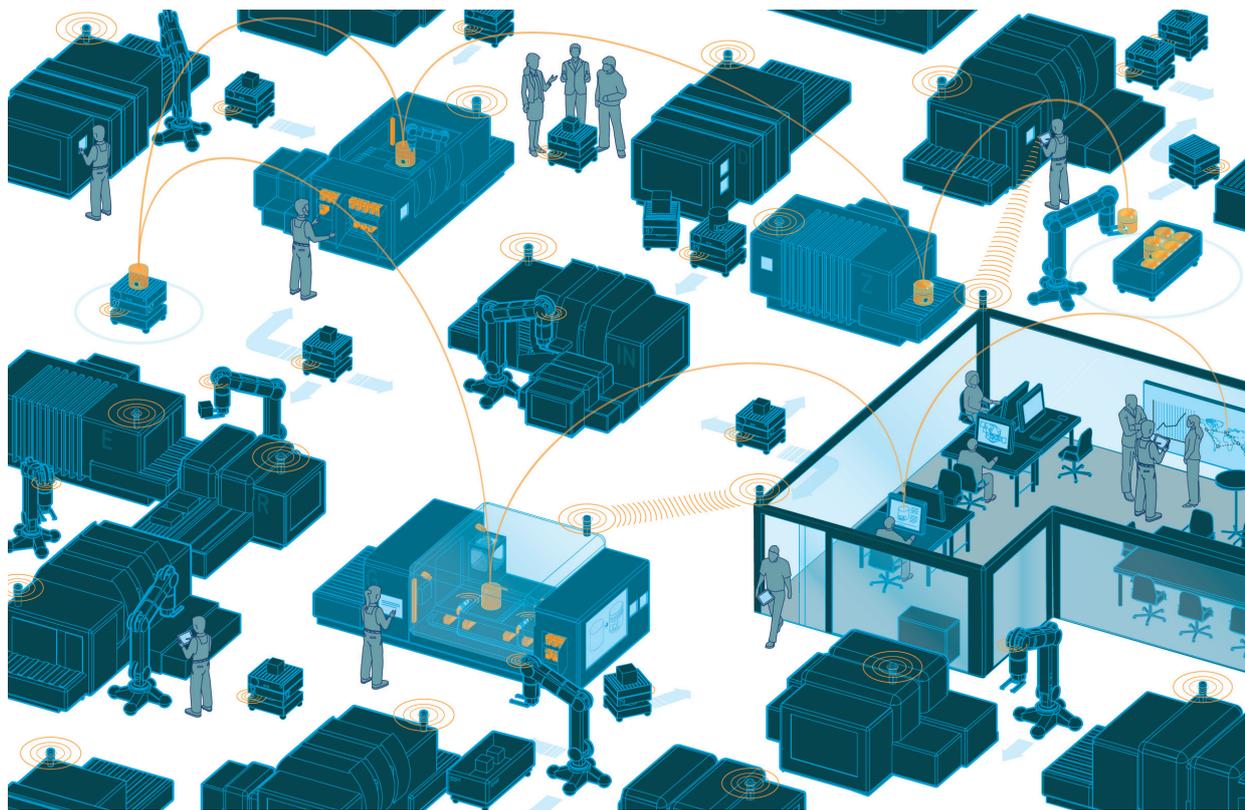


Elektrische Verbindungstechnik für Industrie 4.0?

Herausforderungen an die elektrische Verbindungstechnik
durch den Einzug von „Industrie 4.0“-Konzepten



White Paper – Teil 2



Impressum

Elektrische Verbindungstechnik für Industrie 4.0?

Herausgeber:

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e.V.

Fachverband Automation

Lyoner Straße 9

60528 Frankfurt am Main

Telefon: +49 69 6302-440

Fax: +49 69 6302-386

E-Mail: automation@zvei.org

www.zvei.org

Verantwortlich:

Meik Billmann

Erstellt durch den Arbeitskreis Systemaspekte

November 2015

Trotz größtmöglicher Sorgfalt übernimmt der ZVEI keine Haftung für den Inhalt. Alle Rechte, insbesondere die zur Speicherung, Vervielfältigung und Verbreitung, sowie der Übersetzung sind vorbehalten.

Dieses White Paper ist Teil einer Serie:

Teil 1 – Industrie-Software 4.0?

Teil 2 – Elektrische Verbindungstechnik für Industrie 4.0?

... weitere Teile folgen.

Ein White Paper des Arbeitskreis Systemaspekte im Fachverband Automation

Der Fachverband Automation bearbeitet innerhalb des Zentralverbands Elektrotechnik und Elektronikindustrie (ZVEI) Themen und Herausforderungen aus Sicht von Herstellern und Nutzern automatisierungstechnischer Einrichtungen. Das zurzeit wohl mit Abstand am meisten diskutierte Thema in diesem Kontext ist Industrie 4.0 und die damit in Verbindung gebrachten Potenziale, Architekturen, Standards und Technologien.

Der Arbeitskreis Systemaspekte ist sich der großen Tragweite des Themenkomplexes bewusst und hat sich zum Ziel gesetzt, mögli-

che konkrete Einflüsse auf Basistechnologien in unserer Domäne zu untersuchen und aufzuzeigen. Dies geschieht in Rahmen einer kleinen Reihe von White Papers, von denen das vorliegende zum Thema elektrische Verbindungstechnik den zweiten Teil der Reihe darstellt. Weil die grundsätzlichen Arbeiten an Industrie-4.0-Themen noch am Anfang stehen, verstehen die Arbeitskreismitglieder die White Paper nicht als zusätzliche Lösungsvorschläge, sondern als (teilweise) kritische Auseinandersetzung mit den zu erwartenden Umsetzungs- und Anwendungsszenarien.

Frankfurt am Main, November 2015

Günter Feldmeier
Vorsitzender Arbeitskreis Systemaspekte

Meik Billmann
ZVEI

Die Autoren aus dem Arbeitskreis Systemaspekte

- Günter Feldmeier
GFeldmei@te.com
TE Connectivity
- Johannes Kalhoff
jkalhoff@phoenixcontact.com
Phoenix Contact
- Dr. Jan Michels
janstefan.michels@weidmueller.de
Weidmüller
- Arnd Ohme
arnd.ohme@harting.com
HARTING
- Dr. Rolf Birkhofer
rolf.birkhofer@solutions.endress.com
Endress+ Hauser
- Holger Dietz
holger.dietz@janitza.de
Janitza
- Carsten Risch
carsten.risch@de.abb.com
ABB Automation
- Heinz Scholing
heinz.scholing@emerson.com
Emerson
- Jens Wickinger
jens.wickinger@schneider-electric.com
Schneider Electric
- Prof. Martin Wollschlaeger
martin.wollschlaeger@inf.tu-dresden.de
TU Dresden
- Meik Billmann
billmann@zvei.org
ZVEI

Inhalt

1	Einleitung	6
2	Erwarteter Anwendernutzen durch Industrie 4.0	8
3	Einfluss der Industrie 4.0 auf Anwendungen/ Applikationen	10
4	Technologien/„Physical Layer“	12
5	Zukunftsprognose	13
6	Herausforderungen an die elektrische Verbindungstechnik	14
7	Fazit	17
	Literaturverweise	19

1 Einleitung

Industrie 4.0 ist ein Querschnittsthema der Automation. Der ZVEI-Arbeitskreis Systemaspekte nimmt sich in diesem White Paper zum Ziel, mögliche Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die elektrische Verbindungstechnik, das heißt Elektromechanik, Steckverbinder, Anschlusstechnik und Reihenklempen, zu erkennen, Chancen herauszuarbeiten und zu beschreiben. Dazu gehört auch die Ermittlung technischer Herausforderungen und Risiken sowie Vorschläge zu deren Vermeidung. Periodisch veröffentlicht der ZVEI diese Erkenntnisse in der vorliegenden White-Paper-Serie.

