



# Industry 4.0

## Wie digitale Technologien die Produktionsprozesse in den Unternehmen verändern

Ergebnisse einer Umfrage  
in zehn europäischen Ländern

Erstellt im März 2022  
vom Handelsblatt Research Institute

Autoren:  
Dennis Huchzermeier  
Dr. Sven Jung  
Dr. Frank Christian May  
Thomas Schmitt

# Inhalt

## 6 1 Einleitung

## 8 2 Digitale Transformation der Produktion

- 9 2.1 Additive Fertigung
- 11 2.2 Augmented, Mixed und Virtual Reality
- 12 2.3 Big Data Analytics
- 12 2.4 Blockchain
- 13 2.5 Cloud Computing und Edge Computing
- 14 2.6 Digitaler Zwilling
- 14 2.7 Internet of Things
- 16 2.8 Künstliche Intelligenz
- 18 2.9 Robotik

## 19 3 Industry 4.0 – Ergebnisse einer Umfrage in zehn europäischen Ländern

- 19 3.1 Methode der Untersuchung
- 20 3.2 Digitale Transformation der Produktion
  - 20 3.2.1 Dimensionen von „Industrie 4.0“
  - 21 3.2.2 Stand der digitalen Transformation
  - 24 3.2.3 Herausforderungen bei der digitalen Transformation der Produktion
  - 26 3.2.4 Hauptverantwortlichkeit für die digitale Transformation der Produktion
  - 27 3.2.5 Einschätzung zu den Vorteilen von Industrie 4.0
- 28 3.3 Zukunftstechnologien
  - 28 3.3.1 Erwartete Relevanz innovativer Technologien für die künftige Produktion und deren Implementierung
  - 31 3.3.2 Entscheidungskriterien bei der Auswahl von Technologieanbietern
- 33 3.4 Internet of Things – Anwendungsmöglichkeiten
- 37 3.5 Augmented Reality – Anwendungsmöglichkeiten
- 39 3.6 Künstliche Intelligenz – Anwendungsmöglichkeiten
- 42 3.7 Wandel der Prozesse
- 43 3.8 Interpretation der Ergebnisse

## 45 4 Beispiele aus der Praxis

## 52 5 Fazit

# 1 Einleitung

Die digitale Transformation hat ihren Ursprung im Dienstleistungsbereich. So kamen Technologien wie digitale Plattformen oder Chatbots zuerst bei der Interaktion mit Privatkunden zum Einsatz. Speziell in Ländern wie Deutschland, in denen die industrielle Produktion eine große gesamtwirtschaftliche Rolle spielt, wurden jedoch in der Folge verstärkt Entwicklungen vorangetrieben, um auch die Produktion in den Unternehmen zu digitalisieren.

Im Zusammenhang mit der digitalen Transformation der Industrie – und insbesondere der Produktion – ist oftmals von der „vierten industriellen Revolution“ die Rede. Nach der ersten industriellen Revolution durch die Mechanisierung Ende des 18. Jahrhunderts folgte zu Beginn des 20. Jahrhunderts insbesondere durch den Einsatz elektrischer Energie die Massenfertigung als zweite industrielle Revolution. In den 1970er Jahren wurde in einer dritten industriellen Revolution die Produktion umfänglich automatisiert, was durch einen verstärkten Computereinsatz möglich wurde.

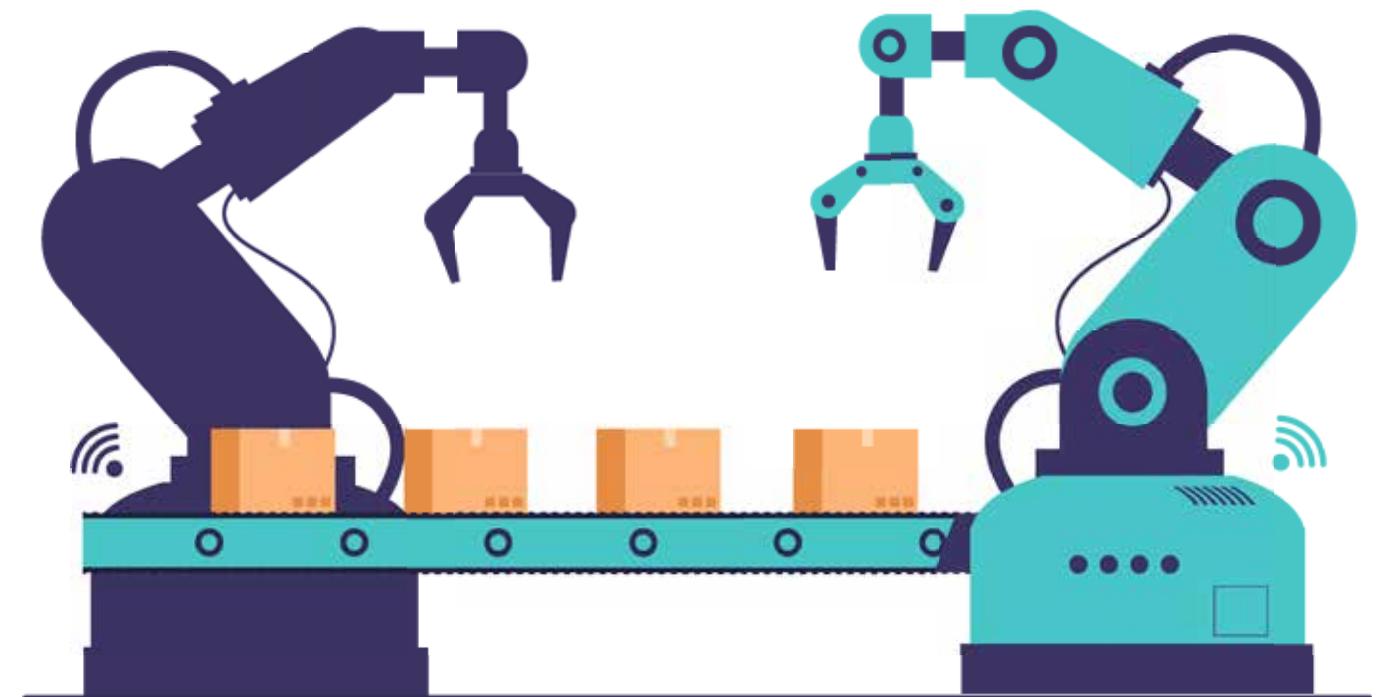
Die Digitalisierung ist nun Ausgangspunkt für die vierte Revolution, weshalb in diesem Kontext auch häufig von „Industrie 4.0“ (engl. „Industry 4.0“) gesprochen wird. Für Unternehmen im produzierenden Gewerbe verspricht die digitale Transformation betriebswirtschaftliche Vorteile wie Kosteneinsparungen oder Ertragspotenziale, ist aber auch mit einer grundlegenden Restrukturierung

der innerbetrieblichen Prozesse sowie der Lieferketten verbunden.

Industrie 4.0 stellt insofern einen Schlüsselaspekt bei der digitalen Transformation der Wirtschaft dar. Gleichzeitig steht das Thema in einem engen Zusammenhang zu Logistics 4.0 und Work 4.0, welche das Handelsblatt Research Institute und TeamViewer bereits in zwei vorangegangenen Reports beleuchtet haben. Ohne eine innerbetriebliche Logistik ist die Produktion nicht möglich, da die Bauteile und Produkte zwischen den einzelnen Produktionsstationen bewegt werden müssen. Außerdem geht der Technologieeinsatz bei der digitalen Transformation der Produktion mit einem Wandel der Betriebsabläufe einher, sodass sich die Arbeitsprozesse der Beschäftigten dort verändern.

Aufgrund dieses Zusammenhangs sowie der zentralen Rolle von Industrie 4.0 in der Wirtschaft wird das Thema in diesem Report untersucht. Zentrale Säule dieser Untersuchung ist dabei eine Unternehmensbefragung in zehn Ländern Europas. Dies ermöglicht einen „europäischen“ Blick auf Industrie 4.0 und bietet zugleich die Chance, länderspezifische Unterschiede zu identifizieren: Ob beispielsweise spanische Unternehmen bei der digitalen Transformation ihres Produktionsbereichs schon weiter vorangeschritten sind oder auch anders vorgehen als zum Beispiel Unternehmen in Polen.

Um das Thema greifbarer zu machen, schließt der Report mit konkreten Anwendungsbeispielen aus der Praxis. Diese veranschaulichen, welche Wege Unternehmen bei der Digitalisierung ihrer Produktion bereits beschritten haben. Zu Beginn soll jedoch beleuchtet werden, was Industrie 4.0 theoretisch bedeuten kann.



# 2 Digitale Transformation der Produktion

Die digitale Transformation der Produktion geht mit dem Wandel zahlreicher Prozesse in den Unternehmen einher – auch über die Produktionsanlagen hinaus. Beispielsweise verändern sich mit Industrie 4.0 auch die Arbeitsabläufe der Beschäftigten.

Ausgangspunkt für die Transformation ist jedoch immer die Implementierung neuer, digitaler Technologien. Mit Vernetzung und Selbststeuerung werden die Produktionsprozesse zunehmend digitaler und autonomer. Traditionelle Fertigungsmethoden verschmelzen mit modernen Technologien und Echtzeit-Datenanalyse, um die intelligente Fabrik zu realisieren. Je mehr Daten und Informationen ausgetauscht und ausgewertet werden, desto intelligenter können die Systeme agieren. Maschinen und Anlagen werden zunehmend befähigt, ihre Abläufe entlang der gesamten Wertschöpfungskette selbstständig zu optimieren.

Industrie 4.0 bringt damit für die Unternehmen zahlreiche Vorteile mit sich. Dazu gehören vor allem Effizienzsteigerungen, Kostensenkungen und Ressourcenersparnisse. Die Prozesse werden intelligenter, flexibler und schneller. Das führt zu mehr Automatisierung und folglich zu gesteigerter Produktivität, niedrigeren Herstellungs- und Betriebskosten, besserer Skalierbarkeit und mehr Nachhaltigkeit in der Fertigung. Mit geringerem Aufwand und anderer menschl-

cher Interaktion werden Unternehmen mehr und qualitativ höherwertigere Produkte produzieren und ausliefern können. Denn der Produktionsprozess wird durch Selbstoptimierung und autonome Entscheidungen des Systems geprägt. Das geht mit einer optimierten Maschinennutzung einher. Dabei können sowohl der Ressourceneinsatz als auch die Lagerhaltung von Rohstoffen und Ersatzteilen deutlich reduziert werden. Durch eine Echtzeit-Qualitätskontrolle wird weniger Ausschuss produziert. Mit Industrie 4.0 ist eine bessere Nachverfolgbarkeit des Herstellungsprozesses möglich. Dadurch steigt die Planbarkeit der Unternehmensprozesse, während Maschinenstillstandszeiten reduziert werden. Letzteres ist unter anderem das Resultat einer optimierten Wartung.

Ferner wird die Arbeit der Beschäftigten sicherer und unbeschwerlicher, da Roboter und Maschinen monotone und gefährliche Tätigkeiten übernehmen können. Die Unternehmen können außerdem im künftigen Produktionsumfeld ihre Produkte immer mehr individualisieren, sodass die Kunden aus einer Vielzahl von Optionen auswählen können – ein immer wichtiger werdendes Bedürfnis. Die größere Flexibilität der Produktion reicht von variantenreichen Serienprodukten bis hin zu einmaligen Designs der Losgröße 1.

Damit verändern sich nicht nur die Produktionsverfahren, sondern es können ebenfalls neue Produkte und Geschäftsmodelle entstehen. Diese Potenziale basieren auf einer Reihe von grundlegenden Technologien, von denen einige im Folgenden skizziert werden.

## 2.1 Additive Fertigung

Additive Fertigung, auch als 3D-Druck bezeichnet, ist ein Fertigungsverfahren, bei dem Material Schicht für Schicht hinzugebunden beziehungsweise zusammengefügt wird, um Produkte herzustellen. Material wird nur dort verwendet, wo es zur Herstellung des Produkts benötigt wird. Mit anderen Worten: Es wird eine endkonturnahe Form erhalten. Auf diese Weise kann jedes Objekt unabhängig von seiner Form gedruckt werden. Komplexe Formen oder Werkzeuge werden nicht mehr benötigt – nur noch der digitale Datensatz.

Für die additive Fertigung kommen verschiedene Materialien infrage. Aktuell besonders verbreitet sind Metalle wie Aluminium oder Titanium, Kunststoffe sowie Keramik. Darüber hinaus ermöglicht die additive Fertigung auch den Einsatz von Verbundlegierungen (z. B. auf Nickel- oder Titaniumbasis).

Einer der wichtigsten Vorteile der additiven Fertigung ist die Flexibilität in der Produktion. Im Gegensatz zu den meisten herkömmlichen Herstellungsverfahren, welche für jede neue Geometrie spezifische Werkzeuge und Formen benötigen, kann beim 3D-Druck individuell direkt auf Änderungen des Produktdesigns eingegangen werden.

Änderungen am Produkt können nahezu jederzeit vorgenommen werden, ohne dass langwierige Entwicklungszeiten für die Herstellung von Arbeitsmitteln die Produktion verzögern. Das macht die Herstellung der Produkte bereits ab Losgröße 1 ökonomisch sinnvoll. Die höhere Flexibilität führt auch zu mehr Designfreiheit und damit zu individueller und personalisierter Produktgestaltung. Aufgrund des geringeren Materialverbrauchs und des geringeren Lagerbedarfs ist die Produktion deutlich effizienter.

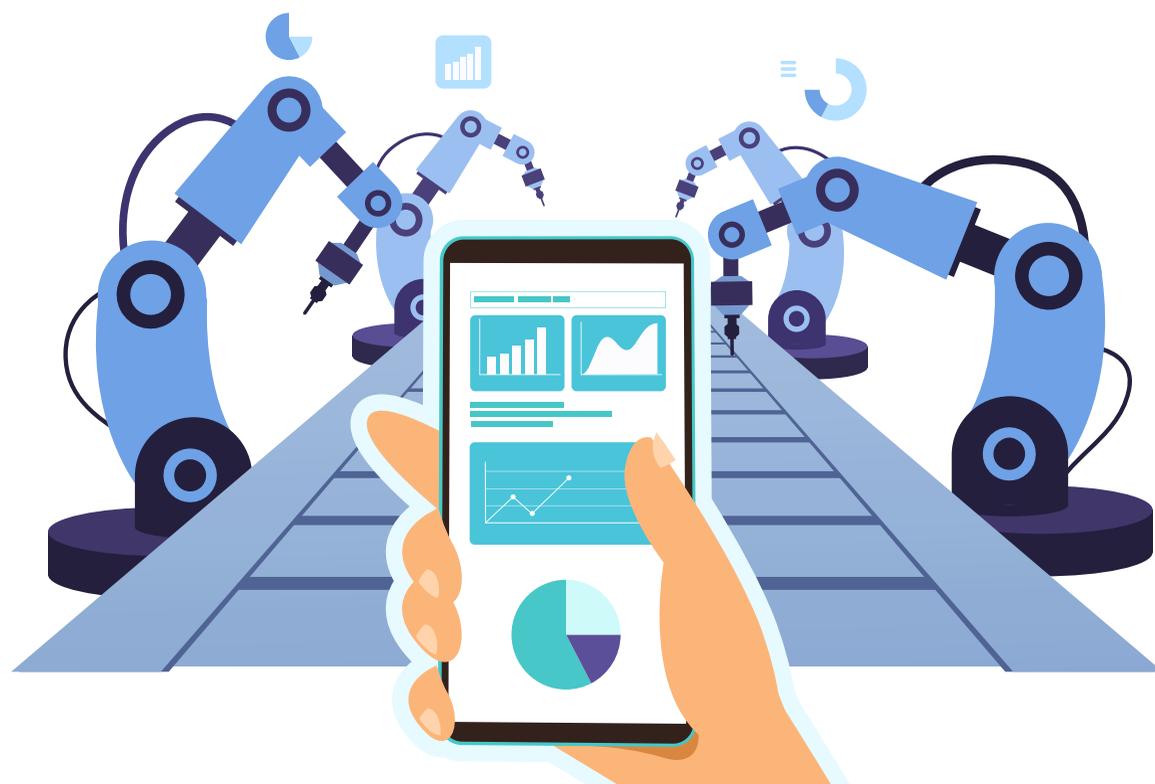
Durch den Einsatz additiver Fertigung können auch komplexe Bauteile in einem Arbeitsschritt erstellt werden. Vorher mussten erst Einzelteile produziert und anschließend zum eigentlichen Bauteil zusammengefügt werden. Insofern sparen die Unternehmen nun Zeit und Geld.

Lange Zeit wurden nur Prototypen auf 3D-Geräten erstellt. Dies ist auch heute noch ein Hauptanwendungsgebiet der additiven Fertigung. Unternehmen bauen und verbessern kontinuierlich Prototypen mit dem Ziel, bessere Produkte herzustellen und Fehler zu beseitigen. Wenn sie dies mittels 3D-Druck vor Ort tun und ihre eigenen Materialien verwenden, ist der gesamte Prozess schneller und vor allem kostengünstiger als bei der Zusammenarbeit mit externen Lieferanten. Außerdem nimmt der 3D-Drucker keinen Platz an den Produktionslinien ein, was Ausfallzeiten und hohe Kosten verhindert.

Auch für die Kleinserienproduktion ist die additive Fertigung von großer Bedeutung. Sie kann dazu beitragen, die Kosten für die Fertigung von Produkten mit kleiner bis mittlerer Stückzahl zu senken, da sie die

Herstellung teurer Werkzeuge und Formen überflüssig macht. Ferner hat der 3D-Druck sich für die On-Demand-Produktion als sehr bedeutsam erwiesen, da Teile direkt vor Ort gedruckt werden können – mit dem Effekt, dass die Lagerhaltung reduziert werden kann. Das betrifft ebenso die Ersatzteilproduktion. So müssen weder Ersatzteile auf Lager gehalten noch lange Wartezeiten in Kauf genommen werden. Dank des 3D-Drucks kann eine defekte Maschine schneller wieder in Betrieb genommen und Produktionsunterbrechungen können vermieden werden. Zudem wird die Abhängigkeit von externen Lieferanten reduziert, was vor allem bei langen Lieferwegen und -zeiten ein erheblicher Vorteil ist. Mittlerweile stammen nicht nur Prototypen, Kleinserien und Ersatzteile aus dem 3D-Drucker, sondern der 3D-Druck hat auch schon in die Großserienfertigung Einzug gehalten.

Im Vergleich zur herkömmlichen Produktion – wie dem Spritzguss – gilt für die serielle Fertigung einfacher Formen, dass der Einsatz des 3D-Drucks hier durchaus langsamer und kostenintensiver sein kann. Mittlerweile jedoch macht in einigen Einsatzgebieten der technische Fortschritt die Verwendung von additiven Fertigungsverfahren auch in der Massenfertigung sinnvoll. Durch den Erwerb von Fachwissen über 3D-Drucktechnologien und -verfahren, kostengünstigere Hardware sowie verbesserte Skalierbarkeit kann auch die serielle Fertigung von den Vorteilen des 3D-Drucks profitieren. Das führt zu schnelleren Markteinführungszeiten, Flexibilität beim Umrüsten der Produktion und Maßanfertigungen von Produkten auch in der Serienproduktion. Idealerweise lässt sich der 3D-Druck in die bestehenden Maschinen integrieren.



## 2.2 Augmented, Mixed und Virtual Reality

Unter Augmented Reality (AR) versteht man die Erweiterung der realen Welt um zusätzliche Aspekte beziehungsweise deren Einblendung in den Blick auf die reale Welt mit Hilfe tragbarer Endgeräte wie Smartphones, Tablets oder spezieller Datenbrillen – auch Smart Glasses genannt. AR kann mit Texten, Grafiken, Bildern oder Videos eine Ansicht der realen Welt überlagern, sodass Benutzer tatsächliche oder virtuelle Objekte vor ihren Augen sehen und mit ihnen interagieren können. Kontext- und zeitrelevante Prozessinformationen helfen Nutzern beim Durchführen manueller Tätigkeiten.

In der Industrie kann AR auf vielfältige Weisen verwendet werden. Zunächst dient AR als Methode zur schnellen und unkomplizierten Weiterbildung mit Hilfe von virtuellen Arbeitsanleitungen, die dem jeweiligen Ausführenden die passenden Schritte und Handgriffe anzeigen. So lassen sich Mitarbeiter an Maschinen schulen oder durch verschiedene Arbeitsabläufe führen – wie zum Beispiel routinemäßige Wartungsarbeiten, Reparaturen oder während der Montage. Durch die häppchenweise Zuteilung von Informationen werden diese leicht aufgenommen und die Fehlerrate sinkt enorm. Informationen und Arbeitsanweisungen werden an der Maschine direkt in die AR-Brille projiziert, sodass der Techniker gleichzeitig beide Hände für die Arbeitsschritte nutzen kann. Bei der regelmäßigen Wartung der oft komplexen Anlagen unterstützen digitale Handbücher. Somit muss nicht mehr umständlich auf schriftliche Dokumente zurückgegriffen werden. Auch die Dokumentation kann direkt in den Prozess integ-

riert werden. So kann der Arbeitende beispielsweise Sprachkommentare aufnehmen, die in eine Textnotiz umgewandelt werden (sog. Speech-to-Text-Funktion) oder es werden mit der im Endgerät integrierten Kamera Bilder aufgenommen. Bei bestehender Integration werden diese Berichte dann wiederum automatisch in das System zurückgespielt.

AR fördert zudem eine standortunabhängige Zusammenarbeit. So kann, wenn kein Experte vor Ort ist, ein lokaler Techniker aus der Ferne unterstützt werden. Mit Videochats können Expertenmeinungen eingeholt und eine kooperative Problemlösung durchgeführt werden. Dabei sieht der Experte genau das, was der lokale Techniker vor sich sieht.

Mixed Reality (MR) funktioniert prinzipiell wie AR, jedoch lassen sich virtuelle 3D-Objekte, Hinweise und Anweisungen erstellen und sowohl fest als auch über einen längeren Zeitraum im Raum platzieren. Das ermöglicht dem Techniker sowohl die Maschine als auch die Anleitung im Blickfeld zu behalten. Zudem können andere Mitarbeiter oder externe Experten den Markierungen folgen. Die Objekte verbleiben immer an der festgelegten Stelle, selbst wenn sich der Techniker nicht mehr an dem Ort befindet. Das beschleunigt Reparaturarbeiten zunehmend.

Bei Virtual Reality (VR) erlebt der Nutzer ein computergeneriertes Abbild der Realität. Das VR-System ist eine komplett von der Außenwelt abgeschlossene künstlich er-

schaffene Welt mit Bild und eventuell auch Ton. Erlebbar ist diese Welt über Großbildleinwände, in speziellen Räumen oder über entsprechende Brillen.

