



Industrie 4.0 – eine Einführung

Industrie 4.0 verspricht enorme Produktivitätssteigerungen, löst bei Anlagenbetreibern jedoch nachvollziehbare Sorgen aus. Dieser Beitrag erläutert, warum Industrie 4.0 nicht so leicht fassbar ist, häufig missverstanden wird und warum sie trotzdem kommen wird. Der Autor nähert sich anschaulich dem technischen Kern und die Kernanforderungen der Anlagenbetreiber. Dieser Beitrag richtet sich an Innovatoren und Skeptiker gleichermaßen.

Rainer Drath

Der Begriff Industrie 4.0 [1] polarisiert. Erstmals wurde er auf der Hannover Messe 2011 verwendet, er kündigt die 4. Industrielle Revolution an. Auch in der Politik wird der Begriff vielfach verwendet, wenn es um die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie geht. Dennoch ist nicht immer klar, worum es bei Industrie 4.0 wirklich geht. Die Bedeutung von Industrie 4.0 wird am ehesten anhand der Organisation deutlich: So haben sich die Trägerverbände VDMA [2], ZVEI [3] und Bitkom [4] des Themas angenommen, deren Aktivitäten von einem gemeinsamen Lenkungskreis (Plattform Industrie 4.0 [5]) koordiniert und vernetzt werden.

Dennoch wird die Idee hinter Industrie 4.0 in der breiten Öffentlichkeit kaum verstanden und hat seitdem vielerorts für teils kontroverse Diskussionen gesorgt. Zur Verwirrung hat eine ganze Reihe unterschiedlicher Definitionen beigetragen. Diese sind oft gut gemeint, bewirken aber zum Teil das Gegenteil eines gemeinsamen Verständnisses. Technologiebasis und Vision hinter Industrie 4.0 werden häufig vermischt. Übereifriges Marketing einiger Firmen verstärkt noch die Verwirrung („Industrie 4.0 machen wir schon“) und verbirgt die tatsächliche und tragfähige Idee hinter Industrie 4.0. Eine kaum übersehbare Anzahl von Meinungen und Interpretationen stellt dem Interessierten den Blick auf

den Kern und das, was Industrie 4.0 wirklich ist.

Das Ziel dieses Beitrags ist, dem Leser einen verständlichen Zugang zum Kern von Industrie 4.0 aus Sicht des Autors zu vermitteln. Im Gegensatz zu den Werbebotschaften einiger Firmen ist es heute noch nicht realisiert. Industrie 4.0 ist eine Zukunftsvision, die die Einbettung von Internet-Technologien in der Industrie voraussagt. Die Triebkräfte hinter Industrie 4.0 sind Technologien. Nur wer diese verstanden hat, kann den Visionen folgen.

Industrie 1.0 bis 3.0 als Vorläufer

Die Erfindung des automatischen Webstuhls 1784 und die Kombination mit Dampf- oder Wasserkraft war die erste Stufe der Mechanisierung und Automatisierung menschlicher Arbeit, mit damals kaum vorstellbaren Konsequenzen und einer Verhundertfachung der Produktivität bei der Stoffherstellung.

Die zweite industrielle Revolution beginnt 1870 mit der Arbeitsteilung in den Schlachthäusern Cincinnatis und wird mit der legendären Fließbandfertigung bei Ford in den USA perfektioniert. Die Produktivität bei Ford explodierte, der Tageslohn wurde auf 5 Dollar verdoppelt und der Preis des legendären Ford-Modells T wurde von ca. 870 Dollar auf ca. 270 Dollar reduziert [6]. Mit rechnerisch rund drei Monatslöhnen konnte ein Arbeiter ein solches Fahrzeug finanzieren – wiederum ein großer Schritt in Richtung Automatisierung mit dramatischen Folgen für Produktivität und Arbeitsumgebung der Menschen.

