



Leseprobe

Tag des Systems Engineering

(Print-on-Demand)

Sonstiger Urheber Christian Tschirner
Herausgegeben von Sven-Olaf Schulze, Christian Muggeo

ISBN (Buch): 978-3-446-45126-1

ISBN (E-Book): 978-3-446-45141-4

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-45126-1>

sowie im Buchhandel.

Vorwort

Sehr geehrte Teilnehmer/Innen,

diesen Tagungsband könnte man knapp mit den Worten „Neue Erkenntnisse und Instrumente für die Entwicklung von komplexen technischen Systemen für Morgen“ zusammenfassen. Es sind wieder neue Erfahrungsberichte und Ansätze aus der Praxis als auch Forschungsthemen zu finden. Die Beiträge kommen aus den Bereichen „modellbasierte Systementwicklung und Simulation“, „agile Systementwicklungsmethoden“, „Systems Engineering im Mittelstand“, „Systems Engineering Tools und ihre Umgebung“ sowie Aspekte aus dem Bereich „PLM-/MBSE-Integration“. Dabei werden Organisationsentwicklung als auch der Nutzen von SE und MBSE behandelt.

Es ist zu erkennen, dass sich immer mehr der Maschinen- und Anlagenbau mit der Thematik befasst und erste Ergebnisse und Berichte geteilt werden. Dabei treten die Themen Industrie 4.0 und IoT in den Vordergrund. Ohne den systematischen Ansatz von Systems Engineering ist eine Realisierung dieser Themen nicht möglich. Somit werden diese Themen in den nächsten Jahren intensiv begleitet.

Besonders sind in diesem Kontext auch die Initiativen und Kooperationen der GfSE zu nennen. So sind Veröffentlichungen von der FAS Arbeitsgruppe als auch der neuesten Initiative mit dem Thema SpecIf zu nennen. Das SpecIf wurde der GfSE in diesem Jahr geschenkt und es soll somit zu einem neutralen Standard entwickelt werden.

Dadurch, dass das Industrie 4.0 Verbundprojekt „mecPro2“ in diesem Jahr seinen Abschluss findet, sind einige Beiträge auch in dem Tagungsband zu finden. Mit dem Forschungsprojekt, in dem die GfSE Partner war, gehen drei Jahre Forschung erfolgreich zu Ende. Es wurde dabei untersucht, wie ein modellbasierter Entwicklungsprozess für cybertronische Produkte und Produktionssysteme vor dem Hintergrund der Herausforderungen von Industrie 4.0 entwickelt und mit PLM-Systemen unterstützt werden kann.

In diesem Sinne wünsche ich Ihnen auch in diesem Jahr erfolgreiche Tage und eine interessante Lektüre zum Systems Engineering. Wir wollen wieder den Austausch unterstützen, und den Wissens- und Erfahrungstransfer zwischen

Tag des Systems Engineering 2016

Industrie, Forschung und Lehre fördern. Ich möchte mich bei allen Personen bedanken, die einen Beitrag eingereicht haben und den ehrenamtlichen Helfern und den Sponsoren, die diese Konferenz und diesen Tagungsband ermöglicht haben.



Sven-Olaf Schulze

Vorsitzender der GfSE e.V.

Inhaltsverzeichnis

Der Konferenzband enthält sowohl Industriebeiträge (I) als auch wissenschaftliche Beiträge (W).

T1-1 Nutzen von SE

- Einschätzungen zum MBSE im Rahmen der Entwicklung komplexer Fahrzeugsysteme (I) 3
Jürgen Rambo, Christian Huwig, Martin Langlotz, Robert Hämisch
- Model Based Systems Engineering: Prinzipien, Anwendung, Beispiele, Erfahrung und Nutzen aus Praxissicht (I) 13
Sven Kleiner, Stephan Husung
- Systems Engineering im Kontext der unternehmensübergreifenden Produktentwicklung (W) 23
Sebastian Neumeyer, Pascal Lünemann, Robert Woll, Haygazun Hayka, Rainer Stark