Innerhalb der Produktion sind VR-Systeme nur begrenzt von Nutzen, da sie von der Außenwelt abgeschottet agieren. Anwendungsfelder finden sich sowohl in der Simulation für Ausbildungs- und Trainingszwecke als auch in der Herstellung virtueller Prototypen und zur Produktkonfiguration.

Durch AR-/MR-/VR-Systeme können Fertigungszeiten und Fehlerquoten reduziert werden. Sie erleichtern die Arbeit, führen zu einer schnelleren Aufgabenbewältigung und reduzieren die Unfallrate. Zudem kann Personal unkompliziert und zeitunabhängig angelernt oder weitergebildet werden.

## 2.3 Big Data Analytics

Daten sind die Lebensader der digitalen Fabrik, denn sie können in Wissen und Erkenntnisse umgesetzt werden. Gerade durch die zunehmende Vernetzung der Produktionsanlagen fallen riesige strukturierte, aber auch unstrukturierte Datenmengen an, welche in hoher Geschwindigkeit verarbeitet werden müssen. Die Erkenntnisse daraus helfen, die Produktion zu optimieren, sodass Big-Data-Anwendungen bei Industrie 4.0 eine bedeutsame Rolle spielen.

Die aus den vernetzten Geräten gewonnenen Daten stammen aus der gesamten Wertschöpfungskette und erstrecken sich über den kompletten Produktlebenszyklus. Sie bilden die Grundlage für Big-Data-Ana-

lysen. Jedoch erst durch eine entsprechende Erfassung und Auswertung entsteht aus den Daten ein Mehrwert für die Unternehmen. Mit Big-Data-Analysen können die unterschiedlichsten Daten aus dem Fertigungsprozess kombiniert, abgeglichen und verarbeitet werden. Dazu gehören sowohl bei der Produktion gewonnene Sensordaten wie Temperatur, Druck, Durchflussraten oder Vibration als auch Geodaten wie Gerätestandort und Routen sowie allgemeine Daten zu den Anlagen – wie Wartungsintervalle oder die Beschreibung kritischer Momente. Nur durch innovative Informationsverarbeitung lassen sich in den Datensätzen wertvolle Korrelationen, Muster, Trends und Präferenzen erkennen, aus denen wichtige Entscheidungen für den Produktionsprozess getroffen werden können.

## 2.4 Blockchain

Während der anfängliche Fokus der Blockchain-Technologie auf Anwendungen im Finanzsektor lag, zeigt sich, dass Blockchain auch in einigen Bereichen der Industrie 4.0 einen Mehrwert schaffen kann. Es werden neue Geschäftsmodelle, innovative Organisationsformen und Arbeitsabläufe möglich. Durch Blockchain können weitaus mehr in der Fertigung gewonnene Daten genutzt werden, da ein höherer Sicherheitsstandard gewährleistet werden kann. Durch die Eigenschaft von Blockchain, sensible Prozessdaten wie spezifische Messwerte, Produkteigenschaften oder Materialqualitäten unumkehrbar und für alle Teilnehmer sicher, transparent und nachweisbar zu dokumentieren, kann eine Vertrauensbasis zwischen den verschiedenen Parteien mit unter-

schiedlichen Interessen erzeugt werden. Die Blockchain dient als dezentraler Datenspeicher, dessen nachträglich nicht mehr veränderbare Daten für alle Teilnehmer immer weiter fortgeschrieben werden. So können Daten – beginnend mit der Vertragserstellung über Produktions-, Verpackungs- und Lieferdaten – für alle dokumentiert werden. Das macht Blockchain zu einem „Netzwerk oder einer Plattform des Vertrauens“ und führt zu mehr Automatisierung in der Produktion. So können Blockchains beispielsweise Informationen zur Identifizierung von Produkten, Baugruppen oder Komponenten enthalten. Dadurch wird eine kontinuierliche Qualitätskontrolle innerhalb des Produktionsprozesses möglich und Unternehmen können sicherstellen, dass nur einwandfreie Bauteile und Produkte das Unternehmen verlassen, da mit Blockchain Fehler rechtzeitig entdeckt und behoben werden. Ferner kann Blockchain in der Produktion den Kauf von Rohstoffen und den Verkauf fertiger Produkte direkt durch die Produktionsmaschinen ermöglichen, weitestgehend unabhängig von menschlicher Interaktion. Folglich lassen sich mit Blockchain Produktionsabläufe weiter automatisieren und neue Geschäftsmodelle schaffen.

## 2.5 Cloud Computing und Edge Computing

Durch Cloud Computing wird eine virtuelle und skalierbare IT-Infrastruktur für die intelligente Fabrik bereitgestellt. Die Nutzung von Cloud-Plattformen ermöglicht es Unternehmen, Zugriff auf Daten, Prozesse, Anwendungen und Speicherplatz aus einem virtuellen Rechenzentrum wie der Cloud zu

nehmen, ohne dass sie selbst eine komplexe, kostspielige physische IT-Infrastruktur aufbauen müssen. Somit stellt die Cloud die Plattform dar, um industrielle Softwareanwendungen zu betreiben. Sie ermöglicht zudem die standortungebundene Vernetzung von Systemen und Anlagen. Cloudbasierte Plattformen bieten eine hohe Flexibilität und Skalierbarkeit, da sie leicht angepasst und schnell geändert werden können.

Alle in der Smart Factory gewonnenen Daten können in der Cloud gespeichert und verarbeitet sowie von jedem Ort abgerufen werden. Durch Cloud Computing kann die Datenspeicherung aus verschiedenen Produktionsumgebungen mit jeweils eigenen Komponenten und Datenquellen zentralisiert werden. Zudem lassen sich in der Cloud unter Verwendung von Datenanalysetools die unterschiedlichen Daten zusammenführen und auswerten. Produktionsdaten können in der Cloud in Echtzeit verarbeitet bilden so eine direkte Entscheidungsgrundlage.

Da im Fertigungsprozess sehr große Datenmengen – häufig in Echtzeit – verarbeitet werden müssen, ist Cloud Computing nicht immer die optimale Lösung. Cloud-Lösungen eignen sich am besten für Anwendungen, die bei der Übertragung eine geringe Netzbandbreite benötigen, da schnellere Netzverbindungen meist mit weiteren Kosten verbunden sind. Große Datenmengen, die darüber hinaus mit geringer Latenzzeit – Zeit, die Daten von einem Gerät zu einem Server im Internet und wieder zurück benötigen – verarbeitet werden müssen, benötigen eine effektivere Lösung. Das betrifft vor allem Anwendungen im Produktionsbetrieb,

da hier häufig schnelle beziehungsweise Echtzeitreaktionen notwendig sind. Um die Datenübertragungszeit in die Cloud und wieder zurück zu vermeiden, hat sich das Edge Computing als vorteilhaft erwiesen. Hier werden die Daten dezentral, direkt am Entstehungsort verarbeitet, was zu einer geringeren Übertragungstrecke und dadurch zu der sehr niedrigen Verarbeitungszeit von weniger als einer Sekunde führt. Statt in einem entfernten Rechenzentrum werden die Daten auf speziellen Edge Devices, beispielsweise dem Sensor an einer Maschine oder einem Smartphone, verarbeitet. Per Edge Computing wird der Cloud eine dezentrale Infrastruktur vorgeschaltet, welche die Übertragung von Daten echtzeitfähig macht.

## 2.6 Digitaler Zwilling

Mit einem digitalen Zwilling kann ein detailgetreues digitales Abbild der Produktionsabläufe geschaffen werden. Ziel ist, den realen Fertigungsprozess besser zu verstehen und nachvollziehen zu können. Bei einer digitalen Nachbildung der Maschine oder Anlage werden Aktionen ausgehend von den verwendeten Sensordaten in Echtzeit simuliert. Soll diese auf Engpässe, Probleme oder Verbesserungspotenzial hin untersucht werden, wird der tägliche Betrieb nicht beeinträchtigt. Mit dem digitalen Zwilling kann der komplette Lebenszyklus abgebildet werden. So lässt sich die Funktionsweise einer Maschine simulieren, vorhersagen und verbessern. Dadurch können Abläufe und Materialeinsatz weiter optimiert werden, ohne dass hohe Investitionen getätigt werden müssen und im realen Prozess einge-

griffen werden muss. Idealerweise können Probleme bereits vor dem Betriebsstart erkannt und verhindert werden. So können auch hochkomplexe Fertigungswege ohne viel Aufwand geprüft werden. Das führt zu weniger ungeplanten Ausfallzeiten und kürzeren Anlaufzeiten.

## 2.7 Internet of Things

Das Internet of Things (IoT, deutsch: Internet der Dinge) – konkret im Produktionskontext: Industrial Internet of Things (IIoT) – bezeichnet ein digitales Netzwerk aller physischen und digitalen Ressourcen im Fertigungsprozess, die durch den Einsatz von Sensoren miteinander verbunden sind, um kontinuierliche Betriebsdaten zu sammeln, zu analysieren und diese Informationen in der Prozessverbesserung anzuwenden. Dadurch steigt die Transparenz im Unternehmen, zudem werden die Nachverfolgung von Produktivität sowie Effizienz erleichtert. Da Maschinen besser geeignet sind als Menschen, Daten präzise und konsistent zu erfassen, zu kommunizieren und auszuwerten, sind die Potenziale für den Produktionsprozess enorm. Infolgedessen macht das IIoT Daten nutzbar, die seit Jahren in der industriellen Umgebung existieren. Die Daten können in einer zentralen Datenbank gesammelt werden, geben einen umfassenden Überblick über den Standort und ermöglichen zudem Vergleiche mit anderen Standorten im Unternehmensverbund. Letztendlich soll das Ziel einer optimierten selbstorganisierten Produktion über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg erreicht werden.

Im Gegensatz zum Internet of Things in anderen Bereichen stehen beim IIoT nicht die Verbraucher und Anwender, sondern industrielle Prozesse und Abläufe im Mittelpunkt, wenngleich beides auf denselben Konzepten und Technologien beruht – wie zum Beispiel Interkonnektivität, Automatisierung, Autonomie und Echtzeitdaten. Mit dem IIoT werden Aufgaben und Produktionsprozesse gesteuert und überwacht. Das erfolgt unter anderem mittels intelligenter und präziser Sensortechnologie, welche zum Beispiel in Maschinen, Geräten, Infrastruktur, Energiesystemen und Leitungen integriert ist. Die Steuerung muss nicht zwingend vor Ort stattfinden, sondern kann auch aus der Ferne erfolgen. Die physischen und virtuellen Gegenstände werden durch IIoT-Plattformen vernetzt. Diese verarbeiten und werten im Produktionsprozess entstandene Daten aus – teilweise in Echtzeit. Das sorgt für mehr Transparenz im Produktionsablauf sowie in der gesamten Lieferkette und ermöglicht, Abläufe zu automatisieren, zu optimieren, vorherzusagen und zu rationalisieren. So lassen sich Fehler, mögliche Defekte und Wartungsbedarfe frühzeitig erkennen und beheben.

Schließlich können auf Basis aller verarbeiteten Informationen datenbasierte Entscheidungen getroffen, manuelle Anpassungen vorgenommen oder der Produktionsprozess ganz oder teilweise autonom gesteuert werden. Ebenso lassen sich Ineffizienzen und Probleme frühzeitig erkennen. Zudem ermöglichen IIoT-Lösungen Optimierungen im Ressourcenmanagement – wie zum Beispiel die Reduktion von Energieverbrauch durch das Erkennen ineffizienter Maschinen oder das Einbinden erneuerbarer Energien. Auch Wasser und andere Ressourcen können effizienter eingesetzt werden. Ferner kann durch die kontinuierliche Überwachung des Zustands und der Leistung von Maschinen und Anlagen ein möglicher Ausfall durch rechtzeitige Instandhaltung verhindert werden. So lassen sich durch die Analyse von vorgegebenen Indikatoren – wie Temperatur, Spannungen, Füllstände oder Schwingungen – Abweichungen erkennen, welche auf drohende Ausfälle oder Leistungseinbußen hinweisen. Bei entsprechender Alarmierung durch das System können Probleme verhindert werden. Zur Lieferkettenoptimierung kann die Bewegung von Rohstoffen, Zwischenerzeugnissen und fertigen Produkten auf ihrem Transportweg lückenlos verfolgt und bei Hindernissen und Verzögerungen entsprechend reagiert werden. Das System stellt einen lückenlosen Rohstoffnachschub sicher, damit Leerlaufzeiten in der Produktion vermieden werden.

## 2.8 Künstliche Intelligenz

Mit Hilfe von künstlicher Intelligenz (KI) kann in der Fertigungsbranche die industrielle Automatisierung auf ein neues Level gehoben werden. In der maschinellen Produktion als auch im Produktionsumfeld ist KI in den verschiedensten Bereichen, beginnend bei der Produkt- und Prozessentwicklung über die Ressourcenplanung und den Einkauf bis hin zu Instandhaltung und Logistik einsetzbar. KI-gesteuerte Maschinen eröffnen neue Optionen zur Gestaltung des Produktionsprozesses, indem sie selbstständig Erkenntnisse gewinnen und Prozesse intuitiv steuern, welche dadurch weniger menschliche Intervention erfordern. Mit KI werden sie befähigt, selbstständig zu lernen, sich zu optimieren und auf Änderungen zu reagieren. Werden strukturierte Maschinendaten mit unstrukturierten Daten wie Bildern, Videos und Tönen kombiniert, lassen sich daraus Muster und Korrelationen erkennen. Je höher die kognitive Leistungsfähigkeit der KI ist, desto weniger wird menschliche Intervention in den Abläufen notwendig.

Die schier unbegrenzten sensorbasierten Datenmengen, welche im Industrie-4.0-Produktionsprozess gewonnen werden, können nur dank KI entsprechend in Echtzeit ausgewertet und optimierend eingesetzt werden. Daraus lassen sich nie dagewesene Erkenntnisse über den Produktionsprozess gewinnen. Innerhalb der Produktion hat der Einsatz von KI im Bereich der Industrieautomatisierung zahlreiche Anwendungen gefunden. So kann KI selbstständig Fertigungsprozesse koordinieren oder Menschen und Roboter bei schweren Tätigkeiten in der Montage unterstützen. Der Einsatz von KI

resultiert in einer zügigeren, qualitativ besseren Fertigung mit weniger Material- und Energieverbrauch.

Mit minimaler menschlicher Interaktion können durch den Einsatz von KI, nach den Kriterien der Effizienz und Kostenminimierung, einzelne Prozessschritte sowie komplexe Gesamtprozesse innerhalb definierter Systemgrenzen überwacht, optimiert und autonom gesteuert werden. Maschinen können komplexe Zusammenhänge selbstständig erlernen und in ihrem vorgegebenen Rahmen selbstständig agieren, antizipierend oder aber auch in den laufenden Betrieb eingreifend.

Bislang verborgene Aspekte können entdeckt und sich abzeichnende Probleme und Anomalien im Herstellungsprozess erkannt und behoben werden, denn KI hat die Fähigkeit, in Echtzeit auf unvorhergesehene und sich ändernde Umstände zu reagieren. Die Echtzeitüberwachung bietet viele Vorteile, darunter die Behebung von Produktionsengpässen, die Verfolgung von Ausschussraten und die Einhaltung von Kundenlieferterminen.

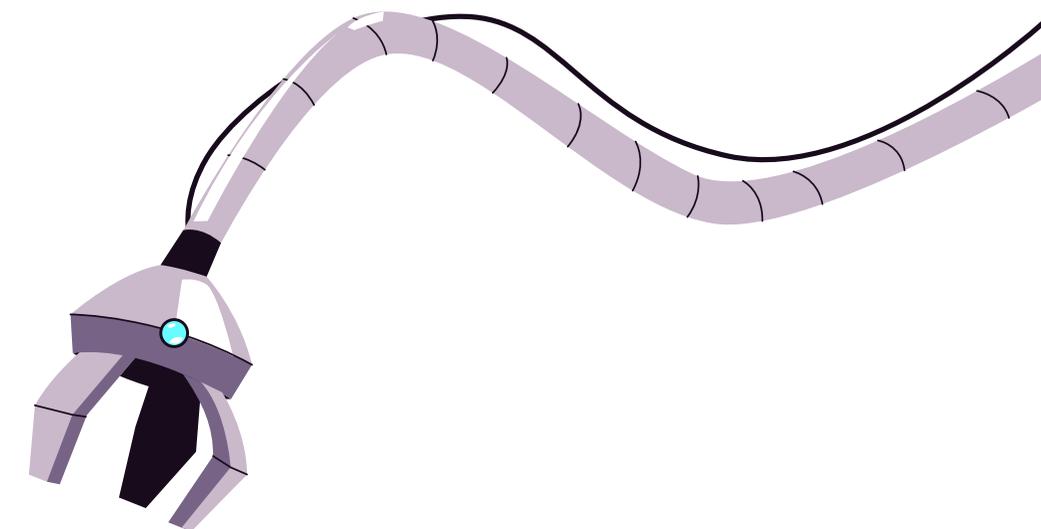
Eine Anwendung von KI im Produktionsprozess ist ebenfalls die vorausschauende Wartung (Predictive Maintenance). Über die Sensoren der vernetzten Maschinen werden zahlreiche Zustandsdaten erfasst. Algorithmen können nun gewisse Muster in den Maschinendaten erkennen und ermöglichen daraus Aussagen über zu erwartende Zustände. Wurde bisher eher regelbasiert (z. B. Überschreitung eines Sollwerts) ein

Wartungsbedarf aus den Daten abgeleitet, ist mit KI eine schnellere Analyse der Daten sowie genauere Prognose über einen etwaigen Handlungsbedarf möglich. Grundsätzlich ist ein ungeplanter Maschinenstillstand mit erheblichen Kosten verbunden. Um diesen zu vermeiden, können im Rahmen von Predictive Maintenance Maschinen und Produktionsanlagen überwacht und vorausschauend gewartet werden. Dadurch können Reparaturen proaktiv erfolgen – und damit Betriebszeiten maximiert werden – bevor der Schaden entstanden ist. Zudem ermöglicht Predictive Maintenance individuelle Instandhaltungstermine für einzelne Maschinen und Komponenten. Die Vorhersage, wann eine Wartung oder Reparatur durchgeführt werden sollte, lässt die Einsatzdauer von Anlagen, Maschinen, und Werkzeugen erheblich erhöhen.

Ferner können im Bereich der maschinellen Produktion zunehmend komplexe Fertigungsprozesse zu fehlerhaften Maschineneinstellungen, gesteigerter Fehleranfälligkeit und dementsprechend zu Nacharbeit und erhöhtem Ressourcenverbrauch führen.

Deshalb ist eine schnelle, exakte und somit wirtschaftliche Qualitätskontrolle durch KI von wesentlichem Vorteil. Mit Hilfe intelligenter Bilderkennung von selbstlernenden Systemen kann durch eine Analyse der Betriebsdaten der Ist-Zustand von Produkten automatisiert mit dem Soll-Zustand abgeglichen werden. Folglich können Qualitätsmängel frühzeitig erkannt und korrigiert werden. Dazu müssen alle produktionsnahen Systeme, wie Zustandsüberwachung, Produktionsplanung und Prozessqualität, verknüpft sein. Im Idealfall können die Ergebnisse in Echtzeit weiterverarbeitet werden, sodass die Produktion sofort reagieren kann. Dadurch dürfte das Auftreten fehlerhafter Endprodukte deutlich reduziert oder vermieden werden.

Ferner kann KI sowohl viele monotone Arbeiten bei Routineprozessen in der Fertigung und Montage übernehmen als auch mittels Sprachsteuerung einfache Aufträge bearbeiten. Auch KI-gesteuerte intelligente vernetzte fahrerlose Transportsysteme verbessern den Produktionsprozess enorm.



## 2.9 Robotik

Traditionell war es die Aufgabe von Robotern, repetitive Routineaufgaben auszuführen. Das erforderte eine komplexe Programmierung für die Produktionsanlage und bot kaum Anpassungsfähigkeit an sich verändernde Gegebenheiten. Durch technologische Weiterentwicklung und den Einsatz von KI benötigen autonome mobile Roboter (AMRs) deutlich weniger Programmierungsaufwand. Mit dem Ziel, manuelle Arbeit zu minimieren, werden AMRs in der Produktion eingesetzt. Sie können sich bezüglich Größe, Funktionalität, Mobilität, Beweglichkeit und Intelligenz unterscheiden. So finden sie Anwendung in der robotergestützten Prozessautomatisierung bis hin zu Drohnen. Sie bewegen sich selbstständig und erledigen ohne menschliche Hilfe Aufgaben. Maschinelles Sehen ermöglicht es dem AMR, visuelle Informationen aus dem Produktionswerk wie Hindernisse, Arbeiter oder befahrbaren Raum zu verarbeiten. Mit diesen Informationen kann der AMR sich selbstständig auf dem Gelände fortbewegen und Aufgaben selbstständig oder mit nur minimalem menschlichem Eingreifen ausführen. Auf diesem Wege können eine Vielzahl von Aufgaben automatisiert werden, ohne dass in Transportinfrastruktur wie Schienen investiert werden muss. Da AMRs eine dynamische Routenplanung ermöglichen, können sie flexibel innerhalb definierter Grenzen die beste Route auswählen und dabei Hindernisse umfahren. Sie können sowohl mit Arbeitern als auch mit Teilen der Produktionsanlage kommunizieren.

AMRs können aus ihrer Umgebung lernen und unabhängige Entscheidungen treffen. Im Gegensatz zum Menschen benötigen sie keine Ruhezeiten und können mit gleichbleibender Qualität Aufgaben erledigen, die Menschen nicht übernehmen können oder wollen. Besonders für monotone Aufgaben sind sie geeignet und geben damit den Mitarbeitern Freiraum für kreativere Aufgaben. Zudem werden durch ihren Einsatz bei gefährlichen Arbeiten Mitarbeiter geschützt und die Sicherheit im Unternehmen verbessert. AMRs können Aufgaben aus den unterschiedlichsten Bereichen übernehmen, wie Kommissionieren, verpacken, sortieren, bauen, transportieren – größtenteils unabhängig von Gewicht und Größe.

Grundsätzlich setzen Unternehmen Industrieroboter schon seit Jahrzehnten ein. Sie waren meist von den Beschäftigten durch Käfige abgetrennt, um Unfälle zu vermeiden, da diese Roboter nicht auf das Umfeld reagieren konnten und so keine etwaigen Hindernisse registrierten. Mit besseren Sensoren und dem Einsatz von KI können Roboter mittlerweile „Hand in Hand“ mit Menschen zusammenarbeiten und bei den Tätigkeiten kooperieren.

