



# Statusreport

Anwendungsszenario DDA -  
Durchgängiges und dynamisches  
Engineering von Anlagen

November 2016



# 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], Abbildung 3). Der Fachausschuss 6.12 „Durchgängiges Engineering von Leitsystemen“ der VDI/VDE-Gesellschaft 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. Dieses Anwendungsszenario wird in diesem VDI-Statusreport ausführlich dargestellt.

Düsseldorf im November 2016



Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay,  
Vorsitzender des Fachausschusses 6.12 „Durchgängiges Engineering von Leitsystemen“ der VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA)

# Autoren

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

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

Dipl.-Phys. Georg Gutermuth; ABB, Ladenburg

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

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; Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB, Karlsruhe

Dr.-Ing. Sebastian Schröck; Robert Bosch GmbH, Stuttgart

# Inhalt

Vorwort	1
Autoren	2
1 Leitmotiv und Motivation	4
2 Konzeptioneller Ansatz	5
3 Disruptives Potenzial	6
4 Treiber (im Engineering von Anlagen)	7
5 Nutzen (für das Engineering von Anlagen)	8
6 Herausforderungen (für das Engineering von Anlagen)	8
7 Auswirkungen auf Wertschöpfungsketten	9
8 Anknüpfungspunkte für die verschiedenen Arbeitsgruppen der Plattform Industrie 4.0 (Beispiele)	10
Literatur	12

# 1 Leitmotiv und Motivation

Zielbild dieses Szenarios ist, dass in einem initialen Engineering-Prozess zur Errichtung einer Anlage<sup>1)</sup> 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 samt ihrem Entstehungs- und Lebensweg auch Randbedingungen, Kontextinformationen, mögliche Varianten, denkbare und getroffene Engineering-Entscheidungen sowie deren potenzielle und reale Auswirkungen etc.

Der Kern dieses Anwendungsszenarios ist ein Strukturmodell, auf dem die beteiligten Partner adäquat aufsetzen können<sup>2)</sup>. 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 Daten über die Anlage, sodass dann auch (neue) Value Added Services (VAS)<sup>3)</sup> 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.

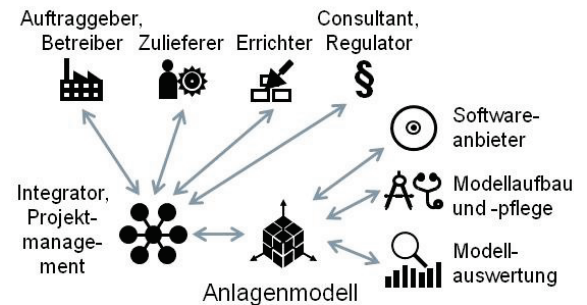


Bild 1. Interessensgruppen

In der Zukunft werden weitere Beziehungen (Pfeile) hinzukommen, beispielsweise ein Zugriff auf das Anlagenmodell, der nicht über den Integrator, sondern direkt oder über „Modellpflege“ erfolgt.

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

- Integrator (im Sinne eines technischen Systemarchitekten) und Projektmanager, um aus technischer und kommerzieller Sicht die Umsetzung der Anforderungen sicherzustellen und die beteiligten Partner entsprechend zu koordinieren
- Auftraggeber/Eigentümer, der die (sich auch mit der Zeit verändernden) Anforderungen an die Anlage vorgibt, und
- Betreiber, der die Anlage nutzt und die sich verändernden Anforderungen im Betrieb berücksichtigt,
- Zulieferer in Form von Engineering-Dienstleistern, die in das Anlagenengineering direkt (Durchführen von Engineering-Tätigkeiten, „doing“) oder indirekt (Bereitstellen von Engineering-Methoden, „Know-how“) eingebunden werden, und Lieferanten bzw. Kontraktoren von (physischen) Komponenten, Systemen und Technologien (einschließlich deren digitalen Abbildern),
- Errichter, der auf der Baustelle respektive an der Anlage das Anlagenmodell bzw. die Änderungen am Modell des Engineerings in die Realität umsetzt,
- Regulatoren, die Vorgaben definieren und Genehmigungen erteilen sowie Berater, die bei der Umsetzung dieser Vorgaben unterstützen, und

<sup>1)</sup> In Abgrenzung zu diesem Szenario fokussieren die Anwendungsszenarien SP2 – Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion und IPE – Intelligente Produktentwicklung (beide in [1] beschrieben) auf das *Produkt*, das 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.

<sup>2)</sup> Die beiden Anwendungsszenarien SP2 – Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion und IPE – Intelligente Produktentwicklung (beide in [1] beschrieben) 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.

