

Schnoor, Florian; Ahrens, Volker

**Working Paper**

## Adaption des Kreismodells im Umfeld des Model Based Systems Engineering

Arbeitspapiere der Nordakademie, No. 2016-09

**Provided in Cooperation with:**

Nordakademie - Hochschule der Wirtschaft, Elmshorn

*Suggested Citation:* Schnoor, Florian; Ahrens, Volker (2016) : Adaption des Kreismodells im Umfeld des Model Based Systems Engineering, Arbeitspapiere der Nordakademie, No. 2016-09, Nordakademie - Hochschule der Wirtschaft, Elmshorn

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/146643>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*



# **ARBEITSPAPIERE DER NORDAKADEMIE**

**ISSN 1860-0360**

**Nr. 2016-09**

## **Adaption des Kreismodells im Umfeld des Model Based Systems Engineering**

**Florian Schnoor, Volker Ahrens**

**September 2016**

Eine elektronische Version dieses Arbeitspapiers ist verfügbar unter:  
<https://www.nordakademie.de/die-nordakademie/forschung/publikationen/>



Köllner Chaussee 11  
25337 Elmshorn  
[www.nordakademie.de](http://www.nordakademie.de)

# Adaption des Kreismodells im Umfeld des Model Based Systems Engineering

Florian Schnoor, Volker Ahrens

NORDAKADEMIE – Hochschule der Wirtschaft, Elmshorn

Mit den Ansätzen des Model Based Systems Engineering müssen grundlegende Gedanken zur Betrachtung von Lebenszyklen erneuert werden. Das von der AHRENS & HIERONYMUS erarbeitete Kreismodell stellt hierfür eine geeignete Basis dar. Auf Basis des Anlagenbaus und seiner Spezifika können Potenziale identifiziert werden. Die so entstehende Adaption des Kreismodells kann schließlich auf ein generisches Niveau gehoben und somit universell verwendet werden.

## 1 Systematisierung des Konfigurationsmanagements im Anlagenbau vor dem Hintergrund des Systems Engineering

Die Methodik des Systems Engineering (SE) verbreitet sich aktuell sehr schnell und bringt ihre Ansätze und Werkzeuge in verschiedene Unternehmen ein. Dort trifft sie auf bereits etablierte Muster und Prozesse.

Mit dem Gedanken des Model Based Systems Engineering (MBSE) werden grundlegende Denkweisen revidiert, da die zentrale Basis des Unternehmensknowhows verändert wird. Von der klassischen Quelle in Form von Dokumenten wird nun zu interdisziplinären Modellen gewechselt. In diesem Zuge wird die bestehende Lebenszyklusorientierung der Dokumentation in Frage gestellt.

Mit dem Fokus des Anlagenbaus wird nachfolgend geprüft, inwiefern klassisch etablierte Lebenszyklusmodelle wie das V-Modell im Rahmen des MBSE weiterentwickelt werden müssen oder können. Dafür wird zunächst der Anlagenbau definiert, um somit den Untersuchungsbe- reich und einen möglichen Gestaltungsbereich abzugrenzen.

## 2 Der Anlagenbau

Eine einheitliche Definition des (Groß-) Anlagenbaus ist in der Literatur nicht gegeben. [1] Daher wird nachfolgend der Begriff des Anlagenbaus für die weitere Verwendung in dieser Arbeit eingegrenzt, sodass für die nachfolgende Problemlösung ein definierter Kontext besteht.

### 2.1 Eigenarten des Anlagenbaus

Eine *Anlage* im Sinne des Anlagenbaus umfasst einzelne Maschinen, die in einem komplexen Zusammenhang eine gewünschte Anforderung erfüllen. [2] Eine Einordnung des Begriffs Anlage kann dabei über die hohe Anzahl der enthaltenen Teile (beispielsweise >100.000) und der verwendeten Energien, Stoffe und Informationen erfolgen. [3] Dem Anlagenbau wird sowohl die Hard- als auch die Softwarekomponente zugerechnet.

Der Anlagenbau erzeugt dabei nicht zwingend einzelne Maschinen, sondern fungiert vielmehr als treibende Kraft der Kombination und Integration aller Bestandteile. [2] Die damit einhergehende Komplexität der entstehenden Systeme und ihrer Entstehung charakterisieren den Anlagenbau. [4] Die Komplexität entsteht formal durch die Addition von Kompliziertheit und Dynamik. Die Kompliziertheit wiederum resultiert dabei aus den Eigenschaften der Vielzahl,

Konnektivität und Varietät der einzelnen Elemente. Der Aspekt der Dynamik von Kundenanforderungen und weiteren Rahmenbedingungen erweitert die Kompliziertheit dann zur Komplexität. [5] Ein weiterer Effekt der Dynamik ist das gesteigerte Planungsrisiko. [6]

Die Auftragsabwicklung erfolgt in der Regel mit einer engen Kundenbindung. [7] Dabei tritt der Anlagenbauer häufig als Generalunternehmer auf. [2] Der Auftragsinhalt selbst ist dabei oft eine Anlage, die in ihrer Beschaffenheit einmalig ist und ggf. nur in Teilen einen Wiederholungscharakter hat. [2] Als Generalunternehmer verantwortet der Auftragnehmer (AN) dann sowohl das Design, die Beschaffung der notwendigen Güter als auch den Bau der Anlage. Diese Projekte werden aufgrund ihres Umfangs von *Engineering, Procurement* und *Construction* als EPC-Projekte bezeichnet. [8]

Durch die Größe der Projekte werden weitere Eigenschaften wie beispielsweise ein entsprechend hohes Risiko zum Charakteristikum des Anlagenbaus. [4] Die Risiken sind dabei vielfältiger Art und sowohl innerhalb des Unternehmens, als auch extern bei einem der Unterauftragnehmer oder Lieferanten anzusiedeln. Weitere politische und makroökonomische Risiken wie Währungs- und Zahlungsunsicherheiten begleiten den Anlagenbau zusätzlich in besonderem Maße. [2]

Die Wertschöpfung liegt meist nicht in der unmittelbaren Herstellung von Maschinen und Anlagenteilen, sondern vielmehr in der Integration von Systemen und Komponenten. Die Koordinierungs- und Engineering-Dienstleistungen des Anlagenbauers bedürfen damit eines hohen Maßes an Wissen und ermöglichen erst die Leistungserbringung. Damit ist die Wertschöpfung des Anlagenbaus im Gegensatz zum klassischen Maschinenbau nicht explizit die Herstellung der Komponenten, sondern vielmehr die dafür notwendige Menge an Dienstleistungen. [9] Der Anteil dieser Dienstleistungen im Anlagenbau steigt dabei immer weiter an. [2]

## 2.2 Produktlebenszyklus

Unter dem Begriff des Lebenszyklus sind zunächst verschiedene Sichten aggregiert. Beispielsweise kann aus Sicht des Marktes ein Lebenszyklus für ein Produkt oder eine spezifische Technologie vorhanden sein. Diese marktorientierte Betrachtung wird durch weitere vor- bzw. nachgelagerte Aktivitäten erweitert. Folglich ist bereits vor dem Markteintritt die Produktentstehung und nach Marktaustritt seine Entsorgung einzubeziehen. Außerdem werden die Aspekte der Produktbegleitung während seines Einsatzes durch Service-Tätigkeiten einbezogen. Damit entsteht ein integriertes Produktlebenszyklusmodell. [7] Eine Visualisierung dieser Inhalte zeigt nachfolgende Abbildung 1.