Bei der Diskussion um Industrie 4.0 (Bild 1) wird in den meisten Fällen über Maschinen, Anlagen und über Automatisierungstechnik – also aktive Geräte der Industrieelektronik, die zunehmend intelligenter werden – gesprochen. Neben diesen intelligenten Komponenten müssen aber auch die passiven Komponenten betrachtet werden, die sich gleichermaßen kommunikativ in die Wertschöpfungsketten und -systeme einfügen müssen. Für die elektrische Verbindungstechnik ist das unumgänglich: Sie stellt die Infrastruktur für Automa-

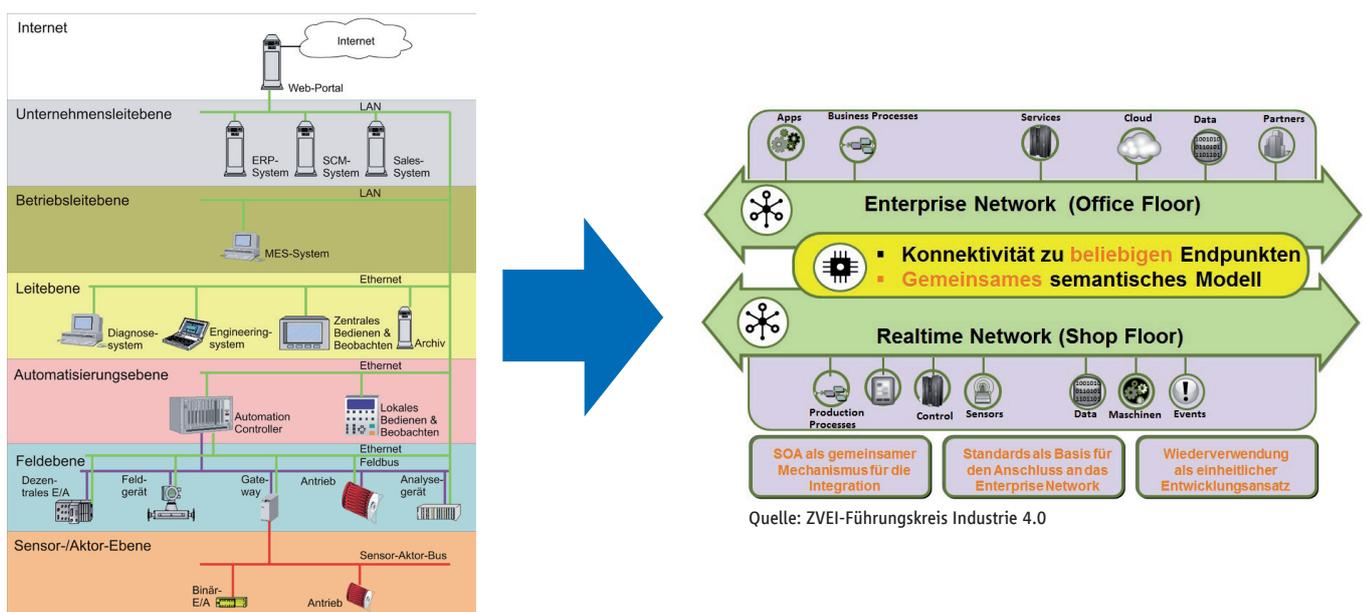
tisierungssysteme und ist Voraussetzung für die sichere und zuverlässige Übertragung von Daten, Signalen und Energie. Das macht sie zur Lebensader auch in zukünftigen Maschinen und Anlagen. Ferner trägt die elektrische Verbindungstechnik, ihre Planung und Installation bereits heute einen signifikanten Anteil zum Gesamtaufwand der Automatisierung bei.

Was ist elektrische Verbindungstechnik?

Zu elektrischer Verbindungstechnik zählen alle Arten von Verbindungstechnik – ob elektrisch, per Funk, optisch oder kontaktlos –, welche im industriellen Kontext zum Einsatz kommt, um Daten, Signale und Energie zu übertragen.

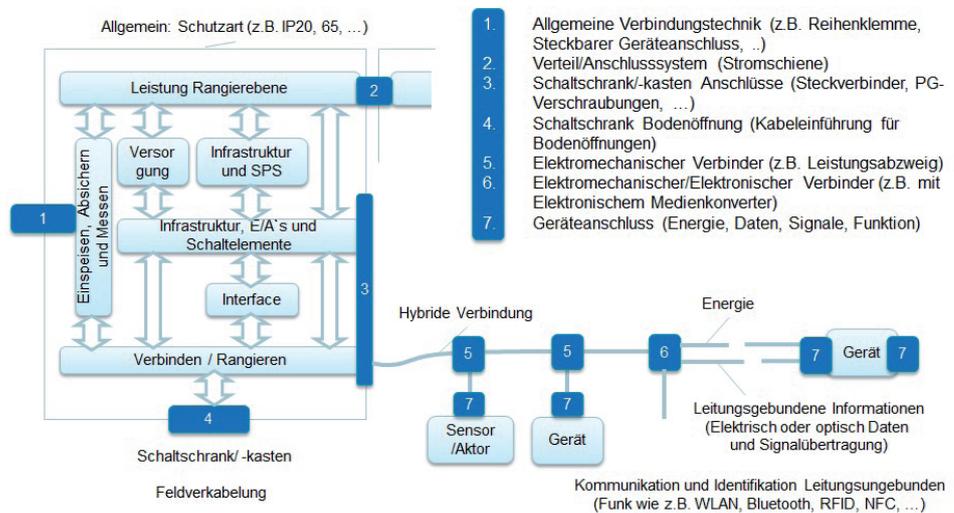
Die Verbindungstechnik beschäftigt sich derzeit noch vornehmlich mit Stecksystemen und Verkabelung. Sie wird daher als „konservativ passiv“ klassifiziert. Bild 2 zeigt einen Überblick der relevanten Anwendungen. In Kapitel 4 ist eine kompakte Beschreibung des Stands der Technik zu finden.

Bild 1: Von der Automatisierungspyramide zu Industrie 4.0



Quelle: Prof. Wollschlaeger, TU Dresden

Bild 2: Verbindungstechnik inner- und außerhalb von Schaltschränken, Kästen und Geräten



Quelle: Johannes Kalhoff, Phoenix Contact / ZVEI-AK Systemaspekte

Elektrische Verbindungstechnik im Umfeld von Industrie 4.0

Auf dem Weg zur Industrie 4.0 ändern sich die Anforderungen an die elektrische Verbindungstechnik. Sie enthält bislang vorwiegend passive Komponenten. Diese werden im Zuge der Weiterentwicklung hin zu Industrie 4.0 intelligenter werden bzw. sich noch stärker direkt in die Wertschöpfungsketten einbringen.

Zukünftige Verbindungselemente werden also selbst „Intelligenz“ erhalten, um zum Beispiel Monitoring und Diagnose vor Ort zu ermöglichen sowie zusätzlichen Nutzen entlang der Wertschöpfungskette zu erzeugen. In vielen Fällen wird es sich nicht um grundsätzlich neue Funktionen handeln, sondern um eine Verlagerung von Funktionen (Dezentralisierung). Jedoch wird es auch neue Anwendungen geben, wie zum Beispiel eine eindeutige Identifikation und Verknüpfung mit Produkt- und Life-Cycle-Informationen. Diese Informationen können sowohl im Steckverbinder selbst (z. B. RFID Transponder) als auch in externen Datenbanken (z. B. Cloud-basierende Lösungen) vorhanden und abrufbar sein.

