

## Horizontale und vertikale Integration in der Kundeneinzelfertigung

Nils KROEMER, Hans-Peter KASPARICK

*Siemens AG, Digital Factory, Werk für Kombinationstechnik Chemnitz  
Clemens-Winkler-Str. 3, D-09116 Chemnitz*

**Kurzfassung:** Aus der Perspektive eines industriellen Engineering- und Produktionsdienstleisters stellt die digitale Vernetzung mit Kunden und Lieferanten einen wesentlichen Wettbewerbsvorteil dar. Kern dieses als horizontale Integration bezeichneten Prozesses ist der sog. Digitale Zwilling (Digital Twin). Aus diesem virtuellen Abbild des zu liefernden Erzeugnisses werden sämtliche technologischen, kapazitätsrelevanten sowie kommerziellen Informationen abgeleitet. Damit stellt der Digitale Zwilling das Koppelglied zwischen der Interaktion in der Lieferkette und eigenem Herstellprozess dar. Der Herstellprozess kann somit als Transformation des Digitalen Zwillings in das physische Produkt verstanden werden. Dieser Prozess wird hier als vertikale Integration bezeichnet.

**Schlüsselwörter:** Digitaler Zwilling, Horizontale und vertikale Integration, Kundeneinzelfertigung

### 1. Einleitung

„Die Digitalisierung verändert alles.“ Diese ausgesprochen prägnante Botschaft geht davon aus, dass sich eine ähnlich rasante Entwicklung wie bei den Kommunikationstechnologien der letzten Jahre auch in der klassischen industriellen Wertschöpfung vollziehen wird. Dabei ist die Digitalisierung überhaupt nicht neu. Spätestens seit den 1970er Jahren bildet sie die Basis sämtlicher IT-Verfahren sowie der Automatisierungstechnik in den produzierenden Betrieben. Das neue Innovationspotential resultiert aus der enorm gestiegenen Fähigkeit, selbst größte Datenmengen in Echtzeit zu erfassen, zu speichern und zu verarbeiten, sowie aus der Vernetzung nahezu sämtlicher Systemkomponenten.

Die Klassifizierung von „Wissen“ über die Wertschöpfungsprozesse und der automatisierte Zugriff auf relevante digitale Daten sind aus der Perspektive von Unternehmen der diskreten Fertigungsindustrie entscheidende Voraussetzungen für eine wirksame Steigerung des Kundenwertes: Kürzere Lieferzeiten und individuelle Produktmerkmale bei gleichzeitig niedrigen Kosten. Der Begriff Digitalisierung in seiner aktuellen Form ist somit vor allem als die logische Fortsetzung der Automatisierung von Organisations-, Entwicklungs- und Produktionsprozessen zu verstehen. Für industrielle Dienstleister, welche in aller Regel Einzelaufträge bearbeiten, bildet die Vernetzung mit den Designprozessen des Kunden einen ganz wesentlichen Schwerpunkt. Auf diesem Feld ist auch das Siemens-Werk für Kombinationstechnik in Chemnitz (WKC) tätig.

Der vorliegende Beitrag beschreibt beispielhaft den Status Quo sowie aktuelle Ansätze zur beschleunigten Nutzung der Digitalisierungspotentiale aus der Perspektive eines Anbieters von industriellen Engineering- und Produktionsdienstleistungen.

## 2. Von der Produktions- zur Marktzentrierung

Die Digitalisierung wird derzeit gleichermaßen von Anbietern und Bedarfsträgern getrieben: Die Motivation auf der Seite Anwender besteht dabei vor allem in der Steigerung der Produktivität. Konsequenterweise werden in der Regel die klassischen KPIs, wie Durchlaufzeit und Wertschöpfungskosten (Personaleinsatz und Kapitalbindung), als Maßstab der Wirksamkeit von Digitalisierungsprojekten angewandt. Flankiert wird dies durch die zunehmende Prozesstransparenz auf Basis nahezu unbegrenzter Möglichkeiten zur Echtzeiterfassung von Zustandsdaten und deren allumfassender Visualisierung. Insofern erscheint der aktuelle Fokus der Digitalisierung vor allem als weitere Perfektionierung der etablierten Produktionssysteme in den Unternehmen – d.h., die tradierte Produktionszentrierung bleibt bestehen.