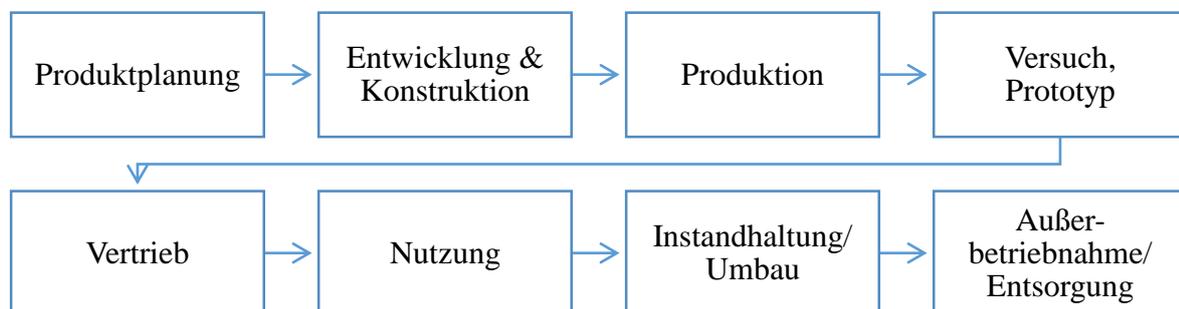


Abbildung 1: Beispielhafter Produktlebenszyklus (Eigene Abbildung in Anlehnung an [3])

Nachfolgende Abbildung 2 zeigt im Gegensatz dazu einen Lebenszyklus für Produkte, die als Systemintegration von Hochtechnologie eingesetzt werden. Dazu gehört auch der Anlagenbau (vgl. Kapitel 2.1).

Im direkten Vergleich zeigen diese beiden Zyklen einige wesentliche Abweichungen. Der Lebenszyklus der Systemintegration beginnt durch die Anforderung auf Seiten des Auftraggebers (AG). Erst im Anschluss wird in Zusammenarbeit mit einem möglichen AG eine weitere Konzeption und Systemspezifikation erarbeitet. Im Gegensatz dazu wird im generischen Lebenszyklus aus Abbildung 1 die interne Produktplanung als Ausgangspunkt gesehen.

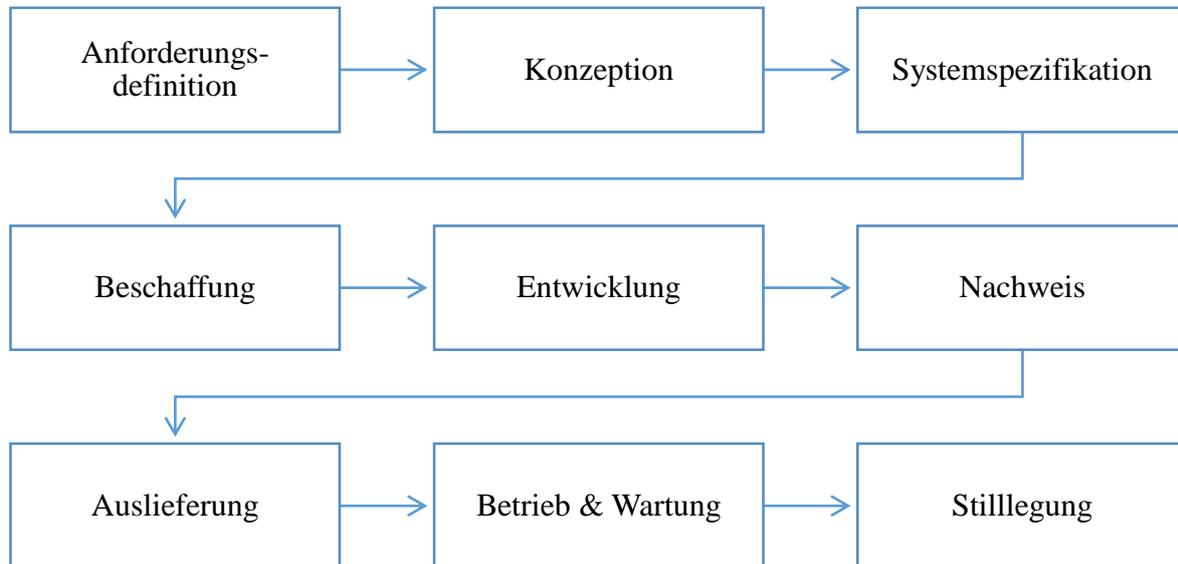


Abbildung 2: Lebenszyklus für Hochtechnologieintegratoren (Eigene Abbildung nach [10])

Weiter zeigt sich, dass der Vertrieb im klassischen Zyklus erst nach erfolgreicher Produktentstehung angesiedelt ist. Im Gegensatz dazu beginnt der anlagenbauorientierte Zyklus mit der Anforderungsdefinition durch den Systemnutzer. Erst der konkrete Bedarf des Kunden stößt also die Konzeption und Spezifikation der Anlage an. Außerdem wird auf Ebene des Gesamtsystems kein Prototypenbau vorgesehen. Es ist allerdings davon auszugehen, dass auf Subsystemebene durchaus Prototypen erstellt und entsprechend getestet werden.

Abschließend lässt sich der Anlagenbau durch seine langen, komplexen Produktentstehungsprozesse kennzeichnen. Dabei entstehen sehr vielschichtige Produkte, die in hohem Maße individuell auf Kundenanforderungen anzupassen sind.

### 3 Klassische Modelle

Die nachfolgende Darstellung beschäftigt sich mit der grundlegenden Methodik, die heute im Anlagenbau verwendet wird, um die kundenspezifischen Anlagen zu erzeugen. Das dafür verwendete V-Modell wird zunächst in seiner etablierten Form untersucht. Neben vielen Variationen, wie sie beispielsweise auch im Systems Engineering verwendet werden, soll nachfolgend eine speziell im deutschsprachigen Raum verwendete Variante betrachtet werden.

