



Foto: Fotolia

Holger Schiele

Industrie 4.0 in der Beschaffung

Zwischenbetriebliche Maschine-zu-Maschine Kommunikation in cyber-physikalischen Systemen

Auch die Beschaffung muss die vierte industriellen Revolution (Industrie 4.0) mitgestalten, die getrieben ist durch die Kombination aus (1.) Maschine-zu-Maschine Kommunikation in (2.) cyber-physikalischen Systemen, also solchen, die die physikalische Welt mit der digitalen Datenwelt verknüpfen. Für den Einkauf lassen sich mindestens zwei I4.0 Szenarien ableiten: locker gekoppelte Systeme (autonomer Abruf von Materialien) und eng gekoppelte Systeme (Revival elektronischer Märkte mit autonomen Verhandlungen zwischen mehreren Anbietern). Eine Roadmap zur Entwicklung solcher Systeme kann vorgeschlagen werden, deren Kernstück autonome Verhandlungen sind.

Vier industrielle Revolutionen: Auf die Veränderung des Produktionssystems kommt es an

Wohl bekannt ist die erste industrielle Revolution, die Mitte des 18. Jahrhunderts die Weichen der Weltentwicklung neu stellte. Durch die kohlengetriebene Dampfmaschine wurde es erstmalig möglich, in großem Umfang auf fossile Brennstoffe zurückzugreifen und diese in nutzbare Energie umzuwandeln. Die Folgen sind bekannt: durch umfangreiche Industrialisierung stieg der Lebensstandard sukzessive an. Das Kohlezeitalter brach an. Allerdings gab es auch bald Warnungen, z.B. vom später aus anderen Gründen bekannt gewordenen Ökonomen Jevons, dass die Kohle ausgehen würde. Er prophezeite vor gut hundert Jahren, dass die Wirtschaft

Englands aufgrund von Kohleknappheit vor einem Kollaps stünde.

Dass dieser Kollaps nicht eingetreten ist, ist nicht nur seiner Fehleinschätzung bezüglich des Umfangs der Kohlevorräte zu verdanken, sondern auch dem Phänomen, das man heute als „zweite Industrielle“ Revolution bezeichnet. In der zweiten industriellen Revolution wurde um die Jahrhundertwende die Dampfmaschine als zentrale Kraftquelle durch den Elektromotor ersetzt und weitere Primärenergieträger erschlossen. Das weitaus Bedeutendere: die alleinige Ersetzung der einen Kraftquelle durch eine andere führte noch nicht zu durchschlagenden Produktivitätssteigerungen. Diese traten erst dann ein, als man erkannte, dass die Produktionsweise geändert werden konnte. Ein Fabriklayout einer dampfgetriebenen Fertigung musste den Prinzipien der

Kraftübertragung folgen. Durch den Elektromotor war es aber nun möglich geworden, genau da eine Kraftquelle in der benötigten Stärke zu haben, wo sie vom Produktionsablauf her erforderlich war. Dadurch wurde die Fließbandproduktion möglich, die dann die eigentliche Produktivitätsrevolution darstellte.

War für die erste industrielle Revolution die Dampfmaschine verantwortlich und für die zweite der Elektromotor, so gelten die Leiterplatte und der Mikroprozessor als Motoren der dritten industriellen Revolution. Kennzeichen der dritten industriellen Revolution sind Automatisierung und Digitalisierung. Durch effiziente Robotik wurde es möglich, die Produktionsleistung zu steigern, ohne proportional mehr Fertigungsmitarbeiter zu beschäftigen. Ferner ermöglichte gerade die Digitali-

sierung, z.B. in Form der Einführung von Ressourcenplanungssoftware wie SAP, Produktivitätsgewinne auch im Verwaltungsbereich zu erzielen.

