



**VDE**

VDI/VDE-Gesellschaft  
Mess- und Automatisierungstechnik

# Statusreport

Durchgängiges Engineering in  
Industrie 4.0-Wertschöpfungsketten

Januar 2016



# Inhalt

1	Zusammenfassung	2
2	Bedeutung von durchgängigem Engineering in Industrie4.0-Wertschöpfungsketten	3
2.1	Ausgangspunkt: Wertschöpfungsketten in Industrie 4.0	3
2.2	Merkmale von durchgängigem Engineering	4
3	Die Bedeutung von durchgängigem Informationsfluss zwischen Wertschöpfungsprozessen	4
3.1	Fokus auf Schnittstellen zwischen Wertschöpfungsprozessen	4
3.2	Klassifikation und Beschreibung von Durchgängigkeit zwischen Wertschöpfungsprozessen	5
4	Beispiele für den Nutzen von durchgängigem Engineering für unterschiedliche Organisationen	9
4.1	Beispiel 1: Herstellung einer Chemikalie im kontinuierlichen Prozess	9
4.2	Beispiel 2: Chargen-Herstellung eines Medikaments	10
4.3	Beispiel 3: Engineer-to-order	11
4.4	Beispiel 4: Auftragsfertigung (Job-shop)	12
4.5	Beispiel 5: Product Owner ohne eigene Produktion	12
4.6	Beispiel 6: Herstellung eines individualisierbaren Massenprodukts	13
4.7	Beispiel 7: Engineering-Dienstleister/Anlagenbauer	14
	Literatur	16

# 1 Zusammenfassung

Dieser Statusreport richtet sich an Unternehmen, die Produkte und Dienstleistungen durchgängig, das heißt ohne Behinderung an den Schnittstellen zwischen den einzelnen wertschöpfenden Tätigkeiten, gestalten möchten, hin zu organisationsübergreifenden Wertschöpfungsprozessen.

Das durchgängige Engineering als eines der drei Charakteristika von Industrie 4.0 ist essenziell für die Umsetzung des Zukunftsprojekts Industrie 4.0. Nur mit einem durchgängigen Informationsfluss zwischen wertschöpfenden Prozessen kann Industrie 4.0 umgesetzt werden.

Um einen monetären und prozessualen Mehrwert aus der Vernetzung von Wertschöpfungsketten im Sinne der Industrie 4.0 zu ziehen, ist es notwendig, über die rein physische Vernetzung der Wertschöpfungsprozesse hinaus, ihre zugehörigen Daten bzw. Datenflüsse verlustfrei zu verknüpfen. Dies ist der Kern des durchgängigen Engineerings. Diese Vernetzung umfasst sowohl die gesamte Lebensdauer von Produkten, Produktionsanlagen und Aufträgen als auch die Verbindung aller notwendigen Wertschöpfungsprozesse.

Anhand von sechs Beispielen aus der Prozessindustrie, der Einzelfertigung von Großprodukten, der Auftrags- und der Lohnfertigung sowie aus der individualisierten Massenfertigung wird gezeigt, wie die Unternehmen von durchgängigem Engineering profitieren.

Basis war insbesondere der „VDI-Statusreport Industrie 4.0 – Wertschöpfungsketten“ von April 2014 [1]. Ziel des Statusreports „Durchgängiges Engineering“ ist herauszuarbeiten, welche Wertschöpfungsketten durchgängiges Engineering benötigen bzw. davon profitieren.

## Engineering

Hinsichtlich der Begriffsdefinition für „Engineering“ bezieht sich der Statusreport auf die Definition des „American Engineers' Council for Professional Development“ [6] und versteht unter Engineering im Allgemeinen eine kreative Ingenieurstätigkeit, die zu einer technischen Lösung führt oder diese verbessert. In Bezug auf Produktionsanlagen umfasst das Engineering die Tätigkeiten zu Planung, Realisierung, Kon-

figuration, Test, Inbetriebnahme, Optimierung und Modernisierung der Anlage. In Bezug auf Produkte wird der Begriff „Engineering“ typischerweise synonym zu Entwicklung verwendet.

## Autoren

Dieser Statusreport wurde im Jahr 2015 im Fachausschuss 6.12 „Durchgängiges Engineering von Leitsystemen“ der VDI/VDE-Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) erarbeitet.

An der Erstellung dieses Dokuments haben mitgewirkt:

Dr. Oliver Drumm, Siemens AG

Dr. Ralph Eckardt, Strategy&

Prof. Dr. Alexander Fay, Helmut-Schmidt-Universität Hamburg (Vorsitz)

Georg Gutermuth, ABB AG

Dietmar Krumsiek, Phoenix Contact Electronics GmbH & Co.

Dr. Ulrich Löwen, Siemens AG

Thomas Makait, QPRI

Tina Mersch, Beckhoff GmbH

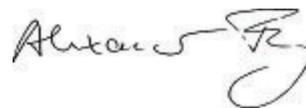
Andreas Schertl, Siemens AG

Thomas Schindler, Yokogawa

Dr. Miriam Schleipen, Fraunhofer IOSB

Sebastian Schröck, Helmut-Schmidt-Universität Hamburg

Düsseldorf im Januar 2016



Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay,  
Vorsitzender des GMA-Fachausschusses 6.12  
„Durchgängiges Engineering von Leitsystemen“ und  
Vorsitzender des GMA-Fachbereichs „Engineering  
und Betrieb automatisierter Anlagen“



## 2.2 Merkmale von durchgängigem Engineering

Durchgängiges Engineering ist abstrakt betrachtet dadurch charakterisiert, dass das Erzeugnis eines Engineering-Arbeitsschritts als Intangible Asset in einer Wertschöpfungskette möglichst verlustfrei und mit möglichst wenig Aufwand weiterverwendbar ist und möglichst keine redundanten Arbeitsschritte für diese weitere Verwendung notwendig sind. Diese Formulierung macht deutlich, dass „durchgängig“ kein absolutes, sondern ein graduell erfülltes Kriterium ist. Zur Erfüllung von Durchgängigkeit können insbesondere folgende Maßnahmen beitragen:

- ein Wertschöpfungsprozess-übergreifend genutztes Informationsmodell (Die verschiedenen Zielzustände dafür sind in [8] unter dem Stichwort „Gewerkeintegration und -durchgängigkeit“ dargestellt.),

- die Erstellung und Nutzung von Werkzeugketten (Die verschiedenen Zielzustände dafür sind in [9] unter „Durchgängigkeit der Werkzeugkette“ beschrieben.),
- die Verwendung einer einheitlichen Syntax und Semantik (siehe dazu [8], Stichwort „Beschreibungsmittel“),
- ein gemeinsames Vorgehensmodell (Die verschiedenen Zielzustände dazu sind in [10] dargestellt, Kriterien dafür in [5].).

In den folgenden Abschnitten wird dargestellt, wie auf Basis eines durchgängigen Engineerings an den Schnittstellen zwischen Wertschöpfungsprozessen Informationen durchgängig ausgetauscht werden sollten. Die betrachteten Wertschöpfungsprozesse und -ketten gehen dabei über das Engineering hinaus, aber das durchgängige Engineering schafft die Basis für einen durchgängigen Informationsfluss.

# 3 Die Bedeutung von durchgängigem Informationsfluss zwischen Wertschöpfungsprozessen

## 3.1 Fokus auf Schnittstellen zwischen Wertschöpfungsprozessen

Im Folgenden werden Engineering-Informationen-Schnittstellen zwischen wertschöpfenden Prozessen behandelt, bei denen die Durchgängigkeit (entsprechend der Merkmale aus Abschnitt 1.2) angestrebt werden sollte. In Bild 2 sind die jeweiligen Schnittstellen entsprechend nummeriert.

Die Pfeile zeigen dabei in die Haupt-Übergaberichtung von Informationen, das heißt von der Richtung des Prozesses, der diese Informationen im Wesentlichen erzeugt bzw. erarbeitet hat, hin zu den Prozessen, die diese Informationen nutzen. Auch in der entgegengesetzten Richtung kann ein Informationsfluss stattfinden und zur Wertschöpfung beitragen. Stellen beispielsweise informationsempfangende Prozesse fest, dass die empfangene Information falsch oder unvorteilhaft ist, erfolgt oft ein Informationsrückfluss an den Prozess, der diese Information ursprünglich erzeugt hat. Auch dieser Informationsrückfluss führt zu Wertschöpfung. Insofern können Wertschöpfungsketten in Bild 1 und Bild 2 auch in der

Gegenrichtung der Pfeile verlaufen. Auch können wiederholte Informationsübergaben bei iterativ durchlaufenen Wertschöpfungsketten vorkommen.