#### 3.1 Das V-Modell XT als etablierte Variante des V-Modells

Die Entstehung des V-Modells geht auf die klassische Softwareentwicklung zurück. Von dieser Ausgangsposition wird es für viele weitere Bereiche angewendet und stetig weiterentwickelt. Damit ist eine renommierte Methode entstanden, die beispielsweise auch von öffentlichen AG in Deutschland etabliert wird. Hier werden ausgehend von einem initialen Modell in 1992 weitere Anpassungen eingebracht, sodass sich das V-Modell XT entwickelt hat. [11][12] Das V-Modell XT ist jüngst durch die weiteren Erfahrungen angepasst worden und in der Version 2.0 aktuell. [13]

Die grundlegende Methodik des V-Modells ist allerdings entgegen seiner ursprünglichen Nutzung für die Softwareentwicklung auch für viele weitere Disziplinen anwendbar. [11] Mit der Methodik des V-Modells wird neben dem zu erzeugenden System inklusive der Hard- und Softwarekomponenten selbst auch die Erstellung von Unterstützungssystemen erfasst. Diese Unterstützungssysteme definieren sich nicht nur aus der direkten Systementstehung, sondern auch aus den Notwendigkeiten des gesamten, weiteren Lebenszyklus des Systems. [12]

Das V-Modell XT ist so konzipiert, dass es für verschiedene Anwendungsfälle angepasst werden kann (XT steht dabei für *eXtreme Tailoring*). Dabei wird beispielsweise unterschieden, ob das Projekt aus der Sicht des AN oder AG begleitet werden soll. Passenderweise etablieren beide Seiten ein entsprechend ausgeprägtes Projekt nach der V-Modell XT-Methodik. Durch diese Paarung werden die Schnittstellen auf beiden Seiten adäquat definiert. [13]

Die weitere Anpassung des Projektes erlaubt auf der Seite des AN zudem eine Unterscheidung zwischen Projekten, die eine (Weiter-) Entwicklungs- oder eine Wartungs- und Pflegekomponente besitzen. [13] Vor allem die Variante des Entwicklungsprojektes zeigt dabei auffällige Ähnlichkeiten zu Projekten im Anlagenbau. Oftmals werden Anlagen im Laufe ihres Produktlebens weiterentwickelt und damit einem Refit/Upgrade unterzogen. Der zweite Typ, die Wartung und Pflege, wird im Anlagenbau klassisch durch den AG selbst durchgeführt.

Auf der AG-Seite wird unterschieden, ob das Projekt von mehreren oder nur einem AN erbracht wird. Wie oben dargestellt (vgl. Kapitel 2.1), tritt ein Anlagenbauer oftmals als Generalunternehmer auf. Allerdings ist intern eine Vielzahl von Subunternehmern einbezogen, sodass die Projektabwicklung für den AN selbst als Projekt mit mehreren AN darstellt.

Die Produkte, die innerhalb eines jeweiligen Projektes entstehen, sind neben dem klassischen Endprodukt (bspw. die spezifizierte Anlage) auch alle weiteren Einzelprodukte wie beispielsweise die Spezifikation selbst und die Unterlagen des Projektmanagements. [13]

Einen Überblick über die einzelnen Produkte und das Zusammenspiel von AN und AG wird nachfolgend in Abbildung 3 gegeben. Hier wird deutlich, dass beide Seiten einen entscheidenden Einfluss auf die Systementstehung haben. Von ersten Anforderungen auf AG-Seite werden im Laufe des Projektes dann die notwendigen Systeme und Systemelemente erzeugt.

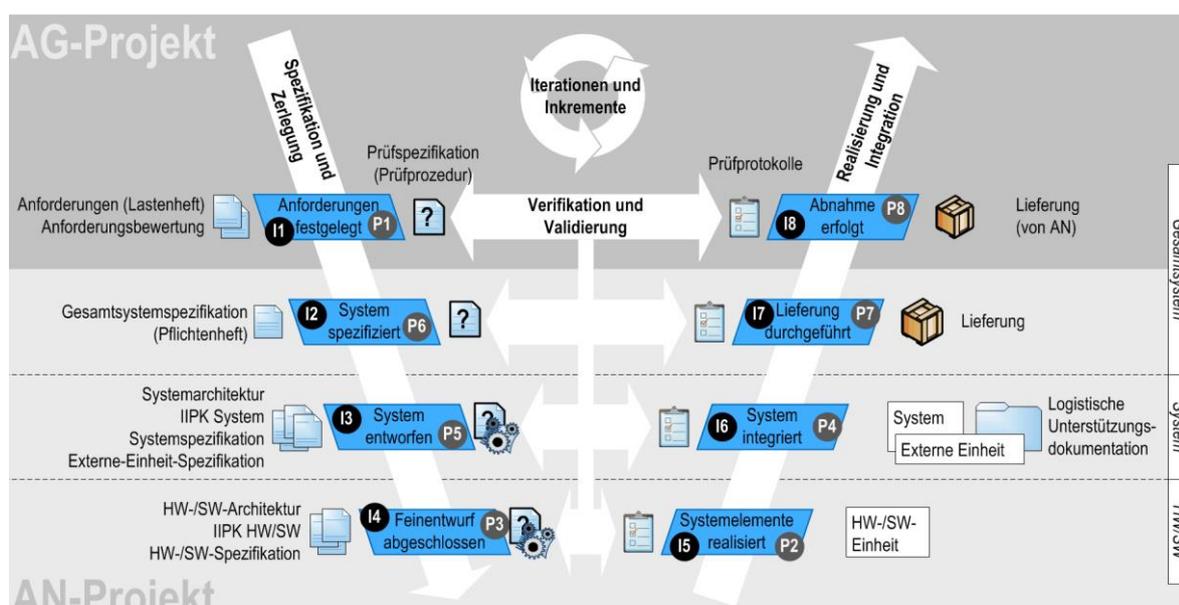


Abbildung 3: V-Modell XT für Entwicklungsprojekte [13]

Das Konfigurationsmanagement (KM) wird im V-Modell XT zentral als Teil des methodischen Kerns definiert. Es wird dabei als eines der Produkte eines Projektes definiert, in dem eine umfassende Bibliothek entsteht, die alle Produkte des Projektes in allen entstandenen Versionen festhält. Unter einem Produkttyp (bspw. das Dokument zum Projektfortschritt) werden dann 1-n Produktexemplare erzeugt (bspw. Fortschrittsbericht je Zeitraum). [13]

Entgegen der Definitionen aus der DIN ISO 10007 und dem CMII werden Baselines nicht an generisch definierten Punkten erzeugt, sondern nach Bedarf (jedoch bei zumindest jedem Entscheidungspunkt innerhalb des Projektes) angelegt. [13] Die Entscheidungspunkte sind mit den Meilensteinen zum jeweiligen Ende der Projektphasen der DIN ISO 10007 vergleichbar. [14] Allerdings kann sowohl die Menge als auch die Reihenfolge der Entscheidungspunkte im V-Modell XT je Produktdurchführung unterschiedlich sein. [13]

### **3.2 Anwendbarkeit des V-Modell XT im Anlagenbau**

Das V-Modell XT ist eine Methode zur Projektdurchführung. Diese Methodik kann durch ihre adaptiven Fähigkeiten auf eine Produktentstehung im Anlagenbau angewendet werden. Allerdings endet das V-Modell XT mit der vollendeten Produktentstehung. Wie der Lebenszyklus des Anlagenbaus zeigt (vgl. Abbildung 2), besteht das Produkt/die Anlage allerdings dann noch weiter. Eine etwaige Modernisierung im weiteren Lebenslauf könnte wieder als V-Modell XT-Projekt abgewickelt werden.