T1-2 Werkzeuge und IT-Standards

- Werkzeuge für den Mittelstand – MBSE leicht (W) 35
Jörg Heihoff-Schwede, Christian Bremer, Martin Rabe, Christian Tschirner
- Verfahrenstechnik trifft Systems Engineering (W) 45
Martin Dietl, Manuel Wimmer, Oliver Alt
- Use Case basiertes MBSE in automobilen Entwicklungsprozessen auf Basis von Engineering-IT Standards (I) 55
Julia Christin Seeßle, Christian Huwig

T2-1 Methoden

- FMEA leicht gemacht – Ideale Vorbereitung durch die Mechatronic Impact Analysis (I) 67
Tim Burdach, Alexander Naß

Anwendung von Methoden der Produktentstehung auf Basis des Systemmodells mechatronischer Systeme (W) 77
Matthias Greinert, Christian Tschirner, Jörg Holtmann

Analyse des Systemverhaltens und Beeinflussung indirekter Änderungskosten (W) 87
Christian Schmied, Marcel Gebhardt, Hugo d'Albert, Markus Mörtl, Udo Lindemann

T2-2 Von Anforderungen zum Test

Virtual Prototyping basierte Trade-off Analysen (W) 99
Jörg Holzmann, Herbert Palm, Dieter Gerling

Model-based Interface Management for AVLS Instrumentation & Test Systems (I) 109
Christian Zingel, Robert Korošec, Daniel Tauschitz

Erfüllung von Automotive SPICE Prozessanforderungen mittels modellbasierter Entwicklungstechniken (I) 119
Alexander Schneider, Sascha Ackva

T2-3 Qualifizierung und Change

SE-Qualifizierung - ein wesentlicher Erfolgsfaktor (I) 131
Ingo Treue, Hellmar Rockel

Die Gestaltung eines Systems Engineering Office als zentrale Veränderungsinstanz bei der unternehmensweiten Einführung von Systems Engineering (I) 141
Christian Knop, Simon Milewski, Christian Völl, Fabian Sannwaldt

Systems Engineering im Maschinen- und Anlagenbau verstehen, anwenden und beherrschen (I) 151
Volker Huckriede, Benjamin Joachim, Stefan Storck

T2-4 Modellbasierte Entwicklung

- Modellbasierte Analyse komplexer Fehlerketten zur Erhöhung der Verlässlichkeit in der Produktentwicklung (W) 163
Ovidiu Bielefeld, Hendrik Dransfeld, Nadine Schlüter, Soroush Yazdanmadad, Petra Winzer
- Modellbasierte Entwicklung einer neuartigen Lenkkraftunterstützung auf Basis radselektiver Antriebe (I) 173
Jürgen Römer, Philipp Kautzmann, Marcel Ph. Mayer, Michael Frey
- Herausforderungen der mechatronischen Produktentwicklung mittels Systems Engineering meistern am Beispiel sensorisierter Lager (I) 183
Ralf Weippert, Thomas Drescher, Stefan Glück, Carolin Böckler, Andreas Schiffler

T3-1 Requirements Engineering I

- Smart REco – Anforderungsanalyse 4.0 (I) 195
Chris Rupp, Carsten Pflug, Fabian Lingg, Christian Bock
- Modellierung von Anforderungen: Der erste Schritt zu MBSE (I) 205
Michael Jastram
- Beschleunigung von Innovationen durch eine neue Requirements Engineering Vorgehensweise (I) 215
Markus Eberhardt, Larissa Endriss, Philip Stolz, Andreas Kress

T3-2 Maschinen- und Anlagenbau

- Erfahrungsbericht über die Umsetzung von Modularisierungs-, Standardisierungs- und Plattformansätzen (I) 227
Michael Gepp, Jan Vollmar, Andreas Schertl, Andreas Müller-Martin
- Systems Engineering im Anlagenbau – Methoden für den erfolgreichen Umgang mit Komplexität (I) 237
Katharina Kollenda

- Baukastenentwicklung durch MBSE am Beispiel einer modularen Fertigungsanlage im Kontext der Industrie 4.0 (W) 247
Nikola Bursac, Albert Albers, Marc Ölschläger

