

# KEM

## Konstruktion

Das  
Engineering  
Magazin

2017  
www.kem.de

Dossier **Systems Engineering**

Titelstory Seite 12

**Rezepte zur Entwicklung  
von smarten Hausgeräten**

**Begriffe  
im Überblick**

SE-Glossar Teil 1 - 8  
ab Seite 16

**Praxis im  
Mittelstand**

Serie it's OWL Teil 1 - 7  
ab Seite 32

**SE-Praktiker  
berichten**

Aus der Praxis des SE  
ab Seite 46



**Im Gespräch | „Interdisziplinäre Teams sind ein Muss“**

Friedhelm Loh, Ehrenpräsident des ZVEI sowie Inhaber der Friedhelm Loh Group – Seite 10

# Fachwissen für Interdisziplinäre Produktentwicklung



## KEM Systems Engineering

Speziell für Sie als Verantwortliche für den Entwicklungsprozess.

Damit die **Zusammenarbeit** zwischen Mechanik- und Elektronik-Spezialisten, Softwareentwicklern, Automatisierungsprofis und IT'lern reibungslos klappt.

Jährlich 2 Sonderausgaben unter anderem mit diesen Themen:

- Systems Engineering – Methoden & Tools
- Industrie 4.0 / Internet of Things (IoT)
- Mechatronische Konfiguration
- Product Lifecycle Management (PLM)
- Durchgängige Entwicklungs- und Programmierertools
- MES-Lösungen als Mittel der Wahl für die ganzheitliche Steuerung
- Kommunikation/Security
- IT-Infrastruktur

... und vielen Anregungen und Ansätzen, wie sich die **interdisziplinäre Zusammenarbeit** in der **Praxis** methodisch und organisatorisch umsetzen lässt.

aus develop<sup>3</sup>  
wird KEM Systems  
Engineering

› [kem.de/digitalisierung](http://kem.de/digitalisierung)

Digitale  
Ausgabe  
lesen:



Aktuelle  
Ausgabe  
bestellen:



Hier finden Sie die passenden  
Medien für Sie und Ihre Branche:

› [konradin.de/industrie](http://konradin.de/industrie)  
› [media.industrie.de](http://media.industrie.de)

› **konradin**  
Industrie



## Schrittweise ohne Großprojekt zum Erfolg

**Systems Engineering** macht Sinn im Luft- und Raumfahrzeugbau, nicht aber im eher mittelständisch geprägten Maschinen- und Anlagenbau – dass dies angesichts der Digitalisierung längst nicht mehr stimmt, zeigt plakativ das Beispiel des Hausgerätespezialisten Miele (siehe Titelstory ab S. 12). Immer mehr **Software-Features** und die **zunehmende Vernetzung** mit anderen Geräten führen dazu, dass klassische Entwicklungsmethoden nicht mehr ausreichen. „Wir müssen die damit einhergehende **Komplexität beherrschbar machen**“, fordert deswegen Matthias Knoke, Leiter Virtuelle Produktentwicklung bei den Güterslohern. Ein Ansatz dafür ist das **Model Based Systems Engineering (MBSE)**. Keine einfache Aufgabe, wie Knoke zugibt: „Wir mussten erst einmal definieren, wie die Prozesse, Methoden, die Organisation und die Toolkette für Systems Engineering aussehen sollen.“ Das Ergebnis ist jedoch eindeutig – nur mittels Systems Engineering (SE) und MBSE lässt sich auch zukünftig die sprichwörtliche Qualität der Produkte frühzeitig interdisziplinär absichern. Der Weg, den Miele eingeschlagen hat, macht Mut: Im Rahmen eines Pilotprojektes hat man einfach begonnen, **Erfahrungen zu sammeln** – Schritt für Schritt. Diese lassen sich nun nach und nach auf den gesamten Produktentwicklungsprozess ausrollen; ein Prozess, der längst noch nicht abgeschlossen ist. Der Schlüssel zum Erfolg ist: **Jetzt einsteigen und schrittweise vorangehen**, kein Großprojekt daraus machen.

Unterstützung können Interessierte inzwischen von vielen Seiten erhalten – und von den Erfahrungen aus dem **it's-OWL-Querschnittsprojekt** Systems Engineering (siehe Berichte ab S. 32) profitieren. Grund genug für uns, einmal in diesem **SE-Dossier** zahlreiche Beispiele zusammenzustellen. Alle stammen aus den zurückliegenden Veröffentlichungen der **KEM Systems Engineering**, die im November 2014 als **develop<sup>3</sup> systems engineering** ins Leben gerufen wurde. Übrigens: Erstmals finden Sie hier zusammengefasst auch alle Teile unseres **SE-Glossars**, das in enger Zusammenarbeit mit der GfSE entsteht (ab S. 16).

Dipl.-Ing. Michael Corban  
 Chefredakteur  
 KEM Konstruktion  
 michael.corban@konradin.de

# KEM Konstruktion

ISSN 1612-7226

**Herausgeberin:** Katja Kohlhammer

**Verlag:**

Konradin-Verlag Robert Kohlhammer GmbH,  
 Ernst-Mey-Straße 8,  
 70771 Leinfelden-Echterdingen, Germany

**Geschäftsführer:** Peter Dilger

**Verlagsleiter:** Peter Dilger

**Redaktion:**

*Chefredakteur:*

Dipl.-Ing. Michael Corban (co), Phone + 49 711 7594-417

*Stellvertretende Chefredakteure:*

Dipl.-Ing. Andreas Gees (ge), Phone +49 711 7594-293;

Johannes Gillar (jg), Phone + 49 711 7594-431;

*Redakteure:*

Dr.-Ing. Ralf Beck (bec), Phone +49 711 7594-424;

Jörn Kehle (jke), Phone +49 711 7594-407;

Irene Knap B.A. (ik), Phone +49 711 7594-446;

Bettina Tomppert (bt), Phone +49 711 7594-286

**Redaktionsassistentz:**

Gabriele Rüdener,

Phone +49 711 7594-257

E-Mail: kem.redaktion@konradin.de

**Layout:**

Matthias Rösiger, Phone +49 711 7594-273

**Gesamtanzeigenleiter:**

Andreas Hugel, Phone +49 711 7594-472

**Zurzeit gilt Anzeigenpreisliste** Nr. 53 vom 1.10.2017

**Auftragsmanagement:**

Annemarie Olender, Phone +49 711 7594-319

**Leserservice:**

Ute Krämer,

Phone +49 711 7594-5850

Fax +49 711 7594-15850

E-Mail: ute.kraemer@konradin.de

KEM erscheint monatlich und wird kostenlos nur an qualifizierte Empfänger geliefert.

Bezugspreise: Inland 85,00 € inkl. Versandkosten und MwSt.; Ausland: 85,00 € inkl. Versandkosten.

Einzelverkaufspreis: 8,60 € inkl. MwSt., zzgl. Versandkosten.

Bezugszeit: Das Abonnement kann erstmals vier Wochen zum Ende des ersten Bezugsjahres gekündigt werden.

Nach Ablauf des ersten Jahres gilt eine Kündigungsfrist von jeweils vier Wochen zum Quartalsende.

**konradin**  
mediengruppe

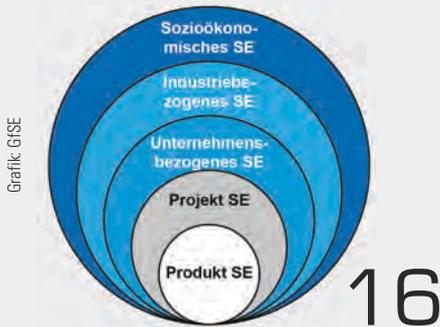




Bild: it's OWL

6

Dr. Roman Dumitrescu, Leiter der Fachgruppe Systems Engineering, erläutert im Interview, warum es beim Systems Engineering in erster Linie um Kommunikation geht.



Grafik: GISE

In unserer Rubrik SE-Glossar widmen wir uns zunächst einer Diskussion des Begriffs ‚-Systems Engineering‘ – bis hin zu dem Hinweis, dass der Buchstabe ‚s‘ in ‚Systems‘ nicht ohne Grund am Ende steht.



Bild: it's OWL

Das it's-OWL-Querschnittsprojekt ‚Systems Engineering‘ verfolgt das Ziel, die Methode des ‚Modell-basierten Systems Engineering‘ – kurz MBSE – weiterzuentwickeln und für die Praxis im Mittelstand nutzbar zu machen.

32

TITELSTORY

## Miele optimiert mit Systems Engineering

Viele Unternehmen überlegen, wie sie die Methoden und Werkzeuge des Systems Engineerings in ihre PLM-Prozesse und -Systeme integrieren können. Hausgerätehersteller Miele hat diese Frage im Rahmen eines Pilotprojekts geklärt.

### Menschen und Unternehmen

#### Köpfe des Systems Engineerings

Dr. Roman Dumitrescu, Leiter der Fachgruppe SE  
 „In erster Linie geht es um Kommunikation“ 1 .....6  
 Friedhelm Loh, Ehrenpräsidenten des ZVEI  
 „Die Industriekultur muss sich verändern“ ..... 10

### Methoden

#### Titelstory

Miele optimiert Systems Engineering:  
 Rezepte zur Entwicklung von smarten Hausgeräten ..... 12

#### SE-Glossar

Teil 1: Systems Engineering: ..... 16  
 Teil 2: ISO/IEC 15288 und ISO/IEC 29110 –  
 Prozesse für das Systems Engineering ..... 18  
 Teil 3: Model Based Systems Engineering (MBSE) ..... 20  
 Teil 4: Architekturbeschreibungen –  
 die ISO/IEC/IEEE 42010:2011 ..... 22  
 Teil 5: Systems Engineering Return on Investment –  
 oder: Wie viel SE ist notwendig? ..... 24  
 Teil 6: Systemspezifikation mit MBSE ..... 26  
 Teil 7: Agile Systementwicklung ..... 28  
 Teil 8: Synchronisierung von SE und  
 Functional Safety nach ISO 26262 ..... 30

#### Serie Systems Engineering

Teil 1: it's OWL-Querschnittsprojekt Systems Engineering –  
 Intelligenz in die Maschine bringen ..... 32  
 Teil 2: Praxisbeispiel ARI-Armaturen:  
 Umsetzungsplanung via Mechatronikroadmap ..... 34  
 Teil 3: Praxisbeispiel Venjakob Maschinenbau:  
 Innovative Lackieranlagen per Selbstoptimierung ..... 36  
 Teil 4: Praxisbeispiel Poppe + Potthoff Präzisionsstahlrohre:  
 Kontrollierter Kaltzug ..... 38  
 Teil 5: Praxisbeispiel Claas:  
 Der intelligente Ladewagen ..... 40  
 Teil 6: Praxisbeispiel Accumotive:  
 Hochleistungs-Stromspeicher effizient entwickeln ..... 42  
 Teil 7: Praxisbeispiel GEA:  
 Expertensystem erhöht Zuverlässigkeit und Effizienz ..... 44

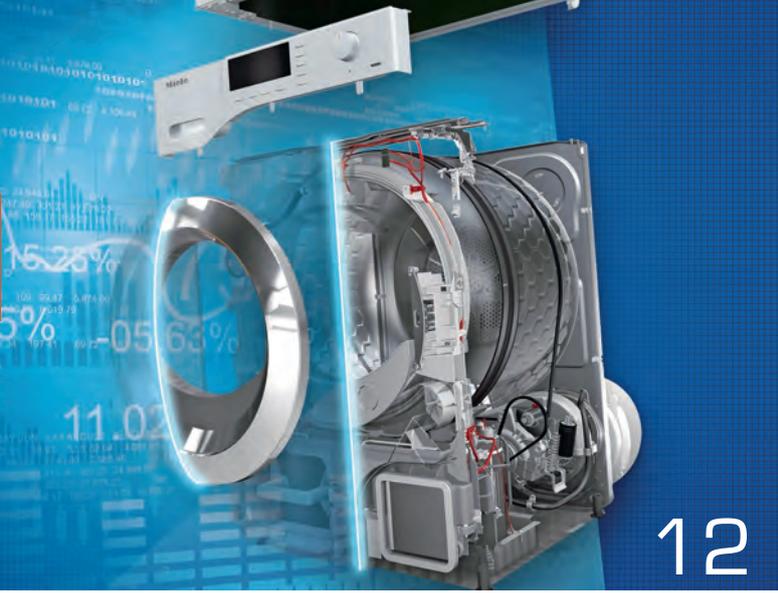


Bild: Miele/Konradin Mediengruppe

12

## Anwendungen

### Aus der Praxis des SE

- Prof. Hanno Weber, Prorektor der Hochschule Pforzheim:  
 „Wissen über die Synthese fehlt noch“ .....46  
 Dr. David Endler, Systems Engineering Consultant:  
 „Ein kleines Team sollte die Grundlagen legen“ .....48

## Rubriken

- Editorial .....3  
 Impressum .....3



INFO

## Interessiert?

Sind die Themen rund um das Systemdenken und Systems Engineering interessant für Sie? Wollen Sie die 2x jährlich erscheinende Sonderausgabe **KEM Systems Engineering** regelmäßig lesen? Dann senden Sie uns bitte eine Mail mit dem Stichwort ‚SE regelmäßig‘ und der Bezugsadresse an:  
 kem.redaktion@konradin.de



# Das Kompetenz-Netzwerk der Industrie

**Praxiswissen** über alle Kanäle: Fachzeitschriften, Websites, Events, Newsletter, Whitepaper, Webinare

<i>Automations praxis</i>	<b>EPP</b>	medizin & technik
<u>Beschaffung</u> aktuell	<b>EPP EUROPE</b>	medicine & technology
<b>cav</b>	<b>Industrie anzeiger</b>	<b>Pharma</b> produktion
<b>cpp</b>	› <b>Industrie.de</b>	<b>QUALITY ENGINEERING</b>
<b>dei</b>	<b>KEM Konstruktion</b>	Sicherheits-beauftragter
elektro <b>AUTOMATION</b>	<b>mav</b>	Sicherheits-ingenieur

Besuchen Sie uns auf der Hannover Messe  
 Halle 17 Stand C58

Hier finden Sie die passenden Medien für Sie und Ihre Branche:  
 › [konradin.de/industrie](http://konradin.de/industrie)  
 › [media.industrie.de](http://media.industrie.de)

Im Interview: Dr. Roman Dumitrescu, Leiter der Fachgruppe Systems Engineering

## „In erster Linie geht es um Kommunikation“

Mitte August 2014 gründeten OWL-Technologie-Netzwerker, das Fraunhofer IPT, die Gesellschaft für Systems Engineering (GfSE) und Dassault Systèmes die Fachgruppe Systems Engineering. Der Fokus liegt dabei insbesondere auf dem Maschinen- und Anlagenbau sowie Lösungen, die einfach und praktikabel sein sollen. Details und Hintergründe erläutert Dr. Roman Dumitrescu, einer der drei it's-OWL-Geschäftsführer und Leiter der Fachgruppe im Gespräch mit der KEM Konstruktion.

Interview: Michael Corban, Chefredakteur KEM Konstruktion

**KEM Konstruktion:** Dr. Dumitrescu, warum wurde die Fachgruppe Systems Engineering gegründet?

**Dr. Roman Dumitrescu:** Im Spitzencluster it's OWL leite ich das Querschnittsprojekt Systems Engineering, in dem Forscher neue Methoden für den multidisziplinären Entwurf intelligenter technischer Systeme erarbeiten. Jetzt wollen wir aber nicht an Dingen forschen, die keiner braucht, sondern wir wollen uns am tatsächlichen



„Systems Engineering ist eine Disziplin, die Tools und Methoden für die durchgängige und disziplinübergreifende Entwicklung technischer Systeme bereitstellt – wobei das zu entwickelnde System und die Gesamtheit aller Entwicklungstätigkeiten im Mittelpunkt stehen.“

Dr.-Ing. Roman Dumitrescu ist Geschäftsführer Strategie, Forschung und Entwicklung der it's OWL Clustermanagement GmbH in Paderborn sowie Leiter der Abteilung Systems Engineering am Fraunhofer-IPT in Paderborn

Bedarf der Unternehmen orientieren. Daher haben wir im August diese Fachgruppe gestartet, um Industrie und Wissenschaft im Bereich Systems Engineering noch näher zusammenzubringen. Dabei findet natürlich auch ein intensiver Austausch zwischen den Unternehmen statt.

**KEM Konstruktion:** Ist eines der Ziele der Fachgruppe, die digitale Durchgängigkeit aus dem Product Lifecycle Management (PLM) bis hinein in die Automatisierung zu realisieren, die heute noch fehlt?

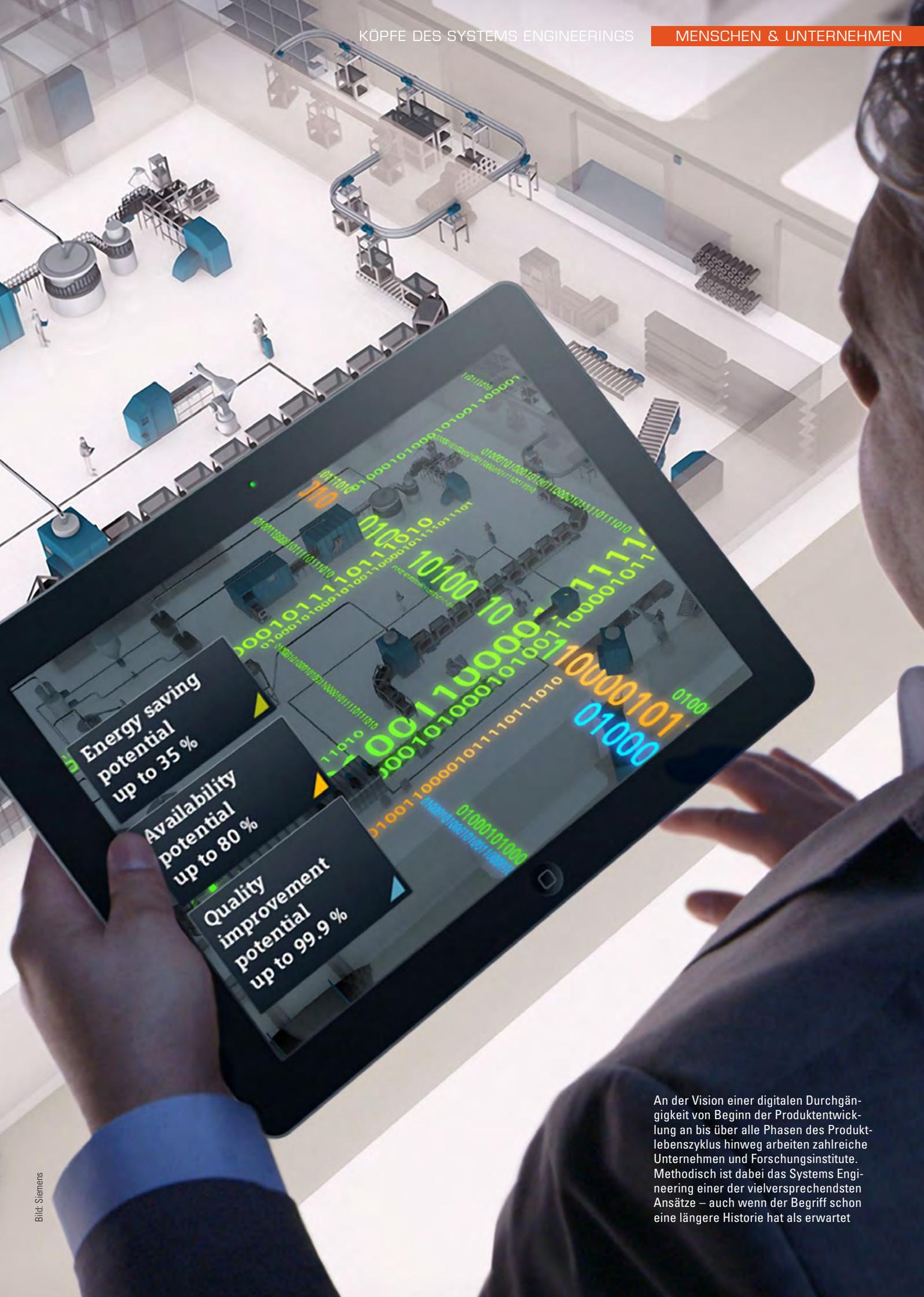
**Dumitrescu:** Unter anderem. Die Frage danach war aber schon eine Motivation zur Durchführung der Studie ‚Systems Engineering in der industriellen Praxis‘, die wir kürzlich durchgeführt haben. Interessant war dabei, dass es keine einheitliche Definition von Systems Engineering gibt. Einigen können sich allerdings alle auf den Aspekt des ‚ganzheitlichen Systemdenkens‘. Personen im PLM-Umfeld verstehen darunter vor allem ein durchgängiges Datenmodell, das im Rahmen der Entwicklung abgelegt und im Verlaufe des Produktlebenszyklus konkretisiert wird – im Vordergrund steht also der Datenstamm, der die Produkt- und Systemarchitektur beschreibt. Der Automatisierer will dagegen den Entwurf, die Inbetriebnahme und zum Teil auch das Monitoring einer gesamten Anlage als Gesamtsystem verstehen und managen. Die entsprechenden Modelle aus den beiden Welten stimmen deswegen heute noch nicht überein. Das zusammenzubringen, hier eine Durchgängigkeit zu erreichen, ist die Herausforderung.