# 3 Industry 4.0 – Ergebnisse einer Umfrage in zehn europäischen Ländern

## 3.1 Methode der Untersuchung

Im Zeitraum vom 29. Oktober bis 14. November 2021 hat das Marktforschungsinstitut YouGov im Auftrag des Handelsblatt Research Institute und TeamViewer eine Online-Umfrage durchgeführt, bei der insgesamt 4.531 Unternehmensentscheider befragt wurden. Diese Umfrage bildet die Basis für den empirischen Teil des Reports. Sie wurde in den zehn europäischen Ländern Dänemark, Deutschland, Frankreich, Italien, Niederlande, Norwegen, Polen, Schweden, Spanien sowie dem Vereinigten Königreich durchgeführt.

In der Untersuchung können insofern neben Erkenntnissen zur digitalen Transformation der Produktion im „gesamteuropäischen“ Kontext auch Informationen über länderspezifische Abweichungen von diesem „gesamteuropäischen“ Durchschnitt gewonnen werden.

Bei der folgenden Ergebnisbetrachtung liegt der Fokus auf dem „europäischen“ Gesamtbild, wofür die einzelnen Ergebnisse der zehn Länder aggregiert präsentiert werden. In Ergänzung dazu werden allerdings auch Unterschiede zwischen den einzelnen Ländern beleuchtet.

Thema der Umfrage ist Industrie 4.0. In den Fragen geht es um folgende Aspekte:

- Relevante Dimensionen des Konzeptes Industrie 4.0
- Stand der digitalen Transformation im Produktionsbereich der Unternehmen
- Herausforderungen bei der digitalen Transformation der Produktion
- Hauptverantwortung für die Digitalisierung der Produktion
- Vorteile von Industrie 4.0
- Blick auf einzelne Zukunftstechnologien: Erwartungshaltungen, wie diese künftig die Produktion prägen werden sowie aktueller beziehungsweise geplanter Einsatz in den Unternehmen.
- Anwendungsmöglichkeiten des Internet of Things
- Anwendungsmöglichkeiten von Augmented Reality
- Anwendungsmöglichkeiten von künstlicher Intelligenz
- Wandel der Produktionsprozesse in der Werkhalle

Aufgrund dieses Fokus der Umfrage ist sie nur für Unternehmen relevant, bei denen Produktionsprozesse – zumindest teilweise – eine Rolle spielen. Deshalb basieren die folgenden

## 3.2 Digitale Transformation der Produktion

### 3.2.1 Dimensionen von Industrie 4.0

Das Konzept der Industrie 4.0 wurde erstmals im Jahr 2011 im Rahmen der Hannover Messe der Öffentlichkeit vorgestellt. Der Begriff geht zurück auf Henning Kagermann und Wolfgang Wahlster von der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften sowie Wolf-Dieter Lukas vom Bundesministerium für Bildung und Forschung. Dabei ging es ursprünglich konkret um die Digitalisierung der Produktion, im Sinne einer „vierten industriellen Revolution“.

Anschließend verbreitete sich der Begriff international und wurde zeitweilig zum Synonym für die allgemeine Digitalisierung von Unternehmen – auch ohne Bezug zur Produktion. Insofern kann Industrie 4.0 und die dahinterstehende Idee mehr umfassen als nur den Einsatz von neuen Technologien in der Produktion.

Entsprechend versteht auch der Großteil der Unternehmen in Europa unter dem Begriff „Industrie 4.0“ einen mehrdimensionalen Ansatz. Es ist keineswegs so, dass es nur um Vernetzung, Technologieeinsatz, Datennutzung oder eine Digitalisierung der Produktionsprozesse geht.

Denn für etwa 70 Prozent der Unternehmen machen neben den genannten Aspekten

Ergebnisse auf den Aussagen einer Stichprobe von 1.452 Unternehmen in den ausgewählten zehn europäischen Ländern, bei denen dies der Fall ist.

auch der Einsatz von Augmented Reality (AR) und künstlicher Intelligenz (KI) Industrie 4.0 aus (siehe Abbildung 1). Es geht insgesamt um eine umfassende Transformation, die darüber hinaus für die meisten der befragten Unternehmensentscheider mit einer Anpassung der Arbeitsprozesse einhergeht, im Zuge derer Menschen und Maschinen kooperieren und Arbeitskräfte bei manuellen Prozessen von Technologie unterstützt werden.

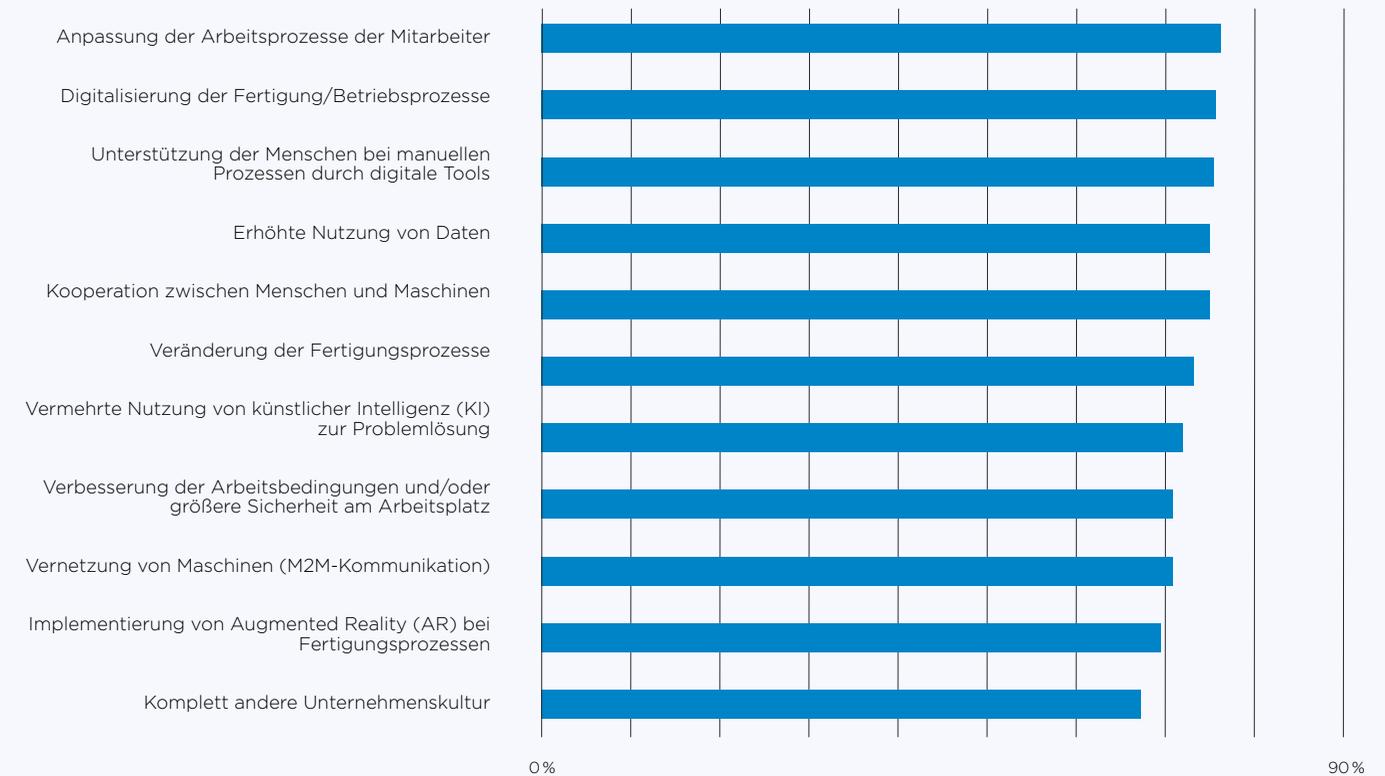
Nach Ansicht von mehr als 70 Prozent der europäischen Unternehmensentscheider resultieren aus dieser Transformation bessere Arbeitsbedingungen, mehr Sicherheit am Arbeitsplatz sowie eine komplett andere Unternehmenskultur.

Dieses mehrdimensionale Verständnis von Industrie 4.0 ist grundsätzlich in allen zehn untersuchten Ländern zu erkennen. Über alle Facetten hinweg ist diese Auffassung allerdings besonders bei Unternehmen in Deutschland, Italien, Spanien und Polen verbreitet.

Darüber hinaus zeigt sich in den Ergebnissen, dass sämtliche abgefragte Aspekte eher von größeren Unternehmen sowie Unternehmen, die mit der digitalen Transforma-

Abb. 1: Aspekte, die zum Konzept Industrie 4.0 dazugehören

Anteil der befragten Unternehmensentscheider, die (eher) zustimmen, dass der Aspekt dazugehört, in %



tion bereits weiter vorangeschritten sind, dem Begriff „Industrie 4.0“ zugeschrieben werden.

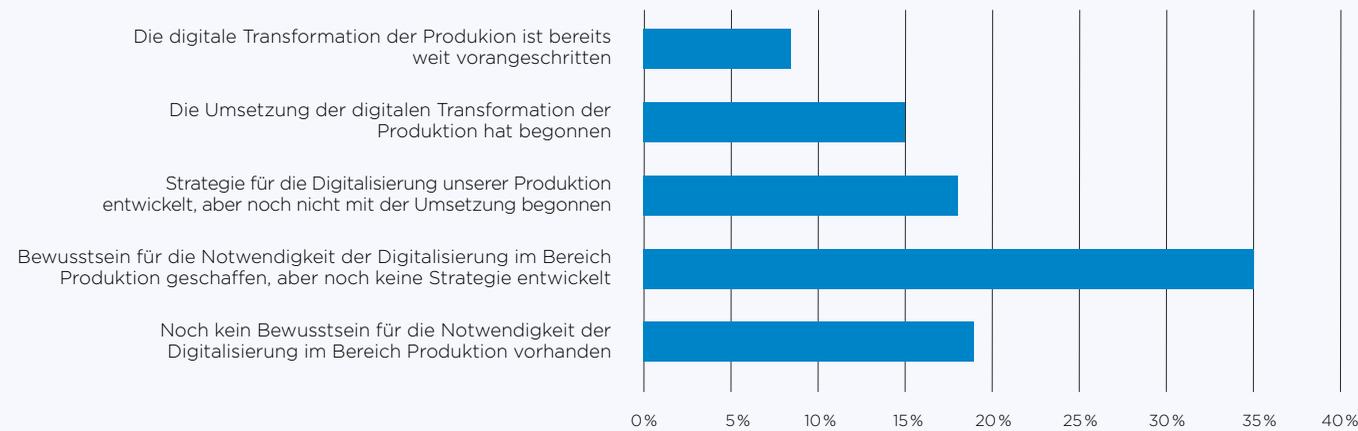
### 3.2.2 Stand der digitalen Transformation

Ein Großteil der befragten Unternehmen steht bei der digitalen Transformation der Produktion noch ganz am Anfang. Weniger als ein Viertel der Befragten gibt an, dass in ihrem Unternehmen bereits mit der Transformation begonnen wurde (siehe Abbildung 2). Mehr als die Hälfte der Unternehmen verfügt laut eigener Aussage nicht einmal über eine Strategie zur Digitalisierung ihrer Produktion. Bei ihnen setzt sich insofern unter Umstän-

den die digitale Transformation aus einzelnen Maßnahmen zusammen, ohne dass es dafür eine Leitidee gibt, die alle Maßnahmen zusammenfasst. Insofern ist es auch wenig überraschend, dass erst ein Zehntel der befragten Unternehmen angibt, mit der Transformation weit vorangeschritten zu sein.

Abb. 2: Status quo bei den Unternehmen in Bezug auf die digitale Transformation der Produktion

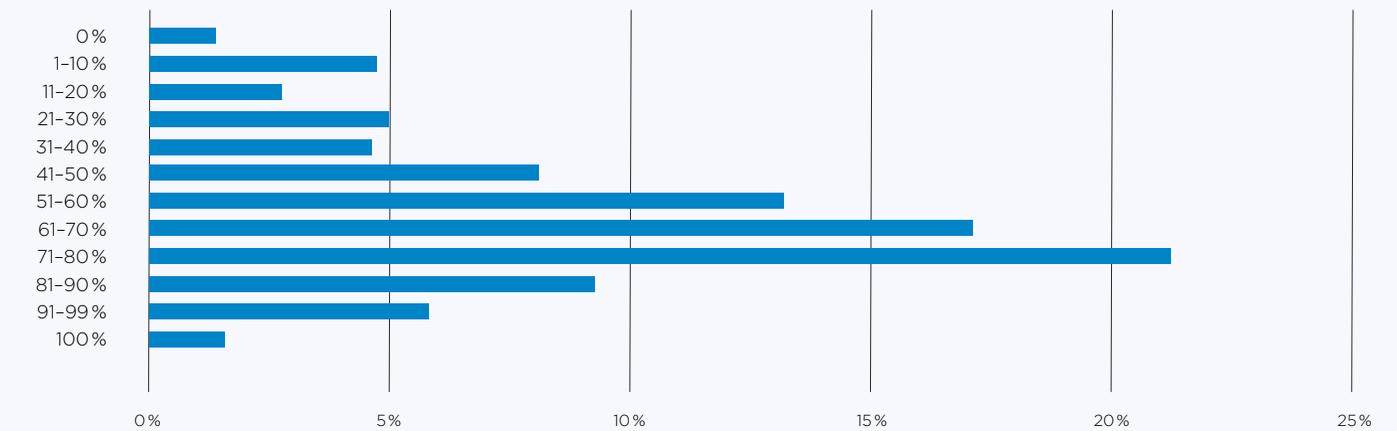
Anteil der befragten Unternehmensentscheider, in %



Differenz zu 100%: weiß nicht / keine Angabe

Abb. 3: Fortschritt der digitalen Transformation der Produktion in den Unternehmen

Anteil der befragten Unternehmensentscheider, in %



Differenz zu 100%: weiß nicht / keine Angabe  
Skala von 0% (= keine Digitalisierungsschritte) bis 100% (= soweit wie technologisch möglich vorangeschritten)

Die Digitalisierung der Produktion ist bei größeren Unternehmen bereits weiter fortgeschritten. So steigt der Anteil der Unternehmen, die mit der digitalen Transformation begonnen haben, mit zunehmender Unternehmensgröße an – wenn auch nicht stetig. Zwar geht es bei Industrie 4.0 um mehr als nur den Einsatz neuer Technologien (siehe Kapitel 3.2.1), allerdings sind diese ein wichtiger Aspekt. Und die Implementierung dieser Technologien erfordert finanzielle sowie personelle Ressourcen, die größeren Unternehmen eher zur Verfügung stehen.

Im Ländervergleich zeigt sich, dass die Unternehmen in Spanien, Schweden, den Niederlanden, Italien und Deutschland bei der digitalen Transformation der Produktion bereits weiter fortgeschritten sind. Hier haben beispielsweise bereits 29 Prozent (Spanien), 27 Prozent (Schweden, Niederlande) beziehungsweise 26 Prozent (Italien, Deutschland) mit der Digitalisierung begonnen. Etwas zurück liegen hingegen französische (19 Prozent) und britische Unternehmen (16 Prozent).

Insgesamt lassen diese Ergebnisse darauf schließen, dass grundsätzlich bei der Digitalisierung im Bereich Produktion noch Luft nach oben ist. Der Fortschritt ist in diesem Bereich zurzeit noch geringer, als es bei der Logistik der Fall ist. Da es vielfach an einem strategischen Gesamtkonzept mangelt, lässt sich eine eventuelle Digitalisierungslücke auch nicht sofort schließen, da eine Strategie die Grundlage für eine Transformation mit nachhaltigem Erfolg bildet.

Weitaus positiver zeigt sich der Status quo beim Thema Industrie 4.0, wenn die Unternehmen auf einer Skala von 1 bis 100 ihre Einschätzung zum aktuellen Stand der Digitalisierung im Bereich Produktion angeben (siehe Abbildung 3). Der Länderdurchschnitt beträgt etwa 60 Prozent. Nur bei etwa einem Viertel der befragten Unternehmen liegt der Fortschritt unter 50 Prozent. Dieser Befund könnte auch darauf hindeuten, dass die Ambitionen mit Blick auf eine weitergehende digitale Transformation der Produktionsprozesse nur moderat sind.

Während bei Unternehmen bis unter 5.000 Mitarbeitern eher ein positiver Zusammenhang zwischen der Unternehmensgröße und der empfundenen Digitalisierung vorliegt, ist diese Korrelation bei größeren Unternehmen nicht mehr eindeutig gegeben.

Im Vergleich der zehn untersuchten Länder untereinander zeigt sich, dass die Unternehmen in Spanien, Italien, Polen und Deutschland laut ihrer Selbsteinschätzung bereits weiter fortgeschritten sind, wobei die länderspezifischen Durchschnitte 65 Prozent (Spanien), 64 Prozent (Italien) und 63 Prozent (Polen und Deutschland) betragen und damit nur leicht über dem Gesamtdurchschnitt liegen. Geringer ist der empfundene Stand der Digitalisierung im Bereich der Produktion bei Unternehmen im Vereinigten Königreich (46 Prozent) und in Dänemark (46 Prozent).

Die Ergebnisse in Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen zwei unterschiedliche Einschätzungen zum Stand der Digitalisierung im Produktionsbereich der Unternehmen.

Auf Basis der prozentualen Skala empfinden sich die meisten Unternehmen schon als „relativ weit fortgeschritten“, was sich allerdings nicht im Vorliegen bestimmter Meilensteine wie einer Strategie widerspiegelt. Unter Umständen sehen sich Unternehmen bei der Skalenangabe positiver, obwohl sie aufgrund ihrer individuellen Situation noch nicht viele Maßnahmen zur Digitalisierung starten können oder wollen. Die Messlatte hängt insofern für jedes Unternehmen auf einer anderen Höhe.

Und auch wenn die Unternehmen auf Basis der eigenen Einschätzung entlang der Skala bereits weit vorangeschritten sind, haben sie noch einiges an Arbeit vor sich. Denn aus ökonomischer Sicht erscheint es plausibel, dass der Aufwand für die zusätzliche digitale Transformation zunimmt, je weiter man damit bereits fortgeschritten ist.

### 3.2.3 Herausforderungen bei der digitalen Transformation der Produktion

Bei der digitalen Transformation der Produktion werden die Unternehmen mit Herausforderungen konfrontiert, die den Fortschritt verzögern können. Diese Herausforderungen hängen zum Beispiel mit den Beschäftigten zusammen oder auch mit den Rahmenbedingungen.

Nach Ansicht der befragten Unternehmensentscheider in Europa ist die digitale Transformation der Produktion in erster Linie ein Ressourcenthema. Jedenfalls geben etwa ein Drittel der Befragten an, dass der Aufwand in Sachen Zeit und Kosten die größte

Herausforderung bei der Digitalisierung der Produktion ist (siehe Abbildung 4). Diese Einschätzung ist unabhängig von der Unternehmensgröße. Auch große Unternehmen, die im Zweifel über mehr Ressourcen verfügen, sehen diesen Aufwand als die größte Herausforderung.

Herausfordernd ist darüber hinaus das Thema IT-Sicherheit. Mit Blick auf Aspekte wie Big-Data-Analysen oder IoT spielen bei der Produktion in Zukunft Daten und zunehmende Vernetzung eine immer größere Rolle. Dadurch steigt das Risiko für Cyberangriffe,

sodass präventive Sicherheitsmaßnahmen essenziell sind. Für ungefähr 30 Prozent der befragten Entscheider sind IT-Sicherheitsbedenken ein Faktor, der sie bei der digitalen Transformation sehr umtreibt.

Interessanterweise wird dieses Thema wichtiger, wenn die Digitalisierung bereits weiter vorangeschritten ist. Unternehmen, die aktuell nach eigenen Angaben erst noch ein Bewusstsein für die Bedeutung von Industrie 4.0 oder eine Strategie entwickeln, schätzen den Zeit- und Kostenaufwand als die größte Herausforderung ein. Bei Unternehmen, die bereits mit der Transformation gestartet beziehungsweise weit vorangeschritten sind, nennt ein größerer Anteil der Entscheider IT-Sicherheitsbedenken als wichtige Herausforderung.

Außerdem ist es so, dass eine digitalisierte Produktion in den meisten Fällen nicht komplett neu aufgebaut wird, sondern bestehende Systeme weiterentwickelt – digital transformiert – werden. Vorhandene Maschinen werden beispielsweise mittels Software vernetzt. Hier kann es unter Umständen zu einer Inkompatibilität zwischen alter und neuer Technologie kommen. Dies ist nach Ansicht der Unternehmen in Europa eine weitere Herausforderung bei der Digitalisierung der Produktion.

Weniger Unternehmen sehen hingegen einen Personalmangel, fehlende Akzeptanz bei den Beschäftigten sowie keine Priorität beim Management als Haupthindernis bei der digitalen Transformation der Produktion.

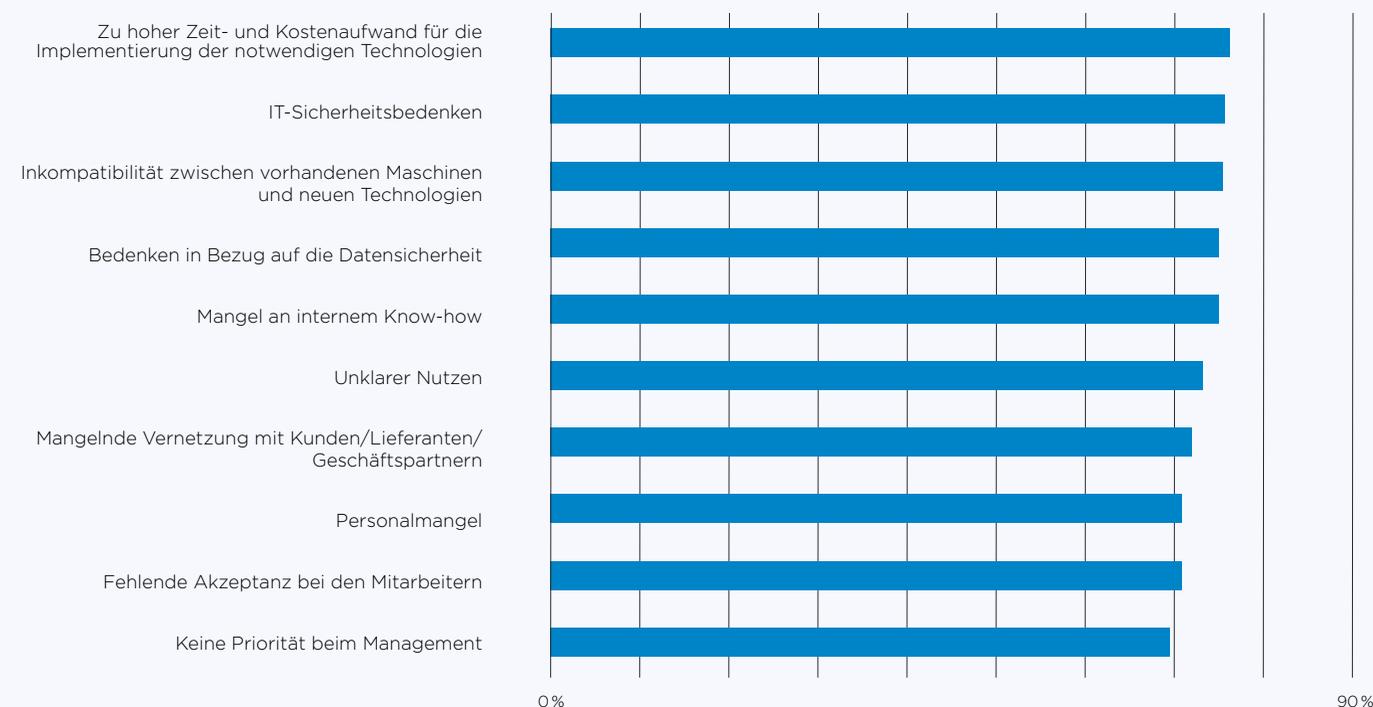
Ein weiterer interessanter Aspekt ist außerdem noch die Nutzenfrage. Nur etwa ein

Fünftel der Unternehmensentscheider in Europa sieht im unklaren Nutzen der digitalisierten Produktion ein wichtiges Problem bei der Transformation. Bei den Unternehmen, die etwas fortgeschrittener bei dem Thema sind, sind sogar nur etwa ein Zehntel dieser Ansicht. Unsicherheit über die konkreten Vorteile sollte insofern kein Unternehmen von der digitalen Transformation der Produktion abhalten, da sich diese Frage meist im Laufe des Wandels klärt.