Die dritte industrielle Revolution brach schließlich im Jahr 1969 an, als die erste digitale und frei programmierbare Steue-

rung die bis dahin vorherrschende Festverdrahtung analoger und binärer Logik und Steuerprogramme abzulösen begann. Sie ist das Fundament der gesamten heutigen Automatisierungspyramide und moderner Prozessleitsysteme. Die weitreichenden Konsequenzen dieser Entwicklung sehen wir heute in hoch automatisierter Industrieproduktion.

Technische Treiber hinter Industrie 4.0

Bemerkenswert ist die Tatsache, dass erstmalig eine industrielle Revolution ausgerufen wird, noch bevor sie stattgefunden hat. Welche Besonderheiten initiieren Industrie 4.0 gerade jetzt? Mit folgenden Hypothesen sollen die Triebkräfte hinter Industrie 4.0 verdeutlicht werden.

Hypothese 1: Kommunikationsinfrastruktur in Produktionssystemen wird in absehbarer Zeit so preiswert sein, dass sie künftig überall Einzug halten wird, weil sie so überaus sinnvoll und nützlich für vielfältige Zwecke einsetzbar ist: für Engineering, Konfiguration, Service, Diagnose, Bedienung und Wartung von Geräten, Maschinen und Anlagen. Sie wird immer selbstverständlicher in allen Bereichen der Produktion und Industrie vorhanden sein. Dieser Trend ist unaufhaltsam und wird von niemandem forciert – es passiert einfach.

Hypothese 2: Geräte, Maschinen, Anlagen und Fabriken werden mehr und mehr über diese Kommunikationsinfrastruktur mit einem Netz verbunden (dem Internet oder einem privaten Fabriknetz oder Firmenverbundnetz). Die physischen Objekte veröffentlichen im Netz Daten über sich selbst. (Das Netz meint hier nicht notwendig das Internet. Es kann ebenso ein geschlossenes Unterneh-

*Dr.-Ing. Rainer Drath ist Program Manager Integrated Engineering bei der ABB AG, Forschungszentrum Ladenburg.
E-Mail: rainer.drath@de.abb.com*

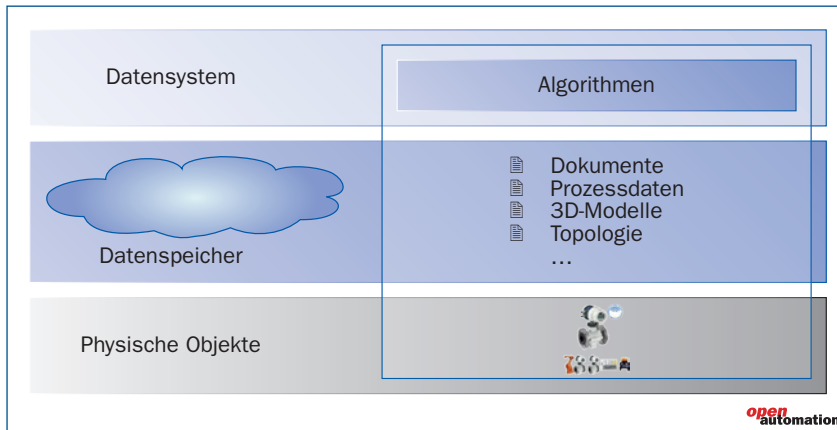


Bild 1. Drei Ebenen beschreiben ein Cyber-physisches System

mens- oder Produktionsnetz sein.) Die physischen Objekte erhalten eine zweite Identität als Datenobjekte im Netz. Sie werden im Netz suchbar, erkundbar und analysierbar, geben Auskunft über ihre Funktion und ihre Bedürfnisse. Dies führt zu einer Explosion verfügbarer Objekte und Einzeldaten.

Hypothese 3: Geräte, Maschinen, Anlagen und Fabriken speichern Wissen über sich selbst außerhalb ihres „Körpers“ in ihrer virtuellen Präsenz im Netz. Sie kennen und veröffentlichen ihren eigenen Zustand, ihre Historie, aber auch Dokumente, 3D-Modelle oder Anforderungen im Netz. Diese Informationen sind aktuell, updatefähig und zunehmend vollständig. Dazu gehören auch Funktionen, Verhandlungsfähigkeiten oder Erkundungsfunktionen. Dies macht Geräte gewissermaßen „selbstbewusst“. Die Datenobjekte im Netz ergänzen das zugehörige physische Gerät und bilden dort eine zweite Identität. Viele solche Datenobjekte im Netz werden gemeinsam zu einem Wissensschatz.

