

Planung und Bewertung von cyber-physischen Wertschöpfungsnetzwerken

M.Sc. **M. Klein**, Dr.-Ing. **N. Jazdi**, Prof. Dr.-Ing. **M. Weyrich**
Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik, Universität Stuttgart

Kurzfassung

In diesem Beitrag wird die Notwendigkeit neuer Planungsverfahren für Cyber-physische Wertschöpfungsnetzwerke aufgezeigt sowie ein in fünf Schritte gegliedertes Planungskonzept vorgestellt. Dieses Planungskonzept skizziert ein Verfahren mit dem unterschiedliche Produktionsprozesse spezifiziert und auf einem virtuellen Marktplatz ausgewählt werden können. Das Konzept eines „eProduction-Systems“ wird am Beispiel einer verteilten Modellfabrik vorgestellt.

1. Einleitung und Darstellung der aktuellen Situation

Heutzutage agieren Unternehmen in einer von der Globalisierung stark beeinflussten Umwelt. Zum einen steigt der Konkurrenzdruck durch neue Wettbewerber aus Niedriglohnländern [1]. Zum anderen ist zu beobachten, dass der Wunsch nach individueller Gestaltung von Produkten länderübergreifend zunimmt. „Mass-Customization“ lautet das Schlagwort. Viele Produkte lassen sich nach den eigenen Vorlieben und Wünschen zusammenstellen. Die Konfiguration eines neuen Automobils, das individuell zusammengestellte Müsli sowie die eigene Seife stellen neben der Maßanfertigung von Mode (Anzug, Schuhe) Beispiele dar [2]. Diese steigende Individualisierung führt zu einer Zunahme der Varianten bei gleichzeitiger Abnahme der Volumina pro Produktvariante sowie zu einer Komplexitätszunahme des Produktes, des Prozesses sowie der Organisation [3]. Diesem Trend der Komplexitätszunahme versuchen die Hersteller durch Konzepte wie Standardisierung, Modularisierung oder Plattformen entgegenzuwirken. Der Einsatz dieser Verfahren führt zu einer Reduzierung der Fertigungstiefe einzelner Unternehmen, denn es werden ganze Module oder Baugruppen ausgelagert [4]. Die daraus folgende Spezialisierung der Zulieferunternehmen auf ihre Kerntätigkeit fördert Kooperationen von unterschiedlichen Betrieben zur Bearbeitung eines (Groß-)Auftrages. Hierbei entstehen Abhängigkeiten und Wechselbeziehungen zwischen den leistungserbringenden Organisationen.

Damit sich die Unternehmen auch in Zukunft erfolgreich an die oben genannten Umweltbedingungen anpassen können, ist eine neuartige Form der Planung nötig. Das

vorgestellte Konzept konzentriert sich auf die Planung des Produktionsablaufs sowie der Kapazitätszuteilung, da hier das größte Veränderungspotential in Form von Produktivitätssteigerungen, schnelleren Reaktionen auf Turbulenzen sowie Ad-hoc-Vernetzungen durch den Einsatz von Industrie 4.0 und cyber-physischen Systemen (CPS) erwartet wird.

Im Folgenden wird auf die Veränderungen im Bereich der Produktionsplanung näher eingegangen. Die Grundlagen im Sinne des Standes der Technik werden in Kapitel zwei beschrieben. Im Anschluss wird der Handlungsbedarfs und die Herausforderungen aufgezeigt, um schließlich ein Lösungskonzept vorzustellen und an einem Demonstrator zu diskutieren.

2. Grundlagen:

2.1 Cyber-Physische Systeme (CPS)

Ein Ansatz zur Lösung der oben genannten Herausforderungen stellen die Technologien und Methoden dar, welche unter dem Begriff „Cyber-Physische Systeme (CPS)“ zusammengefasst werden. Edward A. Lee definiert CPS als „integrations of computation with physical processes. Embedded computers and networks monitor and control the physical processes, usually with feedback loops where physical processes affect computations and vice versa“ [6].

Unter dem Begriff Industrie 4.0 versteht man die CPS-Einbindung in die Produktion sowie in angrenzende Bereiche wie die Logistik. Sie befasst sich mit der Gestaltung der Industrie (-prozesse) der Zukunft. Ein Kernpunkt stellt hierbei die Vernetzung von automatisierten Systemen (als Beispiel für Ressourcen), Menschen, Informationen und Objekten im Internet der Dinge und Dienste dar. Die Anlagen werden befähigt selbstständig miteinander zu kommunizieren und Informationen untereinander auszutauschen. Mit Hilfe der Erfassung und Auswertung von Daten können beispielsweise neuartige Geschäftsmodelle für Unternehmen auf Basis von CPS generiert werden. Diese Modelle werden entsprechend stärker an den einzelnen Kundenwünschen ausgerichtet sein. Die Software wird hierbei eine dominierende Rolle einnehmen und entscheidend für den Erfolg eines Unternehmens sein [8].

