Anwendungsszenario DDA

Vorwort

Die Plattform Industrie 4.0 erarbeitet Anwendungsszenarien, die pointiert die Vision der deutschen Industrie von ihrer Digitalisierung aufzeigen und hervorheben, welche technischen und organisatorischen Innovationen dafür genutzt werden sollen bzw. noch zu erarbeiten sind. Die Anwendungsszenarien zeigen auch auf, wo zentrale Herausforderungen bezüglich Standards, Forschung, IT-Sicherheit, des rechtlichen Rahmens und der Arbeitsgestaltung liegen.

Im April 2016 wurde von der Plattform Industrie 4.0 ein Arbeitspapier veröffentlicht [1], in dem neun Anwendungsszenarien dargestellt werden. In diesen neun Anwendungsszenarien wird auf das Production System Lifecycle Management nur partiell eingegangen (siehe [1], Bild 3). Der Fachausschuss 6.12 „Durchgängiges Engineering von Leitsystemen“ der VDI-/VDE-Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) hat daher ein weiteres Anwendungsszenario „Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen“ (kurz: DDA) erarbeitet und der AG 2 der Plattform Industrie 4.0 zur Verfügung gestellt.

In einem mehrmonatigen Prozess konkretisierte der GMA-Fachausschuss „Durchgängiges Engineering von Leitsystemen“ das Anwendungsszenario in Form von zwei exemplarischen Subszenarien. Diese Szenarien analysieren die Veränderungen der geschäftlichen Rollen, die im betrachteten Wertschöpfungsnetz beteiligt sind, auf Basis einer Geschäftsmodellsystematik.

In diesem Zusammenhang wurde auch die ursprüngliche Beschreibung des Anwendungsszenarios „Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen“ (VDI-Statusreport November 2016) überarbeitet. Um dem Leser ein konsistentes Gesamtbild zu vermitteln, beinhaltet dieser Bericht im ersten Kapitel die Überarbeitung der ursprünglichen Beschreibung und im zweiten Kapitel die beiden Subszenarien.

Düsseldorf, im November 2018

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“

Autoren

Dr.-Ing. Oliver Drumm, Siemens AG, Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay, Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg

M.Sc. Feras El Sakka, Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg

Dipl.-Phys. Georg Gutermuth, ABB, Ladenburg

Dipl.-Ing. Freihold Hasselfeld, CIM-BASE GmbH, Sersheim

Dr.-Ing. Nasser Jazdi, Universität Stuttgart

Dipl.-Ing. Dietmar Krumsiek, Phoenix Contact Electronics GmbH, Bad Pyrmont

Dr.-Ing. Ulrich Löwen, Siemens AG, Erlangen

Dipl.-Ing. Thomas Makait, QPRI, Hofheim/Taunus

Dipl.-Ing. Andreas Schertl, Siemens AG, Erlangen

Dr.-Ing. Miriam Schleipen, Siemens AG, Karlsruhe

Inhalt

Vorwort 1

1 Beschreibung des Anwendungsszenarios 4

1.1 Leitmotiv, Motivation 4

1.2 Konzeptioneller Ansatz 5

1.3 Disruptives Potenzial 6

1.4 Treiber (im Engineering von Anlagen) 7

1.5 Nutzen (für das Engineering von Anlagen) 7

1.6 Herausforderungen (für das Engineering von Anlagen) 8

1.7 Auswirkungen auf Wertschöpfungsketten 8

1.8 Anknüpfungspunkte für die verschiedenen Arbeitsgruppen der Plattform Industrie 4.0 [8] (Beispiele) 9

2 Verschiedene Ausprägungen des Anwendungsszenarios 11

2.1 Beschreibung von Subszenarien 11

2.2 Subszenario „Engineering-Dienstleister/Anlagenbauer" 12

2.3 Subszenario „Engineer-to-Order" 16

Literatur 19

1 Beschreibung des Anwendungsszenarios

1.1 Leitmotiv, Motivation

Zielbild dieses Szenarios ist, dass in einem initialen Engineering-Prozess zur Errichtung einer Anlage[1] ein **integrierendes Anlagenmodell** entsteht, das dann über den Lebensweg der realisierten Anlage in permanent ineinander greifenden Vorgängen zwischen Engineering, Betrieb und Service der Anlage **gepflegt** und **konsistent** gehalten wird. Dieses Modell beinhaltet also neben einem Abbild der realen Anlage über den gesamten Lebenszyklus (Entstehungs- und Betriebsphase einschließlich Umbauten) auch Randbedingungen, Kontextinformationen, mögliche Varianten der Anlage, denkbare und getroffene Engineering-Entscheidungen sowie deren potenzielle und reale Auswirkungen. Der Kern dieses Anwendungsszenarios ist also ein Anlagenmodell, auf dem die beteiligten Partner adäquat aufsetzen können[2]. Sie können ihre Informationen in das Modell einbringen und die von ihnen benötigten Informationen aus dem Modell herausziehen. Dieses integrierende Anlagenmodell ist also die Basis für Informationen über die Anlage, sodass dann auch (neue) Value-added Services[3] entstehen können. Das Engineering von Anlagen wird dynamischer in dem Sinne, dass Änderungen der Anlage häufiger und kurzfristiger werden und die dabei einzubindenden Partner verzahnter, vorausschauender und damit reflexiver (das heißt rückbezüglicher im Hinblick auf mögliche Konsequenzen von Änderungen) arbeiten müssen.

Solch ein Modell ist die Voraussetzung für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit des Anlagenbaus. Die Anforderungen werden weiter steigen.

Dabei sind die folgenden wesentlichen Interessensgruppen in Form von Rollen[4] des betrachteten Wertschöpfungsnetzes [2] zu berücksichtigen:

1 **Integrator** (im Sinne eines technischen Systemarchitekten einschließlich des Projektmanagements): stellt aus technischer und kommerzieller Sicht die Umsetzung der Anforderungen sicher und koordiniert die beteiligten Partner entsprechend

2 **Auftraggeber** (Eigentümer/Betreiber): gibt die Anforderungen an die Errichtung der Anlage vor und bringt die aufgrund der Nutzung der Anlage sich mit der Zeit verändernden Anforderungen (Betriebserfahrungen) ein

3 **Engineering-Dienstleister**: wird in das Anlagenengineering direkt (Durchführen von Engineering-Tätigkeiten, „doing“) oder indirekt (Bereitstellen von Engineering-Methoden, „Know-how“) eingebunden

4 **Zulieferer** (Lieferanten bzw. Kontraktoren): liefert (physische) Komponenten, Systeme und Technologien (einschließlich deren digitaler Abbilder)

5 **Errichter**: setzt auf der Baustelle respektive an der Anlage das Anlagenmodell bzw. die Änderungen am Modell des Engineerings in die Realität um

6 **Regulatoren**: definieren die Vorgaben, erteilen Genehmigungen und stellen Berater, die bei der Umsetzung dieser Vorgaben unterstützen

7 **Softwareanbieter** (in Form von Herstellern von Planungswerkzeugen und Kollaborationsplattformen): unterstützen die einzelnen „Ingenieure“ beim Engineering, Errichtung/Änderung, Betrieb und Instandhaltung

[1] In Abgrenzung zu diesem Szenario fokussieren die Anwendungsszenarien „SP2 – Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion“ und „IPE – Intelligente Produktentwicklung“ [1] auf das Produkt, dass dann in einer Anlage hergestellt wird. Eine Anlage ist in der Regel fest mit einem Standort verbunden, während die Nutzung eines Produkts oft nicht an einen Ort gebunden ist. Oft sind Anlagen langlebiger als Produkte. Auch die Vorgaben von behördlicher Seite (Dokumentationspflichten, Gefährdungsbeurteilungen etc.) sind oft strenger.

[2] Die beiden Anwendungsszenarien „SP2 – Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion“ und „IPE – Intelligente Produktentwicklung“ [1] beinhalten verschiedene Konzepte, die auch auf das Engineering von Anlagen übertragen werden können. Um Redundanzen in der Beschreibung der Anwendungsszenarien zu minimieren, fokussiert dieses Anwendungsszenario auf das integrierende Anlagenmodell und die daraus resultierenden Konsequenzen. In den später beschrieben verschiedenen Ausprägungen dieses Anwendungsszenarios werden die Ideen und Konzepte des Anwendungsszenarios „DDA – Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen“ aber auch insbesondere auf Aspekte des Anwendungsszenarios „SP2 – Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion“ übertragen.

[3] Vergleiche Anwendungsszenario „VBS – Value-Based Services“ [1].

[4] Die einzelnen Rollen können von unterschiedlichen geschäftlichen Partnern eingenommen werden, es ist aber auch denkbar, dass eine Organisation mehrere Rollen einnimmt.

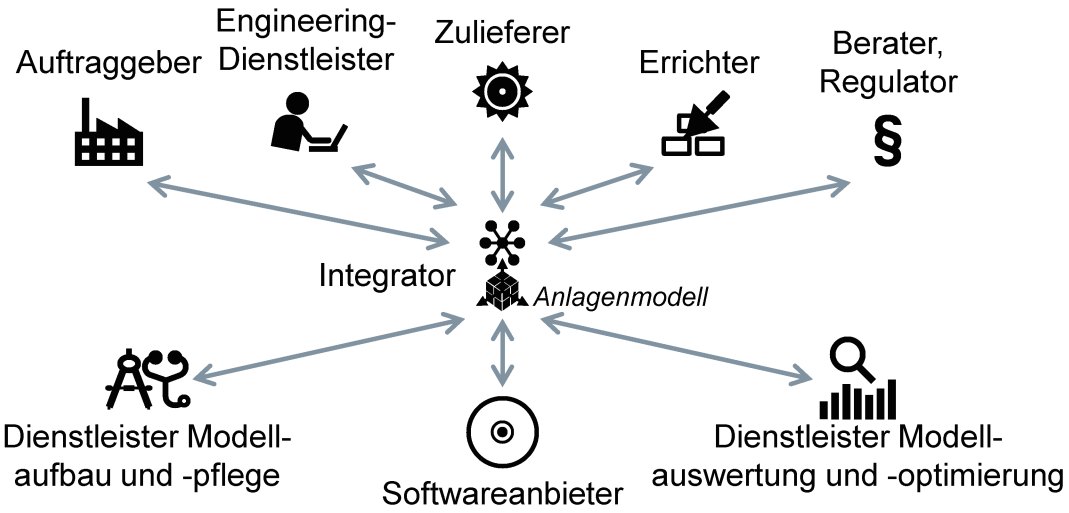

Bild 1. Interessensgruppen im Wertschöpfungsnetz des Anwendungsszenarios

Aufgrund der zentralen Bedeutung des Anlagenmodells[5] (siehe Bild 1) und den damit verbundenen Daten werden zwei weitere Rollen betrachtet, die es derzeit in dieser ausgeprägten geschäftlichen Form noch nicht gibt, da gegenwärtig die damit verbundenen Tätigkeiten von den bereits genannten Rollen wahrgenommen werden. Aufgrund der zunehmenden Bedeutung dieser Interessengruppen und der Möglichkeit, dass sich hieraus neue Schlüsselfiguren im Wertschöpfungsnetz das Anlagenbaus etablieren, werden sie zusätzlich ausgeprägt:

1 Dienstleistung des Aufbaus und der Pflege des integrierenden Anlagenmodells

2 Dienstleistung der Auswertung des Anlagenmodells im Hinblick auf die Optimierung des Engineerings, Errichtung/Änderung, Betrieb und Instandhaltung der Anlage

1.2 Konzeptioneller Ansatz

Engineering ist dadurch gekennzeichnet, dass Anforderungen in ein Konzept und das Konzept in eine technische Lösung umgesetzt werden. Dazu sind permanent Entscheidungen zu treffen. Diese Entscheidungen sind einerseits im Hinblick auf die korrekte Umsetzung der Anforderungen bzw. der Konzepte zu fällen, zusätzlich sind dabei aber auch Randbedingungen und Auswirkungen zu berücksichtigen. Diesem Anwendungsszenario liegt bezüglich einer Engineeringstrategie die These zugrunde, dass die Entscheidungen des Engineerings auf einem integrierenden Modell basieren. Eine zentrale Aufgabe des Engineerings ist also das Erstellen und Pflegen dieses Modells im Hinblick darauf, dass es konsistent und aussagekräftig genug ist, um Hilfestellung für die zu fällenden Entscheidungen geben zu können. „Aussagekräftig“ ist dabei im Hinblick auf die aktuelle Aufgabe gemeint, nicht vollständig in Bezug auf das jemals dazu und zukünftig geschaffene oder gesammelte Wissen.

Das Engineering einer Anlage – sowohl bei der Erstellung einer Anlage als auch im Rahmen von Änderungen während der Betriebsphase – ist immer stärker durch Änderungen geprägt, die dann entsprechende Engineering-Entscheidungen erfordern. Diese Änderungen werden dynamischer, komplexer und müssen zunehmend vorausschauender umgesetzt werden. Dazu zählen auch sich in Planungs- und Realisierungsphasen überholende Änderungen, bei denen sich die physische Anlage aber noch gar nicht geändert hat bzw. die Umsetzung einer Änderung noch nicht abgeschlossen ist, während sich bereits eine weitere Änderung in der Realisierungsphase befindet. Das integrierende Modell ist der Hebel, um die dynamischer werdenden Entscheidungen durchgängig absichern zu können und so das Management der Änderungen beherrschbarer zu gestalten.

Außerdem ist heute das Engineering oft dadurch geprägt, dass das Erst-Engineering im Rahmen der Errichtung einer Anlage und das Änderungsengineering während der Betriebsphase nur lose gekoppelt sind. Um aber das Änderungsengineering während der Betriebsphase effektiv und effizient durchführen zu

[5] Das integrierende Anlagenmodell ist im Gegensatz zu den anderen Elementen der Abbildung ein technisches System und keine geschäftliche Rolle.
Im Anwendungsszenario DDA vom November 2016 [3] war das Anlagenmodell als eigenständiges Element in Bild 1 dargestellt. Die Überarbeitung wurde vorgenommen, um für mehr Klarheit zu sorgen. Dennoch ist das Anlagenmodell aus technischer Sicht das zentrale Element in diesem Anwendungsszenario. Um dies zu manifestieren, beabsichtigt der GMA Fachausschuss 6.12, das Anwendungsszenario in Ergänzung zur geschäftlichen Perspektive auch aus einer Anwendungsperspektive zu beschreiben. In der Anwendungsperspektive ist dann das Anlagenmodell der zentrale Betrachtungsgegenstand.

können, muss auf den Ergebnissen des Erst-Engineerings aufgesetzt werden, indem das Modell des Erst-Engineerings zur Pflege an das Änderungsengineering übergeben wird. Insofern wird die strikte Trennung in Erst- und Änderungsengineering verschwinden, wenn sich auch Motive und Ziele (beispielsweise Errichtbarkeit beim Erst-Engineering und Optimierung, Debottlenecking beim Änderungsengineering) und damit die Charakteristika von Änderungen in diesen beiden Phasen weiterhin unterscheiden werden.

Basierend auf dem zentralen Modell wird sich auch die Form des Arbeitens ändern. Das strikte Phasenmodell im Engineering [4] wird aufgebrochen und flexibel zusammenstellbare Projektteams werden agil und cross-funktional arbeiten. Die Formalisierung durch das Modell wird außerdem erzwingen, dass Merkmale (in Form von Inhalten) früher definiert und im Modell hinterlegt werden.

Das integrierende Modell beinhaltet ein Abbild der realen Anlage, sowohl im Hinblick auf die statische Struktur als auch die Betriebsdaten. Hinzu kommen Lebensweginformationen der Anlage bezüglich in der Vergangenheit durchgeführter Änderungen sowie potenzieller Änderungen, die nicht durchgeführt wurden. Zusätzlich beinhaltet das Modell aber auch alle Randbedingungen (beispielsweise über die Entstehung des Modells), Kontextinformationen, sowie mögliche Varianten und kann im Hinblick auf die Auswirkung von potenziellen zukünftigen und bereits in der Vergangenheit getroffenen Engineering-Entscheidungen genutzt werden. Diese Reflexionsfähigkeit kann beispielsweise genutzt werden

- im Hinblick auf die Bewertung von Fern- und Nebenwirkungen von getroffenen bzw. zu treffenden Entscheidungen,
- um – unterstützt durch Assistenzfunktionen – das lokale Optimum aus der Sicht eines einzelnen Akteurs oder einer am Engineering beteiligten Organisation im Hinblick auf ein globales (vorstellbares, aber nicht unbedingt erreichbares) Optimum zu bewerten oder
- um Themen wie Sicherheit, Stand der Technik, Gesetze im Sinne eines kontinuierlichen Reflexionsprozesses zu adressieren.

In der Vision ist offen, inwieweit sich dieses zentrale Modell zunehmend selbst erzeugt und optimiert (beispielsweise über intelligente Assistenten oder Automatismen, die basierend auf existierenden Lösungen Verknüpfungen erzeugen) oder ob letztendlich die Kreativität des Menschen der Hebel ist, ein „gutes“ zentrales Modell zu schaffen („gut“ im Hinblick auf den wirtschaftlichen Zusatznutzen durch das Modell an sich).

1.3 Disruptives Potenzial

In diesem Anwendungsszenario sind wie bereits erwähnt zwei neue Schlüsselrollen für den Aufbau und die Pflege, Analyse und Auswertung des Modells erforderlich:

- Der Aufbau und die Pflege des integrierenden Modells sind herausfordernde Aufgaben, die fundiertes technisches und methodisches Know-how voraussetzen. Diese Tätigkeiten bieten die Möglichkeit
  - für neue Dienstleistungen bezüglich des Aufbaus und der Pflege des Modells oder bezüglich Beratung und Schulung zum Aufbau,
  - zur Pflege sowie optimalen Nutzung solcher Modelle oder auch
  - zum (kombiniert oder separat) Aufbau und zur Pflege der dafür erforderlichen IT-Infrastruktur.
- Das Modell beinhaltet Informationen von allen Prozessbeteiligten.
  - sowohl Daten der Anlage und ihrer Komponenten (über den Lebenszyklus) als auch
  - Daten des Prozesses (über der Zeit) sowie
  - Daten der Nutzung der Anlage (wann wurde welche Charge von wem, wo, wie und woraus hergestellt).

Damit bietet das integrierende Modell das Potenzial, Value-added Services anzubieten, (vergleiche „Anwendungsszenario VBS – Value-based Service“ [7]).

Durch das integrierende Modell wird sich die Art und Weise der Zusammenarbeit der Beteiligten ändern:

- Die heutigen Beteiligten (Anlagenbauer, Betreiber, Serviceerbringer, Engineeringwerkzeug-Hersteller etc.) werden aus wirtschaftlicher Sicht ihr Rollenverständnis im Hinblick auf ihren Wertschöpfungsanteil bzw. Eigentumsanspruch an das integrierende Modell überdenken müssen.
- Das integrierende Modell beinhaltet eine andere Art, Daten zu halten und zu teilen. Daraus ergeben sich auch neue Möglichkeiten und Risiken im Umgang mit Unsicherheiten bzw. dem Abgeben von Zusicherungen bzw. zugesicherten Eigenschaften der zu erbringenden Lieferungen und Leistungen. Ein inhaltliches und methodisches Beherrschen solcher neuen Möglichkeiten (beispielsweise im Hinblick auf das gesellschaftliche Bedürfnis nach Sicherheit) bietet neue Geschäftspotenziale.

1.4 Treiber (im Engineering von Anlagen)

Der Markt der Anlagenbetreiber ist – neben dem ständigen Druck, die geforderte Qualität möglichst effizient zu liefern – geprägt durch zunehmende Volatilität:

- Flexible Losgrößen und steigende Individualität der Produkte erfordern flexible und wandlungsfähige Anlagen.
- Steigende Volatilität der Märkte und Schnelllebigkeit der Produkte erfordern ein schnelleres Time-to-Market bei der Anlagenerrichtung bzw. beim Anlagenumbau.

Trotz zunehmender Komplexität steigt der Druck im Hinblick auf Produktivitätssteigerung des Engineerings von Anlagen:

- Notwendigkeit einer zunehmend flexiblen und skalierbaren Aufstellung (Einbindung von Engineering-Dienstleistern, individuelle Berücksichtigung der Forderung nach „Local content“, Verantwortung zwischen Stammhaus und Regionen, Harmonisierung versus Heterogenität im Engineering usw.)
- hohe Integrationsfähigkeit aufgrund der hohen Komplexität und der zunehmenden Anzahl von involvierten Stakeholdern bei Errichtung, Betrieb und Instandhaltung von Anlagen
- Engineering-Prozesse können zunehmend **überall** und **jederzeit** geplant, beschafft, ausgeführt und gesteuert werden, unabhängig von Zeit und Ort.