Entscheidendes Merkmal der aufeinanderfolgenden industriellen Revolutionen ist, dass sie jeweils durch eine technologische Veränderung gestartet wurden, aber insbesondere mit einer Veränderung des Produktionssystems einher gingen (Vgl. Schuh, Potente, Varrandani, Hausberg, & Fränken, 2014). Die Frage, ob die vierte industrielle Veränderung eine Revolution wird oder doch eher eine Evolution im Sinne einer graduellen Weiterentwicklung der dritten industriellen Revolution („Digitalisierung“), wird demnach genau mit der Frage beantwortet werden, ob ebenfalls eine grundlegende Veränderung der Produktionssysteme damit anheim geht.

Wenn man bedenkt, dass bei einem typischen Industrieunternehmen in Mitteleuropa etwa 2/3 seines Umsatzes direkt an die Lieferanten geht und der Anteil der Produktionskosten oft kaum über 10 % hinaus reicht, wird klar, dass Industrie 4.0 nicht allein in der Fertigungshalle entscheiden wird, sondern vor allem entlang der Wertschöpfungskette.

– die Merkmal der dritten Revolution ist – sondern in den zwei wesentlichen neuen Merkmalen bzw. Schrittmachertechnologien: a) Maschine-zu-Maschine Kommunikation und b) cyber-physikalische Systeme. Der zuweilen auch benutzte Begriff „internet of things“ scheint im Zusammenhang mit I4.0 eher fehlleitend zu sein, wenn man eine Wertschöpfungskettenperspektive einnimmt.

Der dazu notwendige zwischenbetriebliche Austausch sensibler Daten wird kaum über das weitgehend offene Internet erfolgen, sondern in sicheren Verbindungen. Die neuen Technologien der vierten industriellen Revolution erlauben es, Geräte und Bauteile / Komponenten untereinander sowie mit Nutzern zu vernetzen. Dadurch wird angestrebt, dass die Elemente sich untereinander austauschen und sich autonom optimieren, ohne dass dazu ein zentraler menschlicher Planer nötig wäre.

Betrachtet man mögliche Ausprägungen der vierten industriellen Revolution auf den Bereich des Einkaufs, so kristallisieren sich zwei denkbare Szenarien heraus, die wir im Rahmen einer Reihe von Workshops mit Einkäufern entwickelt haben. Die Szenari-

neue Lieferanten gesucht und Angebote automatisch verhandelt werden.

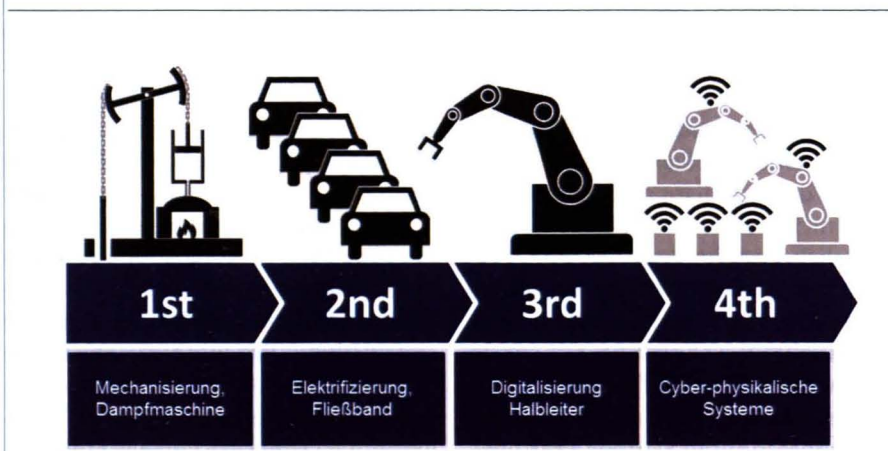
Szenario 1: Eng gekoppelte Systeme (verbundene elektronische Kataloge)

Im Rahmen eng gekoppelter Systeme kann man sich Anwendungen wie selbst auffüllende Schränke vorstellen, die per Sensorik erkennen, dass die jeweilige Befüllung zur Neige geht und die dann selbständig Nachschub ordern und geliefert bekommen – ohne unmittelbarer menschlicher Intervention, z.B. Medizinschränke, Büromaterialdepots in der Verwaltung, aber auch Verbrauchsgüter im Produktionsbereich (beispielsweise statt Kanban-Systemen).