Die Stilllegung der Anlage bzw. der geordnete Rückbau lässt sich allerdings nicht mit dem V-Modell XT realisieren. [13] Diese Methode ist auf die Produktentstehung ausgelegt und bildet diesen letzten Schritt des Lebenszyklus nicht ab. Das V-Modell XT stellt somit keine geeignete Methode dar, den Lebenszyklus des Anlagenbaus umfänglich zu begleiten. Lediglich Teilabschnitte können mit dieser Methode erfasst und damit unterstützt werden.

### **3.3 Anwendbarkeit weiterer V-Modelle im Anlagenbau**

Weitere Varianten des V-Modells, wie sie beispielsweise in der VDI-Richtlinie 2206 beschrieben werden, zeigen sehr große Ähnlichkeiten zu den oben dargestellten Eigenschaften des V-Modells XT. Sie beziehen sich in erster Line auch die Systemerzeugung und nicht auf die nachgelagerten Nutzungsphasen des Systems. [15]

## **4 Weiterführende Modelle im Systems Engineering-Umfeld**

### **4.1 Vom V-Modell zum Kreismodell**

Als Weiterentwicklung des klassischen V-Modells besteht beispielsweise das Kreismodell nach AHRENS & HIERONYMUS. [16] In diesem Kreismodell wird der Betrachtungshorizont erheblich erweitert. Aus einer initialen Produktentstehung entsteht ein Kreislauf, der nicht mit der ersten Inbetriebnahme des Systems endet. Die Nutzung des Systems erbringt die Anforderungen für die nachfolgenden Modifikationen des Systems. Außerdem werden die in der Systementwicklung verwendeten Modelle auch nach Inbetriebnahme weiterverwendet. Sie dienen neben der Begleitung des Systembetriebs auch der nächsten Systementwicklung. Eine Visualisierung des Kreismodells erfolgt in Abbildung 4. Der im oberen Bereich gestrichelt dargestellte Abschnitt zeigt, dass in diesem Bereich die Modellbegleitung bzw. -unterstützung noch einer erheblichen Erweiterung bedarf. Dieses Kreismodell ist als Entwicklungsmethodik für stetig komplexer werdende Systeme konzipiert. Die Anforderungen entstehen dabei unter anderem durch die vermehrte Nutzung und Anwendung von cyber-physikalischen Systemen (CPS). [16] Der Begriff des CPS lässt sich dabei sehr vielschichtig definieren. Eine klare Abgrenzung liegt in der

Literatur nicht vor. Aus diesem Grund wird an dieser Stelle lediglich ein gemeinsamer Nenner verschiedener Definitionen angewandt.

CPS bestehen aus realen, physischen und informationsverarbeiteten, digitalen Komponenten. Dies entspricht weitestgehend der Automation, wie sie bereits seit den 1970er Jahren bekannt ist. Ein zusätzlicher Aspekt der CPS besteht in Art und Umfang der Kommunikation. Es werden zumindest teilweise globale, offene Wege genutzt, um eine sehr große Informationsmenge an jedem CPS zur Verfügung zu haben. [17] In Anwendung auf den Anlagenbau ist dies nur teilweise gegeben. Zwar sind Anteil und Grad der Integration von IT-Komponenten gestiegen, doch werden besonders in sicherheitssensitiven Bereichen solche Kommunikationswege noch nicht verwendet.

In diesem Modell wird der Bezug von Informationen über die Inbetriebnahme hinaus hervor gehoben. Obwohl nicht explizit in der Modellentwicklung erwähnt, kann das KM an dieser Stelle als eine Disziplin verstanden werden, die eben diesen Aspekt der Informationsfortführung etabliert.

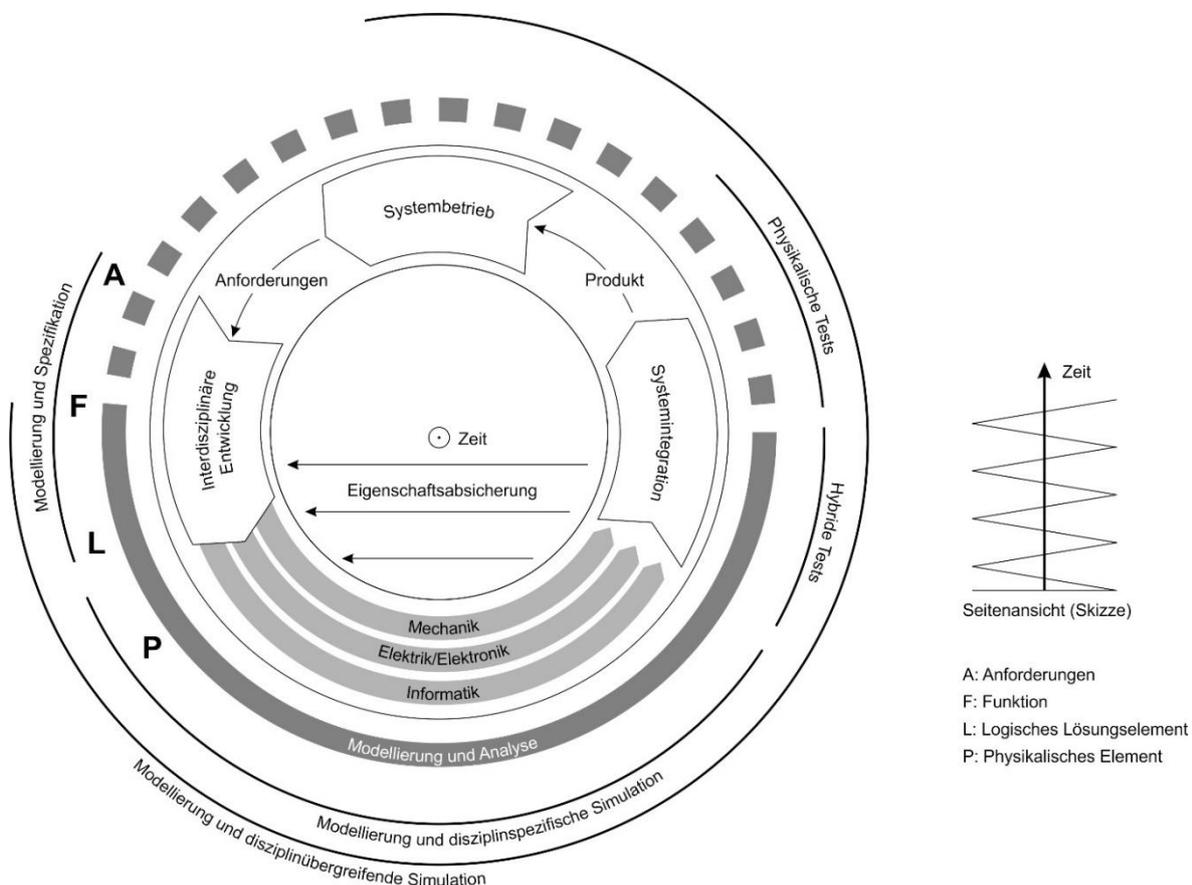


Abbildung 4: Kreismodell als Erweiterung des V-Modells [16]