Andererseits wird mit dem neuen Zeitalter der Digitalisierung auch ein fundamentaler Wandel auf der Nachfrageseite assoziiert. Kundenwert wird seit jeher durch die Kategorien Qualität (Funktionalität), Zeit (schnelle Verfügbarkeit) und Kosten (Preis) dargestellt (bei Investitionsgütern und individuellen Dienstleistungen spielt zudem der Faktor persönliches Vertrauen eine entscheidende Rolle). Daher wurde als der eigentliche grundlegende Treiber von Industrie 4.0 auch der Dreiklang aus immer kürzer werden Lieferzeiten von kundenindividuellen Produkten (bzw. Dienstleistungen) zu Preisen von Standardprodukten beschrieben. Der Industrie 4.0 - Begriff ging also a priori von einer signifikanten Verschiebung hin zu einer nichtdeterministischen Nachfrage aus (Kroemer, Kasparick 2013). Damit werden jedoch die Voraussetzungen für die bestehende Lehrmeinung zur optimalen Gestaltung von Produktionssystemen, nämlich die Verstetigung des Outputs sowie die Vermeidung von Überlastung der Ressourcen, zunehmend obsolet (es sei hier lediglich auf die bekannten 3M-Elemente des Toyota-Produktionssystems, Mura (Unausgeglichenheit), Muri (Überbeanspruchung) und Muda (Verschwendung), verwiesen).

Die naheliegende Reaktion auf Veränderungen der Nachfrageseite ist die bessere Vernetzung aller Beteiligten in den Supply Chains, und zwar hinsichtlich sowohl kommerzieller bzw. logistischer Informationen als auch technischer Inhalte. Die permanente Vernetzung von Kunden, Herstellern und Lieferanten ist naturgemäß von großer Bedeutung für Unternehmen, welche einzelne Aufträge nach Kundenvorgabe bearbeiten. Sie wird im Folgenden als horizontale Integration bezeichnet und stellt ein charakteristisches Merkmal für kundenzentrierte Unternehmensprozesse dar. Hier bestehen besondere Anforderungen an die Interaktionsfähigkeit von ERP- und Engineering-Systemen. Zweifellos nimmt damit zugleich die Systemkomplexität zu. Dennoch bietet die stärkere Ausprägung der Kundenzentrierung auch Wettbewerbsvorteile für Firmen, welche Standardprodukte in den typischen Investitionsgüterbranchen herstellen, vor allem dann, wenn diese Produkte kundenseitig in nichtvorhersagbarer Varianz konfigurierbar sind und die Liefertermine durch die Kunden bestimmt werden.

Eine weitere Facette der Kundenorientierung besteht darin, dass Unternehmen zunehmend komplexe Systemlösungen anstelle einzelner Produkte anbieten, inkl. der Anwendungstechnologien bis hin zu Software-App's für den Anlagenbetrieb. Damit entstehen zugleich neue Geschäftsmodelle.

### 3. Der digitale Zwilling – Koppelglied zwischen horizontaler und vertikaler Integration

Bei Siemens in Chemnitz werden elektrische Ausrüstungen – vereinfacht: Schaltschränke – für den Maschinen- und Anlagenbau projiziert (Co-Engineering) und gefertigt. Die Varianz ist ausgesprochen hoch. Der jährliche Output liegt bei mehr als 30.000 Schaltschrankfeldern nach Kundenvorgabe, die Anzahl der individuellen Fertigungsaufträge ist >10.000. Dabei überwiegt der Anteil des Projektgeschäftes, was zu signifikanten Nachfrage-Schwankungen führt. Es liegt auf der Hand, dass hier die horizontale Integration von essentieller Bedeutung für den Geschäftserfolg ist. Gleichzeitig geht es aber auch darum, die Kundenanforderungen aufwandsarm und fehlerfrei in die eigene Fertigungswelt zu übersetzen. Dieser Prozess soll hier als vertikale Integration bezeichnet werden.