Die Rangfolge der Herausforderungen ist im Ländervergleich relativ ähnlich, wenn auch nicht jede Position gleich besetzt ist. Die Gruppe der Aspekte, die von den meisten Unternehmensentscheidern als bedeutend angesehen wird, ist aber in den meisten Ländern gleich. Bei der wichtigsten Herausforderung werden allerdings unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt. In Dänemark, Frankreich, Italien, Polen und Spanien werden der Zeit- und Kostenaufwand am häufigsten von den Unternehmensentscheidern genannt. Hingegen sind es in Deutschland, den Niederlanden und Schweden die IT-Sicherheitsbedenken. Ein Drittel der Befragten im Vereinigten Königreich sieht die Inkompatibilität zwischen alter und neuer Technologie als größte Herausforderung und in Norwegen ist es der Mangel an internem Know-how.

Bei der Betrachtung der aus Unternehmenssicht wichtigsten Herausforderungen fällt auf, dass diese in erster Linie im Einflussbereich der Unternehmen liegen und prinzipiell mit einer Erhöhung des Investitionsaufwands angegangen werden können. Es mangelt nicht an Überzeugung oder Bereitschaft.

Abb. 4: Große Herausforderungen bei der digitalen Transformation der Produktion in den Unternehmen  
Anteil der befragten Unternehmensentscheider, in %



### 3.2.4 Hauptverantwortlichkeit für die digitale Transformation der Produktion

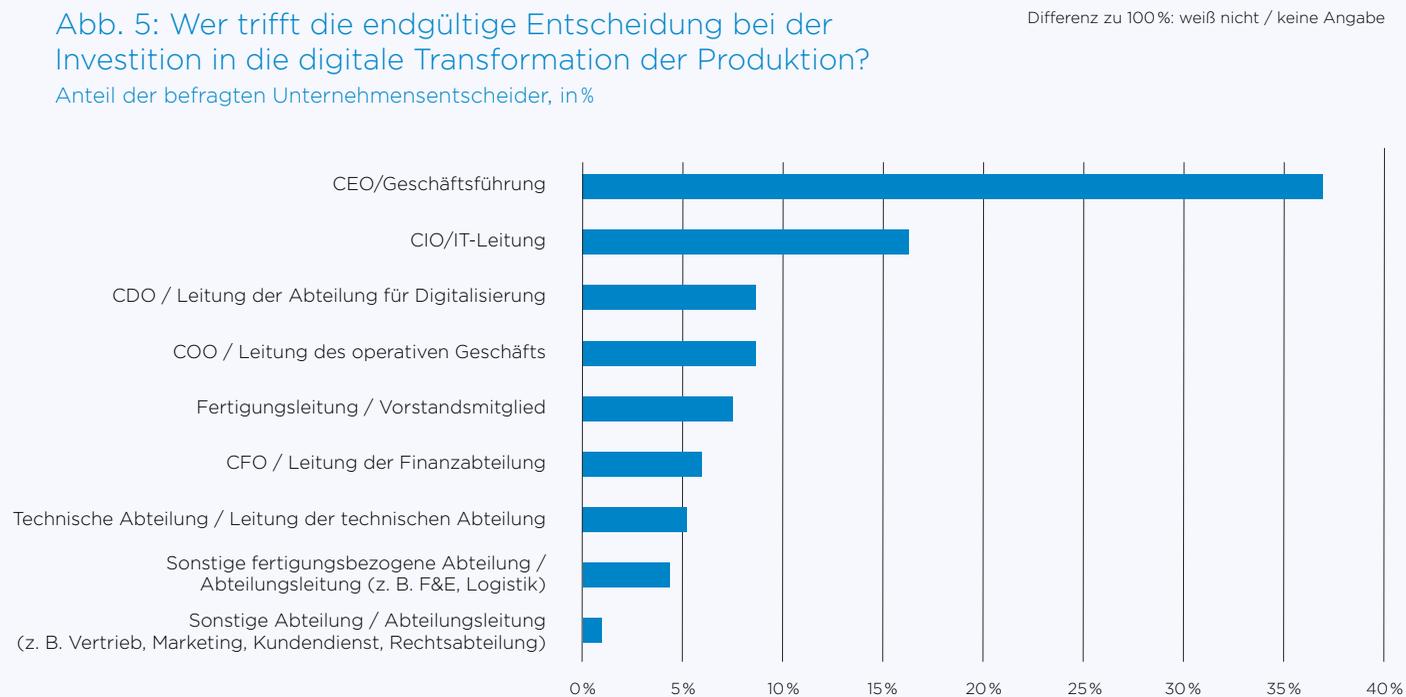
Bei der digitalen Transformation der Produktion handelt es sich um ein großes, langwieriges Unternehmensprojekt. Die Implementierung der neuen Technologien ist mit einem großen Investitionsaufwand verbunden. Angesichts dieses Aufwands sowie der großen Bedeutung der digitalen Transformation ist nachvollziehbar, dass das Thema Industrie 4.0 oftmals „Chefsache“ in den Unternehmen ist.

Dies zeigt sich ebenfalls bei den befragten Unternehmen in Europa: Bei fast zwei Fünfteln dieser Unternehmen trifft der CEO beziehungsweise die Geschäftsführung die finale Entscheidung bei den Investitionen in Industry-4.0-Anwendungen (siehe Abbildung 5). Dies ist besonders bei Unternehmen in Dänemark, Schweden und im Vereinigten Königreich der Fall.

Der CEO spielt zwar auch in Deutschland, Spanien und den Niederlanden die größte Rolle. Bei vielen Unternehmen in diesen Ländern trifft allerdings auch der CIO die finale Entscheidung.

Bei etwas mehr als drei Vierteln der befragten Unternehmen ist die Entscheidung über Investitionen in die digitale Transformation der Produktion auf dem C-Level verortet. Industrie 4.0 wird dementsprechend dort nicht als ein „kleines Projekt“ gesehen, sondern eher als etwas, das das künftige Erscheinungsbild des Unternehmens prägt und strategisch relevant ist. Damit kommt es aber auch auf diese oberste Ebene im Unternehmen sowie deren Einstellung zur digitalen Transformation an, ob und inwieweit dieser Wandel im Produktionsbereich vorangetrieben wird.

Abb. 5: Wer trifft die endgültige Entscheidung bei der Investition in die digitale Transformation der Produktion? Anteil der befragten Unternehmensentscheider, in %



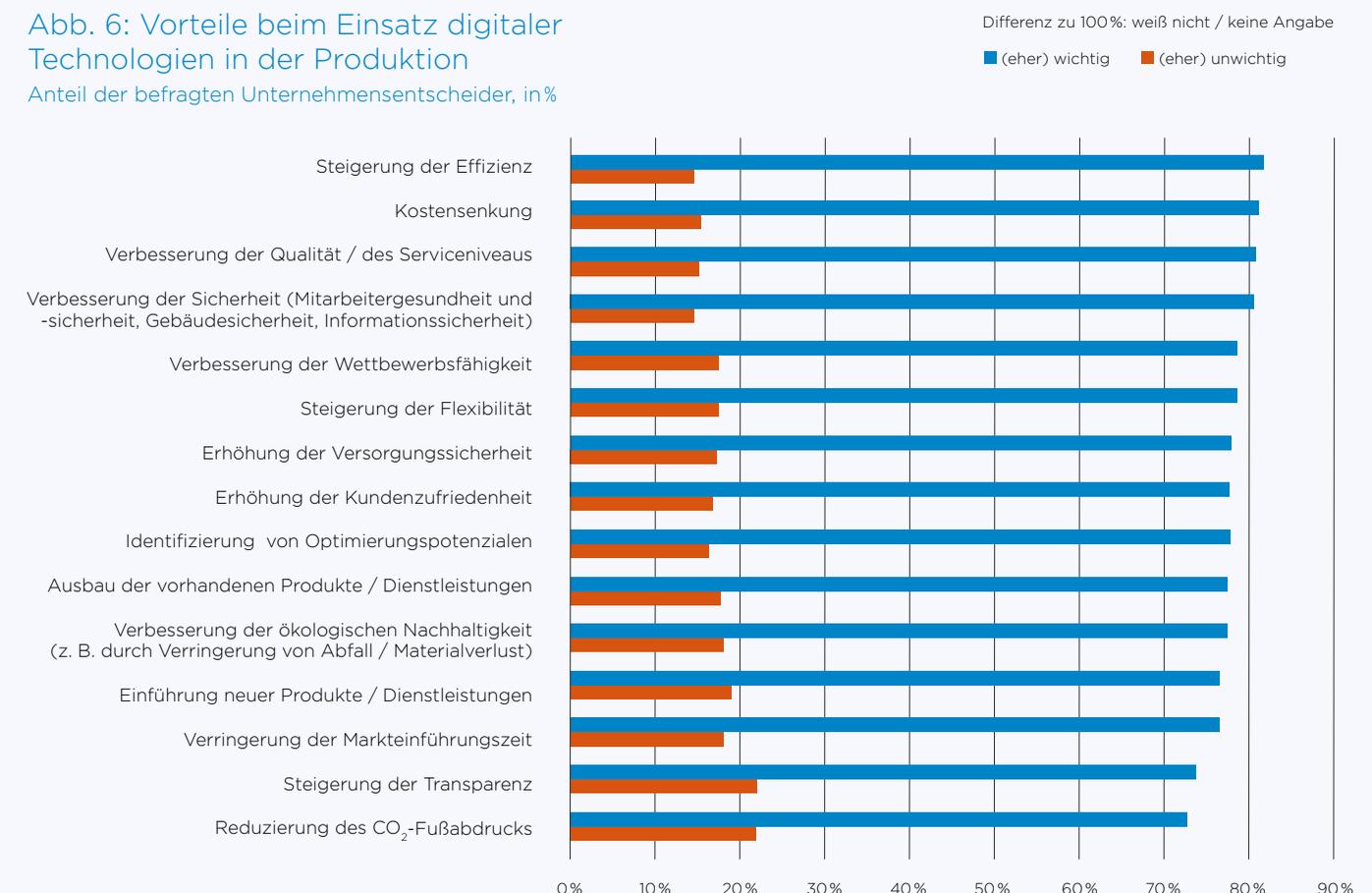
### 3.2.5 Einschätzung zu den Vorteilen von Industrie 4.0

Die digitale Transformation der Produktion findet in den Unternehmen nicht aus reinem Interesse an neuen Technologien statt, sondern ist mit konkreten Vorteilen und Nutzen-erwartungen verbunden. Dabei haben die aus Sicht der befragten Unternehmen in Europa wichtigsten Ziele, die mit dem Wandel hin zur Industrie 4.0 verfolgt werden, einen ökonomischen Bezug (siehe Abbildung 6). Mit fast 82 Prozent sehen die meisten Unternehmen eine Effizienzsteigerung als wichtigen Vorteil, der aus dem Einsatz innovativer Technologien in der Produktion resultiert. Ein weiterer wichtiger Vorteil ist die Reduktion der Kosten. Neben diesen ökonomischen Punkten werden darüber hinaus die Ver-

besserung der Qualität beziehungsweise des Serviceniveaus sowie der Sicherheit als wichtige Aspekte von Industrie 4.0 genannt. Letzteres bezieht sich sowohl auf die Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten als auch auf die Gebäudesicherheit sowie die Informationssicherheit.

Etwas weniger Unternehmen erachten hingegen die Verbesserung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks sowie die Erhöhung der Transparenz als wichtige potenzielle Vorteile. Es sind also in erster Linie wirtschaftliche Erwartungen, die die Unternehmen zum Einsatz digitaler Technologien bewegen.

Abb. 6: Vorteile beim Einsatz digitaler Technologien in der Produktion Anteil der befragten Unternehmensentscheider, in %



### 3.3 Zukunftstechnologien

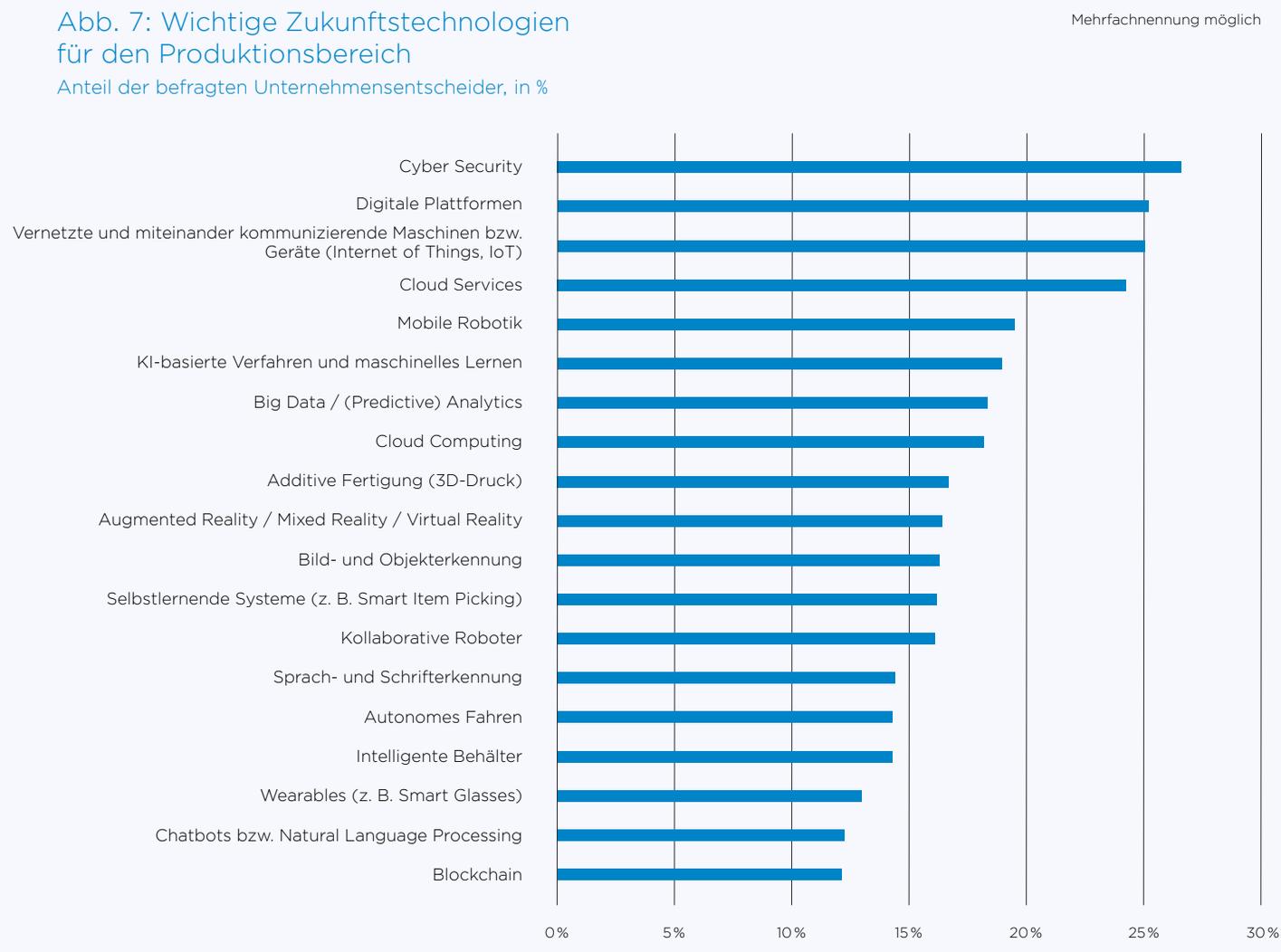
Die digitale Transformation der Produktion umfasst im Wesentlichen den Wandel von Prozessen und damit von Produktionsabläufen, die direkt an Maschinen ansetzen, bis hin zu Arbeitsweisen der Beschäftigten. Ausgangspunkt für diese Veränderungen ist der Einsatz neuer, digitaler Technologien. Mit neuen Anwendungen, Problemlösungen

und Geschäftsmodellen in den Unternehmen wandeln sich die Prozesse. Für die Transformation der Produktion kommt eine Vielzahl von Technologien in Frage, die aus Sicht der Unternehmen unterschiedlich relevant sein können und außerdem in einem unterschiedlichen Ausmaß bereits implementiert sind.

#### 3.3.1 Erwartete Relevanz innovativer Technologien für die künftige Produktion und deren Implementierung

Abb. 7: Wichtige Zukunftstechnologien für den Produktionsbereich

Anteil der befragten Unternehmensentscheider, in %



Nach Ansicht der meisten befragten Unternehmen in Europa – etwas mehr als ein Viertel – ist bei Industrie 4.0 das Thema Cyber Security besonders wichtig (siehe [Abbildung 7](#)). Besonders relevant sind darüber hinaus ebenfalls digitale Plattformen, das Internet of Things sowie Cloud Services. Jeweils rund ein Viertel der Unternehmen in den zehn untersuchten Ländern schätzt diese Technologien als wichtige Säulen für die digitale Transformation im Produktionsbereich ein. Dabei zeigt sich über alle Technologien hinweg, dass Unternehmen, die bei der Transformation schon weiter fortgeschritten sind, die entsprechenden Technologien stärker gewichten.

Als tendenziell weniger bedeutsam werden demgegenüber Blockchain, Chatbots sowie Wearables eingeschätzt, die auf den drei letzten Plätzen der 19 betrachteten Technologien landen. Während also beispielsweise Smart Glasses in der Produktion nicht von so vielen Unternehmen als wichtige Technologie erachtet werden, sieht dies bei den damit verbundenen Anwendungen – Augmented Reality (AR), Mixed Reality (MR) und/oder Virtual Reality (VR) – anders aus. Diese befinden sich auf Platz zehn der 19 Antwortalternativen.

Im Gesamtblick auf alle Technologien zeigt sich, dass diese gerade von Unternehmen in Spanien, Italien und Polen etwas relevanter als in den anderen Ländern und damit als im Durchschnitt eingeschätzt werden (siehe [Abbildung 8](#)). Unterdurchschnittlich ist die Einschätzung der Relevanz hingegen im Vereinigten Königreich, in Dänemark und Schweden. Abweichend von der aggregierten Betrachtung spielen außerdem ..

- in Deutschland die Mustererkennung (Bild/Objekt & Sprache/Schrift) eine etwas größere Rolle,
- in Spanien kollaborative Roboter eine etwas größere Rolle,
- in Italien selbstlernende Systeme eine etwas größere Rolle,
- in Schweden die Bild/Objekt-Erkennung eine etwas größere Rolle,
- in Norwegen Wearables eine etwas größere Rolle.

Die verschiedenen Technologien nehmen nach Einschätzung der befragten Unternehmen nicht nur eine unterschiedlich große Rolle bei der Produktion in Zukunft ein. Sie sind ebenfalls in einem unterschiedlichen Ausmaß bereits aktuell oder demnächst in den Unternehmen implementiert. Allerdings zeigt sich zwischen beiden Aspekten ein gewisser Zusammenhang: Die Technologien, die als wichtiger erachtet werden, sind auch bereits verstärkter im Einsatz. Beispielsweise werden Cloud Services und Cloud Computing, Cyber Security sowie digitale Plattformen bereits bei mehr Unternehmen in der Produktion eingesetzt als andere innovative Technologien (siehe [Abbildung 9](#)). Allerdings ist hier das Potenzial für weitere Implementierungen noch groß. So sind beispielsweise auch Cloud Services und Cyber Security erst bei gerade einmal etwa der Hälfte der befragten Unternehmen in Europa im Einsatz, die diese Technologien jeweils als wichtig für die künftige Produktion erachten.