Eine weitere Brücke zwischen den im Sinne des oben genannten V-Modell XT einzelnen Entwicklungsprojekten kann eine formalisierte Beschreibung des Systems mit SysML sein. Die interdisziplinäre Entwicklung in einem ersten Refit/Upgrade kann dann auf Informationen zurückgreifen, die das betreffende System sehr detailliert beschreiben. Die Struktur des Systems sowie die Erfüllung der Anforderungen durch die einzelnen Systemelemente sind dann bereits detailliert beschrieben. Änderungen an Systemelementen können somit durch das ganze *System*

*of Systems* verfolgt werden, sodass ein Änderungsaufwand sehr schnell definiert werden kann und somit Zeit und Ressourcen geschont werden können.

Beispielhaft kann an dieser Stelle ein Szenario genannt werden, in dem ein Anlagenbauer nach erfolgreicher Übergabe einer Anlage seitens des AG aufgefordert wird, ein Angebot abzugeben, um die Anlage zu modernisieren. Die Anlagen werden oftmals über Jahrzehnte eingesetzt und müssen bei Bedarf an den aktuellen Stand der Technik angepasst werden. Mit Hilfe der Methodik des Kreismodells ist dieses Szenario bereits bei Beginn des Anlagenbaus beachtet worden. Ferner geben die verfügbaren Daten aus dem KM einen exakten Aufschluss über den Zustand der gelieferten Anlage. Aus den Kundenanforderungen und dem Systemmodell können nun die zu ändernden Systemelemente identifiziert werden. Das KM stellt dabei die Datenbasis und das Systemmodell das Medium, um die verfügbaren Daten zumindest teilautomatisiert auswerten zu können. Der Anlagenbauer kann damit auf sehr wirtschaftliche Weise die notwendigen Informationen erfassen. Es entsteht nicht nur ein direkt wirtschaftlicher, sondern zudem noch ein qualitativer Vorteil gegenüber einem potenziellen Wettbewerber.

## **4.2 Anwendbarkeit des Kreismodells im Anlagenbau**

Das oben genannte, lineare V-Modell zeigt nicht direkt den Aspekt, dass die Ergebnisse einer Anlagenerstellung als Ausgangspunkt für eine Nächste dienen können und sollten. Dieses Defizit wird durch die Erweiterung zum Kreismodell ausgeglichen. Ferner zeigt das Kreismodell auf anschauliche Art, dass eine kohärente Systemunterstützung über die initiale Produktentstehung hinaus sinnvoll ist.

Die Änderungen des Systems über seinen Lebenszyklus mit einem entsprechenden KM und Systemmodell abzubilden, ist im besonderen Hinblick auf Lebenszyklen im Anlagenbau sinnvoll. Diese durchgehende Modellunterstützung der Kreismodell-Methodik ist für den Anlagenbau geeignet. Im oben dargestellten Kreismodell wird gezeigt, dass derzeitige Modelle nicht in der Lage sind, den gesamten Kreislauf zu unterstützen. Für den Anlagenbau ist dies zu prüfen und ggf. zu adaptieren. Des Weiteren wird die Vielschichtigkeit der Anlagenerstellung im Kreismodell nicht explizit ausgewiesen, sodass das Umfeld eines Anlagenbauers einer genaueren Abbildung bedarf. Ferner ist die Stilllegung einer Anlage im Kreismodell nicht unmittelbar vorgesehen. Aus diesen Gründen ist das Kreismodell für den Bezug des Anlagenbaus zu adaptieren.

## **4.3 Adaption des Kreismodells auf den Anlagenbau**

Im Sinne des oben genannten V-Modells XT definiert sich ein Projekt unter anderem dadurch, dass es das Ziel hat, ein System zu erzeugen. [13] Eine Stilllegung als V-Modell-XT-Projektinhalt erscheint daher zunächst ausgeschlossen.

Eine allgemeinere Projektdefinition wird in der DIN 66901-5 gegeben. Hier wird ein Projekt durch die Einzigartigkeit des Vorhabens in Bezug auf Inhalt, Rahmenbedingungen und der beteiligten Ressourcen definiert. [18] Diese Definition ist konform mit den zu erwartenden Eigenschaften einer Stilllegung, da diese durch die Einzigartigkeit der stillzulegenden Anlage gekennzeichnet ist und zumeist mit begrenzten Ressourcen zu realisieren ist. Diese Betrachtung legt nahe, dass eine Anlagenstilllegung über ein Projektmanagement, wie es in der DIN 66901-Familie definiert wird, lösbar ist.

Vor dem Hintergrund der Integration aller Lebensphasen in ein geeignetes Modell wirkt diese Trennung zwischen V-Modell XT/Kreismodell und reinen Projektmanagementmethoden nach DIN 66901-3 für die Stilllegung inkonsequent. [19] Aus diesem Grund wird die Stilllegung in ein gesamtes Modell integriert.

Das Kreismodell sieht prinzipiell nur eine ständige Weiterentwicklung des Systems vor. Eine Stilllegung ist nicht explizit Bestandteil des Modells. Allerdings liegt im Kreismodell keine enge Projektdefinition vor, sodass die Stilllegung als Projekt mit dem Ziel der *Dekonstruktion* der Anlage aufgesetzt werden kann. Aus dieser Analogie wird auch die Verwendung des V-Modell XT wieder sinnvoll. Die methodische Verwendung des V-Modell XT mit der inhaltlichen Variation der Dekonstruktion bietet im Besonderen Vorteile, da die Einbindung von Schnittstellen zwischen AG und AN bereits implementiert ist. Um die Möglichkeit einer Stilllegung auch visuell in das Modell zu integrieren, wird zum Ende der Projektmethodik ein Ausgangsszenario für die Stilllegung eingefügt.

Das adaptierte Kreismodell wird nachfolgend in Abbildung 5 dargestellt. In dieser Adaption der Methoden auf das spezifische Szenario des Anlagenbaus werden einige Veränderungen des oben dargestellten Kreismodells vorgenommen.