Die zu berücksichtigenden Gesetze nehmen zu:

- zunehmende Regularien, wie die regelmäßige Gefährdungsbeurteilung basierend auf dem Stand der Technik
- zunehmende Berücksichtigung gesellschaftlicher Auswirkungen von Anlagen („Fukushima-Effekt“)
- Zunehmende Komplexität der Anlagen hat aufwändigeres Behördenengineering zur Folge.
- Insbesondere in der Lebensmittel- und Pharmaindustrie steigende Anforderungen in Bezug auf die Datenintegrität der zur Herstellung von Produkten genutzten Anlagen und Herstellungsprozesse sowie der hergestellten Produkte.

Die Anlagenbetreiber stellen sich noch stärker global auf:

- Der Standort einer Anlage definiert die zu berücksichtigenden Randbedingungen. Durch die zunehmende globale Aufstellung der Anlagenbetreiber muss das Engineering von Anlagen den landesspezifischen Randbedingungen angepasst werden.

Der technische Fortschritt geht weiter:

- Bei jeder technischen Entwicklung entstehen neue Modelle, die im Rahmen des Engineerings von Anlagen ihre Berücksichtigung finden müssen.
- Berücksichtigung und Integration neuer Paradigmen (beispielsweise Open-Source-Software)
- Flexible Nutzung des breiten Spektrums von Diensten der „On-Demand-Economy“, beispielsweise Outsourcing einfacher „Teilaufgaben“ im Einkauf, Lösen komplexer Probleme über Communities, Nutzung von Marktplätzen oder flexibles Einbinden von Spezialisten/Freiberuflern
- Multidomain-Integration mit „Design for X“, wobei X für Geschäft, Attraktivität, Funktionen, Kosten, Wartungsfreundlichkeit, Umwelt, Nachhaltigkeit, Performance, Geographie usw. steht

1.5 Nutzen (für das Engineering von Anlagen)

Dieses Anwendungsszenario adressiert in erster Linie strategische Aspekte, der Nutzen wird sich in der Regel nicht sofort im operativen Geschäft niederschlagen:

- Skalierung des Engineerings in einem zunehmend dynamischen Umfeld unter den verschiedensten Spannungsfeldern (Strategie, Prozesse, Technologie, Wirtschaftlichkeit)
- inhaltlich bessere Absicherung von Engineering-Entscheidungen und nachhaltige Differenzierung durch gezielte Nutzung der Möglichkeiten des integrierenden Anlagenmodells
- technisch geprägter Ansatz zur Verbesserung der Wertschätzung für das Engineering

1.6 Herausforderungen (für das Engineering von Anlagen)

Es bedarf eines Ausgleichs bezüglich der unterschiedlichen und zum Teil entgegengesetzten Interessen der verschiedenen Akteure an einem integrierenden Anlagenmodell bzw. dessen inhaltlichen Aspekten:

- Engineering-Dienstleister bzw. Anlagenbauer werden in der Regel nicht bereit sein, Einzelheiten der Berechnungsmethoden oder -optionen zur Auslegung von Schlüsselkomponenten einem Komponentenlieferanten oder einem zukünftigen Betreiber zur Verfügung zu stellen.
- Errichter bzw. Anlagenbauer werden in der Regel nicht bereit sein, die optionalen sowie eine ausgewählte Abwicklungsstrategie im Modell abzubilden und diese Informationen mit anderen Akteuren zu teilen.
- Betreiber von Anlagen sind in der Regel nicht bereit, Informationen über den Betrieb ihrer Anlage anderen zur Verfügung zu stellen.
- In der Regel werden in einer Anlage Leistungen unterschiedlicher Lieferanten und Dienstleister integriert, die alle durch Services über den Lebensweg der Anlage profitieren wollen. Der Betreiber der Anlage erwartet aber oft die Services aus einer Hand.
- Daraus leiten sich hohe Anforderungen an das Informationsmanagement im Hinblick auf Zugriffsrechte und Pflichten der Informationspflege ab.[6]

Bedarf besteht auch bei der Qualifizierung der Mitarbeiter im Hinblick auf neue Arbeitsweisen:

- Grundsätzliche methodische Beherrschung einer adäquaten Modellierung technischer Systeme sowie Verständnis der sozialen Systeme, die diese Modelle sowie die technischen Systeme (Anlagen) an sich erstellen. Dies beinhaltet auch die Spezifikation und Verifikation zwecks Risikominimierung aufgrund inadäquater Spezifikationen und unvollständiger Absicherung von Engineering-Entscheidungen. Ein besonderes Augenmerk ist auf nichtfunktionale Anforderungen zu legen. Die notwendigen Informationen müssen soweit aufbereitet sein, dass (Engineering-)Entscheidungen nicht nur effektiv, sondern auch effizient in Bezug auf ein globales Optimum getroffen werden können.
- Die Mitarbeiter sind heute grundsätzlich nicht mit der Denkweise einer veränderbaren Anlage im Zusammenspiel mit einem kontinuierlichen Engineering und damit einer agilen Denk- und Vorgehensweise vertraut.
- Das integrierende Anlagenmodell hat eine hohe Komplexität, sodass die Herausforderung besteht, dass Mitarbeitern dieses Modell überhaupt verständlich zu machen, sodass sie damit arbeiten können (Nutzen und Pflegen des Modells).

Es bestehen grundsätzliche Herausforderungen, das beschriebene integrierende Anlagenmodell überhaupt erst einmal sowohl unter technischen als auch betriebswirtschaftlichen und organisatorischen Bedingungen aufzubauen:

- ausreichendes und ausgeglichenes Verständnis der Domäne, der Kunden und des Geschäfts im Hinblick auf einen sinnvollen Fokus des Modells
- Modellarchitektur im Hinblick darauf, dass das Modell nicht nur aus einzelnen Bausteinen besteht, sondern zusätzlich auch die verschiedenen Perspektiven der unterschiedlichen Interessengruppen adressiert werden. Beispielsweise muss das integrierende Anlagenmodell grundsätzlich in der Lage sein, Daten von (nicht vorgedachten) Komponenten verschiedenster Hersteller zu verwalten.
- Aufbau und Bereitstellung eines generischen Anlagenmodells bzw. generischer Anlagenmodelle, die als Basis für die kundenspezifischen Modelle dienen

1.7 Auswirkungen auf Wertschöpfungsketten

Es entsteht eine Verschiebung von Wertschöpfung im derzeitigen Wertschöpfungsnetz:

- Die bereits heute beim Engineering von Anlagen Beteiligten werden ihre zukünftige Rolle im Wertschöpfungsnetz insbesondere unter dem Gesichtspunkt überdenken, wie sie aus dem integrierenden Anlagenmodell zusätzliches Wertversprechen beispielweise in Form verbesserter Absicherungen von Engineering-Entscheidungen generieren können.
- Das integrierende Anlagenmodell ermöglicht es Engineering-Dienstleistern, die Kernwertschöpfung des Engineerings besser transparent zu machen und dadurch die eigene Position im Wertschöpfungsnetzwerk über **alle** Lebensphasen einer Anlage zu stärken.

[6] Bei der Produktentwicklung erfolgt dies meistens unter der Verantwortung des Produkteigners, siehe dazu auch die verschiedenen Subszenarien im nächsten Kapitel.

Neue Dienstleistungen:

- Diese betreffen insbesondere Schulungs-, Coaching- und Beratungsleistungen rund um den Aufbau, die Pflege und die effiziente Nutzung des integrierenden Anlagenmodells.

Neue Geschäftsmodelle (siehe dazu insbesondere auch die Ausführungen zu den verschiedenen Subszenarien im nächsten Kapitel):

- Der Aufbau des integrierenden Anlagenmodells und insbesondere das Verwalten und die Pflege des Modells über den gesamten Lebensweg der Anlagen bietet das Potenzial für neue Geschäftsmodelle und damit für einen eigenständigen Wertschöpfungsprozess. Neben der Herausforderung der Datenhoheit und Dateneigentümerschaft ist hier insbesondere auch die Datenintegrität ein zentrales Thema.
- Ein besonderer Aspekt ist auch die Analyse und Auswertung des Modells (das heißt insbesondere die Analyse der Fern- und Nebenwirkungen von während des Lebensweges einer Anlage potenzieller und getroffener Engineering-Entscheidungen) und die Vermarktung dieser Erkenntnisse.

1.8 Anknüpfungspunkte für die verschiedenen Arbeitsgruppen der Plattform Industrie 4.0 [8] (Beispiele)

AG 1 „Referenzarchitekturen, Standards und Normung"

- Standards zur Datenmodellierung
- Standards für systemische Produktbeschreibungen und -modelle
- Standards für agile Entwicklungsmethoden und -prozesse
- Leitfäden für Systems Engineering (z. B. INCOSE) u. ä.