Im Vergleich zum ursprünglichen Bild 1 aus [1] wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Die „Produktlinienentwicklung“ wurde umbenannt in „Variation des Produkts“; dies umfasst sowohl die strategisch geplante Produktlinienentwicklung für Serienprodukte als auch die Erstellung einer kunden- bzw. auftragsspezifischen Variante eines Unikat-Produkts.
- Die „Produktionsplanung (operativ)“ wurde eingeführt; dieser Prozess enthält die Planungsaufgaben, die während der Nutzungszeit der Produktionsanlage durchgeführt werden (z. B. Auftragsreihenfolgeplanung, Parametrierung von Rezepten). Das „Produktionsengineering“ hingegen enthält die planerischen Aufgaben, die in Bezug auf die Physik der Anlage durchgeführt werden (z. B. Prüfung, ob und wie ein gewünschtes Produkt in dieser Anlage und mit diesem Verfahren hergestellt werden kann).

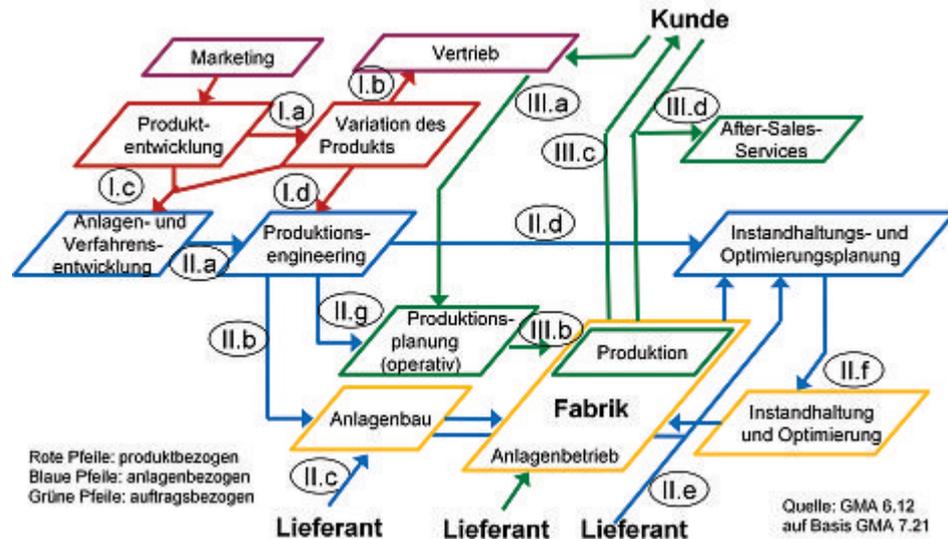


Bild 2. Vernetzung von Wertschöpfungsprozessen über Informationsweitergabe (als Weiterentwicklung von Bild 1)

- Statt „Rückbau“ der Produktionsanlage wurde die „Optimierung“ der Produktionsanlage dargestellt, da diese einen größeren Wertschöpfungsbeitrag darstellt.
- Die jeweils am Lebensende stehenden Prozesse (Abkündigung, Entsorgung, Rückbau) wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit und Fokussierung zunächst weggelassen.

Nach Bild 2 durchläuft ein Produkt die „Fabrik“ und verlässt sie; das heißt die Produktion ist ein einmaliger Vorgang. Nicht im Bild dargestellt ist die Tendenz, dass das Produkt auch nach Auslieferung an den Kunden weiter verändert und ergänzt werden kann, z. B. durch Software-Updates. Wenn diese Wertschöpfung nicht als After-Sales-Service, sondern als Fortsetzung der Produktion verstanden wird, findet die Produktion nicht mehr nur in der Fabrik statt, und das Produkt kehrt in diesem Fall (gedanklich und informationstechnisch, aber nicht physisch) zur Produktion zurück.

### 3.2 Klassifikation und Beschreibung von Durchgängigkeit zwischen Wertschöpfungsprozessen

Die Informationübergabe zwischen Wertschöpfungsprozessen kann danach unterschieden werden, ob hauptsächlich produktbezogene (in Bild 2 rot dargestellt und mit „I.x“ bezeichnet), anlagenbezogene (in Bild 2 blau dargestellt und mit „II.x“ bezeichnet) oder auftragsbezogene (in Bild 2 grün dargestellt und mit „III.x“ bezeichnet) Informationen übergeben werden. Im Folgenden wird skizziert, wie die beteiligten Wertschöpfungspartner dabei jeweils profitieren können.

#### I Durchgängiger Informationsfluss in Bezug auf Produktdaten

- I.a Die in der Produktentwicklung festgelegten Eigenschaften und im Rechner modellierten Eigenschaften (z. B. Geometrie eines Körpers, chemische und physikalische Eigenschaften einer Substanz) sollten, wenn Varianten des Produkts gefordert werden, durchgängig an die Variation des Produkts weitergegeben werden.

Vorteile:

- Damit kann Erstellung sowie Ausbau einer Produktlinie vereinfacht werden.
- Kundenspezifische Varianten können unter größtmöglicher Nutzung vorhandener Produkte erstellt werden.
- Es können die Zusammenhänge erstellt, aufrechterhalten und gepflegt werden, die zwischen Anforderungen an das Produkt und der Ausprägung des Produkts, die dieses bei der Produktentwicklung erhielt, bestehen. Diese Zusammenhänge können dann bei der zielgerichteten Variation des Produkts besser berücksichtigt werden.

- I.b Die in der Variation des Produkts festgelegten und im Rechner modellierten Eigenschaften (z. B. Variationen der Geometrien von Körpern, Variationen der Eigenschaften von chemischen Substanzen) sollten durchgängig an den Vertrieb weitergegeben werden.

Vorteile:

Der Vertrieb kann dem Kunden verschiedene Produktkonfigurationen und -varianten auf Basis genauer Kenntnis der damit verbundenen Kosten anbieten.

- I.c Die in der Produktentwicklung festgelegten und im Rechner modellierten Eigenschaften sollten durchgängig an die Anlagen- und Verfahrensentwicklung weitergegeben werden. Dies gilt auch für die Eigenschaften von Produktlinien, die strategisch und frühzeitig als Variation des Produkts geplant wurden.

Vorteile:

- Schon frühzeitig kann mit der Auswahl und Adaption geeigneter Produktionsverfahren begonnen werden.
- Ob die von der Produktentwicklung spezifizierten Eigenschaften tatsächlich erreichbar sind (z. B. Oberflächenqualitäten, Maßhaltigkeit, Reinheitsgrade), kann frühzeitig abgesichert werden. Ist dies nicht der Fall, finden ein Informationsrückfluss und eine Überarbeitung der Produkteigenschaften bzw. der Wahl des Produktionsverfahrens statt.
- Die Abbildung der Produktionsschritte auf Anlagenteile kann so auf Basis der Produkt(linien)daten erfolgen.
- Die Auswahl und Adaption geeigneter Produktionsverfahren in den einzelnen Anlagenteilen kann anhand der Bedürfnisse erfolgen (z. B. wenn ein Loch in allen Varianten gleich groß ist, kann gestanzt werden; wenn nicht, dann kann Laserschneiden in Betracht kommen).

- I.d Die in der Variation des Produkts festgelegten und im Rechner modellierten Eigenschaften sollten durchgängig an das Produktionsengineering, das heißt die Planung der Produktionsanlage, weitergegeben werden.

Vorteile:

- Bei der Anlagenplanung können von vornherein die geforderten Variationen in der Auslegung der Anlage berücksichtigt werden, beispielsweise bei der Ausplanung der Takte, bei der Erreichbarkeit von Schweißpunkten mit Robotern, bei der Kapazität von Behältern oder Wärmetauschern.

- Bei kundenspezifischen Aufträgen kann die gewünschte individuelle Variante des Produkts auf Machbarkeit (im Sinne von Herstellbarkeit) in dieser Anlage überprüft werden.

## II Durchgängiger Informationsfluss in Bezug auf Daten der Produktionsanlage

- II.a Die in der Anlagen- und Verfahrensentwicklung erarbeiteten Planungsdokumente (z. B. Grundfließbilder, Layoutpläne, Ablaufpläne) sollten durchgängig an das Produktionsengineering weitergegeben werden.