Abb. 8: Wichtige Zukunftstechnologien für den Produktionsbereich - Ländervergleich

Anteil der befragten Unternehmensentscheider, in %  
 Markiert: Anteil über dem europäischen Länderdurchschnitt

Mehrfachnennung möglich

	Ø	DE	UK	FR	ES	IT	DK	SE	NO	NL	PL
Cyber Security	27%	25%	14%	24%	28%	32%	25%	19%	23%	35%	34%
Digitale Plattformen	25%	26%	20%	17%	29%	27%	29%	24%	23%	32%	29%
Vernetzte und miteinander kommunizierende Maschinen bzw. Geräte (Internet of Things, IoT)	25%	22%	24%	23%	30%	31%	17%	21%	23%	28%	25%
Cloud Services	24%	23%	16%	21%	27%	24%	16%	24%	19%	31%	33%
Mobile Robotik	19%	17%	14%	21%	25%	19%	11%	19%	19%	17%	26%
KI-basierte Verfahren und maschinelles Lernen	19%	19%	17%	19%	26%	22%	9%	14%	23%	13%	18%
Big Data / (Predictive) Analytics	18%	22%	18%	18%	24%	21%	11%	5%	14%	17%	18%
Cloud Computing	18%	15%	18%	17%	26%	19%	10%	12%	18%	21%	19%
Additive Fertigung (3D-Druck)	17%	20%	15%	16%	25%	14%	9%	16%	11%	12%	16%
Augmented Reality / Mixed Reality / Virtual Reality	16%	17%	10%	19%	22%	20%	9%	14%	11%	10%	17%
Bild- und Objekterkennung	16%	21%	12%	14%	17%	21%	15%	20%	7%	13%	15%
Kollaborative Roboter	16%	16%	8%	21%	22%	17%	10%	12%	14%	16%	13%
Selbstlernende Systeme (z. B. Smart Item Picking)	16%	19%	11%	14%	19%	20%	14%	15%	12%	17%	15%
Sprach- und Schrifterkennung	14%	18%	9%	18%	14%	15%	3%	11%	14%	15%	16%
Intelligente Behälter	14%	14%	14%	16%	18%	15%	6%	13%	12%	14%	14%
Autonomes Fahren	14%	14%	7%	13%	19%	16%	6%	15%	19%	8%	19%
Wearables (z. B. Smart Glasses)	13%	10%	8%	14%	19%	17%	2%	5%	25%	9%	16%
Chatbots bzw. Natural Language Processing	12%	13%	8%	15%	18%	11%	7%	8%	7%	13%	12%
Blockchain	12%	13%	10%	9%	18%	11%	6%	11%	9%	14%	16%

Additive Fertigung, mobile Robotik, Chatbots, künstliche Intelligenz, Big Data sowie Blockchain haben insbesondere kurz- und mittelfristig ein großes Potenzial, da besonders viele Unternehmen diese Technologien in den nächsten ein bis zwei Jahren implementieren möchten.

### 3.3.2 Entscheidungskriterien bei der Auswahl von Technologieanbietern

Oftmals greifen Unternehmen bei der Implementierung der neuen Technologien auf externe Anbieter zurück. Falls es eine Auswahl

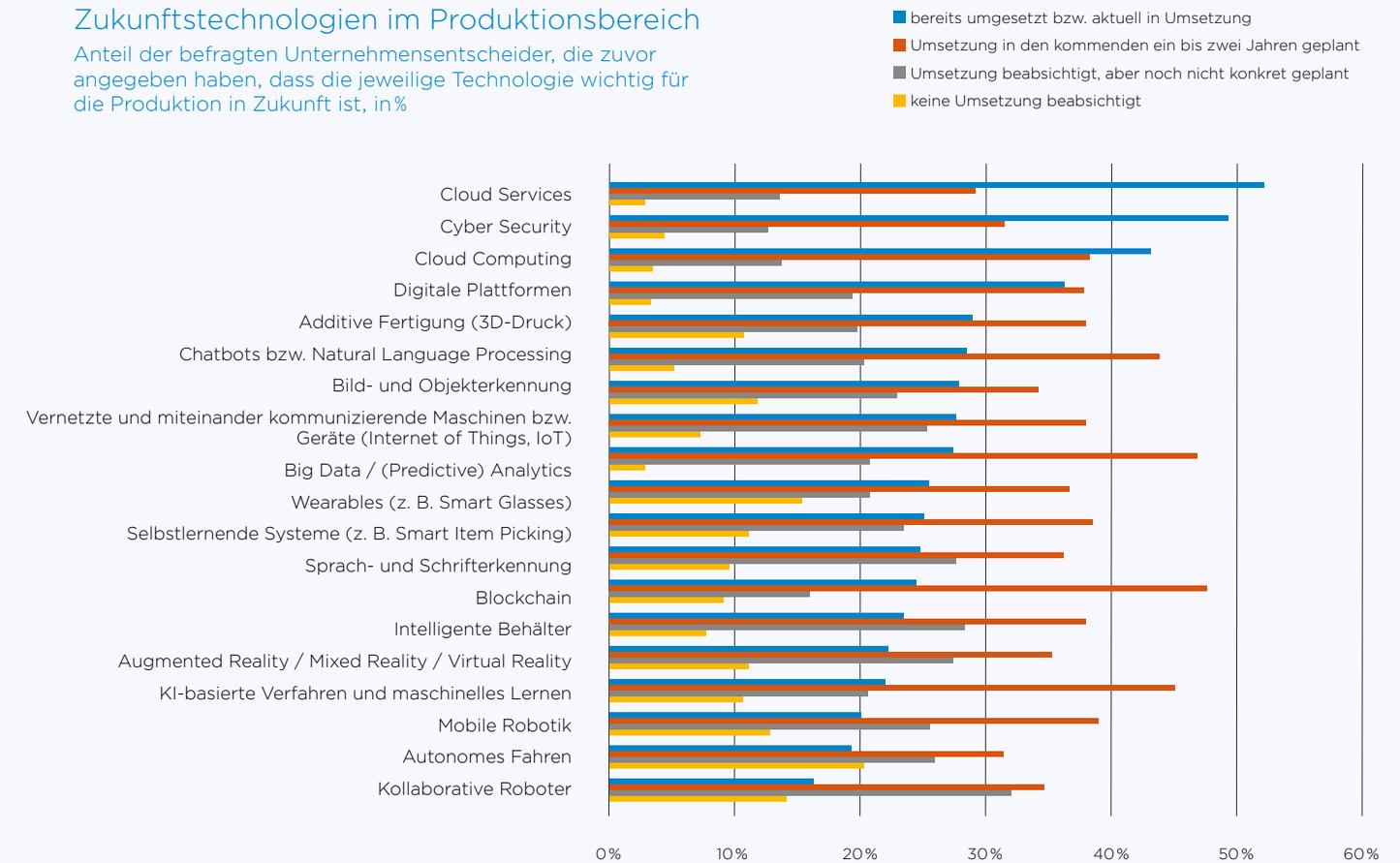
Ohne konkretes Timing ist die Implementierung von autonomem Fahren, intelligenten Behältern, Sprach-/Schrift-Erkennung, AR/MR/VR sowie kollaborativen Robotern bei relativ vielen Unternehmen geplant, sodass der Markt für diese Technologie in der mittleren bis langen Frist wachsen dürfte.

von Technologieanbietern gibt, müssen sich die Unternehmen im Zweifel für einen Anbieter entscheiden. Als Entscheidungs-

Abb. 9: Fortschritte beim Einsatz von Zukunftstechnologien im Produktionsbereich

Anteil der befragten Unternehmensentscheider, die zuvor angegeben haben, dass die jeweilige Technologie wichtig für die Produktion in Zukunft ist, in %

Differenz zu 100%: weiß nicht / keine Angabe



grundlage können unterschiedliche Kriterien in Frage kommen. Bei einigen Unternehmen ist eventuell der Preis ausschlaggebend. Andere wiederum schauen in erster Linie auf die Qualität oder den Leistungsumfang der Anwendungen. Ebenfalls können die Referenzen des Anbieters ausschlaggebend sein.

Für die meisten der befragten Unternehmen in Europa – für gut ein Fünftel – ist eine flexible und einfache Preisgestaltung das wichtigste Kriterium bei der Auswahl eines Technologieanbieters (siehe Abbildung 10). Dabei geht es in erster Linie nicht um möglichst geringe Preise, sondern einfach nachvollziehbare Preise, die darüber hinaus in Sachen Angebot flexibel auf die konkre-

ten Bedürfnisse angepasst werden können. Ebenfalls besonders wichtig sind die Aspekte Sicherheit sowie die Bereitstellung von Beratung und Unterstützung sowie professionelle Dienstleistungen.

Gewisse Unterschiede zeigen sich bei einigen Unternehmenstypen. So ist gerade für kleinere Unternehmen die Preisgestaltung sowie das Thema Beratung besonders wichtig. Unter Umständen deshalb, weil sie vergleichsweise geringere finanzielle Ressourcen zur Verfügung haben und aufgrund von begrenzten personellen Kapazitäten über relativ wenig Know-how verfügen.

Abb. 10: Wichtige Entscheidungskriterien bei der Auswahl der Technologieanbieter  
Anteil der befragten Unternehmensentscheider, in%

Mehrfachnennung möglich

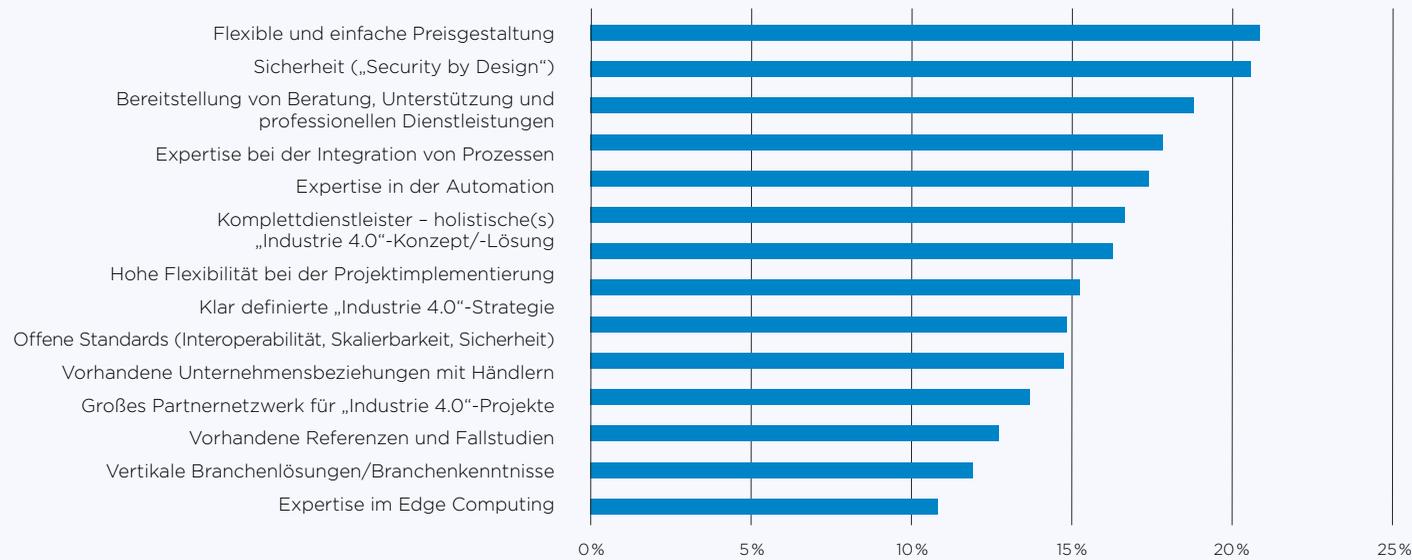


Abb. 11: Wichtige Entscheidungskriterien bei der Auswahl der Technologieanbieter - Ländervergleich

Anteil der befragten Unternehmensentscheider, in%  
Markiert: Anteil über dem europäischen Länderdurchschnitt

Mehrfachnennung möglich

	Ø	DE	UK	FR	ES	IT	DK	SE	NO	NL	PL
Flexible und einfache Preisgestaltung	21%	16%	18%	19%	18%	20%	32%	22%	32%	29%	20%
Sicherheit („Security by Design“)	21%	21%	15%	23%	17%	19%	34%	21%	21%	23%	18%
Bereitstellung von Beratung, Unterstützung und professionellen Dienstleistungen	19%	18%	11%	21%	24%	23%	17%	14%	14%	9%	24%
Expertise bei der Integration von Prozessen	18%	14%	15%	17%	15%	26%	14%	13%	26%	19%	19%
Expertise in der Automation	17%	11%	15%	15%	21%	19%	17%	12%	19%	27%	21%
Komplettanbieter - holistische(s) „Industrie 4.0“-Konzept/-Lösung	17%	20%	15%	15%	21%	19%	9%	9%	11%	12%	21%
Hohe Flexibilität bei der Projektimplementierung	16%	17%	15%	10%	16%	21%	13%	19%	16%	21%	18%
Klar definierte „Industrie 4.0“-Strategie	15%	16%	9%	14%	20%	18%	6%	9%	16%	17%	18%
Offene Standards (Interoperabilität, Skalierbarkeit, Sicherheit)	15%	17%	15%	14%	16%	13%	17%	14%	11%	12%	16%
Vorhandene Unternehmensbeziehungen mit Händlern	15%	18%	13%	15%	15%	10%	3%	12%	18%	17%	22%
Großes Partnernetzwerk für „Industrie 4.0“-Projekte	14%	16%	2%	19%	18%	15%	1%	9%	16%	11%	14%
Vorhandene Referenzen und Fallstudien	13%	14%	9%	13%	19%	13%	7%	8%	14%	8%	15%
Vertikale Branchenlösungen/Branchenkenntnisse	12%	12%	8%	12%	15%	14%	5%	6%	4%	15%	16%
Expertise im Edge Computing	11%	13%	5%	15%	11%	15%	5%	7%	11%	6%	9%

Bei Unternehmen, die bei der digitalen Transformation der Produktion schon weiter vorangeschritten sind, ist erstens Sicherheit entscheidender als die Preisgestaltung. Zweitens setzen sie – im Gegensatz zu den anderen Unternehmen – stärker auf ein Industry-4.0-Partnernetzwerk sowie Flexibilität bei der Projektimplementierung. Für Technologieanbieter bedeutet dies, dass sie nicht nur bei ein oder zwei Kriterien „gut“ sein müssen, sondern bei einer ganzen Reihe, um für möglichst viele unterschiedliche Unternehmen als Anbieter in Frage zu kommen.

Grundsätzlich weniger kommt es den Unternehmen beispielsweise auf vorhandene Re-

ferenzen und Vorzeigebispiele an. Dadurch ergeben sich auch potenzielle Chancen für Start-ups und Quereinsteiger auf dem Markt.

Im Ländervergleich zeigen sich einige Unterschiede (siehe Abbildung 11). Beispielsweise spielt bei italienischen Unternehmen die Expertise bei der Integration von Prozessen die größte Rolle. Bei niederländischen Unternehmen ist es die Expertise im Feld der Automation. Und polnische Unternehmen legen einen größeren Stellenwert auf vorhandene Unternehmensbeziehungen mit den Händlern als Unternehmen aus den anderen Ländern.

### 3.4 Internet of Things – Anwendungsmöglichkeiten

Rund 78 Prozent der Unternehmen in Europa sehen grundsätzlich Anwendungsmöglichkeiten für das Internet of Things (IoT) in der Produktion (siehe Abbildung 12). Dies gilt, obwohl zurzeit erst weniger als 30 Prozent mit der Vernetzung von Maschinen und Objekten begonnen haben (siehe Abbildung 9). Somit besteht weiterhin ein großes Marktpotenzial für IoT-Anwendungen. In Polen, Spanien, Italien, Deutschland und in den Niederlanden sind die Zustimmungswerte

überdurchschnittlich hoch. Und bei den Ländern, die auf jeden Fall Potenzial für IoT in der Produktion erwarten, liegen Deutschland und Spanien deutlich an der Spitze. In Großbritannien und Frankreich sowie in den skandinavischen Ländern (Dänemark, Norwegen, Schweden) ist demgegenüber noch Überzeugungsarbeit zu leisten, da sich hier die Entscheidungsträger eher skeptisch in Bezug auf IoT-Anwendungen in der Produktion zeigen.

Abb. 12: IoT-Anwendungsmöglichkeiten in der Produktion im Ländervergleich

Anteil der befragten Unternehmensentscheider, in%  
Markiert: Anteil über dem europäischen Länderdurchschnitt

Differenz zu 100%: weiß nicht / keine Angabe

	Ø	DE	UK	FR	ES	IT	DK	SE	NO	NL	PL
Anwendungsmöglichkeiten auf jeden Fall gegeben	36%	50%	25%	34%	49%	40%	17%	34%	26%	31%	31%
Anwendungsmöglichkeiten teilweise vorhanden	42%	34%	33%	40%	41%	49%	29%	31%	37%	50%	59%
Keine Anwendungsmöglichkeiten	13%	10%	24%	20%	5%	8%	24%	20%	21%	12%	6%

Der erwartete Nutzen der vernetzten Produktion nimmt tendenziell mit der Unternehmensgröße zu (siehe Abbildung 13). So stimmen gut 48 Prozent der Unternehmen in Europa mit mindestens 250 Mitarbeitern der Aussage zu, dass Anwendungsmöglichkeiten für das Internet of Things auf jeden Fall gegeben sind – bei den kleineren und mittleren Unternehmen sind es dagegen nur knapp 28 Prozent. Diese Diskrepanz könnte daran liegen, dass größere Unternehmen in der Regel komplexere Produktionsprozesse steuern, wobei eine nahtlose Vernetzung von Maschinen, Menschen und Produkten einen hohen Koordinationsnutzen leisten kann.

Abb. 13: IoT-Anwendungsmöglichkeiten in der Produktion in Abhängigkeit von der Unternehmensgröße

Anteil der befragten Unternehmensentscheider, in %



Abb. 14: Konkrete IoT-Anwendungsmöglichkeiten in der Produktion

Anteil der befragten Unternehmensentscheider, die grundsätzlich IoT-Anwendungsmöglichkeiten in ihrer Produktion sehen, in %

Markiert: Anteil über dem europäischen Länderdurchschnitt

	Ø	DE	UK	FR	ES	IT	DK	SE	NO	NL	PL
Automatisierung von Bestellvorgängen	37%	33%	35%	31%	41%	39%	38%	35%	28%	42%	41%
Maschine-zu-Maschine-Kommunikation (M2M-Kommunikation)	33%	33%	44%	23%	37%	44%	25%	29%	36%	33%	28%
Vorausschauende Analyse / vorausschauende Wartung	32%	32%	37%	26%	41%	34%	40%	18%	25%	34%	26%
Ein einziges Dashboard mit Informationen über alle Fertigungsanlagen	31%	33%	29%	32%	36%	32%	28%	18%	33%	25%	32%
Fernsteuerung von Maschinen	31%	24%	24%	31%	29%	36%	43%	31%	25%	30%	35%
Nutzung von mobiler Robotik	26%	27%	19%	23%	28%	31%	20%	25%	19%	26%	30%
„Digitale Zwillinge“ zur Simulation von Fertigungsprozessen	24%	24%	27%	22%	29%	19%	13%	36%	25%	22%	24%
Nutzung von autonomen Fahrzeugen	22%	28%	25%	20%	21%	25%	10%	16%	14%	26%	19%

Von Unternehmen, die grundsätzlich einen Stellenwert für IoT in der Produktion sehen, werden die Automatisierung von Bestellvorgängen, die M2M-Kommunikation sowie Predictive Analytics / Predictive Maintenance europaweit als Top-3-IoT-Anwendungen in den Vordergrund gerückt (siehe Abbildung 14). Allerdings gibt es länderspezifische Unterschiede in der Priorisierung. Überdurchschnittlich viele verschiedene Nutzungsmöglichkeiten von IoT-Anwendungen nennen Unternehmensentscheider in Spanien, Italien, Großbritannien und in den Niederlanden.

Zwei Drittel der Unternehmen in Europa nutzen bereits eine oder mehrere IoT-Plattformen. Dabei geben die meisten von ihnen an, dass sie auf die Anwendungen externer Anbieter zurückgreifen (siehe Abbildung 15). Deutlich weniger wählen den Weg der eigenen Entwicklung. Als Vorreiter beim Einsatz von IoT-Plattformen zeigen sich Spanien, Polen, Italien und Deutschland. Besonders wenig vernetzt ist die Produktion nach eigenen Aussagen der Unternehmen bislang in Dänemark und im Vereinigten Königreich sowie in Schweden und Norwegen. Dies deckt sich mit der grundsätzlichen Skepsis der Unternehmensentscheider

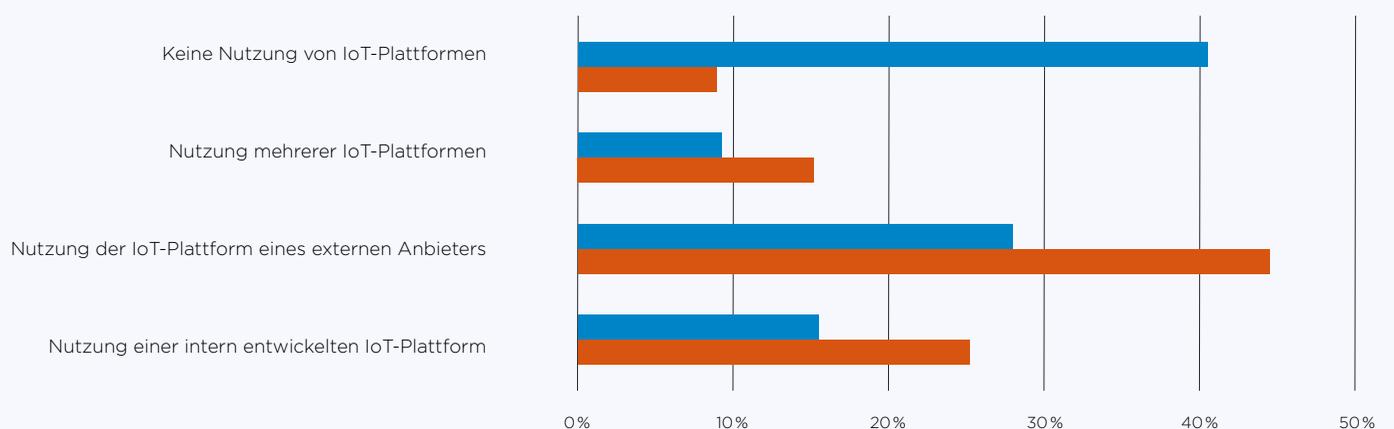
Abb. 15: Nutzung von IoT-Plattformen im Unternehmen

Anteil der befragten Unternehmensentscheider, in %  
Markiert: Anteil über dem europäischen Länderdurchschnitt

	Ø	DE	UK	FR	ES	IT	DK	SE	NO	NL	PL
Nutzung einer intern entwickelten IoT-Plattform	20%	30%	15%	25%	20%	20%	7%	18%	9%	20%	15%
Nutzung der IoT-Plattform eines externen Anbieters	35%	35%	16%	30%	53%	40%	20%	24%	35%	27%	48%
Nutzung mehrerer IoT-Plattformen	12%	11%	10%	11%	8%	18%	6%	8%	12%	15%	17%
Keine Nutzung von IoT-Plattformen	27%	21%	43%	30%	16%	20%	56%	36%	35%	32%	12%

Abb. 16: Nutzung von IoT-Plattformen in Abhängigkeit von der Unternehmensgröße

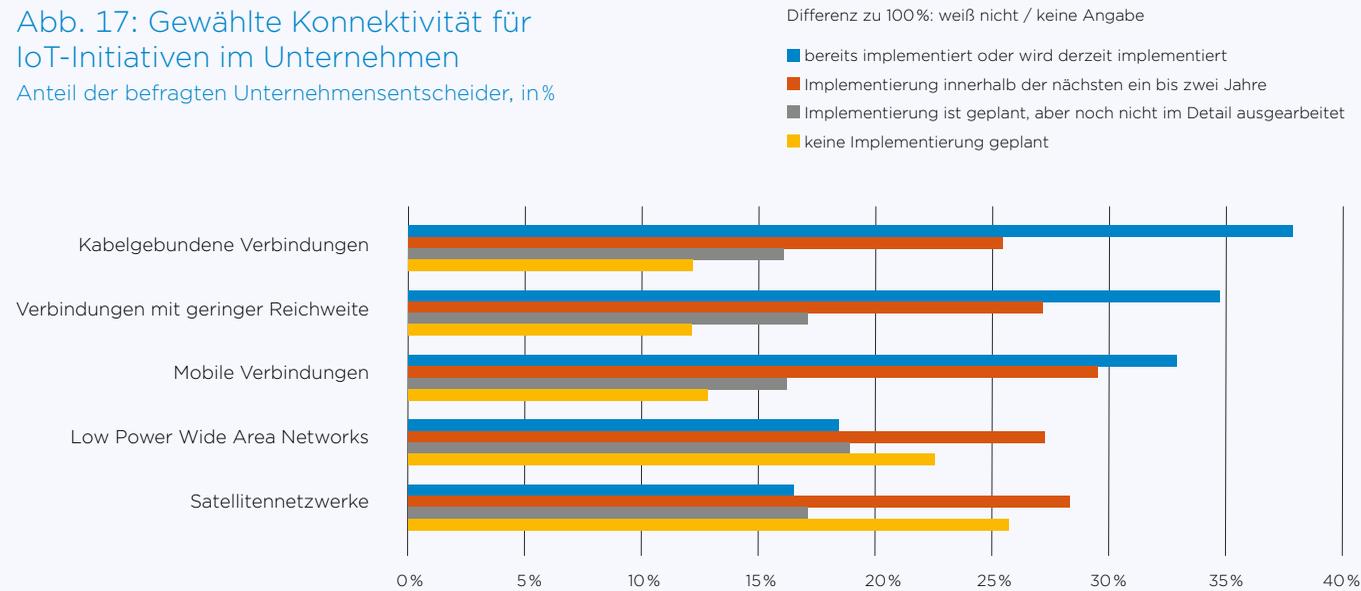
Anteil der befragten Unternehmensentscheider, in %



in diesen Ländern gegenüber IoT-Anwendungsmöglichkeiten in der Produktion, wie sie in Abbildung 12 dokumentiert wird. Die Verbreitung von IoT-Plattformen ist zudem abhängig von der Unternehmensgröße. Während fast 85 Prozent der Unternehmen in den untersuchten europäischen Ländern mit mindestens 250 Mitarbeitern eine oder mehrere IoT-Plattformen nutzen, geben über 40 Prozent der kleinen und mittleren Unternehmen mit weniger als 250 Mitarbeitern an, keine derartige Plattform im Betrieb zu haben (siehe Abbildung 16).