Das cyber-physische Element kommt an zwei Stellen zum Tragen: zunächst bei der Bedarfsgenerierung. In der dritten industriellen Revolution gab es noch die Notwendigkeit, dass ein Mitarbeiter den Füllstand des jeweiligen Materials prüfen musste, um dann vielleicht aus einem elektronischen Katalog Nachschub zu bestellen. Im Szenario 1 erfolgt die Bedarfserfassung und die Bestell- bzw. Abrufgenerierung automatisch. Die Identifikation des Bedarfs ist eine physische Aktion, die Erstellung einer Bestellung und deren Weitergabe an den vordefinierten Lieferanten ist eine cyber-Aufgabe im Rahmen einer Maschine-zu-Maschine Kommunikation. Somit haben wir es mit cyber-physikalischen Systemen mit Maschine-zu-Maschine Kommunikation zu tun, also einer typischen I4.0 Anwendung. Der zweite Punkt, wo der cyber-physikalische Charakter deutlich wird, ist in der Auslieferung zu sehen, die durch Roboter erfolgen könnte, z.B. in Form autonom fahrender Verkehrsträger zwischen Unternehmen und automated guided vehicles (AGV) innerbetrieblich, also autonom verkehrenden Staplern.

Es wird zwischen vier aufeinanderfolgenden industriellen Revolutionen unterschieden

Industrielle Revolutionen



Quelle: Wikipedia, h&sz

Industrie 4.0: Maschine-zu-Maschine Kommunikation in cyber-physikalischen Systemen

Was nun ist die postulierte vierte industrielle Revolution? Der Unterschied zwischen der dritten und der vierten industriellen Revolution ist nicht in der Digitalisierung zu sehen

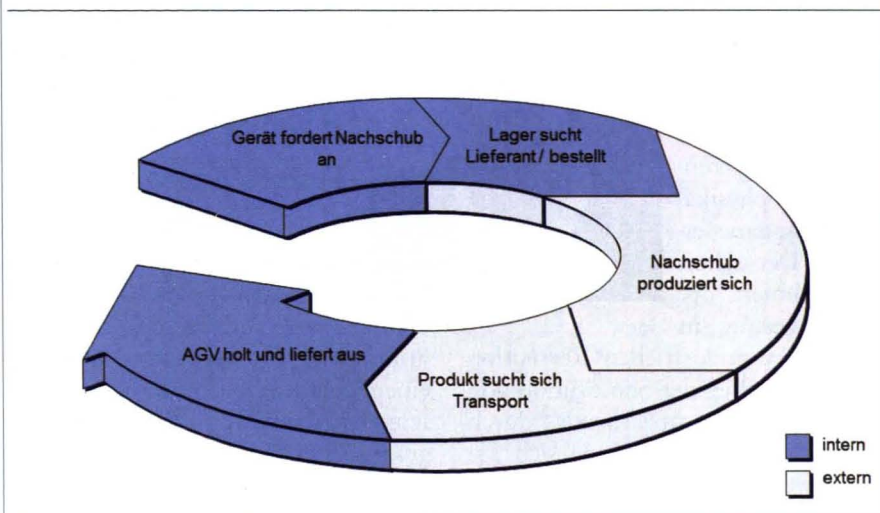
en können als eng bzw. lose gekoppelte Systeme charakterisiert werden. Bei den eng gekoppelten Systemen erfolgt die Maschine-zu-Maschine Kommunikation im Wesentlichen entlang zuvor bestimmter Pfade innerhalb fester Kunden-Lieferanten-Beziehungen. Bei den lose gekoppelten Systemen, hingegen, geht es gerade darum, dass jeweils

Szenario 2: Locker gekoppelte Systeme (Rückkehr elektronischer Marktplätze durch Cybernegotiation)

Das locker gekoppelte System kennzeichnet sich im Gegensatz zu den eng gekoppelten Systemen dadurch, dass zum Zeitpunkt der Angebotsanforderung noch kein Lieferant ausgewählt ist, dieser also noch gesucht werden muss und auch die Preise und