T3-3 Rahmenwerke

- Erweiterung des integrierten Konzeptes aus Prozessrahmenwerk und Beschreibungssystematik von mecPro² um ein modellbasiertes Variantenmanagement (W) 259
Tim Schulte, Marc Schneider, Thomas Dickopf, Lisa Mayerhofer

- Pragmatisches Reifegradmodell zur Einführung von Systems Engineering (I) 269
Daniel Steffen, Enrico Enge, Sven-Olaf Schulze, Anja Czaja

- The V-Model is Dead. Long Live the V-Model! (I) 279
Colin Hood

T3-4 Requirements Engineering II

- ReqInspector – Automatische Prüfung der Vollständigkeit von Anforderungsspezifikationen durch semantische Analyse der Valenzrahmen (W) 291
Simon Darting, Andreas Maier

- Automatisierter Übergang vom dokumenten- zum modellzentrierten Requirements Engineering als Ausgangsbasis für MBSE (I) 301
Adriana Götz, Christian Donges

- Cutting the „Cross-Cutting“ Part 1: Requirements Management (I) 311
Marco Di Maio, Martin Hoppe, Eren Erkul, Martin Grundel, Niklas Klusmann

T4-1 MBSE meets PLM

- Systemmodelle verwalten mit ConfigML - Motive, Grundlagen und erste Konzepte einer Sprache für das modellbasierte Konfigurationsmanagement (W) 323
Tim Schulte, Marc Schneider, Udo Judaschke, Daniel Batz

SysML-Modellverwaltung im PDM/PLM Umfeld (I) 333
Lucas Kirsch, Christian Muggeo, Patrick Müller, Martin Eigner

Systems Re-Engineering – ein Beitrag zur Integration von MBSE
 und PLM (I) 343
Uwe Kaufmann, Ralf Schuler

T4-2 CPS und Systemintegrität

Systemmodellierung für das Internet der Dinge – Transformation
 von Systemmodell in IoT-Plattform im Kontext später
 Produktlebenszyklusphasen (W) 355
Michael Pfenning, Arnold Roth

SysML-basierte Planung cybertronischer Produktionssysteme in
 frühen Entwicklungsphase (W) 365
*Chantal Steimer, Jan Fischer, Marcel Cadet, Hermann Meissner,
 Jan C. Aurich, Jan C. Aurich, Nicole Stephan*

Hoch-Integre Technische Systeme (I) 375
Dieter Scheithauer

T4-3 Frameworks

EASyNAF – Ein Framework zur kollaborativen Modellierung
 operationeller Architekturen (W) 387
*Mario Schmitt, Christian Webel, Christoph Antes, Thomas
 Kleinberger, Siwara Sadikow*

Semantic Model Integration for System Specification (I) 397
Oskar von Dungern

Komplexität beherrschen mit Core Modeling (I) 407
*Robert Kochseder, Juliane Rettner, Werner Höfler, Stefan Horn,
 Benno Dielmann*

T4-4 FAS-Methode

- Modellbasierter mechanischer Konzeptentwurf: Ergebnisse des FAS4M-Projektes (W) 419
Georg Moeser, Martin Grundel, Tim Weilkiens, Stephan Kümpel, Christoph Kramer, Albert Albers
- Physische Architekturen variantengerecht aus Funktionalen Architekturen für Systeme (FAS) spezifizieren (W) 429
Sylvia Melzer, Ulrike Wittke, Hartmut Hintze, Ralf God
- Verhaltensregeln für FAS: Systemverhalten anhand funktionaler Architekturen betrachten (I) 439
Werner Gerritsen, Jesko G. Lamm, Georg Moeser, Tim Weilkiens, Michael Fechner

Systems Engineering im Maschinen- und Anlagenbau verstehen, anwenden und beherrschen

Volker Huckriede¹, Benjamin Joachim², Stefan Storck³

¹HARTING Applied Technologies GmbH, Technischer Leiter Sondermaschinenbau, Wilhelm-Harting-Straße 1, 32339 Espelkamp

²ELHA-MASCHINENBAU Liemke KG, Vertrieb, Allee 16, 33161 Hövelhof, benjamin.joachim@elha.de