Die Digitalisierung hat somit mehrere Dimensionen:

- Vollständige (horizontale) Vernetzung der ERP- und Engineerings-Systeme zwischen Kunden, Hersteller und Vorlieferanten
- Konsistenz und Verfügbarkeit sämtlicher relevanter kommerzieller, logistischer und technischer Informationen (Echtzeit)
- Automatische Erzeugung und Zuweisung der für den jeweiligen Wertschöpfungsschritt tatsächlich relevanten Informationen (horizontal und vertikal)
- Automatische Ressourcenallokation (dto.)
- Weitgehende Automatisierung der physischen Logistik- und Produktionsprozesse, inkl. Supportoperationen

Es geht also um nicht mehr oder weniger als die vollständige Durchgängigkeit der digitalen Datenverarbeitung sowie deren Nutzung für die Herstellung der physischen Produkte, im konkreten Falle von Schaltschränken. Die Koppelstelle zwischen der horizontalen und vertikalen Integration bildet das virtuelle Abbild des zu fertigenden Produktes, der sog. Digitale Zwilling oder Digital Twin. Prinzipiell enthält der Digitale Zwilling drei Kategorien an Informationen: Design, Prozess und Ressource.

Die Designinformationen beinhalten in Form digitaler Datensätze die Vorgaben des Kunden und beschreiben eindeutig die Funktionalität des zu liefernden Produktes. Die Prozessinformationen beschreiben anhand des sog. Beziehungswissens den Fertigungsprozess qualitativ und technologisch. Die Ressourcen-Informationen dienen der zeitlichen und kommerziellen Steuerung der Wertschöpfung.

Aktuelle Forschungsarbeiten zielen darauf, alle drei Kategorien des Digitalen Zwillings zu automatisieren. Letztlich soll sich das Produkt selbständig den Weg durch eine hochvariable und automatisierte Fertigung suchen.

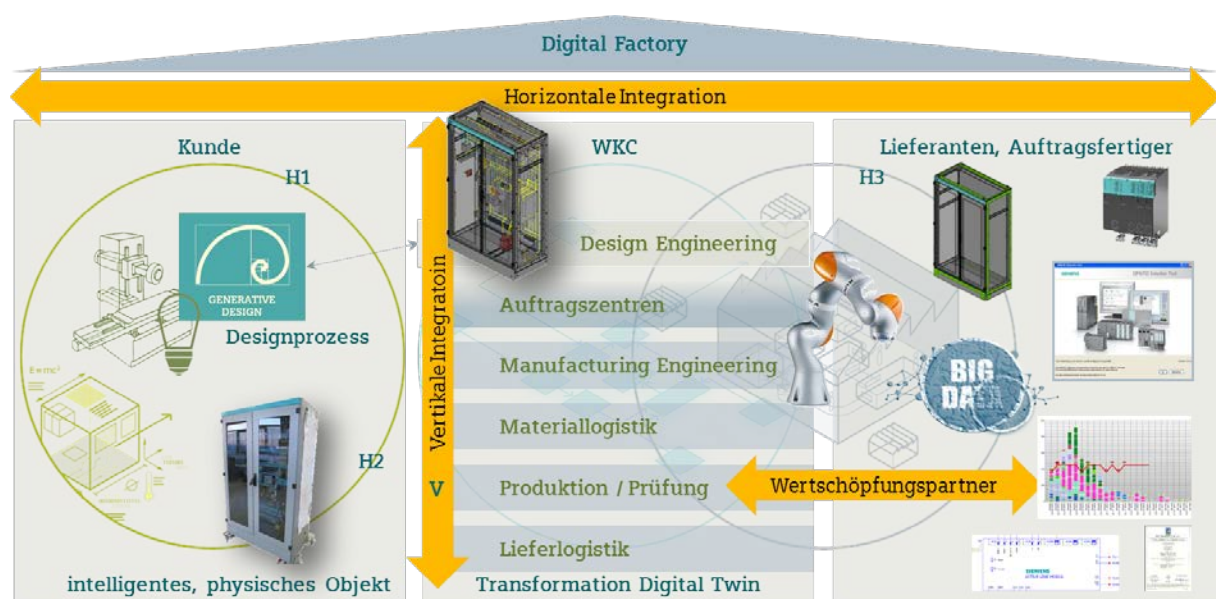
Abbildung 1 veranschaulicht die Koppelfunktion des Digitalen Zwillings in abstrahierter Form. Für das Schaltschrankgeschäft, welches exemplarisch auch für andere Industrie-Dienstleistungen gesehen werden kann, lässt sich die horizontale Integration in drei verallgemeinerbare Teilprozesse gliedern:

