lösen Ereignisse im ERP-System individuelle Handlungsaufforderungen aus (z. B. Abspeichern einer Bestellung löst Aufforderung zur Genehmigung dieser Bestellung aus).

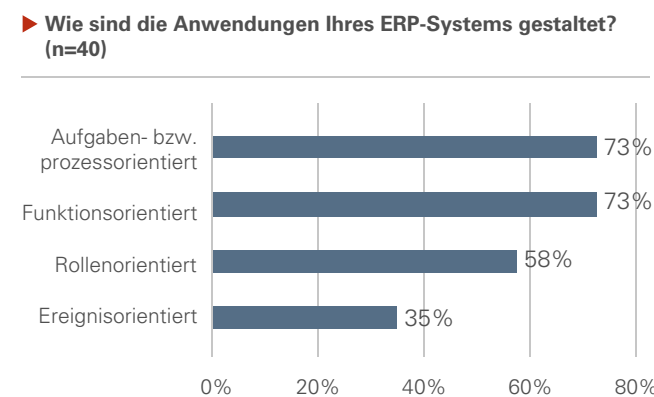


Abbildung 19: Aktuelle Gestaltung der ERP-Anwendungen

3.2.2 Zukünftige Funktionen und Eigenschaften von ERP-Systemen

In den folgenden Ausführungen werden die Ergebnisse vorgestellt, die sich mit den zukünftigen Funktionalitäten und Eigenschaften von ERP-Systemen im Kontext der Industrie 4.0 befassen. In dieser Fragenkategorie wurden neben den zu integrierenden Funktionalitäten insbesondere die Einbindung von CPS, die damit einhergehende Problematik der immensen Datenmengen, die Interoperabilität sowie der unternehmensübergreifende Datenaustausch thematisiert.

Die Abbildung 20 veranschaulicht die Bedeutung von vollintegrierten Funktionalitäten in ERP-Systemen.

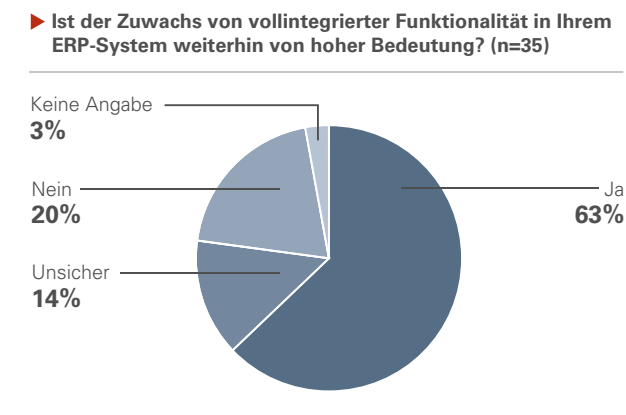


Abbildung 20: Bedeutung vollintegrierter Funktionalitäten

Das Ergebnis ist eindeutig. Die Mehrheit der ERP-Anbieter (63 Prozent) zielt darauf ab, das Spektrum an ERP-Funktionalitäten in ihrem System zu erweitern. Dies ist eine natürliche Reaktion auf die anscheinend weiterhin konstante Nachfrage nach funktionalen Erweiterungen auf Anwenderseite. Lediglich 20 Prozent der Befragten halten den Zuwachs von vollintegrierten Funktionalitäten für unbedeutend.

Die Anbieter wurden im Rahmen einer offen gestalteten Frage des weiteren nach den drei wichtigsten ERP-Funktionalitäten befragt, die

derzeit in ihrem ERP-System integriert werden. In Summe wurden 70 Funktionen genannt. Diese wurden in zehn Kategorien eingeteilt.

Die Abbildung 21 zeigt, dass über ein Drittel der Befragten (34 Prozent) aktuell mit den Themen Integration von MES sowie Shop Floor Integration befasst sind. Des Weiteren arbeiten die befragten ERP-Anbieter an dem Aufbau bzw. der Erweiterung von BI-Funktionen (31 Prozent) und mobilen ERP-Funktionen (29 Prozent). Bei lediglich 26 Prozent der Anbieter wird derzeit die IT-Architektur angepasst oder neu aufgebaut. Als sonstige Funktionen sind unter anderem die Buchhaltung, die Warenwirtschaft, die Internationalisierung und das Personalwesen subsummiert.

Der Hype um E-Business Funktionalitäten scheint anhand der Ergebnisse weitestgehend abgeschwächt zu sein. Ein alternativer Erklärungsversuch ist, dass die ERP-Anbieter im Bereich E-Business zumindest derzeit keine weiteren sinnvollen Funktionserweiterungen sehen.

In den Interviews wurde das Thema Wandel der Produktionsplanung im Kontext der Industrie 4.0 und deren Auswirkungen auf das ERP-System nochmals vertieft. Die Meinungen gehen hier weit auseinander. Ein ERP-Anbieter ist der Auffassung, dass die Digitalisierung des Shop Floors nur dann gelingen kann, wenn die Prozesse nach Fertigungsarten differenziert werden und eine enge Kopplung zwischen dem MES mit dem ERP-System erfolgt. Demgegenüber steht die Meinung, dass die MES-Ebene aufgrund der Erweiterung der produktionsplanerischen Funktionen in ERP-Systemen zukünftig überflüssig sein wird.

In Bezug auf die Integration von Sensordaten machte ein interviewter ERP-Anbieter die Aussage, dass sämtliche Sensordaten bzw. physische Größen, wie z. B. Beschleunigungen, Druck oder Temperaturen, bereits heute in seinem ERP-System integriert werden können und es diesbezüglich keine Grenzen gibt. Grundsätzlich bestünde

bereits heute die Möglichkeit den Aufträgen sämtliche Sensordaten im ERP-System zuzuordnen sowie entsprechende Begleitdokumente zu erstellen. Bei der Auswertung dieser Daten sind jedoch im ERP-System noch Grenzen gesetzt. Vereinzelt wird die Meinung vertreten, ob die Auswertung dieser Produktionsdaten Aufgabe eines ERP-Systems sei oder hierfür ein Expertensystem besser geeignet wäre.

In den Interviews hat sich gezeigt, dass auch das Thema BI im Kontext von Industrie 4.0 unter den ERP-Anbietern stark diskutiert wird. Es besteht weitestgehend Konsens darüber, dass mit der Implementierung von Industrie 4.0-Anwendungen die Datenmengen in der Produktion immens zunehmen werden und bewältigt werden müssen. BI wird eine immer größere Rolle spielen. Zukünftig wird es darauf ankommen, dass die Daten vom Shop Floor für nachfolgende Auswertungszwecke konsistent sind, richtig abgefragt werden sowie im richtigen Zeitkontext sind. Hierbei ist es wichtig, die neuen Sensordaten z. B. nicht nur erfassen zu können, sondern auch

strukturiert und mit Zielbezug zu analysieren und entsprechende Rückschlüsse zu ziehen. Aus diesem Grund wird im Kontext der Industrie 4.0 mehr als eine BI Funktionalität benötigt. Mit BI Analysen können aktuelle Zustände und Probleme aufgezeigt werden. Business Analytics Funktionen ermöglichen darüber hinaus die Prognose von Entwicklungen.

Im Kontext der Industrie 4.0 benötigen ERP-Systeme zukünftig offene Schnittstellen für den Datenimport und -export zu nachgelagerten Systemen, in denen eine neue Dimension von Produktionsdaten gesammelt werden. Diese Eigenschaft wird als Interoperabilität bezeichnet. Die Auswertung der Ergebnisse zeigt, dass die Interoperabilität bzw. Offenheit der ERP-Systeme bei den ERP-Anbietern eine große Rolle spielt (vgl. Abbildung 22). Die Mehrheit der befragten Unternehmen ist der Meinung, dass die Relevanz der Interoperabilität künftig weiter zunehmen wird. Lediglich ein ERP-Anbieter teilt diese Meinung nicht.

► Welche der nachfolgenden Funktionen, werden zukünftig in Ihr ERP-System integriert? (n=70)

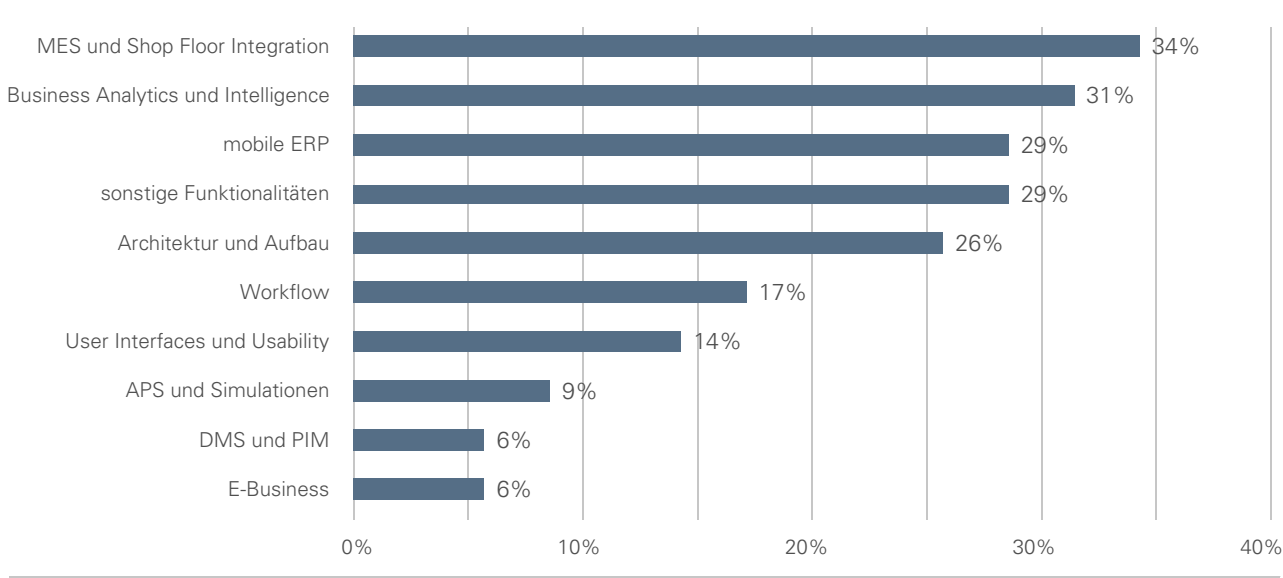


Abbildung 21: Zukünftig zu integrierende ERP-Funktionalitäten

► Spielt Interoperabilität und Offenheit der ERP-Systeme für Sie eine immer bedeutendere Rolle? (n=35)

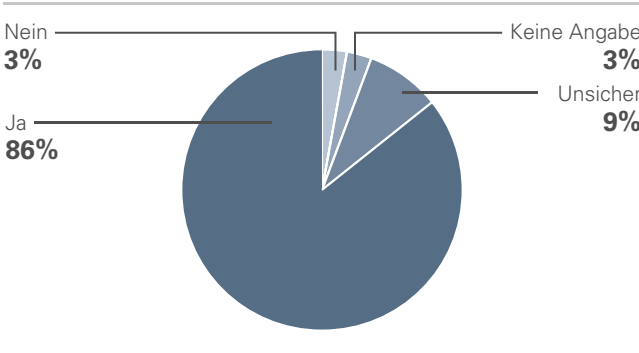


Abbildung 22: Bedeutung der Interoperabilität und Offenheit von ERP-Systemen

Bezugnehmend auf die Interoperabilität von ERP-Systemen wurden in den Interviews die Themen Schnittstellen und Standards vertiefend thematisiert. Die Realisierung von TCP/IP- bzw. OPC-UA-Schnittstellen ist bereits gelebte Praxis. ERP-Anbieter wie Microsoft und SAP setzen voll auf den OPC-UA-Standard und dessen Verbreitung. Diese Schnittstellenformate ermöglichen zum einen die Übertragung von notwendigen Daten von ERP-Systemen in Richtung MES (Maschine Execution Systems). Zum anderen können mithilfe dieser Datenformate erfasste Daten von Maschinen (z. B. Taktzeiten, Abkühlzeiten) an ein ERP-System übertragen werden.

Die Definition von Standardschnittstellen für die Realisierung von Industrie 4.0-Anwendungen wie z. B. das OPC-UA Format wird auch weiterhin große Unternehmen der IKT-Branche ebenso wie mittelständische ERP-Anbieter beschäftigen, die erste Umsetzungsprojekte der Industrie 4.0 realisieren. Die Zukunft muss dabei nicht darin liegen, dass es künftig nur einen Schnittstellenstandard für den Datenaustausch zwischen Maschinen, MES und ERP-Systemen gibt, sondern ggf. eine Varianz an Standards für Schnittstellen, die möglichst universell einsetzbar sind und aufwandsarm an die jeweils vorhandenen IT-Infrastrukturen adaptiert werden können.

Eine weitere Frage, die im Rahmen der Marktstudie beleuchtet wurde, bezieht sich auf die künftige Verankerung von ERP-Funktionalitäten bzw. die IT-Architektur in ERP-Systemen im Kontext von Industrie 4.0. Die ERP-Anbieter wurden befragt, ob sich Anwendungen oder Dienste als Alternative zu fest in der IT-Architektur verankerten ERP-Funktionen durchsetzen werden. Die Auswertung der Ergebnisse, dargestellt in der Abbildung 23, zeigt ein geteiltes Meinungsbild. Ein Drittel der Anbieter ist der Auffassung, dass ERP-Funktionen künftig einzelne Anwendungen (Apps) oder Dienste sein werden. Etwa die gleiche Zahl der Anbieter ist gegensätzlicher Meinung. 29 Prozent der befragten Unternehmen waren sich bezüglich dieser Frage nicht sicher.