³Friedrich Remmert GmbH, Leiter Elektrotechnik, Brunnenstraße 113, 32584 Löhne, sst@remmert.de

Zusammenfassung: Der deutsche Maschinen- und Anlagenbau steht immer stärker im Wettbewerb mit internationalen Anbietern. Ein wichtiger Erfolgsfaktor liegt in der Automatisierungs- und Prozesstechnologie. Die drei Unternehmen HARTING Applied Technologies GmbH, ELHA-MASCHINENBAU Liemke KG und Friedrich Remmert GmbH entwickeln, bauen und installieren kundenspezifische Anlagen. Die Produkte sind auf den ersten Blick grundlegend unterschiedlich, es gibt jedoch große Ähnlichkeiten bei der abstrakten Betrachtung der Produkte und der internen Prozesse. Der klassische Konstruktionsprozess, getrennt nach Mechanik und Elektrik, stößt bei derart komplexen mechatronischen Systemen schnell an seine Grenzen. Auch die Kundenforderung nach möglichst kurzen Lieferzeiten verlangt nach einem neuen Ansatz in der Produktentwicklung bzw. Projektabwicklung. Einen möglichen Ansatz bietet das Systems Engineering (SE). In einem Projekt mit Fraunhofer IEM wurden die Grundlagen des Systems Engineerings für KMU vorgestellt, trainiert und diskutiert und so die Grundlage für eine mögliche SE-Einführung gelegt.

1 Motivation und Ziele

Die Entwicklung kundenspezifischer Lösungen im Maschinen- und Anlagenbau ist mit einem nicht unerheblichen Entwicklungs- und Projektierungsaufwand behaftet. Dieser Aufwand wirkt sich auf die wichtigen Wettbewerbsfaktoren aus: Preis und Lieferzeit. Um im internationalen Wettbewerb bestehen zu können, ist eine effiziente und effektive Projektabwicklung zwingend erforderlich. Kunden wünschen zudem eine gleichbleibend gute Qualität bei immer weiter steigender Funktionalität. Viele deutsche Maschinen- und Anlagenbauer können diese Ansprüche mit immer komplexeren Produkten befriedigen und sind in ihrem Markt führend. Die zunehmende Produktkomplexität steigert jedoch auch die Komplexität der Entwicklung. Nur durch interdisziplinäre Zusammenarbeit können die gestellten Anforderungen erfüllt werden [GDS+13]. In Kombination mit etablierten Prozessen und diszipliniertem Denken führt dies jedoch zu hohen Aufwänden bei Entwicklung und Projektierung. Insbesondere etablierte iterative Prozesse kosten immer mehr Zeit. Zudem stößt die Menge an Informationen und die einhergehende Dokumentation in Textform an ihre Grenzen. Daher ist ein neuer Ansatz für die Entwicklung bzw. Projektabwicklung notwendig der sowohl die Komplexität, als

auch die steigende Interdisziplinarität des Projektteams berücksichtigt. Der Ansatz Systems Engineering (SE) hat das Potential, die genannten Herausforderungen zu lösen.

Systems Engineering ist ein praxisbewährter Entwicklungsansatz für komplexe Systeme. Ausgang ist die ganzheitliche Betrachtung des Systems und des dazugehörigen Entwicklungsprojekts [Mar97] unter Berücksichtigung des gesamten Produktlebenszyklus [BSJ+09], [Cha74]. Besondere Aufmerksamkeit gilt dem Anforderungsmanagement [INC15]. Model-Based Systems Engineering (MBSE) ist die formalisierte Anwendung der Modellierung zur Unterstützung des SE [INC07], [EBW+11]. Dazu wird ein disziplinübergreifendes Systemmodell in den Mittelpunkt der Entwicklung gestellt. Dies unterstützt den Wandel von der Dokumenten- zur Modellorientierung und verspricht, Inkonsistenzen, Redundanzen [Alt12] und ebenso Verständnisprobleme zwischen Disziplinen zu reduzieren. KMU nehmen den Ansatz jedoch häufig als „zu mächtig“ wahr und verweisen auf die Herkunft des SE – große Projekte aus der Rüstungs- sowie Luft- und Raumfahrtindustrie [GDS+13]. Gleichzeitig wird jedoch auch der Bedarf für den Einsatz eines neuen Entwicklungsansatzes wie SE erkannt [GDS+13]. Ansätze wie ISO 29110 [ISO15] und die Relaxation des bislang recht eng ausgelegten MBSE-Verständnisses hin zu einem situationsgerechten MBSE Einsatz [TDM15] zeigen, dass viel Interesse besteht auch kleinen Unternehmen („KMU“) den Einsatz von Systems Engineering zu ermöglichen.