Vorteile:

- Die einzelnen planenden Gewerke können diese Informationen frühzeitig und vollständig bei ihren jeweiligen Planungsaufgaben, Auswahlentscheidungen und Detailfestlegungen berücksichtigen.
- Informationsbeschaffungskosten der Folgegewerke werden gering gehalten.
- Parallel arbeitende Gewerke gehen vom gleichen Informationsstand aus, Inkonsistenzen werden vermieden.

- II.b Die im Produktionsengineering, das heißt der Planung der Produktionsanlage, erarbeiteten Engineering-Ergebnisse (z. B. Detailpläne, Geometrie der Anlage, Messstellenblätter, Signallisten) sollten durchgängig an den Anlagenbau weitergegeben werden.

Vorteile:

- Es werden Komponenten beschafft, die die geforderten Eigenschaften aufweisen.
- Ein der Planung auch im Detail genau folgender Aufbau wird erleichtert.
- Gewerkübergreifende Passfähigkeit wird sichergestellt.
- Die Bauzeit wird reduziert.
- Engineering-Leistungen können gegen die Planungsdaten, auch die der anderen Gewerke, geprüft werden (z. B. virtuelle Inbetriebnahme automatisierter Anlagenteile).
- Im Falle von Planungsänderungen können diese leichter weitergegeben werden.

II.c Die Spezifikationsdokumente des Anlagenbaus sollten durchgängig an die Lieferanten von Anlagenkomponenten weitergegeben werden.

Vorteile:

- Übereinstimmung mit der Spezifikation, damit die gewerkübergreifende Passfähigkeit sichergestellt wird.
- Eine Abnahme gegen die Spezifikation ist erleichtert möglich.

Umgekehrt sollten die bei den zuliefernden Lieferanten vorhandenen Engineering-Informationen (z. B. Eigenschaften der Komponenten, Handhabungsvorschriften beim Einbau) durchgängig an den Anlagenbau weitergegeben werden.

Vorteile:

- Die Informationen können in die übergeordneten Konfigurationswerkzeuge übernommen werden (beispielsweise die Informationen über ein Feldgerät in das Konfigurationswerkzeug des übergeordneten Leitsystems).
- Die Bauzeit wird reduziert.
- Engineering-Leistungen können gegen die Planungsdaten, auch die der anderen Gewerke, geprüft werden (z. B. virtuelle Inbetriebnahme automatisierter Anlagenteile).
- Im Falle von Änderungen (z. B. Updates des Lieferanten) können diese leichter weitergegeben werden.
- Dokumente für die Instandhaltung der Komponenten können in der Anlagendokumentation hinterlegt und später herangezogen werden.

II.d Die im Produktionsengineering, das heißt der Planung der Produktionsanlage, erarbeiteten Engineering-Ergebnisse sollten durchgängig an die Instandhaltungs- und Optimierungsplanung weitergegeben werden.

Vorteile:

- Für Wartungs- und Instandhaltungsaufgaben liegen die Informationen über die Struktur und den Aufbau der Anlage vor, die Aufgaben können dadurch schneller durchgeführt werden.
- Im Falle von Erweiterungen oder Modernisierungen der Anlage kann auf die vorhan-

denen Informationen zugegriffen werden (sofern diese über die Anlagenlaufzeit gepflegt wurden).

II.e Die beim Anlagenbau entstehenden Engineering-Informationen mit Relevanz für die Wartung (z. B. Handhabungsvorschriften bei der Wartung, das schließt die von Lieferanten von Anlagenkomponenten erhaltenen Informationen ein) sollten durchgängig an die Instandhaltungsplanung weitergegeben werden („As-built-Dokumentation“).

Vorteile:

- Für Wartungs- und Instandhaltungsaufgaben liegen die Informationen über die Komponenten der Anlage vor, die Aufgaben können dadurch schneller durchgeführt werden.
- Gleiches gilt auch für die Beschaffung von Ersatzteilen.
- Bei Modernisierungs- und Erweiterungsplanungen kann auf die vollständige Dokumentation und das elektronische Abbild der Anlage zurückgegriffen werden (sofern diese über die Anlagenlaufzeit gepflegt wurden), als Basis für Umbauplanungen.

II.f Die in der Instandhaltungsplanung erarbeiteten Engineering-Ergebnisse, beispielsweise Wartungsanweisungen, sollten durchgängig an die Instandhaltung weitergegeben werden.

Vorteile:

- Wartungs- und Instandhaltungsaufgaben können dadurch schneller durchgeführt werden. Die relevante Dokumentation liegt vor und muss nicht gesucht werden.
- Die Qualität der Arbeiten erhöht sich, weil Missverständnisse und Fehler vermieden werden.
- Die Durchführung der Arbeiten kann protokolliert werden, und diese Informationen können bei der Planung weiterer Instandhaltungsaufgaben berücksichtigt werden.

Gleiches gilt für die Optimierungsplanung der Anlage, die bei durchgängigem Datenaustausch die Arbeiten der Optimierung entsprechend erleichtern.

II.g Die im Produktionsengineering, das heißt der Planung der Produktionsanlage, erarbeiteten Daten über die Fähigkeiten der Produktionsan-

lagen sollten durchgängig an die Produktionsplanung (operativ) weitergegeben werden.

Vorteile:

Die Planung der Produktionsabläufe (Ressourcenplanung, Reihenfolgeplanung etc.) kann die tatsächlichen Eigenschaften der Produktionsanlage berücksichtigen.

### III Durchgängiger Informationsfluss in Bezug auf die Daten eines Auftrags

III.a Vom Vertrieb sollten die Daten eines Auftrags und  
III.b (z. B. gewünschte Ausprägung der Geometrie eines Körpers, gewünschte Variante der Eigenschaften einer chemischen Substanz) durchgängig an die Produktionsplanung (operativ) weitergegeben werden und von diesem an die Produktion.

Vorteile:

- Die Kundenwünsche können im digitalen Abbild in der Produktionsplanung (operativ) auf verfügbare Produktionskapazitäten überprüft werden.
- Die Kundenwünsche können ohne Informationsverlust und ohne Zeitverzug und in hohem Maße automatisiert in dafür erforderliche Parametersätze der Produktionsanlage und insbesondere des Leitsystems umgesetzt werden.

- Die Information über die Aufträge kann für eine genauere Kapazitätsplanung genutzt werden.

III.c Von der Produktion können Daten, die die Qualität des Produkts beschreiben, dem Produkt mitgegeben werden und damit zum Kunden gelangen.

Vorteile:

- Die eindeutige Zuordnung der Daten zum Produkt kann auf diese Weise sichergestellt werden.

- Informationsbeschaffungskosten für den Kunden werden minimiert.

III.d Die Daten der Produktion des konkreten Kundenauftrags sollten durchgängig an die After-Sales-Services übergeben werden, entweder direkt oder über das Produkt und den Kunden.

Vorteile:

- Der genaue Produktionsweg ist für spätere Qualitätsüberprüfungen abgelegt.
- Der After-Sales-Service kann auf dieser Basis ein Kundenprofil erstellen, indem die Daten der Einzelaufträge zusammengeführt werden.
- Für spätere Reklamationen oder Reparaturen beim Kunden sind die entsprechenden Daten hinterlegt.
- Das Dienstleistungsangebot kann für den Kunden individuell optimiert werden.

## 4 Beispiele für den Nutzen von durchgängigem Engineering für unterschiedliche Organisationen

Je nach Positionierung im Markt und Geschäftsmodell sind für ein Unternehmen ganz unterschiedliche Wertschöpfungsprozesse und -ketten relevant. Im Folgenden wird anhand repräsentativer Beispiele aufgezeigt, wie Unternehmen von durchgängigem Engineering profitieren können.

Bei jedem dieser Beispiele wird auf die Durchgängigkeit des Informationsflusses, wie in Abschnitt 2.2 beschrieben, referenziert.

Die Beispiele 1 bis 6 betrachten Organisationen, für die die „Fabrik“ aus Bild 2 die Möglichkeit zur Produktion von Produkten bietet. In Beispiel 7 (siehe Abschnitt 3.7) werden Organisationen betrachtet, für die die „Fabrik“ das Produkt (im Sinne des wesentlichen Ergebnisses ihrer Wertschöpfung) darstellt.

### 4.1 Beispiel 1: Herstellung einer Chemikalie im kontinuierlichen Prozess

Bei der Herstellung von Chemikalien in einem kontinuierlichen Prozess steht der Durchsatz der Anlage bei gleichbleibender Produktqualität im Vordergrund.