Für die elektrische Verbindungstechnik gelten, wie für alle Systeme und Komponenten von Industrie 4.0, die gleichen Anforderungen an die horizontale Integration [4] entlang der Wertschöpfungskette sowie an die vertikale Integration [4] und die Migration hin zu dezentralen Systemen, Netzwerken und Diensten. Dadurch ist neben der rein physikalischen auch eine digitale Repräsentanz (siehe Kapitel 6) zwingend erforderlich. Grundsätzlich werden sich alle aktiven und passiven Komponenten der elektrischen Verbindungstechnik in unterschiedlichen Ausprägungen als Industrie 4.0-Komponenten [9] darstellen. Anhand von Beispielen (Use Cases) werden die Wirkungsweise und der Nutzen dieser Entwicklung im vorliegenden White Paper praxisnah beschrieben und die Herausforderungen, die die Umsetzung von Industrie-4.0-Konzepten und -Technologien an die elektrische Verbindungstechnik stellt, aufgezeigt.

2 Erwarteter Anwendernutzen durch Industrie 4.0

Die Akzeptanz von Industrie-4.0-Lösungen wird maßgeblich davon abhängen, wie es den Herstellern von „Smart Products“ gelingt, echten messbaren Anwendernutzen zu erzielen. Dieser wird erwartet durch eine effizientere Produktion von Gütern, indem die Flexibilität, Adaptivität, Skalierbarkeit und Verfügbarkeit der Fertigung erhöht wird bei gleichzeitig reduziertem Aufwand.

Die im Consumer-Bereich bekannte einfache Bedienbarkeit, App-Technologien, ständige und mobile Kommunikationsmöglichkeit inspirieren diese Erwartungshaltung auch für industrielle Anwendungen. Am Beispiel der vorausschauenden Instandhaltung bei Produktionsanlagen kann das verdeutlicht werden:

In einem Industrie-4.0-Produktionsverbund sorgen die installierten Komponenten dafür, dass die Zustandsdaten aller Produktionsmittel ständig zur Verfügung stehen, überwacht und mit Online-Erfahrungsdaten abgeglichen werden können. So kann zum optimalen Zeitpunkt eine Instandhaltungsmaßnahme (Wartung bzw. Austausch) eingeplant und durchgeführt werden. Insbesondere stehen dem Inbetriebnahme-Personal beim Austausch die passenden Informationen, unter anderem Produktinformationen und Installationshinweise in der richtigen Version bzw. Variante oder Konfiguration, in der richtigen Sprache und mit Zusatzinformationen in angemessener Granularität zur Verfügung. Das Expertenwissen, welches nach wie vor notwendig sein wird, ist einem erweiterten Nutzerkreis in größerem Umfang zugänglich.

Zusätzlich verringert sich der Aufwand bei der Auswahl, Planung, Projektierung und Errichtung einer Fertigungseinrichtung bzw. deren Automatisierungslösung. Insbesondere im Abschnitt „Herausforderungen an die elektrische Verbindungstechnik“ werden einige Ursachen dafür detaillierter beschrieben.

Die zu erwartende größere Durchgängigkeit und Verfügbarkeit der produkt- und installationsabhängigen Daten über den gesamten Engineering-Zeitraum sorgen auch für eine Verkürzung des Anlagenaufbaus und der Inbetriebnahme. Während des Betriebes wird die Verfügbarkeit der Anlage durch die hohe Datenqualität im Wartungs- und Service-Fall erhöht.

Auch neue Anforderungen produzierender Unternehmen, wie etwa der Wunsch, den Output einer Anlage zu skalieren, können im Industrie-4.0-Umfeld einfacher realisiert werden. Dieser Use Case, der unter dem Namen „Modul-basierte Produktion in der Prozessindustrie“ [8] diskutiert wird, profitiert vor allem durch die offenen und kombinierbaren Integrationskonzepte mittels austauschbarer Anlagenmodule mit standardisierten Schnittstellen. Das ermöglicht neben einer zeitnahen Reaktion auf schwankende Bedarfe eine verringerte Kapitalbindung sowie die Möglichkeit der Anpassung an lokale Märkte.

Das Potenzial der Industrie 4.0 für die Industrial Connectivity erschließt sich am einfachsten über folgende, als Beispiel zu verstehende, Use Cases aus der industriellen Praxis:

Use Case:

„Vereinfachter Engineering Prozess elektrische Verbindungstechnik“

Installationssysteme dienen zur Verbindung von elektrischen und elektronischen Geräten untereinander und zu deren Versorgung mit Energie und Kommunikation sowie dem Anschluss von Sensorik und Aktorik. Im Engineering-Prozess werden die Systeme entsprechend der Anforderungen technisch ausgelegt und in Planungsunterlagen und Arbeitsanweisungen dokumentiert. Um Fehler, die während der Installation und Inbetriebnahme auftreten, aufzudecken, werden die installierten Anlagen geprüft und zum Teil auch formal freigegeben (z. B. funktionale Sicherheitstechnik). Dies bedingt eine

durchgängige Dokumentation der verbauten Komponenten von der Anforderung über die Auslegung der Installationssysteme und deren Komponenten bis hin zur Installation.

Gegenüber den aktuellen Lösungen und Vorgehensweisen bieten Industrie-4.0-Konzepte den Vorteil, dass auf Engineering-Daten während des gesamten Lebenszyklus in einfachster Art und Weise zurückgegriffen werden kann. Die Kopplung über standardisierte Schnittstellen der im Engineering und im Live-Betrieb genutzten Tools verhindert Mehrfacheingaben, Übertragungsfehler und reduziert den Bearbeitungsaufwand. In diesem Engineering-Szenario wird mit der elektrischen Planung (ECAD) die technische Funktion und die Verbindungstechnik definiert, das Material über Klassifizierungssysteme (z. B. eCl@ss) ausgesucht, eindeutig gekennzeichnet (Materialkennzeichen, Beschriftung) und die zu beziehenden Produkte technisch richtig konfiguriert. Als Ergebnis liegt eine vollständige Dokumentation für den Einkaufsprozess, die Installation, Prüfung und Freigabe und die Nutzung im Betrieb der Systeme vor. Änderungen sind über die Datenverknüpfungen jederzeit möglich und stehen den verschiedensten Systemen und Nutzern direkt zur Verfügung. Dieses ermöglicht neben dem parallelen auch ein kollaborierendes Arbeiten unter den Akteuren.

Use Case:
„Intelligentes Stecksystem für flexible Installation“

Installationssysteme können in zukünftigen Anwendungen einen Mehrwert gegenüber den aktuellen Lösungen bieten, in dem sie intelligenter werden und zusätzliche Funktionen abbilden. Beispielsweise werden derzeit Stecksysteme durch Farb- oder mechanische Kodierungen gegen Verstecken oder fehlerhafte Nutzung durch den Anwender geschützt. In zukünftigen Industrie-4.0-Lösungen können Stecksysteme dem Anwender ihre durch das Engineering vorgegebene Nutzung anzeigen, sei es durch das Aktivieren von optischen

Anzeigen, um den Stecker mit der dazugehörigen Buchse direkt kenntlich zu machen, oder in durchgängiger digitaler Form über Virtual Reality. Der kommunikative Zugriff erfolgt in diesem Fall nicht direkt auf die z. B. passive Komponente wie Stecker oder Kabel, sondern auf ihre digitale Repräsentanz, die z. B. auf einem Verwaltungsserver bereitgestellt wird. Das bietet nicht nur im Engineering und in der Inbetriebnahme das Potenzial, die Prozesse effizienter zu machen, sondern auch zur Laufzeit der Anlage. Das Beispiel Patch-Kabel für eine industrielle Ethernet-Infrastruktur macht dieses deutlich. Ist beispielsweise im Betriebszeitraum das Patch-Kabel auf einen anderen Port umzustecken, können dem Werker der aktuelle und der zukünftige Anbringungsort des Patch-Kabels vor Ort über ein mobiles Endgeräte oder über „Virtual Reality“ visualisiert werden. Die Daten werden aus dem Engineering-System über entsprechende Dienste angefordert und dem Werker auf seinen Geräten zur Verfügung gestellt. Der Werker quittiert das Umstecken und das Engineering legt die Umverkabelung als neue Version des Verkabelungsplans ab. Dadurch ist sichergestellt, dass die Dokumentation der Verbindungstechnik stets aktuell ist. Intelligente Stecksysteme werden darüber hinaus in der Lage sein, eigenständig Steckvorgänge zu erkennen und an die übergeordneten Systeme weiterzugeben. Eine automatisierte Rückmeldung führt zu einer Selbstdokumentation der Verbindungstechnik.