Hypothese 4: Software-Dienste werden im weiteren Verlauf die verfügbaren Daten miteinander verknüpfen und eine Wertschöpfung betreiben, die bisher nicht oder nur unwirtschaftlich möglich oder vorstellbar war.

Anhand dieser Hypothesen wird die Idee hinter Industrie 4.0 spürbar. Aber sie sind noch nicht Industrie 4.0 selbst.

Was sind Cyber-physische Systeme (CPS)?

Industrie 4.0 gilt als eine Ausprägung sogenannter Cyber-physischer Systeme (CPS). Das Konzept von CPS lässt sich anschaulich erklären. Betrachten wir dazu ein Beispiel aus dem Straßenverkehr: Heute werden Ampeln autonom oder von einem zentralen Verkehrsleitsystem gesteuert. In einer Umsetzung als CPS würden sich die realen Ampeln in einer

zentralen Meldestelle anmelden und eine eigene Identität als Datenobjekt im Netz erhalten. Dort veröffentlichen sie ihre aktuelle Ampelstellung und ihren Zeitplan.

Jede Ampel existiert somit zweimal: als reale Ampel an der Kreuzung und als virtuelle Präsenz im Netz. Dort ist sie neben anderen Ampeln auffindbar. Basierend auf diesen Daten könnten sich zukünftig Fahrzeuge, unabhängig vom Hersteller, in der zentralen Meldestelle mit Hilfe standardisierter Schnittstellen über die Ampelschaltungen informieren und – abhängig von ihrer aktuellen Position – Informationen über die auf ihrer Route liegenden Ampeln abrufen. Die Fahrzeuge passen ihre Geschwindigkeit sinnvoll an oder schalten an der Kreuzung den Motor umweltfreundlich automatisch ab. Künftige Navigationssysteme berechnen individuelle optimale Routen (grüne Wellen) in Abhängigkeit der eigenen Position, des Ziels und unter Berücksichtigung von Verkehrsbehinderungen.

Wenn künftig die Fahrzeuge ihrerseits ihre Positionen, Geschwindigkeiten und Ziele zurück in das Netz einspeisen würden, könnten Dienste die Ampelschaltungen auf Basis des tatsächlichen Verkehrs jederzeit flexibel anpassen. Polizei, Krankenwagen oder Feuerwehrfahrzeuge würden sich sogar „grüne Wellen“ buchen.

Der Neuheitswert dieses Szenarios liegt nicht in einer neuen Technologie, sondern erwächst durch die Kombination verfügbarer Technologien auf neue Weise. Die Verfügbarkeit massenhafter Daten erlaubt die Entwicklung von Diensten, die bisher nicht möglich waren, wie „Routenplanung mit grünen Ampeln“, „Buchen von grünen Wellen“ oder situative Verkehrsleitoptimierung auf Basis von Echtzeitinformationen. In Kombination mit Wetterberichten, Kalenderdaten, Bezahlssystemen, geografischen oder historischen Daten ist ein neuer Grad an Organisation

und Planung denkbar, die Möglichkeiten sind verblüffend und endlos.

Zusammengefasst bedeutet dies: Ein CPS benötigt drei verschiedene Ebenen, **Bild 1**. Erstens die physikalischen Objekte (im Beispiel die Ampeln und Fahrzeuge). Zweitens Daten und Modelle dieser physikalischen Objekte in einer vernetzten Infrastruktur (für teilnehmende Ampeln und Fahrzeuge), hier als Cloud bezeichnet. Drittens werden – basierend auf den ersten beiden Ebenen – neue Produkte und Dienstleistungen entwickelt (zum Beispiel Auswertung der Ampelplanung, Routenplanung für grüne Wellen). Die Ebenen 2 und 3 bilden den Cyber-Anteil des CPS.