AG 2 „Technologie- und Anwendungsszenarien"

Einschätzung, inwieweit durch das in diesem Statusreport beschriebene Anwendungsszenario die von der AG 2 identifizierten Forschungsbedarfe konkretisiert werden:

- **Methoden für neue Geschäftsmodelle:**
  In diesem Anwendungsszenario sind neue Geschäftsmodelle denkbar, beispielsweise der Aufbau, die Verwaltung und Pflege oder das Analysieren und Auswerten des integrierenden Anlagenmodells. Damit konkretisiert dieses Szenario das Thema „Methoden für neue Geschäftsmodelle".
- **Framework Wertschöpfungsnetzwerke:**
  Das Anwendungsszenario konkretisiert das Forschungsthema „Framework Wertschöpfungsnetzwerke" der Plattform Industrie 4.0. Es muss die reibungslose Zusammenarbeit von Engineering-Dienstleistern auf Basis eines integrierenden Anlagenmodells ermöglichen.
- **Automatisierung von Wertschöpfungsnetzwerken:**
  In einer Übergangsphase ist zwar eine manuelle Integration der verschiedenen Modelle in ein integrierendes Anlagenmodell denkbar, in der Perspektive muss dies aber weitestgehend automatisch erfolgen. Bezüglich einer automatischen Modellintegration wirft das Anwendungsszenario einerseits Grundsatzfragen auf, zusätzlich ist unter diesem Gesichtspunkt dieses Forschungsthema eine wichtige Voraussetzung für das Anwendungsszenario.
- **Integration von realer und virtueller Welt:**
  Dies ist der eigentliche Kern dieses Anwendungsszenarios und es konkretisiert entsprechend das Forschungsthema. Zwar integriert man bereits heute beim Anlagenengineering permanent Fremdmodelle, dennoch wirft das Anwendungsszenario Grundsatzfragen auf bezüglich Methoden (Modelle, Werkzeuge und Prozesse) zur kontinuierlichen Anpassung von Modellen sowie der Verantwortlichkeit der verschiedenen Akteure, welche diese Modelle erstellen.
- **Systems Engineering:**
  Dies und die Weiterentwicklung hin zu einem „systemischen Engineering" im Sinne der soziologischen Systemtheorie ist zentral für dieses Anwendungsszenario und konkretisiert entsprechend das interdisziplinäre Forschungsthema. Benötigt werden Methoden zur Modellintegration und zur Absicherung von Engineering-Entscheidungen. Aufgrund der Komplexität der auszulegenden technischen Systeme ist es ebenfalls erforderlich, das das Engineering ausführende soziale System (Individuen und Organisationen) in einem neuen systemischen Engineering-Ansatz zu integrieren, um der Komplexität der Gesamtaufgabe gerecht werden zu können.
- **Sensornetze:**
  irrelevant (konkrete Anlagen mögen das erfordern, wird aber im Anwendungsszenario nicht betrachtet)

- **Intelligenz, Flexibilität, Wandelbarkeit:** Das Anwendungsszenario treibt die Innovation, die mit dem Aspekt „Wandelbarkeit einer Anlage“ verbunden ist. Außerdem konkretisiert es das Forschungsthema insbesondere im Hinblick auf die Anwendung von Methoden der „Künstlichen Intelligenz“.

- **multimodale Assistenzsysteme:** In diesem Anwendungsszenario sind Assistenzsysteme für den Aufbau, die Verwaltung und Pflege oder das Analysieren und Auswerten des integrierenden Anlagenmodells notwendig. Damit konkretisiert es das Thema „Multimodale Assistenzsysteme“.

- **Technologieakzeptanz und Arbeitsgestaltung:** Geprägt durch das Anwendungsszenario werden die Ingenieure zukünftig anders arbeiten müssen. Starre Phasenmodelle werden sich hin zu mehr agilen Vorgehensweisen auflösen und Projektteams werde flexibler und deutlich cross-funktionaler organisiert werden. Unter diesem Gesichtspunkt liefert das Anwendungsszenario konkrete Forschungsbedarfe.

- **Netzkommunikation für Industrie 4.0-Szenarien:** irrelevant

- **Mikroelektronik:** irrelevant

- **Safety, Privacy & Security:** Das Anwendungsszenario liefert konkrete Forschungsbedarfe im Hinblick auf Dateneigentümerschaft insbesondere von Engineering-Daten. Daneben werden für dieses Anwendungsszenario Methoden und Technologien benötigt, die Aufschluss darüber geben, welche Rückschlüsse man aus zur Verfügung gestellten Daten im Hinblick auf einen Produktionsprozesse bzw. ein gefertigtes Produkt ziehen kann.

- **Datenanalyse:** Für dieses Anwendungsszenario werden Methoden und Technologien benötigt, um aus dem integrierenden Anlagenmodell Erkenntnisse ziehen zu können.

- **Semantik und Syntax für Industrie 4.0:** Modelle sind der eigentliche Kern dieses Anwendungsszenarios, damit auch deren Syntax und Semantik. Außerdem ist dieses Forschungsthema eine zentrale Voraussetzung für das Anwendungsszenario.

AG 3 „Sicherheit vernetzter Systeme“

Datensicherheit, Vertraulichkeit und Rechtssicherheit von Informationen

AG 4 „Rechtliche Rahmenbedingungen“

Wer ist Eigentümer von Daten und abgeleitetem Know-how? Reichen der derzeitige Gebrauchsmusterschutz (Copyright) und Patente dafür aus, da dem klassischen Engineering eine schöpferische Leistung abgesprochen wird und es als Anwendung bekannter Regeln aufgefasst wird? Wer ist Eigentümer von sich emergent (unerwartet) ergebenden Erkenntnissen, die sich aus und mit der Arbeit am Modell ergeben?

Zurechnung (Kunde, Lieferant, Drittnutzer) und Haftung für Leistungsqualität/Leistungsstörungen der Daten und Parametersätze: Wer trägt die Verantwortung für Fehler im Engineering, wenn alle Beteiligten in eine „Black Box“ in Form des integrierenden Anlagenmodells hineinarbeiten? Welche Rechte/Pflichten ergeben sich aus der Erkenntnis oder Nutzung von Modellinkonsistenzen oder Modellfehlern? Beispielsweise wird die fehlerhafte Auslegung einer Schlüsselkomponente von einem Komponentenlieferanten erkannt, der jedoch „nur“ die Fertigung und Lieferung einer von einem anderen Akteur fertig ausgelegten Komponente in Auftrag bekommen hat, jedoch nicht das Engineering. Motiv: Mit diesem Verhalten möchte dieser Akteur die Unfähigkeit des Engineering-Unternehmens bestätigen, um spätestens in Zukunft, im Idealfall gleich für diese spezifische Anlage, wieder selbst Engineering, Fertigung und Lieferung insgesamt beauftragt zu bekommen.

AG 5 „Arbeit, Aus- und Weiterbildung“

Qualifikation im Hinblick auf administrative, sowie Fach- und Führungstätigkeiten, insbesondere

- **Modellierungsexpertise:** integrierte Betrachtung von Strategie, Prozesse und System, und zwar über den gesamten Lebenszyklus des Systems

- **Methodenkompetenz:** Analyse, Design, Verifikation/Validierung, Anforderungsmanagement

- Agiles Engineering, Schnelllebigkeit

- Teamfähigkeit in globalen Teams, interkulturelles Arbeiten

- Vermitteln eine „systemisches Engineering-Ansatzes“, der ebenfalls die das Engineering ausführenden sozialen Systeme berücksichtigt und im Modell abbildet.

Adäquates Vermitteln des Gedankens der „Modellbasierung“ auf allen Ebenen der Ausbildung ist notwendig.

2 Verschiedene Ausprägungen des Anwendungsszenarios

2.1 Beschreibung von Subszenarien

In diesem Abschnitt werden verschiedene Ausprägungen des Anwendungsszenarios „DDA – Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen“ beschrieben, um insbesondere geschäftliche Konsequenzen zu diskutieren. Die beschriebenen Subszenarien sind lediglich als Beispiele zu verstehen, sie erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Die Auswahl der Subszenarien orientiert sich an der Veröffentlichung „Durchgängiges Engineering in Industrie 4.0-Wertschöpfungsketten“ [2], aus der die Beispiele „Engineering-Dienstleister/Anlagenbauer“ und „Engineer-to-Order“ für den Nutzen von durchgängigem Engineering in unterschiedlichen Organisationen aufgegriffen werden. Dabei wird das Subszenario „Engineer-to-Order“ an zwei unterschiedlichen Ausprägungen illustriert, einmal für eine Spezialmaschine, die typischerweise in der Losgröße 1 gefertigt wird, und einmal für eine kundenspezifische Schraube, für die in Losgröße 1 die Formen hergestellt werden, mit deren Hilfe dann in Kleinserie oder in großen Volumina Schrauben produziert werden. Dabei wird auch deutlich, dass die Abgrenzung der beiden Anwendungsszenarien „SP2 – Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion“ und „DDA – Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen“[1] verschwimmt[7].

Der Beschreibung der Subszenarien liegt der „Business Viewpoint“ der „Industrial Internet Reference Architecture“ [6] zugrunde und sie lehnt sich an der Beschreibung der Subszenarien des Anwendungsbeispiels „VBS – Value-based Service“ an [7]. Konkret folgt die Beschreibung der Subszenarien der folgenden Struktur:

- **Wertschöpfungsnetz:** Es werden Beziehungen zwischen geschäftlichen Rollen in Form eines Wertschöpfungsnetzes beschrieben. Dabei werden als Basis die Wertschöpfungsketten in der produzierenden Industrie gemäß [9] zugrunde gelegt. Bild 2 zeigt diese Wertschöpfungsketten, wobei in Ergänzung zu [9] noch Beispiele für weitere Geschäftspartner ergänzt wurden, denn in der Regel erbringt ein produzierendes Unternehmen die Wertschöpfung in Kooperation mit vielen anderen Unternehmen.
- **Vision:** Es wird das heutige Wertschöpfungsnetz einem postulierten zukünftigen Wertschöpfungsnetz gegenübergestellt.
- **Nutzenversprechen:** Es wird für die einzelnen Geschäftspartner das gegenseitige Nutzenversprechen beschrieben, sodass sich für alle beteiligten Geschäftspartner ein Nutzen ergibt.
- **Ertragsmechanik:** Es wird das prinzipielle Erlösmodell der einzelnen beteiligten Geschäftspartner skizziert.
- **Fähigkeiten und Interessen:** Für die einzelnen Geschäftspartner wird beschrieben, welche Fähigkeiten sie in der Zukunft benötigen und welche Interessen sie im Einzelnen verfolgen werden.

Abschließend wird jedes Subszenario noch bezüglich der Neuheit der zugrunde liegenden Geschäftsmodelle bewertet. Als Basis dazu wird die Geschäftsmodell-Systematik gemäß dem St. Galler Business Model Navigator™ zugrunde gelegt [10]. Bild 3 zeigt die vier zentralen Fragen, die im Hinblick auf ein Geschäftsmodell beantwortet werden müssen:

- Wer ist der Kunde?
- Was wird dem Kunden angeboten?
- Wie wird die Leistung hergestellt?
- Wie wird Wert erzielt?

Um inkrementelle Verbesserungen eines Geschäfts von einer Geschäftsmodellinnovation zu unterscheiden, spricht man von einer Geschäftsmodellinnovation, wenn mindestens zwei dieser vier Elemente geändert werden.

[7] Diese Beobachtung wurde bereits auch in anderem Kontext dokumentiert, siehe [5].