Demzufolge erhalten diese Systeme eine eigene Intelligenz sowie die sogenannte „Self-X“ Funktionalität, welche sie befähigt sich eigenständig (autonom) an veränderte Umweltbedingungen anzupassen. In Bild 1 werden die Kern-Eigenschaften von Industrie 4.0 dargestellt. Industrie 4.0 ermöglicht damit die Umsetzung neuer Geschäftsmodelle, Betriebskonzepte und intelligente Wartung [8]. Der Schutz der bisherigen Investitionen ist eine Voraussetzung der Industrie, damit die Internettechnologie und die damit verbundenen CPS in die Produktionshallen Einzug erhalten [7].



Bild 1: Eigenschaften von Industrie 4.0

Die Referenzarchitektur für Industrie 4.0, welche vom ZVEI unter dem Namen RAMI 4.0 veröffentlicht wurde, verwendet die IEC 62264 sowie die IEC 61512 Normen, um Hierarchiestufen darzustellen. Ein Unternehmen gliedert sich demnach in Arbeitseinheiten, welche wiederum in Stationen unterteilt werden können. Eine Gliederung bis zum Produkt ist möglich [18].

2.2 Wertschöpfungsnetzwerke

Entsteht ein wertvolles Gut in einem Prozess für den Abnehmer, so bezeichnet der VDI/VDE GMA Fachausschuss 7.21 den Prozess als Wertschöpfungsprozess. Reiht man solche nacheinander an, so bezeichnet man diese Sequenz als Wertschöpfungskette. Werden diese Ketten miteinander verknüpft, so dass Abhängigkeiten und Kopplungen entstehen, werden Wertschöpfungsnetzwerke geschaffen. Produktionsnetzwerke sind Beispiele für Wertschöpfungsnetzwerke [9]. Weltweit entstanden in den vergangenen Jahren Produktionsnetzwerke durch die Verkettung von Standorten sowie die Einbeziehung der Zulieferer. Die ständige Anpassung dieser Netzwerke an die sich immer ändernden Bedingungen ist für Unternehmen essentiell [10]. Gründe für den Zusammenschluss von Unternehmen und/oder Standorten sind beispielsweise ein gemeinsam bearbeiteter Großauftrag oder die Verlagerung von Aufträgen wegen mangelnder Ressourcen (z.B. Fertigungsverfahren) oder mangelndem Know-Hows. Eine Zusammenarbeit ist i. d. R. auf einen längeren Zeitraum ausgelegt und hat den Zweck die Wettbewerbsfähigkeit, aber auch den Austausch von Wissen u. a. für Prozessoptimierungen etc. sowie die Flexibilität zu fördern. Die Organisation solcher Netzwerke und die damit verbundene Produktionsplanung im Sinne von „Wer macht wann was und wo“ wird über den Menschen koordiniert. Die Wertschöpfung

wird in der RAMI 4.0 durch Einbeziehung der IEC 62890 Norm beachtet. Die einzelnen Schichten geben den Aufschluss über die jeweilige Betrachtung [18].

3. Notwendigkeit neuer Planungsverfahren für CPS

Die Planung der Produktion beruht oftmals auf Prognosen und Verkaufsanalysen aus vergangenen Jahren. Die Zuliefer- und Produktionsketten müssen frühzeitig organisiert werden, um die Bereitstellung zum gewünschten Termin zur Weiterverarbeitung bzw. Fertigstellung zu gewährleisten. Zur Unterstützung der Produktionsplanung werden mathematische Modelle, Simulationen und anderen Heuristiken eingesetzt. Dabei wird versucht, die Realität möglichst detailgetreu und in allen erdenklichen Varianten abzubilden, um die Aussagekraft der Planungsergebnisse zu erhöhen. Damit diese unterstützenden Methoden und Werkzeuge funktionieren, muss der Ablaufprozess im Unternehmen erfasst werden. Die Aufnahme der Prozesse im Unternehmen gestaltet sich oft sehr aufwendig und ist teilweise aufgrund mangelnder Transparenz nicht möglich. Auch eine Unterstützung durch rechnergestützte Verfahren trägt nicht zwingend zu einer Verbesserung der Ergebnisse bei. Erschwerend kommt die Tatsache hinzu, dass bei Änderung einer Randbedingung das gesamte Modell verändert bzw. angepasst werden muss. Diese Anpassungen können erst nach Eintreten der Veränderung vorgenommen werden, da sie erst dann bekannt sind [11]. Eine schnelle Reaktion auf technische Störungen sowie Nachfrageschwankungen z.B. durch Verschiebungen oder Anpassungen kann nur schwer umgesetzt werden, da alle beteiligten Prozesse neu eingestellt bzw. geändert werden müssen.