**KEM Konstruktion:** Welche Hürden gilt es zu überwinden?

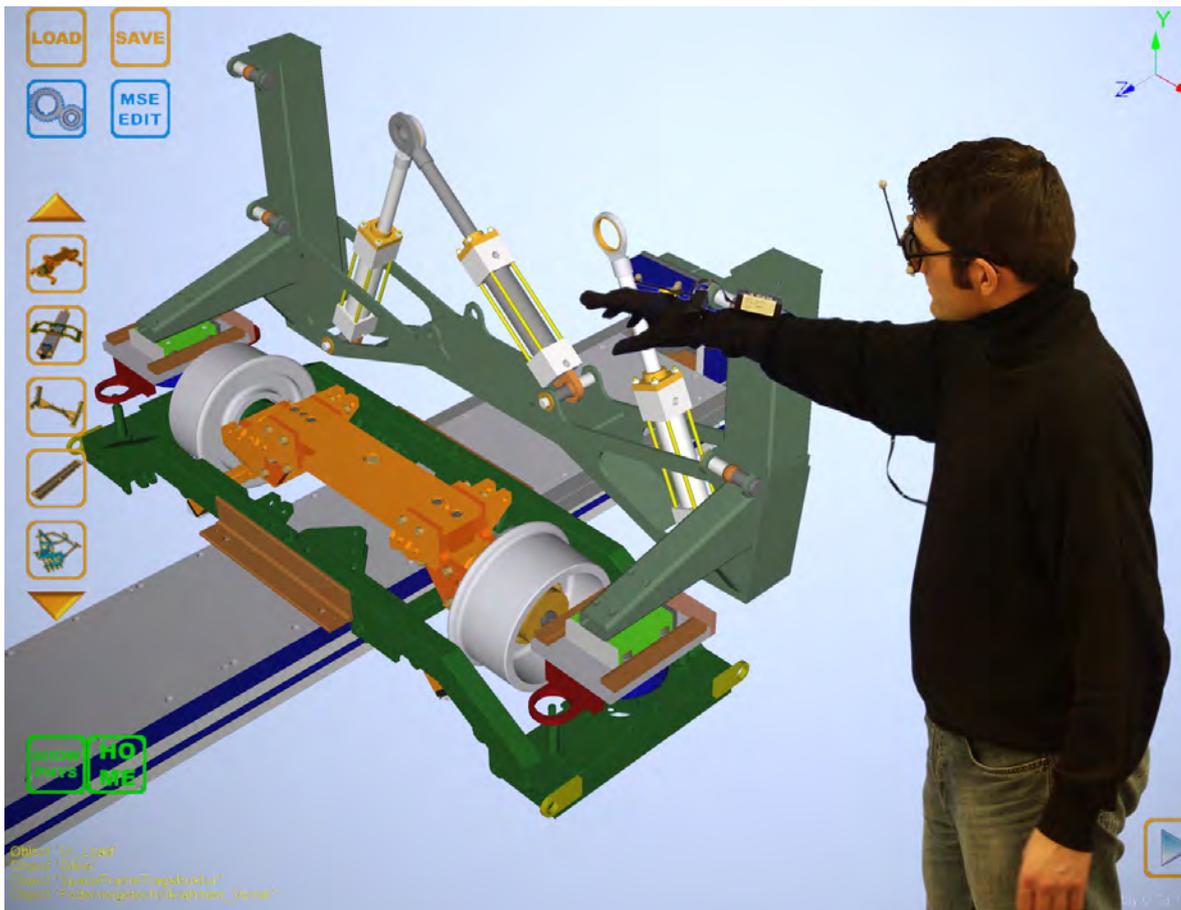
**Dumitrescu:** Es reicht nicht aus, einfach nur viele Tools einzukaufen. Denn abgesehen vom Handling der Schnittstellen, wofür es schon einige Standards gibt, interessiert stets der jeweilige Fokus. Ziel muss sein, Modelle zu entwickeln, die verschiedene Sichten auf ein Produkt, eine Maschine oder eine Anlage erlauben. Den Produzenten interessieren naturgemäß andere Dinge als den Konstrukteur oder Automatisierer. Ziel der Fachgruppe Systems Engineering ist es deshalb, sich mit Ansätzen für ein solches disziplinübergreifendes Systemmodell, das verschiedene Sichten erlaubt, zu beschäftigen und die damit in Zusammenhang stehenden Fragen vor allem pragmatisch zu lösen. An dieser Stelle ist allerdings auch noch einige Forschungsarbeit zu leisten.

**KEM Konstruktion:** Muss für ein erfolgreiches Systems Engineering in dem oben beschriebenen Sinne also ‚nur‘ ein im weitesten Sinne ‚offenes‘ Modell entwickelt werden, das in der Lage ist, die daraus resultierende Komplexität handhabbar zu machen?

**Dumitrescu:** Ja, ein disziplinunabhängiges Modell ist die Idealvorstellung – da müssen wir Schritt für Schritt darauf hinarbeiten. Ich sehe aber noch einen Punkt davor, der vor allem die Methodik betrifft. Wie sieht das Modell aus, was für Informationen muss es be-



An der Vision einer digitalen Durchgängigkeit von Beginn der Produktentwicklung an bis über alle Phasen des Produktlebenszyklus hinweg arbeiten zahlreiche Unternehmen und Forschungsinstitute. Methodisch ist dabei das Systems Engineering einer der vielversprechendsten Ansätze – auch wenn der Begriff schon eine längere Historie hat als erwartet



Mittels Virtual Prototyping ist technologisch ein Ansatz gegeben, Produkte – und mittelfristig eben auch ganze Systeme – bereits in der Entwurfsphase ausgiebig zu untersuchen

Bild: it's OWL

inhalten – noch vor den Schnittstellen wird es in der Fachgruppe um die Methodik gehen. Dazu gehört dann auch, dass sich die ‚klassischen‘ Konstrukteure in den Unternehmen damit auseinander setzen müssen, dass bezüglich der Gesamtfunktionalität am Ende des Tages auch die Elektrotechnik, Informatik und die Automatisierung eine wesentliche Rolle spielen. Oftmals ist es ja so, dass diese Prozesse traditionell nacheinander durchgeführt werden, basierend jeweils auf Design-Reviews – besser wäre es aber, wenn sich alle Beteiligten zu Beginn einmal zusammenfinden und zunächst das Verständnis über das zu entwickelnde System in einem Modell zusammentragen.

**KEM Konstruktion:** Im ersten Schritt geht es also zunächst einmal um die organisatorische Aufstellung?

**Dumitrescu:** Ja, nehmen wir etwa stellvertretend ein Beispiel aus der elektrischen Verbindungstechnik. Setzen wir uns mit den Beteiligten zusammen und fragen nach einem Modell, liefert der Konstrukteur ein 3D-Modell des Gehäuses, der Schaltungstechniker aber ein Schaltbild. Fragt man dann, wie sie sich über Probleme aus-

tauschen, stellen wir häufig fest, dass hier die Kommunikation verbessert werden muss. Unser Vorgehen ist dann, dass wir andere Methoden vorschlagen, um die Systeme disziplinunabhängig und damit letztlich systemübergreifend zu modellieren. In gewisser Weise ist dieses Problem aber hausgemacht!

**KEM Konstruktion:** Hausgemacht? Könnten Sie das erläutern?

**Dumitrescu:** Nun – wir haben die Leute so ausgebildet und dann auch noch die Unternehmen entsprechend organisiert! An dieser Stelle besteht an Hochschulen und Unternehmen gleichermaßen Optimierungsbedarf. Die Vermittlung von spezialisiertem Fach-Know-how ist zwar gut und erforderlich, es fehlt aber das Verständnis, dass es neben der eigenen Disziplin auch andere Kollegen gibt, die an einer Entwicklung mitwirken. Dieses Verständnis muss geschaffen und gestärkt werden, hier fehlt vor allem die entsprechende Methodenkompetenz.

**KEM Konstruktion:** Der einzelne Konstrukteur, Entwickler und auch Automatisierer muss also so weit ‚über den Tellerrand‘ blicken können, dass er sich mit den Kollegen verständigen kann?

**Dumitrescu:** Exakt so ist es. Wir haben übrigens in der eingangs erwähnten Studie auch untersucht, welche Wege es denn gibt, zum Systems Engineer zu werden. Neben speziellen Studiengängen, von denen ich persönlich nicht überzeugt bin, denke ich, dass die

Ausbildung zum traditionellen Ingenieur mit den zahlreichen Vertiefungen sinnvoll ist – was fehlt, sind zusätzliche Ausbildungsinhalte, in denen erläutert wird, wie die anderen Disziplinen ‚ticken‘ und wie man kooperieren kann, um einfach effizienter zu arbeiten. Der Blick auf die Hochschulen zeigt, dass das nicht so einfach ist, denn aufgrund der Einteilung in Fakultäten ist es oft nicht möglich, sich Vorlesungen aus anderen Bereichen anrechnen zu lassen. Viele Probleme sind also gerade in diesem Bereich selbst verursacht.

**KEM Konstruktion:** Blickt man auf die sich daraus logischerweise ergebende Diskussion Richtung Industrie 4.0 fällt auf, dass hier neben Mechanik- und Elektrotechnikingenieure sowie Automatisierer auch die ITler treten – die Anforderungen sind also noch einmal höher?

**Dumitrescu:** Interessanterweise wird das durch die Studie ebenfalls belegt. Gefragt wurde dort unter anderem, welche Anforderungen die Unternehmen an ihre Ingenieure stellen. Heraus kam, dass neben dem Fachwissen in der Breite fast gleichbedeutend die Soft Skills sind – und dabei geht es nicht um die Fähigkeit zum Präsentieren oder Ähnliches. Es zeigt sich vielmehr: Die meisten Probleme in den Unternehmen tauchen nur an den Schnittstellen zwischen den Disziplinen auf! Und diese bekommt man nur in den Griff, wenn man sich unterhält und kommuniziert – leider haben Entwickler mit sehr fokussierten Aufgabenstellungen das ein bisschen verlernt! Mit dieser Erkenntnis sind die Unternehmen übrigens den Hochschulen voraus. Um das Ganze in einem einfachen Bild zusammenzufassen: Der Systems Engineer spielt die Rolle des Dirigenten in einem Orchester. Er selbst spielt nicht zwingend perfekt ein Instrument, muss aber sicherstellen, dass alles zusammenpasst. Wichtig dabei ist, dass dies kein reines Projektmanagementthema ist – es ist vielmehr erforderlich, wirklich in die Inhalte reinzugehen, in die Modelle und die Technik. Und das ist eine sehr fordernde Aufgabe.

**KEM Konstruktion:** Gibt es Branchen, die bei der Umsetzung der besprochenen Ansätze schon besonders weit gekommen sind?

**Dumitrescu:** Nun, Vieles wird implizit natürlich bereits gemacht – sonst wären viele der Unternehmen nicht so erfolgreich. In den letzten Jahren haben zudem die großen Unternehmen insbesondere im Automotive-Bereich massiv investiert. Hier ist man durch die Zusammenarbeit mit den Zulieferern ja auch darauf angewiesen, dass klare Vorgaben gemacht werden können und die daraus resultierenden Systeme oder Teilsysteme diesen auch entsprechen. In gewisser Weise hat man hier das komponentenorientierte Denken hinter sich gelassen und betrachtet eher Funktionen beziehungsweise Systeme. Das macht man im Maschinen- und Anlagenbau noch nicht in der Konsequenz und ist auch bezüglich der Investitionen in Systems Engineering noch zurückhaltender.

**KEM Konstruktion:** Lassen Sie mich noch einmal zurückkommen auf den Begriff der Mechatronik, der uns ja schon lange begleitet. Wo liegen die Unterschiede zum Systems Engineering oder ergibt sich dies logisch aus der Mechatronik?

**Dumitrescu:** Das ist eine spannende Frage, zumal ich selbst an der Universität Erlangen-Nürnberg einen der ersten Studiengänge der Mechatronik absolviert habe. Dabei ging es bereits um den Dreiklang aus Mechanik, Elektrotechnik und Software. Der Begriff Mechatronik stammt aus den 70er-Jahren und ist aus Japan zu uns gekommen, um elektromechanische Komponenten zu beschreiben – letztlich geht es aber schon seit Langem um multidisziplinäre Systeme bis hin zu verteilten eingebetteten Systemen. Interessant ist allerdings, dass der Begriff Systems Engineering deutlich älter ist, er tauchte in den Vereinigten Staaten bereits in den 40er und 50er Jahren auf; dort gab es zu diesem Zeitpunkt schon erste Vorlesungen zu diesem Themenfeld. Auch in Deutschland gab es übrigens unter der ursprünglichen Übersetzung Systemtechnik in den 70er-Jahren bereits einen VDI-Thementag. Danach ist die Systemtechnik aber komplett im Themenfeld der Konstruktionslehre verschwunden. Hier war man in der Vergangenheit aber eher fokussiert auf die klassische Konstruktion beziehungsweise das fertigungsgerechte Konstruieren. Historisch haben sich also Mechatronik und Systems Engineering unabhängig voneinander entwickelt.

**KEM Konstruktion:** Lassen Sie mich abschließend noch eine Frage stellen: Wann glauben Sie, wird der eingangs erwähnte, noch existierende Bruch zwischen CAD-Tools auf der einen und Programmierwerkzeugen der Automatisierer auf der anderen Seite überwunden sein?

**Dumitrescu:** Hier gibt es ja zwei Ansätze: Einerseits die Variante, dass alle Funktionalitäten in eine Toolwelt eines Anbieters integriert werden, und andererseits den aus meiner Sicht interessanteren ‚föderativen‘ Ansatz – sprich: Eigene Tools für das Systems Engineering, die unabhängig von den zum Einsatz kommenden CAD- und Simulationstools arbeiten und sich darauf konzentrieren, als Schnittstelle zu dienen. Das haben wir bei uns auch schon einmal getestet und das funktioniert. In diesem Sinne ist die technische Grundlage vorhanden, aber das ganze methodische Wissen – beispielsweise welches Objekt jetzt im CAD mit welchem Objekt in der Simulation korreliert – das muss noch erforscht werden. In spätestens fünf Jahren wollen wir hier über die Arbeit in unserem Systems-Engineering-LiveLab am Fraunhofer-IPT in Paderborn zu einem Ergebnis gekommen sein.

[www.its-owl.de](http://www.its-owl.de)

Erschienen in der Erstausgabe der KEM Systems Engineering im November 2014.

Anlässlich 25 Jahren SPS IPC Drives: Chancen und Herausforderung für den Standort Deutschland

## „Die Industriekultur muss sich verändern“

Kompetenz in technischer Software und interdisziplinäres Zusammenarbeiten sind die Schlüssel, Industrie 4.0 erfolgreich umzusetzen und damit die Wettbewerbsfähigkeit am Standort Deutschland zu sichern, sagt Friedhelm Loh. Der runde Geburtstag der SPS IPC Drives gab der KEM Konstruktion Gelegenheit, den Ehrenpräsidenten des ZVEI sowie Inhaber der Friedhelm Loh Group über die zukünftigen Herausforderungen der Automatisierung zu befragen.

Interview: Michael Corban, Chefredakteur KEM Konstruktion



„Einen Schub brauchen wir auch bei der Zusammenführung unterschiedlicher Disziplinen – der Elektrotechnik, Mechanik und Informationstechnologie.“

Friedhelm Loh, Inhaber und Vorstandsvorsitzender der Friedhelm Loh Group sowie Ehrenpräsident des ZVEI

**KEM Konstruktion:** Herr Loh, wie bewerten Sie die letzten 25 Jahre und vor welchen Herausforderungen stehen wir in der Automatisierungstechnik?

**Friedhelm Loh:** Wir sind in der Automatisierungstechnik in Deutschland gut aufgestellt. Allerdings stehen wir vor der großen Herausforderung, den Wandel durch die Digitalisierung hin zu Industrie 4.0 erfolgreich zu gestalten. Das setzt eine technische Software-Kompetenz am Standort Deutschland voraus – und genau hier ist die Schwäche. Während wir in Deutschland in der kaufmännischen Software wettbewerbsfähig sind, liegt die technische Software-

Kompetenz im Ausland, vor allem in den USA. Es gilt daher am Standort Deutschland, verstärkt in die Wettbewerbsfähigkeit beim Thema Engineering-Software zu investieren. Die Friedhelm Loh Group hat dies frühzeitig erkannt und mit Rittal Software Systems, den Unternehmen Eplan und Cideon, hohe Investitionen in diesem Segment getätigt. Einen weiteren Schub brauchen wir aber auch bei der Zusammenführung unterschiedlicher Disziplinen – der Elektrotechnik, Mechanik und Informationstechnologie.

**KEM Konstruktion:** Software wird also eine entscheidende Rolle spielen?

## „Es reicht nicht mehr, besser in der eigenen Welt zu sein. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit ganzer Branchen ist ein Muss.“

**Loh:** Die Software-Kompetenz wird zweifelsfrei – neben der Fähigkeit in Netzwerken effizient zu denken und zu arbeiten – zum Schlüssel des industriellen Erfolgs. Ich bin davon überzeugt, dass wir die Wirtschaftsleistung in Deutschland nur auf dem heutigen Niveau halten beziehungsweise ausbauen können, wenn uns die Kombination aus Software, Hardware und Netzwerken besser gelingt als dem internationalen Wettbewerb. Sieger wird bei Industrie 4.0 der sein, der die Zusammenführung von Mechanik, Elektronik und Elektrotechnik sowie IT optimal hinbekommt. Das bedeutet eine starke Veränderung der Industriekultur. Es reicht nicht mehr, besser in der eigenen Welt zu sein. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit ganzer Branchen ist ein Muss.

**KEM Konstruktion:** Was müssen wir tun, um diese interdisziplinäre Zusammenarbeit in der von Ihnen beschriebenen Weise auch in der Praxis umzusetzen?

**Loh:** Wir müssen lernen, über traditionelle Schranken hinweg zusammenzuarbeiten – technische und organisatorische Grenzen müssen verschwinden. Insgesamt brauchen wir eine Revolution in den Köpfen, nämlich die Zusammenführung von Disziplinen – in der Industrie, in Forschung und Ingenieurwissenschaften sowie in den Verbänden.

**KEM Konstruktion:** Jungen Menschen bietet dies aber gleichzeitig eine Chance. Lohnt es sich, sich auf das Themenfeld der Automatisierung zu spezialisieren?

**Loh:** Auf jeden Fall. Die Automatisierungstechnik bietet jungen Menschen die Chance, Industriegeschichte zu schreiben und damit eine attraktive Karriere zu beschreiten. Wir leben in einer Zeit, die geprägt ist von radikalen Brüchen mit dem Bekannten aufgrund enormer technologischer Veränderungen. Das bietet riesige Chancen für neugierige und kreative Menschen. Denn Industrie 4.0 ist gespickt mit interessanten Querschnittsthemen. Sie erfordert etwa die Entwicklung einer Referenzarchitektur, die weitere Standardisierung von Prozessen sowie die Erarbeitung von Sicherheitsstandards und -konzepten. Dazu brauchen wir nicht nur begeisterte junge Menschen, sondern auch eine Aus- und Weiterbildungsallianz der betroffenen Branchen – von Elektrotechnik, Maschinenbau und IT.

**KEM Konstruktion:** Welche Themen spielen zukünftig insbesondere für Ihre Unternehmen eine wesentliche Rolle?

**Loh:** Das Systemgeschäft nimmt international deutlich an Fahrt auf und gewinnt stark an Bedeutung. Bei einzelnen Komponenten und Produkten Wettbewerbsvorteile zu erzielen, wird immer schwieriger. Die Forderung der Märkte heute und morgen ist Produktkompetenz und Problemlösungskompetenz. Der Schaltschrankbau zum Beispiel muss deshalb in seinen Kompetenzen, seinem Lösungs- und Serviceportfolio hochgradig standardisiert und gleichzeitig variantenreich sein, um den Anforderungen der Kunden und den internationalen Approbationen gerecht zu werden. Die Standardisierung bei Produkten und Softwaresystemen ist auch notwendig, um den Service beim Endkunden kosteneffizient und weltweit nach gleichen Qualitätskriterien möglich zu machen. Soll dieser hohe Anspruch erfüllt werden, ist die Voraussetzung ein zuverlässiges Netzwerk von global agierenden, innovativen Technologieführern und zuverlässigen Partnern entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Die deutsche Elektroindustrie hat genau diese Kompetenz als Systempartner.

**KEM Konstruktion:** Welche Rolle kann dabei die SPS IPC Drives als Messe spielen?

**Loh:** Die SPS IPC Drives leistet als führende Messe für Automatisierungstechnik einen sehr wichtigen Beitrag. Hier erfolgt der konzentrierte Austausch unter Experten. Besucher erhalten disziplinübergreifend einen umfassenden Einblick in die Forschungs- und Entwicklungsarbeit der Branche. Als Unternehmensgruppe schätzen wir diese Messe seit vielen Jahren als hervorragende Plattform für den Austausch mit unseren Kunden. Die starke Präsenz der Unternehmen Eplan, Cideon, Rittal und Kiesling als einmalige Wertschöpfungskette bestätigt die zentrale Bedeutung dieser Fachmesse für uns. Zur 25-jährigen Erfolgsgeschichte der SPS IPC Drives gratulieren wir ganz herzlich und bedanken uns für die partnerschaftliche Zusammenarbeit. Den Initiatoren gilt unser Kompliment verbunden mit unserem Dank für die Organisation der Messe.

[www.friedhelm-loh-group.de](http://www.friedhelm-loh-group.de)

Erschienen in der Erstausgabe der KEM Systems Engineering im November 2014.



Systems Engineering optimiert Zusammenarbeit

## Rezepte zur Entwicklung von smarten Hausgeräten

Viele Unternehmen überlegen, wie sie die Methoden und Werkzeuge des Systems Engineerings in ihre PLM-Prozesse und -Systeme integrieren können und welche Auswirkungen das auf ihre Organisation hat. Hausgerätehersteller Miele hat diese Frage im Rahmen eines Pilotprojekts geklärt und die Ergebnisse durch einen Proof of Concept mit dem PLM-Hersteller seiner Wahl abgesichert. Jetzt gilt es, die Mitarbeiter auf dem Weg in die Zukunft der modellbasierten Systementwicklung mitzunehmen.

*Michael Wendenburg, Freier Journalist, Sevilla, im Auftrag der KEM Konstruktion*



Bild: Miele/Konradin Mediengruppe

**D**as Motto ‚Immer besser‘ ist seit der Gründung des Unternehmens im Jahr 1899 der Leitspruch von Miele. Das gilt nicht nur für die Produkte, sondern auch für die Prozesse. Miele nutzt für die Entwicklung seiner Hausgeräte schon seit Jahren Methoden und Werkzeuge des Systems Engineerings (SE), aber nur punktuell und nicht konzernweit einheitlich. Ein erster Anlauf zur Einführung einer PLM-integrierten Lösung wurde vor anderthalb Jahren zunächst gestoppt, um im Rahmen der SE4Miele-Initiative (Systems Engineering für Miele) erst einmal die Grundlagen für die interdisziplinäre Entwicklung und Absicherung von smarten Hausgeräten, Services und den dazu gehörigen Produktionssystemen für alle Produktgruppen einheitlich zu legen.