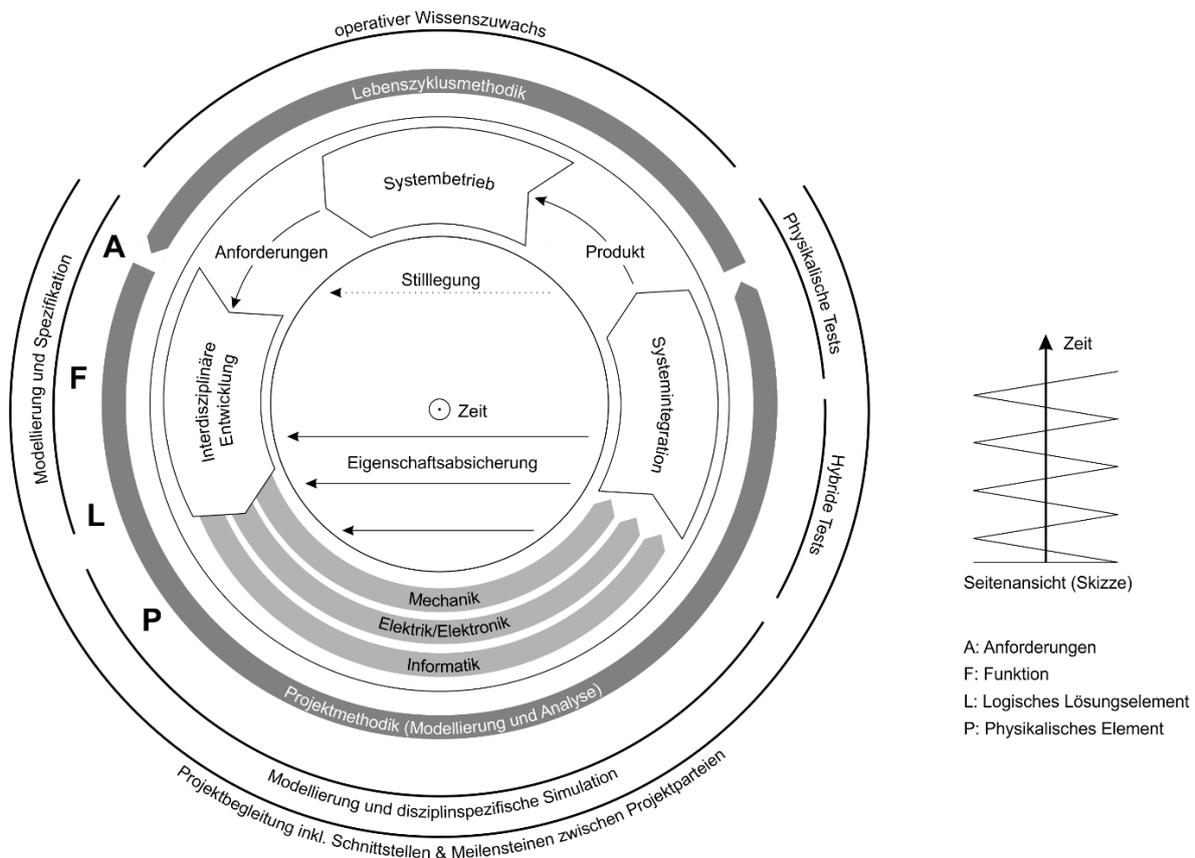


Abbildung 5: Adaption des Kreismodells auf den Anlagenbau (Eigene Abbildung auf Basis von [16])

Es werden besonders die oben identifizierten Besonderheiten des Anlagenbaus sowie die daraus resultierenden, oben dargestellten Defizite eingebracht. Die Änderungen zum Kreismodell nach 16 sind nachfolgend erläutert:

1. Die Modellbegleitung bzw. -unterstützung wird auf den gesamten Lebenszyklus erweitert. Die Visualisierung zeigt eine durchgehende Modellierung mit zwei Schnittstellen. Mit Ende des klassischen Entwicklungsprojektes, wie es das V-Modell XT beschreibt, geht die Modellierung von einer *Projektmethodik* in eine *Lebenszyklusmethodik* über. In diesem anschließenden Schritt werden die erarbeiteten Daten bewahrt und für die nächste Verwendung bereitgestellt. Diese anschließende Verwendung stellt dann den Beginn eines neuen Entwicklungsprojektes dar (zweite Schnittstelle der Visualisierung).

Methodisch wird dies mehrfach gestützt. Als Projektmethodik wird ein KM etabliert, das entsprechend der geltenden Vorschriften die Konfiguration des Systems bis zum Übergang in den Systembetrieb erfasst. Im Systembetrieb selbst werden keine Änderungen vorgenommen. Sollten Anpassungen des Systems notwendig sein, so stellt dies im Sinne dieses Modells ein neues Entwicklungsprojekt dar. In der Lebenszyklusmethodik werden die Daten des KM archiviert und verfügbar gehalten. Analog dazu wird das System in einem Systemmodell im Sinne des MBSE (bspw. auf Basis von SysML-Modellen) erfasst.

2. Der Systembetrieb wird zusätzlich mit dem Aspekt *operativer Wissenszuwachs* beschrieben (äußere Bahn). Mit dieser Erweiterung wird impliziert, dass in dieser Phase neben Erkenntnissen aus Forschung und Entwicklung vor allem praktische Erfahrungen aus dem Systembetrieb generiert werden.<sup>1</sup> Dabei ist der Wissenszuwachs explizit sowohl auf Seiten des Anlagenbetreibers (vormals AG) als auch auf Seiten des Anlagenbauers (vormals AN) zu sehen. Daraus entstehen unter anderem die Anforderungen eines nachfolgenden Entwicklungsprojektes.
3. Die äußerste Bahn wird als *Projektbegleitung inkl. Schnittstellen & Meilensteinen zwischen Projektparteien* beschrieben. Damit wird ein Verweis auf Methoden, wie sie beispielsweise im oben genannten V-Modell XT beschrieben werden, gegeben. An dieser Stelle wird allerdings keine explizite Methodik vorgeschrieben. Verschiedene Faktoren können die Wahl der Projektbegleitung beeinflussen, sodass hier lediglich gefordert wird, ein geeignetes Maß anzuwenden.

Außerdem werden nicht nur AG und AN angesprochen, sondern bewusst der Begriff der *Projektparteien* verwendet. Der Anlagenbauer als Generalunternehmer hat selbst diverse Schnittstellen zu Unterauftragnehmern. Da hier oftmals langfristige Bindungen mit aufwändigen, kundenspezifischen Entwicklungen vorliegen, ist auch auf dieser Ebene ein Projektmanagement zu etablieren.

4. Wie bereits oben erwähnt, wird die *Stilllegung* als eigenes Projekt im Sinne der Projektmethodik erfasst. Im Anschluss ist das betreffende System dann stillgelegt. Aus dieser Stilllegung wird wieder ein Wissenszuwachs generiert, der für spätere Systeme neue Anforderungen stellen kann. Aus diesem Grund verweist dieser Prozess dann auf die Anforderungen und überspringt dabei den Systembetrieb.

Die Differenzierung von Projekt- und Lebenszyklusmethodik bedingt weiterhin, dass auch in der Zeit nach der Indienststellung jegliche Änderungen am System in die Modelle aufgenommen werden. Dies bedingt weiter, dass die Projektmethodik an Art und Umfang des Entwicklungsprojektes anzupassen ist. Ein umfangreiches Refit mit hohen Entwicklungsaufwänden wird einer anderen Projektmethodik bedürfen als das Upgrade einer einzelnen Komponente.