Die fortschreitende Unterteilung der Marktsegmente sowie eine stärkere Orientierung an emotionalen Kaufentscheidungen führen zu einer Erhöhung der Nachfrageschwankungen [5]. Als Folge dessen werden beispielsweise Produkte, welche zurzeit nicht benötigt werden produziert oder dringend benötigte Maschinen sind von anderen Aufträgen belegt. Die Zuweisung von Aufträgen zu anderen vorhandenen und geeigneten Ressourcen zeigt, dass es mehrere Entscheidungen in Echtzeit erfordert [13]. Um auf schnell ändernden Rahmenbedingungen in gewissen Grenzen reagieren zu können, sind Maßnahmen zur Steigerung der Flexibilität sowie Wandlungsfähigkeit beliebt [11].

Im Toyota-Produktionssystem wurde das Fließprinzip eingeführt. Hierbei basieren alle Aktivitäten einer Arbeitsstation auf Kundenbestellungen. Als Kunde ist hier die jeweils nachgelagerte Arbeitsstation gemeint. Es wird nur produziert, wenn der Kunde einen Bedarf meldet [14]. Diese kaskadenförmig aufgebaute Produktionssteuerung beinhaltet u. a. den Einzelstückfluss (One-Pice Flow) sowie dezentrales, selbstorganisierendes Kanban. Vorbild

für Kanban war der Supermarkt. Sobald die benötigten Teile aus dem Regal genommen worden sind, produziert und füllt der vorgelagerte Prozess die Ware wieder auf. Als Kanban bezeichnet man einen einfachen Bestellzettel, welcher Transport-, Produktions-, sowie Entnahmeeinformationen beinhaltet und somit beim vorgelagerten Prozessschritt einen Fertigungsauftrag auslöst und damit eine nachfüllende Produktion (Pull-Prinzip) realisiert [14]. Beim Einzelstückfluss werden die Arbeitsstationen in einer sinnvollen Reihenfolge meist in einer U-Linie angeordnet, damit ein Mitarbeiter beliebig viele Arbeitsstationen bedienen kann. Ein Mitarbeiter ist für eine Linie zuständig und begleitet das Produkt durch die Linie. Unterbrechungen sowie kurzzeitiges puffern der Produkte soll vermieden werden. Produkte werden wie bei Kanban nur auf Bestellung gefertigt [16]. Diese bedarfsgerechte Versorgung der einzelnen Stationen in Produktion auf Basis von minimalen Beständen soll die Durchlaufzeit reduzieren sowie die Schwachstellen der Planung vermeiden.

Mit der Einführung von Industrie 4.0 und der damit einhergehenden weiteren Digitalisierung und weltweiten Vernetzung der Produktion auch über Unternehmensgrenzen hinaus, erfordert eine Anpassung bzw. Neukonstruktion von Verfahren und Methoden zur Planung der Produktionsabläufe sowie der Kapazitätsplanung, da diese in Bezug auf die verteilte Produktion Mängel aufweisen. Diese Mängel betreffen die Berücksichtigung von Unsicherheiten, Komplexität sowie die dynamische Ad-hoc Vernetzung. Zum einen können die Netzwerke sehr groß werden und somit die Aufgabe der Planung (Ablaufplanung und Kapazitätsplanung) unter Einbeziehung aller möglichen Inputs immer komplexer und umfangreicher werden und somit für den Menschen in einer angemessenen Zeit nicht mehr durchführbar ist. Beispielsweise liegen dem Entscheider nicht alle relevanten Informationen über alle in Betracht kommenden automatisierten Systeme vor. Industrie 4.0 konforme Systeme besitzen die Eigenschaft spontan in einem Wertschöpfungsnetz teilzunehmen oder sich spontan wieder abzumelden. Dies erschwert beziehungsweise verzögert die Planung und bisherige Ansätze sind somit nur sehr bedingt geeignet, da zusätzliche Informationsbeschaffungs- und Abstimmprozesse erforderlich sind und oftmals nicht alle Informationen vorhanden sind. Auf der anderen Seite verändert Industrie 4.0 den Ablauf, denn das Produkt kennt nicht nur seinen Bauplan mit der dafür erforderlichen Kombination aus automatisierten Systemen, es steuert sich auch selbstständig durch die Produktion [8].