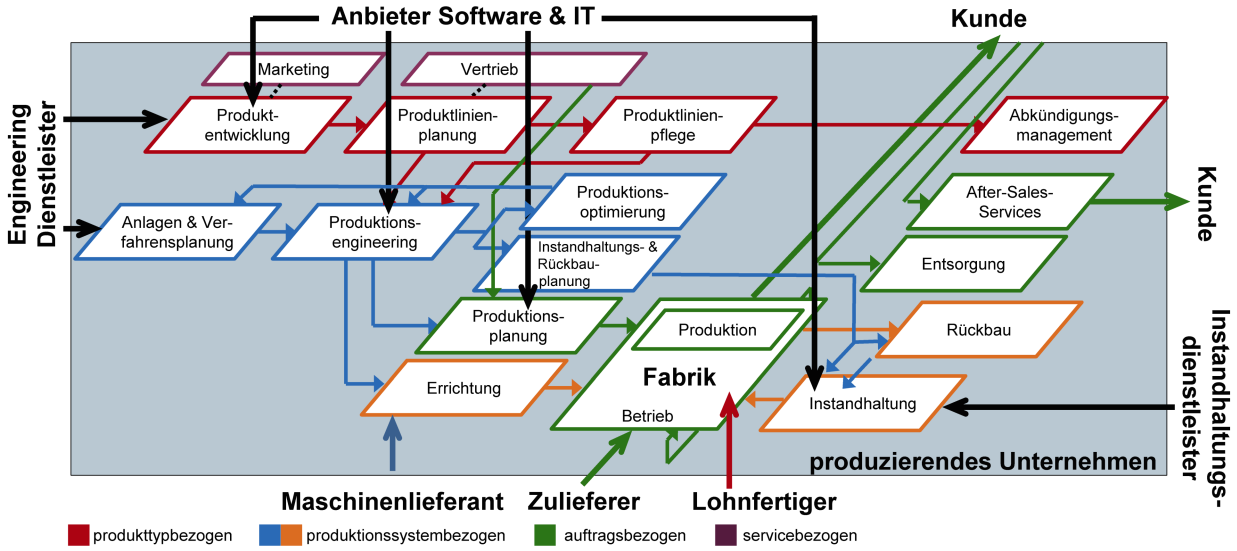

Bild 2. Wertschöpfungsketten in der produzierenden Industrie

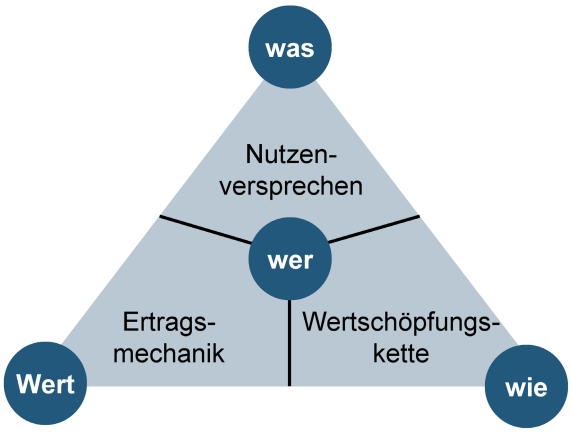

Bild 3. Magische Dreieck mit den vier Dimensionen eines Geschäftsmodells

2.2 Subszenario „Engineering-Dienstleister/Anlagenbauer"

2.2.1 Wertschöpfungsnetz

Bild 4 zeigt das in diesem Subszenario betrachtete Wertschöpfungsnetz als Ausschnitt des in Bild 2 gezeigten gesamten Wertschöpfungsnetzes. Der Engineering-Dienstleister/Anlagenbauer fokussiert sich auf die Planung und Errichtung der Anlage eines produzierenden Unternehmens. Seine Engineering-Ergebnisse werden in allen dem Anlagenbau zuzuordnenden Wertschöpfungsaktivitäten genutzt und mit den Zulieferungen der Maschinenlieferanten verbunden. Er bietet (zukünftig) außerdem Dienstleistungen zur Produktionsoptimierung, Instandhaltungs- und Rückbauplanung an und überwacht dann (möglicherweise) die konkreten Umbau- und Rückbaumaßnahmen an der Anlage. Für all diese Engineering-Tätigkeiten werden diverse Softwarewerkzeuge und IT-Systeme verschiedener Anbieter eingesetzt. Teilweise werden diese Werkzeuge und Systeme vom produzierenden Unternehmen vorgegeben, teilweise haben die Engineering-Dienstleister aber auch Freiheiten und die Möglichkeit, sich auf Basis ihres Erfahrungswissens eine geeignete Werkzeug- und Systemlandschaft zu gestalten.

Bild 5 zeigt, wie die heutige Ausprägung des betrachteten Wertschöpfungsnetzes nach Bild 4 auf die Interessensgruppen im Wertschöpfungsnetz des Anwendungsszenarios gemäß Bild 1 abgebildet werden kann. Der Fokus ist dabei allein auf der Planung und Errichtung der Anlage. Es liegt im Ermessen des Engineering-Dienstleisters/Anlagenbauers (in Bild 1 wird diese Rolle mit Integrator bezeichnet), welche der diversen Engineering-Tätigkeiten er selbst durchführt und welche er an andere Engineering-Dienstleister vergibt, dann aber überwacht und die gelieferten Engineering-Ergebnisse integriert. Es ist zu beachten, dass der Auftraggeber in Form der produzierenden Firma die komplette Anlagenerrichtung an den Engineering-Dienstleister/Anlagenbauer fremdvergibt und deshalb die entsprechenden Wertschöpfungsprozesse in Bild 5 nicht grau hinterlegt sind.

2.2.2 Ausblick

Bild 6 zeigt eine mögliche zukünftige Ausprägung des Wertschöpfungsnetzes im Kontext dieses Subszenarios. In Teilen ist dieser Ausblick bereits heute Realität, die durchgängige Nutzung des digitalen Anlagenmodells steht dabei allerdings erst am Anfang.

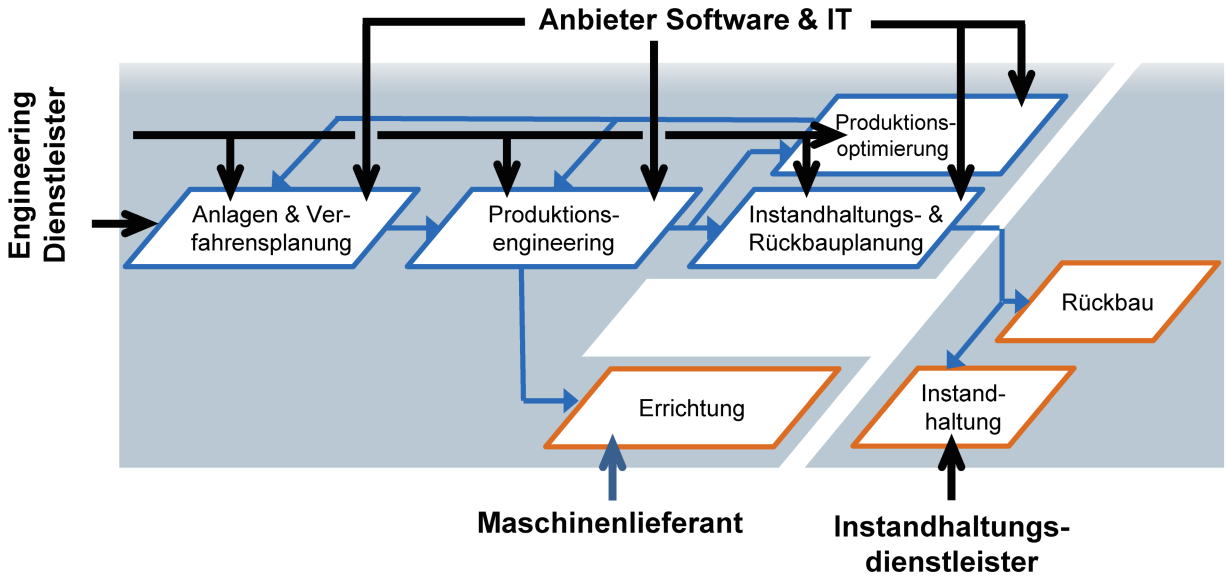

Bild 4. Betrachtetes Wertschöpfungsnetz „Engineering-Dienstleister/Anlagenbauer"

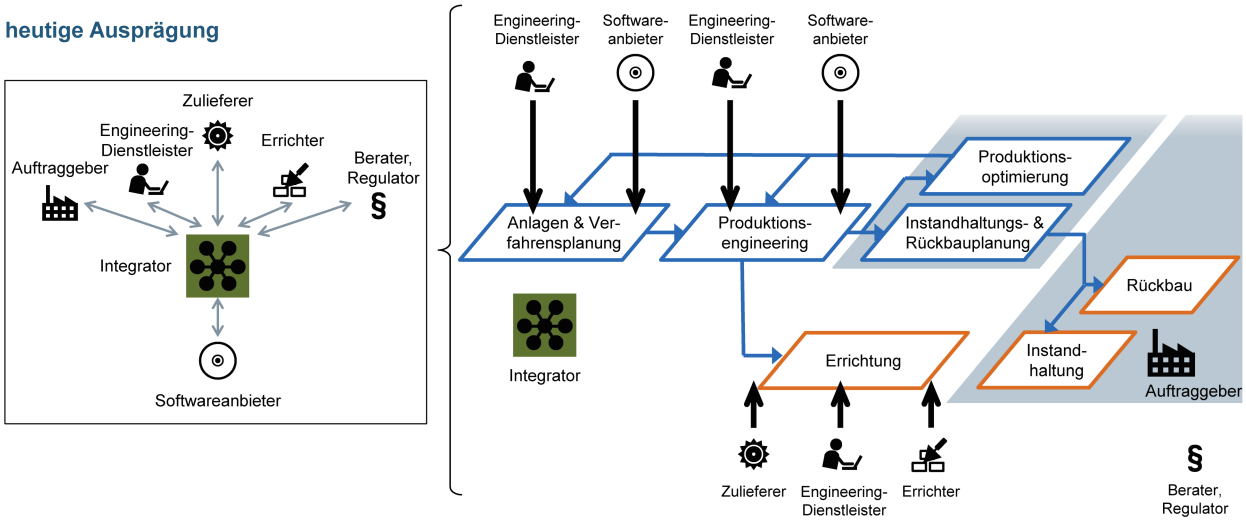

Bild 5. Heutige Ausprägung des Wertschöpfungsnetzes „Engineering-Dienstleister/Anlagenbauer"