Die Laufzeiten der Anlagen erstrecken sich über mehrere Jahrzehnte, sodass hier der Instandhaltungsprozess eine entscheidende Rolle für den Werterhalt der Anlage und eine möglichst ungestörte Produktion spielt. Das Leben dieser Anlagen ist darüber hinaus von Umbauten geprägt, um den Produktionsprozess ständig zu optimieren. Nicht selten erreicht die Produktion nach einigen Jahren 150 % bis 200 %, bezogen auf die ursprüngliche Planung des Durchsatzes. Über diesen langen Zeitraum müssen regelmäßig Komponenten ausgetauscht werden. Dabei ist nicht immer gewährleistet, dass baugleiche Ersatzteile noch besorgt werden können. Entsprechend müssen, bezogen auf die ursprünglichen Anforderungen aus dem Engineering, passende Ersatzteile gefunden werden. Das setzt aber voraus, dass diese Anforderungen dokumentiert sind und gefunden werden. Auch sind bei diesen Anlagen und deren Laufzeiten mit einer Fluktuation der Mitarbeiter zu rechnen, sodass Anlagenwissen dokumentiert und weitergegeben werden muss. Ohne eine durchgängige Datenhaltung geht dieses Wissen verloren. Umbaumaßnahmen zur Optimierung erfordern eine detaillierte Planung auf Basis des Istzustands der Anlage, um die Stillstandzeiten zu minimieren. Dieser Istzustand sollte zu jedem Zeitpunkt elektronisch vorhanden sein. Eine manuelle Nachdokumentation ist aufwendig.

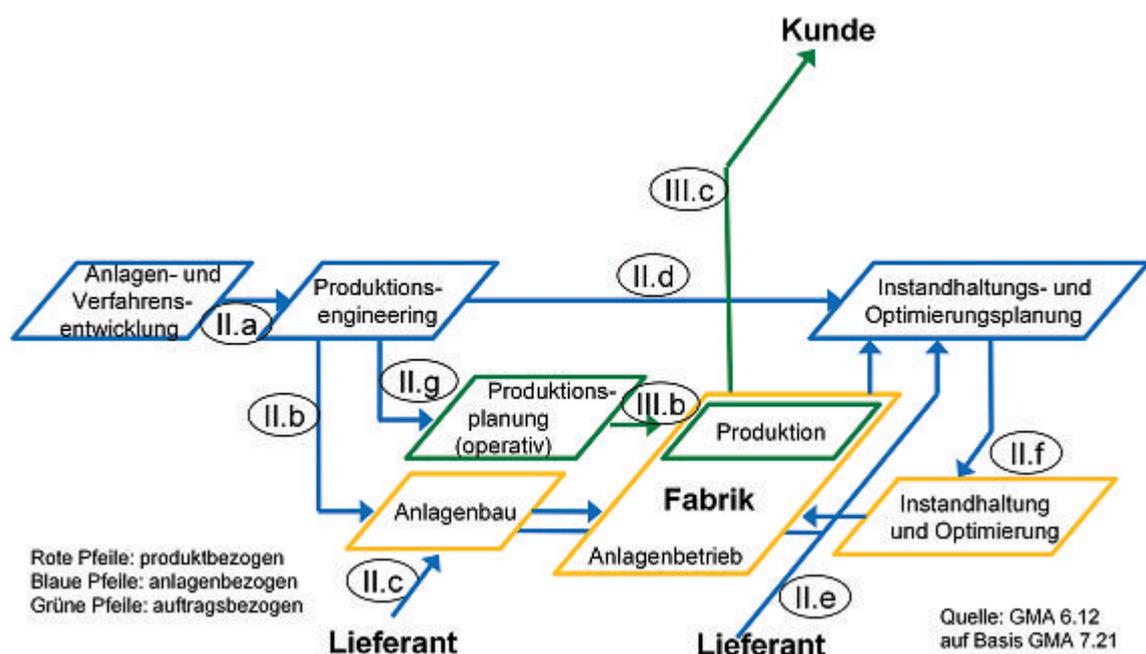


Bild 3. Engineering-Schnittstellen zwischen Wertschöpfungsprozessen (Bild 1 modifiziert)

Aus allen diesen Gründen ist die Durchgängigkeit anlagenbezogener Information (Bild 3: blau, II) für den Betreiber besonders wertvoll. Aufgrund der langen Anlagenlaufzeit ist ein digitales Datenmodell wichtig, das bei neuer Speicher- oder Informationsverarbeitungstechnologie verlustfrei auf die neue Plattform migriert werden kann.

Bei einer kontinuierlich produzierten Chemikalie kann der Kunde bis auf die Menge nahezu keine Wünsche äußern, so dass ein Auftrag durch wenige Daten definiert ist. Die digitale Durchgängigkeit von Produktinformationen ist aufgrund der Konstanz des Produkts wenig relevant. Auf der anderen Seite spielen Daten der Produktionskapazitäten bei einem Produzenten mit mehreren Anlagen eine entscheidende Rolle. Auf Basis dieser Anlagendaten wird entschieden, welche Produktionsstätte den Kundenauftrag umsetzt, und dies wird an die Produktion weitergegeben (Bild 3: III.b). Aus Qualitätssicherungsgründen sind Produktionsdaten an den Kunden zu geben (Bild 3: III.c).

#### 4.2 Beispiel 2: Chargen-Herstellung eines Medikaments

Hier wird die Herstellung eines nicht individualisierten Medikaments in Chargen-Fahrweise betrachtet. Zunächst gelten hier alle in Beispiel 1 genannten Vorteile durchgängigen Informationsflusses in gleicher Weise. Darüber hinaus sind weitere Potenziale erkennbar.

Die Herstellung von Medikamenten unterliegt äußerst strengen Regularien. Diese Vorschriften beziehen sich

zum einen auf das Produkt – also das Medikament – aber auch auf die Produktionsanlagen. So ist eine gesetzliche Rückverfolgbarkeit der Medikamente durch die Händler und den Produzenten zu gewährleisten. Dies alles dient letztlich zum Schutz des Verbrauchers. Durch diese gesetzlichen Regelungen werden die Beteiligten bei der Medikamentenherstellung zur durchgängigen Datenhaltung quasi gezwungen. Es muss sowohl der Weg des Produkts von den Grundstoffen über die Produktion bis zum Kunden dokumentiert werden (Bild 4: III.), als auch die Planung und die Errichtung der Produktionsanlage (Bild 4: II.). Um hier eine Konsistenz garantieren zu können, sind ausgefeilte Abläufe und elektronische Systeme notwendig, bei denen manuelle Fehlerquellen der Dateneingabe und Übertragung minimiert wurden.

Entsprechend der Produktion in Chargen werden Chargen-bezogene Daten erzeugt, die digital durchgängig weitergegeben werden müssen. Dazu gehören beispielsweise die Parameter der Produktionsanlage für die Produktion dieser Charge (Bild 4: II.g; III.b). Sofern es sich um eine Multi-Purpose-Anlage handelt, auf der verschiedene Produkte produziert werden können, kommt der Planung und Dokumentation der Chargen-spezifischen Einstellungen der Produktionsanlage noch größere Bedeutung zu. Da der Trend zu individuellen, zunehmend auf den Patienten abgestimmte Medikamenten geht, werden die Chargen der Produktion immer kleiner. Dabei ist zu erwarten, dass entsprechend die Menge der Daten anwächst. Bei solch einer Auftragsfertigung wird auch die Bindung zwischen Patient und Produzent enger, was eine Durchgängigkeit der Auftragsdaten (Bild 4: III.) notwendig macht.