Allgemein sieht I4.0 vor, dass Geräte selbständig ihren Nachschub organisieren – und dabei möglicherweise auf ein verbundenes Lieferantennetz zurückgreifen

Selbständige Systeme - Prinzip



Konditionen noch verhandelt werden müssen. Hier könnte die Idee der elektronischen Marktplätze, die während der ersten „dot.com“ Krise fast alle scheiterten, eine Wiedergeburt finden. Auf elektronischen Marktplätzen bieten verschiedene Lieferanten ihre Waren an; üblicherweise indem sie ihre Kataloge hochladen. Gegenüber einem Papierkatalog waren die Vorteile aber meist zu gering, als dass sich das Modell breit durchgesetzt hätte. Wenn nun eine Maschine-zu-Maschine Kommunikation hinzu kommt, dann könnte die Anzahl der überprüften Optionen signifikant steigen; mit einer elektronischen Verhandlung, schließlich, wird mehr als nur ein einfacher Katalogpreisvergleich hinzu kommen.

Erste denkbare Beispiele könnten etwa Marktplätze für Transportdienstleistungen sein. Es handelt sich um ein relativ gut beschreibbares Gut in einem polypolistischen Markt, wo aufgrund unterschiedlicher Kapazitätsauslastungen ständig neue Angebote entstehen. Dennoch wird gegenwärtig häufig mit Rahmenverträgen gearbeitet, just weil es nicht möglich ist mit menschlichen Einkäufern für jeden einzelnen Transportauftrag eine optimale Lösung zu suchen. Elektronische Verhandlungssavatare hingegen könnten jährlich hunderte und tausende Such- und Verhandlungsprozesse durchführen. Somit könnten wie im Beispiel der Transportdienstleistung business cases vorliegen, die ein I4.0 Anwendung fordern.

Die Idee hierbei ist folgende: Das kaufende Unternehmen generiert automatisch eine Nachfrage, die auf einem Marktplatz mit potenziellen Anbietern gematcht wird. Nun könnte von dort ein mögliches Angebot kommen, das der Einkäufer prüfen würde. Damit wären wir aber noch in der dritten industriellen Revolution. I4.0 erfordert nun aber definitionsgemäß die Maschine-zu-Maschine Kommunikation. Im vorliegenden Fall bedeutet dies, dass der Verhandlungsprozess und Auswahlprozess elektronisch erfolgen muss, durch Cybernegotiation.

Eine „Cybernegotiation“ erfordert, dass für eine elektronische Verhandlung die Präferenzen bezüglich einzelner Verhandlungsparameter vorab definiert sein müssen. Sodann muss es einen iterativen Algorithmus geben, der die einzelnen Parameter aufgreift, miteinander vergleicht und wertend verdichtet und dann – das ist die besondere Herausforderung – gemäß einer vorab definierten Verhandlungsstrategie in Interaktion mit den Anbietern das bestmögliche Nutzenergebnis erzielt. Um das Szenario locker gekoppelter Systeme wahr werden zu lassen, gilt es also, als Schlüsseltechnologie „virtuelle Verhandlungen“ zu realisieren. Dann wird es möglich sein, dass sich als I4.0 Applikation Maschinen selbständig die benötigten Komponenten zu bestmöglichen Preisen besorgen. Anders als im Szenario eng gekoppelter Systeme geht es dabei nicht nur um den Abruf zuvor verhandelter und in einem

Katalog hinterlegter Teile, sondern um den Einbezug neuer Teile oder solcher, die jeweils unterschiedliche Parameter umfassen, wie etwa die zu unterschiedlichen Zielen gehenden Transporte.

Roadmap 4.0: Von bestehenden Katalogsystemen schrittweise zu Verhandlungssavataren

Es bleibt festzuhalten, dass uns die strikte Anwendung der Definition von I4.0 als Maschine-zu-Maschine Kommunikation in cyber-physikalischen Systemen ertüchtigt, unterschiedliche Szenarien für die Beschaffung zu entwickeln. Abschließend bleibt die Frage, wie wir von der Gegenwart in Richtung eines der beiden eng oder locker gekoppelten Szenarien oder gar beider gelangen?