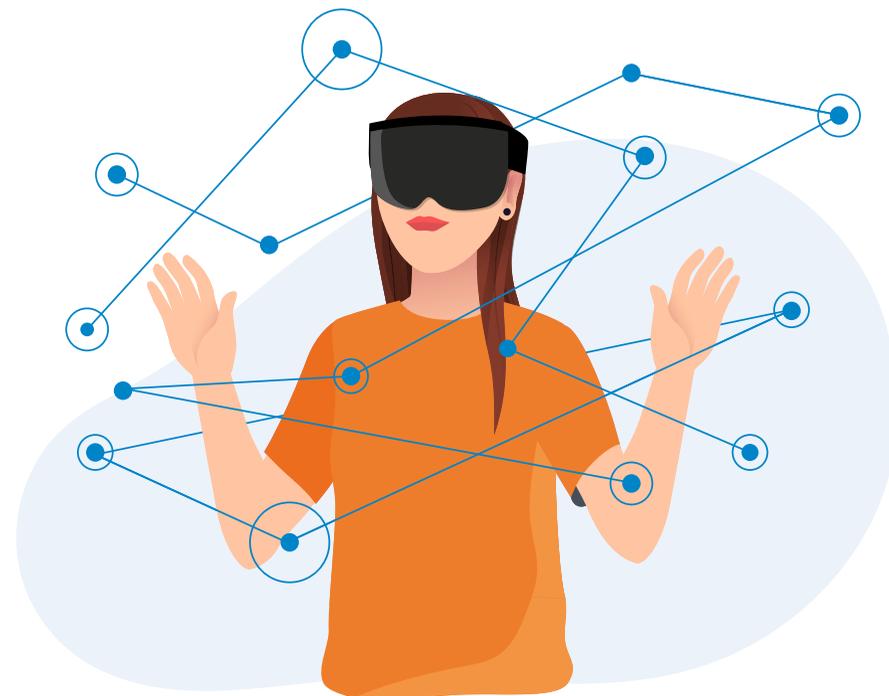
Abb. 17: Gewählte Konnektivität für IoT-Initiativen im Unternehmen

Anteil der befragten Unternehmensentscheider, in %



In Bezug auf die Konnektivität für ihre IoT-Initiativen setzen die Unternehmen in Europa derzeit vor allem auf kabelgebundene Verbindungen (z. B. Glasfaser), gefolgt von drahtlosen Verbindungen mit geringer Reichweite (z. B. Bluetooth, WLAN, Zig-Bee) sowie Mobilfunknetzen (z. B. 4G oder 5G) (siehe Abbildung 17). Dieser Befund ist

überraschend, da gerade der Mobilfunkstandard 5G als wichtiger Enabler von IoT gehandelt wird, und könnte auf bestehende Schwächen bei der Mobilfunkinfrastruktur hindeuten. Denn für die Produktion sind die Verfügbarkeit und die Stabilität der Netze entscheidend.



### 3.5 Augmented Reality – Anwendungsmöglichkeiten

Mehr als 70 Prozent der Unternehmen in Europa erwarten potenzielle Einsatzmöglichkeiten für Augmented Reality (AR) in der Produktion (siehe Abbildung 18). Allerdings haben erst weniger als ein Viertel davon tatsächlich AR-, VR- oder MR-Anwendungen in ihrer Fertigung implementiert

(siehe Abbildung 9). Überdurchschnittlich hohe Chancen werden in Spanien, Italien, Polen und Deutschland gesehen, während sich Unternehmen im Vereinigten Königreich und in den skandinavischen Ländern (Dänemark, Schweden, Norwegen) eher ablehnend äußern.

Abb. 18: Anwendungsmöglichkeiten für Augmented Reality in der Produktion im Ländervergleich

Anteil der befragten Unternehmensentscheider, in %

Markiert: Anteil über dem europäischen Länderdurchschnitt

Differenz zu 100%: weiß nicht / keine Angabe

	Ø	DE	UK	FR	ES	IT	DK	SE	NO	NL	PL
Anwendungsmöglichkeiten auf jeden Fall gegeben	30%	42%	17%	34%	36%	29%	10%	28%	19%	19%	35%
Anwendungsmöglichkeiten teilweise vorhanden	40%	36%	27%	34%	51%	53%	29%	29%	35%	46%	46%
Keine Anwendungsmöglichkeiten	23%	18%	41%	26%	11%	15%	37%	34%	32%	28%	16%

Die Wertschätzung für AR steigt tendenziell sowohl mit der Unternehmensgröße (siehe Abbildung 19) als auch mit dem bereits vollzogenen Fortschritt der Digitalisierung in der Produktion (siehe Abbildung 20).

Dies deutet einerseits auf Skalenvorteile bei der Nutzung und andererseits auf Lernkurveneffekte im Umgang mit den neuen digitalen Technologien hin.

Abb. 19: Anwendungsmöglichkeiten für Augmented Reality in Abhängigkeit von der Unternehmensgröße

Anteil der befragten Unternehmensentscheider, in %

Differenz zu 100%: weiß nicht / keine Angabe

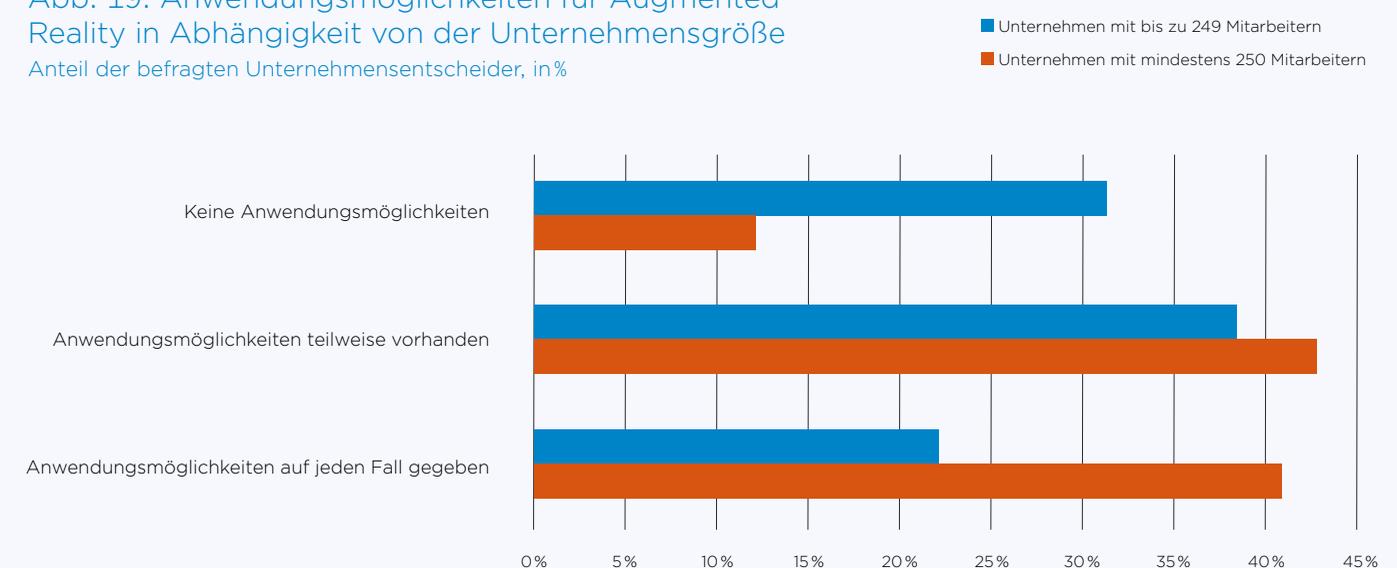
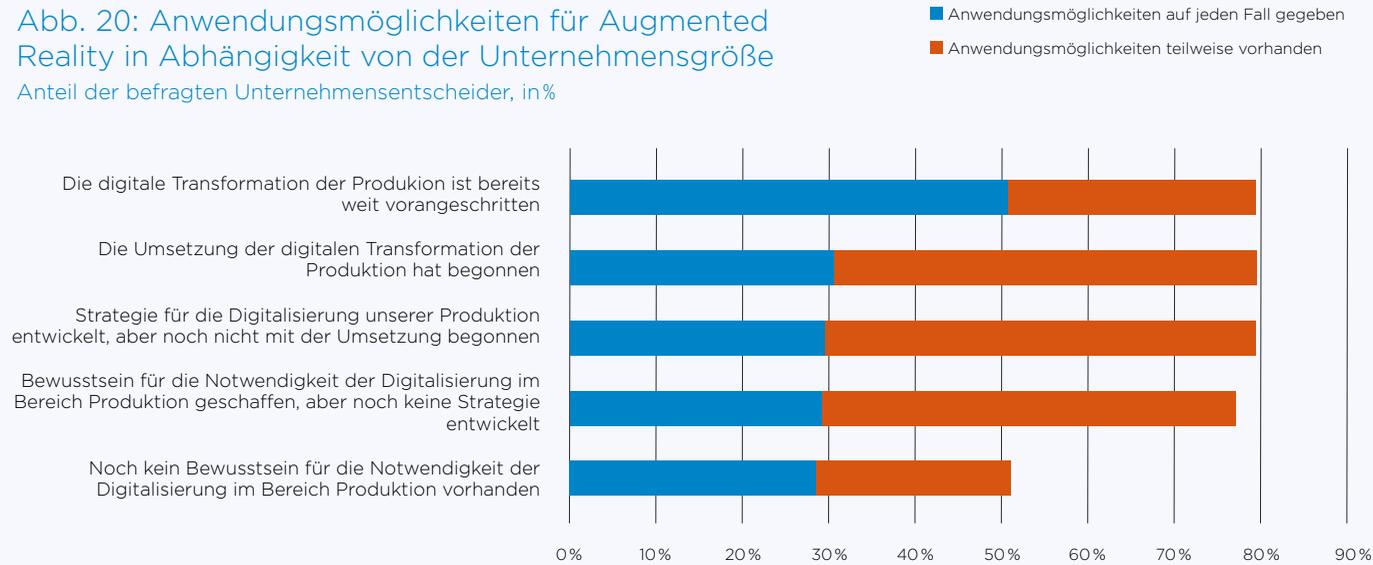


Abb. 20: Anwendungsmöglichkeiten für Augmented Reality in Abhängigkeit von der Unternehmensgröße

Anteil der befragten Unternehmensentscheider, in %



Als wichtigste Anwendungsmöglichkeiten werden europaweit die Qualitätssicherung, Montage-, Wartungs- und Reparaturdienstleistungen sowie die Optimierung der Fertigungsprozesse genannt (siehe Abbildung 21). Auffällig ist, dass Unternehmensentscheider in den verschiedenen Ländern unterschiedliche Prioritäten setzen. So stehen bei Unternehmen im Vereinigten Königreich, die zumindest teilweise Einsatzmöglichkei-

ten für AR in der Produktion erwarten, die Schulung und Integration von Mitarbeitern im Vordergrund, während es in Frankreich der Remote Support für ortsunabhängige Expertenhilfe, in Deutschland, in Spanien sowie Schweden Montage-, Wartungs- und Reparaturdienstleistungen oder in Italien die Optimierung der Fertigungsprozesse sind (siehe Abbildung 22).

Abb. 21: Anwendungsbeispiele für Augmented Reality im Bereich der Produktion des eigenen Unternehmens

Anteil der befragten Unternehmensentscheider, die grundsätzlich AR-Anwendungsmöglichkeiten in ihrer Produktion sehen, in %

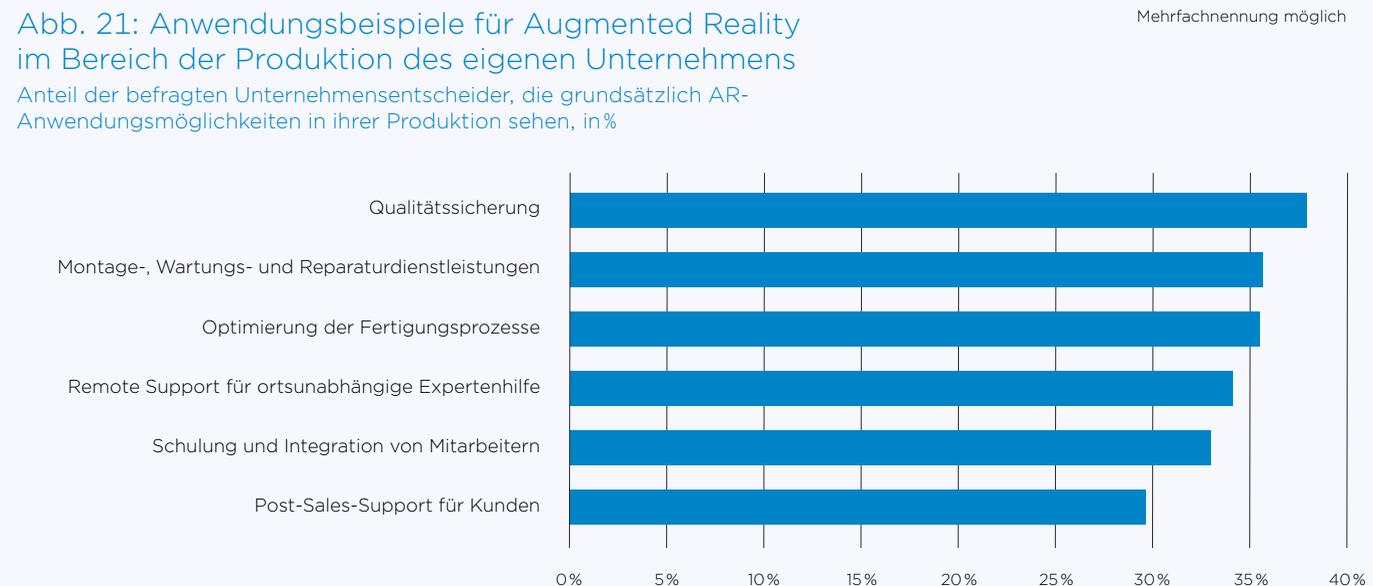


Abb. 22: Anwendungsbeispiele für Augmented Reality im Bereich der Fertigung im Ländervergleich

Anteil der befragten Unternehmensentscheider, die grundsätzlich AR-Anwendungsmöglichkeiten in ihrer Produktion sehen, in %  
Markiert: Anteil über dem europäischen Länderdurchschnitt

	Ø	DE	UK	FR	ES	IT	DK	SE	NO	NL	PL
Qualitätssicherung	38%	39%	41%	28%	33%	41%	44%	37%	48%	51%	41%
Montage-, Wartungs- und Reparaturdienstleistungen	36%	42%	27%	31%	43%	33%	29%	45%	19%	24%	39%
Optimierung der Fertigungsprozesse	36%	32%	20%	32%	37%	42%	32%	33%	26%	48%	38%
Remote Support für ortsunabhängige Expertenhilfe	34%	35%	39%	40%	36%	34%	41%	31%	13%	20%	32%
Schulung und Integration von Mitarbeitern	33%	34%	43%	31%	33%	36%	21%	33%	29%	28%	35%
Post-Sales-Support für Kunden	30%	24%	37%	25%	23%	29%	35%	39%	39%	42%	35%

Die Diskrepanz zwischen der aktuellen und der erwarteten Nutzung von AR in der Produktion lässt sich auf verschiedene Weise erklären: Unter Umständen sind derzeit noch nicht alle potenziellen Nutzer vom Geschäftspotenzial überzeugt – der zusätzliche Ertrag der Anwendungsmöglichkeiten

überwiegt möglicherweise die Kosten (noch) nicht. Oder aber die zurzeit angebotenen Tools sind noch nicht weit genug entwickelt, zu beratungsintensiv und/oder aufgrund von Markttransparenz nicht hinreichend bekannt.

### 3.6 Künstliche Intelligenz – Anwendungsmöglichkeiten

Europaweit sehen rund 73 Prozent der Entscheidungsträger das Potenzial für künstliche Intelligenz (KI) in der Fertigung ihres Unternehmens (siehe Abbildung 23). Mit 88 Prozent liegen dabei die Befragten aus Polen an der Spitze, gefolgt von Spanien

(87 Prozent), Italien (82 Prozent) und Deutschland (74 Prozent). Demgegenüber können sich jeweils über 40 Prozent der Unternehmen in Dänemark sowie im Vereinigten Königreich keinerlei KI-Anwendungsmöglichkeiten in ihrer Produktion vorstellen.

Abb. 23: Anwendungsmöglichkeiten für künstliche Intelligenz in der Produktion im Ländervergleich

Anteil der befragten Unternehmensentscheider, in %  
Markiert: Anteil über dem europäischen Länderdurchschnitt

	Ø	DE	UK	FR	ES	IT	DK	SE	NO	NL	PL
Anwendungsmöglichkeiten auf jeden Fall gegeben	30%	38%	24%	32%	36%	34%	13%	29%	16%	23%	32%
Anwendungsmöglichkeiten teilweise vorhanden	42%	36%	25%	39%	51%	48%	31%	36%	39%	47%	57%
Keine Anwendungsmöglichkeiten	21%	22%	41%	24%	9%	14%	43%	25%	33%	23%	9%

Differenz zu 100%: weiß nicht / keine Angabe

Abb. 24: Anwendungsmöglichkeiten für künstliche Intelligenz in Abhängigkeit von der Unternehmensgröße  
Anteil der befragten Unternehmensentscheider, in %

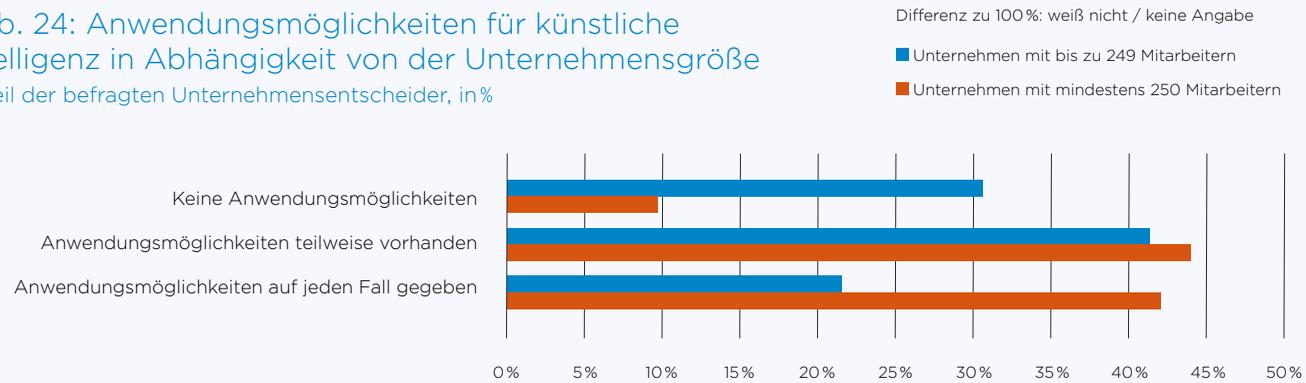


Abb. 25: Anwendungsmöglichkeiten für künstliche Intelligenz in Abhängigkeit von der Unternehmensgröße  
Anteil der befragten Unternehmensentscheider, in %