Die Anforderungen der Kunden und die sich daraus ergebenden Produktionsprozessabläufe müssen zur automatischen Verarbeitung in die Sprache der Maschinen und Anlagen überführt werden. Dies kann mit Hilfe von Formalisierungen geschehen. Eine vorgefertigte

Eingabemaske wie sie z.B. in Konfiguratoren zum Einsatz kommt ist eine Möglichkeit. Hierbei kann der Kunde die zur Verfügung gestellten Varianten einer Komponente auswählen und diese mit den anderen kombinieren. Das Produkt kann somit in vorgegebenen Grenzen individuell zusammengestellt werden. Die Produktionsprozesse werden über vorkonfigurierte Schablonen definiert, die jedoch noch zu einem Gesamtablauf zusammengefasst werden müssen. Die Computerindustrie sowie die Automobilindustrie bieten diese Art der Individualisierung für ihrer Produkte an. Viele Kunden legen bei ihren Anforderungen nicht nur Vorgaben für neue Zusatzfunktionen, die geometrische Form, die Dimensionen, das Material, die Qualitätsgüte fest, sondern fordern auch über das Produkt hinausgehende Faktoren. Der gewünschter Liefertermin /-Ort sowie ihr maximaler Preis sind vielen Kunden heute schon wichtig. Brauckmann [17] berichtet, dass in Zukunft beispielsweise eine Zertifizierung nach ISO 9001 des Unternehmens, sowie ein detaillierte Produktionsdokumentation, eine Erstbemusterung, Wertstoffanalysen für jedes Produkt, eine anteilige Fertigung des Produktes in Europa, das Akzeptieren der Zahlungsbedingungen hinzu kommen können. Auch Anforderungen wie Energieeinsparung, Nachhaltigkeit und Recycling werden zunehmen.

4. Vorstellung des Konzepts

Das entwickelte Konzept zur dynamischen Produktionsplanung setzt hierbei die Anforderungen des Kunden im Umfeld von Industrie 4.0 voraus, welche bereits formalisiert sind. Das Konzept besteht aus fünf Schritten. Auf der Basis der Anforderungen werden im ersten Planungsschritt geeignete automatisierte Systeme im aktuellen Wertschöpfungsnetz identifiziert, welche das Fähigkeitsprofil für einen oder mehrere Prozessschritte erfüllen. Zudem kommen weitere Kriterien für die automatisierten Systeme für den Abgleich mit den Anforderungen sowie zur Optimierung der Planung in Betracht: Die Genauigkeiten und Toleranzen, die Bauraumgröße, das Fertigungsverfahren, die Bearbeitungsgeschwindigkeit /-dauer, die Betriebskosten, der CO₂ Ausstoß sowie Standortinformationen etc..

Aussortiert wird, wenn das System beispielsweise:

- eine oder mehrere Kriterien des Kunden nicht erfüllt,
- aufgrund eines Defekts oder einer Wartung nicht einsatzfähig ist,
- bereits mit der Bearbeitung anderer Aufträge ausgelastet ist,
- den Liefertermin aufgrund zu großer Entfernungen nicht einhalten kann
- zu teure Fertigungsverfahren anbietet
- die Qualität der Fertigung anzweifelt, da die Zertifikatsstufe unzureichend ist
- ...

Die Bildung von geeigneten, möglichen Kombinationen aus der identifizierten Menge von automatisierten Systemen ist der zweite Schritt des Konzepts. In Bild 2 sind mögliche Arten der Übereinstimmung von Anforderungen (Kundenauftrag) mit dem Fähigkeitsprofil des automatisierten Systems dargestellt. Die erste Fallunterscheidung findet keine Übereinstimmung. Hier entspricht das Anforderungsprofil des Kunden nicht mit dem Fähigkeitsprofil überein. Eine teilweise Übereinstimmung tritt auf, wenn sich beide Profile überlappen. Dies bedeutet, dass einzelne Prozessschritte mit der betrachtenden Kombination durchführbar sind. Nur wenn die Fähigkeiten größer oder gleich den Anforderungen der Kunden sind und sich diese voll überschneiden, spricht man von einer Übereinstimmung, und damit von einer geeigneten Kombination.