► Werden ERP-Funktionalitäten zukünftig einzelne Anwendungen oder Dienste sein? (n=35)

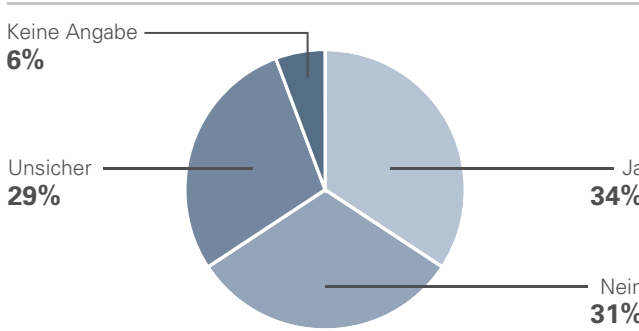


Abbildung 23: Bedeutung von Anwendungen und Diensten als ERP-Funktionen

Die Abbildung 24 veranschaulicht das Ergebnis der Frage, inwieweit Anwendungen und Dienste zukünftig zu einem kundenindividuellen Gesamtsystem konfiguriert werden. Hier zeigt sich ein wesentlich deutlicheres Meinungsbild. Die Mehrheit (51 Prozent) der Unternehmen ist der Ansicht, dass Anwendungen oder Apps künftig für Kunden individuell in einem Gesamtpaket implementiert werden. Offensichtlich verfolgt die Mehrheit der befragten ERP-Anbieter eine Modularisierung bzw. Appisierung des ERP-Systems, allerdings lediglich auf einer kundenindividuellen Ebene.

► Werden einzelne Anwendungen und Dienste zu einem kundenindividuellen Gesamtsystem konfiguriert? (n=35)

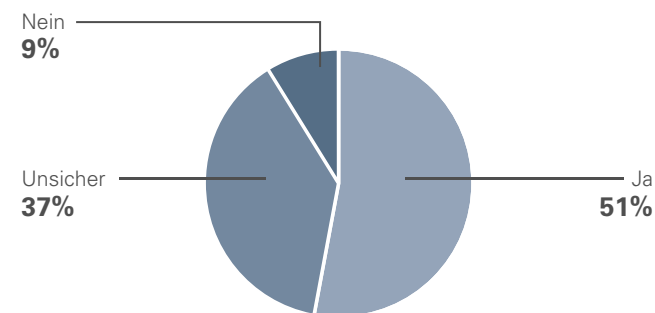


Abbildung 24: Bedeutung der Konfiguration von einzelnen Anwendungen und Diensten zu einem kundenindividuellen Gesamtsystem

In der ERP-Branche wird derzeit u. a. kontrovers diskutiert, wie ERP-Funktionen künftig verankert werden. Werden ERP-Funktionen weiterhin fest in der IT-Architektur von ERP-Systemen integriert (bisheriger Ansatz vieler Anbieter) oder geht der Trend hin zu flexibleren systemtechnischen Modellen der Verankerung von ERP-Funktionen? So wird beispielweise darüber philosophiert, ob künftig ERP-Funktionen als Apps aus einem Pool von Anwendungen situationsbezogen und flexibel heruntergeladen werden können, um Prozesse einfach und robust zu unterstützen und die Informationsverfügbarkeit in unterschiedlichen Funktionsbereichen zu erhöhen.

Werden Industrie 4.0-Anwendungen in der Produktion und Logistik implementiert, wird erwartet, dass MES-Funktionen, wie etwa die Steuerungsaufgaben, das Qualitätsmanagement und das Track and Trace, als sogenannte CPS-Services in die Automatisierungs- und Feldebene verlagert werden. Bezogen auf das betrachtete Szenario liegt es nah, dass sich das Aufgabenspektrum von MES und ERP-Systemen in der Zukunft verändern wird. Eine zentrale Frage, die sich in diesem Zusammenhang stellt, ist, inwieweit ERP-Systeme bereits heute fähig sind CPS über Schnittstellen anzubinden.

Im Rahmen der Marktstudie wurden die ERP-Anbieter befragt, ob ihre ERP-Systeme über ausreichend Flexibilität und Funktionalität verfügen, um CPS zu integrieren. Insgesamt 46 Prozent der ERP-Anbieter schätzen die Flexibilität als ausreichend ein, um CPS in ihr System einzubinden. Weniger als ein Drittel der Befragten sind der Auffassung, dass andere Systeme, wie z. B. das MES, die Integration übernehmen werden. 20 Prozent der befragten ERP-Anbieter können die Fähigkeit ihres ERP-Systems, CPS zu integrieren, nicht einschätzen. Sollte der Bedarf nach Industrie 4.0-Prozessen bei ERP-Anwendern in naher Zukunft weiter steigen, müssen die ERP-Anbieter entsprechend reagieren und ihre Systeme technisch und funktional aufrüsten, insbesondere die notwendigen Schnittstellen zu nachgelagerten Systemen wie MES und Shop Floor schaffen.

► Wie hoch schätzen Sie die Flexibilität und Funktionalität Ihres ERP-Systems ein, um cyber-physische Systeme (CPS) einzubinden? (n=35)

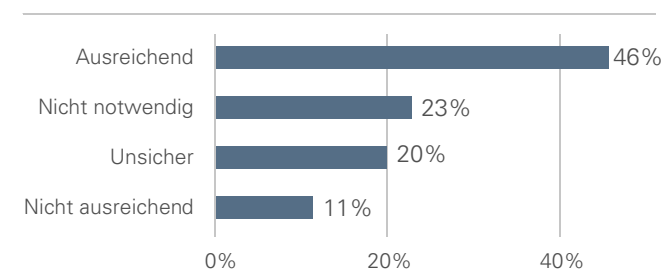
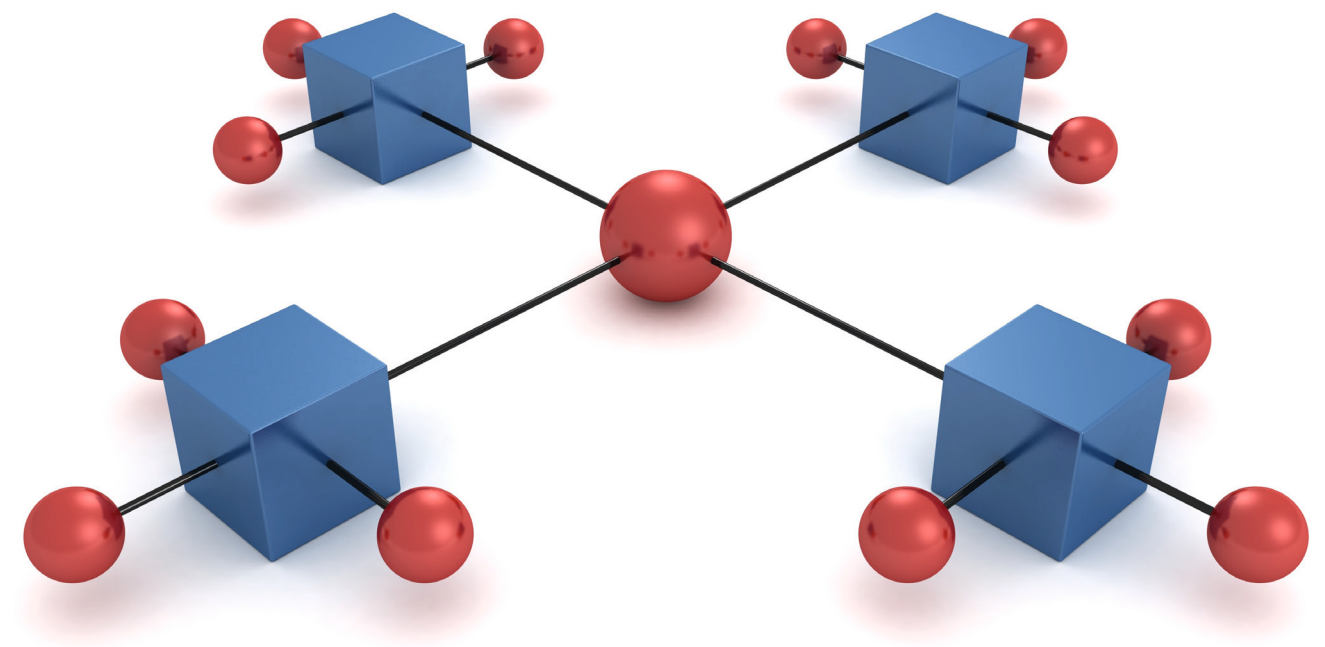


Abbildung 25: Einschätzung der Flexibilität der ERP-Anbieter zur Einbindung von CPS

46 Prozent der Anbieter schätzen die **Flexibilität** des ERP-Systems **CPS** einzubinden als **ausreichend** ein.



Eine wesentliche Fragestellung bei Umsetzung von Industrie 4.0 ergibt sich daraus, wo die neu in der Produktion erfassten Daten für Auswertungen und Entscheidungen zukünftig genutzt werden. Vor diesem Hintergrund wurden die Anbieter befragt, wie wichtig es zukünftig sein wird, die von CPS erzeugten Daten im ERP-System zu erfassen und zu verarbeiten.

Nahezu die Hälfte der Anbieter hält die Erfassung und Verarbeitung von CPS generierten Daten im ERP-System für sehr wichtig (11 Prozent) und wichtig (37 Prozent). Während 9 Prozent der Befragten keine Einschätzung vornehmen können, sieht ein Drittel der Anbieter die systemseitige Erfassung und Verarbeitung von Daten der CPS im ERP-System als weniger wichtig und 11 Prozent als nicht relevant an.

Aus den Interviews ist hervorgegangen, dass die Erfassung und Analyse von Sensordaten von CPS im ERP-System durchaus als sinnvoll eingestuft wird. ERP-Anbieter können sich eine Erweiterung des bisherigen Anwendungsspektrums z. B. in den indirekten Bereich vorstellen (z. B. Drucker, die ausgestattet mit Sensoren selbstständig die Druckerpatronenbestellung vornehmen können).

► **Wie wichtig wird es sein, die von CPS erzeugten Daten im ERP-System zu erfassen und zu verarbeiten? (n=35)**

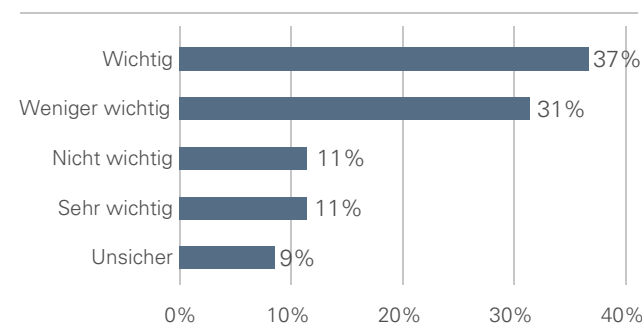


Abbildung 26: Relevanz der Daten von CPS im ERP-System

Darüber hinaus wurde der Einsatzbereich von CPS und Sensoren in der Instandhaltung thematisiert. Maschinen und Arbeitsplätze, die mit Sensoren ausgestattet wären, könnten künftig u.a. relevante Messwerte an Produkten erfassen, so dass Prognosen (z. B. mittels einer Monte-Carlo-Analyse) erstellt werden können. Diese Prognosen könnten Informationen darüber liefern, wann Messwerte außerhalb des Toleranzbereichs liegen und Warnungen generieren, die wiederum Wartungsaufträge automatisiert erzeugen. Die enge Vernetzung von Maschinen, CPS und übergeordneten Systemen wie MES und ERP wären hier eine notwendige Bedingung.

In den Interviews wurde in diesem Zusammenhang die hohe Relevanz von Einplatinencomputern, sogenannten Raspberry Pi's angesprochen. Durch den Einsatz von Raspberry Pi's könnten erste Auswertungen der Daten durchgeführt und sinnvolle Reaktionen daraus ermittelt werden. Denkbar ist die Weiterleitung dieser Informationen zur weiteren Verarbeitung im ERP-System.

Die Abbildung 27 veranschaulicht die Einschätzung der ERP-Anbieter zum Thema „zunehmendes Datenvolumen im Kontext der Industrie 4.0.“ Die Anbieter wurden befragt, ob die Datenzunahme aufgrund von Industrie 4.0-Anwendungen aus ihrer Sicht kritisch ist. Das Ergebnis ist eindeutig. Die Mehrheit (57 Prozent) der Befragten stufte das zunehmende Datenvolumen als problematisch ein. Etwas mehr als ein Drittel der ERP-Anbieter (34 Prozent) sieht hierin kein Problem.

Datenerfassung und -verarbeitung ist die Grundlage für Industrie 4.0. Im Kontext der steigenden Datenvolumen und Massenauswertungen schloss sich die Frage an, inwieweit die ERP-Anbieter Anstrengungen unternehmen Datenauswertungen in ihren Systemen zu beschleunigen (Abbildung 28). Die Mehrheit der Anbieter (57 Prozent) entwickeln aktuell Technologien, die darauf abzielen, die Zeitspannen für die Auswertung auch großer Datenvolumina zu minimieren.