Die drei mittelständischen Unternehmen HARTING Applied Technologies GmbH, ELHA-MASCHINENBAU Liemke KG und Friedrich Remmert GmbH (im Folgenden kurz HARTING, ELHA und REMMERT genannt) sind Mitglieder des OWL ViProSim e.V. Als Verein hat OWL ViProSim die Aufgabe, vor allem Unternehmen der Region OstWestfalen-Lippe (OWL) bei dem Erwerb von Grundlagen- und Anwendungswissen über Virtual Prototyping & Simulation (VPS) im Entwicklungs- und Produktionsplanungsprozess zu unterstützen. Während diverser Veranstaltungen haben die drei Unternehmen festgestellt, dass sie trotz unterschiedlicher Produkte vor den gleichen Herausforderungen stehen. Alle haben sich darauf spezialisiert, kundenspezifische Lösungen anzubieten, d.h. das Endprodukt wird i.d.R. in „Stückzahl 1“ projektiert und gebaut. Dies bedeutet, dass Kundenanforderungen möglichst genau erfasst und umgesetzt werden müssen. Aufgrund der hohen Komplexität der mechatronischen Systeme müssen die Kundenanforderungen sauber identifiziert, dokumentiert und fachübergreifend kommuniziert und umgesetzt werden. Die Unternehmen erhoffen sich, durch Systems Engineering die entsprechenden internen Prozesse zu optimieren, um Durchlaufzeiten und Kosten der Produkte zu senken. Aus diesem Grund haben sich die drei Unternehmen an Fraunhofer IEM gewendet.

2 Komplexitätsmanagement durch Systems Engineering

2.1 Beispielhafte Produkte und Prozesse – IST-Situation

HARTING ist ein Spezialist im Bereich Sondermaschinen- und Werkzeugbau und stellt Montagesysteme und Sondermaschinen für branchenübergreifende Industrien, wie z.B.

der Möbel-, Elektro- und Automobilindustrie bis hin zur Medizintechnik, her. Das Produktspektrum umfasst neben vollautomatisierten Montagesystemen auch manuell verkettete "one-piece-flow"-Linien und ergonomische Einzelplatzsysteme. Die Produktpalette von REMMERT umfasst Blech- und Langgutlager sowie Automatisierungslösungen rund um die Blechbearbeitung sowie die zugehörige Logistik. Ein beispielhaftes Produkt von ELHA ist das Fertigungsmodul. Dieses Maschinenkonzept wird überwiegend in der automobilen Massenproduktion eingesetzt. Dabei werden neben den eigentlichen Maschinen auch Belade- und Entladesysteme sowie bspw. Maschinen, für Messoperationen ausgeliefert. Alle Unternehmen entwickeln und fertigen kundenspezifische, hochkomplexe Systeme. Die klassischen Entwicklungsmethoden stoßen hier an ihre Grenzen. Die Zusammenhänge zwischen Anforderungen, Funktionen und Kosten sind schwierig zu überblicken. Alle Unternehmen haben in Transferprojekten des BMBF-geförderten Spitzenclusters it's OWL erste Erfahrungen mit MBSE gesammelt. Die Erkenntnisse aus diesen Projekten haben die Unternehmen veranlasst sich intensiver mit dem Thema zu beschäftigen. In weiteren Gesprächen zwischen den Unternehmen wurde festgestellt, dass alle drei mit ähnlichen Herausforderungen zu tun haben. Die Möglichkeiten des SE zur Unterstützung bei diesen Herausforderungen sollten durch ein gemeinsames Projekt evaluiert werden.