Use Case:
„Verkabelung – Elektrische Verbindungstechnik als managebare Ressource“

Die elektrische Verbindungstechnik dient vorrangig als Verbindung zwischen Komponenten und als Infrastruktur für die Energietechnik, Kommunikation und der Signale. Weiterhin schafft sie zusätzliche Ressourcen für Erweiterungen in Maschinen und Anlagen, die zum Entstehungszeitpunkt noch nicht absehbar waren, oder für spezifische Anlagenzustände wie z. B. ein höherer Strombedarf, der bei

Anlagenanlauf notwendig ist. Werden heute Installationssysteme auf die Nennwerte der Leistungs- oder Kommunikationsendpunkte ausgelegt, könnten zukünftig Industrie-4.0-Systeme die Infrastruktur intelligenter nutzen. Beispielsweise können zukünftig in Energieversorgungssystemen kurzfristig höhere Strombedarfe, z. B. beim Anlauf von Motoren, über eine kurzfristige Erwärmung der Verkabelung, die trotz Überschreiten der Spezifikation nicht zu Schäden oder Gefahren führt, abfangen und mittels Datenanalyse (Big-Data-Auswertung) und z. B. Derating-Kenntnissen (Wissensmanagement) flexibler genutzt werden. Dieses wird durch die Verknüpfung des Maschinen- und Anlagenmanagements mit dem Management der Produktion (Manufacturing Execution System) und dem Energiemanagement von Produktion und Gebäude erreicht.

Mit den gleichen Mitteln können während der Laufzeit Status- und Zustandsinformationen wie die aktuelle Strombelastung, die Temperatur, oder der Abgleich mit Anforderungen an die Verbindungstechnik (z. B. die Eignung für bestimmte Übertragungstechnologien / CAT6 o. Ä.) von übergeordneten Systemen genutzt werden, um den Anwender zu unterstützen, Störungen und drohende Ausfälle zu diagnostizieren und Fehler frühzeitig zu erkennen. Diese Diagnose-Funktionalität kann die Verbindungstechnik selbst, aber auch die Applikation betreffen: In beiden Fällen wird über Dienste auf Daten des Engineering, der Laufzeitsysteme aller Beteiligten und Informationen des Anwenders zugegriffen bzw. an diese übermittelt.

3 Einfluss der Industrie 4.0 auf Anwendungen/ Applikationen

Die konsequente Anwendung des Konzeptes der Industrie 4.0 und der zugrundeliegenden Technologien wird Maschinen- und Anlagenbauern sowie produzierenden Unternehmen folgende Möglichkeiten und Potenziale eröffnen:

- **Flexibilität:** Die Flexibilität von Maschinen und Anlagen, das heißt die Fähigkeit, ein gegenüber dem heutigen Stand deutlich größeres Spektrum verschiedenartiger Einzelteile, Baugruppen und Endprodukte herstellen zu können, wird signifikant weiterentwickelt. Dabei bezieht sich der Begriff Flexibilität nicht nur auf die Verschiedenartigkeit der produzierten Güter an sich, sondern auch auf die zeitliche Abfolge der einzelnen Produktionsaufträge und die Fähigkeit, schnell und einfach auf neue Fertigungsaufträge und Kapazitätsbedarfe zu reagieren.
- **Adaptivität:** Maschinen und Anlagen werden adaptiv sein, das heißt, sie werden in die Lage versetzt, eigenständig auf Ände-

rungen ihrer Umwelt zu reagieren, ihre Funktionsweise darauf anpassen und ihren Betrieb dynamisch nach verschiedenen Zielen optimieren.

- **Modularität:** Maschinen werden zukünftig zunehmend in eigenständige Funktionseinheiten unterteilt, die einzelne Teilaufgaben des gesamten Fertigungsprozesses übernehmen. Die Modularisierung betrifft dabei alle Bestandteile der Maschine, also Mechanik, Elektrik, Elektronik und Software sowie gegebenenfalls weitere Anteile. Diese Maschinenmodule werden unabhängig voneinander realisiert – auch über Hersteller-grenzen hinweg – und können für einen bestimmten Fertigungsauftrag frei miteinander kombiniert werden. Ferner können diese Maschinenmodule räumlich verteilt sein, beispielsweise an verschiedenen Orten einer Fabrik, aber auch in verschiedenen Fabriken, die über entsprechende Transportsysteme miteinander verkettet sind. Für eine konsequente Modularisierung sind

umfassend standardisierte Schnittstellen erforderlich. Ferner unterstützen objektorientierte Ansätze bei der Planung und beim Engineering inklusive der notwendigen Tools die Modularisierung.

- **Plug and Produce:** Über die Bereitstellung von Modellen und Methoden zur Selbstbeschreibung und Selbstkonfiguration werden Fertigungsmodule zukünftig in der Lage sein, sich selbst, also ohne manuellen Aufwand für die Parametrierung und Konfiguration in Betrieb zu nehmen. Das betrifft nicht nur die Erstinstallation in einem Produktionssystem, sondern auch eventuelle Änderungen im Laufe des Lebenszyklus einer Maschine oder Anlage, z. B. den Austausch eines Gerätes zur Laufzeit der Anlage. Plug and Produce umfasst auch die Interoperabilität der Geräte, das heißt deren Fähigkeit, über standardisierte Schnittstellen und Protokolle zusammenzuarbeiten, geht allerdings darüber hinaus. Erforderlich dafür ist die Selbstbeschreibung und -konfiguration, so dass sie sich eigenständig und ohne Einwirkung der Benutzer auf Änderungen der Automatisierungstechnik und ihres Zustandes anpassen.
- **Dezentralisierung:** Die Untergliederung in einzelne, unabhängige Module und Funktionseinheiten betrifft auch die Aufteilung der Gesamtsteuerungsfunktion, die im Zuge der Einführung von Industrie-4.0-Technologie zunehmend auf verschiedene intelligente Geräte verteilt wird. Diese Geräte müssen nicht zwangsläufig Steuerungen oder Steuerungsrechner im eigentlichen Sinne sein, sondern auch weitere Automatisierungsgeräte wie zum Beispiel Antriebsgeräte, E/A-Baugruppen, Ethernet Switches bis hin zu intelligenter Verbindungstechnik, die Teile der Gesamtsteuerungsfunktion übernehmen können.
- **Transparenz von Zustands- und Life-Cycle-Informationen:** Dabei stellen die Maschinen ihre eigenen Zustands- und Konfigurationsdaten sowie die Prozessdaten durchgängig, das heißt über alle Phasen ihres Lebenszyklus, transparent und vollständig im Netzwerk bereit. Auf diese Daten können dann Dienste zugreifen, um neue Applikationen zu realisieren. Die Grundlage dafür sind einfache und preiswerte Sensoren. Die Steigerung ihrer Genauigkeit sowie die Verfügbarkeit dieser Signale und Daten im gesamten Netzwerk führen dazu, dass das Datenvolumen und damit der Bedarf zur Datenübertragung und -speicherung signifikant zunehmen. Der Begriff Big Data [5] bringt dies zum Ausdruck.
- **Diagnose von Prozessen und Zuständen:** Der wesentliche Anwendungsfall für die Nutzung dieser Daten, der heute bereits erkennbar ist, ist eine umfassende und konsequente Erfassung des Zustandes von Produktionsprozessen sowie der Maschinen und Anlagen und der Automatisierungstechnik, die diese Prozesse treiben. Das erlaubt, die Prozesse zu diagnostizieren und damit Abweichungen im laufenden Betrieb zu erkennen und zu signalisieren. Zusätzlich ist damit die Grundlage geschaffen, Fertigungsprozesse auf Basis dieser detaillierten und online verfügbaren Daten konsequent zu optimieren.
- **IT-Security:** Wesentliche Konzepte der Industrie 4.0 sind die Digitalisierung und Vernetzung, die ja auch die Voraussetzung für die Realisierung der oben genannten Aspekte sind. Die Kehrseite dieser Medaille ist die Notwendigkeit, diese prinzipiell offenen Netzwerke vor dem Zugriff von Dritten zu schützen, nicht nur, um das Intellectual Property eines Unternehmens zu schützen, sondern auch, um die funktionale Sicherheit und die Integrität zu gewährleisten. Aus diesem Grund sind für zukünftige Industrie-4.0-Lösungen unbedingt Maßnahmen zur IT-Sicherheit zu treffen. Sie zu beschreiben würde über den Kern dieses White Papers allerdings hinausgehen.