► **Wie schätzen Sie die Problematik der immensen Datenmengen ein, die mit der in der Industrie 4.0 angestrebten hohen Vernetzung einhergeht? (n=35)**

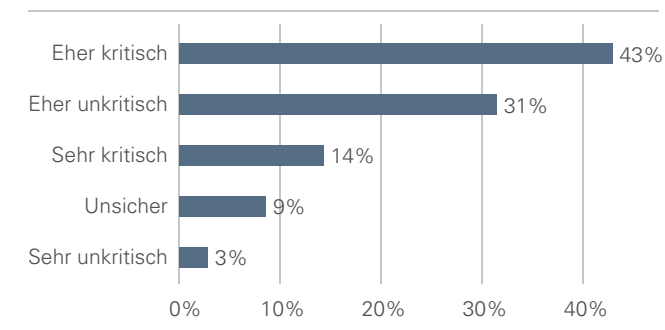


Abbildung 27: Einschätzung der ERP-Anbieter zur Problematik der immensen Datenmengen in Industrie 4.0

In den 90er Jahren gab es bereits einen der Industrie 4.0 ähnlichen Ansatz, das Computer Integrated Manufacturing (CIM). Viele Fachleute sind der Auffassung, dass das CIM vorrangig daran gescheitert ist, dass die Komplexität nicht beherrschbar, Datenvolumen zu hoch und die Echtzeitanforderungen zu hoch waren. Heute, mehr als 30 Jahre später, stehen aber moderne Basistechnologien zur Verfügung, die hohe Datenvolumen (Big Data), hohe Datenübertragungsraten und Maschine-zu-Maschine Kommunikation unterstützen können.

► **Gibt es bei Ihnen aktuelle Weiterentwicklungen zur Beschleunigung der Datenauswertung für große Datenmengen? (n=35)**

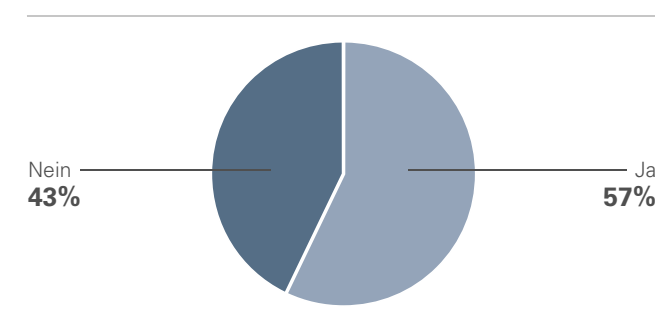


Abbildung 28: Bestrebungen der ERP-Anbieter zur Beschleunigung von Datenauswertungen

Auch das Internet stellt hier einen wesentlichen Befähiger dar. Heute und zukünftig wird man von Fall zu Fall auf Basis der Leistungsfähigkeit der vorhandenen IT-Systeme entscheiden müssen, ob man alle oder nur relevante, anfallende Daten aus Industrie 4.0 im ERP-System verarbeitet. So existieren beispielsweise bereits heute Konzepte, die vorsehen, dass die in der Produktion gewonnenen Daten nicht an das ERP-System direkt weitergegeben werden, sondern z. B. zunächst an eine IoT-Plattform. Die Daten werden entsprechend in der IoT-Plattform ausgewertet. An das ERP-System werden anschließend nur prozessrelevante Daten übertragen.

Die Technologie des Cloud Computing stellt ein solches IoT-Konzept dar. Die grundlegende Idee des Cloud Computing ist es, Dienste der Informationsverarbeitung nicht selbst bereitzustellen, sondern zu mieten. Dem Cloud Computing liegen die beiden Konzepte der Service Orientierten Architektur (SOA) und Virtualisierung zu Grunde. Konzepte der Industrie 4.0 sprechen häufig von der Nutzung von Cloud Lösungen, da die Dezentralität von Daten aufgrund der Verfügbarkeit von modernen IT-Technologien technisch möglich ist.

Das volle Potenzial von Industrie 4.0 kann nur dann ausgeschöpft werden, wenn neben dem innerbetrieblichen der unternehmensübergreifende Austausch von Daten effizient erfolgen kann. Eine Idee der Industrie 4.0 beinhaltet bislang getrennte Informationen miteinander zu verknüpfen, z. B. mit Hilfe von Cloud-Lösungen.

Nachdem mit der Einbindung von CPS die vertikale Integration thematisiert wurde, folgten Fragen zum unternehmensübergreifenden Daten- und Informationsaustausch bzw. zur horizontalen Integration.

Die Untersuchung, inwieweit der unternehmensübergreifende Austausch von Informationen zukünftig über Cloud-Lösungen abgewickelt wird, zeigt ein heterogenes Meinungsbild. Lediglich 37 Prozent der Anbieter sehen Cloud-Lösungen als probates Mittel, um Informationen über die Fabrikgrenzen hinaus in Wertschöpfungsnetzwerken auszutauschen. Das Ergebnis veranschaulicht die auf der Anbieterseite vorhandene Vorbehalte zum Thema Cloud-Lösungen. Die Auswertung im Rahmen der Marktstudie zeigt, dass die befragten ERP-Anbieter dem Konzept des Cloud Computing kein großes Potenzial zusprechen.

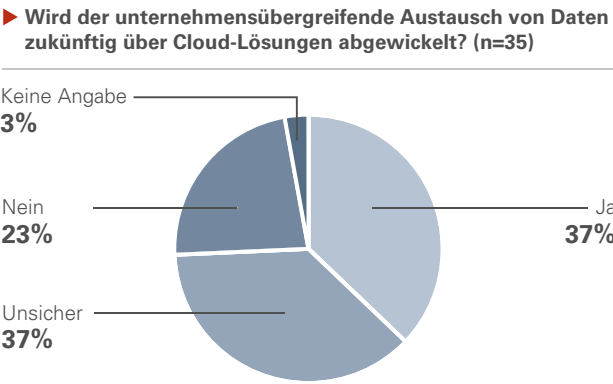


Abbildung 29: Einschätzung der ERP-Anbieter zum Datenaustausch über Cloud-Lösungen

Es wird sich in naher Zukunft zeigen, inwieweit Cloud-Lösungen bzw. webserverbasierte Systeme sowie unternehmensübergreifende Cloud Plattformen im Rahmen der Umsetzung von Industrie 4.0-Konzepten eine größere Verbreitung finden. Die vorhandenen Hemmnisse, insbesondere in Bezug auf die Datensicherheit in Clouds, werden nach allgemeiner Einschätzung insbesondere im Maschinen- und Anlagenbau, aber auch in den betriebswirtschaftlichen Bereichen von Unternehmen nicht leicht zu überwinden sein. Auf ERP-Anbieter Seite wird jedoch vereinzelt die Meinung vertreten, dass in bereits zehn Jahren ein Umdenken eintreten wird, so dass Unternehmensdaten künftig verstärkt in der Cloud gespeichert werden und Geschäftspartner eines Wertschöpfungsnetzwerkes diese Daten nutzen können. Der unternehmensübergreifende Austausch von Daten (horizontale Integration) über

Lieferanten- und Kundenportale ist keine grundlegend neue aus der Industrie 4.0 hervorgegangene Technologie. Lieferanten- und Kundenportale ermöglichen Unternehmen kleine und mittlere Lieferanten wie auch Kunden in ihre Systemlandschaft technisch zu integrierensowie einen elektronischen und effizienten Austausch von Nachrichten und Belegen (z. B. Aufträge, Bestellungen, Rechnungen). Diese Form der Digitalisierung folgt dem Grundgedanken der Industrie 4.0 ebenso wie das Cloud Computing. Die Abbildung 30 zeigt zum einen, inwieweit Lieferanten- und Kundenportale bereits bei den ERP-Anbietern fest integriert sind. Zum anderen veranschaulicht die Darstellung die Kundennachfrage nach solchen ERP-Funktionalitäten. Die Auswertung zeigt, dass die große Mehrheit der Anbieter (69 Prozent) die Funktionalität für den Austausch von Daten über Lieferanten- und Kundenportale integriert hat. Die Nachfrage nach dieser Funktionalität ist jedoch im Verhältnis gering (42 Prozent). Etwas weniger als die Hälfte der Kunden der befragten ERP-Anbieter haben großes Interesse daran solche Portale für den elektronischen Datenaustausch zu nutzen.

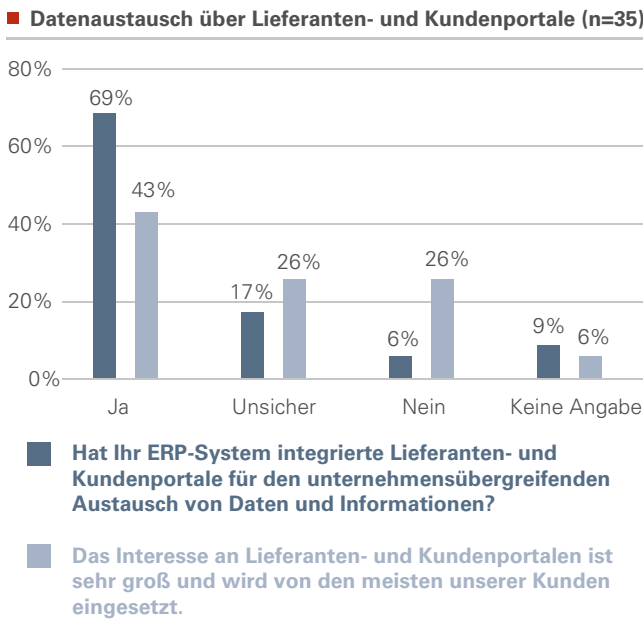


Abbildung 30: Datenaustausch über Lieferanten- und Kundenportale

Lieferanten- und Kundenportale, die webbasiert arbeiten und keine spezifische IT-Infrastruktur auf Lieferanten- und Kundenseite voraussetzen, stellen eine Möglichkeit des unternehmensübergreifenden Informationsaustausches dar. Der Austausch von elektronischen Belegen ist darüber hinaus mittels Electronic Data Interchange (EDI) möglich. Belege können in strukturierte und standardisierte Daten konvertiert und an Lieferanten und Kunden elektronisch übermittelt werden. Prinzipiell kann EDI für einen standardisierten Austausch von Informationen in allen Funktionsbereichen genutzt werden.

Die Abbildung 31 zeigt die Einschätzung der ERP-Anbieter bezüglich der Auftragsabwicklung über EDI-Schnittstellen und deren Relevanz für die ERP-Anwender. Die Auswertung zeigt ein ähnliches Bild wie bei der Bewertung von Angebot und Nachfrage von Kunden- und Lieferantenportalen. Es liegt eine Diskrepanz zwischen den technischen Möglichkeiten und der Nachfrage dieser Anwendungen durch die Kunden vor.

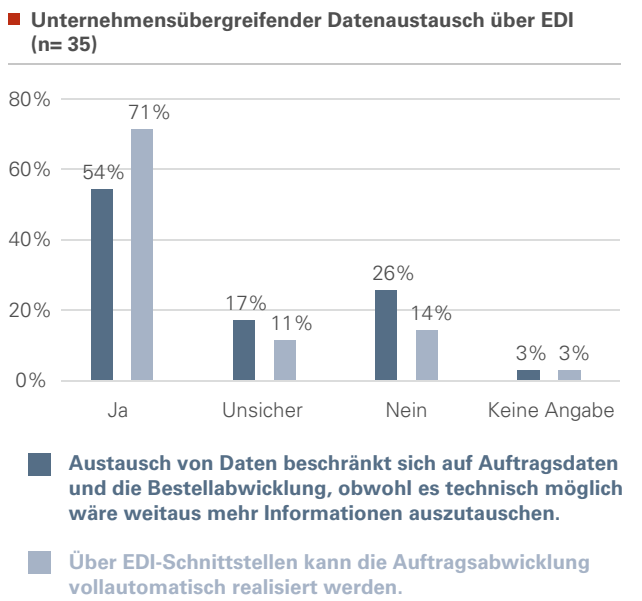


Abbildung 31: Datenaustausch über EDI-Schnittstellen

Während nach Einschätzung von 71 Prozent der ERP-Anbieter die Auftragsabwicklung vollautomatisch über EDI-Schnittstellen realisiert werden kann, gaben 54 Prozent der ERP-Anbieter an, dass sich der Austausch auf Auftragsdaten und

die Bestellabwicklung beschränkt, obwohl es technisch möglich wäre, weitaus mehr Daten auszutauschen. Die Möglichkeiten der Digitalisierung werden nach Angaben der ERP-Anbieter auf Kundenseite demnach nicht voll ausgeschöpft. Der Einsatzbereich von EDI ist nicht nur auf den Datenaustausch mit Kunden und Lieferanten begrenzt. EDI könnte im Zusammenhang mit Industrie 4.0 auch als Kommunikationsstandard im Bereich der ERP-Maschinen-Kommunikation nützlich sein. Es ist bspw. denkbar, dass Produktionsmaschinen mit Sensoren und IT so ausgestattet werden, dass sie in die Lage versetzt werden, bei bestimmten Betriebszuständen (Materialknappheit) Bestellungen auszulösen und per EDI an Lieferanten zu senden. Solche Szenarien sind durchaus denkbar und werden forschungsseitig beleuchtet.