„Dassault Systèmes hat uns damals aufgezeigt, wie der Prozess aussehen könnte, aber dann standen wir vor der Frage, wie wir zum Beispiel ein Requirements Management durchgängig einführen können. Wenn Sie sich in der Miele-Welt mit ihren vielen Produktgruppen umschauen und fragen, was man darunter versteht, erhalten Sie zig verschiedene Antworten. Das Gleiche gilt für die modellbasierte Systementwicklung“, sagt Matthias Knoke, Leiter Virtuelle Produktentwicklung bei der Miele & Cie. KG in Gütersloh. „Wir mussten deshalb erst einmal definieren, wie die Prozesse, Methoden, die Organisation und die Toolkette für Systems Engineering aussehen sollen. Nur das umzusetzen, was die Systemanbieter vorschlagen, macht keinen Sinn, weil es mit der Einführung der Software nicht getan ist.“

### Kein einheitliches Systemverständnis

Das SE-Verständnis bei Miele war so heterogen wie das Produktspektrum des Familienunternehmens mit seinen mehr als 19.000 Mitarbeitern: An neun global verteilten Standorten entwickelt es Waschmaschinen, Geschirrspülmaschinen, Wäschetrockner, Kühl- und Gefrierschränke, Backofen, Kochfelder und Dunstabzugshauben, Kaffeeautomaten, Staubsauger und -roboter; nicht zu vergessen die Profiprodukte für Wäscherei-, Labor- und Medizintechnik. Neben ihrer sprichwörtlichen Qualität zeichnen sich die Geräte dadurch aus, dass sie immer mehr Software-Features enthalten und zunehmend untereinander oder mit anderen haustechnischen Systemen vernetzt werden können. „Unsere klassischen Entwicklungsmethoden reichen nicht aus, um die damit einhergehende Komplexität beherrschbar zu machen“, erläutert Knoke. Das erhofft sich Miele von SE beziehungsweise dem Ansatz des Model Based Systems Engineerings (MBSE).

Um den Istzustand zu erfassen und ein Grobkonzept für die konzernweite SE-Einführung zu entwickeln, startete das Unternehmen Mitte 2015 die SE4Miele-Initiative. Da man sich nicht allein auf die eigene Expertise und die der Systemlieferanten verlassen wollte, holte man als neutrale Unterstützung das Fraunhofer-Institut in Paderborn (IEM) und das Beratungshaus :em Engineering Methods mit ins Boot. Das Projektteam führte viele Interviews mit Anwendern aus unterschiedlichen Produktbereichen und Disziplinen, um ihre bisherige Arbeitsweise aufzunehmen, Schwachstellen im Prozess aufzudecken und die Anforderungen mit Blick auf SE zu identifizieren. „Es ging aber auch darum, die Potenziale aufzuzeigen und die Mitarbeiter für das Thema zu gewinnen“, sagt Knoke.

**Die Waschmaschinen von Miele enthalten immer mehr Software-Features und können zunehmend untereinander oder mit anderen haustechnischen Systemen vernetzt werden**

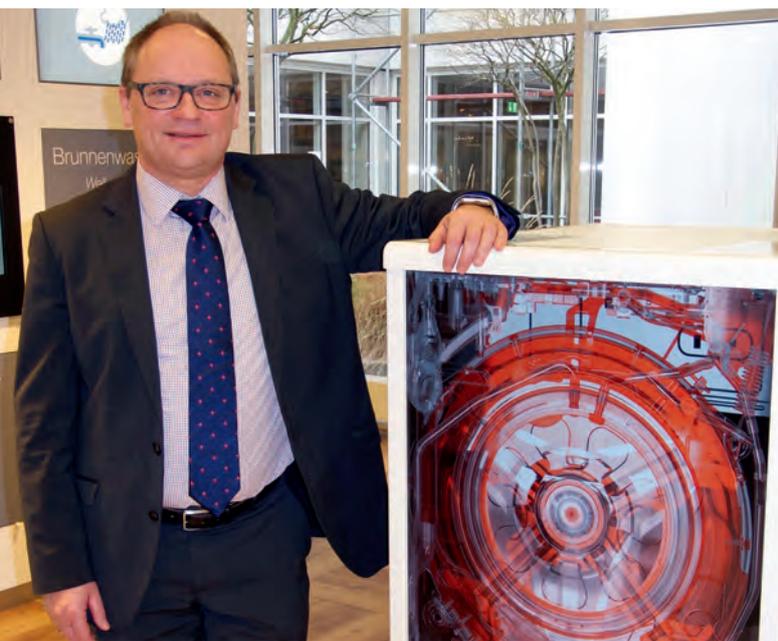


Bild: Wendenburg

Matthias Knoke, Leiter Virtuelle Produktentwicklung bei Miele, neben dem ‚Digital Twin‘ einer Waschmaschine. Mit ihm lassen sich zum Beispiel die Simulationsdaten eines Schleudergangs visualisieren

Wesentliche Ziele des Projekts waren die Schaffung eines gemeinsamen Systemverständnisses als Grundlage für die interdisziplinäre Zusammenarbeit, die Einführung eines durchgängigen Anforderungsmanagements sowie der Einsatz von Methoden des MBSE für die interdisziplinäre Produktmodellierung und von Techniken zur modellbasierten Entwicklung und Verifikation der Steuerungssoftware. Außerdem sollte untersucht werden, wie sich SE mit PLM-

PLUS

## MBSE ist die Zukunft der Entwicklung



Welchen Beitrag Model-Based Systems Engineering (MBSE) bei der Entwicklung cybertronischer Systeme leisten kann, untersuchte das vom BMBF geförderte Verbundprojekt mecPro<sup>2</sup>.

Im Fokus stand dabei auch die Frage, wie sich MBSE am besten in PLM-Systeme und -Prozesse integrieren lässt. Im Anschluss an den Tag des Systems Engineerings 2016 in Herzogenaurach präsentierten die Projektteilnehmer neue Werkzeuge, Methoden und Prozesse, mit denen sich das IoT in der Produktentwicklung berücksichtigen lässt. Die Ergebnisse aus drei Jahren Forschungsarbeit zu MBSE können sich im wahrsten Sinne des Wortes sehen lassen: Das Konsortium aus 12 Forschungsinstituten, Industrieunternehmen, Software- und Beratungshäusern hat nämlich nicht nur mehrere GByte an Dokumenten und Modellen und fast 1000 Wiki-Seiten produziert. Das Besondere sind die beiden Demonstratoren, die veranschaulichen, wie sich die modellbasierte Entwicklung in den PLM-Kontext integrieren lässt. Siehe: KEM Systems Engineering 01/2017, S. 26ff oder:

<http://hier.pro/i80AC>

Unterstützung in den bestehenden Produktentstehungsprozess (PEP) integrieren lässt. Er ist zwar sehr genau und konzernweit einheitlich beschrieben, aber noch nicht durchgängig IT-gestützt. Um eine erfolgreiche Implementierung zu gewährleisten, wurden auch Themen wie die Anpassung der Organisation, die Qualifizierung der Mitarbeiter und die erforderliche IT-Bebauung berücksichtigt.

### Schattenprojekt als SE-Testumgebung

Die IT-Landschaft von Miele ruht im Wesentlichen auf zwei Säulen, nämlich der 3D-Experience-Plattform 3DX von Dassault, die sich noch in der Einführung befindet, und SAP. Die Software-Entwickler nutzen für die Verwaltung ihres Programmcodes außerdem die ALM-Plattform (Application Lifecycle Management) Integrity von PTC. In der Mechanik-Entwicklung ist Catia V6 im Einsatz, in der Elektroplanung die Zuken-Software E<sup>3</sup> Series, die direkt an 3DX angebunden werden soll. Für Systemmodellierung und Logiksimulation gibt es bei Miele verschiedene, zum Teil selbst programmierte Tools, die nicht zwangsweise abgelöst werden sollen. „Dassault hatte deshalb die Aufgabe, nachzuweisen, wie auf der 3DX-Plattform unter Nutzung der bestehenden Systeme die Durchgängigkeit hergestellt werden kann“, sagt Knoke.

Wie der künftige SE-Prozess mit entsprechender Tool-Unterstützung aussehen könnte, untersuchte das Team im Rahmen eines so genannten Schattenprojekts, an dem Mitarbeiter aller Entwicklungsdisziplinen beteiligt waren. Parallel zu einem realen Wäschetrockner-Projekt stellten sie die Entwicklung ausgewählter Baugruppen mit den Methoden und Werkzeugen des SE beziehungsweise MBSE nach. Kein hochinnovatives Produkt, wie Knoke sagt, was aber den Vorteil hatte, dass man den beteiligten Systemanbietern und Beratungspartnern für die Entwicklung von Demonstratoren ohne Gefährdung des geistigen Eigentums die benötigten Originaldaten zur Verfügung stellen konnte.

Eines der Quick-Win-Projekte, die im Rahmen der SE4Miele-Initiative identifiziert wurden, war ein durchgängiges, konzernweit einheitliches Requirements Management, das es aktuell in dieser Form nicht gibt. Die Projektleiter in den einzelnen Produktbereichen tragen die Anforderungen heute mit unterschiedlichen Werkzeugen wie MS Word, Excel oder eigenständigen Requirement-Werkzeugen zusammen, so dass es keine direkte Nachverfolgbarkeit zwischen Anforderungen, Funktionen oder Bauteilen gibt. Um zu sehen, wie man das systemtechnisch besser unterstützen könnte, wurden die ausgewählten Inhalte der Lasten- und Pflichtenhefte des Wäschetrockners bei dem Schattenprojekt in verschiedene IT-Systeme (3DX, PTC Integrity und Cameo Systems Modeler) eingepflegt und zu einem Anforderungsmodell aufbereitet.

### Requirements Management als Quick Win

Die Durchgängigkeit zwischen einer vollständigen und eindeutigen Anforderungsstruktur und dem physikalischen Produkt ist eine der herausragenden Veränderungen des bisherigen Prozesses, wie Knoke betont. „Da sind wir dann schnell in der PLM-Welt, denn wir müssen die Anforderungen mit den Produktstrukturen etc. verknüpfen und unterschiedliche Versionsstände verwalten.“ Wie der PLM-Backbone aussehen wird und welche Engineering-Aufgaben künftig durch 3DX und welche durch SAP unterstützt werden sollen, wird gerade in einem separaten PLM-Projekt definiert. Die Ergebnisse sollen dann mit denen aus SE4Miele zusammengeführt werden.



Bild: Miele



Bild: Miele

Die virtuelle Produktentwicklung kümmert sich auch um die Produktion des digitalen Contents für die Visualisierung der Hausgeräte, zum Beispiel in der Miele-eigenen Cave

Für viele Menschen ist Miele gleichbedeutend mit Waschmaschinen. Das Unternehmen stellt jedoch eine große Palette von Hausgeräten und Maschinen für den Profibereich her

Am Beispiel der Kondensatwasser-Ableitung, einer komplexen Bau-Gruppe, an deren Entwicklung alle Disziplinen beteiligt sind, spielte das Team auch die Systemmodellierung mit verschiedenen Werkzeugen durch. Ziel war es, den Anwendern die Vorteile einer funktionalen Systemarchitektur aufzuzeigen, wie Knoke erläutert. „Die produktgruppenübergreifende Wiederverwendung von abgesicherten Funktionen ist einer der wesentlichen Nutzeneffekte der modellbasierten Systemmodellierung, den wir in unserem Abschlussbericht erwähnen. Ich denke, dass es möglich sein wird, komplexe Hausgeräte künftig vollständig funktional zu modellieren.“

Welche SE- beziehungsweise MBSE-Artefakte künftig im PLM-System und welche vielleicht auch in SAP benötigt werden, sei noch in der Diskussion, führt Knoke weiter aus, „aber es steht jetzt schon fest, dass sich unsere Strukturierungssystematik wird ändern müssen. Wir haben Lösungswege gefunden, wie wir zum Beispiel Funktionselemente mit Anforderungen verbinden, können aber noch nicht genau einschätzen, wie aufwendig das ist und ob wir vielleicht semantische Ansätze der Verlinkung benötigen.“

### Ausbildung von Systemarchitekten

Nur am Rande berücksichtigt wurde in SE4Miele die Frage der Collaboration, das heißt wie externe Partner in den SE-Prozess eingebunden werden können. Dazu muss man wissen, dass Miele eine sehr hohe Fertigungstiefe hat und sogar ein eigenes Elektronikwerk unterhält. Dennoch wird der Austausch von SE-Artefakten mit Blick auf die Vernetzung der Miele-Geräte mit der gesamten Haustechnik an Bedeutung gewinnen. Das Unternehmen hat gerade eine neue Sparte gegründet, die sich mit Smart Home und Internet of Things (IoT) beschäftigt und die deswegen auch die Einbindung von Partnern untersuchen wird.

In das erweiterte Projektteam des Schattenprojekts waren nicht nur Stakeholder der unterschiedlichen Entwicklungsdisziplinen eingebunden, sondern alle Rollen, die es im heutigen PEP gibt. Dazu gehören zum Beispiel auch Marketing und Vertrieb. Welche zusätzlichen Rollen künftig erforderlich sein werden, wurde sehr intensiv diskutiert, wie Knoke sagt: „Wir werden wahrscheinlich für jede Sparte Requirements Manager und Systemarchitekten benötigen, Leute mit Systemdenken. Meine Einschätzung ist, dass wir diese intern aufbauen müssen, weil sie die Produktkenntnis mitbringen und die Miele-Philosophie kennen müssen.“

PLUS

## SE für Einsteiger



Systems Engineering ist für die meisten noch ein schwer fassbarer Begriff. Georg Kraft, Senior Director für das Consulting im Bereich Industrial Equipment Business Experience von Dassault Systèmes, bringt Struktur ins Thema und erklärt die „Drei Hürden bei der Einführung von Systems Engineering“:

<http://hier.pro/G19Kk>

### Kostenstellendenken überwinden

Bei Miele wird sich aber auch das Denken ändern müssen, um SE erfolgreich implementieren zu können. Nicht die Prozesse, nicht die Tools und auch nicht die Systemanbieter, sondern der Mind Change in den Köpfen der Mitarbeiter ist nach Knokes Einschätzung die größte Herausforderung: „Wir brauchen das, was ich Knabberglück nenne – das heißt, wir müssen die Leute Stück für Stück mitnehmen und sie begeistern.“ Bedenken erwartet Knoke weniger bei den Ingenieuren als beim mittleren Management, das sich darüber Gedanken macht, wer den Mehraufwand für das Frontloading zahlen wird. Das Kostenstellendenken sei da ein Problem.

SE und MBSE sind nach Überzeugung Knokes jedoch unverzichtbar, um die wachsende Komplexität der Produkt- und Systementwicklung beherrschbar machen, die Qualität der Produkte frühzeitig interdisziplinär absichern und die Zahl der realen Prototypen reduzieren zu können. Wenn die Wiederverwendung kompletter Funktionen und der daran hängenden Baugruppen gelingt, werden aber auch die Produktentwickler schnell einen Nutzen von dem anfänglich zu erwartenden Mehraufwand haben.

eve

[www.3ds.com](http://www.3ds.com)

[www.miele.de](http://www.miele.de)



Details zur 3D-Experience Plattform von Dassault Systèmes:  
<http://hier.pro/qwzVj>

KEM INFO

## Begriffe des Systems Engineerings – Teil 1

# Systems Engineering

In Teil 1 unserer Rubrik SE-Glossar widmen wir uns zunächst einer ausführlichen Diskussion des Begriffs ‚Systems Engineering‘ – bis hin zu dem Hinweis, dass der Buchstabe ‚s‘ in ‚Systems‘ nicht ohne Grund am Ende steht. Natürlich geben wir auch Hinweise zu ergänzender Literatur.

Christian Tschirner ist Bereichsleiter Kommunikation & Veranstaltungen,  
 Sven-Olaf Schulze Vorsitzender der GfSE

**W**as ist Systems Engineering? Der kleinste gemeinsame Nenner der Fachwelt findet sich in der durch das International Council on Systems Engineering (INCOSE) geprägten Definition – hier in der deutschen Übersetzung:

„Ein interdisziplinärer Ansatz und ein Mittel, die Verwirklichung erfolgreicher Systeme zu ermöglichen. Der Ansatz zielt darauf, Kundenbedürfnisse und die notwendige Funktionalität früh im Entwicklungsprozess zu definieren, die Anforderungen zu dokumentieren und dann unter Berücksichtigung des Problems in seiner Gesamtheit mit dem Systementwurf und der Abstimmung mit dem Kunden fortzufahren. Systems Engineering betrachtet sowohl die wirtschaftlichen als auch die technischen Bedürfnisse des Kunden, mit dem Ziel, ein qualitativ hochwertiges Produkt zu erzeugen, das den Bedürfnissen der Nutzer gerecht wird.“ (INCOSE)

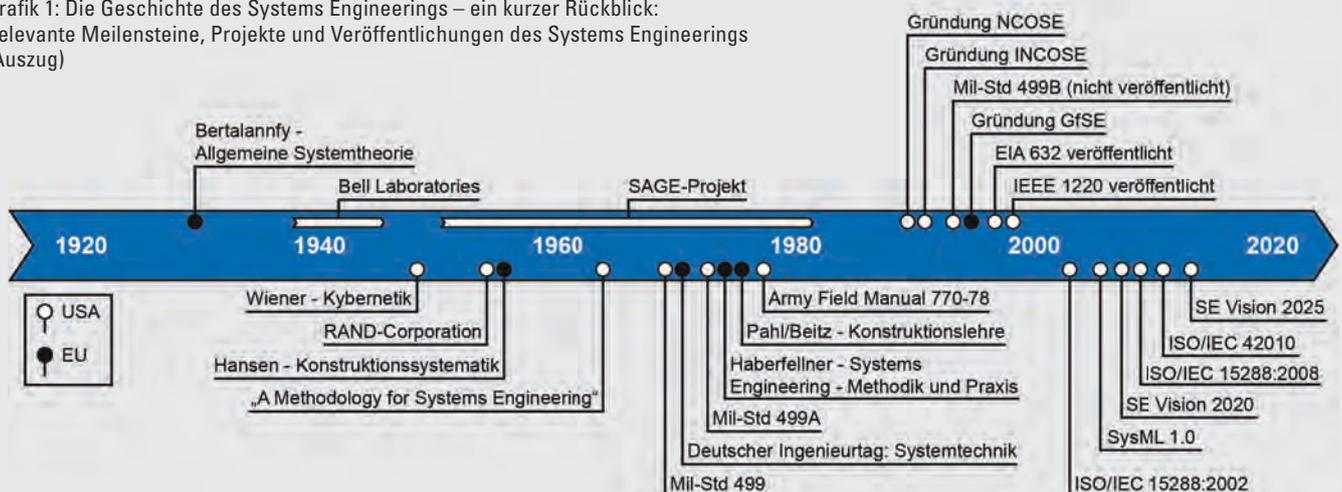
Aus dieser Definition stechen folgende Begriffe hervor: interdisziplinär, früh, dokumentieren, gesamtheitlich, wirtschaftlich, technisch – ein herausforderndes Anforderungsprofil. Die Anzahl und Verschiedenartigkeit an Beschreibungen zur Entwicklung dieses Verständnisses lässt dabei keine einheitliche Darstellung in ihrer zeitlichen Entwicklung zu – wir versuchen es mit einem Ausschnitt.

## In der Diskussion bereits seit den 1930ern

Die Ursprünge des modernen Systems Engineerings liegen in den 1930er Jahren: Die wissenschaftlichen Aspekte haben ihre Wurzeln

in den philosophischen Betrachtungen zur allgemeinen Systemtheorie nach Bertalanffy. Der Durchbruch in der Praxis unter dem Namen Systems Engineering wurde etwa ab den 1940er Jahren bei den Bell Laboratories erzielt. In den USA wurden die Ansätze anschließend maßgeblich durch die NASA genutzt und weiterentwickelt. Im deutschsprachigen Raum wurden ähnliche Konzepte meist unter den Begriffen Konstruktionssystematik und auch Systemtechnik zusammengefasst. **Grafik 1** zeigt eine Übersicht wesentlicher Meilensteine des Systems Engineerings – unterschieden nach europäischen Aktivitäten und US-amerikanischen Ansätzen. Dabei fällt einerseits auf, dass offenbar die US-Ansätze besser dokumentiert sind. Andererseits fallen auch die starken Anstrengungen zur Vereinheitlichung des Systems Engineering auf, zum Beispiel durch die ISO/IEC 15288 oder ISO/IEC 42010 – insbesondere seit Gründung der INCOSE. Auch wenn diese Initiativen häufig noch intensiv durch die Software-Community getrieben sind, so sind sie doch besonders wertvoll für die Kreation allgemeiner technischer Systeme. Ebenso wird deutlich: Systems Engineering ist im Prinzip eine eigene Fachdisziplin, die die Vorgehensweisen der anderen Fachdisziplinen sinnvoll miteinander verknüpft. Dabei bezieht sich das nicht nur auf die technischen Fachbereiche, sondern geht weit darüber hinaus. Wie weit dieses Verständnis reicht, zeigt **Grafik 2** – in Anlehnung an den bekannten Systems Engineer Derek Hitchins. Selbst wenn es also um die Entwicklung eines technischen Sys-

Grafik 1: Die Geschichte des Systems Engineerings – ein kurzer Rückblick:  
 Relevante Meilensteine, Projekte und Veröffentlichungen des Systems Engineerings  
 (Auszug)



tems geht, dürfen die Betrachtungsgrenzen nicht zu eng gezurrt sein. Die ISO/IEC 15288:2008(E) – Systems and software engineering – System life cycle processes (kurz ISO/IEC 15288:2008) stellt hierzu ein umfangreiches Repertoire wesentlicher Prozesse zusammen, die der Arbeit des Systems Engineers einen Rahmen geben (siehe Grafik 3). Sie reichen von den Technischen Prozessen hin bis zu Aspekten des Personal-Managements. Damit diese Prozesse gelebt werden können, hat sich bis heute in der Luft- und Raumfahrt ein umfangreicher Systems-Engineering-Werkzeugkasten entwickelt, der im Prinzip auch für viele andere Branchen nutzbar ist. Das beginnt bei einfachen N2-Matrizen zur Darstellung der Abhängigkeiten zwischen einzelnen Aspekten und geht hin bis zu dem seit geraumer Zeit diskutierten Model-Based Systems Engineering (MBSE) – Begriffe, die wir in kommenden Ausgaben detailliert vorstellen.