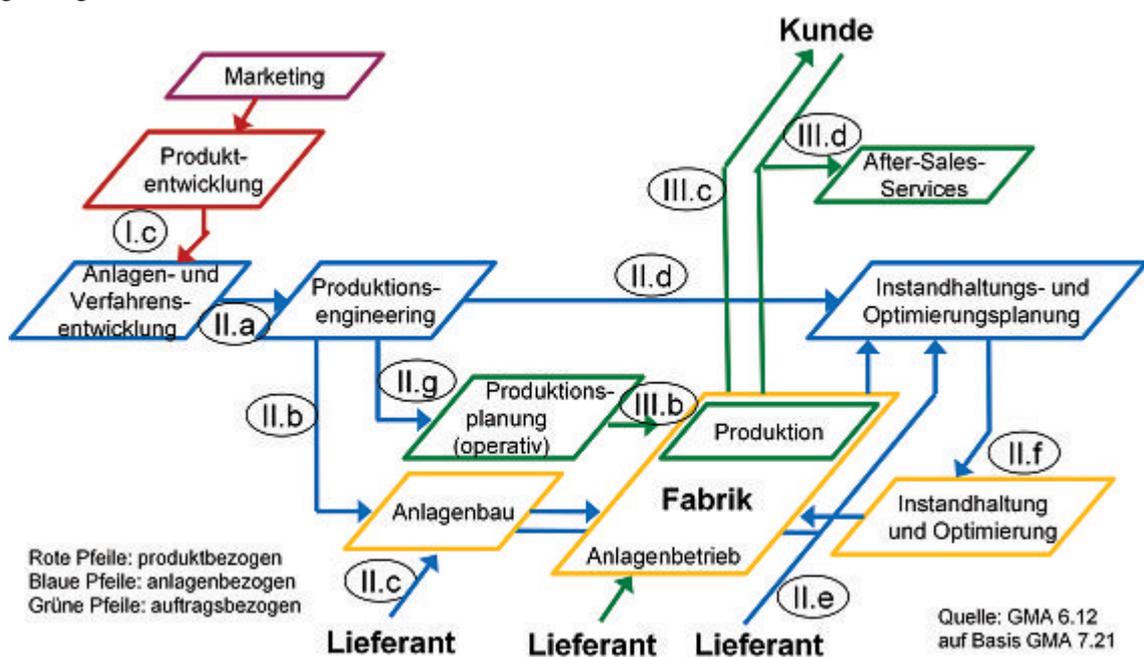


Bild 4. Engineering-Schnittstellen zu Beispiel 2

Die Medikamente unterliegen endlichen Patentlaufzeiten, an deren Ende bereits Generika-Hersteller mit der Produktion beginnen und der Preisverfall des Produkts durch den aufkommenden Wettbewerb vorprogrammiert ist. Daher wird bei der Medikamentenherstellung angestrebt, die Zeitspanne zwischen der Produktionsentscheidung und dem Produktionsstart möglichst kurz zu halten. Ein mächtiger Hebel ist dabei der integrierte Engineering-Ansatz (Bild 4: II.) mit einer durchgängigen Datenhaltung, um den Engineering-Prozess zu verkürzen und die Qualität zu steigern.

### 4.3 Beispiel 3: Engineer-to-order

Eine typische Ausprägung für „Engineer-to-order“ ist die Lieferung eines Schiffs, eines Großantriebs oder Sondermaschine, die hier das „Produkt“ der Wertschöpfungskette darstellen. Der Kern-Wertschöpfungsprozess aus technischer Sicht (z. B. Engineering-Prozess) solcher Firmen verläuft im Rahmen eines Kundenprojekts vom Auftraggeber (Kunde) über den Vertrieb, das klassische projektbezogene Engineering (das hier die „Variation des Produkts“ darstellt), das Produktionsengineering (Prüfung, ob und wie das technisch überhaupt produziert werden kann), die Produktionsplanung (Prüfung, ob die Kapazitäten ausreichen, um den Auftrag anzunehmen, und dann die Planung der Fertigungskapazitäten (langfristig, Planungshorizont über Jahre), die Fertigung bis zur Auslieferung an den Kunden. Bei komplexen technischen Produkten kann die Beschreibung der auftrags-

spezifischen Variation des Produkts viele tausend Parameter umfassen. Eine digitale Pflege und Weitergabe entlang der Wertschöpfungskette (Bild 5: I.a, I.b in beiden Richtungen, I.d, II.g, III.a, III.b) bis zur Produktion ist daher für eine effiziente Projektabwicklung unabdingbar. Dies gilt auch und besonders im Falle nachträglicher Änderungen, sei es aufgrund von geänderten Kundenwünschen oder internen Änderungsgründen, die digital durchgängig gehandhabt werden müssen, um Konsistenz sicher zu stellen.

Beim Engineering sollte eine systematische Wiederverwendung aus früheren Kundenprojekten oder vorgefertigten (Teil-)Lösungen, die projektunabhängig geschaffen wurden, siehe [3; 10], vorgesehen werden. Dies erhöht die Effizienz und Qualität umso mehr, je konsequenter eine Durchgängigkeit des Engineerings gewährleistet ist (Bild 5: I.a).

In zunehmendem Maße verlangen Kunden auch ein digitales Abbild des erstellten Produkts, beispielsweise für den Betrieb oder zur Planung späterer Umbaumaßnahmen. Entsprechend ist eine digitale Durchgängigkeit bei der Weitergabe der „As-built-Dokumentation“ vorzusehen (Bild 5: III.c).

Insgesamt ist erkennbar, dass der Kern-Wertschöpfungsprozess hier „quer“ zu den farbigen Wertschöpfungsprozessen gemäß Bild 1 verläuft. Die Durchgängigkeitsherausforderungen an den zugrunde liegenden Engineering-Prozess (mit Fokus auf die rot dargestellten Wertschöpfungsprozesse) werden in [3] ausführlich beschrieben.

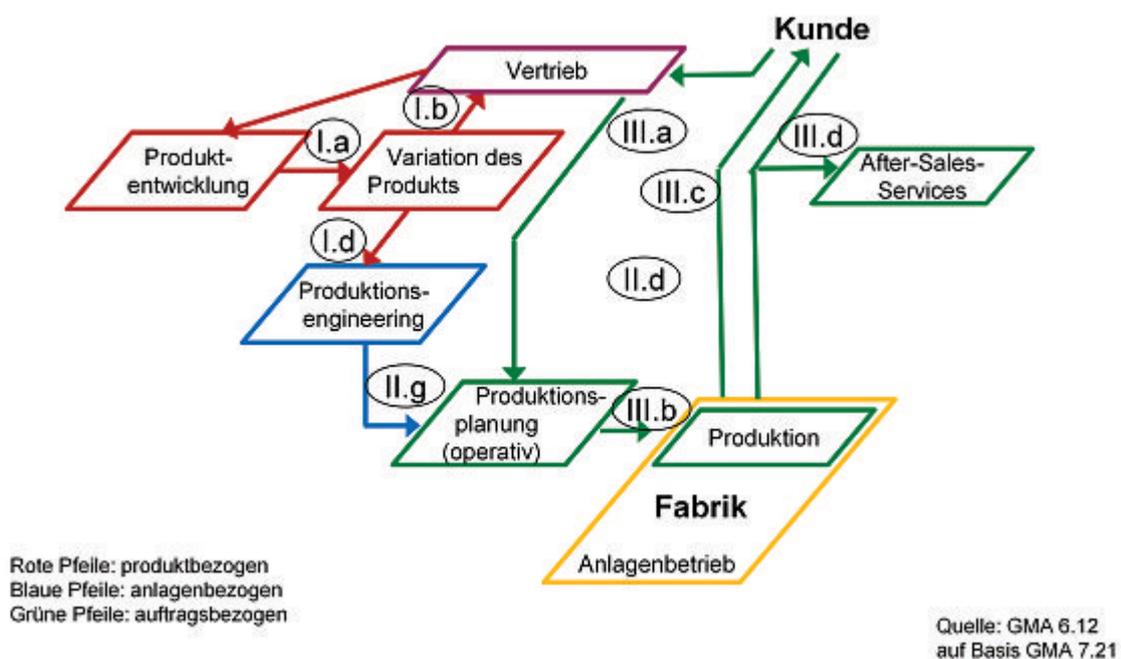


Bild 5. Engineering-Schnittstellen zu Beispiel 3

#### 4.4 Beispiel 4: Auftragsfertigung (Job-shop)

Eine typische Ausprägung für eine Auftragsfertigung (Job-shop) sind Lohnfertiger für die elektronische Bestückung oder für die Blechbearbeitung. Typischerweise besitzen diese Auftragsfertiger gewisse Produktionsmaschinen respektive -linien, mit denen sie spezifische Produktionsaufgaben durchführen. Sie bieten das Durchführen der Produktion als Dienstleistung an. Der Haupt-Wertschöpfungsprozess verläuft ähnlich wie bei Beispiel 3, aber es fehlt das eigene Produkt. Der Fokus liegt daher auf der möglichst optimalen Beherrschung der beiden folgenden Wertschöpfungsprozesse:

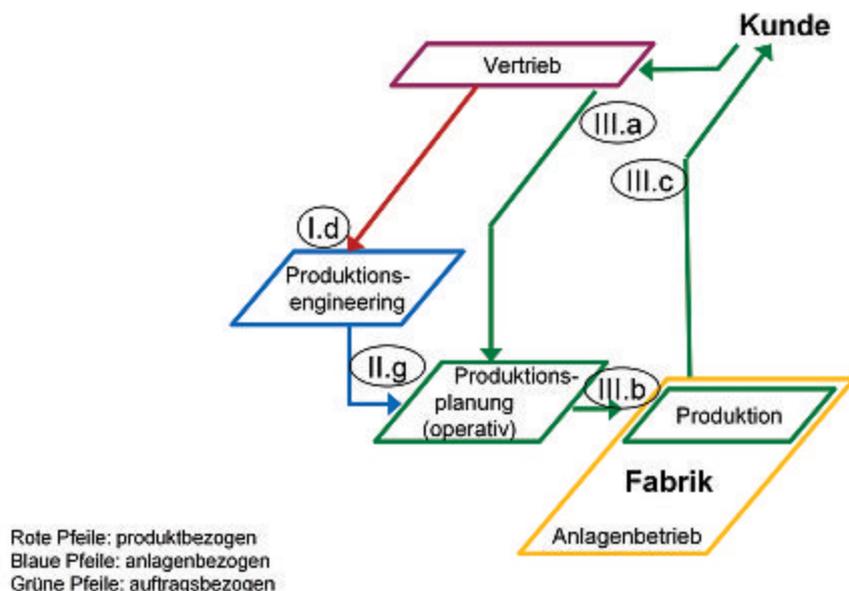
- Lohnfertiger müssen entscheiden, ob die vorhandenen Produktionsmaschinen respektive -linien prinzipiell überhaupt in der Lage sind, einen Produktionsauftrag von einem Auftraggeber auszuführen. Die Produktbeschreibung vom Auftraggeber muss auf Produktionsschritte von Maschinen mit entsprechenden Produktionsfähigkeiten abgebildet werden. Sind sowohl die Eigenschaften des Auftrags als auch die Fähigkeiten der Maschinen digital vollständig und semantisch eindeutig beschrieben, kann dieser Abgleich automatisch und effizient durchgeführt werden.
- Lohnfertiger müssen nach positiver Beantwortung der ersten Frage entscheiden, ob sie überhaupt die notwendigen Produktionskapazitäten, Material, Mitarbeiter etc. zur Verfügung haben, um den Produktionsauftrag bis zum geforderten Liefertermin auszuführen. (Im Gegensatz zum Beispiel 3 liegt hier der Zeithorizont im Allgemeinen im Bereich von Tagen bis Wochen). Im Sinne eines Ka-

pazitätsabgleichs müssen die entsprechenden Verfügbarkeiten gegeneinander abgeglichen werden und gegebenenfalls optimiert werden, und zwar im Hinblick auf Freiheitsgrade bezüglich beispielsweise der Reihenfolge von Produktionsschritten, im Hinblick auf die Auswahl von Maschinen mit geeigneter Produktionsfähigkeit oder im Hinblick auf die Reihenfolge der Aufträge. Auch hier gilt: Sind diese Aspekte digital vollständig und semantisch eindeutig beschrieben, kann dieser Abgleich automatisch und effizient durchgeführt werden.

Der Grad der Durchgängigkeit der beiden Engineering-Prozesse „Produktionsengineering“ und „Produktionsplanung“ bestimmt in entscheidendem Maß, wie schnell und flexibel ein Auftragsfertiger auf Kundenanfragen reagieren kann, und ist daher ein wichtiger Hebel für seine Wettbewerbsfähigkeit.

#### 4.5 Beispiel 5: Product Owner ohne eigene Produktion

Aktuell treten in zunehmendem Maße Unternehmen auf, die Produkte entwickeln und vermarkten (beispielsweise Mobiltelefone, Haushaltsgeräte, Kosmetika), aber keine eigenen Produktionskapazitäten vorhalten. Die Produktion erfolgt in Auftragsfertigung durch Lohnfertiger (siehe Beispiel 4). Product Owner können einerseits Entwicklungsdienstleister sein, die nach Kundenanforderungen ein Produkt entwickeln und in ihrer Verantwortung auch fertigen lassen, andererseits können sie als Product Owner auch ein eigenes Produkt-Portfolio entwickelt haben und pflegen, dass sie am Markt anbieten und das gegebenenfalls auch auf Produktlinien basiert.



Quelle: GMA 6.12  
auf Basis GMA 7.21

Bild 6. Engineering-Schnittstellen zu Beispiel 4

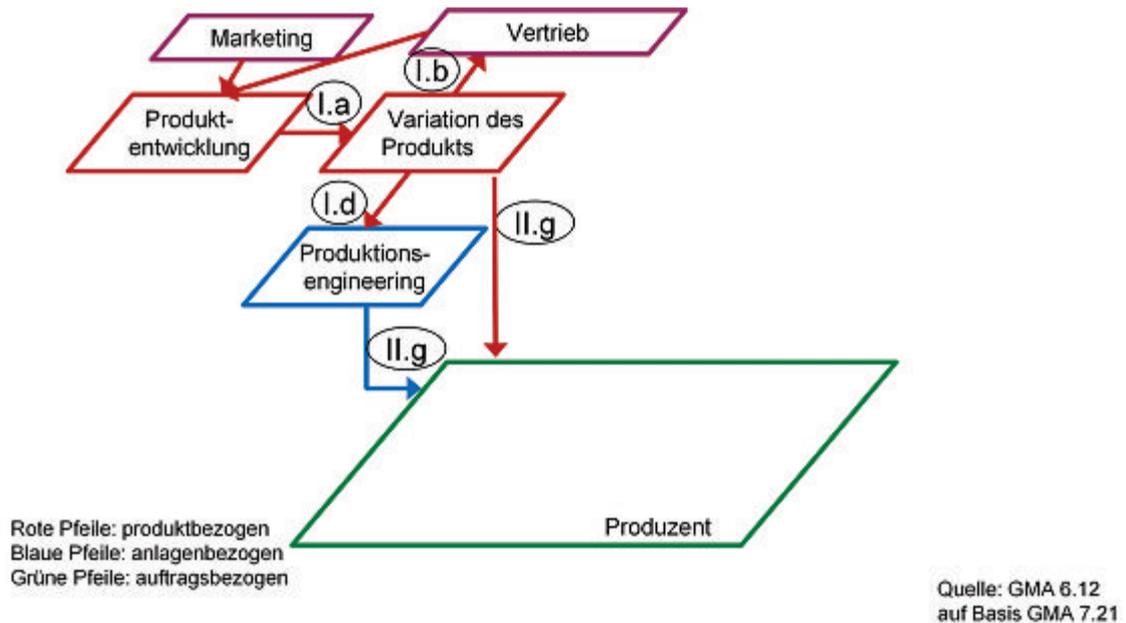


Bild 7. Engineering-Schnittstellen zu Beispiel 5

Durchgängiges Engineering ist für Product Owner ohne eigene Produktion insbesondere bei und zwischen den produktbezogenen Wertschöpfungsprozessen relevant (Bild 7: I.a, I.b, I.d) sowie bei der Weitergabe der Informationen über das Produkt an den Produzenten. Neben den technischen Eigenschaften sind hier auch Liefertermine, Stückzahlen etc. relevant. Hier können zwei verschiedene Strategien verfolgt werden: Entweder der Product Owner führt das Produktionsengineering selbst durch, das heißt, er definiert neben dem Produktdesign auch den zugehörigen Produktionsprozess und schreibt dem Lohnfertiger vor, wie zu produzieren ist (Bild 7: II.g, blauer Pfad), oder er gibt nur die Eigenschaften des Produkts vor und lässt es in der Verantwortung des Lohnfertigers, den Produktionsprozess so zu gestalten, dass die geforderten Produkteigenschaften gewährleistet werden (Bild 7: II.g, roter Pfeil).

Falls nur Teile des Produktionsprozesses ausgelagert werden (Festlegung erfolgt durch Make-or-buy-Entscheidungen), gilt diese Darstellung sinngemäß, hinzu kommt die möglichst durchgängige Informationsweitergabe zwischen dem ausgelagerten Produktionsschritt und der weiteren Be- und Verarbeitung im eigenen Unternehmen.

#### 4.6 Beispiel 6: Herstellung eines individualisierbaren Massenprodukts

Wie in Bild 8 erkennbar, erfordert die Herstellung von individualisierten Massenprodukten in besonders hohem Maße durchgängiges Engineering, und zwar in

Bezug sowohl auf produktbezogene, anlagenbezogene als auch auftragsbezogene Informationen.