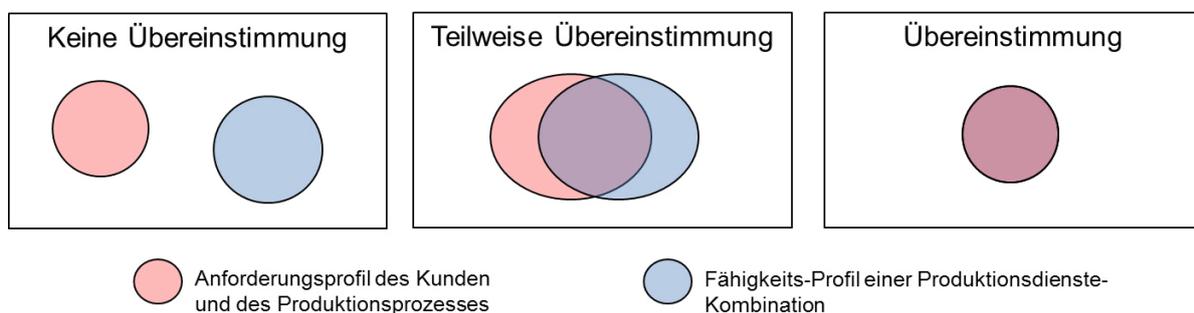


Bild 2: Übereinstimmung der Anforderungen der Kunden mit den angebotenen Diensten

Eine dynamische für jeden Zeitpunkt und Auftrag individuelle Bewertung aller Kombinationen soll als Schritt drei durchgeführt werden, um eine Vergleichbarkeit unter den einzelnen Kombinationen sicherzustellen. Mithilfe eines Modells (siehe Bild 3) können die Fähigkeiten eines CPS formalisiert werden. Dieses einheitliche Schema erlaubt es, die Profile miteinander zu vergleichen. In Anlehnung an eine Nutzwertanalyse können Anforderungen gewichtet werden. Hierbei können auch Wahrscheinlichkeiten zur Einbeziehung der Unsicherheiten aufgrund von Informationsmängeln oder möglichen Ausfällen von automatisierten Systemen einbezogen werden.

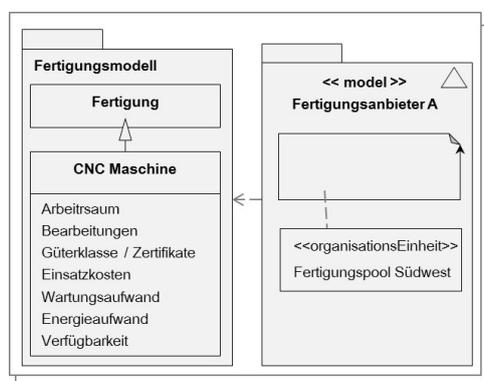


Bild 3: Formalisierung von Fähigkeiten eines CPS

Der vierte Schritt ist die Auswahl einer Kombination. Diese Kombination wird nun beauftragt den Kundenauftrag gemäß den Anforderungen des Kunden zu fertigen. Schritt fünf wird erst bei Ausfall eines automatisierten Systems oder der Neuplanung durchgeführt. Es wird automatisch ein vergleichbares automatisiertes System ausgewählt und in die Kombination eingefügt und mit den notwendigen Informationen versorgt. Der fünfte Schritt wird nur dann ausgeführt, wenn ein automatisiertes System unerwartet ausfällt und eine Umplanung stattfinden muss. Dann wird das betroffene System durch ein ähnliches funktionsfähiges und zur Verfügung stehendes System ersetzt werden.

Einen Ort an dem sich das Angebot (automatisierte Systeme) und die Nachfrage (Kundenwünsche) treffen, kann ein von Weyrich et al. in [15] eingeführter Marktplatz sein. Auf einem zentral verwalteten virtuellen Marktplatz können die einzelnen individuellen Aufträge sowie die Anlagen miteinander kommunizieren. Ein Broker auf dem Marktplatz vermittelt die Aufträge an die einzelnen automatisierten Systeme und übernimmt somit die oben aufgeführten Planungsschritte.

Der Marktplatz wird in Form eines „eProduction-Systems“ realisiert. Es stellt eine Handelsplattform dar. Übergeordnet können die Informationen aller Teilnehmer des Produktionsnetzwerkes verarbeitet werden und es bildet die Schnittstelle zwischen den Kundenaufträgen (Anforderungen der Kunden) und den Fähigkeiten (Leistungsspektrum) der Anlagen. Diese Plattform ist in der Lage die Anforderungen der Kunden mit den Fähigkeiten der Anlagen zu mappen.