### Der kleine Unterschied

Wir möchten noch darauf hinweisen, wie wichtig der kleine Buchstabe ‚s‘ ist. Gemeint ist der Unterschied zwischen Systems Engineering und System-Engineering. Es ist nur ein kleines Detail, aber mit großen Auswirkungen! Im Sinne des einheitlichen Verständnisses und der eindeutigen Begriffsbildung sollte gelten:

- **Systems Engineering** ist fachdisziplinübergreifend. Der Schwerpunkt liegt auf den Denkweisen, Methoden, Prozessen und Vorgehensweisen zur Verknüpfung der Aktivitäten in einem Projekt. Wichtig ist Wissen – aber nicht in der Tiefe eines Fachingenieurs. Systems Engineering verbindet die jeweiligen Fachdisziplinen.
- **System-Engineering** ist dagegen die Anwendung der spezifischen Methoden einer Fachdisziplin, wie etwa Konstruktion und Softwareentwicklung. Hierbei ist das Wissen einer speziellen Disziplin unabdingbar!

INCOSE und GfSE fördern das Systems Engineering und bringen es in die Anwendung!

[www.incose.org](http://www.incose.org), [www.gfse.de](http://www.gfse.de)

## Zu dieser Rubrik

„In erster Linie geht es um Kommunikation“ – das war der Titel der Titelstory der ersten Ausgabe der **develop<sup>3</sup> systems engineering**, heute **KEM Systems Engineering**. Tatsächlich wird die Bedeutung von Kommunikation in Projekten häufig unterschätzt. Projekte sind heute höchst interdisziplinär und im Regelfall über Zeitzonen, Kulturkreise und Sprachräume verteilt. Die präzise und konsistente Verwendung von Begriffen wird somit zur Schlüsselkompetenz. Eine der ersten Aufgaben des Systems Engineers im Projekt ist deshalb die Schaffung eines Vokabulars, das eine eindeutige Kommunikation fördert. Zur Unterstützung dieser Aufgabe veröffentlichen wir in enger Zusammenarbeit mit der **Gesellschaft für Systems Engineering (GfSE) e.V.** in jeder Ausgabe der KEM Systems Engineering Definitionen zu relevanten Begriffen des Systems Engineerings; Ausgangspunkt hierfür ist die deutsche Übersetzung V. 3.2.2 des Handbuchs Systems Engineering des International Council on Systems Engineering (INCOSE).

Hinweis: Die hier vorgestellten Definitionen stellen wir bewusst zur Diskussion – wir freuen uns über Ihr Feedback dazu per Mail an:

[kem.redaktion@konradin.de](mailto:kem.redaktion@konradin.de)

### Literaturempfehlungen:

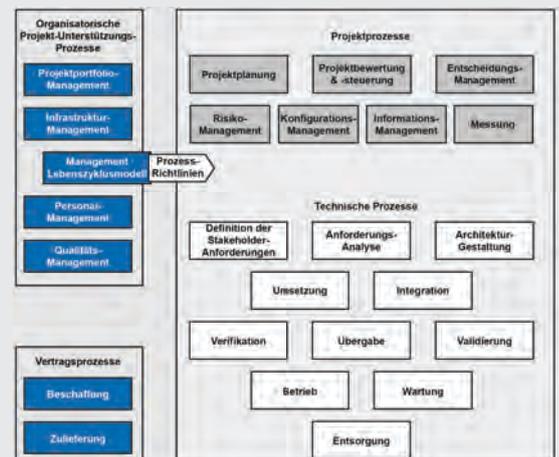
- [1] Haberfellner, R.; Fricke, E.; Weck, O.; Vössner, S.: Systems Engineering – Grundlagen und Anwendung. Orell Füssli, Zürich, 12., völlig neu bearb. und erw. Auflage, 2012
- [2] Hitchins, D.K.: Systems Engineering – A 21st Century Systems Methodology. John Wiley, West-Sussex, 2007
- [3] International Council on Systems Engineering (INCOSE): Systems Engineering Vision 2025, [http://www.incose.org/newsevents/Announcements/docs/incose\\_se\\_vision\\_2025.pdf](http://www.incose.org/newsevents/Announcements/docs/incose_se_vision_2025.pdf), 2014
- [4] Kaffenberger, R.; Schulze, S.-O.; Weber, H.: INCOSE Systems Engineering Handbuch, Version 3.2.2, Carl Hanser Verlag, 2012

Grafik 2: Das 5-Ebenen-Modell nach Hitchins



Grafik: GfSE

Grafik 3: Prozesse der ISO/IEC 15288:2008



Grafik: GfSE

## Begriffe des Systems Engineerings – Teil 2

# ISO/IEC 15288 und ISO/IEC 29110 – Prozesse für das Systems Engineering

In Teil 2 unserer Rubrik SE-Glossar widmen wir uns dem Systems Engineering aus Sicht des Produktlebenszyklus und der relevanten Prozesse. Im Mittelpunkt stehen dabei die ISO/IEC 15288 und die ISO/IEC 29110, die als ‚kleine Schwester‘ der ISO/IEC 15288 besonders für kleine und mittlere Unternehmen interessant ist.

*Christian Tschirner ist Bereichsleiter Kommunikation & Veranstaltungen der GfSE, Sascha Ackva ist Mitglied des Vorstands der Gesellschaft für Systems Engineering (GfSE)*

Seit einiger Zeit existieren starke Aktivitäten, die Landschaft der Normen, Standards und Richtlinien im Systems Engineering zu aktualisieren. Diese sind getrieben unter anderem durch das Deutsche Institut für Normung e. V. (DIN), die ISO, das IEEE – aber natürlich auch stark durch das International Council on Systems Engineering (INCOSE). Dabei rücken immer stärker die Bedürfnisse von Unternehmen außerhalb der klassischen SE-Anwendungsbereiche in den Mittelpunkt.

## ISO/IEC 15288: Systems and software engineering – System life cycle processes

Die ISO/IEC 15288: *Systems and software engineering – System life cycle processes* beschreibt die Prozesse über den Lebenszyklus eines technischen Systems. Es werden vier Prozess-Gruppen inklusive entsprechender Terminologie definiert. Für jede Gruppe werden die für Systems Engineers relevanten Prozesse detailliert. Diese werden unabhängig von der Komplexität eines Systems, der Produktstrukturstufe oder Projektphase angewendet; einzig der erbrachte Aufwand für die Prozesse ändert sich.

- **Produktbezogene/Technische Prozesse:** Hier finden sich alle technischen Aktivitäten des Lebenszyklus. Durch deren Anwen-

dung entsteht das Produkt oder der Service. Bestandteile sind beispielsweise Geschäftsfall- und Missionsanalyse, Kundenwunsch und Anforderungsdefinition, Systemanforderungsdefinition, Systemanalyse, Architekturdefinition, Designentwurf sowie Aktivitäten bezüglich Implementierung, Integration, Verifikation, Transition, Validierung, Operation, Wartung und Entsorgung.

- **Projekt-/Technische Management-Prozesse:** Diese adressieren das technische Management von Entwicklungsvorhaben und ergänzen das Projektmanagement. Die entsprechenden Aktivitäten beziehen sich also auf die Planung, Projektbeurteilung und -steuerung, Entscheidungs-, Risiko- Konfigurations- und Informationsmanagement sowie die Qualitätssicherung. Weiter werden technische Maßnahmen zur Kompensation von Defiziten identifiziert und durchgeführt, beispielsweise hinsichtlich Zeit, Kosten und Qualität der Ergebnisse.
- **Vertrags-/Vereinbarungs-Prozesse:** In diesem Zusammenhang unterscheidet man den Acquisition Process und den Supply Process. Die damit verbundenen Aktivitäten beziehen sich auf die Vereinbarungen zwischen Kunde und Lieferant des Systems (beziehungsweise der Systemkomponenten) oder der Dienstleistung.

## INFO

## Generische Profile der ISO/IEC 29110

- **Entry:** Das Profil ist geeignet für Unternehmen, die sich gerade erst mit SE beschäftigen oder Projekte mit weniger als sechs Personenmonaten.
- **Basic:** Hier geht es um Anwendungen mit keinem besonderen Risiko.
- **Intermediate:** Dieses Profil kommt zur Anwendung in Projekten, in denen mehrere Disziplinen koordiniert werden müssen.
- **Advanced:** Hier geht es unter anderem um eigenständige, von einem Auftraggeber unabhängige Projekte mit stark unterschiedlichen Komplexitätsgraden.

## Teile der ISO/IEC 29110

ISO/IEC 29110	Titel	Zielgruppen
Teil 1	Übersicht	VSE/KMU, Kunden, Assessoren, Normenersteller, Methodenanbieter
Teil 2	Rahmenwerk und Systematik	Normenersteller, Methodenanbieter, nicht für VSE/KMU bestimmt
Teil 3	Selbstbewertung	Assessoren, Kunden und VSE/KMU
Teil 4	Profilspezifikation	Normenersteller, Methodenanbieter, nicht für VSE/KMU bestimmt
Teil 5	Management und Engineering Anleitung	VSE/KMU und Kunden

- **Organizational Project-Enabling Prozesse:** Ziel ist die Bereitstellung der Ressourcen, die zur Erfüllung der Anforderungen der Projekt-Stakeholder notwendig sind. Das sind etwa Qualitätsrichtlinien, Management-Aktivitäten hinsichtlich Lebenszyklus, Infrastruktur, Produktportfolio, Qualitätsmanagement und Wissensmanagement. Damit sind diese Prozesse der Organisation und nicht einzelnen Projekten zugeordnet.

Das Besondere: Die ISO/IEC 15288 definiert einen Tailoring Process, der die Anpassung der Prozesse an die jeweilige Projektsituation ermöglicht – was jedoch in keinem Fall nur ein ‚Weglassen‘ bedeutet, sondern eine Anpassung in Umfang und der formalen Stringenz. Dazu werden zunächst Einflussfaktoren auf das Projekt identifiziert (Komplexität, Risikofaktoren, ...), dann erfolgt die Auswahl der je nach Entwicklungsprozess betroffenen Prozesse. Hierfür werden die erwarteten Prozess-Ergebnisse, Aktivitäten und Aufgaben identifiziert, die durchgeführt werden müssen. Unter Berücksichtigung der Projektaspekte wird dann entschieden

- welche Aspekte besondere Berücksichtigung finden und
- welche Prozesse in geringerem Umfang beziehungsweise weniger formal durchgeführt werden.

### ISO/IEC 29110: Systems and Software Life Cycle Profiles and Guidelines for Very Small Entities

Das Thema Systems Engineering nimmt inzwischen auch bei kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) immer mehr an Fahrt auf. Die Gründe sind vielfältig, häufig spielen die Veränderungen in den Wertschöpfungsstrukturen der ‚großen Unternehmen‘ eine Rolle: Immer häufiger fokussieren diese auf eine Integrationsstrategie, das heißt sie verlagern ihre Systementwicklungsaktivitäten zu kleineren Unternehmen. Dadurch kommt den wohlstrukturierten Prozessen des Systems Engineerings eine besondere Rolle zu, da sie in besonderer Weise im Zusammenspiel mit Partnern ihre Wirkung entfalten. Gleichzeitig sind aber viele Ansätze zu umfangreich oder unflexibel, um die Anforderungen kleinerer Unternehmen zu treffen. Deshalb werden sie auch nur ungern von KMU eingesetzt.

Hier setzt die ISO/IEC 29110 ‚Systems and Software Life Cycle Profiles and Guidelines for Very Small Entities (VSEs)‘ an – ein Ansatz,

## Zu dieser Rubrik

‚In erster Linie geht es um Kommunikation‘ – das war der Titel der Titelstory der ersten Ausgabe der **develop<sup>3</sup> systems engineering**, heute **KEM Systems Engineering**. Tatsächlich wird die Bedeutung von Kommunikation in Projekten häufig unterschätzt. Projekte sind heute höchst interdisziplinär und im Regelfall über Zeitzonen, Kulturkreise und Sprachräume verteilt. Die präzise und konsistente Verwendung von Begriffen wird somit zur Schlüsselkompetenz. Eine der ersten Aufgaben des Systems Engineers im Projekt ist deshalb die Schaffung eines Vokabulars, das eine eindeutige Kommunikation fördert. Zur Unterstützung dieser Aufgabe veröffentlichen wir in enger Zusammenarbeit mit der **Gesellschaft für Systems Engineering (GfSE) e.V.** in jeder Ausgabe der KEM Systems Engineering Definitionen zu relevanten Begriffen des Systems Engineerings; Ausgangspunkt hierfür ist die deutsche Übersetzung V. 3.2.2 des Handbuchs Systems Engineering des International Council on Systems Engineering (INCOSE).

**Hinweis:** Die hier vorgestellten Definitionen stellen wir bewusst zur Diskussion – wir freuen uns über Ihr Feedback dazu per Mail an:

kem.redaktion@konradin.de

der durch INCOSE mitgestaltet wird. Nachdem zunächst das Thema Softwareentwicklung adressiert wurde, liegt jetzt ein Schwerpunkt auf der Entwicklung der ‚Deployment Packages‘ für den Bereich Systems Engineering. Die wesentlichen Ziele dabei waren:

- Auf Basis der ‚großen Schwester‘ ISO/IEC 15288 soll ein SE-Ansatz entwickelt werden, der bei Organisationen, Abteilungen oder Projekten bis etwa 25 Projektteilnehmern eine besondere Anwendbarkeit findet.
- ‚Generische Profile‘ (**siehe Kasten**) sollen die Einführung erleichtern. Sie erlauben eine schrittweise Einführung in die SE-Prozesse, wobei die Auswahl des geeigneten Profils von der Fähigkeit der Organisation, der Größe und der Komplexität des Projekts bestimmt wird.

Jedes generische Profil wird durch eine Reihe von **Deployment Packages** beschrieben (**siehe Tabelle**). Diese bieten eine im Umfang angepasste Beschreibung der Prozesse, Aktivitäten, Aufgaben, Arbeitsschritte, Rollen und zu erarbeitenden Produkte. Weiterhin werden Vorlagen und Beispiele zur Verfügung gestellt.

Insgesamt besteht die ISO/IEC 29110 aus **5 Teilen (Parts, siehe Tabelle)**, wobei nur der Teil 4 als ‚Standard‘ eingestuft ist. Die Deployment Packages – insgesamt etwa 40 Einzeldokumente – sind dem Teil 5 der ISO/IEC 29110 ‚Management und Engineering Anleitung‘ zugeordnet. Dieser Teil wird aktuell durch das Deutsche Institut für Normung (DIN) unter Mitarbeit von GfSE-Mitgliedern ins Deutsche übersetzt – ab Herbst 2015 ist mit einer ersten Fassung zur rechnen.

[www.gfse.de](http://www.gfse.de)

### Deployment Packages der ISO/IEC 29110

Interface Management	Verification & Validation	Integration
Project Management	Functional & Physical Architecture	Product Deployment
Requirements Engineering	Configuration Management	Self-Assessment

Quelle: GfSE

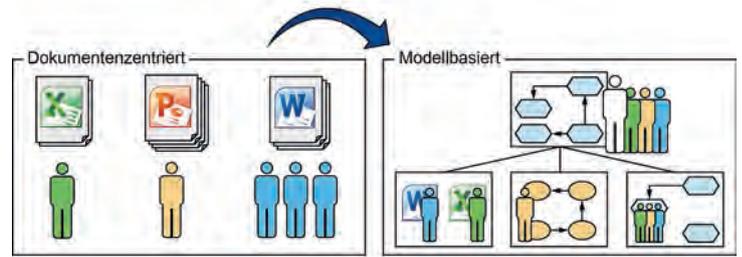


Bild 1: Vom dokumentenzentrierten Engineering zum modellbasierten Systems Engineering

Bild 2: Gemeinsam die Wirkungsweise des Systems verstehen mit der ‚Mechatronischen Zeichnung‘

Bild 3: Das ibd – Internes Blockdiagramm – bildet unter anderem die funktionale Architektur ab (rechts)

### Begriffe des Systems Engineerings – Teil 3

# Model Based Systems Engineering (MBSE)

Die Idee des modellbasierten Systems Engineerings (MBSE) hat in den letzten Jahren stark an Fahrt gewonnen und ist dabei, zentraler Ausgangspunkt bei der Entwicklung komplexer Systeme zu werden. Viele Unternehmen verfolgen diesen Ansatz und verbinden damit hohe Erwartungen. Da das Thema aber aus vielen verschiedenen Richtungen getrieben wird, herrscht häufig große Unsicherheit, was sich hinter MBSE konkret verbirgt. Teil 3 unseres SE-Glossars bringt Licht ins Dunkel.

*Sascha Ackva ist Mitglied des Vorstands, Christian Tschirner ist Bereichsleiter Kommunikation der GfSE*

INCOSE definiert MBSE als die formalisierte Anwendung der Modellierung von Systemen zur Unterstützung sämtlicher Prozesse und Aufgaben im gesamten Produktlebenszyklus. Das umfasst etwa die Herausarbeitung von Kundenwünschen, die Beschreibung von Systemanforderungen, Modulspezifikationen und anderem, aber auch die Unterstützung von Design, Analysetätigkeiten sowie Verifikation und Validierung.

Um Missverständnissen vorzubeugen: MBSE ersetzt nicht die etablierten Aktivitäten der Systemarchitekten und Fachdisziplinen – es stellt sie auf eine neue Basis, erlaubt die reibungslosere Zusammenarbeit, schafft mehr Transparenz und ermöglicht im Idealfall eine Entwicklung nach dem Prinzip ‚1st Time Right‘.

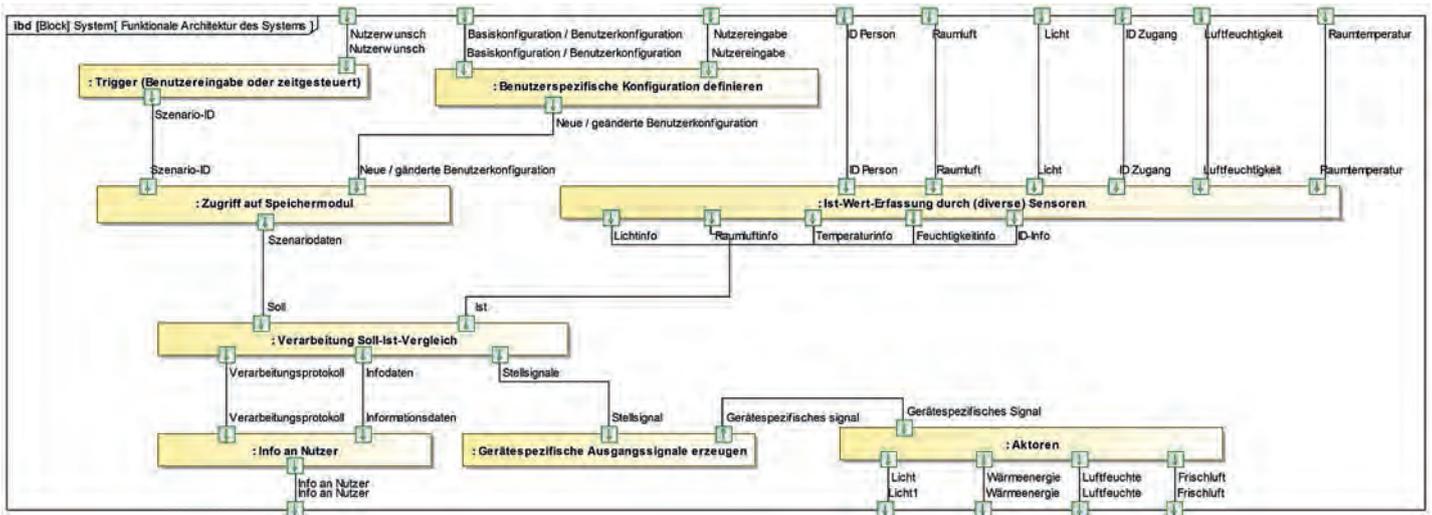
Systems Engineering versteht sich als Klebstoff zwischen allen, an einem Projekt beteiligten Disziplinen: Der Systems Engineer unterstützt schon bei der Identifikation von Kundenanforderungen und übersetzt diese in technische Anforderungen, arbeitet die notwendigen Funktionen heraus und wählt die hierfür geeigneten Komponenten – um nur einige Aufgaben dieser hochanspruchsvollen Rolle zu nennen. Ergebnis ist eine robuste Systemarchitektur und Spezifikation. Hierauf aufbauend starten die Fachdisziplinen mit der Ausarbeitung ihrer Gewerke, welche der Systems Engineer integriert. Nun sind heutige Erzeugnisse anspruchsvolle High-Tech-Produkte, deren Komplexität ein Einzelner nicht mehr überblicken kann. Eine kleine Änderung an einer Komponente hat unter Umständen nicht erkannte Auswirkungen auf andere Komponenten. Schlimmstenfalls verhindert das die erfolgreiche Systemintegration oder verursacht ka-

tastrophale Schäden im Systembetrieb. Der Systems Engineer muss also das Zusammenspiel der Komponenten untereinander und mit ihrer Umgebung sowie die Zusammenhänge mit Anforderungen und Nachweisführungen von Beginn an eindeutig verstehen – bei aller Intransparenz mechatronischer Systeme. Rein textuelle Spezifikationen, Abhängigkeitsmatrizen in Tabellen und Architekturbeschreibungen in Präsentationsform können den Bedarf an konsistentem, nachvollziehbarem Systemverständnis nicht abdecken. Durchdachte Modellierungstechniken helfen dabei, diese Zusammenhänge zu erfassen und die Auswirkungen von Änderungen im System frühzeitig zu erkennen (**Bild 1**).