- Gemeinsamer Engineering- bzw. Designabstimmungsprozess zwischen Kunden und Hersteller: In diesem Prozessabschnitt entsteht der Digital Twin als ein mehr oder weniger vollständiger virtueller Prototyp. Die digitale Vernetzung zwischen Kunden- und Hersteller ermöglicht u.a. die simultane

Nutzung standardisierter Datensätze, Simulationsverfahren und Visualisierungstools. Der virtuelle Prototyp enthält die erforderlichen funktionalen Informationen zum Aufbau des physischen Objektes und dient z.B. auch zur Erteilung von Fertigungsfreigaben oder zur Einbindung in übergeordnete Engineering-Prozesse (Oberbaugruppen).

- Anbindung von (Komponenten-)Lieferanten: Hier gibt es zwei essentielle digitale Interaktionsebenen: Erstens die Bereitstellung von CAD-gerechten Datensätzen zu den infrage kommenden Materialien und zweitens die Einbindung in den digitalen Informationsfluss. Im Grunde handelt es sich um die gleiche Form der digitalen Vernetzung zwischen zwei Unternehmen wie im vorhergehenden Anstrich.
- Anreicherung des realen physischen Objektes mit Daten, welche aus der Kundensicht einen zusätzlichen Nutzen darstellen können. Hierzu zählen u.a. die digitale Produktdokumentation nach Normvorgaben, Tracking und Tracing-Daten zu den verbauten Materialien, Simulations-, Änderungs- und Inbetriebnahme-Daten, digitale Montagehinweise, Serviceinformationen etc.

Die eigentliche Montage eines elektrischen Steuer- und Antriebsschranks kann systemtechnisch als Transformation des Digitalen Zwilling in ein physisches Objekt verstanden werden (vertikaler Zweig in Abb. 1). Da der Digitale Zwillling sämtliche technischen Daten enthält, lassen sich daraus die technologischen Operationen, z.B. Maschinen- und Roboterprogramme, Visualisierung von Montageinhalten usw., vollständig ableiten. Damit verbunden sind die zugehörigen Zeitinformationen für die digitalen Arbeitspläne, welche ihrerseits die Eingangsdaten für die automatische Kapazitätsplanung, Ressourcenallokation und letztlich auch die Kostenkalkulation bilden. Der letzte Punkt wird häufig unterschätzt, ist aber für kurze Angebots- und Bestellfristen essentiell. Schließlich werden Kunden nur bereit sein, einen Auftrag auszulösen, wenn auch ein verbindlicher Preis gebildet worden ist.



**Abbildung 1:** Prinzip der horizontalen und vertikalen Integration am Beispiel Schaltschrank-Engineering und -Montage

Aus dem Digitalen Zwilling lässt sich noch eine Vielzahl weiterer Informationen ableiten, welche als Eingangsdaten für diverse Simulations-Tools dienen, z.B. zur Optimierung der Ergonomie an manuellen Arbeitsplätzen bis hin zum fluktuierenden Energiebedarf einer Fabrik. In einer durchgängigen digitalen Produktionsphilosophie ist der Digitale Zwilling also weit mehr als nur ein 3D-Abbild in einem CAD-System.

