

Sebastian Sindermann

SysLM Backbone
Ein Konzept zur durchgängigen
Unterstützung des Model-Based Systems
Engineering im System Lifecycle

Schriftenreihe VPE

Band 25

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Martin Eigner

SysLM Backbone

Ein Konzept zur durchgängigen Unterstützung des Model-Based Systems Engineering im System Lifecycle

Vom Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik
der Technischen Universität Kaiserslautern
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

genehmigte

Dissertation

von

Herrn

Dipl.-Wirtsch.-Inf. Sebastian Sindermann
aus Heidelberg

Dekan: Prof. Dr. Ing. Tilmann Beck
Vorsitzender der Prüfungskommission: Prof. Dr. Ing. Jens C. Göbel
1. Berichterstatter: Prof. Dr. Ing. Martin Eigner
2. Berichterstatterin: Prof. Dr. Ing. Jivka Ovtcharova
Tag der mündlichen Prüfung: 04.05.2021

Kaiserslautern 2021

D-386

Sebastian Sindermann

SysLM Backbone

Ein Konzept zur durchgängigen Unterstützung des
Model-Based Systems Engineering im System Lifecycle

D 386 (Diss. Technische Universität Kaiserslautern)

Shaker Verlag
Düren 2022

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Kaiserslautern, TU, Diss., 2021

Copyright Shaker Verlag 2022

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8497-9

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren
Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Danksagung

Diese Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Virtuelle Produktentwicklung (VPE) an der technischen Universität Kaiserslautern.

Mein erster und größter Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr. Martin Eigner, der mir die Möglichkeit eröffnete, mein Potenzial zu entfalten und mich zu jeder Zeit gefördert und gefordert hat.

Ein besonderer Dank richtet sich an Prof. Dr. Jivka Ovtcharova, meiner Zweitgutachterin, und Prof. Dr. Jens Göbel, dem Vorsitzenden der Prüfungskommission, die eine Prüfung in herausfordernden Zeiten ermöglicht haben.

Ebenfalls möchte ich allen Kollegen des Lehrstuhls VPE danken, die zu jeder Zeit für ein tolles Arbeitsklima gesorgt haben. Besonders erwähnen möchte ich Ursula Aydt, Dr. Florian Gerhardt, Dr. Torsten Gilz, Dr. Radoslav Zafirov, Dr. Fabrice Mogo Nem, Thorsten Hollerith, Dr. Martin Langlotz, Patrick Schäfer, Dr. Sebastian Handschuh, Dr. Daniil Roubanov, Dr. Thomas Dickopf, Hristo Apostolov, Marcellus Menges, Christian Muggeo, Dr. Joscha Ernst, Dr. Michael Pfenning und Thomas Eickhoff, mit denen mich auch über die universitäre Arbeit hinaus Erinnerungen verbinden werden.

Ein weiterer Dank gilt den studentischen Mitarbeitern Peter Binnig, Juri Krieger, Thomas Psota und Simon Eberz, die mit ihrem Fleiß und Einsatz gegläntzt haben.

Natürlich möchte ich auch meinen Freunden und meiner Familie danken. Insbesondere meinen Eltern gilt ein großer Dank, da sie meinen persönlichen Werdegang ermöglicht haben.

Ein spezieller Dank geht an meine Frau Thuan Nguyen, die mich regelmäßig in meinen Vorhaben bestärkt und zu jeder Zeit unterstützt und motiviert hat.

Stuttgart, Dezember 2021

Sebastian Sindermann

Kurzfassung

Die Methodik zur Produktentwicklung verändert sich mit dem Model-Based Systems Engineering (MBSE) rapide, wodurch sich das Product Lifecycle Management (PLM) erweitert und zum sogenannten System Lifecycle Management (SysLM) erwächst. Diese Arbeit präsentiert den SysLM Backbone als Konzept und Implementierung, um den technologischen Fortschritt, der durch System Lifecycle Management entsteht, für Unternehmensprozesse und deren IT-Systemlandschaft optimal erschließen zu können. Der SysLM Backbone unterstützt Digitalisierung, Industrie 4.0, Vernetzung, Globalisierung, kürzere Entwicklungs- und Produktlebenszyklen, Kooperationen und flexible Lieferketten und die Agilität allgemein. Informationsverwaltung und Informationsaustausch werden zum Schlüssel für die Entwicklung moderner Produkte und Systeme. Deshalb unterstützt der SysLM Backbone das System Lifecycle Management durch Anpassbarkeit und Flexibilität bezüglich aller relevanten Aspekte. Dazu werden beispielhafte Implementierungen vorgestellt, die auf diese Kernaspekte abzielen. Die Notwendigkeit ergibt sich aus fehlenden Lösungen am Markt, der aktuell nur Teilaspekte abdeckt, sowohl prozessual als auch technologisch. Hier setzt das Konzept des SysLM Backbones an, um bestehende Architekturen und Lösungen zu kombinieren und die Lücken in der System- und Prozesslandschaft gezielt zu schließen. Dabei werden kleine, mittlere und große Unternehmen gleichermaßen angesprochen.