Individualisierte Massenprodukte (z. B. Kleidungsstücke) zeichnen sich durch eine verhältnismäßig große, für den Kunden sichtbare und von ihm für wertvoll erachtete Varianz aus. Diese Varianz ist aber derart in Produktlinien vorgedacht, dass die Fertigung dieser kundenindividuellen Produkte nur geringfügig kostenintensiver ist, als dies bei einer Massenfertigung der Fall wäre [7], was vor allem eine Durchgängigkeit der Informationsflüsse rund um den Wertschöpfungsprozess „Variation des Produkts“ erfordert (Bild 8: I.a, I.b, I.c, I.d). Eine schnelle Durchführung der Aufträge ist ebenfalls aus Kundensicht von besonderer Bedeutung, damit kommt dem auftragsbezogenen Informationsfluss vom Vertrieb über die Produktionsplanung zur Produktion große Bedeutung zu (Bild 8: III.a, III.b). Relevant ist auch der kunden- und auftragsspezifische After-Sales-Service, der alle Informationen über das individuelle Produkt benötigt (Bild 8: III.d).

Für sehr komplexe individualisierbare Massenprodukte (z. B. Autos), bei denen der einzelne Auftrag einen höheren Wert beinhaltet und die Zahl der vorgedachten variierenden Merkmale größer ist, sind entsprechend die Produktionsverfahren und -anlagen darauf auszurichten, das heißt die Bedeutung der Durchgängigkeit zwischen Produktentwicklung und Produktionsverfahrensentwicklung und Anlagenkonstruktion ist noch deutlich höher (Bild 8: I.c).

Im Bereich der Entwicklung ermöglicht die durchgängige Orientierung an Produktlinien, bereits zukünftige Konfigurationen zu planen und zu entwickeln. Werden aus diesen eher technisch-konstruk-

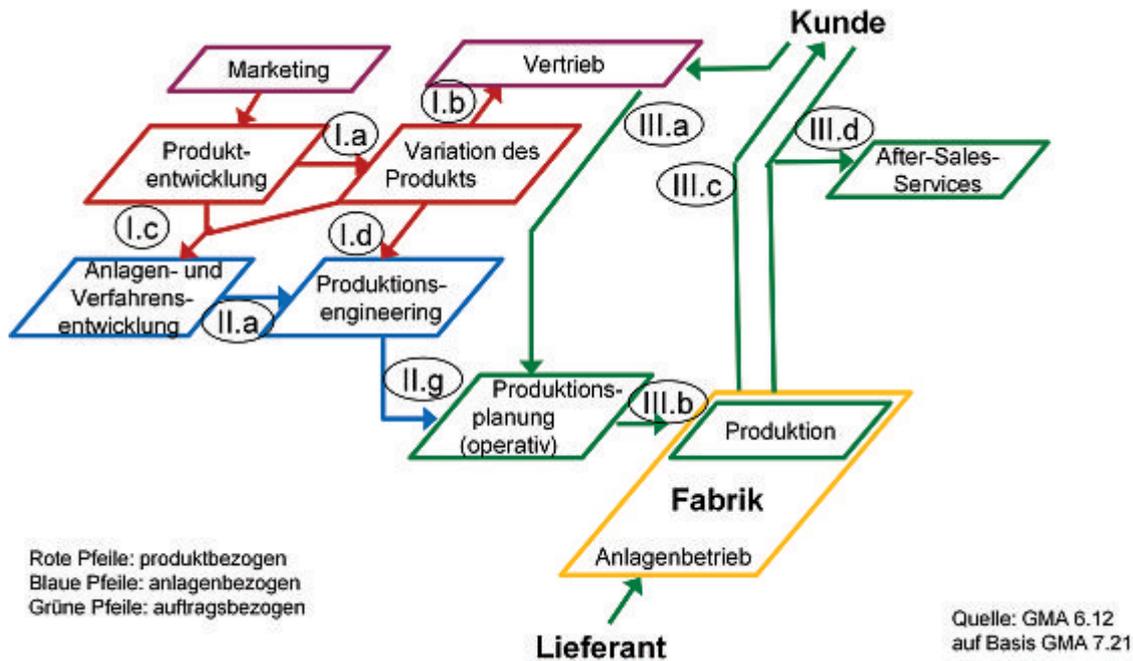


Bild 8. Engineering-Schnittstellen zu Beispiel 6

tiven Zusammenhängen kundensichtbare Merkmale und Relationen abgeleitet, ermöglicht dies, einen vertriebsorientierten Konfigurator abzuleiten, der lediglich verfügbare und produzierbare Konfigurationen erlaubt (Bild 8: I.b). So kann vermieden werden, dass inkonsistente Produktkonfigurationen vertrieben werden. Dieses Vorgehen ist, inklusive hinterlegter Kostenstrukturen, im Bereich der Kraftfahrzeuge sehr verbreitet.

Wird von einem Kunden bei der Bestellung eine mögliche, herstellbare Konfiguration gewählt, kann im Idealfall auf die Entwicklung verzichtet werden oder aber diese mindestens deutlich reduziert werden. Bei vorgedachten Varianten sind die Fertigungs- und Montageprozesse bereits darauf ausgerichtet. Diese Produkte können ähnlich wie in der Massenfertigung beispielsweise sequenziell gefertigt werden (Bild 8: I.d, III.a). Um eine solche Variantenvielfalt zu unterstützen und auch mögliche weitere herstellbare Varianten zu berücksichtigen, müssen Produktionsanlagen und die Produktplanung entsprechend flexibel sein bzw. von vornherein entsprechend konstruiert sein. Auch Lieferketten und die entsprechende Lagerhaltung müssen auf diese Form der Wertschöpfung ausgerichtet sein. Unumgänglich ist hierbei eine durchgängige elektronische Datennutzung in allen Gewerken. Erst diese Durchgängigkeit zwischen Entwicklung, Konfiguration, Beschaffung und Fertigung ermöglicht den Vertrieb von individualisierten Massenprodukten und stellt ein Differenzierungsmerkmal zum Vertrieb individualisierter Investitionsgüter (z. B. Werkzeugmaschinen) dar.

#### 4.7 Beispiel 7: Engineering-Dienstleister/Anlagenbauer

Für Engineering-Dienstleister und Anlagenbauer stellt die Fabrik das wesentliche Ergebnis ihrer Wertschöpfungsprozesse dar.

Engineering-Dienstleister und Anlagenbauer profitieren in besonderem Maße von durchgängigem Engineering. Die digitale Durchgängigkeit ermöglicht eine weitere Aufteilung der Wertschöpfungskette auf aufeinander aufbauende Wertschöpfungsprozesse, die potenziell ohne Informationsverlust und damit ohne Effizienzverlust von unterschiedlichen Unternehmen ausgeführt werden können. Insbesondere ermöglicht die Durchgängigkeit auch eine konsequentere Differenzierung und Spezialisierung von Engineering-Dienstleistern (Anlagenplaner) (Bild 9, oberer Teil) und Anlagenbauern (Bild 9, unterer Teil). Dieser Effekt wird befördert durch die sehr unterschiedlichen Kompetenzprofile, die zur Planung und zum Bau von Anlagen erforderlich sind.

Der Hauptwertschöpfungsprozess von Engineering-Dienstleistern ist die effiziente Erstellung von Planungs-Ergebnissen (Gegenständen der Informationswelt), also virtuellen Modellen von zu bauenden (und nachfolgend zu betreibenden, zu optimierenden und in Stand zu haltenden) Anlagen. Für Engineering Dienstleister ergibt sich daher der Hauptnutzen des integrierten Engineerings aus verringerten Informationsbeschaffungskosten, wenn durch ein durchgängiges Datenmodell die Informationsflüsse (Bild 9: I.d und