Genau hier setzt MBSE an: MBSE fungiert quasi als Brandbeschleuniger im Systems Engineering. Mit seinen Modellierungsansätzen zur Beschreibung des Systems ist es einerseits das richtige Werkzeug für die Aufgaben des Systems Engineers und gleichzeitig eine willkommene Ergänzung für die Arbeit der Fachdisziplinen. Allgemein wird Modellierung im Zeitalter des CAE heute von Entwicklungsingenieuren der verschiedenen Fachgebiete angewendet, um die notwendige Präzision und Reife in ihre Gewerke zu bringen. MBSE ergänzt diese Ansätze und bringt die Präzision, Reife und Digitalisierung der Arbeitsprodukte auf die Systemebene, wo Ingenieure nicht mit ‚greifbaren‘ Gegenständen, sondern mit abstrakten Systemelementen umgehen.

### Konsistente Datenbasis als Grundlage

Eine konsistente Datenbasis ist die Grundlage für erfolgreiches MBSE. Die Modellierung wird durch eigens entwickelte Sprachen ermöglicht. Bekannt ist die standardisierte Systems Modeling Language (SysML),



aber es existieren auch viele andere, wie etwa die Lifecycle Modeling Language (LML). Neben der Notation sind zudem eine auf das Entwicklungsproblem abgestimmte Methode und Werkzeugkette notwendig. Zusammen wird mit ihnen eine einfache, graphische und disziplinunabhängige Systemdarstellung geschaffen – vorstellbar als ‚Mechatronische Zeichnung‘ (Bild 3), wobei das natürlich viel zu kurz greift, aber die Grundidee gut ausdrückt. MBSE hat mit seinen Systemdarstellungen (Bild 2) das Potenzial, die Kommunikation über die Disziplinengrenzen hinweg erheblich zu erleichtern und so für ein gemeinsames Verständnis zu sorgen. Der Clou ist aber, dass mit der Erstellung von Diagrammen gleichzeitig eine konsistente Datenbasis von miteinander verbundenen Artefakten erzeugt wird. Diese Daten können mit anderen Modellen verknüpft werden und erlauben die automatisierte und konsistente Generierung von auf einzelne Nutzerbedürfnisse angepassten Sichten. Der sich durch das Datenmodell ergebende Anstieg an Konsistenz und Verständnis vermindert effektiv Fehler über sämtliche Entwicklungsphasen.

Automatische Prüfungen des erzeugten Modells sichern die Korrektheit und Konsistenz der Systemarchitekturbeschreibung. Toolerweiterungen und Automatisierung erlauben dem Ingenieur die Konzentration auf die wesentliche Entwicklungsarbeit, anstatt Zeit mit nicht-wertschöpfenden Tätigkeiten zu vergeuden. Einmal geschaffene Modellartefakte können in weiteren Projekten wiederverwendet werden. Schnittstellen zwischen den Anwendungen und dem Produktdaten Management (PDM) werden zukünftig eine saubere Prozessintegration unterstützen. Mit so einem Workflow Management ist MBSE ein weiterer Schritt hin zur vollständigen Digitalisierung der Produktentwicklung.

### MBSE als wachsender Werkzeugkoffer

Es gibt heute nicht *die* eine MBSE-Methode oder *das* Tool, das alle Anwendungsfälle abdeckt. Manche MBSE-Methoden konzentrieren sich auf strukturelle und funktionale Aspekte, andere decken nur schmale Bereiche ab. Daher darf man MBSE nicht als einen einzelnen Prozess, Methode oder Werkzeug betrachten, sondern vielmehr als Werkzeugkasten mit verschiedenen Vorgehensweisen. Je nach Bedarf muss die richtige Unterstützung ausgewählt – und manchmal noch geschaffen werden. Die volle Breite möglicher Verbesserungen durch MBSE sind bislang ‚out-of-the-box‘ von keinem Toolhersteller darstellbar – was aber auch nicht schlimm ist. Schließlich müssen die Methode und das Tool mit den jeweiligen Erweiterungen zumindest in Teilen an die Anforderungen und Einsatzbedingungen des Unternehmens angepasst werden. Dies erklärt auch, warum

## Zu dieser Rubrik

‚In erster Linie geht es um Kommunikation‘ – das war der Titel der Titelstory der ersten Ausgabe der **develop<sup>3</sup> systems engineering**, heute **KEM Systems Engineering**. Tatsächlich wird die Bedeutung von Kommunikation in Projekten häufig unterschätzt. Projekte sind heute höchst interdisziplinär und im Regelfall über Zeitzonen, Kulturkreise und Sprachräume verteilt. Die präzise und konsistente Verwendung von Begriffen wird somit zur Schlüsselkompetenz. Eine der ersten Aufgaben des Systems Engineers im Projekt ist deshalb die Schaffung eines Vokabulars, das eine eindeutige Kommunikation fördert. Zur Unterstützung dieser Aufgabe veröffentlichen wir in enger Zusammenarbeit mit der **Gesellschaft für Systems Engineering (GfSE) e.V.** in jeder Ausgabe der KEM Systems Engineering Definitionen zu relevanten Begriffen des Systems Engineerings; Ausgangspunkt hierfür ist die deutsche Übersetzung V. 3.2.2 des Handbuchs Systems Engineering des International Council on Systems Engineering (INCOSE).

**Hinweis:** Die hier vorgestellten Definitionen stellen wir bewusst zur Diskussion – wir freuen uns über Ihr Feedback dazu per Mail an:

kem.redaktion@konradin.de

eine Tool- und Notationsschulung allein nicht ausreichen. Wichtig ist vor allem ein grundlegendes SE-Verständnis bei allen Beteiligten.

### Anwender zusammen bringen

Die GfSE stärkt das MBSE branchenunabhängig. Der Austausch von Erfahrungen rund um die Modellierung, die Anwendung und den Nutzen ist eine der Hauptaufgaben der GfSE. Innerhalb der GfSE existieren dazu die Arbeitsgruppen MBSE, FAS, Sys(S)ML und PLM4MBSE. Das Tool Vendor Project (TVP) am Tag des Systems Engineering (11.-13. Nov. 2015 in Ulm) zeigt zudem den aktuellen Leistungsstand namhafter Werkzeughersteller anhand eines einheitlichen Beispiels.

**Begriffe des Systems Engineerings – Teil 4**

# Architekturbeschreibungen – die ISO/IEC/IEEE 42010:2011

Systems Engineering als Paradigma für die Produktentwicklung, die Prozesse der ISO 15288 und das modellbasierte Systems Engineering als Ausgangspunkt für die Aktivitäten im Projekt – das wurde in den letzten Ausgaben der develop<sup>3</sup> systems engineering diskutiert. Wie kann das alles handhabbar und verständlich zusammenwirken? Eine saubere Architekturbeschreibung ist das zentrale Element eines erfolgreichen Projekts. Die ISO/IEC/IEEE 42010 präsentiert Best Practices, um Architekturen von Systemen zu beschreiben – egal ob Mechatronik, Software oder von Unternehmen.

*Christian Tschirner ist Bereichsleiter Kommunikation, Sascha Ackva Mitglied des Vorstands der GfSE*

**C**eci n'est pas une pipe – das bekannte Ölbild des Malers René Magritte zeigt ein (für das Erscheinungsjahr nahezu photorealistisches) Abbild einer Pfeife, untertitelt mit dem französischen Satz „Ceci n'est pas une pipe“, zu Deutsch: Dies ist keine Pfeife. Magritte beschreibt mit seinem Bild die Beziehung zwischen dem tatsächlichen Objekt, seiner Bezeichnung und seiner graphischen Repräsentation – Sie sehen keine Pfeife, sondern nur ihr Bild.

## Genauigkeit der Begriffe

Warum dieser kleine Exkurs? Gerade beim Thema ‚Architektur‘ ist Genauigkeit gefragt. Die ISO/IEC/IEEE 42010 Systems and Software Engineering – Architecture Description schafft ein einheitliches Verständnis für die Begriffe im Kontext einer Systemarchitektur. Das Bild der Pfeife deutet da auf ein häufiges Missverständnis hin: Wir sagen meist Architektur – meinen aber die Architekturbeschreibung eines Systems.

## Konzept der ISO 42010

Die ISO/IEC/IEEE 42010 liefert ein Rahmenwerk für die Beschreibung, Organisation und Darstellung von Architekturbeschreibungen. Sie löste 2007 die IEEE 1471 Recommended Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems ab und adressiert seitdem jegliche Systeme – insbesondere natürlich technischer Art. Die ISO 42010 wird unabhängig von technischen Konzepten, Modellierungssprachen oder Werkzeugen beschrieben. Diese Neutralität ermöglicht die Übertragung auf das eigene Unternehmen und schafft somit eine einheitliche Arbeitsgrundlage. Unter einer Systemarchitektur versteht die Norm die fundamentalen Konzepte oder Eigenschaften eines Systems, also beispielsweise wie es in seine Umgebung eingebettet ist, was seine konstituierenden Elemente und ihre Interaktionen sind sowie die Prinzipien, nach denen es entwickelt und organisiert wird. Eine Architektur ist etwas Abstraktes, ihre Beschreibung dagegen ein konkretes Arbeitsprodukt in der Produktentwicklung.

### INFO

## Mögliche Concerns

Die ISO 42010 nennt einige mögliche Concerns von Stakeholdern: Funktionalität, Machbarkeit, Gebrauch, Features, Systemeigenschaften, Struktur, Verhalten, Performance, Ressourcenverbrauch, Security, Komplexität, Modularität...

Die ISO 42010 bietet ein hervorragendes Gerüst, um die Zusammenarbeit vieler Stakeholder, ihrer Aufgaben und Darstellungsweisen zu organisieren und verständlicher zu gestalten – damit am Ende ein erfolgreiches Produkt entsteht



Bild: fonblet/Gejuz

## Das Modell der Architekturbeschreibung

Kern der ISO ist eine Ontologie. Elementar ist hier das Zusammenspiel zwischen einem Stakeholder, dem betrachteten System („System-of-Interest“) und der Architekturbeschreibung: Einer oder viele Stakeholder der Architekturbeschreibung haben unterschiedliche Interessen an einem System. Die daraus abgeleiteten Concerns finden dann Berücksichtigung in der der Architekturbeschreibung. Der Begriff Concern ist etwas ungenau definiert als ‚any topic of interest‘ – beispielsweise die Funktionalität, die Struktur, das Verhalten des Systems (weitere Concerns in der Infobox).

Zur Befriedigung eines Concerns wendet die ISO 42010 das Konzept der ‚Separation of Concerns‘ an – jeder Concern wird durch eine einzelne View (Sicht) dargestellt, also einen konkreten Ausschnitt der Architekturbeschreibung in einer hierfür geeigneten Darstellungsweise. Das kann etwa für den Systemingenieur eine Wirkkette sein, für den Elektrotechniker das Blockschaltbild und für den Projektmanager durchaus eine N2-Matrix. Die in den verschiedenen Views zum Ausdruck gebrachten Inhalte können sich durchaus überschneiden – da sie jeweils ausdrücken, was für den konkreten Stakeholder ‚von Interesse‘ ist. Wie die View dargestellt und erarbeitet wird, wird durch den Viewpoint (Standpunkt) bestimmt. Dieser definiert die Konventionen zur Erstellung, Interpretation und Analyse der Views. Das sind etwa Sprachen, Notationen, Modellart, Modellierungsmethoden oder Analysetechniken. Ein Architecture Viewpoint ist somit im Prinzip eine Beschreibung der Methode zur Erstellung einer konkreten View.

## Verwendung von Architekturbeschreibungen

Eine konsistente Architekturbeschreibung, über die verschiedenen Views hinweg, ist oberstes Ziel in der Produktentwicklung. Modellbasiertes Systems Engineering (MBSE) bietet hierfür in vielen Fällen die notwendige Herangehensweise. Die Architekturbeschreibung als solches ist kein Selbstzweck und stiftet für sämtliche Stakeholder und zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Systemlebenszy-

## Zu dieser Rubrik

‚In erster Linie geht es um Kommunikation‘ – das war der Titel der Titelstory der ersten Ausgabe der **develop<sup>3</sup> systems engineering**, heute **KEM Systems Engineering**. Tatsächlich wird die Bedeutung von Kommunikation in Projekten häufig unterschätzt. Projekte sind heute höchst interdisziplinär und im Regelfall über Zeitzonen, Kulturkreise und Sprachräume verteilt. Die präzise und konsistente Verwendung von Begriffen wird somit zur Schlüsselkompetenz. Eine der ersten Aufgaben des Systems Engineers im Projekt ist deshalb die Schaffung eines Vokabulars, das eine eindeutige Kommunikation fördert. Zur Unterstützung dieser Aufgabe veröffentlichen wir in enger Zusammenarbeit mit der **Gesellschaft für Systems Engineering (GfSE) e.V.** in jeder Ausgabe der KEM Systems Engineering Definitionen zu relevanten Begriffen des Systems Engineerings; Ausgangspunkt hierfür ist die deutsche Übersetzung V. 3.2.2 des Handbuchs Systems Engineering des International Council on Systems Engineering (INCOSE).

**Hinweis:** Die hier vorgestellten Definitionen stellen wir bewusst zur Diskussion – wir freuen uns über Ihr Feedback dazu per Mail an:

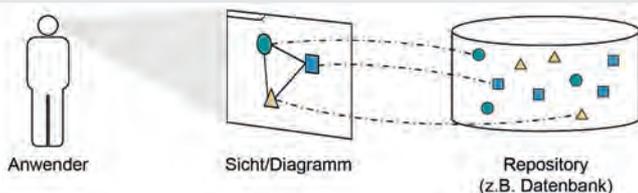
kem.redaktion@konradin.de

klus erheblichen Nutzen. Die ISO nennt hierfür zahlreiche Beispiele. Diese zeigen auch, warum die Architekturbeschreibung ein solch kritischer Punkt in einem Projekt ist. Die Architekturbeschreibung...

- bildet die Basis für die Systementwicklung und sämtliche Entwicklungsaktivitäten
- dient als Grundlage zur Evaluation unterschiedlicher Realisierungsmöglichkeiten eines Systems
- ist eine hervorragende Dokumentation für die Entwicklung, aber auch für den Service
- wird genutzt, um Input für Simulationswerkzeuge abzuleiten oder Analysen während der Produktentwicklung durchzuführen
- ist Kommunikationsmedium zwischen unterschiedlichsten Partnern im Projekt und auch zum Kunden
- ist die Grundlage für ein erfolgreiches Projektmanagement – also beispielsweise die Zeit- und Budgetplanung.

Das Konzept der ISO 42010 erscheint zunächst sehr abstrakt. Wenn man sich allerdings ein wenig mit ihrer Darstellungsform und Intention beschäftigt, erkennt man, dass die ISO wirklich ein hervorragendes Gerüst ist, um die Zusammenarbeit vieler Stakeholder, ihrer Aufgaben und Darstellungsweisen zu organisieren und verständlich zu machen. Im Kern müssen Entwicklungsorganisationen erkennen, dass eine Architekturbeschreibung zentraler Ausgangspunkt der Zusammenarbeit ist und dass es viele gültige Darstellungsformen gibt – nur müssen sie organisiert und klar strukturiert sein. Den richtigen Zugang bietet die ISO 42010.

## Trennung zwischen Modell und Sicht, angelehnt an O. Alt 2012



Die ISO 42010 wendet das Konzept der ‚Separation of Concerns‘ an – jeder Concern wird durch eine einzelne View (Sicht) dargestellt

## Begriffe des Systems Engineerings – Teil 5

# Systems Engineering Return on Investment – oder: Wie viel SE ist notwendig?

Systems Engineering, Model-Based Systems Engineering, Systemarchitekturen, Prozesse, verschiedene ISO-Richtlinien – das waren die Themen unseres Glossars zum Systems Engineering im Jahr 2015. Noch immer steigt das Interesse am Paradigma Systems Engineering (SE) stark; die Anzahl an Evaluationsprojekten und Einführungsprogrammen bringt dies zum Ausdruck. Teilweise berichten die jeweiligen Unternehmen auch offen über ihre Aktivitäten, beispielsweise am Tag des Systems Engineerings – TdSE. In diesem Zusammenhang kommt aber insbesondere auf Management-Ebene immer wieder die Frage auf: „Was bringt mir das und wie viel SE ist notwendig?“

Christian Tschirner und Sascha Ackva, Mitglieder des Vorstands der GfSE

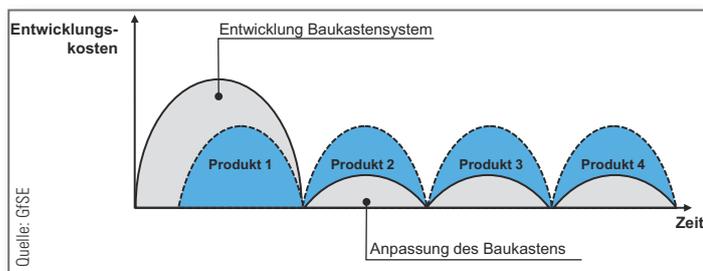


Bild 1: Rentabilität eines Baukastensystems als Analogie zur SE-Einführung

Warum eigentlich ein „SE-Return on Investment (RoI)“? Beim Systems Engineering (SE) ist die Diskussion über den Wertbeitrag noch relativ jung: Der Ansatz war durch die anfängliche Anwendung in sicherheitskritischen und hochkomplexen Systemen der Luft- und Raumfahrt nicht vordergründig auf den Nachweis von Wirtschaftlichkeit angewiesen. Hier ging es zurecht in erster Linie um Qualität und Sicherheit. Erst mit dem aufkommenden Interesse der Privatwirtschaft kam die Wirtschaftlichkeitsdiskussion auf. Die Bewertung des Wertbeitrags steckt aber in einem Dilemma: Investitionen in neue Technologien und Methoden sollen aus Management-Sicht eine möglichst kurze Amortisationszeit haben: üblicherweise erwartet die Industrie weniger als 24 Monate. SE ist jedoch ein Lebenszyklusansatz, der seine Wirkung langfristig entfaltet – von der Wiege bis zur Bahre, bspw. bei Marktphasen von 60 Monaten. Das bedeutet, dass zunächst in frühen Lebenszyklusphasen ein erhöhter Aufwand einfach akzeptiert werden muss, der sich aber in späteren Phasen ausgleicht, weil etwa das Produkt im Feld weniger Ausfälle aufweist. Bei der Bestimmung eines SE-RoI ist nun das Problem, überhaupt einen geeigneten Ansatz zu identifizieren – alleine schon bedingt durch die Herausforderungen der Kostenrechnung.

## Ein Vergleich: Produktbaukastensysteme

Während beim Thema Systems Engineering die Diskussion um die Notwendigkeit aufgrund von Vorabinvestitionen sehr penibel geführt wird, ist die Ausgangslage bei Produktbaukastensystemen nicht anders – deren Notwendigkeit wird allerdings diskussionslos akzeptiert. Die Einführung von Baukästen kann zu enormen Rationalisierungsmöglichkeiten führen – zweifelsfrei. Zur Einführung eines Baukastens sind jedoch er-

hebliche Vorleistungen notwendig. Rentabel wird er erst im Verlauf seines Lebenszyklus, wenn die Summe der Aufwände für die Anpassung geringer ist als die Aufwände für eine jeweilige Neuentwicklung (Bild 1). Das ist mit Risiken verbunden, die allerdings akzeptiert werden. Gerade deshalb sollte diese Sicht auch für das SE gelten: Zunächst sind die Aufwände hoch, da die Mannschaft noch nicht eingespielt ist, geschult werden muss und vielleicht auch die neue Rolle eines Systems Engineers in Ergänzung zum Projektmanager akzeptiert werden muss. Über die Zeit überwiegen dann aber die Vorteile: Die Kommunikation und Koordination wird verbessert, die Spezifikationen werden besser und damit die Fehler geringer – die Kosten sind dann längst eingespielt. Vorbild für neue Ansätze in der Produktentstehung sind meist die etablierten Ansätze wie Lean bzw. Six Sigma. Six Sigma verfolgt in seiner Vi-

## INFO

### Zu dieser Rubrik

„In erster Linie geht es um Kommunikation“ – das war der Titel der Titelseite der ersten Ausgabe der **develop<sup>3</sup> systems engineering**, heute **KEM Systems Engineering**. Tatsächlich wird die Bedeutung von Kommunikation in Projekten häufig unterschätzt. Projekte sind heute höchst interdisziplinär und im Regelfall über Zeitzonen, Kulturkreise und Sprachräume verteilt. Die präzise und konsistente Verwendung von Begriffen wird somit zur Schlüsselkompetenz. Eine der ersten Aufgaben des Systems Engineers im Projekt ist deshalb die Schaffung eines Vokabulars, das eine eindeutige Kommunikation fördert. Zur Unterstützung dieser Aufgabe veröffentlichen wir in enger Zusammenarbeit mit der **Gesellschaft für Systems Engineering (GfSE) e.V.** in jeder Ausgabe der KEM Systems Engineering Definitionen zu relevanten Begriffen des Systems Engineerings; Ausgangspunkt hierfür ist die deutsche Übersetzung V. 3.2.2 des Handbuchs Systems Engineering des International Council on Systems Engineering (INCOSE).