Abstract

Methods of engineering are rapidly changing due to Model-Based Systems Engineering (MBSE), thereby upgrading Product Lifecycle Management (PLM) to System Lifecycle Management (SysLM). This thesis presents the SysLM Backbone as concept and implementation to leverage System Lifecycle Management for the technological progress of business processes and their IT landscapes. The SysLM Backbone supports digitalization, Industry 4.0, interconnection, globalization, shorter development and product lifecycles, cooperation and flexible supply chains and flexibility in general. Information management and exchange are becoming key factors for the development of modern products and systems. Hence the SysLM Backbone supports System Lifecycle Management through adaptability and flexibility regarding all relevant aspects. Therefore exemplary implementations are presented, aiming on those core aspects. The necessity arises from the lack of solutions on the market, which are only covering partial aspects, process-related as well as technological. This is where the SysLM Backbone comes into play to combine existing architectures and solutions to close the gap in the current system and process landscape. In doing so, small, medium and also large companies are equally addressed.

Zusammenfassung

Der Maschinenbau wandelt sich seit Jahren von einer durch physische Komponenten und Mechanik geprägten Welt hin zu einer mechatronischen und softwaregetriebenen Zukunftstechnologie. Dementsprechend erfährt die Methodik zur Produktentwicklung mit dem Model-Based Systems Engineering (MBSE) enorme Fortschritte, die sich auch auf das Product Lifecycle Management (PLM) auswirken und eine Erweiterung zum System Lifecycle Managements (SysLM) nötig machen. In dieser Arbeit wird der System Lifecycle Management Backbone als Konzept und Implementierung vorgestellt, um den oben beschriebenen technologischen Fortschritt für Unternehmensprozesse und deren IT-Systemlandschaft optimal erschließen zu können. Der SysLM Backbone ist dabei ein Enabler für Themen rund um Digitalisierung, Industrie 4.0, Vernetzung, Globalisierung, kürzere Entwicklungs- und Produktlebenszyklen, Kooperationen und flexible Lieferketten sowie einer allgemein notwendigen Marktgitilität. Eine effiziente Informationsverwaltung und ein konstanter Informationsaustausch werden zum Schlüssel für die erfolgreiche Entwicklung moderner Produkte und Systeme. Das Konzept des SysLM Backbones unterstützt ein effektives System Lifecycle Management durch Anpassbarkeit und Flexibilität bezüglich der Branche, der Unternehmensgröße, des Digitalisierungsgrades, der eingesetzten Technologien sowie des Innovationsgrades. Für exemplarisch ausgewählte Ausprägungen eines SysLM Backbones wird eine prototypische Implementierung vorgestellt, die alle relevanten Kernaspekte aufgreift und Orientierung bei der individuellen Ausgestaltung gibt. Der wachsende Bedarf für agile und flexible IT-Landschaften, der sich aus der zunehmenden Digitalisierung der Produkte und Prozesse ergibt, wird durch zahlreiche Konzepte und Softwarelösungen am Markt unterstützt. Während jedes einzelne dieser Konzepte und Produkte für sich einen konkreten Bedarf adressiert, besteht insbesondere bei der Integration der einzelnen Komponenten eine operative Lücke, die bisher nicht durch Out-of-the-Box Lösungen geschlossen werden kann. Hier setzt das Konzept des SysLM Backbones an, um bestehende Architekturen und Lösungen zu kombinieren und die Lücken in der System- und Prozesslandschaft gezielt zu schließen. Dabei werden kleine, mittlere und große Unternehmen gleichermaßen angesprochen, trotz ihrer heterogenen Anforderungen innerhalb der Unternehmensgrenzen ideal unterstützt und bleiben darüber hinaus auch untereinander interoperabel. Als Voraussetzung müssen entsprechende Technologien und Standards existieren und umgesetzt sein, um die notwendigen Grundbedingungen in einem so heterogenen Umfeld zu schaffen. Je nach Branche und Domäne besteht hier unterschiedlich großer Bedarf für Verbesserungen, um auch zukünftig noch effiziente Lösungen anbieten zu können.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	15
1.1	Motivation und Relevanz des Themas	16
1.2	Zielsetzung der Arbeit	18
1.3	Aufbau der Arbeit und methodische Vorgehensweise	19
2	Problemstellung	21
2.1	Handlungsbedarf	21
2.2	SysLM Architekturen als Lösungskonzept	26
2.2.1	4-Ebenen Modell	27
2.2.2	Linked Data	28
2.2.3	Repository-basierte Architektur	29
2.3	Produkte mit SysLM-Relevanz	29
2.3.1	CONWEAVER	29
2.3.2	ThingWorx	31
2.3.3	BizTalk Server	31
2.3.4	Intercax Syndeia	33
2.3.5	IBM Jazz Plattform	34
2.3.6	Aras Innovator	35
2.4	Optimierungspotenziale	36
3	Stand der Technik	37
3.1	Modellbasierte Entwicklung	37
3.1.1	Systems Engineering	37
3.1.2	Model-Based Systems Engineering (MBSE)	39
3.1.3	Modellierungssprachen	41
3.2	Autorensysteme	45
3.2.1	Anforderungsmanagement	47
3.2.2	Modellbildung und erste Simulation	49
3.2.3	Entwicklung und Konstruktion	49
3.2.4	Verifikation und Test	50