Die Adaption des Kreismodells zeigt, wie auch das ursprüngliche Kreismodell, sehr deutlich, dass die Ergebnisse eines Projektes im Sinne des V-Modell XT als Teilabschnitt des gesamten Lebenszyklus die Basis für das Folgeprojekt darstellen. Aus diesem Grund sind inhaltlich schon Anforderungen für mögliche, ggf. noch nicht geplante Nachfolgeprojekte des Systems in einem

---

<sup>1</sup> Selbstkritisch ist anzumerken, dass natürlich auch während der Systementwicklung und der enthaltenen Tests operatives Wissen entsteht. Allerdings zeigt der Systembetrieb aufgrund seiner Dauer und den ggf. veränderlichen Umweltbedingungen weitreichendere Resultate.

ersten Projekt aufzunehmen. Methodisch können hier das KM und das Dokumentationsmanagement unterstützen, indem sie, wie oben beschrieben, in die Projektmethodik aufgenommen werden.

Prinzipiell ist das Wissen um eine Anlage in einem Unternehmen bzw. in der Menge der Projektbeteiligten (sowohl AG als auch AN) vorhanden. Allerdings ist es besonders in großen Gruppen extrem aufwändig, diese Informationen greifbar zu machen. Als Bestandteil eines Informationsmanagements stellen sowohl das KM als auch das Dokumentationsmanagement geeignete Methoden dar. Die vorhandenen und benötigten Informationen können damit aufbereitet und vorgehalten werden. Mit greifbaren Daten und Informationen lassen sich dann Aufwände reduzieren. Daraus ergeben sich direkt wirtschaftliche Vorteile für die Unternehmung auf AG- und AN-Seite.

#### **4.4 Anwendbarkeit der Adaption des Kreismodells auf den Anlagenbau**

Die Adaption des Kreismodells mit dem Verweis auf etablierte Methoden aus dem V-Modell XT zeigt eine weitreichende Integration in die Produktlebenszyklen des Anlagenbaus auf.

Die praktische Anwendbarkeit des Modells kann an dieser Stelle nicht abschließend erfasst werden. Allerdings sind die zuvor geschilderten Defizite im Hinblick auf den Produktlebenszyklus des Anlagenbaus behoben. Auch zeigt das Modell die Wichtigkeit langfristiger Betrachtungen auf, indem es projektübergreifende Methoden wie das KM und das MBSE explizit aufnimmt.

Die konkrete Ausprägung des Modells in einem praktischen Umfeld steht aus und kann an dieser Stelle nicht erfolgen. Die Praxis wird zeigen können, welche Projektmanagementmethoden sich als passende Projektmethode etablieren können. Die Varianz der Projektgröße (vom unterjährigen Erweiterungsprojekt bis zu jahrelangen Neuerzeugung von Systemen) wird hier eine maßgebliche Einflussgröße sein.

Zusätzlich ist praktisch zu prüfen, ob eine klare Trennung von Projekt- und Lebenszyklusmethodik real anwendbar ist. Wird auf Seiten des AG diese Differenzierung nicht nach Indienststellung beibehalten, so kann das Abbild der Anlage nicht mehr mit der Realen konform sein. Folglich entfallen auch die Potenziale für zukünftige Projekte im Bezug dieser Anlage.

#### **4.5 Allgemeine Anwendbarkeit der Adaption des Kreismodells**

Die oben aufgeführten Modifikationen des Kreismodells können von der anlagenbauspezifischen Betrachtung zurück auf eine generische Betrachtung geführt werden. Die angewendeten Änderungen am Modell sind auch für einen generischen Produktlebenszyklus verwendbar. Beispielsweise ist die Unterscheidung zwischen Projekt- und Lebenszyklusmethodik auch auf ein Produkt in Serienfertigung anwendbar. Nach der Produktentstehung können auch hier Nachfolgeprojekte entstehen, die durch den operativen Wissenszuwachs aus dem Betrieb des ersten Produktes beeinflusst werden.

Die Projektbeteiligten und ihre Schnittstellen sind im Anlagenbau wie auch in einem generischen Modell vorhanden. Allerdings können sich natürlich Art und Menge der Beteiligten ändern. Eine großseriengeprägte Automobilindustrie hat beispielsweise bei einem nachträglichen Umbau nicht nur einen AG sondern ggf. hunderttausende, nämlich die Zahl der Wagenhalter.

Wenn gleich die Stilllegung bei kleineren Produkten weniger komplex erscheint, so entsteht die Komplexität hier aus der Anzahl an Produkten. Durch eine große Zahl gleichartiger Produkte aus der Serienfertigung besteht dann der Bedarf, für solche großen Produktmengen einen geeigneten Stilllegungsprozess bereits in der Produktentstehung zu berücksichtigen.

Zusammenfassend können die hier angewendeten Modifikationen des Kreismodells vom Anlagenbau auf ein generisches Niveau gehoben werden und damit auch andere Bereiche wie beispielsweise den Großserienbau bedienen.

## 5 Bewertung der Adaption des Kreismodells für den Anlagenbau

Die Adaption des Kreismodells zeigt eine deutliche Verflechtung der einzelnen Produktentstehungen in den gesamten Lebenszyklus des Produktes sowie den Soll-Zustand einer Arbeitsweise. Mit dem hier verarbeiteten Grundgedanken können nicht nur im Anlagenbau nachhaltige Wertschöpfungen entstehen. Die Adaption zeigt weiter, dass ein Projekt zwar in seiner Abarbeitung einer speziellen Methodik bedarf, allerdings nie isoliert von Vorprojekten und parallelem Wissenszuwachs betrachtet werden sollte. Für die zukünftige Produktentstehung, nicht nur im Anlagenbau, wird damit ein großes Potenzial verdeutlicht.

Die jüngste Aktualisierung der DIN EN ISO 9001 in 2015 zeigt im Gegensatz zur vorherigen Version einige Veränderungen auf. [20] So wird beispielsweise ein stärkerer Fokus auf das Bewusstsein der Beteiligten gerichtet, dass eine Kunden- und Prozessorientierung stattfinden soll. [21] Dies lässt sich insoweit mit dem Kreismodell unterstützen, als dass die klare Trennung von Projekt- und Lebenszyklusabschnitt definiert wird. Für die Beteiligten wird damit deutlich, dass das erarbeitete Wissen auch nach Projektabschluss relevant ist und entsprechend aufbereitet vorgehalten werden muss.