Hinweis: Die hier vorgestellten Definitionen stellen wir bewusst zur Diskussion – wir freuen uns über Ihr Feedback dazu per Mail an:

kem.redaktion@konradin.de

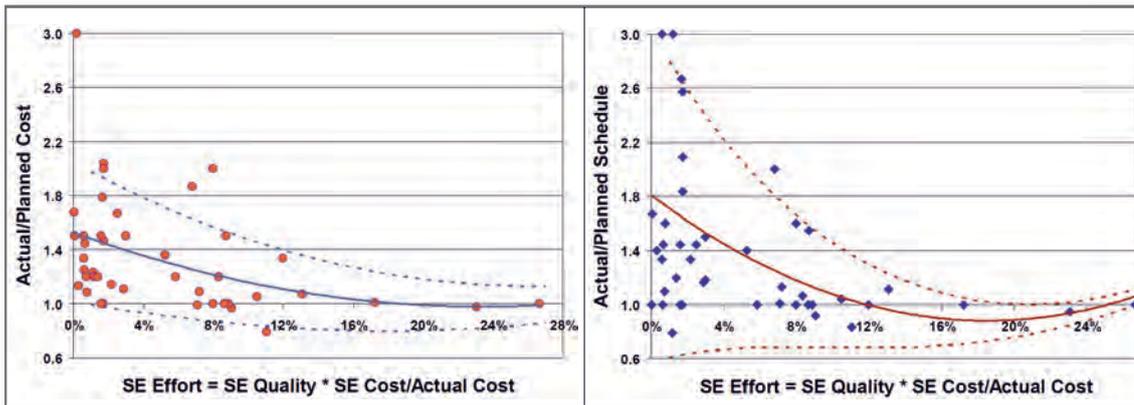


Bild 2: Kosten- und Zeitüberschreitungen in Korrelation mit den Systems-Engineering-Aufwendungen

Quelle: [Hon13]/GfSE

Bild 3: Erweiterte FMEA zur Bestimmung des SE-Rol (Beispiel)

Nr.	Funktion	Fehlerursache	Fehlerfolge	B	A	E	RPZ	Maßnahme	B'	A'	E'	RPZ'	Aufwand	Rol	Kommentar
1	Akteure und Stakeholder ermitteln	Es werden Akteure oder Stakeholder vergessen	1) Dem System fehlen Use Cases 2) Für nicht berücksichtigte Anwender kann das System unbrauchbar sein	9	6	8	432	M1: Systemfunktionalitäten modular aufbauen	9	4	4	144	9.600 €	30,0	Kommentar
								M2: System-Review der Akteure und Stakeholder	9	2	1	18	19.200 €	21,6	Kommentar
								M3: Akteure und Stakeholder ermitteln: Anwender befragen, Recherchen, ...	4	1	1	4'	9.600 €	44,6	Kommentar

Quelle: GfSE

sion genaugenommen ein Qualitätsniveau von 99,99966 %. Man definiert dann aber für den jeweils vorliegenden Fall das notwendige Sigma-Niveau. Bei SE „implementiert“ man jedoch meist unbewusst das „große Ganze“ – statt ebenfalls für das Unternehmen das richtige Niveau zu bestimmen. Zudem: Six Sigma funktioniert nur, wenn es kontinuierlich und dauerhaft in dedizierten Six-Sigma-Projekten zum Einsatz kommt. Mit zahlreichen kleinen Hilfsmitteln werden dann im jeweiligen Projekt enorme Potentiale frei – ein 5S-Workshop schafft definitiv sofortige Transparenz. Aber Hand aufs Herz: Ist das wirklich vergleichbar?

### Beispielprojekte aus der SE-Community

Im Folgenden ein kleiner Überblick über Projekte, die sich mit dem Wertbeitrag des SE auseinandergesetzt haben. Bei allen Ansätzen wird auf die klassischen SE-Prozesse abgezielt (vgl. ISO/IEC 15288). Aufwände für Projektmanagement-Aktivitäten sind noch nicht einberechnet.

- Beim Luftfahrtunternehmen Boeing wurden für drei gleichzeitig ablaufende ähnliche Projekte SE-Aktivitäten in unterschiedlichem Umfang eingesetzt [Fra95] – hier zeigte sich bei erhöhtem SE-Aufwand ein positiver Einfluss auf die Produktqualität und die Projektlaufzeit.
- Rolls-Royce hat durch den Einsatz von SE in mehreren Testprojekten eine Reduktion der fehlerbedingten Designänderungen von 30 - 70 % auf etwa 2 % erreicht [DYY+12, S.135].
- In einer quantitativen Studie wurde von Honour die Korrelation von Budget- und Terminüberschreitungen mit dem investierten SE-Aufwand untersucht [Hon13]. Das Optimum für SE-Aktivitäten lag bei etwa 15 % des Projektbudgets; so erreichten die Überschreitungen ein Minimum (Bild 2). Sowohl weniger als auch mehr Aufwand für SE führten zu schlechteren Ergebnissen.

Das zeigt: Unternehmen sollten zukünftig bei der Planung von Projektbudgets umdenken und zu den klassischen Projektmanagement-Aktivitäten auch Ressourcen für SE einplanen.

Zur Abschätzung des notwendigen Aufwands für SE-Aktivitäten wurden unterschiedliche Modelle entwickelt. Das „Eine“ existiert jedoch nicht. Das ist aber auch nicht schlimm, da grundsätzlich unternehmensindividuell abgewogen werden sollte. „wie viel SE nötig ist.“ Das bekannteste Konzept hierzu ist das CoSysMo – Constructive Systems Engineering

Cost Model [Val05]. Es basiert auf den Phasen der ISO/IEC 15288; die SE-Aktivitäten werden in jeder Phase des Lebenszyklus durchgeführt – jedoch mit unterschiedlicher Intensität. Dadurch ergibt sich eine Verteilung des SE-Aufwandes in Personenmonaten im Lebenszyklus und nach notwendiger Intensität. Ein anderer, pragmatischer Ansatz ist die Erweiterung der bekannten FMEA zur Bewertung der Rentabilität von SE-Methoden. Hier werden Prozessschritte analysiert, um präventiv Fehler bzw. Lücken im Entwicklungsprozess zu erkennen und die Auswirkung zu bewerten. Dann wird die Höhe des Risikos vor und nach der Maßnahme mit den Kosten für die Maßnahmen in Relation gesetzt – Ergebnis: Der Rol für diese Maßnahme (Bild 3) [ESL+13].

### Systems Engineering hat das Potential, Entwicklung und nahestehende Bereiche zu vereinen

Selten wird wirklich offen über den Nutzen und die implementierte Intensität von Systems Engineering gesprochen. Viel wichtiger ist aber: SE hat das Potential, die Entwicklung und nahestehende Bereiche zu vereinen und bietet ein einheitliches Fundament für alle wesentlichen Tätigkeiten zur Erfüllung der Kundenbedürfnisse. Erstmals bietet sich die Chance, mit einem Paradigma alle Stakeholder der Produktentstehung „an Bord zu holen“ – der Einkauf zieht Nutzen bei der Beschaffung, der Vertrieb, der Projektleiter, der Fachexperte... Das INCOSE Systems-Engineering Center of Excellence (SECOE) untersucht genau diesen Return-on-Investment des Systems-Engineering und bestätigt eine gegenläufige Korrelation zwischen den aufgetretenen Kosten- und Zeitüberschreitungen von Projekten und dem Aufwand für das Systems-Engineering.

#### Literaturverzeichnis

- [1] [Fra95]Frantz, W.F.: The Impact of Systems Engineering on Quality and Schedule. INCOSE International Symposium, 5, 1995
- [2] [Hon13]Honour, E.: Systems Engineering Return on Invest. University of South Australia, Adelaide, 2013
- [3] [DYY+12]Dunford, C.; Yearworth, M.; York, D.; Godfrey, P.: A View of Systems Practice: Enabling Quality in Design, Wiley, 2012
- [4] [Val05]Valerdi, R.: The Constructive Systems Engineering Cost Model (CoSysMo), University of Southern California, Los Angeles, 2005
- [5] [ESL+13]Ender, D.; Steffen, D.; Lohberg, A.; Munker, F.: Systems Engineering Return on Investment, TdSE2013, Stuttgart, 2013

## Begriffe des Systems Engineerings – Teil 6

# Systemspezifikation mit MBSE

Durch das wachsende Interesse am Model-Based Systems Engineering (MBSE) kommt immer wieder die Diskussion über die richtige Modellierungssprache und die richtige Modellierungsmethode auf. Hier existieren viele Unklarheiten und genau genommen gibt es auch keine allgemeingültige Antwort. Hier sollen einige Grundlagen dargestellt werden, um dieser Diskussion auf die Sprünge zu helfen.

*Christian Tschirner und Sascha Ackva, Mitglieder des Vorstands der GfSE e.V.*

**Z**iel des MBSE ist ein so genanntes Systemmodell. Es beinhaltet die Spezifikation des in der Entwicklung befindlichen Produkts. Zur Erstellung des Systemmodells bedarf es einer graphischen Modellierungssprache, eines Softwarewerkzeugs und einer Modellierungsmethode. Dieses Zusammenspiel wird häufig in dem MBSE-Dreieck dargestellt (siehe Abbildung) – es bildet den Startpunkt. Erst eine aufeinander abgestimmte Kombination der drei Elemente ermöglicht den wirksamen Einsatz des MBSE in einem Unternehmen. Dabei ist die Modellierungssprache isoliert betrachtet nur ein Ausdrucksmittel. Wie und zu welchem Zweck diese Sprache angewendet wird, wird durch eine Methode festgelegt. Die Methode gibt vor, was spezifiziert werden muss und in welcher Reihenfolge die Informationen entstehen.

## Modellierungssprachen

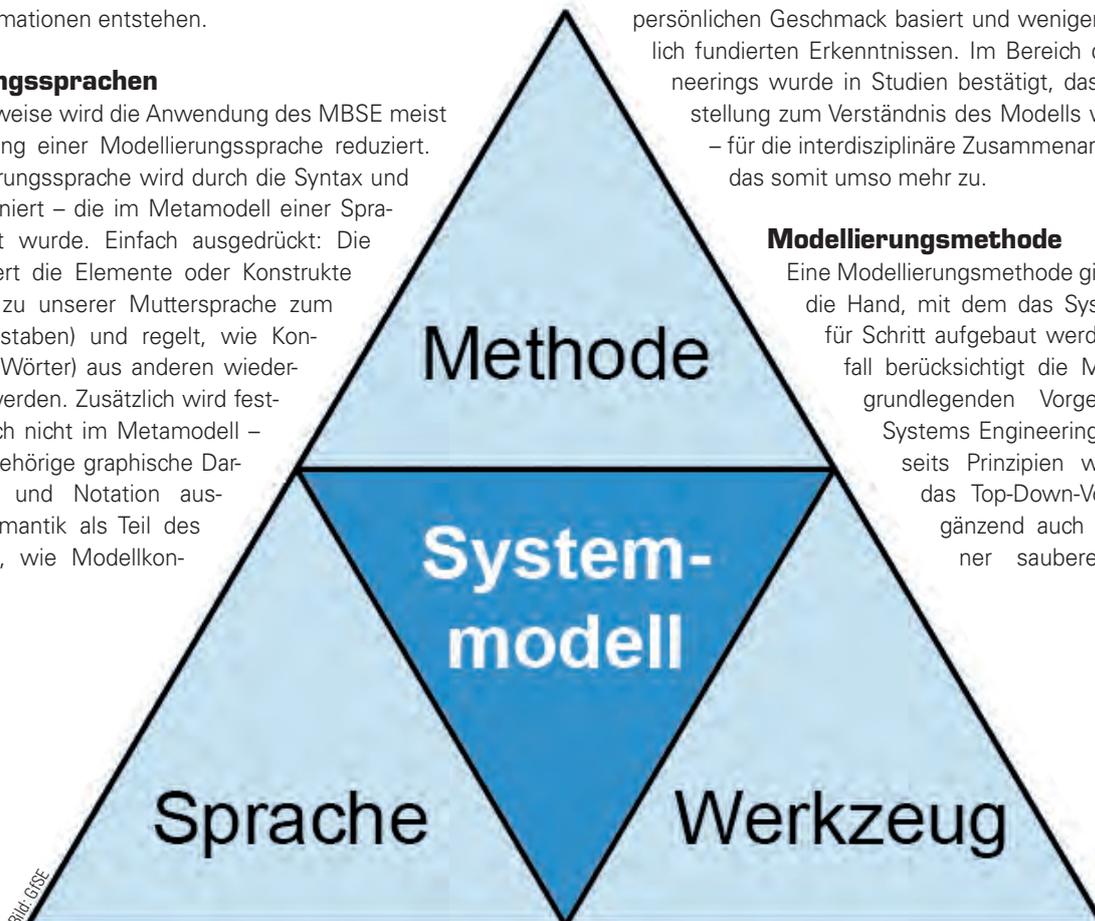
Unglücklicherweise wird die Anwendung des MBSE meist auf die Nutzung einer Modellierungssprache reduziert. Eine Modellierungssprache wird durch die Syntax und Semantik definiert – die im Metamodell einer Sprache erarbeitet wurde. Einfach ausgedrückt: Die Syntax definiert die Elemente oder Konstrukte (im Vergleich zu unserer Muttersprache zum Beispiel Buchstaben) und regelt, wie Konstrukte (etwa Wörter) aus anderen wiederum gebildet werden. Zusätzlich wird festgelegt – jedoch nicht im Metamodell – wie die dazugehörige graphische Darstellungsform und Notation aussieht. Die Semantik als Teil des Modells zeigt, wie Modellkon-

strukte miteinander verknüpft werden müssen, um eine Bedeutung zu haben. Damit ist aber nicht klar, welche Bedeutung ein Element oder eine Verknüpfung im jeweiligen Projektkontext hat.

Die Modellierungssprachen im MBSE setzen vorwiegend auf graphische Darstellungen. Die Vorteile der graphischen Modellierung liegen in der Effektivität und Effizienz in Bezug auf die Bearbeitung, Wahrnehmung und Pflege der Modelle durch den Benutzer. Diese Vorteile werden jedoch nicht vollständig genutzt, da bei der Sprachdefinition die Wichtigkeit der Notation unterschätzt wird – die visuelle Repräsentation wird häufig als trivial angesehen. Die graphische Notation erhält dadurch fälschlicherweise einen ästhetischen Charakter, so dass die Auswahl der Ausdrucksmittel meist auf dem persönlichen Geschmack basiert und weniger auf wissenschaftlich fundierten Erkenntnissen. Im Bereich des Software-Engineerings wurde in Studien bestätigt, dass die visuelle Darstellung zum Verständnis des Modells wesentlich beiträgt – für die interdisziplinäre Zusammenarbeit im MBSE trifft das somit umso mehr zu.

## Modellierungsmethode

Eine Modellierungsmethode gibt ein Vorgehen an die Hand, mit dem das Systemmodell Schritt für Schritt aufgebaut werden kann. Im Idealfall berücksichtigt die Methode dabei die grundlegenden Vorgehensweisen des Systems Engineerings – das sind einerseits Prinzipien wie beispielsweise das Top-Down-Vorgehen, aber ergänzend auch das Definieren einer sauberen Systemgrenze,



Das MBSE-Dreieck als Startpunkt zeigt das Zusammenspiel von Sprache, Methode und Werkzeug

## PLUS

## Im Überblick

MBSE-Modellierungsmethoden (Beispiele):

- SysMod – Systems Modeling Toolbox  
[www.model-based-systems-engineering.com](http://www.model-based-systems-engineering.com)
- CONSENS – **CON**ceptual design **S**pecification Technique for the **EM**ngineering of Complex **S**ystems  
[www.selive.de](http://www.selive.de)
- Harmony/SE  
<http://t1p.de/itvw>
- OPM – Object Process Methodology  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Object\\_Process\\_Methodology](https://en.wikipedia.org/wiki/Object_Process_Methodology)
- oosem – Object-oriented Systems Engineering Method  
[www.omgwiki.org](http://www.omgwiki.org)
- LITHE – nach Ramos  
<http://t1p.de/nybk>

die die Fixierung des so genannten „System-of-Interest“ ermöglicht. Inzwischen haben sich zahlreiche Modellierungsmethoden herausgebildet, wenngleich der Großteil seinen Ursprung in der Softwaretechnik hat. Der Kasten ‚Im Überblick‘ listet einige etablierte Modellierungsmethoden mit Hinweisen zu weiteren Informationen auf.

### Werkzeuge

Bei der Werkzeugwahl muss darauf geachtet werden, was mit der Modellierung grundsätzlich erreicht werden soll. Üblicherweise werden UML-Werkzeuge genutzt, die für das MBSE und beispielsweise die Systems Modeling Language (SysML) angepasst wurden. Die Bandbreite der möglichen Werkzeuge ist sehr groß. Diese Werkzeuge bieten sich an, wenn die Systemspezifikation etwa von mehreren Nutzern gleichzeitig erstellt werden soll oder fortführende Aktivitäten wie die Erzeugung von Softwarecode damit gleichzeitig stattfinden sollen. Für den Zweck einer verbesserten Kommunikation oder eines allgemeinen Systemverständnisses gibt es aber momentan auch noch viele Unternehmen, die zum Beispiel MS Visio für die Systemmodellierung nutzen – dabei akzeptieren sie bewusst den damit verbundenen höheren Aufwand.

### SysML – und dann?

SysML als eine Sprache des MBSE ist inzwischen weit verbreitet. Dennoch: Ein Einsatz allein der Sprache ist im Prinzip gar nicht möglich. Zusätzlich zur entsprechenden Methode muss die SysML als „allgemeingültige“ Sprache immer eine domänenspezifische Ausprägung erfahren. Will heißen: Für eine Anwendung beispielsweise in der Automobilindustrie muss immer noch festgelegt werden, welche Elemente zur Modellierung tatsächlich benötigt werden. Die SysML bietet hierfür nur eine Grundbesohlung – erst durch eine so

genannte Profilbildung wird die Definition eines eigenen, erweiterten Metamodells möglich. Da dieses Profil aber immer auf das Basis-Metamodell der SysML zurückgeführt werden kann, erhält die SysML eine gewisse Mächtigkeit und Allgemeinverständlichkeit. Im Prinzip hat man aber mit der Profilbildung dann eine eigene Sprache definiert.

### Nicht Try-and-Error

Die ersten Schritte mit dem MBSE sind häufig frustrierend. Entwickler oder Projektmanager müssen in andere Vorgehensweisen und ungewohnte Denkwelten eintauchen. Es ist dabei nicht ausreichend, nur das gewählte Tool zu beherrschen. MBSE kann als Weiterentwicklung des klassischen Systems Engineering (SE) betrachtet werden. Deshalb sollten sich potentielle Anwender zunächst mit dem SE im Allgemeinen vertraut machen und dann sukzessive an das MBSE herangehen.

## INFO

## Zu dieser Rubrik

‚In erster Linie geht es um Kommunikation‘ – das war der Titel der Titelstory der ersten Ausgabe der **develop<sup>3</sup> systems engineering**, heute **KEM Systems Engineering**. Tatsächlich wird die Bedeutung von Kommunikation in Projekten häufig unterschätzt. Projekte sind heute höchst interdisziplinär und im Regelfall über Zeitzonen, Kulturkreise und Sprachräume verteilt. Die präzise und konsistente Verwendung von Begriffen wird somit zur Schlüsselkompetenz. Eine der ersten Aufgaben des Systems Engineers im Projekt ist deshalb die Schaffung eines Vokabulars, das eine eindeutige Kommunikation fördert. Zur Unterstützung dieser Aufgabe veröffentlichen wir in enger Zusammenarbeit mit der **Gesellschaft für Systems Engineering (GfSE) e.V.** in jeder Ausgabe der KEM Systems Engineering Definitionen zu relevanten Begriffen des Systems Engineerings; Ausgangspunkt hierfür ist die deutsche Übersetzung V. 3.2.2 des Handbuchs Systems Engineering des International Council on Systems Engineering (INCOSE).

**Hinweis:** Die hier vorgestellten Definitionen stellen wir bewusst zur Diskussion – wir freuen uns über Ihr Feedback dazu per Mail an:

[kem.redaktion@konradin.de](mailto:kem.redaktion@konradin.de)

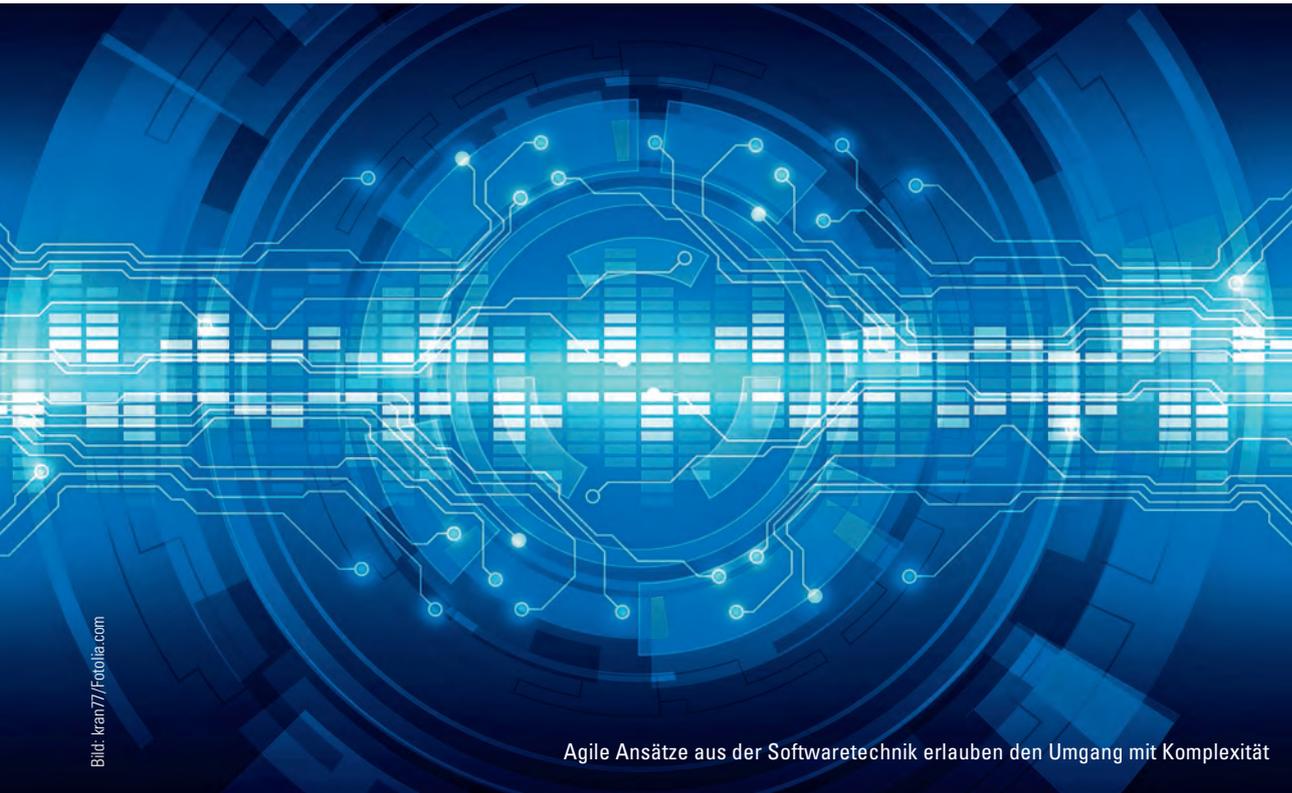


Bild: kran77/Fotolia.com

Agile Ansätze aus der Softwaretechnik erlauben den Umgang mit Komplexität

## Begriffe des Systems Engineerings – Teil 7

# Agile Systementwicklung

Agile Entwicklung ist nichts Neues. Bereits 1991 wurden agile Herstellungsmethoden beschrieben. Im Jahre 2001 wurden dann mit dem Manifesto for Agile Software Development (Beck et al.) die grundlegenden Werte der agilen Entwicklung festgelegt. Diese Ansätze der Softwaretechnik erlauben den Umgang mit Komplexität auf Augenhöhe mit der Dynamik des globalen Wettbewerbs. Ein wesentliches Ziel ist hierbei die Minimierung von Entwicklungszeiten und -kosten. Seit 2012 beschäftigt sich eine Arbeitsgruppe der INCOSE damit, diese agilen Methoden auf die Entwicklung komplexer technischer Systeme abzubilden und entsprechende Methoden zu beschreiben. Heute ist das Systems Engineering im Fokus agiler Methoden.