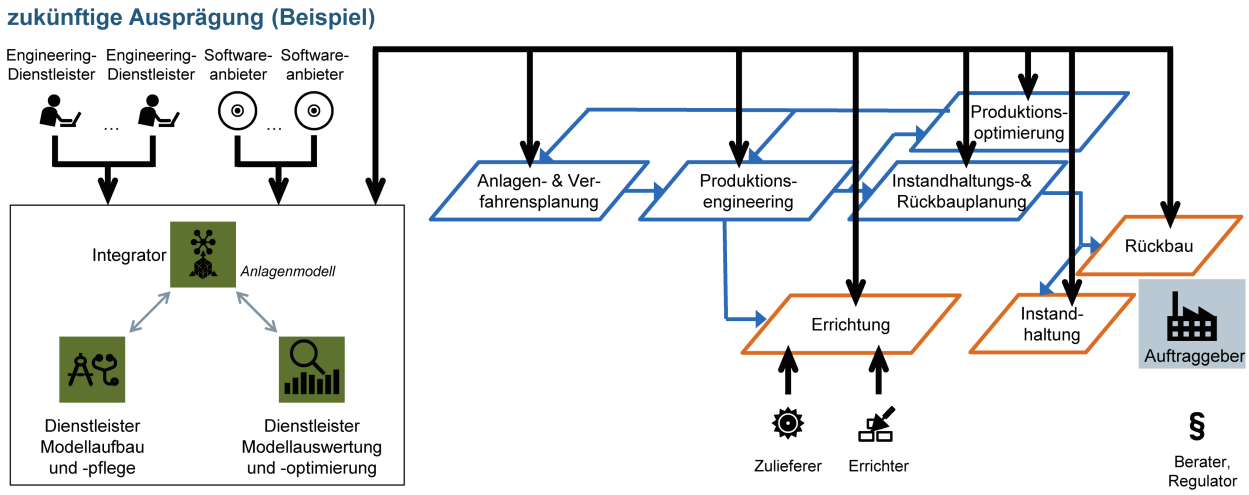

Bild 6. Mögliche zukünftige Ausprägung des Wertschöpfungsnetzes „Engineering-Dienstleister/Anlagenbauer"

Dieses Subszenario beruht auf zwei Thesen:

- Ein Engineering-Dienstleister/Anlagenbauer dehnt sein Angebot von der Planung und Errichtung der Anlage auf den gesamten Lebenszyklus der Anlage aus. Er bietet zusätzlich Dienstleistungen zur Produktionsoptimierung, Instandhaltungs- und ggf. Rückbauplanung an und überwacht dann auch die konkreten Umbau- (und gegebenenfalls Rückbau-)Maßnahmen an der Anlage.

- Um dieses Angebot machen zu können, organisiert er seine internen Engineering-Prozesse auf der Basis eines Anlagenmodells. Dieses Anlagenmodell wird von ihm selbst aufgebaut und gepflegt sowie ausgewertet und optimiert. Als „Integrator“ integriert er dabei die Dienstleistungen „Modellaufbau und -pflege“ und „Modellauswertung und -optimierung“. Er nutzt dieses Anlagenmodell, um die eigenen Engineering-Leistungen zu validieren, zu dokumentieren und Engineering-Entscheidungen verfolgen zu können, aber auch um die Zulieferungen der verschiedenen (Engineering-)Dienstleister zu integrieren. Auch die verschiedenen Softwarewerkzeuge und IT-Systeme wird er so nutzen und nutzen lassen, dass sie ihre Informationen in das Anlagenmodell speisen und umgekehrt auch aus dem Anlagenmodell gespeist werden können. Hier profitiert er von seinem Erfahrungswissen auf Basis ausgeführter Umsetzungsprojekte.

- Dieses Anlagenmodell ist ein Asset des Engineering-Dienstleisters/Anlagenbauers. Er wird sein Modell nicht in Gänze an den Auftraggeber übergeben, sondern lediglich die vom Auftraggeber geforderten und vertraglich vereinbarten Engineering-Ergebnisse in dem jeweils gewünschten Format. Dadurch ist er in seiner Werkzeug- und Systemlandschaft, aber auch bei den eingesetzten Modellierungs- und Speicherformaten (z. B. nationale oder internationale Standards) unabhängig von den Vorgaben seiner Auftraggeber. Auf Basis dieses Anlagenmodells wird er dann auch seine neuen Dienstleistungen für den genannten Lebenszyklus der Anlage anbieten. Oft genannt wird hier der Einsatz von Mechanismen und Methoden der Datenanalyse, der Mustererkennung oder der künstlichen Intelligenz.

Bild 7 zeigt zusammenfassend die heutige und zukünftige Ausprägung des Wertschöpfungsnetzes dieses Subszenarios. Für die weitere geschäftliche Betrachtung werden lediglich die beiden Rollen „Auftraggeber“ (orange dargestellt) und „Integrator“ (grün dargestellt) betrachtet. Die anderen geschäftlichen Rollen sind von diesem Subszenario nicht grundsätzlich betroffen.

2.2.3 Nutzenversprechen

Der Auftraggeber hat den Nutzen, dass er Unterstützung erhält

- bei der Optimierung der Effizienz und Ausschöpfung der Nutzungsmöglichkeiten seiner Anlage (auch auf Basis von Erfahrungswissen, das unabhängig von seiner konkreten Anlage ist),

- zum schnellen und verlässlichen Umbauen seiner Anlage,

- bei der Sicherstellung der Einhaltung regulatorischer Vorschriften.

Der Integrator erschließt sich neue Einnahmequellen durch

- die Planung des Umbaus einer Anlage, damit diese effizienter betrieben werden kann; Basis dafür sind die Auswertung und Optimierung des Anlagenmodells;

- die Validierung von Engineering-Entscheidungen, sodass Risiken beim Auftraggeber (Eigentümer, Betreiber) reduziert werden können

- die Dokumentation und Nachverfolgbarkeit von Änderungen an der Anlage, damit regulatorische Vorschriften verlässlich eingehalten werden.

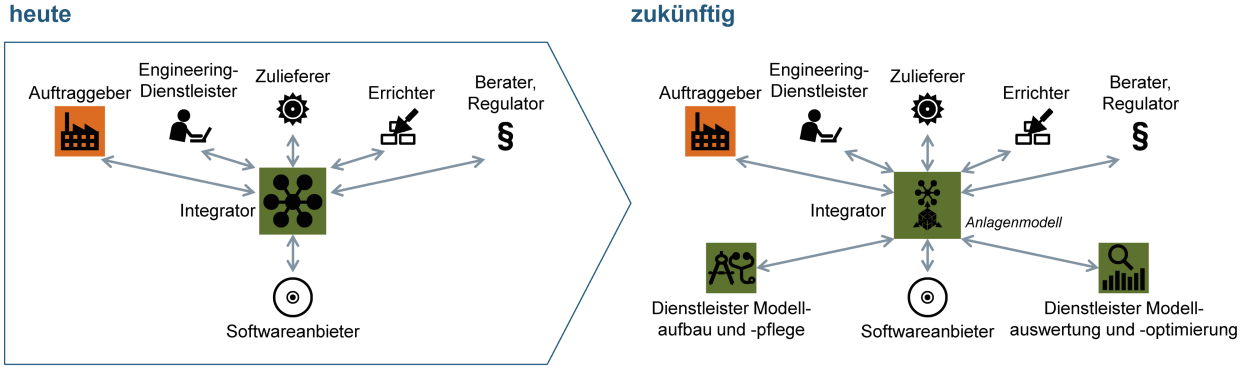

Bild 7. Mögliche Ausprägung des Subszenarios „Engineering-Dienstleister/Anlagenbauer“

2.2.4 Ertragsmechanik

Für den Auftraggeber ändert sich die prinzipielle Ertragsmechanik nicht.

Der Integrator ändert seine Ertragsmechanik in der Form, dass er sich – basierend auf den Erkenntnissen einer einmal geplanten Anlage – über den Lebenszyklus der Anlage zusätzliche Einnahmequellen erschließt. Diese können genauso wie die bisher angebotenen Engineering-Dienstleistungen abgerechnet werden. Es ist auch vorstellbar, dass der Integrator auch an den Einsparungen des Auftraggebers partizipieren möchte und deshalb erfolgsabhängig für die realisierten Einsparungen bezahlt wird. Darüber hinaus sind weitere nutzenbezogene Abrechnungs- bzw. Ertragsmodelle denkbar.

2.2.5 Fähigkeiten und Interessen

Der Auftraggeber muss die **Fähigkeit** besitzen, sein Geschäft flexibel und skalierbar im Hinblick auf die sich ändernden Anforderungen seiner Kunden auszurichten. Er muss also über den gesamten Lebenszyklus seiner Anlage auf die Anforderungen seiner Kunden wirtschaftlich reagieren können. Er hat in der Regel das grundsätzliche **Interesse**, keine Informationen über den Betrieb seiner Anlage mit anderen zu teilen.

Der Integrator muss die folgenden **Fähigkeiten** besitzen:

- Er muss das technische und methodische Know-how besitzen, um das beschriebene Anlagenmodell aufzubauen und zu pflegen im Hinblick auf die konkreten Inhalte dieses Modells. Dies muss insbesondere im Hinblick auf eine Multi-Domain-Integration, die die Zusammenführung und Verknüpfung von Inhalten aus verschiedenen technischen Bereichen berücksichtigt, und eine Multi-Stakeholder-Integration, die die Wechselwirkungen zwischen den Interessen von verschiedenen Nutzergruppen berücksichtigt, geschehen.
- Er muss das Informationsmanagement bezüglich des Anlagenmodells über den gesamten Lebenszyklus der Anlage beherrschen, beispielsweise Zugriffsrechte oder Verantwortlichkeiten für die Inhalte.
- Er muss in der Lage sein, das Anlagenmodell einzusetzen für die Validierung von Engineering-Entscheidungen, das Planen des Umbaus der Anlage und die Dokumentation und Rückverfolgbarkeit von Änderungen im Anlagenmodell und in der Anlage.
- Er muss die für die Verwaltung des Anlagenmodells notwendigen Softwarewerkzeuge und IT-Infrastruktur aufbauen und betreiben (lassen).
- Er muss über methodisches Wissen für die daten- bzw. informationsgetriebene Auswertung/Optimierung der Anlagendaten (bis zum gewissen Maße unabhängig von der konkreten Anwendung) verfügen.

In Summe muss sein Nutzenversprechen gegenüber dem Auftraggeber so groß sein, dass der Auftraggeber ihn mit der Wahrnehmung der vorgenannten Aufgaben beauftragt, anstatt diese Aufgaben in Eigenregie durchzuführen.