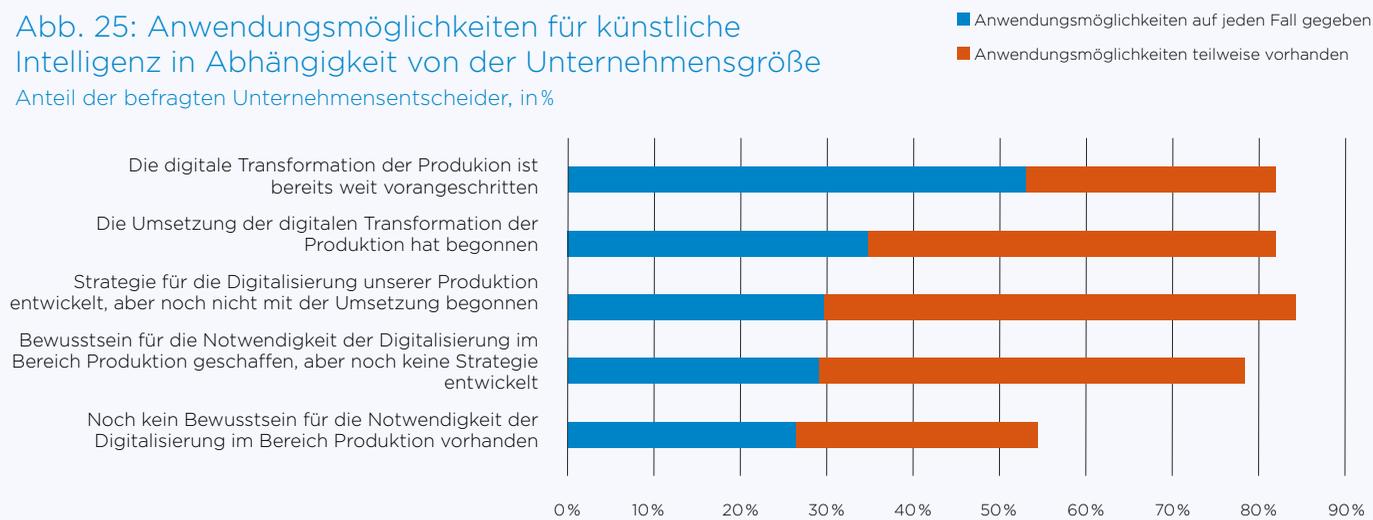
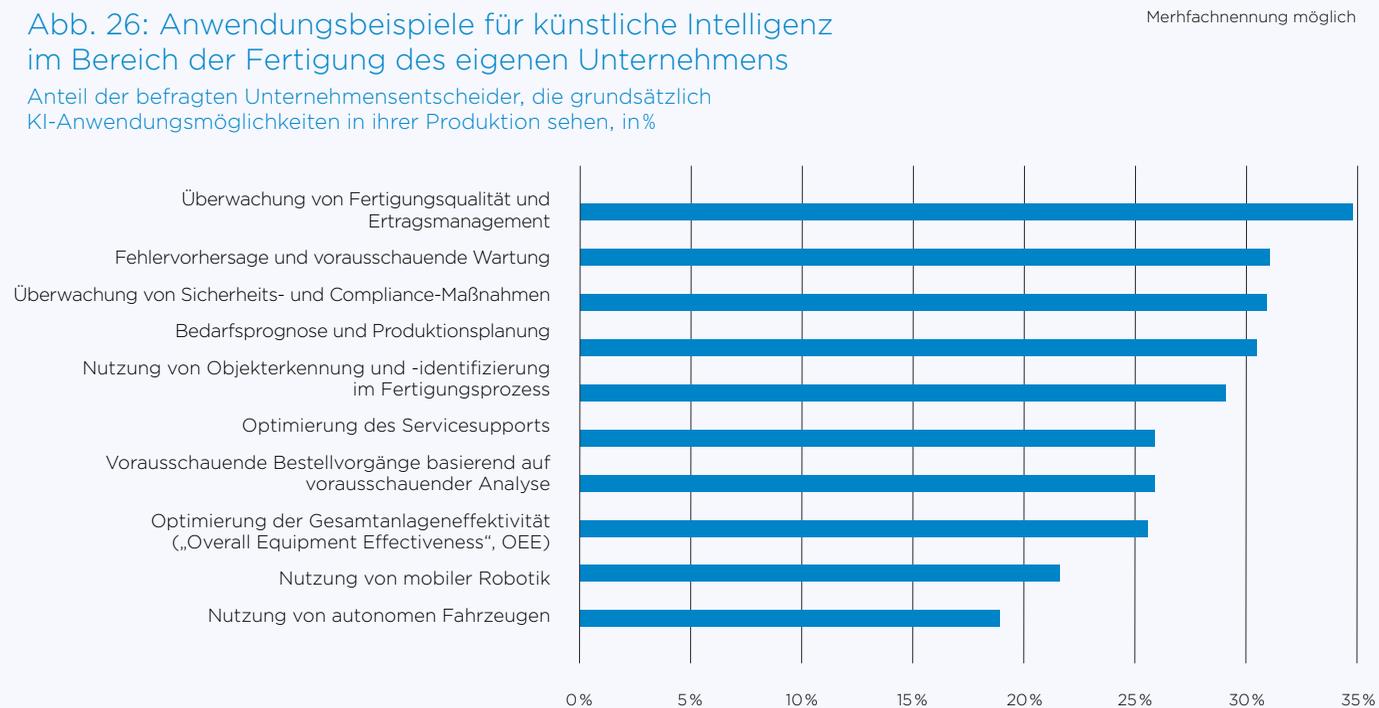


Abb. 26: Anwendungsbeispiele für künstliche Intelligenz im Bereich der Fertigung des eigenen Unternehmens  
Anteil der befragten Unternehmensentscheider, die grundsätzlich KI-Anwendungsmöglichkeiten in ihrer Produktion sehen, in %



Die Wertschätzung für KI steigt tendenziell sowohl mit der Unternehmensgröße (siehe Abbildung 24) als auch mit dem bereits vollzogenen Fortschritt der Digitalisierung in der Produktion (siehe Abbildung 25).

Unternehmen mit Anwendungsmöglichkeiten für künstliche Intelligenz in ihrer Produktion nennen vor allem folgende Felder, jeweils mit Zustimmungswerten von über 30 Prozent: Überwachung von Fertigungsqualität und Ertragsmanagement, Fehlervorhersage und vorausschauende Wartung, Überwachung von Sicherheits- und Compliance-Maßnahmen sowie Bedarfsprognose und Produktionsplanung (siehe Abbildung 26).

Im Ländervergleich zeigen sich zum Teil unterschiedliche Schwerpunkte bei den möglichen Anwendungen von KI im Produktionsprozess. So priorisieren beispielsweise Unternehmen in Italien und Frankreich die Bedarfsprognose und Produktionsplanung, während im Vereinigten Königreich die Nutzung von Objekterkennung und -identifizierung auf Platz eins rangiert (siehe Abbildung 27).

Abb. 27 : Anwendungsbeispiele für künstliche Intelligenz im Bereich der Fertigung im Ländervergleich

Anteil der befragten Unternehmensentscheider, die grundsätzlich KI-Anwendungsmöglichkeiten in ihrer Produktion sehen, in %  
Markiert: Anteil über dem europäischen Länderdurchschnitt

Merfachnennung möglich

	Ø	DE	UK	FR	ES	IT	DK	SE	NO	NL	PL
Überwachung von Fertigungsqualität und Ertragsmanagement	35%	31%	28%	29%	35%	37%	42%	34%	29%	49%	38%
Fehlervorhersage und vorausschauende Wartung	31%	36%	31%	23%	31%	35%	50%	21%	19%	33%	32%
Überwachung von Sicherheits- und Compliance-Maßnahmen	31%	30%	24%	28%	31%	29%	29%	34%	32%	38%	36%
Bedarfsprognose und Produktionsplanung	31%	29%	31%	30%	33%	37%	24%	18%	32%	28%	30%
Nutzung von Objekterkennung und -identifizierung im Fertigungsprozess	29%	29%	37%	28%	30%	36%	24%	21%	23%	25%	27%
Optimierung des Servicesupports	26%	22%	19%	23%	24%	28%	37%	32%	19%	30%	29%
Vorausschauende Bestellvorgänge basierend auf vorausschauender Analyse	26%	31%	28%	24%	25%	28%	18%	25%	29%	26%	21%
Optimierung der Gesamtanlageneffektivität („Overall Equipment Effectiveness“, OEE)	26%	26%	24%	28%	30%	26%	29%	18%	19%	20%	22%
Nutzung von mobiler Robotik	22%	17%	13%	21%	22%	25%	26%	18%	32%	17%	26%
Nutzung von autonomen Fahrzeugen	19%	21%	15%	19%	19%	18%	18%	21%	23%	20%	17%

Die Algorithmen für KI beziehungsweise für Machine Learning (ML) benötigen eine große Menge an Betriebsdaten. Wenn es darum geht, wo diese in der Zukunft überwiegend gespeichert und verarbeitet werden sollen, wählen über zwei Drittel der Unternehmen in Europa eine Lösung vor Ort, entweder auf dem Core Speicher (37 Pro-

Abb. 28: Speicherung und Verarbeitung von Betriebsdaten für die Nutzung in KI-/ML-Algorithmen in der Zukunft

Anteil der befragten Unternehmensentscheider, in %

	Ø	DE	UK	FR	ES	IT	DK	SE	NO	NL	PL
Vor Ort auf dem Edge Speicher (direkt auf den Geräten oder auf einem Edge Server)	30%	39%	15%	34%	41%	33%	15%	22%	25%	25%	26%
Vor Ort auf dem Core Speicher (eigenes Rechenzentrum, Serverraum)	37%	43%	26%	32%	44%	36%	24%	31%	40%	32%	51%
In der Cloud / außerhalb des Unternehmens	19%	9%	21%	20%	10%	20%	32%	24%	19%	32%	15%

zent), beispielsweise im eigenen Rechenzentrum, oder auf einem Edge Speicher (30 Prozent). Nur Entscheidungsträger in Dänemark setzen mit 32 Prozent vorwiegend auf die Cloud beziehungsweise die Speicherung außerhalb des Unternehmens (siehe Abbildung 28).

Differenz zu 100 %: weiß nicht / keine Angabe

### 3.7 Wandel der Prozesse

Bei der digitalen Transformation der Produktion steht zwar die Implementierung digitaler Technologien im Mittelpunkt, sie ist allerdings weiter gefasst als die reine Nutzung neuer Anwendungen. So wandeln sich ebenfalls die Arbeitsabläufe bei den Beschäftigten wie auch die Produktionsprozesse insgesamt. Dies bringt auch ein neues beziehungsweise angepasstes Set an Qualifikationsanforderungen für die Beschäftigten im Produktionsbereich mit sich.

Rund 77 Prozent der Unternehmen erwarten, dass im Zuge der digitalen Transformation der Produktion IT-Kompetenzen und Soft Skills für Fertigungsmitarbeiter immer wichtiger werden (siehe Abbildung 29). Fast ebenso hohe Zustimmungswerte erzielen die Aus-

sagen, dass in Zukunft Mitarbeiter vermehrt „Hand in Hand“ mit Maschinen und Robotern arbeiten werden (75 Prozent) sowie dass Mitarbeiter die Fertigungsprozesse vermutlich weniger selbst durchführen, sondern sie eher steuern und überwachen (74 Prozent). In einem gewissen Widerspruch dazu steht die Erwartung, dass sich für die meisten Mitarbeiter in der Fertigung nicht viel verändern wird, die immerhin gut 61 Prozent der Unternehmensentscheider in Europa äußern.

Offenkundig sehen die Arbeitgeber den durch die Digitalisierung bedingten Wandel der Prozesse, gehen jedoch davon aus, dass dieser vom Großteil der Belegschaft ohne große Anpassungslast bewältigt werden kann.

Abb. 29: Speicherung und Verarbeitung von Betriebsdaten für die Nutzung in KI-/ML-Algorithmen in der Zukunft

Anteil der befragten Unternehmensentscheider:innen, die dem jeweiligen Aspekt (eher) zustimmen, in %

Markiert: Anteil über dem europäischen Länderdurchschnitt

	Ø	DE	UK	FR	ES	IT	DK	SE	NO	NL	PL
IT-Kompetenzen und Soft Skills werden für Fertigungsmitarbeiter immer wichtiger	77%	80%	66%	77%	79%	78%	72%	67%	79%	78%	79%
In der Zukunft werden Mitarbeiter vermehrt „Hand in Hand“ mit Maschinen und Robotern arbeiten	75%	79%	64%	76%	75%	80%	68%	65%	77%	76%	82%
In der Zukunft werden Mitarbeiter Fertigungsprozesse weniger wahrscheinlich selbst durchführen als sie steuern und überwachen	74%	76%	59%	76%	80%	77%	56%	62%	68%	79%	81%
Im Zuge der „Industrie 4.0“ organisieren wir die Produktionsprozesse in unserem Unternehmen komplett neu	64%	69%	42%	70%	73%	76%	32%	40%	63%	55%	78%
Für die meisten Mitarbeiter in der Fertigung wird sich nicht viel verändern	61%	63%	47%	61%	70%	65%	40%	48%	53%	65%	72%
Manuelle Fertigkeiten und technische Kenntnisse werden für Fertigungsmitarbeiter immer weniger wichtig	60%	67%	40%	62%	76%	64%	38%	44%	53%	58%	65%

### 3.8 Interpretation der Ergebnisse

Bei der Umfrage zu Industrie 4.0 zeigt sich – wie auch bereits bei der Untersuchung zu Logistics 4.0 –, dass der Fortschritt bei der digitalen Transformation im Produktionsbereich in den befragten Unternehmen eine große Bandbreite aufweist.

Hierbei dürften sicherlich die identifizierten Herausforderungen bei der Transformation eine größere Rolle spielen. Gerade der Zeit- und Kostenaufwand wird sicherlich in finanzschwachen Unternehmen den Transformationsfortschritt dämpfen.

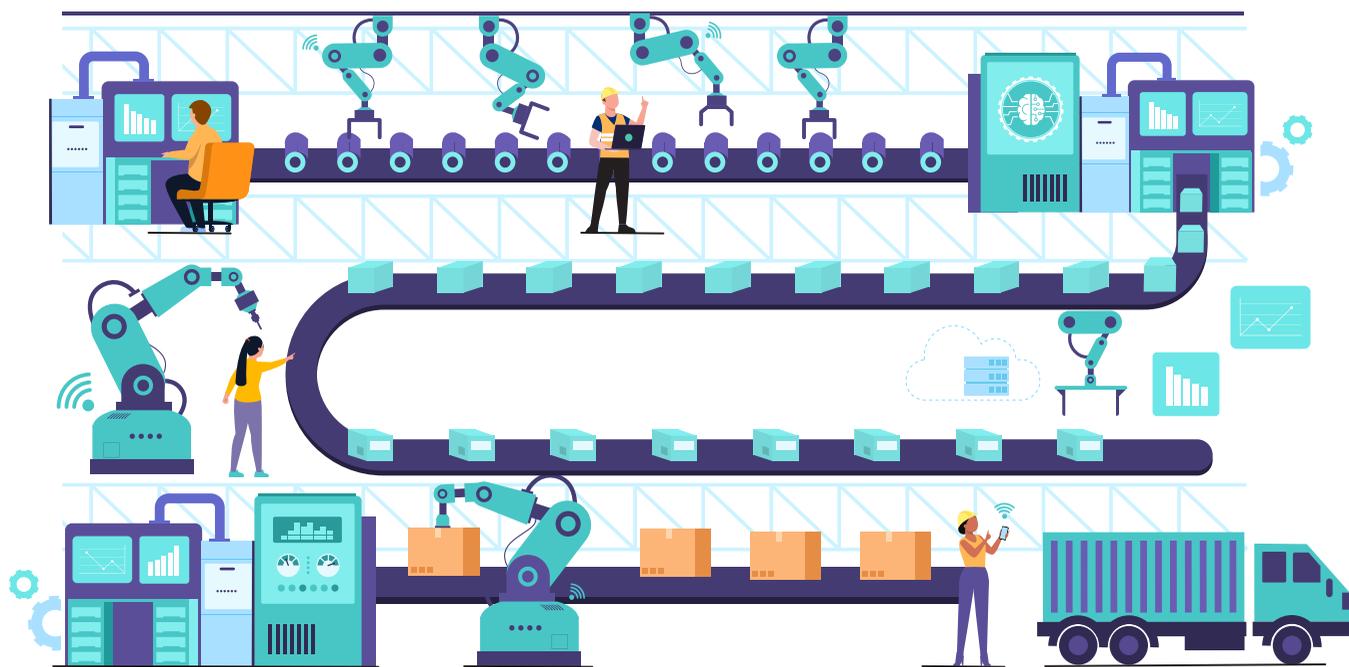
Bei den drei Anwendungen, die genauer untersucht wurden, zeigt sich: Insgesamt ist der Anteil der Unternehmen, die bereits das Internet of Things, Augmented Reality oder künstliche Intelligenz in ihrer Produktion nutzen, geringer als der Anteil der Unternehmen,

die sich prinzipiell Anwendungsmöglichkeiten für diese Technologien vorstellen können. Mithin befindet sich der Markt weiterhin in der Expansionsphase.

Unter Umständen sind einige Unternehmen noch nicht von der betriebswirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit der am Markt verfügbaren Tools überzeugt, obwohl sie der Nutzung von digitalen Technologien in ihrer Produktion prinzipiell aufgeschlossen gegenüberstehen. Besonders hoch sind die Erwartungen an die digitale Transformation in Polen, Italien und Spanien, während im Vereinigten Königreich und in den skandinavischen Ländern (Dänemark, Schweden, Norwegen) noch tendenziell größerer Überzeugungsbedarf besteht.

Zudem zeigen sich deutliche Unterschiede in Bezug auf die Unternehmensgröße: So erkennen größere Unternehmen ab 250 Mitarbeitern eher Anwendungsmöglichkeiten für IoT, AR oder KI als kleine und mittlere Unternehmen. Der Grund dafür dürfte darin liegen, dass mit der Unternehmensgröße tendenziell auch die Bedeutung und der Komplexitätsgrad der Fertigungsprozesse zunehmen. Denn obwohl die Produktion auch für die befragten kleineren und mittleren Unternehmen eine Rolle spielt, ist diese womöglich deutlich übersichtlicher und weniger komplex als in Großunternehmen.

Dass die Wertschätzung für die Vorteile digitaler Anwendungen auch tendenziell mit dem Fortschritt der digitalen Transformation im eigenen Unternehmen ansteigt, könnte auf Lernkurveneffekte hindeuten: Je größer die Erfahrung mit den neuen Technologien ist, umso höher wird ihr potenzieller Zusatznutzen eingestuft. Dieses dürfte auch insgesamt für die digitale Transformation der Produktion so gelten.



## 4 Beispiele aus der Praxis

Zahlreiche Unternehmen haben schon Industrie-4.0-Anwendungen in unterschiedlichem Ausmaß bei sich implementiert. Dabei kommen verschiedene Technologien wie künstliche Intelligenz oder Augmented Reality zum Einsatz. Wie solche Anwendungen konkret aussehen können, verdeutlichen die folgenden Praxisbeispiele.

### AGCO/Fendt

Das Landtechnikunternehmen AGCO hat seinem Werk in Asbach-Bäumenheim, in dem Traktorkabinen und Hauben der Marke Fendt für sämtliche landwirtschaftliche Fahrzeuge des Konzerns produziert werden, eine neue digitale Infrastruktur gegeben. So wird beispielsweise der digitale Qualitätsprozess mit dem Einsatz von Tablets und der Installation von Bildschirmen am Arbeitsplatz sichergestellt. Formulare wurden durch eine einfach bedienbare Smartphone-App ersetzt. Entdeckt das Personal einen Fehler, wird dieser mit dem Smartphone fotografiert, dokumentiert, entsprechend kategorisiert und direkt an den verursachenden Bereich weitergeleitet. Solche digitalen Lösungen verbessern die Dokumentation und erlauben zugleich eine flexible Gestaltung bei Produktänderungen.

Zum Kern des Werks zählt ebenfalls eine vollständige digitale Fabrikplanung und -simulation mithilfe eines digitalen Zwillings. Diese basiert auf 3D-Modellen von Anlagen, Ausrüstungen und Produkten und verwendet eine VR-Anwendung für die Simulation von Arbeitsprozessen. Außerdem sorgt ein MES-

Backbone (Manufacturing Execution System) für ein durchgängiges Datenmanagement, wodurch alle Mitarbeiter im Werk auf eine einheitliche Informationsquelle zugreifen. Damit wird eine redundante Datenhaltung vermieden. Da die von AGCO hergestellten Maschinen und Systeme vor allem flexibel einsetzbar sein müssen, sind viele Fendt Traktoren für Kunden konfigurierte Unikate. Um dies zu ermöglichen, wird in dem Werk ein hochflexibles Montagesystem eingesetzt, so dass alle Traktorbaureihen und Modelle in verschiedenen Ausstattungsvarianten nach Kundenvorgaben gefertigt werden können und somit schnell und flexibel auf aktuelle Marktanforderungen reagiert werden kann.

Das Werk übernimmt außerdem das Lackieren von Anbauteilen, die wiederum in anderen Werken des AGCO-Konzerns montiert werden. Damit menschliche Fehler und somit die Produktion von Ausschuss minimiert werden, wurde das Werk mit einer intelligenten Lackieranlage ausgerüstet. Um falsche Farbmischungen oder die Verwechslung von Pulver- und Nasslacken zu verhindern, werden bereits beim Empfang der Produktionsteile der entsprechende Auftrag sowie die dazugehörige Stückzahl gescannt und für die Beschäftigten mittels Datenbrillen visualisiert. Über eine Schnittstelle werden die Daten zur unternehmenseigenen Anlagensteuerung „FendtView“ übertragen. Die Programmnummer und Farbe werden dabei regelbasiert auf Widersprüche überprüft, um eventuelle Fehler, wie zum Beispiel die Mischung zweier Farben, in einem Lackiervorgang zu verhindern.

## BASF

Der Chemiekonzern BASF nutzt Predictive Maintenance, um beispielsweise den Funktionszustand von Anlagen vorauszusagen. Mit Hilfe von Sensoren werden Daten in Echtzeit über deren Betriebszustände ermittelt und diese dann mit einer speziellen Software analysiert. Das Ziel ist die Vorhersage des optimalen Zeitpunkts für Instandhaltungsmaßnahmen, um ungeplante Reparaturen und Ausfälle zu reduzieren und die Abstimmung von Instandhaltungs- und Produktionsprozessen zu optimieren.

Zudem versucht BASF seine internen Lieferketten mit denen seiner Kunden zu vernetzen, um die Zuverlässigkeit der Lieferungen zu erhöhen und die Kosten der gesamten Lieferkette zu reduzieren. Die Kunden geben digital spezifische Informationen zu ihren benötigten Lieferungen. Dazu wertet BASF auf einer digitalen Plattform globale Transportdaten aus und verknüpft diese zum Beispiel mit Wettervoraussagen und weiteren Nachrichten. So kann schneller auf Ereignisse reagiert werden, die sich auf die Lieferkette auswirken und Verzögerungen reduzieren.

Im Bereich Forschung hat BASF ein digitales Labor geschaffen. Dort befinden sich intelligente Geräte im Einsatz, die Messungen eigenständig durchführen können und die Daten im Anschluss automatisch dokumentieren. Über eine Cloud können diese dann mit anderen Geräten geteilt werden.