4 Technologien / „Physical Layer“

Die elektrische Verbindungstechnik, das heißt der „Physical Layer“, unterteilt sich in Lösungen für Daten, Signale, Energie und in deren Kombination, die hybride Verbindungstechnik. Anwendungsspezifisch haben sich für die unterschiedlichen Anwendungsfälle unterschiedliche physikalische Übertragungsarten und Komponenten der Verbindungstechnik wie beispielsweise Steckverbinder und Reihenklemmen etabliert, die auch in der Industrie 4.0 weiterhin relevant sein werden.

Elektrische Übertragung von Daten, Signalen und Energie

Für die leitungsgebundene Übertragung von Daten, Signalen und Energie finden, abhängig von der Anwendung, unterschiedliche Arten von Steckverbindern und Reihenklemmen ihre Anwendung. Bei einer festen Verdrahtung von Energie und Signalen sind in der Regel Reihenklemmen im Einsatz. Verbindungen, die häufiger aufgetrennt werden müssen, sowie die Verbindungstechnik für Daten werden mit Steckverbindern realisiert. Des Weiteren entscheiden der Einbauort und die damit verbundene Schutzart über die Art der Komponenten. So werden Reihenklemmen in Schaltschränken oder Gehäusen im Bereich der Schutzart IP20 verbaut. Steckverbinder haben ein größeres Einsatzspektrum, das bezogen auf die Schutzart von IP20 bis IP67 reicht. Somit sind die Einsatzorte sehr vielfältig und erstrecken sich von der Office-Umgebung, dem Schaltschrank, der rauen Industrieumgebung bis hin zu Outdoor Anwendungen. Bei Reihenklemmen haben sich die Anschlusstechniken mittels Schraubtechnik sowie Federanschlüsse etabliert. Durch die unterschiedlichen Anforderungen an den Steckverbinder ist hier die Vielfalt erheblich größer, man unterscheidet zwischen Rechteck- und Rundsteckverbindern. Um die Steckkompatibilität zu gewährleisten, gibt es für Steckverbinder eine Vielzahl von Normen und Standards. Als Kontaktmaterial findet für die Übertragung von Energie in der Regel Kupfer oder verzinnertes Kupfer seine Verwendung. Bei Daten und Signalen wird zum Kupferkontakt mit Zunahme der Anforderung

an die Daten- und Signalqualität Gold als Kontaktmaterial eingesetzt.

Optische Übertragung von Daten

Wenn es darum geht, Daten leitungsgebunden verlustarm über lange Distanzen zu übertragen, eine möglichst große Datenbandbreite zu übertragen oder die Übertragung sicher gegen Einflüsse durch elektromagnetische Störfelder zu realisieren, dann findet die optische Übertragung ihren Einsatz. Als Leitungsmaterial stehen Lichtwellenleiter (LWL) aus Glas-, Quarzglasfasern oder Kunststoffpolymerfaser (POF) zur Wahl. Bei der optischen Übertragung werden mittels Leucht- oder Laserdioden erzeugte Lichtsignale übertragen und am Ende der Übertragungsstrecke von fotooptischen Elementen empfangen. Vor und nach der optischen Übertragung findet eine Wandlung von elektrischen Signalen auf optische Signale und umgekehrt statt.

Kontaktlose Übertragung von Daten, Signalen und Energie im Nahfeld

Bei der Übertragung von Daten, Signalen und Energie in rauen Industrieumgebungen mit hohen Umwelтанforderungen bezüglich Dichtigkeit, Vibration, Korrosion oder Explosionsschutz sowie in Verbindung mit hoher Stechhäufigkeit oder Rotationsanforderungen haben kontaktlose Übertragungssysteme große Vorteile. Bei kontaktloser Verbindungstechnik handelt es sich vornehmlich um transparente Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zur Übertragung von Daten, Signal und Energie. Bei der kontaktlosen Verbindungstechnik berühren sich die Sende- und Empfangseinheit physikalisch nicht und erlaubt somit einen hermetischen Schutz gegen Schmutz und Flüssigkeiten und sind völlig unempfindlich gegen Verschleiß, Vibration, Rotation und Neigung der Sende- und Empfangseinheit zueinander. Der Abstand zwischen Sender und Empfänger beträgt üblicherweise mehrere Millimeter bis Zentimeter und ermöglicht die Übertragung nicht nur durch Luft, sondern auch durch beliebige, nichtleitende Stoffe

(Flüssigkeiten). Während die Energieübertragung als Umwandlung von elektrischer in magnetische Energie und umgekehrt erfolgt, können zur kontaktlosen Datenübertragung zum Beispiel RF-Chips in Kombination mit Nahfeldantennen genutzt werden.

Funkübertragung von Daten im Fernfeld

Eine weitere Art der kontaktlosen Übertragung ist die Funkübertragung von Daten. Im

Gegensatz zur Nahfeldübertragung steht der Begriff Funkübertragung für die Übertragung über größere Distanzen. Technologisch unterscheidet sich die Fernfeld-Funkübertragung beispielsweise WLAN nur durch die höhere Sende- und Empfangsleistung und anderen Funkfrequenzen.

5 Zukunftsprognose

Die Vision Industrie 4.0 sieht grundsätzlich effizientere und flexiblere Produktionssysteme vor, die eine zunehmende Modularisierung und Verteilung von Maschinen und Anlagen beinhaltet.

Die Anzahl und der Umfang der genutzten Informationen und Daten werden sich aufgrund der dezentralen Intelligenz, der notwendigen Datentransparenz, der Datendurchgängigkeit der Systeme und der Verfügbarkeit von Informationen massiv erhöhen – Stichwort Big Data.

Die effiziente Nutzung von Energie bedingt ein flexibles Energiemanagement und die aktive Verteilung von Energieströmen im Maschinen- und Anlagenumfeld. Aufgrund der Dezentralisierung von Maschinen und Anlagen nimmt die Anzahl der Verbindungspunkte, Erzeuger, Verbraucher und Speicher erheblich zu. Energiespeicherung, Energierückgewinnung und „Energy Harvesting“ [6] werden in dezentralisierten Maschinen- und Anlagennetzwerken zunehmend an Bedeutung gewinnen und den Informationsbedarf zusätzlich erhöhen.

Diese Anforderungen an die Netzinfrastruktur für Energie und Daten führen zwangsläufig zu modular steckbaren Energieverteilungssystemen und einer signifikanten Zunahme der Kommunikation in der Automation.