In den Projekten der Unternehmen liegt die erste Herausforderung häufig im Umgang mit Erwartungen und Anforderungen der Kunden. Oft ist es schwierig, die tatsächlichen Kundenwünsche zu erfassen, häufig werden Anfragen sehr kurz und unpräzise gestellt. So kommt der Kunde z.B. mit einem Bauteil oder einer Zeichnung auf den Lieferanten zu und erfragt die Möglichkeit und Kosten für die Produktion dieser Teile in einer sehr grob geschätzten Stückzahl. Sind die Anforderungen erfasst, muss ein System konzipiert werden, das die Kundenwünsche bestmöglich abbildet. Ein erstes Konzept muss bei allen drei Unternehmen schon in der Angebotsphase abgeliefert werden. Häufig wird in diesem Schritt auf Erfahrungen (d.h. ähnliche bereits ausgeführte Lösungen) zurückgegriffen. Dadurch werden manchmal jedoch innovative Lösungen ausgebremst. Die Qualität dieses ersten Konzepts ist entscheidend, um spätere Änderungen zu vermeiden – selbst scheinbare Kleinigkeiten können große Auswirkungen auf das Projekt nehmen. Die Auswirkungen von Änderungen zu bewerten ist bei der bisherigen Herangehensweise daher häufig nur schwer möglich. Sobald das Gesamtsystem konzipiert ist müssen häufig komplexe Bauteile oder Subsysteme über Lieferanten beschafft werden. In diesem Stadium stellen sich ähnliche Herausforderungen wie bei der Erfassung der Kundenwünsche. Komplexe Anforderungen müssen erkannt und eindeutig an die Lieferanten kommuniziert werden. Aber auch Verantwortlichkeiten und Terminpläne müssen geregelt werden. Da die Projektierung häufig unter hohem Zeitdruck abläuft, ist zudem eine Parallelisierung der Entwicklungstätigkeiten notwendig (Konstruktion, Elektroplanung, SPS-Programmierung, etc.).

2.2 Handlungsbedarf und Anforderungen an Systems Engineering in KMU

Gemeinsames Ziel ist die Steigerung bzw. Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit. Dies soll durch den Einsatz von SE erreicht werden. Erste Erfahrungen dazu wurden bereits gesammelt und die sich bietenden Chancen erkannt. Zur Implementierung von SE und

MBSE fehlte jedoch noch Erfahrung und Know-how, außerdem waren die Erwartungen an SE noch unscharf. Insbesondere im Bereich der Softwaretools bestand Unsicherheit, was von entsprechenden Werkzeugen erwartet werden kann. Die kurzfristige Herausforderung bestand also darin, zunächst das Verständnis der Unternehmen für SE und MBSE zu verbessern und anschließend eine Möglichkeit zu geben, Methoden und Techniken des SE selbst anzuwenden und zu verinnerlichen. Dazu sollten konkrete Fragestellungen der KMU mit Ansätzen des Systems Engineerings behandelt werden. Für ELHA lag dabei der Einkaufsprozess im Fokus, für HARTING der Vertriebsprozess mit der Anforderungsaufnahme und für REMMERT die Systemspezifikation. Für KMU im Allgemeinen gilt, dass die verfügbaren Ressourcen oft knapp sind, so dass das Aufwand-Nutzen-Verhältnis einen noch höheren Stellenwert hat als ohnehin üblich. Gleichzeitig muss jedoch schon sehr früh ein möglichst großer Personenkreis einbezogen werden – in KMUs ist es nicht üblich, Methoden durch spezielle Abteilungen auszuarbeiten und anschließend auszurollen. Stattdessen sind die Mitarbeiter es gewohnt, bei Änderungen an der Arbeitsweise selbst mitzuwirken. Zur Überzeugung dieser Mitarbeiter ist es wichtig, den Nutzen des neuen Ansatzes an alltäglichen Beispielen deutlich zu machen. Aus diesem Grund wurden neben den beschriebenen Anforderungen auch spezifische Anforderungen an die Methode gestellt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Anforderungen von KMU an Systems Engineering