Aus den Interviews ist hervorgegangen, dass auf Kundenseite weiterhin Hemmschwellen zur Implementierung von EDI bestehen. Insbesondere mittelständische Unternehmen seien mit dem Thema EDI überfordert. Es wird allerdings ein steigendes Interesse an der Umsetzung von EDI Prozessen prognostiziert. In naher Zukunft wird erwartet, dass die Forderung nach EDI sowohl von Kunden als auch von Großunternehmen und Konzernen immer lauter wird und die Digitalisierung weiter voranschreitet, zumal die technischen Voraussetzungen in vielen ERP-Systemen bereits heute gegeben sind.

Ein **ERP-System** ist das **Herzstück** eines Unternehmens. Bei der Planung und Umsetzung von **Industrie 4.0-Anwendungen** kommt man an einem ERP-System als **Integrationshub** nicht vorbei.



3.2.3 Rolle und Relevanz von ERP-Systemen

Ein ERP-System ist das Herzstück eines Unternehmens. Es handelt sich um eine integrierte betriebliche Software auf Basis standardisierter Module, die die unternehmensweite Planung, Steuerung und Kontrolle insbesondere der betriebswirtschaftlichen Aufgaben und Prozesse über die Funktionsbereiche hinweg und den effizienten Einsatz der Unternehmensressourcen (Material, Personal, Kapazitäten, Kapital und Informationen) ermöglicht. Die Kernaufgabe besteht darin, Software Anwendungen bspw. für die Finanzbuchhaltung, Supply Chain Management, HR, CRM und PLM integriert in einer Software Lösung zu integrieren.

In einem ERP-System sind alle relevanten logistischen und betriebswirtschaftlichen Stamm- und Bewegungsdaten gespeichert. Bei der Planung und Umsetzung von Industrie 4.0-Anwendungen kommt man an einem ERP-System als Integrationshub nicht vorbei. Die Frage, die im Rahmen der Marktstudie beleuchtet wird ist also nicht, ob sich die Rolle und Relevanz von ERP-Systemen im Kontext der Industrie 4.0 verändern wird, sondern wie sich die Rolle verändern wird.

Im Folgenden werden die Antworten der ERP-Anbieter bezüglich der zukünftigen Rolle, der Verwendung sowie der Relevanz von ERP-Systemen im Hinblick auf die betriebliche IT dargelegt. Des Weiteren werden die möglichen Veränderungen der Produktionsplanung unter dem Aspekt von Industrie 4.0 beleuchtet.

Die große Mehrheit der ERP-Anbieter (83 Prozent) ist der Meinung, dass ERP-Systeme auch künftig das führende betriebliche IT-System bleiben werden. ERP-Systeme integrieren bereits heutzutage nahezu alle Geschäftsprozesse aller Funktionsbereiche sowohl unternehmensintern als auch -extern. Bei Umsetzung der Vision der Industrie 4.0 wird sich die Rolle von ERP-Systemen als Integrationszentrum noch weiter verstärken.

► Bleibt ERP das führende IT-System (n=35)?

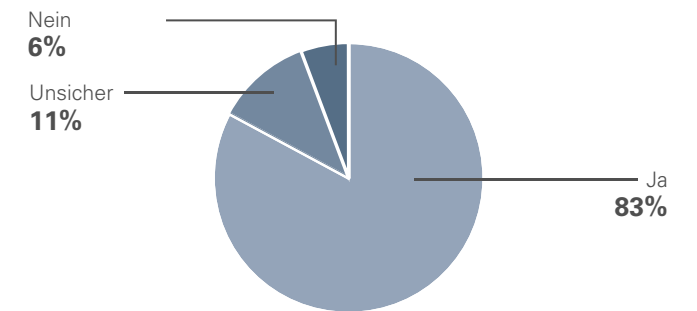


Abbildung 32: Zukünftige Rolle von ERP-Systemen

Die Abbildung 33 veranschaulicht, dass die Verwendung von ERP-Systemen nach Auffassung der ERP-Anbieter nicht auf den betriebswirtschaftlichen Bereich beschränkt bleiben wird. Lediglich 20 Prozent der befragten ERP-Anbieter sind der Meinung, dass ERP-Systeme ausschließlich im betriebswirtschaftlichen Bereich eines Unternehmens Anwendung finden werden. Nahezu die Hälfte der befragten Unternehmen (40 Prozent) ist der Auffassung, dass der Anwendungsbereich künftig größer sein wird.

Die Einschätzung der ERP-Anbieter spiegelt die allgemeine Einschätzung von Experten in Wissenschaft und Praxis wieder. Es besteht weitestgehend Konsens darüber, dass sich die Integrationsaufgabe von ERP-Systemen tendenziell mit der Industrie 4.0 erweitern wird. Zukünftig wird es verstärkt darauf ankommen, Daten aus Marktanalysen, Kunden-, Lieferanten- und Produktinformationen mit Produktions- und Logistikdaten auf dem Shop Floor noch enger zu verknüpfen und entsprechende Entscheidungen für die Planung und Steuerung abzuleiten. Ein ERP-System wird hierbei eine zentrale Rolle spielen.

Vereinzelt wird unter den ERP-Anbietern die Meinung vertreten, dass sich die Anforderungen an ERP-Systeme aufgrund der Dezentralität der Organisation sowie der Flexibilisierung der Produktionsprozesse verändern werden. Es liegt sehr nah, dass sich im ERP-Markt neue IT-Architekturen entwickeln werden.

ren herausbilden werden, die Industrie 4.0-Anwendungen stärker gerecht werden.

► **Sehen Sie die zukünftige Rolle von ERP-Systemen in der reinen Verwendung im betriebswirtschaftlichen Bereich (n=35)?**

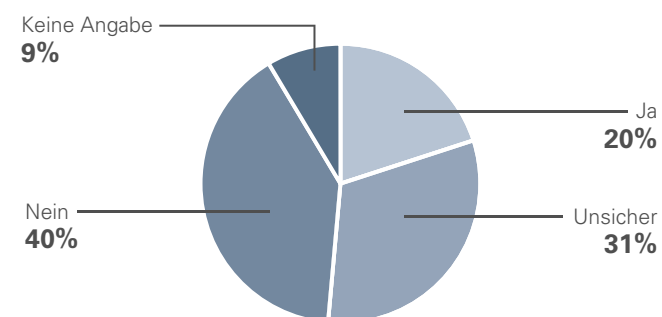


Abbildung 33: Zukünftige Rolle von ERP-Systemen in der reinen Verwendung im betriebswirtschaftlichen Bereich

Auch mit Industrie 4.0 werden ERP-Systeme aufgrund ihrer Stammdatenhoheit Mittelpunkt der Integration von Systemen in Unternehmen bleiben, zumal die Shop Floor Ebene auf qualitativ gute und strukturierte Stamm- und Auftragsdaten angewiesen ist. Die Frage ist jedoch, welche Rolle ERP-Systeme bei der Produktionsplanung einnehmen werden, wenn Maschinen (mit Sensoren ausgestattet), CPS und Produkte vernetzt werden und sich autonom steuern.

Die Mehrheit der ERP-Anbieter (54 Prozent) ist der Auffassung, dass ERP-Anwender auch weiterhin Funktionalität für die Produktionsplanung nachfragen werden. Ein Drittel (29 Prozent) der Anbieter konnte diese Frage nicht sicher beantworten. Lediglich eine Minderheit der Anbieter (9 Prozent) vertreten die Meinung, dass die Bereitstellung von Funktionalität für die Produktionsplanung künftig obsolet sein wird. Diese Meinungsgruppe ist sehr optimistisch und unterstellt, dass sich Industrie 4.0 Prozesse, die sich durch vollständige Dezentralität der Planung und Steuerung in der Produktion auszeichnen, mittel- bis langfristig in allen Unternehmen durchsetzen werden.

► **Sind Sie der Meinung, dass ERP-Systeme aufgrund der deterministischen Planung zukünftig keine Verwendung mehr für die Produktionsplanung haben werden?**

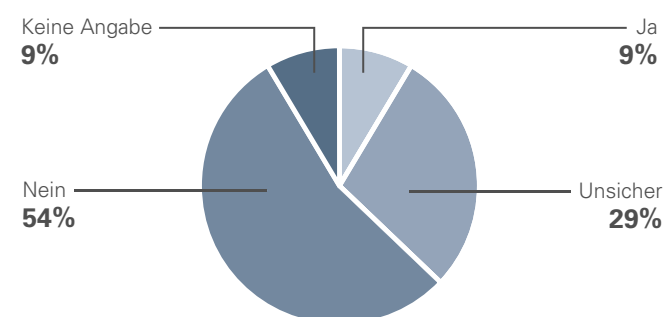


Abbildung 34: Zukünftige Rolle von ERP-Systemen im Bereich der Produktionsplanung

Im Kontext der Industrie 4.0 wird häufig die hohe Relevanz der Manufacturing Execution Systems (MES-Systeme) genannt und ihre Rolle als Datendrehscheibe in der betrieblichen IT herausgestellt. MES-Systeme sind Software Systeme, die auf Produktionsebene verwendet werden und der laufenden Überwachung und Optimierung der Produktion dienen. Sie unterstützen bei der Erfassung von Informationen und technischen Parametern des Produktionsprozesses. Im Rahmen der Marktstudie wurde untersucht, welche Rolle MES-Systeme künftig in der IT-Systemlandschaft von Unternehmen haben werden. Das Ergebnis der Auswertung der Meinungen der ERP-Anbieter ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

► **Werden Manufacturing Execution Systeme (MES) als „Datendrehscheibe“ zukünftig die wichtigste Rolle in der IT-Landschaft einnehmen? (n=35)?**

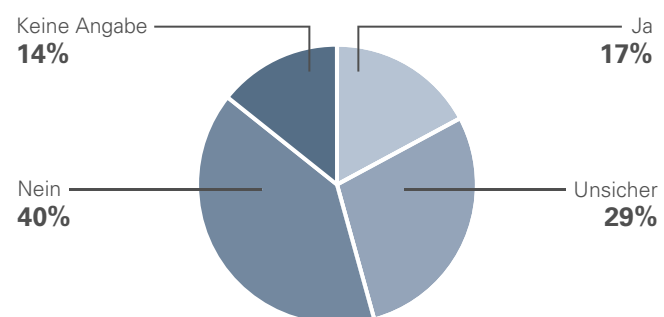


Abbildung 35: Zukünftige Rolle von MES in der IT-Landschaft

Lediglich 17 Prozent der ERP-Anbieter sind der Meinung, dass MES-Systeme bei der Implementierung von Industrie 4.0 Prozessen, die sich hochgradig durch eine dezentrale Produktionssteuerung auszeichnen, eine herausragende Rolle einnehmen werden und damit unverzichtbar sind. 40 Prozent der Befragten, teilen diese Auffassung nicht. Ein Drittel (29 Prozent) der Befragten konnte diese Frage nicht sicher beantworten. Ein Konsens der Anbieter zu dieser Fragestellung existiert demnach nicht.

In den Interviews wurde deutlich, dass auf ERP-Anwenderseite das Interesse an Digitalisierung von Geschäftsprozessen in der Produktion und Logistik in den letzten Jahren stark zugenommen hat. So gewinnen bspw. Technologien wie Barcode Identifizierung oder der Einsatz von 3D-Zeichnungen im Zusammenhang mit Arbeitsanweisungen in der Produktion auf Kundenseite ein immer stärkeres Interesse.

Der zunehmende Bedarf an Produktindividualisierung zwingt viele Unternehmen über eine Modernisierung ihrer Produktions- und Logistikabläufe nachzudenken, um die Produktion einerseits flexibler andererseits aber auch effizienter zu gestalten. Aus Sicht der ERP-Anbieter wird es kurz- und mittelfristig erfolgskritisch sein, die ERP-Systeme noch offener und flexibler zu gestalten. Die Anbindung von Drittsystemen sowie die möglichst schnelle Umsetzung von Funktionalitätserweiterungen, als Enabler von Industrie 4.0 Prozessen, wird eine wichtige Aufgabe der nahen Zukunft sein.

Insbesondere bei dem Thema der Dehierarchisierung der Automatisierungspyramide herrscht eine große Unstimmigkeit. Die ERP-Anbieter erwarten, dass zum einen die mittlere Schicht zwischen ERP und Automatisierungsebene verschwinden wird. Zum anderen herrscht vereinzelt die Meinung, dass die unteren Schichten der Automatisierungspyramide (SCADA, SPS, Feldebene) in Zukunft mehr Intelligenz bekommen und künftig weiter ausgebaut werden.

Auch wenn die Auswertung ergab, dass ein MES-System aus Sicht der ERP-Anbieter nicht die wichtigste systemtechnische Drehscheibe im Kontext von Industrie 4.0 Prozessen sein wird, besteht weitestgehend Konsens darüber, dass MES-Systeme auch zukünftig eine wichtige Rolle spielen werden. MES-Systeme sind notwendig, um Daten von CPS einzubinden und zu verarbeiten. Diese Aufgabe können und sollen ERP-Systeme, ohne spezifische Befähigung dazu, nicht leisten. Es wird erwartet, dass es zukünftig zunehmend wichtiger wird MES und ERP-Systeme nach Fertigungstypen (Serienfertigung versus Auftragsfertigung) sinnvoll zu koppeln. Produkte der Serienfertigung haben andere Anforderungen an die Fertigungssteuerung und Materialversorgung als Produkte der Einzelfertigung. Wenn sich Produkte, Betriebsmittel und Ladungsträger künftig weitestgehend autonom und dezentral steuern, wird die Vorgabe von spezifischen Planungsparametern und -restriktionen von ERP-Systemen auf die MES- und Shop Floor Ebene essentiell bleiben. Die vertikale Integration und Vernetzung der CPS ist derzeit nur mit einem zusätzlichen Softwaremodul (Middleware) möglich.