<sup>3)</sup> vergleiche Anwendungsszenario VAS – Value Added Services (in [1] beschrieben)

- Softwareanbieter in Form von Herstellern von Planungswerkzeugen und Kollaborationsplattformen, die die einzelnen „Ingenieure“ beim Engineering, Errichtung/Änderung, Betrieb und Instandhaltung unterstützen.

Aufgrund der zentralen Rolle des integrierenden Anlagenmodells und den damit verbundenen Daten werden zwei weitere Rollen betrachtet, die es derzeit in dieser ausgeprägten Form noch nicht gibt, da gegenwärtig die damit verbundenen Tätigkeiten von den

bereits genannten Rollen wahrgenommen werden. Aufgrund der zunehmenden Bedeutung dieser Rollen und der Möglichkeit, dass sich hieraus neue Schlüsselrollen im Wertschöpfungsnetz des Anlagenbaus etablieren, werden diese Rollen zusätzlich ausgeprägt:

- Aufbau und Pflege des integrierenden Anlagenmodells
- Auswertung des Anlagenmodells im Hinblick auf die Optimierung des Engineerings, Errichtung/Änderung, Betrieb und Instandhaltung der Anlage

## 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 die These bezüglich einer Engineeringstrategie 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 möglichst „vollständig“ ist, um Hilfestellung für die zu fallenden Entscheidungen geben zu können. „Vollständig“ ist dabei im Hinblick auf die aktuelle Aufgabe gemeint, nicht vollständig in Bezug auf alle jemals dazu geschaffenen oder gesammelten Daten.

Das Engineering einer Anlage – sowohl bei der Erstellung einer Anlage als auch im Rahmen von Änderungen während der Betriebsphase – ist immer stärker durch Änderungen, die dann entsprechende Engineering-Entscheidungen erfordern, geprägt. Diese Änderungen werden dynamischer, komplexer, vielschichtiger und müssen immer vorausschauender umgesetzt werden. Dazu zählen auch sich in Planungs- und Realisierungsphasen überholende Änderungen, wo 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 machen.

Heute ist 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 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, De-Bottlenecking 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 [3] 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 einerseits 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, mögliche Varianten und kann im Hinblick auf die Auswirkung von potenziellen zukünftigen und bereits in der Vergangenheit getroffenen Engineeringent-

scheidungen 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,

- um Themen wie Sicherheit, Stand der Technik Gesetze etc. 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).

### 3 Disruptives Potenzial

In diesem Anwendungsszenario besteht die Möglichkeit, dass sich neue Schlüsselrollen für den Aufbau und die Pflege des Modells bzw. die Analyse und Auswertung des Modells ausprägen:

- 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 (kombiniert oder separat) Aufbau und 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) als auch des Produkts (wann wurde welche Charge von wem, wo, wie und woraus hergestellt). Damit bietet das integrierende Modell das Potenzial, Value Added Services anzubieten, vergleiche Anwendungsszenario VAS.

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

- Die heutigen Beteiligten (Anlagenbauer, Betreiber, Service-Erbringer, Engineering-Werkzeughersteller 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.



## 4 Treiber (im Engineering von Anlagen)

Der Markt der Anlagenbetreiber ist geprägt durch zunehmende Volatilität:

- Flexible Losgrößen und steigende Individualität der Produkte erfordern flexible und wandlungsfähige Anlage.
- 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 Headquarter und Regionen, Harmonisierung versus Heterogenität im Engineering etc.)
- 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 Regulatorien, wie die regelmäßige Gefährdungsbeurteilung basierend auf dem Stand der Technik
- zunehmende Berücksichtigung gesellschaftlicher Auswirkungen von Anlagen („Fukushima-Effekt“)

- Zunehmende Komplexität der Anlagen hat aufwendigeres Behörden-Engineering zur Folge.
- insbesondere in der Lebensmittel- und Pharmaindustrie: steigende Anforderungen in Bezug auf die Datenintegrität der zur Herstellung von Produkten genutzten Anlagen, Herstellungsprozesse und hergestellter 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 mit den landesspezifischen Randbedingungen vertraut sein.

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 „Micro-Aufgaben“ im Einkauf, Lösen komplexer Probleme über Communitys, Nutzung von Marktplätzen oder flexibles Einbinden von Spezialisten/Freiberuflern
- Multi-domain-Integration mit „Design for X“, wobei X für Geschäft, Attraktivität, Funktionen, Kosten, Wartungsfreundlichkeit, Umwelt, Nachhaltigkeit, Performance, Geografie etc. steht

## 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

## 6 Herausforderungen (für das Engineering von Anlagen)

- Ausgleich 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 oft alle durch Services, Lieferungen und Leistungen 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.<sup>4)</sup>
- Qualifizierung der Mitarbeiter im Hinblick auf neue Arbeitsweisen:
  - Grundsätzliche methodische Beherrschung einer adäquaten Modellierung technischer Systeme, sowie Verständnis der sozialen Systeme, die diese Modelle technischer Systeme sowie die technischen Systeme an sich (Anlagen) erstellen. Dies beinhaltet auch die Spezifikation und Verifikation zwecks Risikominimierung aufgrund inadäquater Spezifikationen und unvollständiger Absicherung von Engineering-Entscheidungen. Ein besonderes Augenmerk ist auf nicht funktionale 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.