Flexible Wireless-Lösungen werden hier sicherlich eine wichtige Rolle spielen. In zukünftigen Produktionsanlagen wird die kabelgebundene Vernetzung aufgrund von Kosten-Nutzen-Effekten, der zu garantierenden Datensicherheit und der verfügbaren Bandbreiten weiterhin einen großen Schwerpunkt darstellen.

Hieraus lässt sich schließen, dass die Bedeutung der Verbindungstechnik für Energie- und Datenverteilung generell stark zunehmen wird. In zukünftig weit verteilten Netzwerken sind Informationen über die Topologie des Netzwerkes und dessen physikalische Eigenschaften Grundvoraussetzung für ein effizientes Netzinfrastruktur-Management. Hierzu zählen die einfache Planung sowie eine automatische Erfassung der Netzwerk-Topologie und der Bereitstellung der Netzinfrastruktur-Leistungsfähigkeit hinsichtlich der zu übertragenden Energie und Daten. Dies können Informationen zur Dokumentation, Diagnose, zu Funktionsfähigkeit, Alterungszustand, Verschleiß oder Austausch von Verbindungstechnik sein.

Anpassungen und Änderungen an heutigen Netzinfrastrukturen erfordern einen nicht unerheblichen Planungs- und Dokumentationsaufwand. Um zukünftig solche weit verteilten Netzinfrastrukturen effektiv zu handhaben, wird es notwendig werden, dass von allen Komponenten der Netzinfrastruktur

Informationen über ihren Typ und ihre Verwendung bereitgestellt werden – idealerweise vom Verbindungselement selbst.

Neben der maschinenlesbaren Beschreibung der Komponenten in Netzinfrastrukturen werden netzinfrastrukturnahe Informationen und Funktionen wie z. B. Betriebsmittelkennzeichen, Einsatzort, technische Leistungsdaten, elektronische Kodierung und höherwertige Funktionen, wie die Messung von Energiedaten, Diagnose von Zustand und Verschleiß sowie die Erfassung weiterer sensorischer Informationen wie Temperatur, Druck, Feuchte in die Netzinfrastrukturen bzw. die Steckverbinder verlagert.

Bei zunehmender Komplexität der Netzinfrastrukturen und Funktionen der Komponenten und Stecksystemen deckt die bisherige „Form-

relevanz“, also Steckgesicht und Kodierung, die Vielzahl der Möglichkeiten nicht mehr ab und ist um eine „elektronische Kodierung“ und um Funktionen der Selbstbeschreibung und -konfiguration, also spezifische Semantik und Syntax, zu erweitern. Neben der einfachen Handhabung bei der Konfektionierung, in der Installation und im Betrieb ist die elektronische Kodierung eine der wesentlichen Grundvoraussetzungen für eine Plug-and-Produce-Fähigkeit.

Um die Verfügbarkeit und Robustheit der Netzinfrastrukturen auch bei Plug and Produce zu erhöhen, sind gesteigerte Anforderungen an die Haltbarkeit – wie beispielsweise z. B. Häufigkeit der Betätigung und Steckzyklen, oder an das Stecken und Trennen unter Last und deren datentechnische Auswertung zu berücksichtigen

6 Herausforderungen an die elektrische Verbindungstechnik

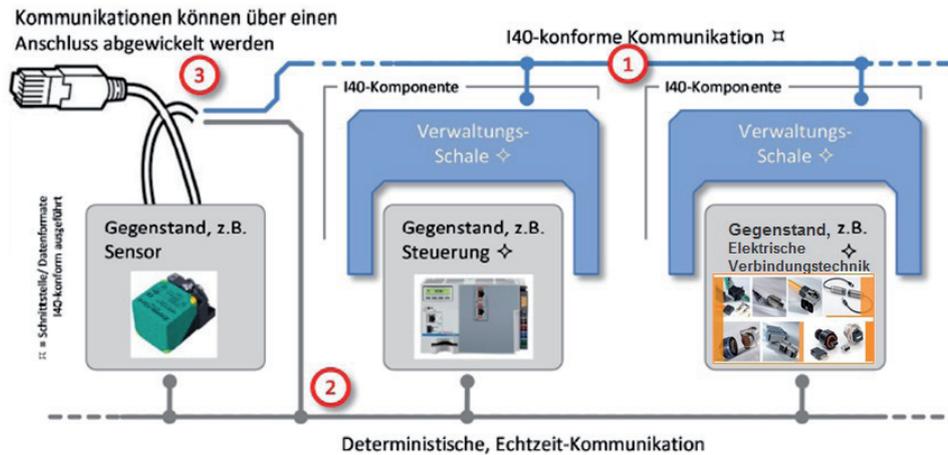
In den vorhergehenden Kapiteln wurde das Nutzenpotenzial und die Konsequenzen der Industrie 4.0 und ihrer Umsetzung für den Maschinen- und Anlagenbau beschrieben und eine Zukunftsprognose für die elektrische Verbindungstechnik aufgezeigt. Daraus lässt sich erkennen, dass der heutige Stand der elektrischen Verbindungstechnik bereits einen signifikanten Anteil der Anforderungen erfüllt. Es wird allerdings erkennbar, dass für eine konsequente Umsetzung von Industrie-4.0-Konzepten und -Technologien weitere Herausforderungen bestehen. Sie liegen im Wesentlichen in den folgenden Feldern:

- **Digitale Repräsentanz:** Das Fundament von Industrie 4.0 sind die horizontale und die vertikale Integration, die Durchgängigkeit der Engineering-Prozesse sowie die Verfügbarkeit von Daten und Informationen aller beteiligten Komponenten über ihren Lebenszyklus. Diese Anforderung gilt auch für die Komponenten der elektrischen Verbindungstechnik, so dass eine

digitale Repräsentanz zur Darstellung als Entität der Industrie 4.0-Komponente zwingend erforderlich wird. Im Kern ist damit gemeint, dass neben der physischen Komponente selbst ein digitales Modell existieren wird, in dem alle relevanten Daten abgebildet sind und für zukünftige Industrie-4.0-Dienste verfügbar gemacht werden. Dieser Zusammenhang wird auch durch den Begriff Industrie 4.0-Komponente [9] zum Ausdruck gebracht. Das betrifft die produktbeschreibenden Daten, die für alle Typen einer Komponente identisch sind und in erster Linie während des Engineerings gebraucht werden.

Das betrifft allerdings auch diejenigen Daten und Zustandsinformationen, die über den Lebenszyklus einer spezifischen Komponente – einer Instanz – entstehen und die das digitale Modell demzufolge ebenfalls abbilden muss. Augenfällig sind Informationen zur spezifischen Verwendung einer

Bild 3: Kapselbarkeit und Vernetzung einer Industrie 4.0 Komponente [9]



Quelle: nach Plattform Industrie 4.0

Instanz, zum Beispiel der Ort der Verwendung, die spezielle Funktion oder die spezifische Konfiguration. Es geht aber auch um Diagnoseinformationen, die aus der oben beschriebenen Intelligenz der Verbindungstechnik und der Dezentralisierung von Automatisierungsfunktionen folgen. Zu diesem Zweck sind geeignete standardisierte Datenmodelle und Beschreibungssprachen zu definieren, Architekturen für die eindeutige Ablage dieser Informationen und den Zugriff darauf zu definieren sowie beides in den relevanten Systemen zu implementieren. Ferner ist der Zugriff auf diese Informationen durchgängig und jederzeit über eine entsprechende Kommunikationsfähigkeit sicherzustellen, damit die entstehenden Dienste im Umfeld der Industrie 4.0 auch konsequent realisiert werden können. Dazu müssen diese Informationen nicht zwangsläufig „auf“ oder „in“ der Verbindungstechnik-Komponente selbst gespeichert sein. Sie können genauso gut in einer parallelen Datenbank abgelegt werden, auf die ein eindeutiger Identifikator auf der Komponente verweist. Demzufolge müssen die Komponenten auch nicht zwangsläufig eigenständig kommunikationsfähig sein, es muss allerdings der Zugriff auf das Datenmodell der Verwaltungsschale von außen jederzeit möglich sein.