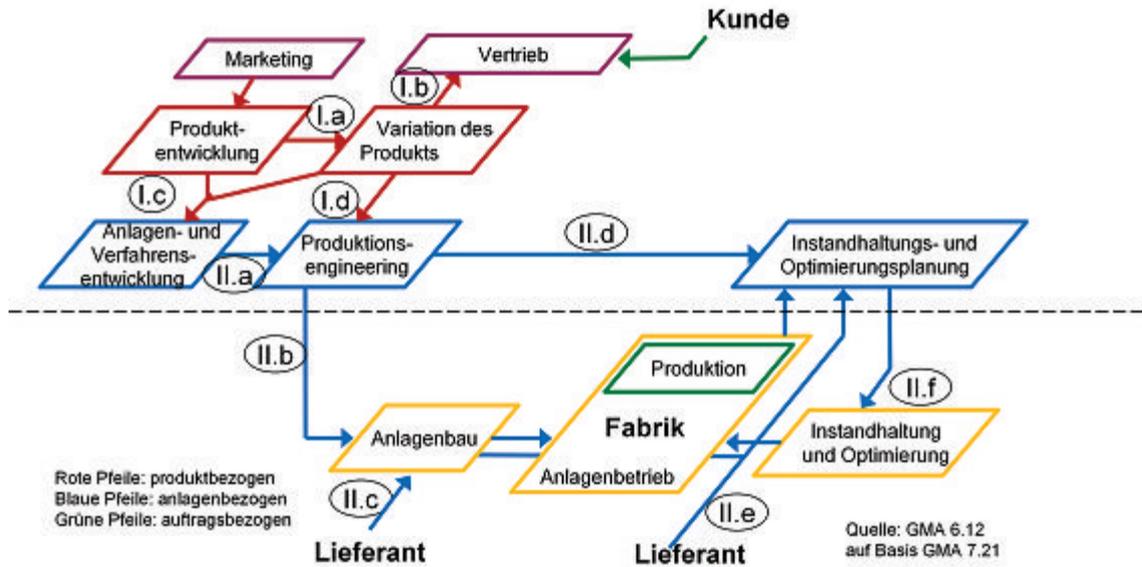


Bild 9. Engineering-Schnittstellen zu Beispiel 7

II.a) effizient durchgeführt werden können. Da die zu planende Fabrik für den Planer das Produkt darstellt, beziehen sich die Wertschöpfungsprozesse „Produktentwicklung“ und „Variation des Produkts“ aus seiner Sicht auf die zu erstellende Anlage. Der Engineering-Dienstleister kann von durchgängigem Engineering in gleicher Weise profitieren, wie im Beispiel 3 „Engineer to order“ dargestellt.

Der Engineering-Dienstleister erstellt im Rahmen seiner Wertschöpfung ein digitales Abbild der zu bauenden Anlage. Daraus ergibt sich für ihn die Möglichkeit der Ausdehnung seines Tätigkeitsbereichs auf das Servicegeschäft während der Betriebs- und der Optimierungsphase von Anlagen: Er hat die idealen Kenntnisse zur Nutzung und Pflege des digitalen Abbilds der Anlage, wenn dieses in die Betriebsphase übernommen wird (Bild 9: II.d). Mit Blick auf die Ausweitung des Tätigkeitsbereichs in das Servicegeschäft stellt das im Engineeringprozess entstandene Datenmodell einen Wert an sich dar.

Der Hauptwertschöpfungsprozess von Anlagenbauern ist das Erbringen einer Transferleistung: des Transfers von Planungsmodellen aus der virtuellen Welt in die gegenständliche „reale“ Welt durch die (Er-)Schaffung von realen physischen Abbildern (Tangible Assets) von Anlagen. Für Anlagenbauer ergibt sich der Hauptnutzen des integrierten Engineerings aus verringerten Informationsbeschaffungskosten, wenn aus dem Produktionsengineering, das heißt der Feinplanung der Anlage, ein durchgängiges Datenmodell der zu bauenden Anlage effizient übernommen werden kann (Bild 9: II.b). Dieses vollständige Datenmodell, als virtuelles Abbild der zu bauenden Anlage, dient

als Grundlage der organisatorischen und logistischen Prozesse des Anlagenbaus. Aspekte der physischen Errichtbarkeit können bereits am Modell geplant, und, wenn erforderlich, können Änderungen im Sinne einer Optimierung der Abläufe während des Baus der Anlage an das Produktionsengineering zurückgemeldet werden (Bild 9: II.b entgegen der Pfeilrichtung). Des Weiteren kann das Datenmodell um die während des Anlagenbaus erforderlichen logistischen Aspekte erweitert werden.

Die vorgenannte Möglichkeit der Ausweitung des Tätigkeitsfelds des Anlagen-Engineerings in das Servicegeschäft während der Betriebs- und der Optimierungsphase von Anlagen basiert auf der Verfügbarkeit eines virtuellen Modells der Anlage. Änderungen an der Anlage könne vorab am Modell experimentell durchgeführt werden und die erwarteten Effekte mit den simulierten Effekten abgeglichen werden, bevor eine Änderung an der physischen Anlage erfolgt. Basierend auf einem in der Planungsphase erstellten durchgängigen Datenmodell sind Engineering-Dienstleister, als Teil der Organisation eines integrierten Anlagenbauers oder als eigenständige Organisation, effizient dazu in der Lage. Die Lebenszykluskosten für z. B. das Änderungsmanagement einer Anlage lassen sich wesentlich reduzieren, wenn das Modell der Anlage und die physische Anlage selbst über die Lebensdauer einer Anlage hinweg konsistent gehalten werden. Hier liegen für Anlagenbetreiber, Anlagenbauer und Engineering-Dienstleister neue Möglichkeiten der Zusammenarbeit im Rahmen neuer, auf durchgängigem Engineering basierender Geschäftsmodelle.

## Literatur

- [1] „VDI-Statusreport Industrie 4.0 – Wertschöpfungsketten“, April 2014. Quelle: [https://www.vdi.de/fileadmin/vdi\\_de/redakteur\\_dateien/gma\\_dateien/VDI\\_Industrie\\_4.0\\_Wertschoepfungsketten\\_2014.pdf](https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/gma_dateien/VDI_Industrie_4.0_Wertschoepfungsketten_2014.pdf)
- [2] Umsetzungsempfehlungen Industrie 4.0, April 2013
- [3] VDI/VDE 3695 „Engineering von Anlagen – Evaluieren und optimieren des Engineerings, Blatt 1: Grundlagen und Vorgehensweise. Beuth Verlag, Berlin 2010
- [4] L. Libuda, G. Gutermuth, S. Heiß: Arbeitsabläufe in der Anlagenplanung optimieren - IT-Unterstützung für Engineering Workflows. In: atp-edition, Jahrgang 53, Heft 9, S. 40-51, 2011
- [5] T. Holm, A. Friedrich, B. Engelke, T. Jäger, A. Fay: Methodik zur Einordnung und Auswahl von disziplinübergreifenden Vorgehens- und Datenmodellen für das Engineering automatisierter Anlagen. In: „IDA 2013 – Integrierte Digitale Anlagenplanung und -führung“, Frankfurt, 21.-22. März 2013
- [6] Encyclopedia Britannica (2007): Stichwort: Engineering (The New Encyclopedia Britannica Bd. 18). 15. Aufl.
- [7] M. Kratochvíl, Ch. Carson.: Growing Modular: Mass Customization of Complex Products, Services and Software. 1. Auflage: Springer-Verlag, 2005
- [8] VDI/VDE 3695 „Engineering von Anlagen – Evaluieren und optimieren des Engineerings, Blatt 3: Themenfeld Methoden. Beuth Verlag, Berlin 2010
- [9] VDI/VDE 3695 „Engineering von Anlagen – Evaluieren und optimieren des Engineerings, Blatt 4: Themenfeld Hilfsmittel. Beuth Verlag, Berlin 2010
- [10] VDI/VDE 3695 „Engineering von Anlagen – Evaluieren und optimieren des Engineerings, Blatt 2: Themenfeld Prozesse. Beuth Verlag, Berlin 2010

## Der VDI

### **Sprecher, Gestalter, Netzwerker**

Ingenieure brauchen eine starke Vereinigung, die sie bei ihrer Arbeit unterstützt, fördert und vertritt. Diese Aufgabe übernimmt der VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. Seit über 150 Jahren steht er Ingenieurinnen und Ingenieuren zuverlässig zur Seite. Mehr als 12.000 ehrenamtliche Experten bearbeiten jedes Jahr neueste Erkenntnisse zur Förderung unseres Technikstandorts. Das überzeugt: Mit rund 155.000 Mitgliedern ist der VDI die größte Ingenieurvereinigung Deutschlands. Als drittgrößter technischer Regelsetzer ist er Partner für die deutsche Wirtschaft und Wissenschaft.



Verein Deutscher Ingenieure e.V.  
VDI/VDE-Gesellschaft  
Mess- und Automatisierungstechnik  
Dr.-Ing. Dagmar Dirzus  
Tel. +49 211 6214-145  
[dirzus@vdi.de](mailto:dirzus@vdi.de)  
[www.vdi.de](http://www.vdi.de)