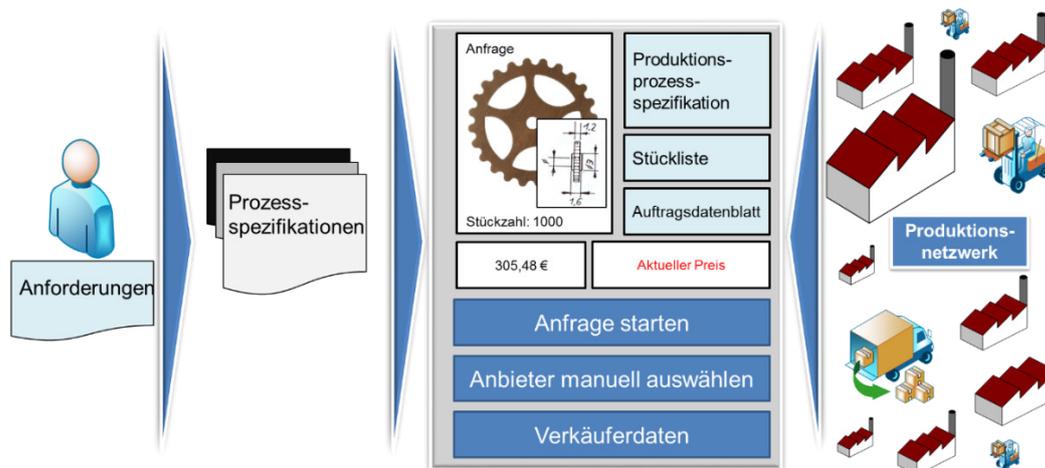


Bild 3: Konzept des „eProduction-System“

Bei dieser Vorgehensweise bindet das System sehr viele Ressourcen, um den Plan zu erstellen. Es kann somit theoretisch das globale Optimum erreicht werden, wird es in der

Praxis aber kaum erreichen, da die zugrunde liegenden Annahmen schon veraltet sein können. Eine a priori Planung ist nicht in der Lage situationsbedingt und schnell zu reagieren. Deshalb kann eine iterative (schrittweise) Planung angewendet werden. Diese wird nur ein lokales Optimum erreichen, die erzielbaren Ergebnisse können dennoch zufriedenstellend sein. Die Betrachtungszeiträume sind kurz und ermöglichen eine kurzfristige Anpassung an veränderte Situationen [11]. Diese Arbeiten zeigen auch, dass der Planungsaufwand und die damit verbundenen Kosten reduziert werden können.

5. Demonstrationsanlage: Verteilte LEGO-Auto-Fabrik

Am Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik der Universität Stuttgart wurde ein Demonstrator in Form einer Lego-Fahrzeug-Produktionsanlage entwickelt (siehe Bild 5). Mithilfe von drei Produktionsstationen, einem Transportsystem sowie einer Produkt-Eingabestation (Startstation) können verschiedene Varianten von Lego-Fahrzeugen produziert werden.