Anforderungen an Systems Engineering für kleine und mittelständisch Unternehmen			
Organisatorische Daten			Projektbezeichnung
Lfd.-Nr.	Datum / Stand	Forderung / Wunsch	MBSE für kleine und mittelständische Unternehmen
1. Funktionalität			
1.1	8.3.16	F	Erfassung der (Kunden-) Anforderungen: Kundenanforderungen sollen präzise erfasst werden, so dass diese auch von dritten verstanden werden und möglichst wenig Spielraum für Interpretationen lassen. Idealerweise können die Anforderungen als Vertragsgegenstand genutzt werden.
1.2	8.3.16	F	Abhängigkeiten von Anforderungen und Funktionen: Durch MBSE sollen Anforderungen mit Funktionen verknüpft werden. Der funktionsorientierte Aufbau von Systemen soll unterstützt werden.
1.3	8.3.16	F	Änderungsmanagement: Änderungen müssen nachvollziehbar erfasst werden. Auswirkungen von Änderungen auf das Gesamtsystem sollen schnell abgeleitet werden, so dass eine kommerzielle Bewertung möglich ist.
1.4	8.3.16	F	MBSE als internes Kommunikationsmedium: Die Abstimmung zwischen einzelnen Fachabteilungen soll vereinfacht werden. Die Modelle sollen einfach und verständlich aufgebaut sein. Die Modelle sollen für alle beteiligten verständlich sein.
1.5	8.3.16	F	MBSE als externes Kommunikationsmedium: Abstimmungen mit Kunden oder Lieferanten sollen vereinfacht werden. Die Modelle sollen einfach und verständlich sein. Jedoch sollen Lieferanten nur begrenzten Zugang zum Lösungswissen erhalten.
1.6	8.3.16	F	Innovationen fördern: Zur Innovationsförderung sollen die Modelle möglichst lange Lösungsneutral bleiben.
1.7	8.3.16	F	Ableitung von Lösungselementen: Die Modelle müssen eine Ableitung von Lösungselementen zulassen bzw. fördern.
1.8	8.3.16	F	Zusammenhang zwischen Anforderung und Funktion bzw. Lösungselement: Die Funktionen bzw. Lösungselemente sollen mit den Anforderungen verknüpft sein, damit eine Prüfung auf Anforderungserfüllung automatisiert durchgeführt werden kann.
1.9	8.3.16	W	Software: Ziel ist eine geeignete Software für kleine und mittelständische Unternehmen zu finden. Mit dieser sollen die genannten Anforderungen bestmöglich erfüllt werden.

3 Vorgehen

3.1 Schwerpunktsetzung

Auf Grundlage der beschriebenen Anforderungen wurde eine gemeinsame Veranstaltungsreihe unter dem Titel „Systems Engineering für kleine und mittelständische Unternehmen: SE4KMU“ ins Leben gerufen. Ziel war es HARTING, ELHA und REMMERT gemeinsam tiefer in das Themenfeld des Systems Engineerings einzuführen und gleichzeitig den Wert von SE für unternehmensindividuell gewählte Herausforderungen darzustellen. Dazu wurden drei Ganztagsworkshops zu den Themenfeldern Systems Engineering im Vertriebsprozess, zur Systemspezifikation und im Einkauf durchgeführt. Der Ablauf eines solchen Workshops wird in Kapitel 3.2 exemplarisch anhand des Beispiels Systemspezifikation vorgestellt. Die Workshops wurden jeweils bei einem anderen Unternehmen vor Ort mit Teilnehmern aus allen Unternehmen durchgeführt. Mögliche Softwarewerkzeuge im Bereich des SE wurden in den ersten Workshops bewusst außer Acht gelassen um den Fokus auf die nötigen Denkweisen und Methoden zu legen.