Das Projekt „Kraftwerk 4.0“ optimiert die Energieproduktion des Stammwerks von BASF in Ludwigshafen, welches das größte zusammenhängende Chemieareal der Welt

ist und über drei eigene Kraftwerke verfügt. Der Standort hat einen Energiebedarf, der etwa dem privaten Energiebedarf der Schweiz entspricht. Die Energieproduktion soll so mit möglichst geringen Reservekapazitäten vonstatten gehen. Um dennoch benötigte Stromzukäufe besser planen zu können, wurde hierzu die Bedarfsprognose – sowohl für die Produktion als auch für den Zukauf – automatisiert und mit Hilfe eines auf Big Data beruhenden Analysetools auf einen Algorithmus umgestellt, der die historischen Bedarfe, Wetterdaten und aktuellen Energiepreise berücksichtigt. Wird sodann ein neues Geschäft mit einem Kunden getätigt, werden automatisch die neuen Bedarfe für die Kraftwerke ermittelt. Die Prognosegenauigkeit konnte hierdurch von etwa 70 bis 80 Prozent auf 95 Prozent gesteigert werden.

Seit einigen Jahren besitzt BASF zudem einen Supercomputer namens Curiosity, mit dem verschiedene Simulationen zur Produktoptimierung wie zur Generierung von Innovationen durchgeführt werden. So können zum Beispiel die Wechselwirkungen von Pflanzenschutzmitteln mit dem Boden und deren Eindringen in das Grundwasser berechnet werden. Solche komplexen Umweltsimulationen, die zur Registrierung von Pflanzenschutzmitteln bei Behörden nötig sind, können so in wenigen Stunden statt in Jahren berechnet werden.

## Benzinger

Das Unternehmen Benzinger ist ein Hersteller von Dreh- und Fräsmaschinen, die vorwiegend in den Branchen Optik, Feinmechanik, Medizin-, Dental-, Elektro- und Regeltechnik, Fluid- und Lagertechnik sowie in der Automo-

bilzulieferindustrie, Luft- und Raumfahrt und der Uhren- und Schmuckindustrie zum Einsatz kommen. Dabei bietet das Unternehmen alles aus einer Hand: vom Engineering, dem Bau und Einrichten der Werkzeugmaschinen im Hinblick auf kundenspezifische Werkstücke, bis zum After-Sales-Service.

Der Großteil der langlebigen Maschinen war bei Auslieferung nicht für einen Internetzugang ausgelegt, wodurch der Einsatz dieser Maschinen im Bereich Industrie 4.0 nicht ohne Weiteres möglich ist. Um dem zu begegnen, startete Benzinger ein Modernisierungsprogramm, um die Mensch-Maschinen-Kommunikation, digitale Vernetzung sowie intelligente Maschinensteuerungen in die bereits ausgelieferten Dreh- und Fräsmaschinen einzubinden. Ein „Smart Panel“ erlaubt nun den Kunden den sicheren Zugriff von überall auf Ihre Dokumente (Zeichnungen, Maschindokumentation, Rüstpläne, etc.), erinnert an fällige Wartungsarbeiten und gewährt dem Hersteller sowie auch den Servicepartnern einen begrenzten und verwaltbaren Zugriff auf die Maschinensteuerung.

Damit verbessert Benzinger die Wartung gerade älterer Maschinen durch höhere Effizienz und schnellere Reaktionszeiten. Früher musste bei Bedarf umständlich eine Internetanbindung per externem Notebook aufgebaut werden. Dieses entfällt nun mit dem eingebauten IoT-Modul. Das Tool eignet sich für 70 Prozent der Bestandsanlagen des Maschinenbauers. Die Masse der Bestandskunden hat also die Möglichkeit, die eigene Effizienz deutlich zu erhöhen. Denn im Rahmen der Digitalisierung der alten Maschinen können Fehler schnell und zeitnah beseitigt werden, ohne dass ein Tausch des Maschinenparks nötig wäre. Das Modul erfordert überdies keine Standleitung ins Internet, sondern die Anbindung wird über einen sicheren, gekapselten Kanal nur für die Zeit der Fernwartungssitzung freigeschaltet. Reicht dies nicht aus, ermöglicht AR es, Kunden aus der Ferne durch die Reparatur zu führen. Benzinger führt mit diesen Möglichkeiten nicht nur neue Servicemodelle ein, sondern erhöht die Kundenzufriedenheit und stärkt die Kundenbindung mit einem rundum kundenorientierten Serviceangebot.



## Bosch

Bereits vor rund 20 Jahren hat das Technologieunternehmen Bosch sein eigenes „Bosch Production System“ (BPS) eingeführt. BPS ist skalierbar, sodass es für kleine und große Fertigungsmengen geeignet ist. Das Ziel ist es, die Wertschöpfung zu erhöhen und Verschwendung zu vermeiden. Dies lässt sich nun durch eine Verschmelzung des BPS mit Industrie-4.0-Technologien noch besser erreichen. Mit Hilfe von Industrie-4.0-Anwendungen lassen sich dort Abläufe bis ins kleinste Detail erfassen. Abweichungen vom Sollwert sowie Optimierungspotenziale lassen sich schnell erkennen. Dies geschieht auf Basis des selbstentwickelten Nexeed Industrial Application System.

Auf Basis von Nexeed können bei der Bosch-Tochter BSH Hausgeräte GmbH die Produktion einfach überwacht und optimiert werden. Die Software sammelt Daten der einzelnen Maschinen und harmonisiert diese. Gibt es bei Temperatur- oder Druckwerten Abweichungen von der Norm, wird automatisch ein Mitarbeiter informiert, der Gegenmaßnahmen einleiten kann. So lassen sich Stillstände, Produktionsausfälle und Folgeschäden mindern.

Bosch hat in seinem Werk in Bamberg und in den internationalen Schwesterwerken die Fertigungslinien von Komponenten für Benzin- und Dieselmotoren sowie für Brennstoffzellen voll automatisiert und mit dem Nexeed Manufacturing Execution System ausgestattet. Dies ermöglicht es, Daten der Linien im gesamten Fertigungsverbund werksübergreifend und international abzugleichen und Verbesserungen herbeizuführen. Es werden Informationen über den Zustand und die Funktionsfähigkeit

aller produzierten Komponenten gewonnen. Über- oder unterschreitet ein Produkt nach Abschluss des jeweiligen Produktionsschritts eine festgelegte Toleranzgrenze, gibt die Anwendung einen Alarm aus. Diese Informationen stehen den Mitarbeitern in allen Werken des Fertigungsverbunds zur Verfügung. So kann bei Auftreten eines Problems in einem Werk nachvollzogen werden, ob es in dem betreffenden oder in einem anderen Werk schon einmal zu einem ähnlichen Problem gekommen ist. Falls ja, sehen die Beschäftigten, wie es die Kollegen gelöst haben und sparen hierdurch Zeit bei der Behebung des Problems. Ähnliches wie in den Werken Homburg, Feuerbach und Bamberg hat Bosch auch für seinen weltweiten Fertigungsverbund aus elf Standorten zur Produktion von ABS-/ESP-Bremsregelsystemen eingeführt, der vom Leitwerk in Blaichach gesteuert wird. Dort konnte so die Produktivität der Anlagen seit 2012 um jährlich über 20 Prozent gesteigert werden.

Auch Bosch, als ein produzierendes Unternehmen mit hohem Energiebedarf, versucht die Ansprüche an eine klimaverträgliche und nachhaltige Produktion zu erfüllen und sein Energiemanagement neu zu denken. Innerhalb dieser Nachhaltigkeitsstrategie hat das Unternehmen eine Energy Efficiency Toolbox entwickelt, die alle produktionsrelevanten Felder aufzeigt und so eine Art Landkarte des Energiebedarfs und -verbrauchs für ein effizientes Energiemanagement erstellt. Die Energy Efficiency Toolbox ist eine Zusammenstellung von Diagnosemethoden, die Optimierungspotenziale aufzeigt und die Energieeffizienz steigern kann. In dieser Toolbox sind Daten aus 1.200 Projekten aus verschiedenen Bosch-Werken zusammengefasst, auf

deren Basis die Berechnungen erfolgen. Die Erfassung der Daten erfolgt durch Installation von Sensoren und Kommunikationsmodulen an den Anlagen, die diese Energiedaten direkt an übergeordnete IT-Systeme senden. Dort werden sie an die einzelnen Prozessschritte und Produkte gekoppelt. Hieraus entstehen dann Kennzahlen, die den Handlungsbedarf und die Optimierungsmöglichkeiten aufzeigen. Dies geschieht anhand einer intelligenten Energiemanagement-Software. Der Einsatz dieser Energy Efficiency Toolbox führte dazu, dass Bosch seit dem Jahr 2020 die CO<sub>2</sub>-Neutralität für das gesamte Unternehmen mit weltweit über 400 Standorten erreicht hat.

## Claas

Der Landmaschinenhersteller Claas hat in seinem Werk im französischen Le Mans die Voraussetzung geschaffen, immer komplexere und trotzdem individuell konfigurierbare Traktoren zu fertigen. Dafür wurden bei der Produktionslinie viele komplexe Prozesse neu gedacht. Durch den Einsatz von VR konnten bei der Planung des Werks alle Prozesse digital vorab durchlaufen werden – selbst mit Traktormodellen, die noch gar nicht produziert werden. Wesentlich für die Automatisierung der Produktion war die Einführung von sogenannten Automated Guided Vehicles (AGV). Dies sind autonome Trägerfahrzeuge, die die im Produktionsprozess befindlichen Traktoren fahrerlos und automatisch zu jeder Montagestation bewegen. Im Einsatz sind dort 40 AGVs, die eine Last von bis zu 20 Tonnen bewegen können. Zudem wurden die einzelnen Montageplätze durch die neue Logistikinfrastruktur geräumiger und damit weniger fehleranfällig, da nur noch Teile ans Band geliefert werden, die dort unmittelbar benötigt werden. Die gesamte

Produktionskapazität konnte in dem Werk so um rund 30 Prozent gesteigert werden.

## Ford

Der Automobilhersteller Ford setzt für die Wartung und Reparatur seiner Fahrzeuge AR-Lösungen ein und unterstützt so die Kfz-Techniker in seinem weltweiten Händlernetz. Die Mechaniker können sich dabei von einem Mitarbeiter des Technical Assistance Center (TAC) von Ford – einem zentral organisierten Expertenteam, das weltweit allen Technikern von Ford- und Lincoln-Händlern bei der Fehlerdiagnose zur Seite steht – unterstützen lassen. Über bidirektionale Videoanrufe per Datenbrille können die Spezialisten im TAC genau das sehen, was auch der Techniker vor Ort sieht. Die TAC-Mitarbeiter können so zielgerichtet Hilfestellung geben und Hinweise in Echtzeit direkt im Sichtfeld des Mechanikers anzeigen. Dies kann beispielsweise anhand von Bildschirmkommentaren, Markierungen im Live-Bild oder in Handbüchern und Reparaturanleitungen erfolgen. Des Weiteren sind sie in der Lage, ihren eigenen Bildschirm mit den Technikern zu teilen oder die Sitzung zur Qualitätssicherung aufzuzeichnen. Der Einsatz der AR-Lösung hilft Ford bei einer schnelleren Fehlerbehebung, was sich wiederum positiv auf Fords Serviceversprechen seinen Kunden gegenüber auswirkt.

## Leitner

Das Unternehmen Leitner ist weltweit führend in der Entwicklung und dem Bau von Seilbahnförderanlagen. Als Teil der Unternehmensgruppe High Technology Industries (HTI) baut es Seilbahnen nicht nur in den Bergen, sondern auch in Städten.

Leitner setzt auf Innovationen, um wirtschaftlich erfolgreich zu sein. Dies betrifft die eigenen Produkte sowie die Prozesse. Beispielsweise werden Rotorpole, die zu Hunderten in dem Seilbahnantriebssystem eingebaut werden, voll automatisiert mittels Roboter in einer Fertigungszelle hergestellt. Der Roboter übernimmt dabei alle 20 Prozessschritte bei der Fertigung, wobei dies mittels Bildverarbeitung – unterstützt durch hochauflösende Kameras – überwacht wird. Sensoren erfassen und bewerten beispielsweise die Abmessungen wie Breite und Höhe. Bei einer Abweichung der zulässigen Toleranzen werden die betroffenen Rotorpole als fehlerhaft deklariert und automatisch aus dem Fertigungsprozess entfernt.

Die Seilbahnen von Leitner sind technisch hochkomplex. Um den Aufwand bei der regelmäßigen Wartung sowie bei Reparaturen für die Kunden möglichst gering zu halten, setzt Leitner AR-basiert Fernwartungslösungen ein. Von der Servicezentrale in Sterzing aus betreuen ungefähr 100 technische Experten die mehr als 2.500 Seilbahnanlagen in aller Welt per Fernsupport. Experten werden unmittelbar auf die betroffene Anlage aufgeschaltet und können so schnell typische Fehlerquellen überprüfen oder gegebenenfalls Einstellungen anpassen. Die Unterstützung für die Kunden steht damit rund um die Uhr das ganze Jahr zur Verfügung – egal wo sich der Kunde befindet.

Außerdem können die Kundenmitarbeiter vor Ort auf Basis von AR mit Markierungen und Zeichnungen die weit entfernten Leitner-Spezialisten bei der Fehlersuche und -behebung unterstützen. Dabei sind Leitner-Rechner mit dem Smartphone vor Ort verbunden – so erhält der Spezialist den gleichen Blick auf die Anlage wie der Techniker in der Seilbahn. Oft muss die Seilbahn bei diesen Einsätzen nicht einmal angehalten werden. Sprachbarrieren spielen dabei keine Rolle. Bei Bedarf kann im Anschluss an diese erste sofortige Fehlerbehebung noch ein persönlicher Servicetermin vereinbart werden.

## thyssenkrupp

Das Unternehmen thyssenkrupp hat in seinen unterschiedlichen Geschäftsbereichen eine Vielzahl von Lösungen, die unter dem Schlagwort Industrie 4.0 zusammengefasst werden können, im Einsatz. So hat thyssenkrupp zum Beispiel die Produktion in seinem Werk in Hohenlimburg digitalisiert und die Prozesse von Lieferanten, des Werks und der Kunden miteinander vernetzt. Die Produktion von Vormaterial wird beim Lieferanten aus der Entfernung gesteuert, so dass bereits beim Vormaterial kurzfristige Terminwünsche der Kunden berücksichtigt werden können. Umgekehrt können auch Kunden durch die Vernetzung in Echtzeit Einfluss auf die Produktion des Werks nehmen und im IT-System selbst festlegen, wann ihr Auftrag produziert werden soll. Bis kurz vor Produktionsbeginn können zudem noch Änderungen vorgenommen werden. Hierzu hat thyssenkrupp eine eigene App entwickelt, über die die Kunden ihre Bestellungen aufgeben und bis kurz vor Produktionsbeginn noch spezifizieren können. Durch diese Vernetzung konnten beispielsweise die Lagerkosten gesenkt werden.

Bei der Produktion von Nockenwellen im Werk Ilsenburg hat thyssenkrupp mit Hilfe von Industrie-4.0-Anwendungen wie Barcode- oder Matrixcodescannern sowie RFID-Lesegeräten die physische Welt mit den Datennetzen im Cyberspace zu einem „cyber-physischen System“ verschmolzen – mit

dem Ziel, eine intelligente Fabrik zu erschaffen. Die Nockenwellen und die Anlagen zu deren Produktion stehen dabei in permanenten Austausch. Jede Nockenwelle erhält ihre eigene Identität und muss sich bei jeder Maschine individuell anmelden. Damit weiß die Anlage, ob das Produkt den richtigen Status hat und überhaupt auf dieser Anlage verbaut werden darf oder ob beispielsweise ein vorheriger Prozessschritt fehlt.

thyssenkrupp Material Services lässt über eine selbst entwickelte und skalierbare IIoT-Plattform Maschinen verschiedener Hersteller und Generationen miteinander kommunizieren und ermöglicht somit Anwendungen wie Predictive Maintenance. Das Ziel ist, Prozesse über die gesamte Supply Chain zu automatisieren und effizienter zu gestalten. Die Plattform ermöglicht sowohl den Datenaustausch und die Kommunikation der Maschinen untereinander als auch zwischen den Maschinen und den IT-Systemen. So können Abläufe standortübergreifend überall auf der Welt optimal und flexibel geplant sowie aufeinander abgestimmt werden. Zudem erlaubt die Plattform eine Datenanalyse, indem sie nicht nur Daten sammelt, sondern auch analysiert und diese abrufbar macht.

## 5 Fazit

Seit zehn Jahren prägt Industrie 4.0 nun bereits das Verarbeitende Gewerbe. In dieser Zeit haben viele Unternehmen die digitale Transformation ihrer Produktion vorangetrieben. Wie dies aussehen kann, verdeutlichen die in dieser Studie dargestellten Praxisbeispiele. Dabei realisieren die Unternehmen im Zuge der Digitalisierung ihrer Produktionsprozesse beispielsweise eine Steigerung von Produktivität und Effizienz sowie eine Reduktion der Kosten. Dies sind auch die Vorteile, welche den Unternehmen laut unserer Umfrage unter 1.452 Entscheidern in zehn europäischen Ländern besonders wichtig sind.

Zugleich verdeutlicht diese Umfrage allerdings auch, dass mit Blick auf die gesamte befragte Unternehmenslandschaft das Bild hinsichtlich Industrie 4.0 noch sehr heterogen ist. Neben einigen Vorreitern gibt es ebenfalls Unternehmen, die noch ganz am Anfang der digitalen Transformation stehen. Bei diesen Nachzüglern fehlt unter Umständen noch das Bewusstsein für die Bedeutung von Industrie 4.0 oder der zeitliche sowie finanzielle Aufwand – laut eigenen Angaben die größte Herausforderung – ist ihnen (noch) zu hoch.

Doch auch wenn viele Unternehmen noch zögern, können sie die digitale Transformation der Produktion nicht dauerhaft außen vorlassen, sofern sie erfolgreich am Markt bestehen wollen. Industrie 4.0 ist einer der Schlüssel, um die Wettbewerbsfähigkeit dauerhaft zu erhalten. Nur so verfügen die Unternehmen auch künftig über Produktionsprozesse, die wirtschaftlich und nachhaltig sowie optimal auf die Kundenanforderungen angepasst sind.

Darüber hinaus gilt es zu beachten, dass sich Industrie 4.0 auf die gesamten Wertschöpfungsketten der Güterproduktion bezieht. Diese Wertschöpfungsketten sind allerdings vielfach unternehmensübergreifend. Damit reicht eine digitale Transformation nur bestimmter Glieder innerhalb der Wertschöpfungskette nicht aus, um die Potenziale vollständig zu realisieren. Praktisch bedeutet das für Unternehmen, die die digitale Produktion nicht umsetzen: Unter Umständen können Sie zum Beispiel als Lieferant kein Teil der Wertschöpfungskette sein, weil man sie nicht mehr in die vernetzten Prozesse der anderen Partner einbinden kann.



**Handelsblatt**  
**RESEARCH INSTITUTE**

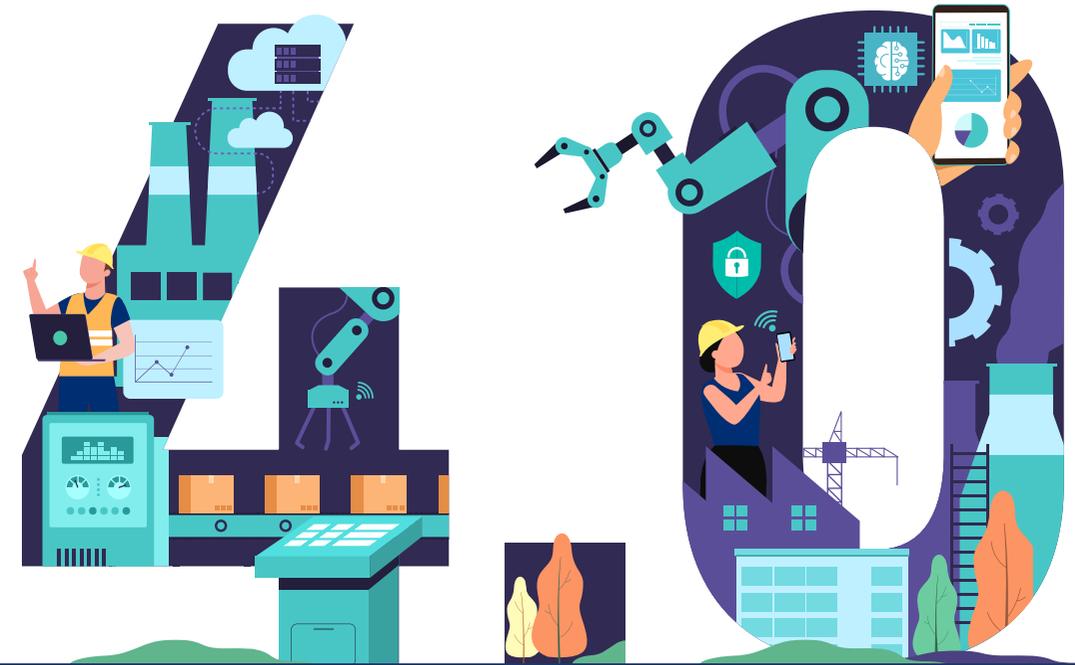
Das **Handelsblatt Research Institute (HRI)** ist ein unabhängiges Forschungsinstitut unter dem Dach der Handelsblatt Media Group. Es schreibt im Auftrag von Kundinnen und Kunden, wie Unternehmen, Finanzinvestoren, Verbänden, Stiftungen und staatlichen Stellen wissenschaftliche Studien. Dabei verbindet es die wissenschaftliche Kompetenz des 30-köpfigen Teams aus Ökonom:innen, Sozial- und Naturwissenschaftler:innen sowie Historiker:innen mit journalistischer Kompetenz in der Aufbereitung der Ergebnisse. Es arbeitet mit einem Netzwerk von Partner:innen sowie Spezialist:innen zusammen. Daneben bietet das Handelsblatt Research Institute Desk-Research, Wettbewerbsanalysen und Marktforschung an.

Konzept, Recherche und Gestaltung:  
Handelsblatt Research Institute  
Toulouser Allee 27  
40211 Düsseldorf  
[www.handelsblatt-research.com](http://www.handelsblatt-research.com)

Autoren: Dennis Huchzermeier, Dr. Sven Jung, Dr. Frank Christian May, Thomas Schmitt  
Layout: Isabel Rösler, Ilka Schlegtendal

Düsseldorf, März 2022

Bildquellen: Freepik



# Industry 4.0

Wie digitale Technologien die Produktionsprozesse in den Unternehmen verändern

Ergebnisse einer Umfrage in zehn europäischen Ländern