- **Standardisierung:** Industrie 4.0 ist ein Konzept für zukünftige Produktionsszenarien, die weltweit mit unterschiedlichen Zulieferern (technische Ausrüstung von Produktionsanlagen, Dienstleistungen und gefertigten Produkten) operieren und zeichnet sich wesentlich durch eine Plug-and-Produce-Fähigkeit aus. Diese bedingt eine weltweite Standardisierung der Schnittstellen über ihren Lebenszyklus, die für die Interoperabilität der Komponenten und Systeme notwendig sind. Globale Standards (z. B. IEC oder ETSI-Normen) sind hierzu im Konsens und rechtfrei zu etablieren und dürfen nur die systemrelevanten Merkmale in der Industrie-4.0-Architektur beschreiben. Systemrelevante Merkmale beschreiben diejenigen Teile von Industrie-4.0-Schnittstellen [9] oder Verhaltensmuster, die eine Industrie-4.0-Funktionalität generisch beschreiben bzw. die Interaktion untereinander sichern. Die technologische Ausführung sollte den Herstellern und den zukünftigen technologischen Errungenschaften überlassen werden. Im Falle von Stecksystemen sind dies zum Beispiel die Steckgesichter der Stecksysteme (vollumfänglich standardisierte Schnittstellen) und die generische Art und Weise ihrer digitalen Beschreibung inkl. der für den Betrieb notwendigen technischen Daten (Geometrie, Protokoll, ggf. weitere physikalische Eigenschaften). Versionierte Standards stellen somit die Ver-

ffügbarkeit der Systeme, die internationale Nutzung und den Life Cycle von Produkten und Lösungen sicher.

- **Integration von Elektronik:** Mit fortschreitenden Miniaturisierung der Elektronik und der damit verfügbaren Rechenleistung sowie der Möglichkeit einer vereinfachten kommunikativen Anbindung, werden bisher zentral ausgeführte Funktionen zunehmend dezentralisiert. Dieses ermöglicht es, bisherige fast ausschließlich passive Komponenten wie elektromechanische Komponenten wie Kabel, Stecker, Schütze usw. mit Elektronik in funktionstragende Komponenten weiter zu entwickeln. Das sind auf der einen Seite Funktionen, die auf die Komponenten direkt einwirken. Komponentendiagnose, Einstellungen und fernwirkende Nutzerinterfaces sind einige Beispiele hierzu. Zusatzfunktionen, die bisher separat zu den Installationssystemen aufgebaut werden, wie zum Beispiel die Temperatur- oder Energiemessung, schaffen zusätzlichen Nutzen in der Verbindungstechnik und ergänzen die bisherige Verwendung der Komponenten an ihrem Anbringungsort. Mit Industrie 4.0 wird es möglich sein, die Installation derart zu gestalten, dass sie adaptiv auf dynamische Ereignisse reagieren kann. Beispiel hierzu ist die ressourceneffiziente Nutzung von Material und Energie. Der Konflikt, eine Energieverkabelung mit ihrem Querschnitt immer auf die Maximalleistung auszulegen, obwohl dieser Zustand nur in bestimmten Situationen auftritt, kann durch eine intelligente Installationstechnik gelöst werden. Mit Mitteln von Industrie 4.0 können Funktionen wie z. B. die Temperatur und die Stromüberwachung mit in die Automatisierungsabfolgen einbezogen werden und damit eine Überlast verhindern bzw. bei einer zeitlich begrenzten Strommehraufnahme in einem physikalisch eher träge reagierenden Installationssystem (bewusstes Zulassen einer Erwärmung) die Sicherheit und Verfügbarkeit über die Temperaturüberwachung weiter zu gewährleisten. Ein wesentlicher Aspekt, der im Zusammenhang mit Industrie-4.0-Konzepten zwangsläufig erscheint, ist die Kommunikationsfähigkeit. Das betrifft einerseits die Daten und Informationen, die zur Betriebszeit in der Verbindungstechnik z. B. durch Sensorik entstehen, aber auch die im Umfang der digitalen Repräsentanz enthaltenen Informationen. Beide müssen jederzeit und durchgängig verfügbar sein, wozu entsprechende Kommunikationstechnologien und -Interfaces auf der Basis von Standards bereitzustellen sind.
- **Anwendungsfreundlichkeit (Usability):** Im Rahmen von Industrie 4.0 wird der Anwendungsfreundlichkeit, insbesondere in punkto Handhabung und Konfektionierbarkeit, gesteigerte Bedeutung zukommen. Einerseits wird aufgrund von zunehmender Dezentralisierung und sich dynamisch verändernder Automatisierungs- und Netzwerkstrukturen die Konfektionierbarkeit vor Ort (Feldkonfektionierbarkeit) generell notwendig werden. Hier wird es darauf ankommen, einfachste und robuste Anschluss- und Verbindungstechnologien zur Verfügung zu stellen, die selbst in schwieriger Feldumgebung fehlerfrei angewendet werden können. Weiterhin wird sich die Verbindungstechnik dem stark steigenden Datendurchsatz (Kommunikationsfähigkeit und Big Data) stellen müssen, der komplexere und sensiblere Leitungsstrukturen in Bezug auf Bandbreite, Übertragungsqualität und EMV-Schirmung mit sich bringen wird. Dies wird unweigerlich neuartige und weitestgehend anwenderunabhängige Anschlussmethoden erforderlich machen. Andererseits wird aufgrund von Plug and Produce der Verbindungstechnik in punkto Handhabungsfreundlichkeit wesentlich mehr abverlangt werden, da weltweit generell von gering bzw. ungeschulten Anwendern ausgegangen werden muss. Dieser Trend wird unweigerlich einfach zu handhabende, robuste, kontaktlose Übertragungstechnologien sowie die Funkübertragung unterstützen bzw. vorantreiben.
- **Übertragungstechnologien:** Die Umsetzung von Industrie 4.0 ist ein kontinuierlicher Prozess, bei dem nicht von heute

auf morgen elektrische Verbindungstechnik gegen neue Systeme komplett ausgetauscht wird. Es wird ein ständiger Umstellungsprozess vollzogen werden, der bedeutet, dass bestehende und neue Technologien eine Koexistenz haben werden und somit eine Kompatibilität im Sinne des Anwenders gewährleistet sein muss.

Des Weiteren sind die fortwährenden steigenden Anforderungen an Datenübertragungsraten eine treibende Kraft. Am Beispiel Ethernet lassen sich der Weiterentwicklungsprozess und dessen Herausforderungen gut zeigen.

Wie schon in der IT wird auch in der Industrie Fast Ethernet (Übertragungsraten 100 MBit/s) zukünftig durch Gigabit Ethernet abgelöst werden. Diese höhere Übertragungsraten stellen erheblich höhere Ansprüche an die Schirmung gegen elektromagnetische Störeinflüsse und die Kontaktqualität. Dies muss bei der Entwicklung von elektrischer Verbindungstechnik wie Steckverbinder, für die Industrie 4.0 unter Berücksichtigung der Industrietauglichkeit (mechanische Robustheit, hohe Steckzyklen) beachtet werden.

Des Weiteren sind Aspekte wie Feldkonfektionierbarkeit, einfache und eindeutige Handhabung weitere Anforderungen, die auch für die Industrie 4.0 relevant sind.