Dieser Weg ist gar nicht so unwahrscheinlich, wie man zunächst annehmen möchte. Als Ausgangspunkt für eine I4.0 Roadmap im Einkauf dienen bestehende eProcurement-Katalogsysteme. Innerhalb dieser sind verschiedene Lieferanteneinbindungsmodelle bereits realisiert, darunter die Punch-out Kataloge, bei denen der Käufer auf den Katalog des Lieferanten geleitet wird. Sodann der klassische inhouse-Katalog, wo die verhandelten Lieferantenangebote in das System des Kunden geladen werden. Eine weitere Spielart sind parametrische Kataloge, die es z.B. im Dienstleistungseinkauf erlauben, bestimmte Produkteigenschaften zu definieren, beispielsweise die Anzahl der zu leistenden Stunden und das Qualifikationsniveau des entsprechenden Mitarbeiters, dessen Stundensatz dann verhandelt hinterlegt ist. Die Parametrisierung ist bereits ein erster Schritt in Richtung der oben beschriebenen mehrdimensionalen Verhandlung.

Schließlich wird als nächster Entwicklungsschritt die Möglichkeit implementiert, dass ein Nutzer im Rahmen eines Sourcingvorgangs mehrere Angebote zur Auswahl erhält. Von dort aus sind noch zwei Schritte zu realisieren: erstens, das Auswahlverfahren für die Angebote, die eben über nicht schon verhandelte Katalogware hinausgehen muss. Und zweitens deren elektronische Verhandlung. Damit ist aber ein Pfad vorgegeben, an dessen Ende nicht nur die operative Abwicklung, sondern auch die Bedarfsgenerierung und die Verhandlung elektronisch er-

folgen. Nach dieser Roadmapvorstellung baut I4.0 im Einkauf sukzessive auf bestehenden Systemen auf. Dies bedeutet für Unternehmen, dass sie zunächst ihre „Hausaufgaben“ der dritten Revolution machen müssen (Digitalisierung).

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch zu entwickeln sind insbesondere die cyber-physikalischen Systeme zur automatischen Bedarfsgenerierung, also Beispielsweise „smart bins“; Behälter die ihren Füllstand erkennen und über einen Abruf für Nachschub den Weg aus der physikalischen in die cyber-Welt vollziehen (Szenario 1). Die zweite große Herausforderung liegt in der elektronischen Verhandlung (Szenario 2). Hierzu sind einerseits Algorithmen zu entwickeln, die auf Veränderungen des Angebots der anderen Verhandlungssseite reagieren und ihrerseits neue Vorschläge erbringen. Diese Verhandlungssysteme müssen mit menschlichen Verhandlungsergebnissen kalibriert werden, um beherrschbar zu bleiben und vorhersehbare Ergebnisse zu liefern. Verhandlungsavatar könnten das Handwerkszeug des Einkäufers der Zukunft werden, insbesondere dann, wenn sie nicht nur für die Verhandlung von relativ standardisierten C-Teilen eingesetzt werden, sondern auch in komplexeren Beschaffungsvorgängen unterstützen. Als dritte und ergänzende größere Herausforderung, um den in der obigen Abbildung beschriebenen cyber-physikalischen Kreislauf in der Beschaffung zu schließen, wäre schließlich die automatisierte Verteilung der bestellten Güter zu sehen. Diese drei Schritte können parallel entwickelt werden.

Implikationen: Veränderte Rolle des strategischen Einkäufers als Verhandlungsavatarprogrammierer