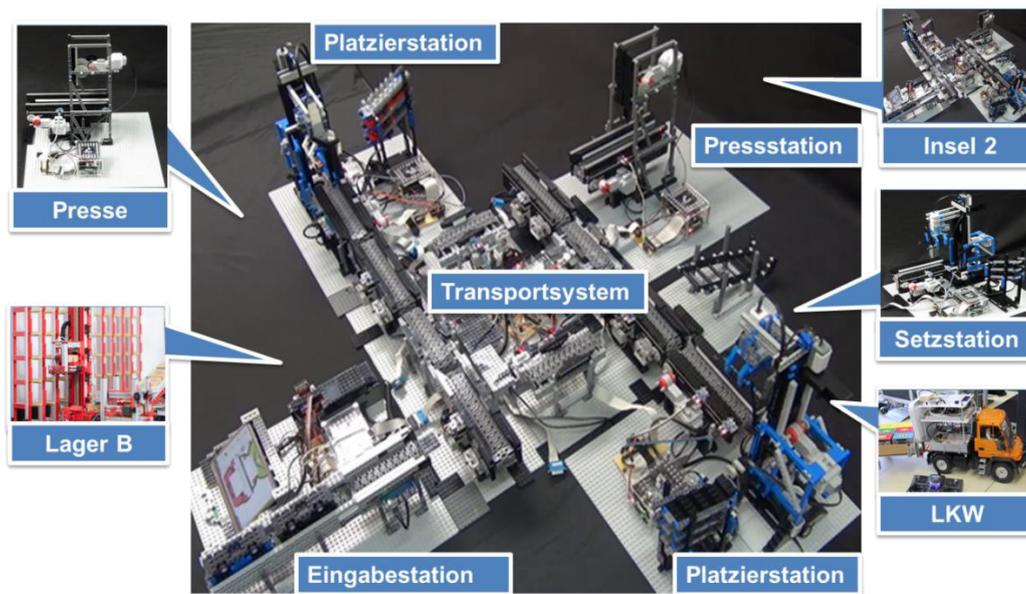


Bild 5: IAS-Demonstrator: Verteilte LEGO-Auto-Fabrik

An der Eingabestation ist es möglich ein Fahrzeug individuell zu gestalten. Mithilfe einer Benutzerschnittstelle kann der Mensch (Kunde) sein individuelles Fahrzeug zusammenstellen. Die Dimensionen Länge und Breite des Fahrzeugs sind durch die Maße der verwendeten Grundplatte vorgegeben. An dieser Grundplatte sind die Räder bereits vormontiert. Die Grundplatte wird auf einem Ladungsträger in die Anlage eingesteuert. Hierbei besitzt jeder Ladungsträger einen RFID Chip, um ihn eindeutig einem Auftrag zuordnen zu können. Dieser

Chip wird bei Produktionsstart beschrieben und jede Station liest ihn vor der Bearbeitung aus, um sicherzugehen, das richtige Produkt zu bearbeiten.

Zwei Produktionsstationen sind als Platzierstation (Setzstationen) realisiert. Hier werden aus einem Magazin Steine von einem Roboter genommen, um diese auf der Grundplatte in eine Reihe zu setzen. Sie unterscheiden sich nur durch unterschiedliche Legosteine in den Magazinen. Anschließend wird das Produkt zu einer Presse transportiert, auf dieser die gesetzte Reihe der Steine fixiert werden. Die Produktion läuft solange ab, bis alle Steine gesetzt und fixiert sind. Nach Abschluss der Produktion wird das fertige Auto an der Ausgabestation dem Kunden übergeben. Diese Stationen können bei Inaktivität an eine andere Position im System angesteckt werden, ohne dass Einstellungen in der Software geändert werden müssen.

Um eine dezentrale Steuerung der Anlage zu realisieren, wurde das Gesamtsystem mit Hilfe des Paradigma der Softwareagenten¹ in einzelne autonome Einheiten zerlegt. Eine Einheit ist hierbei eine Station, welche jeweils mit einem eigenen Raspberry Pi und einem Brick Pi ausgestattet wurde. Auf jeder dieser Mini-Rechner ist ein sogenannter Agent implementiert, welcher die zugehörige Produktionsstation steuert und in Interaktion mit den anderen Einheiten der Produktionsanlage steht. Jeder Auftrag wird ebenfalls durch einen Agenten vertreten. Dieser erhält den Bauplan und steuert den Produktionsprozess. Nach jedem Bearbeitungsschritt wird der nächste geplant und anschließend umgesetzt.

Das Transportsystem (Transportstation) besteht derzeit aus vier starren Förderbändern, welche in Form eines Quadrats angeordnet sind. An den Ecken befindet sich jeweils ein Drehtisch, auf diesem sich ebenfalls je ein Förderband befindet. Den drehbaren Förderbändern stellen nicht nur die Verbindung mit den anderen Förderbändern her, sondern sind auch Anknüpfungspunkte für die Produktionsstationen.

¹ Ein Agent ist ein dynamisches und gekapseltes Modul, welches mit anderen Agenten autonom in seiner Umgebung interagieren kann. Es vertritt selbstständig definierte Ziele und kann auf Umwelteinflüsse reagieren. (Eine Einführung in das Thema der Softwareagenten bietet der Sonderdruck der atp aus dem Jahr 2003-04)

In diese Anlage wurde ein einfacher Marktplatz implementiert. Die Auftragsbearbeitung der Anlage erfolgt aktuell nach dem First-In-First-Out (FIFO)-Prinzip. Die Produktionsstationen unterscheiden sich nur in Form von unterschiedlichen Legosteinen in den Magazinen.

6. Ausblick

Zurzeit wird der Demonstrator um ein intelligentes Scheduling der Produktion ergänzt. Somit wird es möglich sein, Aufträge zu priorisieren. Hierbei wird jede Station eine Bearbeitungsliste erhalten, auf dieser sich die einzelnen Aufträge an der jeweiligen Station „anmelden“ können. Aufträge mit einer höheren Priorität können sich weiter oben einreihen und werden dann bevorzugt bearbeitet. Die Schwierigkeit der bestehenden Anlage liegt darin, dass es sogenannte „Überholvorgänge“ der Ladungsträger geben muss, um eine bevorzugte Bearbeitung einzelner Aufträge zu realisieren. Diese Aufgabe wird dem Transportsystem zugewiesen. Es wird durch geschicktes steuern der Ladungsträger ein Überholen ermöglichen. Lange Transportzeiten können durch „parken“ der Ladungsträger auf einem nicht aktiven Förderbands vermieden werden. Alternativ dazu wird eine neue Station in Form eines Hochregallagers entwickelt, um nicht genützte Ladungsträger zu lagern, unfertige Erzeugnisse kurzzeitig zwischen zu speichern damit die Anzahl der auf dem Transportsystem befindenden Ladungsträgern möglichst gering gehalten wird.