Dieses Prinzip ist universell, alle acht Szenarien der Umsetzungsempfehlungen für Industrie 4.0 [7] wie vernetzte Produktion, selbstorganisierende adaptive Logistik oder kundenintegriertes Engineering, lassen sich darauf abbilden.

Technische Ideen und Visionen

Das beschriebene Prinzip von CPS ist die Basis für Industrie 4.0. Wenn man dieses Konzept auf die Industrie übertragen würde, was wäre dort möglich? Industrielle Geräte bekämen künftig eine zweite Identität im Netz und sind dort herstellerübergreifend auffindbar: Bereits dies ist äußerst nützlich für alle Phasen des Anlagenlebenszyklus: für Engineering, Betrieb, Wartung und Service. Sie können im Netz „virtuell“ miteinander zu Systemen verschaltet und dort simuliert werden. Systeme können virtuell integriert, ausprobiert, optimiert oder getestet werden. Digitale Fabrik und virtuelle Inbetriebnahme werden übergreifend zugänglich. Algorithmen für die autonome Optimierung revolutionieren die Produktionsplanung. Verbundene Geräte verhandeln ihre Zusammenarbeit miteinander. Produkte werden intelligent durch die Produktionsstraßen navigiert.



Das „Revolutionäre“ an all diesen Visionen ist nicht so sehr die technische Realisierung, sondern die Fülle an bisher undenkbar neuen Geschäftsmöglichkeiten, die sich aus der Verfügbarkeit und Kombination von Informationen ergibt. Durch Kombination mit weiteren Diensten (zum Beispiel Flugbuchungsdiensten, Logistikdiensten, Geolocation, historischen Daten usw.) können diese Dienste weiter verbessert werden. Der Fantasie sind hier kaum Grenzen gesetzt. Die umfangreichen Handlungsempfehlungen und Beispielszenarien [7] verdeutlichen dies: Sie sind nicht deshalb umfangreich, weil Industrie 4.0 so komplex ist, sondern weil so viel damit möglich ist.

Industrielle Anforderungen an Industrie 4.0

Die Einführung von Internet-Technologien in die Industrie löst bei vielen Anlagenbetreibern nachvollziehbare Sorgen aus. Ihre Anlagen vereinen Investitionen, Know-how, Produktion und Profitabilität. Viele Visionen rund um Industrie 4.0 scheinen kaum greifbar für heutige Produktionssysteme. Die Kommunikation produktionsrelevanter Endgeräte mit einer Cloud wird oft als potenzielle Gefährdung wahrgenommen. Die Industrie stellt daher aus ganz praktischen Erwägungen Anforderungen an Industrie 4.0. Das technisch Mögliche muss in den Dienst des Sinnvollen gestellt werden. Die folgenden Anforderungen sind Voraussetzungen für eine industrielle Akzeptanz:

- *Investitionsschutz*: Industrie 4.0 muss schrittweise in bestehende Produktionseinrichtungen und Anlagen einführbar sein.
- *Stabilität*: Industrie-4.0-Dienste dürfen zu keinem Zeitpunkt die Produktion gefährden, weder durch Ausfall oder Störung noch durch ungestimmten Eingriff. Produktionssysteme stellen erhöhte Anforderungen an nichtfunktionale Eigenschaften wie Verfügbarkeit, Echtzeit, Zuverlässigkeit, Langlebigkeit, Robustheit, Produktivität, Kosten und Sicherheit usw. Diese Anforderungen müssen durch den Einzug von Industrie 4.0 unberührt bleiben.
- *Steuerbarkeit*: Zugang zu anlagenbezogenen Daten und Diensten ist Voraussetzung für eine Industrie-4.0-Wertschöpfung, muss jedoch kontrollierbar und steuerbar sein. Vor allem Schreibzugriffe auf produktionsrelevante Geräte, Maschinen oder Anlagen erfordern eine über die Z hinausgehende Prüffinstanz, welche die Gültigkeit des Eingriffs im Kontext der gesamten Produktion sicherstellt.