Der Integrator hat ein **Interesse** daran, über den gesamten Lebenszyklus einer Anlage Dienstleistungen aus einer Hand anzubieten.

2.2.6 Geschäftsmodellinnovation

Für den **Auftraggeber** hat dieses Subszenario keinen prinzipiellen Auswirkungen auf sein Geschäftsmodell.

Für den **Integrator** resultiert dieses Subszenario in einer Geschäftsmodellinnovation:

- **Wer ist der Kunde?** Der Kunde des Integrators ändert sich in diesem Subszenario nicht, es bleibt der Auftraggeber (Eigentümer, Betreiber der Anlage).
- **Was wird dem Kunden angeboten?** Das Wertversprechen gegenüber den Kunden ändert sich, da Dienstleistungen über den gesamten Lebenszyklus der Anlage angeboten werden.
- **Wie wird die Leistung hergestellt?** Dadurch, dass der Integrator zum Erbringen seiner Wertschöpfung ein Anlagenmodell aufbaut und pflegt, ändert sich seine Leistungserstellung.
- **Wie wird Wert erzielt?** Das prinzipielle Erlösmodell des Integrators ändert sich nicht.

Da zwei der vier Elemente geändert werden, liegt eine Geschäftsmodellinnovation vor.

Das Subszenario kann auf verschiedene Weise noch erweitert werden:

- Würde der Integrator sein Angebot so formulieren, dass er erfolgsabhängig für die erzielten Einsparungen bezahlt wird, würde sich zusätzlich noch sein Erlösmodell ändern.
- Der Integrator könnte zusätzlich noch Coaching und Beratung für das Aufbauen und Pflegen solch

eines Anlagenmodells anbieten. Dann würde er zusätzlich noch seinen Kundenkreis ausdehnen.

- Denkbar sind auch zusätzliche Services im Umfeld der Auswertung des Anlagenmodells. Dies ist ein zentraler Aspekt des Anwendungsszenarios „VBS – Value-based Service“ [7].

2.3 Subszenario „Engineer-to-Order“

2.3.1 Wertschöpfungsnetz

Im „Engineer-to-Order“-Geschäft erstellt in der Regel ein Kunde Ausschreibungsunterlagen bzw. eine Anfragespezifikation, auf dessen Basis das produzierende Unternehmen dann ein Angebot erstellt. Im Rahmen der Angebotserstellung wird geprüft, inwieweit die vom Kunden geforderten Anforderungen erfüllt werden können. In die Angebotserstellung sind neben dem Vertrieb in der Regel auch technische Abteilungen wie das Engineering und die Fertigung beteiligt. Sofern der Kunde dann das Produkt auf Basis des Angebots bestellt, entwickelt und fertigt das produzierende Unternehmen ein kundenspezifisches Produkt. Dabei bindet das produzierende Unternehmen in der Regel weitere Engineering-Dienstleister und Zulieferer von Komponenten, Werkzeugen und Subsystemen ein. In all diesen Engineering- und Fertigungsprozessen der produzierenden Firma werden diverse Software-Werkzeuge und IT-Systeme verschiedener Anbieter eingesetzt.

Bild 8 zeigt das in diesem Subszenario betrachtete Wertschöpfungsnetz als Ausschnitt des in Bild 2 gezeigten gesamten Wertschöpfungsnetzes.

Unter diesem Subszenario werden die beiden folgenden Varianten subsumiert:

a) Das Unternehmen produziert große Maschinen wie Großantriebe, Gasturbinen, Züge oder Schiffe. Die Losgröße ist hier typischerweise 1, gelegentlich werden mehrere gleiche Produkte bestellt.

b) Das Unternehmen produziert kundenindividuelle Teile in größerer Stückzahl, beispielsweise Spezialschrauben. Typischerweise beträgt die Losgröße hier zwischen einigen Hundert und vielen Tausend Stück. Die Kundenindividualität wird hierbei durch die Konstruktion und Herstellung von individuellen Werkzeugen, z. B. Tiefzieh-Formen oder Gussformen, realisiert, basierend auf der vom Kunden vorgegebenen Geometrie des Teils. Das „Engineer-to-Order“ bezieht sich hierbei also auf das vom Kunden gewünschte Produkt und die dafür in Losgröße 1 benötigten Werkzeuge und Formen.

Bild 9 zeigt, wie die heutige Ausprägung des betrachteten Wertschöpfungsnetzes nach Bild 8 auf die Interessensgruppen im Wertschöpfungsnetz des Anwendungsszenarios nach Bild 1 abgebildet werden kann. Die Rolle des Integrators nimmt dabei eine interne Abteilung des produzierenden Unternehmens ein.

a) Beim Beispiel einer großen Maschine wird in der Regel das interne Engineering die Rolle des Integrators einnehmen.

b) Im Beispiel einer kundenindividuellen Schraube wird sich die Rolle des Integrators auf die Adaption vorhandener Fertigungstechnologien fokussieren. Das wird typischerweise keine neue Anlagen- und Verfahrensentwicklung erfordern, sondern sich – wie in Bild 9 dargestellt – auf das Produktionsengineering in Form der Bereitstellung, Modifikation oder Herstellung passender Werkzeuge und die Anpassung des bestehenden Maschinenparks beschränken.

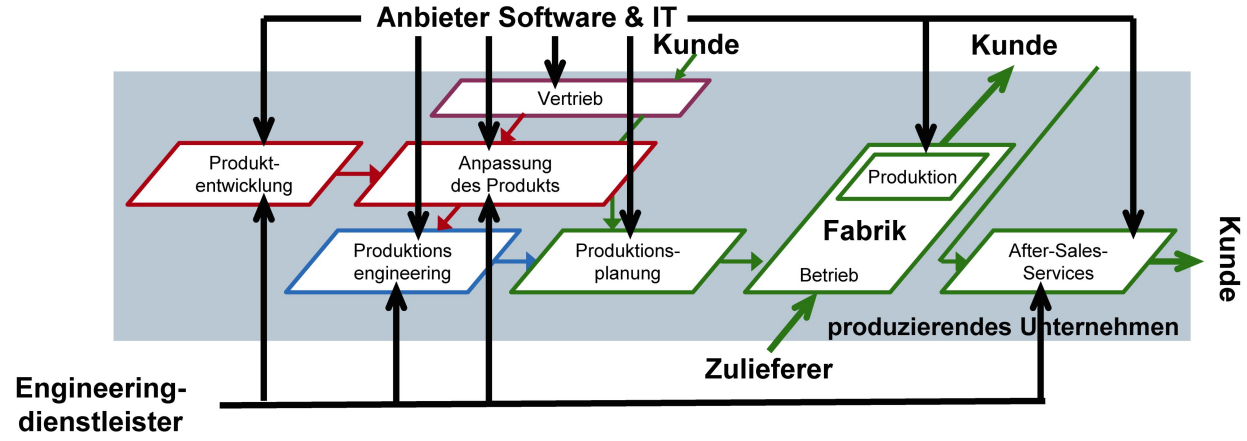

Bild 8. Betrachtetes Wertschöpfungsnetz „Engineer-to-Order“

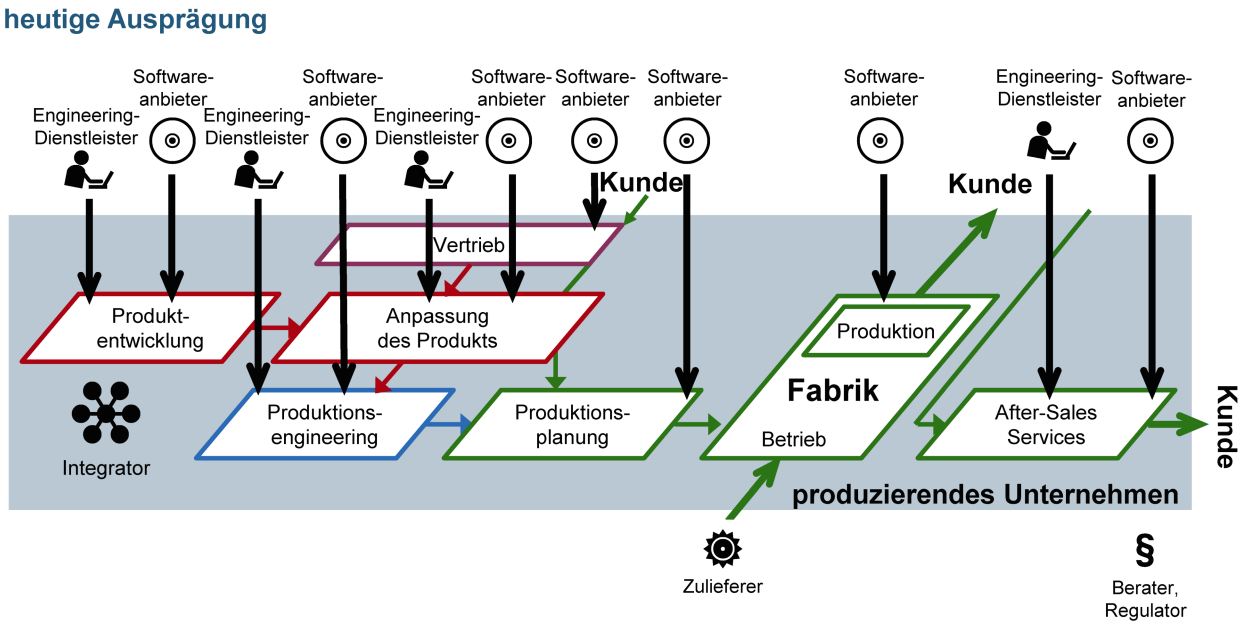

Bild 9. Heutige Ausprägung des Wertschöpfungsnetzes „Engineer-to-Order"

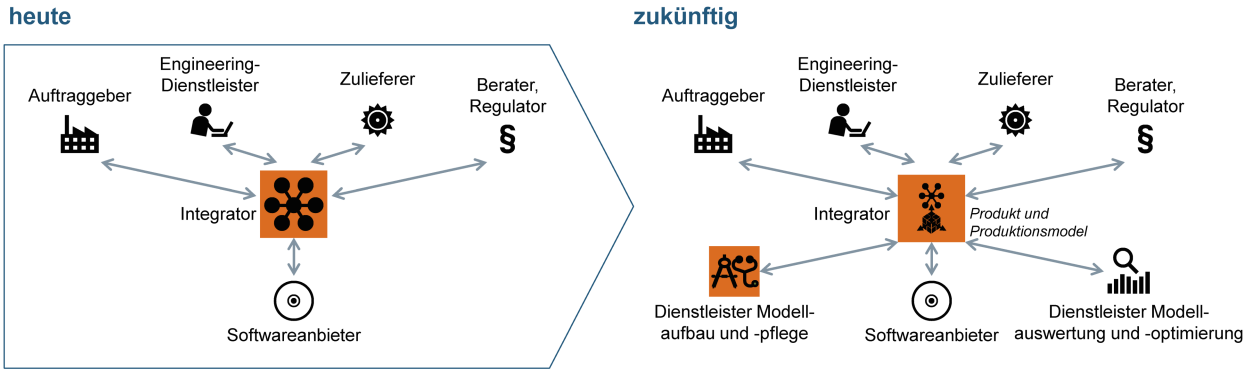

Bild 10. Mögliche zukünftige Ausprägung des Wertschöpfungsnetzes „Engineer-to-Order"

2.3.2 Vision

Abbildung 10 zeigt eine mögliche zukünftige Ausprägung des Wertschöpfungsnetzes im Kontext von diesem Subszenario.