Interessant ist die Fragestellung, wie sich dezentral steuernde Produktions- und Logistikprozesse organisieren werden, wenn Abläufe über die Unternehmensgrenzen hinausgehen. Diese Form der Automatisierung der Prozesse auf der Shop Floor Ebene auf Basis der Industrie 4.0 Philosophie erfordert nicht nur ein leistungsfähiges MES-System, sondern ein enges Zusammenspiel zwischen smarten Objekten auf der Shop Floor Ebene und dem ERP-System.

3.2.4 Entwicklung des ERP-Marktes

Nachdem die Ergebnisse der Marktstudie bezüglich der Funktionen und Eigenschaften sowie der Rolle von ERP-Systemen dargestellt wurden, wird in den folgenden Ausführungen dargelegt, wie sich der ERP-Markt aus Sicht der ERP-Anbieter im Kontext der Industrie 4.0 weiter entwickeln

wird. Zunächst wurde die Nachfrageentwicklung nach bestimmten Technologien (z. B. Cloud ERP) beleuchtet. Darüber hinaus wurde die Innovationsgeschwindigkeit auf dem deutschen ERP-Markt analysiert.

Die Abbildung 36 stellt dar, wie sich die Nachfrage nach Cloud und Open Source ERP-Systemen, nach Standardsystemen sowie nach ergänzenden bzw. erweiterten Anwendungen durch Programmierung aus Sicht der ERP-Anbieter zukünftig entwickeln wird.

Es herrscht weitestgehend Einigkeit darüber, dass die Nachfrage nach cloudbasierten ERP-Systemen zunehmen wird. 63 Prozent der Anbieter sehen im Bereich des Cloud Computing ein großes Entwicklungspotential. Nahezu ein Drittel

der Anbieter (26 Prozent) sieht keine Veränderung der Nachfrage nach Cloud Lösungen im Bereich ERP. Lediglich eine Minderheit der befragten Unternehmen (9 Prozent) ist der Auffassung, dass die Nachfrage sinken wird.

Bezüglich der Nachfrage nach Open Source ERP-Systemen geht nahezu die Hälfte der befragten ERP-Anbieter von einer gleichbleibenden Nachfrage (49 Prozent) aus. Ein Drittel (31 Prozent) der Befragten ist der Auffassung, dass die Nachfrage abnehmen wird. Ein signifikantes Potential von Open Source ERP-Systemen sehen die ERP-Anbieter nicht.

Aus Sicht der ERP-Anbieter wird die Nachfrage nach Standard ERP-Systemen tendenziell steigen. 46 Prozent prognostizieren hier ein

Wachstumspotential. Ein Drittel der Befragten sieht keine Veränderung der Nachfrage nach Standardsystemen. Ein ähnliches Meinungsbild zeigt sich in Bezug auf die Nachfrage nach zusätzlichen oder durch Programmierung erweiterten Anwendungen. Während 49 Prozent der befragten ERP-Anbieter mit einer Nachfragesteigerung rechnen, sind jeweils 23 Prozent der Meinung, dass die Nachfrage unverändert bleibt oder abnimmt.

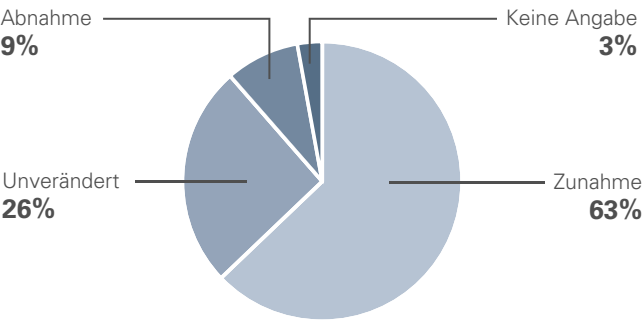
Neben den Fragen bezüglich der künftigen IT-Architektur und Funktionalitäten von ERP-Systemen wurde untersucht, welche ERP-Funktionalitäten wichtige Verkaufsargumente im Vertriebsprozess darstellen. Die Abbildung 37 zeigt die Einschätzung der ERP-Anbieter in absteigender Relevanz.

Die Auswertung zeigt deutlich, dass sowohl mobile ERP-Funktionen als auch Funktionalitäten im Bereich SCM wichtige Verkaufsargumente von ERP-Anbietern sind. Die Mehrheit der ERP-Anbieter (51 Prozent) weist Kunden explizit

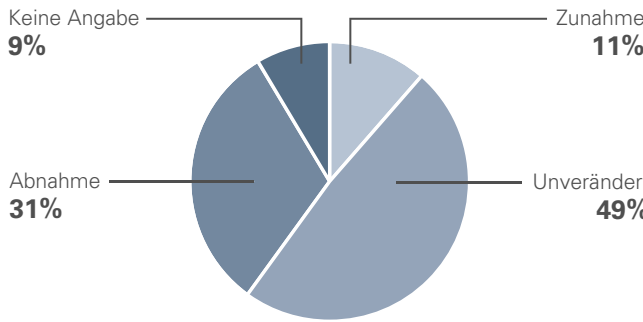
darauf hin, dass ihr ERP-System umfangreiche MES-Funktionen für die Produktionsplanung und -steuerung umfasst. Nachrangige Bedeutung für die Vermarktung von ERP-Systemen haben Social ERP-Funktionen. Lediglich 14 Prozent der Anbieter sind der Meinung, dass Social ERP-Funktionen ein wichtiges Verkaufsargument darstellen. Über die Relevanz von Funktionen für die Vernetzung und Kollaboration bzw. Social ERP herrscht seitens der ERP-Anbieter die größte ausgeprägte Unsicherheit.

Die Befragung der ERP-Anbieter zum Thema Innovationsgeschwindigkeit auf dem ERP-Markt zeigt ein klares Meinungsbild (Vgl. Abbildung 38). 74 Prozent der ERP-Anbieter vertreten die Meinung, dass die Innovationsgeschwindigkeit von ERP-Entwicklungen im Kontext der Industrie 4.0 zunehmen wird. Zusatzfunktionalitäten werden insbesondere im Bereich der Produktionsplanung und -steuerung erwartet.

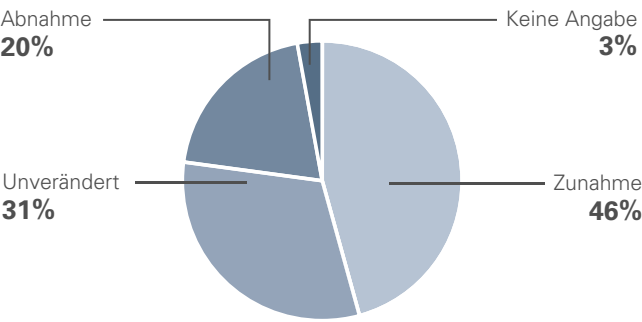
► Wie wird sich die Nachfrage nach Cloud-ERP-Systemen Ihrer Meinung nach entwickeln (n=35)?



► Wie wird sich die Nachfrage nach Open Source ERP-Systemen entwickeln (n=35)?



► Wie wird sich die Nachfrage nach Standardsystemen entwickeln (n=35)?



► Wie wird sich die Nachfrage nach ergänzenden Anwendungen entwickeln (n=35)?

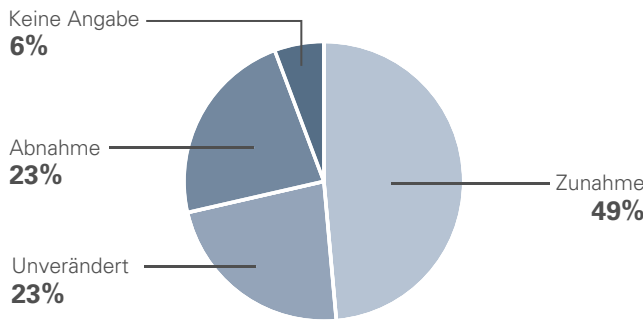


Abbildung 36: Nachfrageentwicklung von ERP-Systemen

► Sind die nachfolgenden Funktionalitäten für Sie ein wichtiges Verkaufsargument (n=35)?

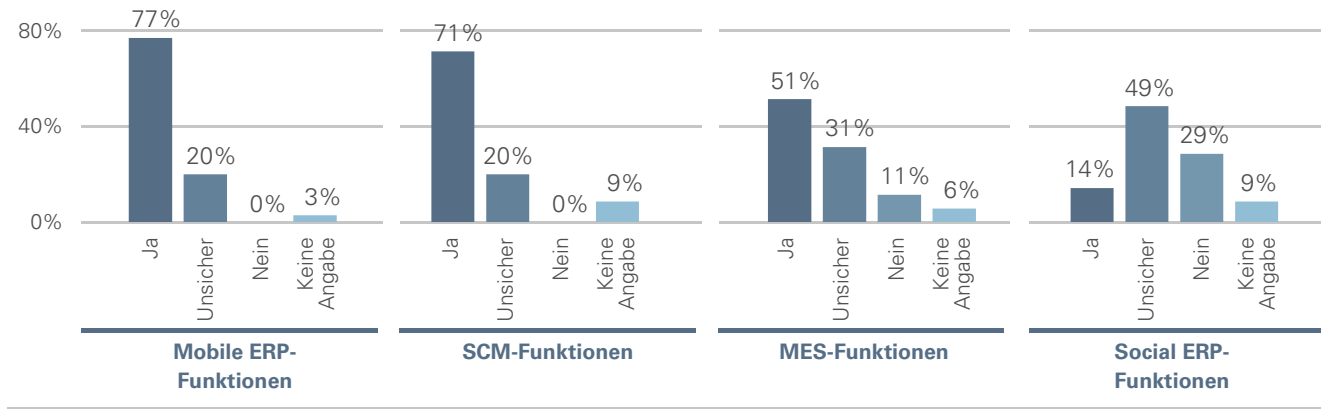


Abbildung 37: Funktionen als wichtige Verkaufsargumente

► Wie schätzen Sie die zukünftige Entwicklung/Innovationsgeschwindigkeit des ERP-Marktes ein (n=35)?

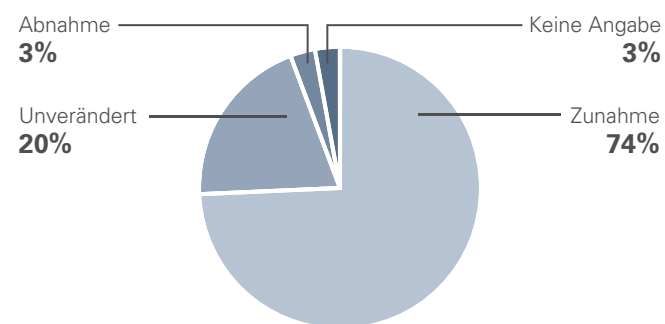


Abbildung 38: Einschätzung der Innovationsgeschwindigkeit

Die Auswertung der Ergebnisse sowie die Aussagen in den Experteninterviews verdeutlichen, dass nicht alle Anbieter auf dem deutschen ERP-Markt diesem Entwicklungstempo standhalten können (vgl. Abbildung 39). 62 Prozent der befragten ERP-Anbieter sind davon überzeugt, dass viele Anbieter mit der aktuellen Innovationsgeschwindigkeit nicht schritthalten können. Einige Anbieter von ERP-Lösungen hinken anderen Wettbewerbern hinterher oder werden gar abgehängt, da es an dem nötigen Fachwissen und / oder an Entwicklungsbudget mangelt. Zwar propagieren viele ERP-Anbieter Aktivitäten im Bereich Industrie 4.0., jedoch weisen nur wenige dieser Anbieter tatsächlich ein hohes Entwicklungsniveau auf.

Das Aufkaufen und Integrieren von spezifischen Expertensystemen in das eigene ERP-System ist im ERP-Markt eine weit verbreitete Methode, um den Funktionsumfang eines Systems in möglichst kurzer Zeit zu erweitern. Diese Geschäftspraxis ist zwar gegenüber der Variante der Eigenprogrammierung nicht unbedingt günstiger, hat aber einen signifikanten Zeitvorteil.

Im Rahmen der Marktstudie wurde in diesem Zusammenhang untersucht, inwieweit Anbieter dazu tendieren Drittprodukte aufzukaufen, um die steigenden Anforderungen an ERP-Anwendun-

► Können viele ERP-Anbieter der erwarteten hohen Innovationsgeschwindigkeit standhalten (n=35)?

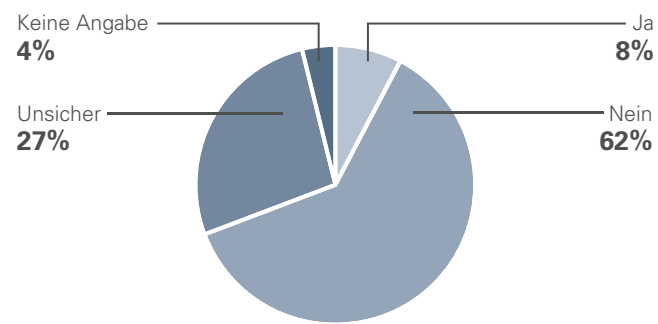


Abbildung 39: Reaktion der ERP-Anbieter auf die Innovationsgeschwindigkeit

gen im Kontext der Industrie 4.0 zu erfüllen. Die Abbildung 40 zeigt das Ergebnis.