*Sascha Ackva und Christian Tschirner, Mitglieder des Vorstands der Gesellschaft für Systems Engineering (GfSE)*

**W**as ist eigentlich „agil“? Agil, als Adjektiv betrachtet (die Autoren des Agile Manifesto mochten die Verwendung des Substantivs Agilität gar nicht), hat mehrere Bedeutungen:

- schnell, gewandt, wendig, sowie
- aktiv, geschäftig, lebhaft, aber auch
- die Fähigkeit, mental beweglich und präsent zu sein.

### Das Agile SE Framework

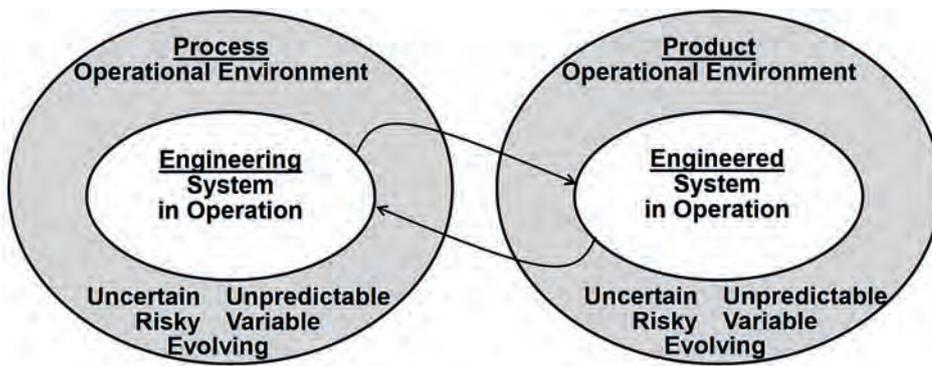
Zu unterscheiden sind ganz deutlich die agile Prozessstruktur und das agile Produkt. Dennoch: Eines ohne das Andere macht wenig Sinn und ist meist sogar kontraproduktiv. Die Notwendigkeit für beides ergibt sich aus dem heutigen Umfeld, welches aufgrund der Nicht-Vorhersehbarkeit, Risiken, Variationen und ständiger Veränderung agile Antwortmechanismen verlangt.

Agilität ergibt sich aber nicht automatisch; das Bewusstsein für eine Reaktion muss vorhanden sein, wenn es soweit kommt, müssen

hierfür Handlungsmöglichkeiten vorliegen und – so banal es klingt: – die angemessene Reaktion muss ausgewählt und umgesetzt werden. Das erfordert eine etwas andere Sicht auf unsere heutigen, meist deterministischen Entwicklungsvorgehensweisen.

Die Prinzipien einer agilen Systementwicklung lassen sich wie folgt zusammenfassen (Kevin Forsberg, et al.):

- Eine agile SE-Prozessarchitektur ist notwendig, um eine vorher-sagbare Anpassung von Zielen, Anforderungen und Plänen zu ermöglichen.
- Eine agile Produktstruktur muss etabliert sein, die eine Anpassung des Produkts während der Entwicklungs- und Produktionsphase auf veränderte Bedürfnisse erlaubt.
- Der „Produkteigner“ trifft mit seiner gesamtheitlichen Systemsicht und mit dem wachsenden Verständnis der Anforderungen Entscheidungen in „Echtzeit“
- Die maximale Mitarbeiterproduktivität hinsichtlich Entwicklung,



### Agile Process requires Agile Product

Quelle: Rick Dove, INCOSE Chair: Agile Systems & Systems Engineering Working Group

Produktion und Kundenzufriedenheit muss sichergestellt sein – obwohl eigentlich täglich von überall her Störfeuer kommen und das Umfeld im Tagesgeschäft instabil und unvorhersehbar ist.

Gerade dieses Prinzip wird im Arbeitsalltag häufig vernachlässigt.

Um agile Systemarchitekturen abbilden zu können, sind drei kritische Elemente notwendig:

- eigenständige, gekapselte Module im Produkt mit definierten Schnittstellen, welche ein Plug & Play erlauben,
- eine passive Infrastruktur, welche die Regeln und Maßgaben zum Plug&Play der Module festlegt und

PLUS

## Agile Prinzipien

- den Kunden zufriedenstellen
- Änderungen willkommen heißen
- häufige Auslieferungen (Feedback)
- crossfunktionale Zusammenarbeit
- Unterstützung leisten und Vertrauen schenken
- direkte persönliche Kommunikation
- funktionierende Lösungen
- nachhaltige Geschwindigkeit  
(nach Röpstorff und Wiechmann)

INFO

## Zu dieser Rubrik

„In erster Linie geht es um Kommunikation“ – das war der Titel der Titelseite der ersten Ausgabe der **develop<sup>3</sup> systems engineering**, heute **KEM Systems Engineering**. Tatsächlich wird die Bedeutung von Kommunikation in Projekten häufig unterschätzt. Projekte sind heute höchst interdisziplinär und im Regelfall über Zeitzonen, Kulturkreise und Sprachräume verteilt. Die präzise und konsistente Verwendung von Begriffen wird somit zur Schlüsselkompetenz. Eine der ersten Aufgaben des Systems Engineers im Projekt ist deshalb die Schaffung eines Vokabulars, das eine eindeutige Kommunikation fördert. Zur Unterstützung dieser Aufgabe veröffentlichen wir in enger Zusammenarbeit mit der **Gesellschaft für Systems Engineering (GfSE) e.V.** in jeder Ausgabe der KEM Systems Engineering Definitionen zu relevanten Begriffen des Systems Engineerings; Ausgangspunkt hierfür ist die deutsche Übersetzung V. 3.2.2 des Handbuchs Systems Engineering des International Council on Systems Engineering (INCOSE).

Hinweis: Die hier vorgestellten Definitionen stellen wir bewusst zur Diskussion – wir freuen uns über Ihr Feedback dazu per Mail an:

kem.redaktion@konradin.de



- eine aktive Systementwicklungs- (Prozess-) Infrastruktur, welche die bedarfsgerechte Modulentwicklung, -verfügbarkeit und -verschaltung ermöglicht.

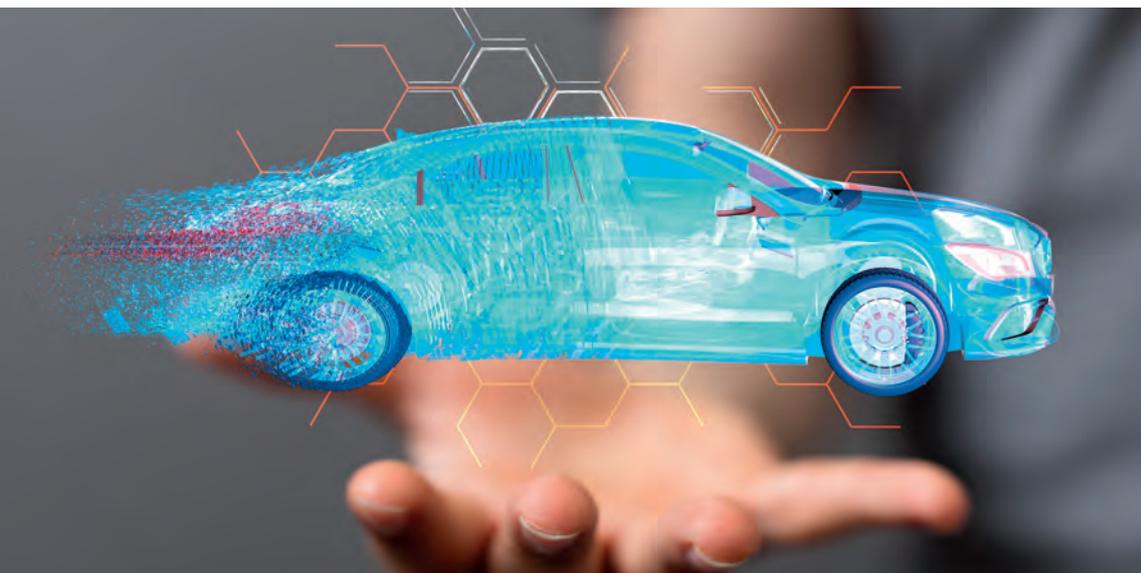
Um dies effektiv abbilden zu können, müssen wiederum drei grundlegende Designprinzipien umgesetzt werden – die der Wiederverwendbarkeit, Rekonfigurierbarkeit und Skalierbarkeit.

Agile SE-Konzepte bieten also ein hohes Potential, Entwicklungsaktivitäten wirksam zu gestalten. Man sollte aber nicht versuchen, agile Praktiken wie SCRUM in eine Organisation zu drücken – in dem Glauben, dass dies besser sei. Die notwendigen Veränderungen – wie oben beschrieben – können eine Organisation schnell sehr stark belasten. Besser ist es, agile SE-Konzepte zu nutzen, um erkannte SE-Probleme zu lösen – also ein punktueller, zielgerichteter Einsatz. In bester Systems-Engineering-Manier gilt auch hier, dass zuerst die Anforderungen analysiert werden sollten, bevor eine Lösung gewählt wird. Das klare Problemverständnis erlaubt dann eine inkrementelle Umsetzung, unter Berücksichtigung der Firmenkultur, des Geschäftsumfeldes und des Entwicklungsprozesses.

Weitere Informationen rund um das Thema „Agile Systems Engineering“ erhalten Sie durch die vielfältigen Publikationen (Systems Engineering Handbook, Papers) der INCOSE.

### Quellenhinweise:

- [1] Rick Dove, „Discovering Agile SE Process Fundamentals at INCOSE“, February, 2016
- [2] <http://www.incose.org/docs/default-source/enchantment/160223-doverick-discovering-agileseprocessfundamentalsatincose-slides.pdf?sfvrsn=2>
- [3] Fowler, M., and Highsmith, J., „The Agile Manifesto“ Dr. Dobb's Journal, August, 2001



Am Beispiel eines Automotive-Projekts gehen wir der Frage nach, ob es möglich ist, die Ebenen des Systems Engineerings und die der ISO 26262 miteinander zu verknüpfen – ohne großen Mehraufwand zu erzeugen und dennoch den Anforderungen beider Vorgehensweisen vollständig gerecht zu werden

Bild: vege/fotolia.com

## Begriffe des System Engineerings (SE) – Teil 8

# Synchronisierung von SE und Functional Safety nach ISO 26262

Um in Projekten einer Systementwicklung erfolgreich zu sein, gilt es unter anderem, die Anforderungen an das System soweit vollständig zu erfassen, dass im Verlauf des Projektes nur kleinere Korrekturen erforderlich werden. Damit bleibt der Änderungsaufwand gering und der Projektablauf wird durch diese Korrekturen nicht behindert.

Rüdiger Prem, GfSE-Mitglied

Um die Erfassung der Systemanforderungen (SysRS) zu erleichtern, werden die im Systems Engineering (SE) verbreiteten Methoden wie beispielsweise eine Stakeholder-Analyse, Untersuchungen aller System-Interfaces und die Identifikation der verschiedenen Funktionsabläufe des Systems durchgeführt. Basierend auf diesen Anforderungen wird eine Systemarchitektur entworfen, bei der die Anforderungen, Funktionen und Schnittstellen der Subsysteme (SubSysRS) erfasst, also spezifiziert werden. Diese Subsysteme werden dann – analog zum Gesamtsystem – als eigene Systeme aufgefasst, die einzeln weiter analysiert, heruntergebrochen und spezifiziert werden.

Mit einer solchen rekursiven Vorgehensweise wird die Komplexität des Gesamtsystemes soweit zerlegt, bis überschaubare Subsysteme oder Komponenten entstanden sind. Falls wirklich alle Anforderungen erfasst, verstanden und korrekt umgesetzt worden sind, sollten in der Systemintegration, also beim Zusammenfügen der Komponenten und Subsysteme, keinerlei Schwierigkeiten auftreten und alle Tests bestanden werden. Wie so oft zeigt allerdings die Realität, dass etwa der Zeitdruck und damit die Parallelisierung von Aktivitäten dazu führt, dass die Entwicklung basierend auf Annah-

men beginnen muss. Dennoch bleibt die möglichst vollständige und widerspruchsfreie Erfassung der Anforderungen der am wenigsten riskante Weg zur erfolgreichen Systementwicklung.

## Übersicht über die Safetyanalyse

Was passiert nun, wenn eine zusätzliche Sichtweise auf das Projekt hinzugefügt wird, beispielsweise weil für ein System im Automotive-Bereich festgestellt wird, dass zumindest eine der benötigten Funktionen Safety-kritisch ist? In diesem Fall kommt ein weiterer Standard ins Spiel, die ISO 26262, der Safety-Standard der in der Automobilindustrie für elektrische/elektronische Systeme verwendet wird. Das führt aber auch zu möglichen neuen Anforderungen an den Entwicklungsprozess. Die Frage lautet dann: Inwieweit lassen sich diese Safety-Prozess-Anforderungen berücksichtigen und lässt sich mit der oben beschriebenen Vorgehensweise das Entwicklungsrisiko minimieren? Um dies zu untersuchen, wollen wir die Vorgehensweise kurz beschreiben, um sie dann mit dem Systems-Engineering-Prozess zu vergleichen und später zu vereinigen.

Zunächst ist eine Definition des ‚Items‘ erforderlich. Dieses beschreibt die auf Fahrzeugebene umzusetzende Funktion sowie das verantwortliche System oder den verantwortlichen Verbund von Systemen. Für dieses Item wird dann eine Hazard- und Risk-Analyse (HARA) durchgeführt, bei der die möglichen Fehlfunktionen und ihre Auswirkungen in verschiedenen Szenarien, unter anderem Fahrsituationen, untersucht werden. Als Ergebnis werden Sicher-

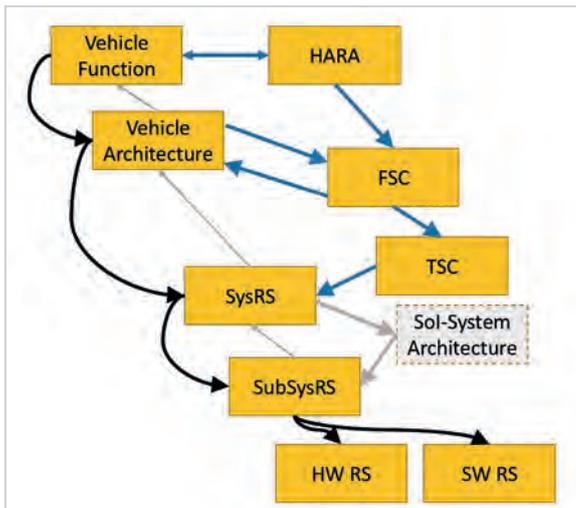


Bild: Autor

Eine Synthese aus dem Systementwicklungs- und dem Safetyprozess

heitsziele (Safety goals) festgelegt und mit dem sich daraus ergebenden Automotive Safety Integrity Level (ASIL) klassifiziert. Im nachfolgenden Functional-Safety-Concept werden diese Sicherheitsziele zu Safety Requirements für die beteiligten Elemente der vorläufigen Fahrzeugarchitektur umgearbeitet. Diese Safety-Anforderungen sollten immer noch implementationsunabhängig beschrieben sein. Erst im nächsten Schritt, dem Technical Safety Concept, werden detaillierte Safety-Anforderungen an die Systemelemente erstellt. Hierbei ist es empfehlenswert, jedem Systemelement ein eigenes Technical Safety Concept (oder zumindest ein Kapitel) zuzuweisen, da diese Elemente in den weiteren Entwicklungsschritten unabhängig behandelt werden. Gemäß ISO 26262 kann nun der Aufbruch in Hardware- und Software-Safety-Anforderungen erfolgen, da die Systemanforderungen für Safety jetzt identifiziert und den Architekturelementen zugewiesen sind.

### Synthese von SE- und Safetyprozess

Soweit sehen sich der linke Teil des V-Modells für den üblichen SE-Entwicklungsprozess und der des Prozesses gemäß ISO 26262 sehr ähnlich. Erst beim zweiten Hinsehen fällt auf, dass die beiden Prozesse eine unterschiedliche Anzahl von Ebenen enthalten, was eine Synchronisierung der Prozesse erschwert. Dabei stellt sich die Frage, ob es eine Vorgehensweise gibt, die eine solche Synchronisierung ermöglicht – und damit die Vermeidung von Reibungsverlusten in der Entwicklung.

Im Folgenden wird ein Vorschlag für eine solche Synchronisierung vorgestellt. Dabei ist interessant zu beobachten, dass die beiden Prozesse tatsächlich nebeneinander laufen können und sich gegenseitig unterstützen: Zunächst wird klassisch die Spezifikation der Funktion auf Fahrzeugebene begonnen. Parallel dazu kann bereits mit der Hazard- und Risk-Analyse begonnen werden, da sie lediglich die Funktionen und ihre Fehlfunktionen auf Fahrzeugebene bewertet. Diese notwendige Information steht typischerweise schon zu Projektbeginn in ausreichender Detailtiefe zur Verfügung. Der nächste Schritt ist dann eine Fahrzeugarchitektur für die Funktion, bei der die großen Bausteine identifiziert und ihre Aufgaben und Schnittstellen definiert werden. Mit dieser Architektur kann dann bereits das Functional Safety Concept (FSC) erstellt werden, da sowohl die Bausteine als auch ihre Aufgaben bekannt sind. Es folgt die Verfeinerung

der Fahrzeugarchitektur. Dabei helfen die Safety-Requirements aus dem FSC dabei, die erforderlichen Teilfunktionen vollständig zu erfassen. Durch ihre Herleitung aus den Safety Goals der HARA sichern sie die Funktion ab, andererseits sind sie konform mit der restlichen Fahrzeugarchitektur, da sie eine Verbindung dorthin haben. Damit erhalten wir eine Fahrzeugarchitektur die sowohl den Safety-Anforderungen als auch funktionalen Anforderungen entspricht.

Die nächsten Schritte finden im Rahmen der Systementwicklung eines Fahrzeug-Teilsystems statt. Der Safety-Ingenieur leitet aus dem FSC unter Berücksichtigung der Architekturkonzepte des eigenen System-of-Interest (Sol) das Technical Safety Concept (TSC) ab. Die anschließend entstehenden Systemanforderungen (SysReq) berücksichtigen hierbei nicht nur die vertraglich festgelegten Kundenanforderungen an das Sol, sondern auch die des TSC. Die Anforderungen der SysRS, die aus dem TSC entstammen, werden in der SRS als Safety-Requirements markiert. Diese Markierung wird über die nachfolgenden Dekompositionsschritte an resultierenden Anforderungen in den Komponentenspezifikationen (SubSysRS) weitergegeben. Wenn nun der Aufbruch in HW- und SW-Requirement-Spezifikationen erfolgt, sind – unabhängig von der Anzahl der Zwischenebenen – Requirements, die für Safety relevant sind, als solche gekennzeichnet und können entsprechend behandelt werden. Da die Anforderungen jetzt Teil der normalen Spezifikation sind, ist es möglich, sie ohne besonderen Aufwand zu bearbeiten – ohne dabei ihre Kritikalität zu übersehen. Mit diesem Ansatz ist es möglich, die Ebenen des Systems Engineerings und die der ISO 26262 miteinander zu verknüpfen, ohne großen Mehraufwand zu erzeugen und dennoch den Anforderungen beider Vorgehensweisen vollständig gerecht zu werden.

co

## INFO

### Zu dieser Rubrik

„In erster Linie geht es um Kommunikation“ – das war der Titel der Titelstory der ersten Ausgabe der **develop<sup>3</sup> systems engineering**, heute **KEM Systems Engineering**. Tatsächlich wird die Bedeutung von Kommunikation in Projekten häufig unterschätzt. Projekte sind heute höchst interdisziplinär und im Regelfall über Zeitzonen, Kulturkreise und Sprachräume verteilt. Die präzise und konsistente Verwendung von Begriffen wird somit zur Schlüsselkompetenz. Eine der ersten Aufgaben des Systems Engineers im Projekt ist deshalb die Schaffung eines Vokabulars, das eine eindeutige Kommunikation fördert. Zur Unterstützung dieser Aufgabe veröffentlichen wir in enger Zusammenarbeit mit der **Gesellschaft für Systems Engineering (GfSE) e.V.** in jeder Ausgabe der KEM



Systems Engineering Definitionen zu relevanten Begriffen des Systems Engineerings; Ausgangspunkt hierfür ist die deutsche Übersetzung V. 3.2.2 des Handbuchs Systems Engineering des International Council on Systems Engineering (INCOSE).