Des Weiteren wird in der DIN EN ISO 9001 der PDCA-Zyklus als Steuerungsmethodik definiert. [20] Die Interpretation dieser Methodik als Metamodell nach AHRENS zeigt, dass dies auch auf das hier dargestellte Kreismodell sinnvoll anwendbar ist. [22] Der Anteil der Projektmethodik beschreibt die Bereiche *Plan*, *Do* und *Check* des PDCA-Zyklus. Der *Act*-Schritt ist in der Projektmethodik obsolet und wird stattdessen als Routinebetrieb in die Lebenszyklusmethodik gelegt. [22]

Aus der Etablierung dieses adaptierten Kreismodells sind auch vor dem Hintergrund aktueller Normen weitere Potenziale zu erwarten. Die zukünftige Produktentstehung und Mehrung an Wissen kann damit in einen geeigneten Rahmen gebettet werden, ohne spezielle Risiken zu erzeugen. Lediglich eine Nichtbeachtung eines solchen Modells kann zu einer unwirtschaftlichen Unternehmung führen. Die Einführung bedarf dabei hinreichender technischer und organisatorischer Entwicklungen.

Auch auf Seite des AG kann ein Risiko entstehen, wenn keine klare Differenzierung und Einhaltung von Projekt- bzw. vor allem der Lebenszyklusmethodik gegeben ist. Werden außerhalb der begleitenden Projekte und deren Modelle Änderungen vorgenommen und nicht entsprechend vermerkt, so entsteht eine Inkonsistenz, die die Potenziale des Kreismodells aufbraucht. In extremen Fällen können die Effekte sogar für mehr Aufwände als Potenziale sorgen, da die Inkonsistenzen bspw. erst spät in Projekten aufgedeckt werden und dann entsprechenden Korrekturaufwand nach sich ziehen.

## Literaturangaben

- [1] Rapp, M. J.: Das Ertragsgesetz im Anlagenbau. Beiträge zum Industriebau. Frankfurt/Main: VDMA-Verl. 2004
- [2] Voigt, K.-I.: Risikomanagement im industriellen Anlagenbau. Konzepte und Fallstudien aus der Praxis. Berlin: E. Schmidt 2010
- [3] Ehrlenspiel, K. u. Meerkamm, H.: Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. München: Carl Hanser Fachbuchverlag 2013
- [4] Schiller, T.: Kompetenz-Management für den Anlagenbau: Ansatz, Empirie und Aufgaben. Deutscher Universitätsverlag 2013
- [5] Wölfling, C. u. Treue, I.: Komplexitätsmanagement im Anlagenbau. In: Maurer, M. u. Schulze, S.-O. (Hrsg.): Tag des Systems Engineering. Der Weg zu den technischen Systemen von morgen. München: Carl Hanser Fachbuchverlag 2013, S. 11–19
- [6] Backhaus, K. u. Voeth, M.: Industriegütermarketing. Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. München: Vahlen 2010
- [7] Mateika, M.: Unterstützung der lebenszyklusorientierten Produktplanung am Beispiel des Maschinen- und Anlagenbaus. Schriftenreihe des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der TU Braunschweig. Essen: Vulkan-Verl. 2005
- [8] Huse, J. A.: Understanding and negotiating turnkey and EPC contracts. London: Sweet & Maxwell 2002
- [9] Ilgen, A.: Wissensmanagement im Großanlagenbau: Ganzheitlicher Ansatz und empirische Prüfung. Deutscher Universitätsverlag 2013
- [10] Kaffenberger, R., Schulze, S.-O. u. Weber, H.: INCOSE Systems Engineering Handbuch. München 2012
- [11] Haberfellner, R.: Systems Engineering. Grundlagen und Anwendung. Zürich: Orell Füssli 2012
- [12] V-Modell XT, Bundesstelle für Informationstechnik, 2012
- [13] V-Modell XT. Das deutsche Referenzmodell für Systementwicklungsprojekte, Bartelt, C., Bauer, O., Beneken, G., Birochowicz, U., Bliß, T., Cordes, N., Cruz, D., Dohrmann, P., Friedrich, J., Gnatz, M., Hammershall, U., Hidvegi-Barstorfer, I., Hummel, H., Israel, D., Klingenberg, T., Klugseder, K., Küffer, I., Kuhrmann, M., Kranz, M., Kranz, W., Meinhardt, H.-J., Meisinger, M., Mittrach, S., Neußer, H.-J., Niebuhr, D., Plögert, K., Rauh, D., Rausch, A., Rittel, T., Rösch, W., Saas, E., Schramm, J., Sihling, M., Ternité, T., Vogel, S. u. Wittmann, M., 2015
- [14] DIN ISO 10007; 2004-12. *Qualitätsmanagement - Leitfaden für Konfigurationsmanagement*
- [15] VDI 2206; 06/2004. *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme*
- [16] Das Kreismodell als Grundlage der Entwicklungsmethodik für cyber-physikalische Systeme. Arbeitspapiere der Nordakademie 2014-07, Ahrens, V. Prof. Dr. u. Hieronymus, M. Dipl.-Inf. (FH), Elmshorn 2014
- [17] Cyber Physical Systems. Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation, Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2013

- [18] DIN 66901-5; 2009-01. *Projektmanagement - Projektmanagementsysteme - Teil 5: Begriffe*
- [19] DIN 66901-3; 2009-01. *Projektmanagement - Projektmanagementsysteme - Teil 3: Methoden*
- [20] DIN EN ISO 9001; 2015-11. *Qualitätsmanagementsysteme - Anforderungen*
- [21] Hinsch, M.: Die neue ISO 9001:2015 - Status, Neuerungen und Perspektiven. Springer Berlin Heidelberg 2014
- [22] Interpretation des PDCA-Zyklus nach DIN EN ISO 9001:2015 als Meta-Vorgehensmodell. Arbeitspapiere der Nordakademie 2016-01, Ahrens, V. Prof. Dr., Elmshorn 2016

## **Die Autoren**

Florian Schnoor (Jahrgang 1991) studierte an der NORDAKADEMIE sowie an der NORDAKADEMIE Graduate School sowohl im Bachelor- als auch im Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen. Im Rahmen der Thesis zum M. Sc. hat er dabei einen „Beitrag zur Systematisierung des Konfigurationsmanagements im Anlagenbau auf Basis des Systems Engineering“ geschrieben. Als ein Auszug dieser Thesis ist dieser Artikel entstanden.

Volker Ahrens, 1963 in Bremen geboren, studierte Maschinenbau an der Universität Hannover und promovierte bei Prof. Dr.-Ing. E.h. mult. Dr. sc. h.c. Dr.-Ing. Hans-Peter Wiendahl am Institut für Fabrikanlagen (IFA) der gleichen Universität zum Thema „Dezentrale Produktionsplanung und -steuerung – Systemtheoretische Grundlagen und Anwendungspotentiale“. Anschließend war er 10 Jahre in der Geschäftsleitung mittelständischer Industrieunternehmen tätig, zuletzt als Technischer Geschäftsführer. Seit 2007 ist er Professor an der NORDAKADEMIE, einer privaten, staatlich anerkannten Fachhochschule in Elmshorn. Dort leitet er den Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen. Prof. Dr. Ahrens hat die o.g. Thesis von Herrn Schnoor seitens der Hochschule maßgeblich begleitet.