- *Security*: Ein nicht autorisierter Zugriff auf Daten bzw. Dienste ist zu verhindern.

Integrationstopologie

Die Einführung von Industrie 4.0 in reale Produktionssysteme lässt sich anhand einer Integrationstopologie nach **Bild 2** illustrieren [8, 9]. Diese gilt gleichermaßen für die Fertigungs-, die Prozessindustrie und andere Industrien. Die Integrationstopologie adressiert die genannten Bedürfnisse der Industrie als Voraussetzung für die Akzeptanz von Industrie 4.0 und erklärt ihre schrittweise Integration.

Kern der Integrationstopologie ist die Trennung der Industrie-4.0-Datenübertragung vom zum Betrieb zwingend er-

forderlichen Kommunikationssystem der Produktionsanlage. Dies wird in Bild 2 durch ein grünes bzw. blaues Netz dargestellt. Die technische Umsetzung ist in getrennten Netzen (zum Beispiel beim Nachrüsten von Anlagen) oder in einem bereits vorhandenen (beispielsweise Ethernet-basierten) Netz (logische Trennung innerhalb eines Kabels) möglich.

Das grüne Netz symbolisiert eine Automatisierungsanlage (Produktionsnetz) mit erhöhten Anforderungen an Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, Langlebigkeit und Sicherheit. Die technische Umsetzung bleibt wahlfrei und wettbewerbsfähig: dies umfasst sowohl traditionelle Automatisierungslösungen (zum Beispiel Client-Server-Prinzip) als auch neuartige Automatisierungs-

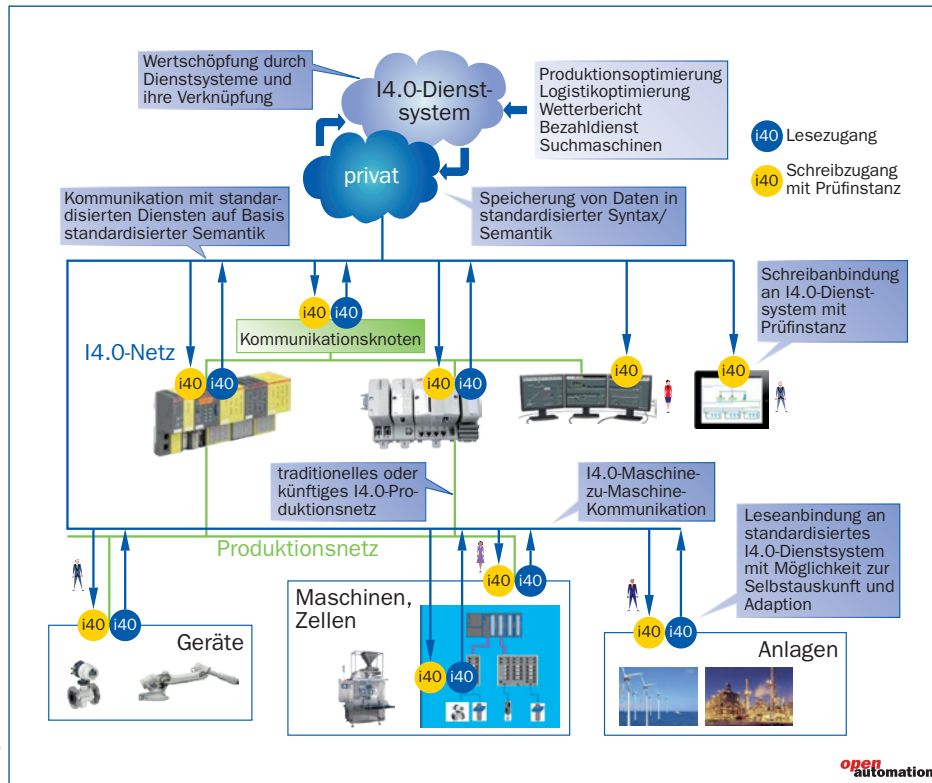


Bild 2. Integrationstopologie für Industrie 4.0

topologien, zum Beispiel unter Nutzung des SOA-Prinzips. Das blaue Netz symbolisiert das neue Industrie-4.0-(I4.0-) Netz. Es ist zum Betrieb der Produktionsanlage nicht zwingend erforderlich, Ausfälle dürfen den Kernbereich nicht beeinflussen.