<sup>4)</sup> Bei der Produktentwicklung erfolgt dies meistens unter der Verantwortung des Produkt-Owners.

- Das integrierende Anlagenmodell hat eine hohe Komplexität, sodass die Herausforderung besteht, dass Mitarbeiter dieses Modell überhaupt verstehen und damit arbeiten (Nutzen und Pflegen des Modells) können.
- grundsätzliche Herausforderung, 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
- Modell-Architektur im Hinblick darauf, dass das Modell nicht nur aus einzelnen Bausteinen besteht, sondern zusätzlich auch die verschiedenen Perspektiven der unterschiedlichen Interessensgruppen 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 dann kundenspezifische Modelle dienen.

## 7 Auswirkungen auf Wertschöpfungsketten

### 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.

### Neue Geschäftsmodelle

- 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, 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 der potenziellen und getroffenen Engineering-Entscheidungen während des Anlagenlebenswegs, und diese Erkenntnisse zu vermarkten.

### Neue Dienstleistungen

- Die betrifft insbesondere Schulung-, Coaching- und Beratungsleistungen rund um den Aufbau, die Pflege und die effiziente Nutzung des integrierenden Anlagenmodells.

## 8 Anknüpfungspunkte für die verschiedenen Arbeitsgruppen der Plattform Industrie 4.0 (Beispiele)

### AG 1

- 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

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

- Methoden für neue Geschäftsmodelle: In diesem Anwendungsszenario sind neue Geschäftsmodelle denkbar, wie 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“. 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: Die Integration von realer und virtueller Welt ist der eigentliche Kern dieses Anwendungsszenarios und es konkretisiert entsprechend das For-

schungsthema. Zwar integriert man bereits heute beim Anlagenengineering permanent Fremdmodelle, dennoch wirft das Anwendungsszenario Grundsatzfragen bezüglich Methoden (Modelle, Werkzeuge und Prozesse) zur kontinuierlichen Anpassung von Modellen sowie der diese Modelle generierenden Akteure auf.

- Systems Engineering: Systems Engineering 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 zu „engineerenden“ technischen Systeme ist es ebenfalls erforderlich, das das Engineering ausführende komplexe soziale System, die beteiligten Akteure (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, das 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 das Anwendungsszenario 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 dieses Anwendungsszenario 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 werden 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 ziehen kann im Hinblick auf einen Produktionsprozesse bzw. ein gefertigtes Produkt.
- 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

Datensicherheit, Vertraulichkeit und Rechtssicherheit von Informationen

### AG 4

Wer ist Eigentümer von Daten und abgeleitetem „Know-how“? Reichen derzeitiger Gebrauchsmusterschutz (Copyright) oder Patente dafür aus, weil dem klassischen Engineering eine schöpferische Leistung abgesprochen wird, da es als Anwendung bekannter Regeln aufgefasst wird? Wer ist Eigentümer von sich emergent (unerwartet) ergebenden Erkenntnissen, die sich aus und mit der Arbeit am Model 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? Zum Beispiel wird die fehlerhafte Auslegung einer Schlüsselkomponenten von einem Komponentenlieferanten erkannt, der jedoch „nur“ die Fertigung und Lieferung einer von einem anderen Akteur fertig engineering 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

Qualifikation im Hinblick auf „White Collar Worker“, insbesondere:

- Modellierungsexpertise: integrierte Betrachtung von Strategie, Prozessen 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 eines „systemischen 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

## Literatur

- [1] Aspekte der Forschungsroadmap in den Anwendungsszenarien. Ergebnispapier der Plattform Industrie 4.0, April 2016
- [2] Durchgängiges Engineering in Industrie 4.0 – Wertschöpfungsketten: VDI-Statusreport, April 2016, siehe <https://www.vdi.de/technik/fachthemen/digitale-transformation/industrie-40/>
- [3] Engineering von Anlagen: Evaluieren und Optimieren des Engineerings. Richtlinie VDI 3695, Blatt 1 bis 5

### 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 155.000 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 Regelssetzer ist der VDI Partner für die deutsche Wirtschaft und Wissenschaft.



Verein Deutscher Ingenieure e.V.  
Dr. Thomas Sowa  
Technik und Wissenschaft  
Tel. +49 211 6214-223  
[sowa@vdi.de](mailto:sowa@vdi.de)  
[www.vdi.de](http://www.vdi.de)