Dieses Subszenario beruht auf der folgenden These:

- Das produzierende Unternehmen organisiert seine internen Vertriebs-, Projektmanagement, Engineering-, Produktionsmanagement- (einschließlich Betriebsmittelkonstruktion, Werkzeugbau, Formenbau, Fertigungs- und Service-Prozesse auf der Basis eines Produkt- und Produktionsmodells[8]. Dieses Modell nimmt in diesem Subszenario die Rolle des Anlagenmodells ein wird vom produzierenden Unternehmen selbst aufgebaut und gepflegt. Modellauswertungen sind als Option denkbar, werden aber im Kontext dieses Subszenarios nicht explizit betrachtet. Dieses Modell wird ebenfalls genutzt, um die Zulieferungen der verschiedenen Dienstleister zu integrieren. Auch die verschiedenen Softwarewerkzeuge und IT-Systeme werden so gestaltet, dass sie ihre Informationen in das Anlagenmodell speisen und umgekehrt auch aus dem Anlagenmodell gespeist werden können. Dieses Modell ist ein Asset des produzierenden Unternehmens, das für den Kunden nicht sichtbar ist[9].

[8] Das Produkt- und Produktionsmodell nimmt in diesem Subszenario die Rolle des Anlagenmodells gemäß Bild 1 ein. An dieser Stelle wird deutlich, dass hier die Anwendungsszenarien „DDA – Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen" und „SP2 – Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion" verschwimmen.

[9] Das produzierende Unternehmen kann das Produkt- und Produktionsmodell auch als Basis für neue produktbezogene Dienstleistungen nutzen. Dies ist eine mögliche Erweiterung des Subszenarios.

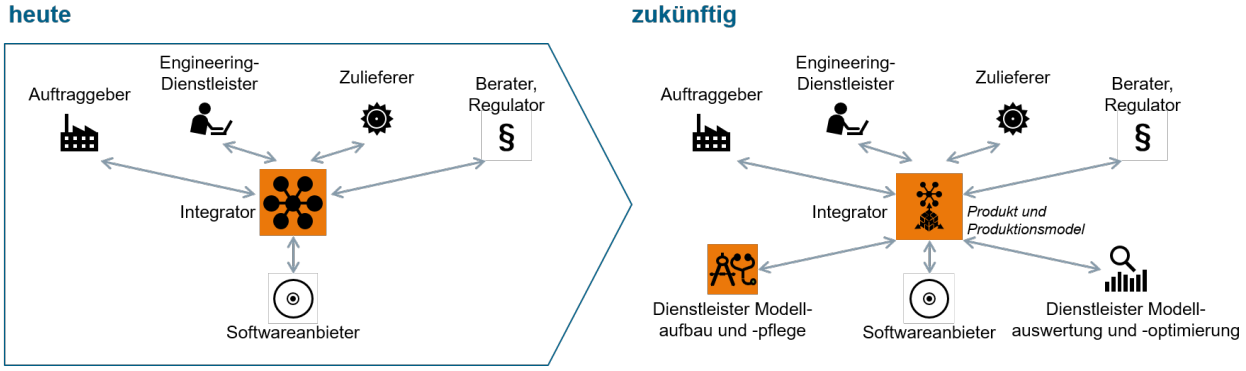

Bild 11. Mögliche Ausprägung des Subszenarios „Engineer-to-Order"

Bild 11 zeigt zusammenfassend die heutige und zukünftige Ausprägung des Wertschöpfungsnetzes dieses Subszenarios. Man beachte, dass die Rolle des Anlagenmodells gemäß Bild 1 hier durch das Produkt- und Produktionsmodell wahrgenommen wird. Für die weitere geschäftliche Betrachtung wird lediglich die Rolle der produzierenden Firma (orange dargestellt) betrachtet. Die anderen geschäftlichen Rollen sind von diesem Subszenario nicht grundsätzlich betroffen.

2.3.3 Nutzenversprechen

Dieses Subszenario beschreibt eine firmeninterne Technologie- und Prozessverbesserung. Der konkrete Nutzen ist primär getrieben durch das Potenzial, welches solch ein Produkt- und Produktionsmodell bieten kann. Es ist denkbar, dass dieser Nutzen auch dadurch gehoben wird, dass neue Geschäftspartner wie Berater zwecks Aufbau, Pflege und Auswertung des Modells oder Anbieter von IT-Plattformen zwecks softwaretechnischer Verwaltung des Modells in die Wertschöpfung des produzierenden Unternehmens einbezogen werden.

Gegenüber dem Kunden (i.e. Auftraggeber) ändert sich das Nutzenversprechen vom Prinzip her zunächst einmal nicht. Mithilfe des Produkt- und Produktionsmodells lassen sich aber möglicherweise erheblich kürzere Lieferzeiten, verlässlichere Liefertermine, ein gewährleistetes Qualitätsniveau oder sogar niedrigere Kosten realisieren.

2.3.4 Ertragsmechanik

Weil es sich bei diesem Subszenario zunächst um eine firmeninterne Technologie- und Prozessverbesserung handelt, hat es keine prinzipielle Auswirkung auf die Ertragsmechanik des produzierenden Unternehmens.

2.3.5 Fähigkeiten und Interessen

Das produzierende Unternehmen muss die folgenden **Fähigkeiten** besitzen:

- Es muss das technische und methodische Know-how besitzen, um das beschriebene Produkt- und Produktionsmodell im Hinblick auf die konkreten Inhalte dieses Modells, insbesondere im Hinblick auf eine Multi-Domain- und Multi-Stakeholder-Integration aufzubauen und zu pflegen.

2.3.6 Geschäftsmodellinnovation

Für das produzierende Unternehmen hat dieses Subszenario keine prinzipiellen Auswirkungen auf das Geschäftsmodell.

Das Subbzenario kann noch erweitert werden, beispielsweise:

- Das produzierende Unternehmen kann das Produkt- und Produktionsmodell auch als Basis für neue produktbezogene Dienstleistungen nutzen. Dafür ist dann eine geeignete Ertragsmechanik zu entwickeln, woraus auch eine Geschäftsmodellinnovation resultieren kann.

Literatur

[1] Aspekte der Forschungsroadmap in den Anwendungsszenarien. Ergebnispapier der Plattform Industrie 4.0, April 2016, http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/aspects-of-the-research-roadmap.html (abgerufen am 24.10.2018)

[2] Durchgängiges Engineering in Industrie 4.0 – Wertschöpfungsketten: VDI-Statusreport, Januar 2016, siehe https://www.vdi.de/presse/publikationen/publikationen-details/pubid/durchgaengiges-engineering-in-industrie-40-wertschoepfungsketten/ (abgerufen am 24.10.2018)

[3] Anwendungsszenario DDA – Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen, VDI-Statusreport, November 2016, siehe https://www.vdi.de/presse/publikationen/publikationen-details/pubid/anwendungsszenario-dda-durchgaengiges-und-dynamisches-engineering-von-anlagen/ (abgerufen am 24.10.2018)

[4] VDI 3695 Engineering von Anlagen; Evaluieren und Optimieren des Engineerings. Berlin: Beuth Verlag.

[5] Fay, A.; Gausemeier, J.; ten Hompel, M.: Einordnung der Beispiele der Industrie 4.0-Landkarte in die Anwendungsszenarien. Publikation der Plattform Industrie 4.0, April 2018 https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/hm-2018-fb-landkarte.html (abgerufen am 24.10.2018)

[6] The Industrial Internet Reference Architecture, Technical Report, https://www.iiconsortium.org/IIRA.htm (abgerufen am 24.10.2018)

[7] Benefits of Application Scenario Value-Based Service https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/benefits-application-scenario.html (abgerufen am 24.10.2018)

[8] Arbeitsgruppen der Plattform Industrie 4.0, https://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Plattform/Arbeitsgruppen/arbeitsgruppen.html (abgerufen am 24.10.2018)

[9] Industrie 4.0 Wertschöpfungsketten, VDI-Statusreport, April 2014 https://www.vdi.de/presse/publikationen/publikationen-details/pubid/industrie-40-wertschoepfungsketten/ (abgerufen am 24.10.2018)

[10] Gassmann, O.; Frankenberger, K.; Csik, M.: Geschäftsmodelle entwickeln – 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler Business Model Navigator. München: Carl Hanser Verlag, 2013

Der VDI

Sprecher, Gestalter, Netzwerker

Die Faszination für Technik treibt uns voran: Seit 160 Jahren gibt der VDI Verein Deutscher Ingenieure wichtige Impulse für neue Technologien und technische Lösungen für mehr Lebensqualität, eine bessere Umwelt und mehr Wohlstand. Mit rund 150.000 persönlichen Mitgliedern ist der VDI der größte technisch-wissenschaftliche Verein Deutschlands. Als Sprecher der Ingenieure und der Technik gestalten wir die Zukunft aktiv mit. Mehr als 12.000 ehrenamtliche Experten bearbeiten jedes Jahr neueste Erkenntnisse zur Förderung unseres Technikstandorts. Als drittgrößter technischer Regelsetzer ist der VDI Partner für die deutsche Wirtschaft und Wissenschaft.

VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und
Automatisierungstechnik
Dr. Thomas Sowa
Tel. +49 211 6214-223
sowa@vdi.de
www.vdi.de