Lediglich 23 Prozent der Anbieter vertreten die Sichtweise, dass der Aufkauf von Software ein sinnvolles Mittel ist, um das eigene ERP-System für die Industrie 4.0 funktional zu wappnen. Ein Drittel der Befragten (31 Prozent) prognostiziert, dass sich diese Geschäftsstrategie im ERP-Markt nicht durchsetzen wird. Nahezu die Hälfte der Studienteilnehmer (40 Prozent) konnten diese Frage nicht sicher beantworten. Es scheint demnach eine gewisse Unsicherheit zu geben, welche Strategien zur Weiterentwicklung der ERP-Systeme sich mittel- bis langfristig durchsetzen werden.

In einem Punkt waren sich die ERP-Anbieter einig. Es kann jetzt schon sicher belegt werden, dass sich die Reaktionszeiten auf technische Anforderungen deutlich verkürzt haben. Während die Entwicklung neuer Funktionalitäten früher einen Zeitraum von 18-24 Monate eingenommen hat, sprechen wir heute von Entwicklungszeiten von wenigen Monaten.

Die Implementierung von Industrie 4.0-Anwendungen, die das Paradigma 1:1 umsetzen, erfordert sowohl technisches als auch fachliches Wissen, über das ein ERP-Anbieter nur dann verfügt,

► Werden ERP-Anbieter unterschiedliche Unternehmens-Software aufkaufen, um diese zu einem voll-integrierten System für Industrie 4.0 auszubauen (n=35)?

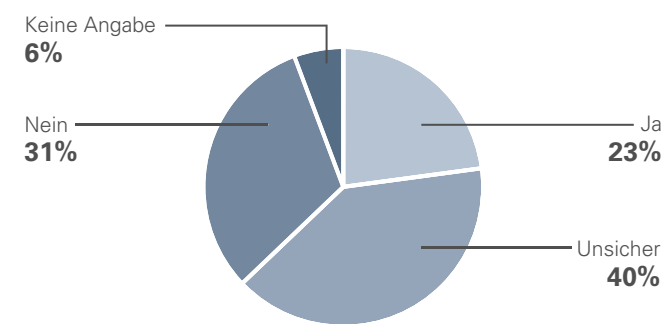


Abbildung 40: Übernahmebestrebungen von ERP-Anbietern

wenn er sich mit den Themen der Digitalisierung und Automatisierung in der Produktionsplanung und -steuerung intensiv befasst. Kooperationen von ERP-Anbietern mit Unternehmen aus dem Maschinen- und Anlagenbau sowie der Informations- und Kommunikationstechnik können sehr sinnvoll sein, um das Knowhow auf ERP-Anbieterseite zu erweitern. Schließlich muss bei der Umsetzung von Industrie 4.0-Anwendungen das ERP-System in der Lage sein, neu gewonnene Informationen (z. B. Sensordaten) vom Shop Floor zu integrieren und zu verarbeiten. Andererseits müssen Informationen von der ERP-Ebene auf die unteren Ebenen übertragen werden.

Auch Kooperationen mit Industrieverbänden stellen eine sinnvolle Maßnahme dar, um notwendige Fragen der Standardisierung und Datensicherheit zu beantworten. Kooperationen mit Forschungseinrichtungen können grundsätzlich helfen das Fachwissen rund um Industrie 4.0 zu erweitern und fördern den Erfahrungsaustausch zwischen Forschung und Anwenderpraxis. Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht die Kooperationsbestrebungen der ERP-Anbietern.

Insgesamt gehen 71 Prozent der ERP-Anbieter zukünftig von einer zunehmend engeren Zusammenarbeit mit anderen Software-Herstellern

aus. Lediglich 3 Prozent der Befragten sind der Auffassung, dass die Kooperationen mit anderen Herstellern künftig nicht intensiviert werden. Es ist folglich zu erwarten, dass es in Zukunft noch engere Beziehungen zwischen den Herstellern geben wird, als es bislang der Fall war.

► Werden ERP-Anbieter zukünftig enger mit anderen Herstellern von Unternehmens-Software kooperieren (n=35)?

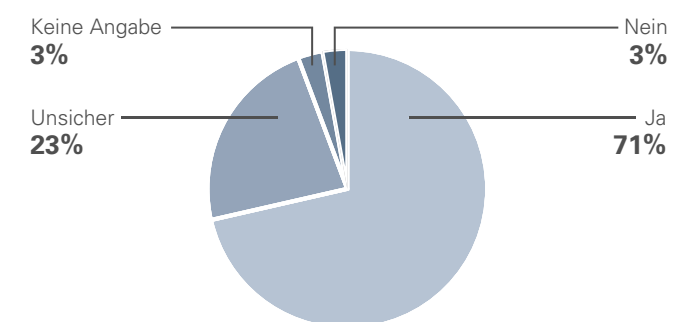


Abbildung 41: Kooperationsbestrebungen von ERP-Anbietern

4. MANAGEMENT SUMMARY

ERP-MARKTSTUDIE 2016

Der Mittelstand steht in Bezug auf die Entwicklungen in der Industrie 4.0 vor diversen Herausforderungen: Unternehmen müssen einerseits das notwendige Know-How aufbauen um die Potentiale, die sich durch Industrie 4.0-Anwendungen ergeben, auf das eigene Unternehmen interpretieren zu können. Andererseits müssen sie prüfen, ob die systemseitigen Voraussetzungen, in Form eines modernen ERP-Systems, für die Einführung von Industrie 4.0 überhaupt erfüllt sind. Ist dies nicht der Fall, sollte untersucht werden, ob die Modernisierung der ERP-Systemlandschaft möglich und auch losgelöst von Industrie 4.0 Bestrebungen eine sinnvolle Maßnahme ist. Trifft dies zu, ist es unbedingt ratsam, bei der ERP-Auswahl verschiedene Kriterien miteinzubeziehen, die in der vorliegenden Marktstudie beleuchtet werden.

Die zentralen Ergebnisse: In der Industrie 4.0 ziehen modernste Informations- und Internet-Technologien flächendeckend in die Produktion und Logistik ein. Die vorliegende Marktstudie zeigt, dass ERP-Systeme als Datendrehscheibe, Integrationszentrum und Herzstück von Unternehmen in der Industrie 4.0 auch weiterhin eine zentrale Rolle spielen werden. Die Untersuchung gibt einen aufschlussreichen Überblick über die aktuelle Einschätzung von ERP-Anbietern bezüglich der zukünftigen Funktionen und Eigenschaften, der Rolle und Relevanz von ERP-Systemen sowie der Entwicklung des ERP-Marktes. Die Studie ist für den Mittelstand damit eine wichtige Informationsbasis und Entscheidungshilfe bei der Beantwortung der Frage, welche Funktionalitäten und technologischen Komponenten ein ERP-System Industrie 4.0 tauglich machen.

Die Bedeutung von ERP-Systemen im Kontext der Industrie 4.0 wird aufgrund der Dezentralität der Planung und Steuerung in der Produktion durch smarte Produktionsmaschinen, die untereinander vernetzt sind, nicht abnehmen. ERP-Systeme werden für die Industrie 4.0 immer mehr zum Knotenpunkt oder zentralen Hub. ERP-Systeme müssen alle Akteure und

Maschinen miteinander vernetzen, Stammdaten und Auftragsdaten bereitstellen und die Auftragsabwicklung koordinieren. Die Einführung von smarten Maschinen bringt neue Technik- und Steuerungskomponenten mit sich (z. B. Sensoren), die mit dem ERP-System gekoppelt werden müssen. Insbesondere KMU's sollten sich vor dem Hintergrund dieser Erkenntnisse fragen, ob ihre aktuelle IT-Systemumgebung mittel- bis langfristig Industrie 4.0 tauglich ist, denn ein ERP-System ist in vielen Fällen die essentielle Grundlage für eine durchgängige Digitalisierung von Unternehmensprozessen.

Die Marktstudie zeigt ferner, dass ERP-Systeme bestimmte Voraussetzungen erfüllen müssen, um mit den gestiegenen und teils völlig neuen Anforderungen der Industrie 4.0 Schritt halten zu können. Sie müssen offen und kommunikationsfähig gestaltet sein. Offene und leicht konfigurierbare Schnittstellen für den elektronischen Datenaustausch werden zunehmend wichtiger. Für die reibungslose Integration von Kunden oder Lieferanten, die nicht über die Technik für eine EDI-Kommunikation verfügen, müssen ERP-Systeme Plattformen anbieten. Da Industrie 4.0 eine stärkere Vernetzung von Partnern in der Wertschöpfungskette zum Inhalt hat, müssen ERP-Systeme ferner Multi-Site Funktionalitäten mitbringen, mit denen Abläufe über die Unternehmensgrenzen hinaus gesteuert werden können. Nur so ist eine standortübergreifende Planung und Steuerung möglich. Die Integration moderner Technologie wie das Cloud Computing wird immer wichtiger. Anwendungen in ERP-Systemen müssen flexibel und erweiterbar sein. Die Entwicklung von Applikationen (Apps) in der IT-Architektur von ERP-Systemen wird künftig an Bedeutung zunehmen, insbesondere um das mobile Arbeiten mit der betrieblichen Software zu ermöglichen.

Die Innovationsgeschwindigkeit auf dem ERP-Anbietermarkt ist hoch. Viele ERP-Hersteller arbeiten mit Hochdruck daran, Industrie 4.0-Anwendungen zu integrieren, um Schritt zu halten.

Themen wie Standardisierung von Dateninhalten und die Entwicklung von neuen Formen der Kommunikation bzw. Schnittstellen werden aktuell stetig weiterentwickelt. Es wird verbreitet die Meinung vertreten, dass die vertikale Integration und Vernetzung der CPS in der Produktion künftig nicht ohne MES-Systeme möglich sein wird. Bei den ERP-Anbietern besteht weitestgehend Konsens, dass die wachsende Komplexität, die sich aus Industrie 4.0 ergibt, nur mit entsprechender Funktionalität zur Steuerung der Produktion bewältigt werden kann. MES-Systeme werden aber aus Sicht der ERP-Anbieter nicht unbedingt der zentrale Dreh- und Angelpunkt sein. Forschungsseitig wird die Notwendigkeit von MES-Systemen hinterfragt und Alternativlösungen entwickelt. Viele ERP-Anbieter arbeiten mit Hochdruck daran, die Produktionsgrobplanung in ihrem System um Funktionalitäten für die Feinplanung zu ergänzen. Es ist absehbar, dass zumindest die größeren Anbieter in wenigen Jahren die funktionalen Lücken schließen und stärker in den MES-Markt vordringen.

ERP-Anbieter werden die Änderungen von Produktionsabläufen in der Industrie 4.0 nicht ignorieren können. Ein Wandel ist hier zu erkennen. ERP-Systeme werden in diesem Kontext zunehmend für die Auswertung und das Monitoring von Informationen aus unterschiedlichen Quellen verwendet und damit weiter Single Source of Truth in Unternehmen bleiben. Mehr Daten aus der Produktion müssen verarbeitet und ausgewertet werden. Vor diesem Hintergrund werden sich die technischen Möglichkeiten von BI, Business Analytics etc. in ERP-Systemen stetig weiterentwickeln müssen, da der Bedarf an der Echtzeit-Verarbeitung von großen Datenvolumen aus dem Produktionsbereich künftig weiter steigen wird.

Einen Punkt ausgenommen, konnten alle aufgestellten Thesen im Rahmen der Marktstudie im Wesentlichen bestätigt werden. Die These, die die zunehmende Verbreitung des Kommunikationsstandards OPC-UA zum Inhalt hatte, konnte

nicht verifiziert werden. Dieser Standard ist zwar von großen ERP-Anbietern bereits umgesetzt, eine umfassende Verbreitung kann jedoch nicht bestätigt werden. Insbesondere die Echtzeitfähigkeit von Schnittstellenstandards sind für Industrie 4.0-Anwendungen von hoher Relevanz. Industrie 4.0 verursacht einen Paradigmenwechsel in der Produktion. Es handelt sich dabei um eine Revolution, um eine Abkehr von einer zentralistischen Planung und Steuerung hin zu einer dezentralen autonomen Steuerung von smarten Objekten. Die Studie zeigt, dass ERP-Anbieter auf die neuen Entwicklungen Schritt für Schritt reagieren und neue Funktionen regelmäßig umsetzen. Da es derzeit noch viele unbekannte Variablen gibt, werden sich ERP-Anbieter wie auch ERP-Anwender Industrie 4.0-Anwendungen zur Umsetzung von smarten Fabriken sukzessive annähern müssen.

Die vorliegende Marktstudie gibt wichtige Hinweise sowohl für ERP-Anbieter als auch für ERP-Anwender. Basierend auf den Ergebnissen der Marktstudie können mehrere Handlungsempfehlungen für ERP-Anbieter abgeleitet werden: Kooperationen mit Unternehmen aus dem Maschinen- und Anlagenbau sowie der Informations- und Kommunikationstechnik müssen intensiviert werden, um die Kommunikationsfähigkeit und Integration von Sensordaten realisieren zu können. Um notwendige Fragen der Standardisierung und Sicherheit zu beantworten, ist es sinnvoll, Kooperationen mit Verbänden (z. B. VDI, VDE, BDI) zu verstärken. Vor dem Hintergrund der Industrie 4.0 wird es zunehmend wichtiger Geschäftsmodelle von morgen bereits heute zu erkennen und die entsprechenden ERP-Anforderungen abzuleiten. Da diese Aufgabe häufig mit den vorhandenen F&E-Ressourcen schwierig ist, ist es sinnvoll, dass ERP-Anbieter enger mit Forschungseinrichtungen kooperieren.