3.2.5	Digitale Fabrik und Fertigung	51
3.2.6	Projektmanagement und Office	52
3.3	Product Lifecycle Management (PLM).....	53
3.4	Enterprise Ressource Planning (ERP).....	56
3.5	Application Lifecycle Management (ALM).....	56
3.6	System Lifecycle Management (SysLM).....	56
3.7	Engineering Networks (EN)	57
3.8	Schnittstellen und Datenaustauschformate	58
3.8.1	Anwendungsbereiche.....	58
3.8.2	Schnittstellenkonzepte	58
3.8.3	Datenschnittstellen.....	61
3.8.4	Datenformate	63
3.8.5	Enterprise Application Integration (EAI)	83
3.8.6	Service Oriented Architecture (SOA)	84
3.8.7	Open Services for Lifecycle Collaboration (OSLC)	86
4	Lösungskonzept	99
4.1	SysLM Backbone.....	100
4.1.1	Backbone Architektur.....	101
4.1.2	Architekturbeispiele.....	101
4.1.3	Ausbaustufen	103
4.1.4	Relevante Informationsartefakte	108
4.1.5	Schnittstellen des SysLM Backbones	110
4.2	Vernetzung der Artefakte.....	114
4.2.1	Technische Basis der Vernetzung.....	115
4.2.2	Architektur der Vernetzung.....	117
4.2.3	Unterstützung komplexer Szenarien durch Aras Innovator	123
4.2.4	Realisation der Vernetzung.....	124
4.3	Engineering Networks (EN)	126
5	Validierung	128

6	Prototypische Umsetzung	133
6.1	Aufbau des SysLM Backbone Prototyps	133
6.2	Komponenten des SysLM Backbone Prototyps	134
6.2.1	SysLM Backbone Framework	135
6.2.2	Requirements Management	137
6.2.3	Product Data Management (PDM).....	139
6.2.4	Computer Aided Software Engineering (CASE) und Application Lifecycle Management (ALM)	145
6.2.5	OSLC Schnittstelle für Aras Innovator	145
6.2.6	Montageplanung	152
6.2.7	Nutzungsphase.....	153
6.2.8	Middleware zur Informationsbereitstellung	158
6.2.9	Graphical User Interface (GUI)	159
6.3	SysLM Backbone Client Integration in PTC Creo.....	160
7	Verifizierung.....	163
8	Zusammenfassung und Ausblick	165
9	Literaturverzeichnis.....	169
10	Anhang	179
10.1	Aras Innovator AP 242 XML Interface.....	179
10.2	Modell des Engine Blower.....	180