Findet die skizzierten Entwicklung so oder ähnlich statt, ist eine Veränderung in den Rollenanforderungen für Einkäufer zu erwarten. Dworschak und Zaiser (2014) unterscheiden zwischen „CPS [cyber-physical systems] guides skilled workers“ und umgekehrt „skilled workers guide the CPS“. Es geht also um die Frage, wer die Führungsrolle im Prozess übernimmt. Auf Basis der oben entwickelten Szenarien wohnt folgendem Modell Plausibilität inne: Operative Aufgaben, nament-

lich im C-Teile Bereich, also bei geringwertigen üblicherweise relativ standardisierter Materialien und Dienste, werden durch weitgehend autonom agierende cyber-physikalische Systeme erledigt. Der schon im Rahmen der Digitalisierung in der dritten industriellen Revolution begonnene Weg der Substitution von Arbeit (Bestellsachbearbeiter) durch Kapital (Maschinen) würde sich danach weiter fortsetzen. Durch mit neuen elektronischen Marktplätzen verbundenen Such- und Verhandlungsalgorithmen könnte der automatisierte Bereich weiter als die aktuellen Katalogwaren hinaus ausgedehnt werden.

Betrachten wir nun den Bereich komplexerer sourcing-Vorgänge, so lohnt ein Blick auf das Vorgehen bei heutigen Einkaufsprozessen. Ein Großteil der Arbeit des Einkäufers liegt darin, für komplexere Beschaffungsgüter (1.) geeignete Lieferanten zu identifizieren, (2.) von diesen Angebote einzuholen, (3.) die diversen Angebote im Rahmen eines umfangreichen Abstimmungsprozesses entlang zahlreicher Parameter wie Qualität, Lieferbedingungen, Zahlungsmodellen, Garantien usw. zu homogenisieren, so dass (4.) am Ende mit einer kleinen Anzahl an Lieferanten eine Verhandlung primär um den Preis stattfinden kann. Die arbeitsintensiven Schritte 1 bis 3 werden durch die oben skizzierten System nur teilweise tangiert. Eine große Veränderung könnte jedoch im Schritt 4 stattfinden, der eigentlichen Verhandlung. Hier könnten elektronische Verhandlungen zum Einsatz kommen, die in hunderten von Iterationsschritten stattfinden, die menschliche Verhandler aus Zeit- (und Nerven-) Gründen nicht realisieren vermögen. Dadurch wird es möglich, viel mehr Parameter als bislang zu vergleichen und aus mehreren komplexen Angebotsbündel nicht wie bisher einen Kompromiss zu finden, sondern ein Optimum zu erreichen. Auch hier liegt also ein business case vor, weil für alle beteiligte Parteien bessere Lösungen gefunden werden kön-



**Prof. Dr. habil.
Holger Schiele**
Universität Twente in
Enschede (NL)

nen. Die neue Aufgabe des Einkäufers (und analog des Verkäufers) würde in einem solchen System darin bestehen, seinen Verhandlungsavatar so zu programmieren, dass er einerseits die eigenen, vorab klar zu definierenden Präferenzen kennt und andererseits eine vorgegebene Verhandlungstaktik folgt. Der strategische Einkäufer wird demnach also einen anderen Schwerpunkt haben und neue Kompetenzen brauchen, z.B. spieletheoretischer Natur, um seine Verhandlungsmaschinen benutzen zu können. Anders als der operative Besteller würde sich seine Rolle jedoch nur verändern, nicht verschwinden. Auf diese Weise leistet die Beschaffung einen Beitrag zur Umsetzung der vierten industriellen Revolution.

Referenzen:

Dworschak, B., & Zaiser, H. (2014). Competences for cyber-physical systems in manufacturing—first findings and scenarios. *Procedia CIRP*, 25, 345-350.
Schuh, G., Potente, T., Varandani, R., Hausberg, C., & Fränken, B. (2014). Collaboration moves productivity to the next level. *Procedia CIRP*, 17, 3-8.

Autor:

Prof. Dr. habil. Holger Schiele ist Inhaber des Lehrstuhls für Technologiemanagement – Innovation in Einkauf, Produktion und Logistik an der Universität Twente in Enschede (NL). Twente ist eine der wenigen Universitäten, die sowohl im Bachelor als auch im Master ein Vertiefungsfach „Einkauf“ anbieten. Prof. Schiele ist einer der meistpubliziertesten Wissenschaftler seines Fachgebiets, der Praxis jedoch gleichsam eng verbunden, da er 10 Jahre in Industrie (Preussag AG) und Beratung (h&z) tätig war.