Um die richtigen Weichen für eine schrittweise Entwicklung in Richtung Industrie 4.0 zu stellen, umfassen die Handlungsempfehlungen für KMU's bzw. ERP-Anwender im Wesentlichen die Faktoren, die bei der Auswahl von ERP-Systemen

berücksichtigt werden sollten:

- Systembasierte Durchgängigkeit von Informationen im gesamten Unternehmen von der Entwicklung über Einkauf und Produktion bis in den Verkauf (vertikale Integration) inklusive der Integration von PLM-Systemen in Kombination mit Produkt-/Auftragskonfiguratoren
- Wandlungsfähigkeit des ERP-Systems, um auf den individuellen Bedarf flexibel reagieren zu können und neue funktionale Anforderungen ohne massiven Aufwand übernehmen zu können
- Kommunikationsfähigkeit über Unternehmensgrenzen hinweg mit Hilfe von Multi-Site Funktionalitäten und umfangreiche Funktionen für das SCM (horizontale Integration)
- Funktionen zur Vernetzung und Kollaboration für eine beschleunigte und effizientere Kommunikation innerhalb des Unternehmens
- Funktionen für das Business Intelligence und Analytics als Grundlage für einen schnelleren Entscheidungsfindungsprozess und bessere Entscheidungen
- Mobile ERP-Funktionalität

Um die **neue Rolle** von ERP-Systemen im Kontext der **Industrie 4.0** zu veranschaulichen, hat das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik ein **Virtual Reality Lab für SCM** (VR LAB SCM) aufgebaut, dass im Rahmen von „Digital in NRW - das Kompetenzzentrum für den Mittelstand“ **besucht werden kann**.



VR LAB SCM am Fraunhofer IML

5. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS
ERP-MARKTSTUDIE 2016

App	Application
ASP	Application Service Providing
BI	Business Intelligence
BITKOM	Bundesverband für Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien
BYOD	Bring your own Device
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CPS	Cyber-physische Systeme
CPPS	Cyber-physische Produktionssysteme
CRM	Customer Relationship Management
DKE	Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik
EAI	Enterprise Application Integration
EDI	Electronic Data Interchange
ERP	Enterprise Resource Planning
ESB	Enterprise Service Bus
FIR	Forschungsinstitut für Rationalisierung
GoBD	Grundsätzen zur ordnungsmäßigen Führung und Aufbewahrung von Büchern, Aufzeichnungen und Unterlagen in elektronischer Form sowie zum Datenzugriff
IaaS	Infrastructure-as-a-Service
IEC	International Electrotechnical Commission
IT	Informationstechnologie
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IML	Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik
IPA	Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung
IPv4	Internet Protocol Version 4
IPv6	Internet Protocol Version 6
KPI	Key Performance Indicator
MES	Manufacturing Execution Systems
MVC	Model-View-Controller
OCR	Optical Character Recognition
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OPC-UA	Open Platform Communications Unified Architecture
PaaS	Platform-as-a-Service
PLM	Product Lifecycle Management
RAMI 4.0	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0
RFID	Radio Frequency Identification
SaaS	Software-as-a-Service
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SCM	Supply Chain Management
SOA	Serviceorientierte Architektur
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SRM	Supplier Relationship Management
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
XaaS	Everything-as-a-Service
XML	Extensible Markup Language
ZUGFeRD	Zentralen User Guide des Forums elektronischer Rechnungen Deutschland

6. ABBILDUNGSVERZEICHNIS
ERP-MARKTSTUDIE 2016

Abbildung 1: Stufen der industriellen Revolution [DROST & HEYER 2015, S. 6]	6
Abbildung 2: Merkmale der Industrie 4.0 i. A. a. [BITKOM et al. 2015, S. 48]	8
Abbildung 3: Enabler der Industrie 4.0	10
Abbildung 4: Internet der Dinge und Dienste [KAGERMANN 2014, S. 604]	11
Abbildung 5: Technologische Anforderungen im Kontext der Industrie 4.0	15
Abbildung 6: Zukünftige IT-Architektur [WOCHINGER 2013a, S. 16]	16
Abbildung 7: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 [ADOLPHS & EPPL 2015]	18
Abbildung 8: Funktionale Anforderungen im Kontext der Industrie 4.0	22
Abbildung 9: Vorgehensweise der Untersuchung	26
Abbildung 10: Teilnehmer der Marktstudie	27
Abbildung 11: Rolle der ERP-Anbieter im ERP-Markt	30
Abbildung 12: Tätigkeitsbereiche der ERP-Anbieter	30
Abbildung 13: Unternehmensgrößenfokus der ERP-Anbieter	31
Abbildung 14: Treiber für die Weiterentwicklung des ERP-Systems	31
Abbildung 15: Bekanntheitsgrad und Berücksichtigung des RAMI 4.0	32
Abbildung 16: Aktuelle Aktivitäten im Kontext der Industrie 4.0	33
Abbildung 17: Fokus der aktuellen und geplanten Weiterentwicklungen	35
Abbildung 18: Bestrebungen der ERP-Anbieter zur Modularisierung (Appisierung) ihres ERP-Systems	36
Abbildung 19: Aktuelle Gestaltung der ERP-Anwendungen	36
Abbildung 20: Bedeutung vollintegrierter Funktionalitäten	37
Abbildung 21: Zukünftig zu integrierende ERP-Funktionalitäten	38
Abbildung 22: Bedeutung der Interoperabilität und Offenheit von ERP-Systemen	39
Abbildung 23: Bedeutung von Anwendungen und Diensten als ERP-Funktionen	39
Abbildung 24: Bedeutung der Konfiguration von einzelnen Anwendungen und Diensten zu einem kundenindividuellen Gesamtsystem	40
Abbildung 25: Einschätzung der Flexibilität der ERP-Anbieter zur Einbindung von CPS	40
Abbildung 26: Relevanz der Daten von CPS im ERP-System	42
Abbildung 27: Einschätzung der ERP-Anbieter zur Problematik der immensen Datenmengen in Industrie 4.0	43
Abbildung 28: Bestrebungen der ERP-Anbieter zur Beschleunigung von Datenauswertungen	43
Abbildung 29: Einschätzung der ERP-Anbieter zum Datenaustausch über Cloud-Lösungen	44
Abbildung 30: Datenaustausch über Lieferanten- und Kundenportale	44
Abbildung 31: Datenaustausch über EDI-Schnittstellen	45
Abbildung 32: Zukünftige Rolle von ERP-Systemen	47
Abbildung 33: Zukünftige Rolle von ERP-Systemen in der reinen Verwendung im betriebswirtschaftlichen Bereich	48
Abbildung 34: Zukünftige Rolle von ERP-Systemen im Bereich der Produktionsplanung	48
Abbildung 35: Zukünftige Rolle von MES in der IT-Landschaft	48
Abbildung 36: Nachfrageentwicklung von ERP-Systemen	50
Abbildung 37: Funktionen als wichtige Verkaufsargumente	51
Abbildung 38: Einschätzungen der Innovationsgeschwindigkeit	52
Abbildung 39: Reaktion der ERP-Anbieter auf Innovationsgeschwindigkeit	52
Abbildung 40: Übernahmebestrebungen von ERP-Anbietern	53
Abbildung 41: Kooperationsbestrebungen von ERP-Anbietern	53

7. LITERATURVERZEICHNIS

ERP-MARKTSTUDIE 2016

- [Abh15] ABOLHASSAN, F. (2015): Sichere Informationstechnologie. Was braucht die Cloud? In: IT & Produktion 16 (2015) 6, S. 92–93.
- [ACA11] ACATECH (2011): Cyber-physical systems. Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion. Berlin, München (Acatech Position).
- [Ado15] ADOLPHS, P.; EPPLE, U. (2015): Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0. Statusreport. Hg. v. VDI/VDE-Gesellschaft, ZVEI, GMA und DKE. Düsseldorf, Frankfurt/Main.
- [Bau15a] BAUERNHANSL, T. (2015a): Industrie 4.0 - Von der Wertschöpfung zur Wertschaffung. Fraunhofer IPA. Stuttgart, 19.03.2015.
- [Bau15b] BAUERNHANSL, T. (2015b): Umsetzungsschritte in der 4. industriellen Revolution: Hintergründe und Erwartungen. Stuttgart, 26.03.2015.
- [Bau11] BAUN, C.; KUNZE, M.; NIMIS, J.; TAI, S. (2011): Cloud Computing. Web-Based Dynamic IT Services. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- [Bec14] BECHTOLD, J.; KERN, A.; LAUENSTEIN, C.; BERNHOFER, L. (2014): Industry 4.0 – The Capgemini Consulting View. Sharpening the Picture beyond the Hype.
- [Bed13] BEDNER, M. (2013): Cloud Computing. Technik, Sicherheit und rechtliche Gestaltung. Kassel: University Press (Forum Wirtschaftsrecht, Bd. 14).
- [Ben15] BENFER, D. (2015): Road to Industrie 4.0. Supply Chain Management in einer neuen Dimension. Wassermann AG. Online verfügbar unter <http://www.wassermann.de/scm-software/industrie-40.html>, zuletzt aktualisiert am 18.05.2015.
- [Ber15] BERLAK, J. (2015): Dienstbasierte Planung und Vernetzung mit dem shopfloor im I4.0-Unternehmen. Zukunftskongress Logistik. software4production. Fraunhofer IML. Dortmund, 09.09.2015. 8 Literaturverzeichnis 103
- [Bil14] BILDSTEIN, A.; SEIDELMANN, J. (2014): Industrie 4.0-Readiness: Migration zur Industrie 4.0-Fertigung. In: B. Vogel-Heuser (Hg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien und Migration. Unter Mitarbeit von T. Bauernhansl und M. ten Hompel. Wiesbaden: Springer Vieweg Fachmedien, S. 581–600.
- [Bin15a] BINGLER, D. (2015a): Enterprise Resource Planning. Bausteine einer betriebswirtschaftlichen Komplettlösung. Nutzung, Nutzen und Trends. Hg. v. Bundesverband Informationswirtschaft Telekommunikation und neue Medien e.V. (Bitkom). Bitkom.
- [Bin15b] BINGLER, D. (2015b): Wie Industrie 4.0 die Zukunft von ERP gestaltet. Hannover Messe. Bundesverband Informationswirtschaft Telekommunikation und neue Medien e.V. (Bitkom). Hannover, 17.03.2015.
- [BIT14] BITKOM (2014): Industrie 4.0. Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. Berlin: BITKOM.
- [BIT15] BITKOM; VDMA; ZVEI (2015): Umsetzungsstrategie Industrie 4.0. Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0. Berlin, Frankfurt/Main.
- [Blö15] BLÖCHL, T.; SCHAFFRY, A. (2015): Integrierte Systemlandschaften. Mit Shopfloor-IT die Produktion ausleuchten. In: IT & Produktion 16 (2015) 6, S. 76–77.
- [Bor15] BORGER, O. (2015): Industrie 4.0: MES vom notwendigen Übel zum zentralen Erfolgsfaktor? | NTT DATA Blog Europe. Innovate. Online verfügbar unter <http://emea.ntt-data.com/blog/de/2015/05/06/industrie-4-0-mes-vom-notwendigen-uebel-zum-zentralen-erfolgsfaktor/>, zuletzt aktualisiert am 04.06.2015.
- [Bot15] BOTTHOF, A.; HARTMANN, E. A. (Hg.) (2015): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Autonomik Industrie 4.0. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg Fachmedien. 8 Literaturverzeichnis 104
- [Cip15] CIPRINA, A. (2015): AUTOID - Technologieauswahl für die automatische Identifikation. Hg. v. Fraunhofer IML. Dortmund.
- [Dai14] DAIS, S. (2014): Industrie 4.0 – Anstoß, Vision, Vorgehen. In: B. Vogel-Heuser (Hg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien und Migration. Unter Mitarbeit von T. Bauernhansl und M. ten Hompel. Wiesbaden: Springer Vieweg Fachmedien, S. 625–634.
- [DKE13] DKE; VDE (2013): Die deutsche Normungs-Roadmap Industrie 4.0. DKE Normungs-Roadmap. Version 1.0. Hg. v. DKE und VDE. Frankfurt/Main.
- [Dro15] DROST, W.; HEYER, T. (2015): Industrie 4.0 - Deutschland als Vorreiter der digitalisierten Vernetzung von Produkten und Produktionsprozessen. Politische Handlungsempfehlungen.
- [Ebe12] EBEL, D. (2012): Enterprise Resource Planning. In: M. ten Hompel (Hg.): IT in der Logistik 2012. Trends des Logistik-IT-Marktes auf einen Blick - vom Supply Chain Management bis zum Warehouse Management. Hamburg: DVV Media Group.
- [Gei12] GEISBERGER, E.; BROY, M. (2012): Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Berlin, Heidelberg: SpringerLink.
- [Glö15] GLÖCKL-FROHNHOLZER, J. (2015): Die I4.0 Community Cloud. Die Community Cloud als Basistechnologie für Industrie 4.0. In: C. Köhler-Schulte (Hg.): Industrie 4.0: Ein praxisorientierter Ansatz. Berlin: KS-Energy-Verlag, S. 56–72.
- [Gro14] GRONAU, N. (2014): Enterprise Resource Planning. Architektur, Funktionen und Management von ERP-Systemen. 3. Aufl. München: De Gruyter Oldenbourg.
- [Heg15] HEGMANN, T.; PRASSE, C.; BISCHOFF, J.; TAPHORN, C.; BRAUN, N.; FELLBAUM, M. et al. (2015): Erschließen der Potenziale der Anwendung von Industrie 4.0 im Mittel-