Um ein gemeinsames Verständnis und gleiche Voraussetzungen bei den Teilnehmern sowohl innerhalb eines Unternehmens, als auch unternehmensübergreifend zu schaffen, wurde als Einstieg ein ausführlicher Tag mit dem Motto „MBSE in a Nutshell“ durchgeführt. Ausgehend vom Systemdenken wurde dabei eine ausführliche Übersicht über das Themenfeld in Anlehnung an das INCOSE Handbuch und die dazugehörigen Denkweisen bis hin zum Model-Based Systems Engineering geboten. Um eine ganzheitliche Denkweise zu begünstigen wurden auch verwandte Themen wie System Dynamics vorgestellt und in Übungen behandelt. Zum Abschluss der Workshopreihe wurde das Thema der MBSE-Tools näher beleuchtet. Dazu wurden zunächst in einem gemeinsamen Termin eine Übersicht über typische Softwaretools geschaffen und die Erwartungen an die Werkzeuge methodisch aufgenommen. Abschließend konnte jedes Unternehmen an einem selbst mitgebrachten Beispiel ein Werkzeug hinsichtlich des Leistungsstandes im Vergleich zu den Erwartungen evaluieren.

3.2 Einblick: Systemspezifikation

Beispielhaft wird hier der Workshop zum Themenfeld Systemspezifikation skizziert. Der Workshop fand bei der Friedrich Remmert GmbH statt. Zur Vorbereitung wurde vorab in Abstimmung zwischen REMMERT und Fraunhofer IEM ein Zugangskontrollsystem aus dem Produktportfolio von REMMERT ausgewählt und mit der MBSE-Methode CONSENS eine Wirkstruktur als eine Sicht auf die Architektur erstellt. Die Wirkstruktur wurde beim Workshop im Rahmen einer Übung genutzt. Das Modell wurde zunächst auf Basis der vorhandenen Dokumente zur Beschreibung des Systems erstellt – dabei zeigte sich, dass diese bereits ausreichten um außenstehenden ein grundlegendes Verständnis des Systems zu ermöglichen. Einige Details konnten aber nur nach direkter Absprache mit den Experten von REMMERT korrekt in der Wirkstruktur dargestellt werden.

Der Workshop selbst begann mit einem kurzen Bericht der drei Unternehmen über den aktuellen Stand der Systemspezifikation und bestehenden Herausforderungen. Ein zentraler Punkt für alle Beteiligten war, dass eine sequenzielle Entwicklung aufgrund der zunehmenden Bedeutung von Elektronik und Software in den Produkten nicht zukunftsfähig ist. Der weitere Verlauf des Workshops war geprägt durch den Wechsel zwischen kurzen Theorieblöcken und längeren Übungen. Damit die Teilnehmer aller Unternehmen gleichermaßen an den Übungen teilhaben konnten wurde zunächst eine Kaffeemaschine als Beispielsystem bearbeitet; nachdem in der Mittagspause im Rahmen einer kurzen Unternehmensführung alle Teilnehmer das Zugangskontrollsystem kennengelernt hatten, orientierten sich die Übungen am Nachmittag an diesem System.

Über den Tag verteilt wurden zunächst Funktionen für das System identifiziert, dann notwendige Systemkomponenten mithilfe eines Morphologischen Kastens identifiziert und ausgewählt. Anschließend wurde die Architektur des Systems erstellt – besonders hierbei war, dass mehrere Gruppen das System aus verschiedenen Blickwinkeln betrachteten, z.B. aus informationstechnischer oder mechanischer Sicht. Die Ergebnisse wurden anschließend Zusammengeführt. In Kombination mit einem kurzen Theorieeile konnte auf diese Weise das Konzept von Views und Viewpoints sehr einfach erklärt werden. Anschließend wurde das Thema der Verhaltensmodellierung mit Zustandsautomaten angegangen. Hier waren sich alle Unternehmensvertreter schnell einig dass die Verhaltensmodellierung zumindest vorerst von geringer Bedeutung für die Einführung von SE in KMUs sein dürfte – im Gegensatz zur Systemstruktur/-architektur, die als sehr nützlich wahrgenommen wurde. Am Nachmittag wurden eine FMEA und eine Change-Impact-Analyse für das Zutrittskontrollsystem auf Basis der vorbereiteten Architektur erstellt. In der anschließenden Diskussion wurden erste Erfolgsfaktoren für die Einführung von SE in den einzelnen Unternehmen diskutiert. Abbildung 1 vermittelt einen Eindruck vom Workshop und den erarbeiteten Ergebnissen.



Abbildung 1. Workshop-Eindrücke und Ergebnisse