Das „eProduction-System“ soll in Zukunft mithilfe einer Simulation vergrößert werden. Es soll ein Produktionsnetzwerk abgebildet werden. Aus diesem Grund sollen neue virtuelle Maschinen integriert werden, welche auch ihre Fähigkeiten (Lagern, Transport, Bearbeitung, Veredelung etc.) anbieten sollen. Des Weiteren soll ein Mechanismus implementiert werden, welcher Know-How-Schutz der Produzenten berücksichtigt.

Literatur

- [1] Kluck, D.: Materialwirtschaft und Logistik: Lehrbuch mit Beispielen und Kontrollfragen, 3. Auflage, Schäffer-Poeschel Verlag für Wirtschaft Steuern Recht GmbH, Stuttgart, 2008. S.26.
- [2] Wirth, S.: Individuelle Massenware kommt aus dem Internet, 29.09.2009, online aufrufbar unter: <http://www.welt.de/wirtschaft/article4625748/Individuelle-Massenware-kommt-aus-dem-Internet.html>, letzter Zugriff am 19.03.2015.
- [3] Bauernhansl, T., Hompel, M. ten, Vogel-Heuser, B.: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung - Technologien – Migration, 1 Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2014.
- [4] Diez, W.: Mega-Trends in der Automobilindustrie; In: Top Career Guide Automotive 2007, Eckelt, Wolfgang K. (Hrsg.), Stuttgart, 2007. S. 30ff.
- [5] Flörecke, K.-D.: Erfindergeist mit Risiken, In: Automobilwoche 15, 16.07.2007, S. 25.
- [6] Lee, E. A.: Cyber physical systems: Design challenges. In: Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), 2008 11th IEEE International Symposium on. IEEE, 2008, S. 363-369.
- [7] Drath, R.: Industrie 4.0–eine Einführung, In: open automation 3/ 2014, 2014, S.18ff.
- [8] acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V.: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 - Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft, 2013, S.18ff.
- [9] VDI Nachrichten: Industrie 4.0 – Das Glossar der VDI Nachrichten, 21.11.2014, online aufrufbar unter: <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Wirtschaft/Industrie-40-Das-Glossar-VDI-nachrichten>, letzter Zugriff am 19.03.2015.
- [10] Bullinger, H.-J., Spath, D., Warnecke, H.-J., Westkämper, E.: Handbuch Unternehmensorganisation: Strategien, Planung, Umsetzung, 3., neu bearbeitete Auflage, Springer, Berlin, 2009.
- [11] Brecher, C.: Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer, Springer, Berlin/Heidelberg, 2011, S. 748ff., S. 790ff. und 968ff..
- [12] Gupta, Y. P., Evans, G. W., Gupta, M. C.: A review of multi-criterion approaches to FMS scheduling problems. International Journal of Production Economics, 22(1), 1991, S. 13-31.
- [13] Reddy, K., Xie, N., Subramaniam, V.: Dynamic Scheduling of Flexible Manufacturing Systems, online aufrufbar unter: <http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/3903>, letzter Zugriff am 19.03.2015.
- [14] Ohno, T.: Das Toyota Produktionssystem, Campus Verlag, Frankfurt/Main, 1993, S.54 ff..
- [15] Weyrich, M., Göhner, P., Diedrich, C., Fay, A., Wollschlaeger, M., Kowalewski, S., Vogel-Heuser, B.: Flexibles Management einer dezentralen Automatisierungs-verbundanlage als Beispiel für Industrie 4.0: Aspekte der Systemmodellierung und dezentralen Architektur, Automation 2014, Baden-Baden, 2014.
- [16] Takeda, H.: Das Synchrone Produktionssystem: Just-in-Time für das ganze Unternehmen, 5. Auflage, mi Fachverlag, 2006, S.43ff..
- [17] Brauckmann, O.: Smart Product: Wertschöpfung durch Geschäftsmodelle, Springer, Berlin, Heidelberg, 2015, S.2ff..
- [18] ZVEI: Wichtige Etappenziele bei Industrie 4.0 erreicht, Presseinformation von 12.03.2015, online aufrufbar unter: <http://www.zvei.org/Presse/Presseinformationen/Seiten/Wichtige-Etappenziele-bei-Industrie-40-erreicht.aspx>, letzter Zugriff am 20.03.2015.