- stand. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). Dortmund.
- [Hir14] HIRSCH-KREINSEN, H.; WEYER, J. (2014): Wandel von Produktionsarbeit - „Industrie 4.0“. Dortmund: Techn. Univ (Soziologisches Arbeitspapier, 38).
- [Hop14] HOPPE, S. (2014): Standardisierte horizontale und vertikale Kommunikation: Status und Ausblick. In: B. Vogel-Heuser (Hg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien und Migration. Unter Mitarbeit von T. Bauernhansl und M. ten Hompel. Wiesbaden: Springer Vieweg Fachmedien, S. 324–341.
- [Hop15] HOPPE, S. (2015): Standardisierung in Industrie 4.0 - vertikale und horizontale Integration. In: C. Köhler-Schulte (Hg.): Industrie 4.0: Ein praxisorientierter Ansatz. Berlin: KS-Energy-Verlag, S. 105–115.
- [Hör15] HÖRCHER, G. (2015): Kommunikationsaspekte bei Industrie 4.0. VDE - Industrie 4.0. VDE. BMWi. Berlin, 19.02.2015.
- [IPV] IPV6-PORTAL: Unterschiede zwischen IPv4 und IPv6. Online verfügbar unter <http://www.ipv6-portal.de/informationen/unterschiede-ipv4-ipv6.html>.
- [Iss15] ISSING, S.; OBERMEYER, A. (2015): Das verlangt Industrie 4.0 von ERP-Systemen. IFS. Online verfügbar unter <http://www.ifs-world.com/de/news/presse/2015/04/27/13/31/das-verlangt-industrie40-von-erp-systemen/>, zuletzt aktualisiert am 06.06.2015.
- [ITP15] IT & PRODUKTION (2015): Marktübersicht. Systeme und Anbieter im Überblick. In: IT & Produktion 16 (2015) 6, S. 30–33.
- [ITW12] IT-WISSEN (2012): Ad-hoc-Netz. Hg. v. DATACOM Buchverlag GmbH. Online verfügbar unter <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Ad-hoc-Netzwerk-ad-hoc-net-work.html>, zuletzt aktualisiert am 10.09.2015.
- [Kag14] KAGERMANN, H. (2014): Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In: B. Vogel-Heuser (Hg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien und Migration. Unter Mitarbeit von T. Bauernhansl und M. ten Hompel. Wiesbaden: Springer Vieweg Fachmedien, S. 603–615. 8 Literaturverzeichnis 107
- [Kag13] KAGERMANN, H.; HELBIG, J.; HELLINGER, A.; WAHLSTER, W. (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Berlin, Frankfurt/Main: Forschungsunion; Geschäftsstelle der Plattform Industrie 4.0.
- [Ker14] KERSTEN, W. (Hg.) (2014): Industrie 4.0. Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern. Berlin: Gito (Schriftenreihe der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation e.V. (HAB)).
- [Kle14] KLEINEMEIER, M. (2014): Von der Automatisierungspyramide zu Unternehmenssteuerungs-netzwerken. In: B. Vogel-Heuser (Hg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien und Migration. Unter Mitarbeit von T. Bauernhansl und M. ten Hompel. Wiesbaden: Springer Vieweg Fachmedien, S. 571–579.
- [Kur93] KURBEL (1993): CA-Techniken und CIM. In: W. Wittmann (Hg.): Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 5., völlig neu gestaltete Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel (Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre, 1), S. 619–637.
- [Las14] LASI, H.; FETTKE, P.; KEMPER, H.-G.; FELD, T.; HOFFMANN, M. (2014): Industrie 4.0. In: Wirtschaftsinformatik 56 (2014) 4, S. 261–264. DOI: 10.1007/s11576-014-0424-4.
- [Mei15] MEISSNER, M. (2015): Digitalisierung. Die digitale Wertschöpfungskette - eine Herausforderung auch für die Software. Zukunftskongress Logistik. AEB GmbH. Fraunhofer IML. Dortmund, 09.09.2015.
- [Moo65] MOORE, G. E. (1965): Cramming more components onto integrated circuits. New York: McGraw-Hill.
- [Mül15] MÜLLER, S. (2015b): Manufacturing Execution Systeme (MES). Status Quo und Ausblick in Richtung Industrie 4.0. 1. Aufl. Norderstedt: Books on Demand.
- [Nie14] NIEMANN, F.; PAUL, J.-A. (2014): Rechtsfragen des Cloud Computing. Herausforderungen für die unternehmerische Praxis. Berlin: De Gruyter (Praxishandbuch).
- [Pla11] PLATTNER, H.; ZEIER, A. (2011): In-Memory Data Management. An Inflection Point for Enterprise Applications. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- [Rec99] RECHENBERG, P.; POMBERGER, G.; MÄRTIN, D.; PIRKLBAUER, K. (1999): Informatik-Handbuch. 2. Aufl. München: C. Hanser.
- [Rep10] REPSCHLÄGER, J.; PANNICKE, D.; ZARNEKOW R. (2010): Cloud Computing. Definitionen, Geschäftsmodelle und Entwicklungspotentiale. In: HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik (2010) 275, S. 6–15.
- [Roß14] ROßMEIßL, E. (2014): Industrie 4.0: Neue Aufgaben für Produktionsmanagement und -controlling. In: R. Gleich (Hg.): Controlling und Big Data. Anforderungen, Auswirkungen, Lösungen. 1. Aufl. Freiburg im Breisgau: Haufe, S. 141–155.
- [Sch12] SCHEER, A.-W. (2012): Industrierevolution 4.0 ist mit weitreichenden organisatorischen Konsequenzen verbunden. In: IM Information Management und Consulting (2012) 3, S. 10–11.
- [Sch14a] SCHEER, A.-W. (2014a): Industrie 4.0 - Was ist neu? Online verfügbar unter <http://scheer-management.com/industrie-4-0/industrie-4-0/was-ist-neu/>, zuletzt aktualisiert am 15.10.2015.

- [Sch14b] SCHLIEßMANN, A. (2014): iProduction, die Mensch-Maschine-Kommunikation in der Smart Factory. In: B. Vogel-Heuser (Hg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien und Migration. Unter Mitarbeit von T. Bauernhansl und M. ten Hompel. Wiesbaden: Springer Vieweg Fachmedien, S. 451–480. 8 Literaturverzeichnis 111.
- [Sch14c] SCHLUMPBERGER, C. (2014): ERP Trends 2014. Einfache Bedienbarkeit, guter Support und kein Ballast. Markt und Mittelstand. Online verfügbar unter <http://www.markt-und-mittelstand.de/nachrichten/produktion-technologie/erp-trends-2014-1208591/>.
- [Sch14d] SCHÖNAUER, I. (2014): Werkstücke suchen eine Weltsprache. Berlin: Reflex Verlag GmbH (Industrie 4.0).
- [Sch14e] SCHUMACHER, H. (2014): Digitale Echtzeitproduktion lockt Datendiebe. Berlin: Reflex Verlag GmbH (Industrie 4.0).
- [Sen13] SENDLER, U. (2013): Industrie 4.0. Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Xpert.press).
- [Sen14] SENDLER, U. (2014): Industriegipfel Feldafing – System Leadership 2030. Ein Resümee erster Strategiegelgespräche zu Industrie 4.0. In: Informatik Spektrum 37 (2014) 1, S. 54–72. DOI: 10.1007/s00287-013-0763-3.
- [Sim13] SIMON, W. (2013): Blick in die Zukunft: Industrie 4.0. Die Fusion von Produktionstechnik, Informationstechnologie und Internet. In: Industrial Engineering (2013) 2, S. 38–40.
- [Son14a] SONTOW, K.; SCHÜRMEYER, M. (2014a): Anwender verteilen Zeugnisse für Ihre ERP-Lösungen. ERP in der Praxis. In: Business Guide ERP 2014 (2014), S. 6–9. 8 Literaturverzeichnis 112.
- [Son14b] SONTOW, K.; SCHÜRMEYER, M. (2014b): Industrielle Vernetzung verwandelt ERP-Systeme. ERP in Fertigungsunternehmen. In: Business Guide ERP 2014 (2014), S. 10–12.
- [Spa14] SPATH, D. (Hg.) (2014): Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Unter Mitarbeit von Oliver Ganschar, Stefan Gerlach, Tobias Krause und Sebastian Schlund. Fraunhofer IAO. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- [Ste15] STEHLIK, H. (2015): Unternehmen und ihre IT im Wandel. Die Ära Reaktionsfähigkeit. In: IT & Produktion 16 (2015) 6, S. 28–29.
- [Sti15] STICH, V. (2015): ERP 4.0 – Entwicklungstendenzen der ERP-Systeme im Kontext der 4. Industriellen Revolution. Forschungsinstituts für Rationalisierung (FIR); RWTH Aachen. Aachen, 17.03.2015.
- [Tis15] TISCHNER, G.; HOHMANN, E. (2015): Was das ERP der Zukunft leistet. In-Memory, Echtzeitreporting und Co. In: IT & Produktion 16 (2015) 6, S. 24–25.
- [VDI15] VDI (2015): Industrie-4.0-Konzepte rütteln an der Automatisierungspyramide - vdi-nachrichten.com. Online verfügbar unter <http://www.vdi.de/presse/>, zuletzt aktualisiert am 22.05.2015.
- [VDI13] VDI/VDE (2013): Cyber-Physical Systems. Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation. Unter Mitarbeit von Kurt Bettenhausen und Stefan Kowalski. Hg. v. VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik. VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (Thesen und Handlungsfelder).
- [Vog14a] VOGEL-HEUSER, B. (2014a): Herausforderungen und Anforderungen aus Sicht der IT und der Automatisierungstechnik. In: B. Vogel-Heuser (Hg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien und Migration. Unter Mitarbeit von T. Bauernhansl und M. ten Hompel. Wiesbaden: Springer Vieweg Fachmedien, S. 37–48.
- [Vog14b] VOGEL-HEUSER, B. (Hg.) (2014b): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien und Migration. Unter Mitarbeit von T. Bauernhansl und M. ten Hompel. Wiesbaden: Springer Vieweg Fachmedien.
- [Wan14] WANNENWETSCH, H. (2014): Integrierte Materialwirtschaft, Logistik und Beschaffung. 5. Aufl. Berlin: Springer Vieweg Fachmedien.
- [Was15] WASSENBERG, N.; LEHMANN, C. (2015): Industrie 4.0 - Mehr als die Digitalisierung von Geschäftsprozessen. In: C. Köhler-Schute (Hg.): Industrie 4.0: Ein praxisorientierter Ansatz. Berlin: KS-Energy-Verlag, S. 137–142.
- [Web12] WEBER, R. (2012): Technologie von Unternehmenssoftware. Mit SAP-Beispielen. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg Fachmedien.
- [Woc13] WOCHINGER, T. (2013): ERP2020 - wie verändern SCM Cloud und Big Data die Unternehmensprozesse. Fraunhofer IPA. Düsseldorf, 23.04.2013.
- [Woc14] WOCHINGER, T. (2014): Industrie 4.0 - Prozesse, Hard- und Software in der Produktion harmonisieren. Voraussetzungen, Trends und Anwendungen der vierten industriellen Revolution. Fraunhofer IPA. Stuttgart, 12.03.2014. 8 Literaturverzeichnis 114.

8. IMPRESSUM

ERP-MARKTSTUDIE 2016

Kontakt

Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Dortmund
-Geschäftsstelle-
Joseph-von-Fraunhofer Str. 2-4
44227 Dortmund

Tel.: 0231 - 9743 611
E-Mail: info@digital-in-nrw.de
www.digital-in-nrw.de

Das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Dortmund ist Teil der Förderinitiative „Mittelstand 4.0 – Digitale Produktions- und Arbeitsprozesse“, die im Rahmen des Förderschwerpunkts „Mittelstand-Digital – Strategien zur digitalen Transformation der Unternehmensprozesse“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert wird.

Mittelstand-
Digital

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

DIGITAL IN NRW
DAS KOMPETENZZENTRUM
FÜR DEN MITTELSTAND



Impressum

Herausgeber:
Fraunhofer-Institut für Materialfluss
und Logistik IML
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2-4
44227 Dortmund

Autoren

Philipp Klink, Fraunhofer IML,
Team ERP LOGISTICS

Christoph Mertens, Fraunhofer IML,
Team ERP LOGISTICS

Katharina Kompalka, Fraunhofer IML,
Team ERP LOGISTICS

Satz und Layout

Britta Scherer, Fraunhofer IML,
Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Dortmund

E-Mail: info@digital-in-nrw.de

Druck:

www.wirmachendruck.de

Bildnachweis Titel: © Fotolia_96954938
Bildnachweis S. 41: © Fotolia_38944081
Bildnachweis S. 47: © Fotolia_63057996

Auflage:

2. verbesserte Auflage, 04/2017

DIGITAL IN NRW

DAS KOMPETENZZENTRUM
FÜR DEN MITTELSTAND



www.digital-in-nrw.de