Im Zusammenhang mit den steigenden Anforderungen an Datenübertragungsraten werden in Zukunft die technologischen Grenzen der kupferbasierten Datenübertragungsphysik, im speziellen bei Ethernet, überschritten werden und ein Technologiesprung zu optischer Übertragung notwendig sein. Für eine noch einfachere und universellere Handhabung werden sich die Übertragungstechnologien auch vermehrt in Richtung kontaktloser oder funkbasierender Übertragung etablieren.

Nicht nur bei der Datenübertragung werden neue Übertragungstechnologien notwendig sein, sondern auch bei der Signal- und Energieübertragung. Hybride Steckverbinder, die Energie, Signale, Daten in sich vereinen, werden an Relevanz zunehmen. Dabei werden kontaktlose Nahfeld-Übertragungstechnologien wie optische, induktive, kapazitive, etc. klassische Kontaktierung ergänzen und ersetzen.

7 Fazit

Um das erhebliche zusätzliche Umsatzpotential (siehe Bild 5) durch Industrie 4.0 für Industrie-Unternehmen zu erschließen, wird eine durchgehende Digitalisierung der Produktportfolios (siehe Bild 4) notwendig. Dies trifft insbesondere auch auf die elektrische Verbindungstechnik zu, die einen zentralen Stellenwert in der Konnektivität einnimmt. Die Digitalisierung bzw. die Nutzung aller Komponenten auch als Industrie 4.0-Komponente mit Verwaltungsschale ist die Grundvoraussetzung für eine funktionierende Industrie-4.0-Infrastruktur, um die anvisierten Potenziale zu erreichen. Nur die durchgängige Digitalisierung des Informationsflusses in der Engineering-Kette und Installation ermöglicht, in Verbindung mit Integration von Intelligenz in

die elektrische Verbindungstechnik, die vollständige Dokumentation der Verbindungstechnik deren Ausprägung und Leistungsstand bzw. Performance und Monitoring über den kompletten Life Cycle. Um die Digitalisierung bzw. digitale Repräsentanz zu ermöglichen, ist eine internationale Standardisierung der Konnektivität zwingend erforderlich. Weiterhin müssen sich die herstellenden Unternehmen der elektrischen Verbindungstechnik auf einen signifikanten Wandel und Änderung hin von Elektromechanik- zu Elektronik- und Software-Kompetenz einstellen. Die Fähigkeit, diesen Wandel zu meistern wird maßgeblich über Marktanteile als auch Umsatzpotenzial und damit den Erfolg am Markt entscheiden. Diese Entwicklung wird einige Jahre in

Anspruch nehmen und sich evolutionär entwickeln – es ist nicht davon ausgehen, dass der Wandel mit der Geschwindigkeit geschieht, die der Begriff Revolution impliziert. Dabei wird auch die Verbindungstechnik in ihrer heutigen Form in Zukunft eine Daseinsbe-

rechtigung haben. Klar ist allerdings, dass der Nutzen und die Geschäftsmodelle, die mit der Verbindungstechnik im Industrie-4.0-Umfeld und den gewonnenen Daten ermöglicht werden, jedoch revolutionäre Ergebnisse hervorgerufen und weitere Möglichkeiten erschließen.

Bild 4: Digitalisierungsgrad des Produktportfolios

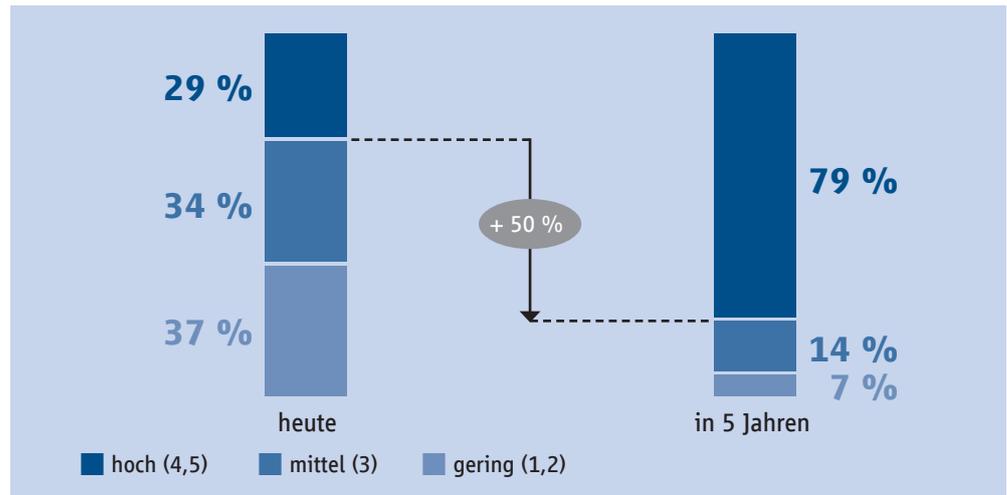
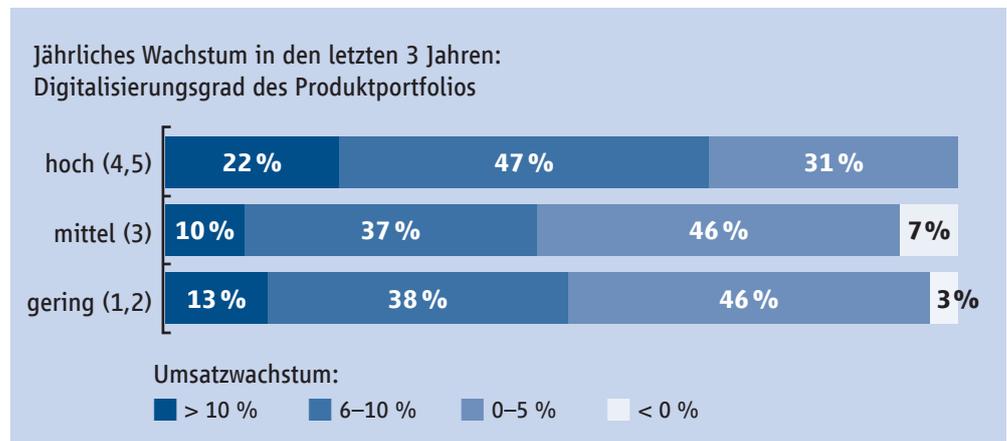


Bild 5: Umsatzwachstum in Abhängigkeit vom Digitalisierungsgrad



Literaturverweise

- [1] ZVEI, Arbeitskreis Systemaspekte (Hrsg.), Ethernet in der Automation, 2003
- [2] ZVEI, Arbeitskreis Systemaspekte (Hrsg.), Einsatz von Web-Technologien in der Automation, 2006
- [3] ZVEI, Arbeitskreis Systemaspekte (Hrsg.), Life-Cycle Management für Produkte und Systeme der Automation, 2010, ISBN-13: 978-3939265009
- [4] Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, April 2013, S84-7, zu „Vertikale Integration und Horizontale Integration“
- [5] Veröffentlichung BITKOM zu „Big Data im Praxiseinsatz- Szenarien, Beispiele, Effekte“
- [6] Wallaschek, Jörg zu, „Energy Harvesting - Grundlagen und Praxis energieautarker Systeme, Energy Harvesting“
- [7] VDI/VDE-GMA Statusreport Industrie 4.0 Gegenstände, Entitäten, Komponenten, April 2014
- [8] ZVEI, Arbeitskreis Modulare Automation (Hrsg.), Modulbasierte Produktion in der Prozessindustrie - Auswirkungen auf die Automation im Umfeld von Industrie 4.0, 2014
- [9] Plattform Industrie 4.0, Umsetzungsstrategie Industrie 4.0, 14.04.2015



ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e. V.

Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main

Telefon: +49 69 6302-0

Fax: +49 69 6302-317

E-Mail: zvei@zvei.org

www.zvei.org