Für die Anbindung von Geräten, Maschinen oder Anlagen an das blau dargestellte I4.0-Netz werden diese mit I4.0-Schnittstellen ausgestattet, hier dargestellt durch blaue Ports. Die dazu benötigten Basis-I4.0-Dienste, deren Semantik, Syntax und Übertragungsprotokolle müssen im Sinne einer herstellerübergreifenden Interoperabilität standardisiert werden. Über diese Schnittstelle können ausschließlich autorisierte I4.0-Teilnehmer zum Beispiel Identifikatoren, Diagnose-daten, Geräteparameter, Prozesswerte usw. auslesen. Diese Daten sind die Grundlage für die Wertschöpfung im I4.0-Dienstsystem.

Zum Schutz der Produktion wird der direkte Zugriff auf Geräte, Maschinen oder Anlagen zunächst nur lesend erfolgen. Schreibzugriffe erfordern eine über die Security hinausgehende Prüfinstanz. Schreibzugriffe sind im Bild durch orangefarbene Ports symbolisiert. Die Prüfinstanz adressiert die Abstimmung des Schreibzugriffs im Kontext der gesamten Produktion im Kern der Automatisierungsanlage; so lassen sich unerwünschte Auswirkungen auf andere Anlagenkomponenten ver-

meiden. Beispiele für Schreibzugriffe sind das Herunterladen von Geräteparametern. Die Umsetzung der Prüfinstanz ist durch die Leittechnik, in der MES-Lösung oder durch einen Menschen möglich. Der direkte Schreibzugriff auf Endgeräte ist technisch zwar machbar, aber in der industriellen Praxis vorerst nicht empfehlenswert.

Die Daten des blauen I4.0-Office-Netzes münden in einem privaten Datenspeicher und Dienstsystem. Alle Daten und Dienste darin sind nicht-öffentlich und geschützt. Die Übertragungsprotokolle, Syntax und Semantik von Basisdaten und Diensten sind im Sinne einer herstellerübergreifenden Interoperabilität zu standardisieren. Der Zugang zu Daten und Diensten obliegt dem Eigentümer bzw. Anlagenbetreiber. Die Publikation von Daten in ein öffentliches I4.0-Dienstsystem läuft kontrolliert über Schnittstellen und Rechtesysteme. Die I4.0-Wertschöpfung liegt einerseits bei privaten Diensten im privaten Dienstsystem oder bei Drittanbietern im I4.0-Dienstsystem. Die Rückführung wertschöpfender Dienste in das Produktionssystem ist Basis für Effizienzverbesserungen im Engineering, Betrieb, Service, für neue mobile Anwendungen und eine Vielzahl weiterer Anwendungsfälle.

Die hier vorgestellte Integrationstopologie ist weder neu noch verkörpert sie selbst Industrie 4.0: Sie versteht sich als

grundlegender Rahmen für die tatsächliche Innovation von Industrie 4.0. Die logische Trennung der Industrie-4.0-Kommunikation, die Einführung expliziter Prüfinstanzen beim Schreibzugang sowie die Trennung des privaten und des öffentlichen I4.0-Dienstsystems ermöglichen ein hohes Maß an Investitionsschutz, Stabilität, Steuerbarkeit und Security.

Was ist wirklich neu an Industrie 4.0?