#### 4. Wo stehen wir heute?

Obwohl die Einschätzung des Wandels von der Produktions- zur Marktzentrierung mittlerweile von vielen Unternehmen geteilt wird, vollzieht sich diese Veränderung in einem großen Teil der Firmen nur sehr langsam. Eine wesentliche Ursache besteht darin, dass die nichtdeterministische Nachfrage nach kundenindividuellen Produkten bei Investitionsgütern bisher nur einzelne Branchen betrifft.

In der Praxis finden sich bis heute kaum Beispiele für unternehmensübergreifende durchgängig digitale Wertschöpfungsketten. Für den horizontalen Teilprozess von der Kundenanforderung bis zur Erstellung des Digitalen Zwillings gibt es zwar diverse Engineering-Tools, allerdings stellt die Vernetzung im Sinne konsistenter Tool-übergreifend nutzbarer Daten die Ausnahme dar. Die Gründe reichen von unterschiedlichen Datenformaten über abweichende Nutzungstiefen bei den CAD-Tools bis hin zu Know How – Schutz bzw. Aspekten der Datensicherheit (oder auch der Netzperformance). Lieferanten von Komponenten fürchten zudem die immer bessere Vergleichbarkeit ihrer Erzeugnisse infolge einer breiten standardisierten Bereitstellung von Produktdaten und agieren entsprechend defensiv.

Die eigentlichen Bedarfsträger befinden sich damit häufig in der Situation, hier einen eigenen Digitalisierungspfad zu wählen. Im WKC führte dies zu einer Reihe proprietärer SW-Anwendungen oder zumindest IT-Schnittstellen für den dedizierten Datenaustausch. In diesem speziellen Kontext entstanden zugleich ausgesprochen innovative Ansätze, z.B. neue Engineering-Verfahren auf Basis von funktionalen Beschreibungen der elektrischen Ausrüstung. Die Ergebnisse sind durchaus überzeugend. In den letzten fünf Jahren konnte der Zeitaufwand für Kundenaufträge im Engineering sowie in der technologischen Arbeitsvorbereitung um Werte zwischen 30 und 50% gesenkt werden.

Darüber hinaus gibt es im WKC-Engineering neue Ansätze, welche weitere signifikante Zeiteinsparungen bei gleichzeitig verbesserter Qualität erwarten lassen. Hierzu zählen spezifische Big-Data-Anwendungen auf Basis sämtlicher Vorgänger-

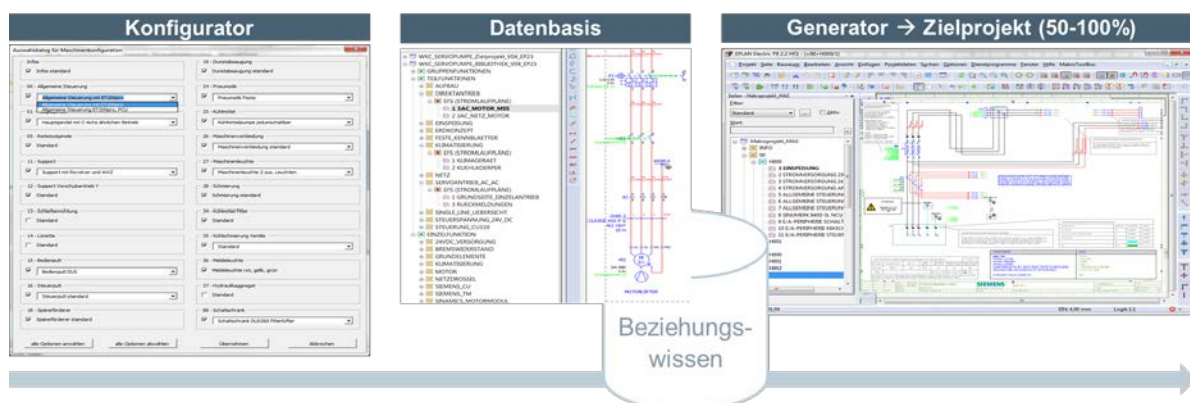


Abbildung 2: Modulares Engineering

aufträge sowie interaktive Tools zur graphischen Unterstützung von Online-Designs. Diese Verfahren basieren ebenfalls auf proprietären Entwicklungen. Kommerzielle Lösungen sind bis heute nicht verfügbar und – nach Einschätzung der Autoren – für die kommenden Jahre kaum zu erwarten.

Auch in der vertikalen Integration stehen Firmen mit kleinen Stückzahlen und großer nichtdeterministischer Varianz vor dem Problem, bei den Automatisierungsanbietern hinreichend geeignete technologische Lösungen zu finden. Beispielsweise fehlen die Schnittstellen, um unterschiedliche Fertigungsaufträge voll automatisiert in beliebigen Sequenzen zu bearbeiten. Daher war WKC auch hier gefordert, eigene Lösungsansätze zu entwickeln, um die Digitalisierung voranzutreiben. Die Fortschritte beim Einsatz von Automatisierungstechnik in der Produktion mögen im Vergleich zu Serienfabriken gering anmuten, aber die Ausrichtung hin zu wirklich flexiblen Automatisierungssystemen trägt ein hohes Innovationspotential in sich. Ein Beispiel hierfür sind erste Roboteranwendungen, welche direkt aus einem CAD-System heraus programmiert werden und somit unterschiedliche, nicht a priori beschriebene Montageoperationen durchführen können. Roboter sollen damit in absehbarer Zeit auch für Produktionen mit typischer Losgröße 1 wirtschaftlich einsetzbar werden.

## 5. Zusammenfassung

Für industrielle Engineering- und Produktionsdienstleister, welche typischerweise in kleinen Losgrößen und bei nichtdeterministischer Varianz arbeiten, wird die durchgängige digitale Vernetzung mit Kunden und Zulieferern zu einem entscheidenden Wettbewerbsfaktor. Der Prozess der sog. horizontalen Integration erlaubt den Echtzeit-Austausch von technologischen, logistischen und kommerziellen Informationen. Gleichzeitig besteht die Aufgabe, auf Basis dieser Informationen sämtliche relevanten Prozesse für die eigene Wertschöpfung weitgehend automatisch zu steuern (vertikale Integration). Das verbindende Element zwischen horizontaler und vertikaler Wertschöpfung ist der Digitale Zwilling mit seinen technischen, prozess- und ressourcenbezogenen Inhalten.

Im Siemens-Werk für Kombinationstechnik Chemnitz (WKC) kommt eine Reihe von digitalen Tools zur Anwendung, welche die manuellen Tätigkeiten im Engineering und in der Arbeitsvorbereitung schrittweise eliminieren sollen. Trotz der nach wie vor bestehenden Hürden aufgrund mangelnder Datenkonsistenz und unzureichender Schnittstellen zwischen einzelnen Tools führt die Digitalisierung bereits heute zu einem klaren Mehrwert für die Kunden. Zugleich zeichnen sich enorme Potentiale mit realistischen Umsetzungsperspektiven für die kommenden Jahre ab.

## 6. Literatur

Kroemer, N.; Kasparick, H.-P.: Industrie 4.0 – ein Praxisbericht, ZWF 109 (2014) Heft 1/2, S. 76-79



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## **Fokus Mensch im Maschinen- und Fahrzeugbau 4.0**

Herbstkonferenz der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Institut für Betriebswissenschaften und  
Fabriksysteme / TU Chemnitz

ICM - Institut Chemnitzer Maschinen-  
und Anlagenbau e.V.

28. und 29. September 2017

---

**GfA Press**

---

**Dokumentation der Herbstkonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
vom 28. und 29. September 2017, Chemnitz**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
Dortmund: GfA-Press, 2017  
ISBN 978-3-936804-23-2

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Konferenzband

Als Manuskript zusammengestellt. Dieser Konferenzband ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.)  
erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**  
**Schriftleitung: Matthias Jäger**

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet,  
den Konferenzband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein  
anderes Verfahren) zu vervielfältigen.

USB-Print: Isabell Grundmann

**Screendesign und Umsetzung**

© 2017 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)