Das wirklich Neue an Industrie 4.0 ist nicht etwa die Cloud, das Netzwerk oder die Kommunikation, auch nicht die Technologie „Dienstsystem“ – all das sind bekannte Technologien. Neue und bisher nicht verfügbare Zutaten liegen vielmehr in der

- herstellerübergreifenden Einigung (neu) auf standardisierte Syntax/Semantik zur Speicherung von Daten;
- herstellerübergreifenden Einigung (neu) auf standardisierte (neu) Dienste auf Basis standardisierter Semantik und die Kommunikation mit diesen;
- Einführung von Prinzipien wie „Selbstauskunft“ (neu) und „Erkundbarkeit“ (neu) usw. als Basis für herstellerübergreifende Wertschöpfung;
- Verfügbarkeit von Diensten (neu), die Wertschöpfung aus der herstellerübergreifenden Verfügbarkeit von Daten betreiben;
- Verknüpfung von Diensten (neu).



Dies erfordert ein gemeinsames Dienstsystem, dessen Möglichkeiten wie bei einem Smartphone-Appstore endlos erscheinen, und unterstreicht die Bedeutung der Normungsroadmap für Industrie 4.0 [10] sowie den benötigten Abstimmungsbedarf zwischen beteiligten Gremien und Industrien. Dennoch: die Wertschöpfung entsteht erst durch die Verwirklichung realer Anwendungen mit diesen Zutaten. Einige Szenarien sind in [7] beschrieben, die meisten sind aus Sicht des Autors jedoch noch nicht erfunden. Um diese Ziele zu erreichen, sind Forschung und Entwicklung notwendig.

Im Ergebnis eröffnet sich ein umfassendes Zukunftsbild, dessen Inhalt in der Definition des Lenkungsgebietes der Plattform Industrie 4.0 umrissen wird: „Der Begriff Industrie 4.0 steht für die vierte industrielle Revolution, einer neuen Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten. Dieser Zyklus orientiert sich an den zunehmend individualisierten Kundenwünschen und erstreckt sich von der Idee, dem Auftrag über die Entwicklung und Fertigung, die Auslieferung eines Produkts an den Endkunden bis hin zum Recycling, einschließ-

lich der damit verbundenen Dienstleistungen.

Basis ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen sowie die Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten. Durch die Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen entstehen dynamische, echtzeitoptimierte und selbst organisierende unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke, die sich nach unterschiedlichen Kriterien wie beispielsweise Kosten, Verfügbarkeit und Ressourcenverbrauch optimieren lassen.“

Zusammenfassung

Industrie 4.0 ist ein Phänomen, das durch die eingangs vorgestellten Hypothesen von selbst auf uns zutreibt, ob wir es wollen oder nicht. Analog zur Consumerwelt, die Anfang der 1990er-Jahre mit dem Internet konfrontiert wurde und sich in schneller Abfolge eine damals unvorstellbare Welt aus Online-Shops, Auktionen, Internetbanking, Online-Brokerage, Facebook, E-Mail, Video-Streaming und Appstores entwickelte, sind auch heute die Möglichkeiten von Industrie 4.0 noch

nicht absehbar. Die Consumerwelt hat bereits etliche Anwendungen für CPS realisiert; jetzt gilt es, diese Technologien für die Industrie zu erschließen.

Literatur

- [1] Kagermann, H.; Luka, W. D.; Wahlster, W.: Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. VDI-Nachrichten (2011)
- [2] VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V., Frankfurt/Main: www.vdma.org
- [3] ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V., Frankfurt/Main: www.zvei.org
- [4] Bitkom – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V., Berlin: www.bitkom.org
- [5] www.plattform-i40.de
- [6] www.heise.de/autos/artikel/Der-Vater-des-Autokonsums-1926988.html
- [7] Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftprojekt Industrie 4.0. www.bmbf.de/pubRD/Umsetzungsempfehlungen_Industrie4_0.pdf
- [8] www.plattform-i40.de/blog/arbeitsst%C3%A4nde-der-plattform-industrie-40
- [9] www.plattform-i40.de/sites/default/files/Vortragsfolien%20Veranstaltung%20im%20BMW%2018022014.pdf
- [10] DKE/VDE: Die Deutsche Normungs-Roadmap Industrie 4.0. 2013. www.dke.de/Roadmap-Industrie40