Hinweis: Die hier vorgestellten Definitionen stellen wir bewusst zur Diskussion – wir freuen uns über Ihr Feedback dazu per Mail an:

kem.redaktion@konradin.de

Der Blick aufs Ganze: Mittels Systems Engineering steht dem Konstrukteur eine neue Konstruktionsmethodik zur Verfügung



Bild: it's OWL

Teil 1: it's OWL-Querschnittsprojekt Systems Engineering – Intelligenz in die Maschine bringen

# Intelligente Maschinen erfordern neue Konstruktionsmethodik

Wenn – wie Industrie 4.0 es fordert – Intelligenz in die Maschine kommt, sind neue Arten der Konstruktionsmethodik gefragt. Und wenn Maschinen und ihre Funktionen zunehmend vernetzt werden, liegt es auf der Hand, auch die einzelnen Gewerke der Maschinenkonstruktion besser zu vernetzen. Dieses Ziel verfolgt das it's OWL-Querschnittsprojekt ‚Systems Engineering‘, in dem die Methode des ‚Modell-basierten Systems Engineering‘ – kurz MBSE – weiterentwickelt und für die Praxis nutzbar gemacht wird.

*Dr.-Ing. Roman Dumitrescu, Geschäftsführer it's OWL Clustermanagement GmbH und Leiter Produktentstehung der Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik;  
M. Sc. Martin Rabe, Wiss. Mitarbeiter der Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik*

**P**lakativ formuliert, verfolgt it's OWL das Ziel, Intelligenz in Maschinen und Anlagen zu bringen. Diese Intelligenz muss folglich in die Maschinen ‚hineinkonstruiert‘ werden – und dazu bedarf es neuer Ansätze der Konstruktionsmethodik. Ein Blick auf die aktuelle Vorgehensweise bei der Konstruktion von Maschinen und Anlagen zeigt:

- Die einzelnen Gewerke werden (noch) Schritt für Schritt und unabhängig voneinander entwickelt. Das kostet vergleichsweise viel Zeit, weil die einzelnen Gewerke nur begrenzt synchron arbeiten können.
- Darüber hinaus führt die herkömmliche sequentielle Konstruktion zu ‚suboptimalen‘ Ergebnissen, weil die Optimierungspotenziale aus der Kombination verschiedener Gewerke nicht annähernd vollständig ausgeschöpft werden können.

## Wunsch: Ein integrierter, durchgängiger Entwicklungsprozess

Die Konsequenz daraus: Um intelligenter und effizientere Maschinen zur Serienreife zu bringen, muss die Konstruktionsarbeit, müs-

sen die einzelnen Gewerke besser vernetzt und integriert werden. Genau das ist der Ansatz des ‚Modellbasierten Systems Engineerings‘ (englisch: **Model Based Systems Engineering**; kurz **MBSE**). Der gesamte Entwicklungsprozess wird hier durch ein Systemmodell begleitet, in dem alle Schlüsselanforderungen an das zu konstruierende Produkt bereits zu Beginn festgeschrieben worden sind. Dieses Modell ist und bleibt Grundlage für die Arbeit der einzelnen Konstruktionsdisziplinen – über den gesamten Entwicklungsprozess hinweg.

Der Vorteil ist, dass alle am Prozess Beteiligten stets auf dieses Systemmodell und somit auf einen einheitlichen Projektstatus zurückgreifen können. Das gilt insbesondere für die Konstrukteure der einzelnen Gewerke, die üblicherweise autark mit jeweils spezifischen CAE-Werkzeugen arbeiten. Es gilt aber auch für die anderen ‚Stakeholder‘ des Prozesses wie etwa Einkäufer, Produktionsplaner, Sicherheitsexperten und letztlich den Anwender der Maschine. Nicht zu unterschätzen ist der Nutzen von MBSE im Hinblick auf die interdisziplinäre beziehungsweise gewerkeübergreifende Konstruktion nach dem Grundsatz: „Das Ganze (System) ist mehr als die



Verschiedene Gewerke – ein gemeinsames Systemmodell als Grundlage für die gesamte Entwicklungsarbeit: Das ist ein Grundsatz des Systems Engineerings

Bild: it's OWL

## Hintergrund

Im Technologie-Netzwerk it's OWL – Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe – entwickeln über 170 Unternehmen und Forschungseinrichtungen in 46 Projekten gemeinsam Lösungen für intelligente Produkte und Produktionssysteme. Das Spektrum reicht von intelligenten Automatisierungs- und Antriebslösungen über Maschinen, Fahrzeuge und Hausgeräte bis zu vernetzten Produktionsanlagen. Über ein innovatives Transferkonzept werden neue Technologien für eine Vielzahl von – insbesondere kleinen und mittelständischen – Unternehmen verfügbar gemacht. Ausgezeichnet im Spitzencluster-Wettbewerb des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gilt it's OWL als eine der größten Initiativen für Industrie 4.0 in Deutschland.

[www.its-owl.de](http://www.its-owl.de)

Für mechatronische Systeme ist die Methodik des Modell-basierten Systems Engineerings (MBSE) besonders geeignet

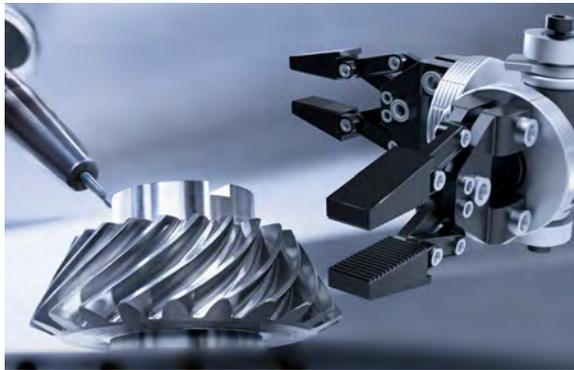


Bild: it's OWL

Summe seiner Teile.“ So kann das Modell-basierte Systems Engineering etwa zu neuen Produkteigenschaften führen und eine deutlich optimierte Maschinenkonstruktion zur Folge haben.

### Nutzung über den gesamten Produktlebenszyklus der Maschine

Ein weiterer Vorteil des MBSE: Das Systemmodell, das mit dem Konstruktionsfortschritt ‚wächst‘, kann auch für die Dokumentation und Instandhaltung, das heißt über den gesamten Produktlebenszyklus der Maschine, genutzt werden. Alle Revisionsstände werden ebenfalls dokumentiert, so dass auch während des Maschinenbetriebs stets ein aktuelles Modell der Maschine zur Verfügung steht. In der Luft- und Raumfahrttechnik sind Entwicklung und Konstruktion von komplexen Systemen mit MSBE bereits bewährt. Nun wird der Ansatz mit Nachdruck auch auf andere Bereiche wie den Maschinen- und Anlagenbau übertragen. Diese Aufgabe verfolgt das

„Das Ganze (System) ist mehr als die Summe seiner Teile.“

Querschnittsprojekt ‚Systems Engineering‘ von it's OWL. Partner dieses Projektes sind die Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik in Paderborn sowie sechs weitere Forschungsinstitute in OWL.

Ganz konkret erarbeiten die Partner ein Instrumentarium für die fachdisziplinübergreifende Entwicklung intelligenter Produkte und

Produktionssysteme. Zu den Disziplinen, deren Entwurfsaktivitäten im System abgebildet werden, gehören der Maschinenbau (Mechanik), die Elektrotechnik, die Software-Entwicklung und die Regelungstechnik.

Auf dieser Grundlage werden Methoden zur Sicherung der Vereinbarkeit unterschiedlicher Modelle entlang der gesamten Produktentstehung erarbeitet. Modellbasierte Synthese- und Analysemethoden, wie zum Beispiel Fehlerbaum- und Risikoanalyse, sichern die spezifizierten Systemeigenschaften. Leitfäden, Werkzeuge und ein Wissenscluster bieten den Unternehmen dazu praxisnahe Unterstützung.

### Technologietransfer in verschiedene Branchen

Die Ergebnisse werden von den Clusterunternehmen validiert und in Projekten eingesetzt, zum Beispiel bei der Entwicklung eines intelligenten Kfz-Scheinwerfers oder bei der intelligenten Verarbeitung von Großbauteilen.

Die bisherigen Projektergebnisse zeigen: Systems Engineering und Model Based Systems Engineering ermöglichen es, mechatronische Systeme effizient und effektiv zu entwickeln. Entwicklungszeiten werden verkürzt, Abstimmungsbedarfe und nachträgliche Änderungen entfallen und die Produktqualität steigt – mit dem Ergebnis, dass sich die Wettbewerbsfähigkeit der teilnehmenden Unternehmen verbessert.

co

#### Hinweis zur Serie:

Das Spektrum der Unternehmen, die an der Erprobung dieser innovativen Konstruktionsmethodik interessiert sind, ist weit gefächert. In den folgenden Ausgaben der develop<sup>3</sup> systems engineering werden im Rahmen dieser Serie einzelne Transferprojekte des ‚Systems-Engineering-Querschnittsprojektes‘ vorgestellt.

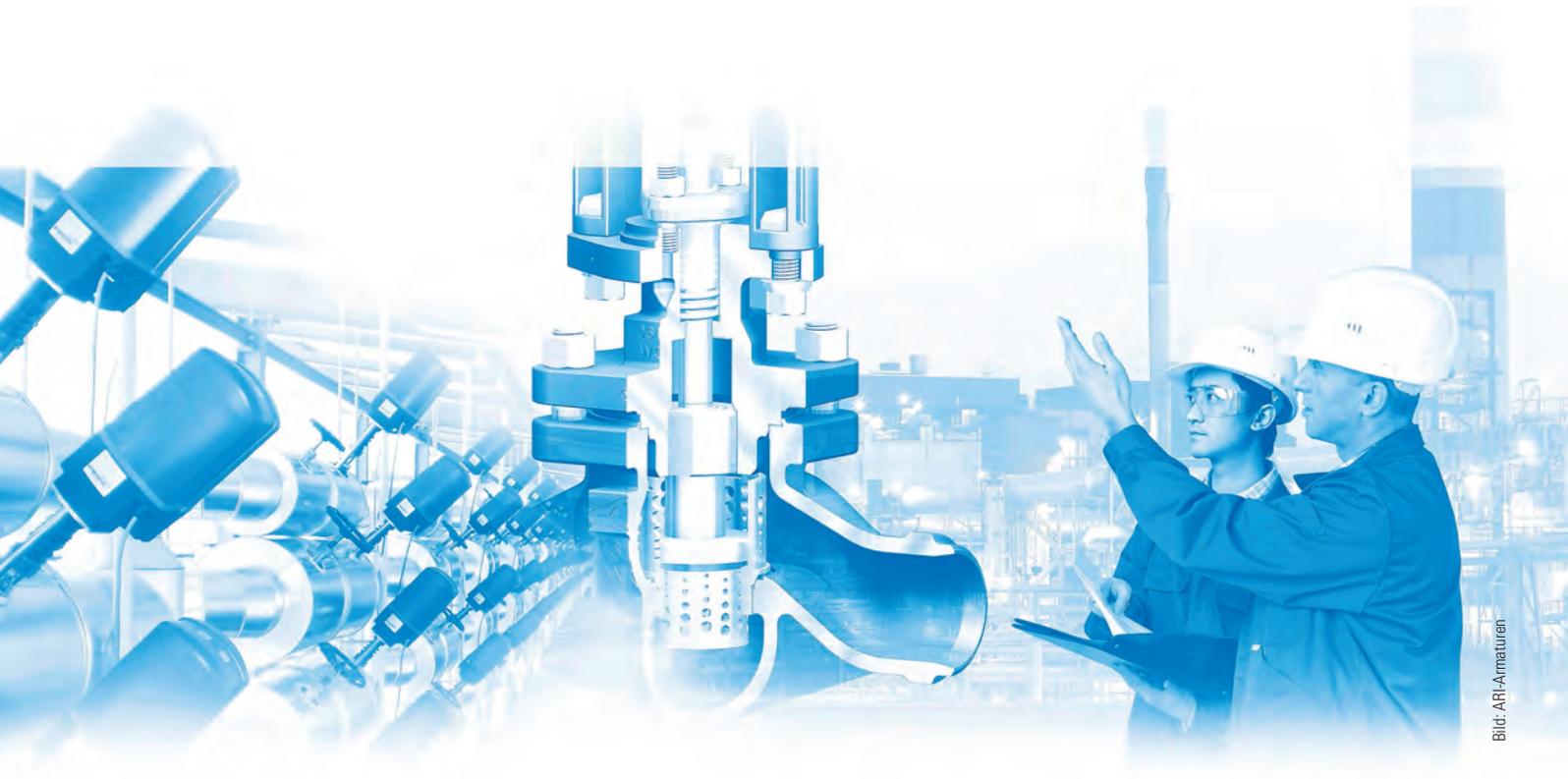


Bild: ARI-Armaturen

Teil 2: it's OWL-Querschnittsprojekt Systems Engineering – Praxisbeispiel ARI-Armaturen

## Umsetzungsplanung via Mechatronikroadmap

Interdisziplinäres Entwickeln à la VDI 2206: Die Produktentwicklung von ARI-Armaturen war bereits gerüstet für die zunehmende Mechatronisierung ihrer Produkte. Mit Methoden des Systems Engineerings hat der Hersteller von Industriearmaturen nun aber einen weiteren Trumpf in der Hand. In Zusammenarbeit mit der Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik entstand ein detailliertes Bild über künftige Erwartungen an die Industriearmatur und die daraus resultierenden Anforderungen an die Produktentwicklung.

*Kirsten Harting, Kommunikation Produktentstehung und Arno Kühn, wissenschaftlicher Mitarbeiter, beide Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik*

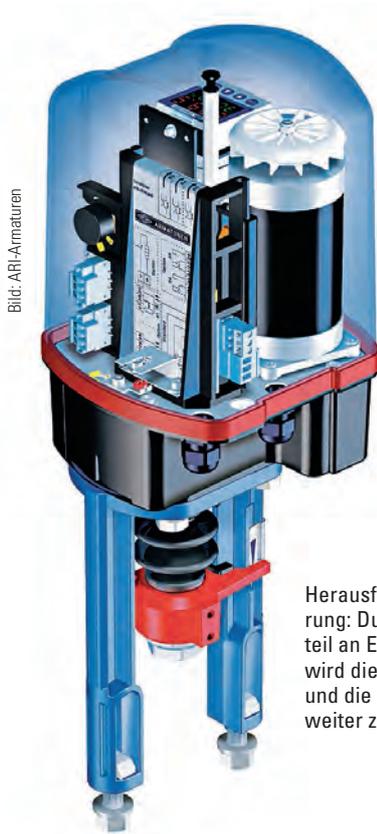
**S**o vielfältig die Einsatzgebiete, so variantenreich ist auch die Produktpalette von ARI-Armaturen. Mehr als 10.000 Produkte in über 100.000 Spielarten stehen zum Regeln flüssiger und gasförmiger Medien zur Auswahl. Der Armaturen-Hersteller aus dem ostwestfälischen Schloss Holte-Stukenbrock bedient die unterschiedlichsten Märkte weltweit, vom Schiffsbau über die Chemieindustrie bis hin zur Gebäudetechnik. Dabei steht fest: Durch den wachsenden Anteil an Elektronik und Software wird die Komplexität der Produkte und damit verbunden auch die der Entwicklung künftig weiter zunehmen.

Schon heute erzielt ARI-Armaturen einen erheblichen Anteil seines Umsatzes mit Regelventilen. Die Chancen liegen auf der Hand: Intelligente Funktionen tragen zu Energieeffizienz und Benutzerfreundlichkeit bei. Die Möglichkeiten sind vielfältig. Für die Produktentwicklung bedeutet das vielleicht keinen Dschungel, aber sicher

doch einen dichten Wald an Innovationspotential, der zunächst schwer zu durchdringen ist. Welche Features werden durch den zunehmenden Anteil an Elektronik und Software ermöglicht? Welche sind überhaupt nachgefragt? Und was bedeutet das für die Produktentwicklung im Unternehmen? Tragen die derzeitigen Entwicklungsprozesse den neuen Herausforderungen Rechnung oder müssen neue Methoden angewendet werden?

### Neue Formen der Funktions- und Strukturmodellierung

Mit diesen Fragen gingen die Ingenieure von ARI in eine Workshop-Reihe, die den Auftakt eines mehrmonatigen Projektes mit der Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik in Paderborn bildete. Begleitet durch SE-Experten der Projektgruppe beschäftigten sich Fachleute aus Mechanik, Hydraulik und Elektrotechnik in den interdisziplinären Workshops mit neuen Formen der Funktions- und Strukturmodellierung. Denn der Systementwurf komple-



**Herausforderung Mechatronisierung:** Durch den wachsenden Anteil an Elektronik und Software wird die Komplexität der Armatur und die ihrer Entwicklung künftig weiter zunehmen

INFO

## Hintergrund

Im Technologie-Netzwerk it's OWL – Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe – entwickeln über 170 Unternehmen und Forschungseinrichtungen in 46 Projekten gemeinsam Lösungen für intelligente Produkte und Produktionssysteme. Das Spektrum reicht von intelligenten Automatisierungs- und Antriebslösungen über Maschinen, Fahrzeuge und Hausgeräte bis zu vernetzten Produktionsanlagen. Über ein innovatives Transferkonzept werden neue Technologien für eine Vielzahl von – insbesondere kleinen und mittelständischen – Unternehmen verfügbar gemacht. Ausgezeichnet im Spitzencluster-Wettbewerb des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gilt it's OWL als eine der größten Initiativen für Industrie 4.0 in Deutschland.

[www.its-owl.de](http://www.its-owl.de)



xer Produkte, darüber herrscht Konsens, ist abhängig von der frühzeitigen Einbindung von Spezialisten unterschiedlicher Disziplinen. Zur Anwendung kam dabei die Spezifikationstechnik **Consens**. Aus der engen Zusammenarbeit zwischen Heinz Nixdorf Institut und Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik entstanden, wird Consens im Spitzencluster Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe (it's OWL) angewendet und weiterentwickelt. Die Fachleute bei ARI lernten Consens als ein zusätzliches Werkzeug kennen, um der Komplexität der zu entwickelnden Produkte Rechnung zu tragen.

Durch Spezifikation mit Consens ist die durchgängige Kommunikation zwischen den Disziplinen gewährleistet. Bei ARI schuf das gemeinsame Erarbeiten von Funktionshierarchie, Umfeldmodell und Wirkstruktur des Systems Armatur ein einheitliches Verständnis über das zu entwickelnde Produkt. „Es war spannend zu sehen, dass bei der Analyse unserer Regelventile die verschiedenen Fachleute miteinander kommuniziert und dabei das Gesamtsystem nicht aus den Augen verloren haben – obwohl der erste mit der Brille des Elektroingenieurs, der zweite mit der des Strömungstechnikers und der dritte mit der der Softwaretechnik daraufgeschaut haben“, schildert Dieter Richter, Leiter Konstruktion & Entwicklung bei ARI-Armaturen seine Eindrücke. „Die mechatronische Systembeschreibung diente als Grundlage für unsere weitere Arbeit im Projekt.“

### Innovationspotentiale identifizieren und strukturieren

Ganz im Sinne des ganzheitlichen Systems Engineerings wurden die geregelte Armatur und ihre künftigen Features in ihrem Gesamtsystem betrachtet. Mit dem Ziel, Ideen und Lösungsansätze für zusätzliche Funktionen und Anforderungen zu identifizieren, ermittelte das Projektteam zunächst die Erfahrungen und Einschätzungen von Mitarbeitern aus allen Unternehmensbereichen. Experten aus Vertrieb, Service und Entwicklung spielten Anwendungsszenarien zu unterschiedlichen Lebensphasen des Produkts durch. Zum Gesamtsystem gehören auch die Markt- und Technologiebereiche, in denen

sich ARI-Armaturen bewegt. Eine Wettbewerbsanalyse sowie das Ermitteln aktueller und absehbarer Markt- und Technologietrends legten weitere Innovationspotentiale offen und vervollständigten die umfangreiche Recherche für die geplante Mechatronikroadmap. Ein Ergebnis stand früh fest: Die Anzahl künftiger Features und die damit verbundenen Anforderungen an Regelventile sind groß. Einige Dutzend Innovationspotentiale waren herausgearbeitet worden – allein aus Ressourcengründen nicht sofort und vor allem nicht gleichzeitig umsetzbar. „Hier erfordert die Planung der Weiterentwicklung technischer Systeme ein systematisches Vorgehen. Nach dem Prinzip der Release-Planung muss realistisch eingeschätzt werden, welche Maßnahmen unter welchen Bedingungen und mit welchem Zeithorizont umgesetzt werden können“, erläutert Arno Kühn, Projektleiter von der Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik das weitere Vorgehen. Thematisch gruppiert und nach wirtschaftlichen Erfolgsaussichten bewertet, konkretisierten die Projektpartner die Innovationspotentiale zu Produktkonzepten. Diese bilden schlussendlich, strukturiert und priorisiert, einen ausführlichen Leitfaden für die künftige Produktentwicklung des Armaturen-Herstellers.

Mit der Roadmap als Rüstzeug hat sich ARI einen umfassenden Überblick geschaffen, sowohl über den heutigen Stand seiner Produkte, technologische Entwicklungen und die darauf auszurichtenden Maßnahmen als auch über die Anforderungen an seine Produktentwicklung. Systems Engineering wird darin auch künftig eine entscheidende Rolle spielen: Die im Projekt erprobten, interdisziplinären Formen der mechatronischen Systembeschreibung sowie die erarbeitete Lasten- und Pflichtenheftstruktur wird das Unternehmen in eigenen Entwicklungsprojekten anwenden. co

#### Hinweis:

Die Mechatronik-Roadmap für Industriearmaturen entstand in Kooperation mit der Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik. Weitere Beispiele für erfolgreiche Transfers von Systems Engineering im Spitzencluster it's OWL finden Sie in kommenden Ausgaben der KEM Systems Engineering.



Teil 3: it's OWL-Querschnittsprojekt SE und Selbstoptimierung – Praxisbeispiel Venjakob Maschinenbau

## Innovative Lackieranlagen per Selbstoptimierung

Sie entstauben, reinigen, beflammen, lackieren und trocknen in einem durchgängigen Prozess: Lackieranlagen stellen komplexe mechatronische Systeme dar. An ihrer systematischen und effizienten Weiterentwicklung hat die Firma Venjakob aus Rheda-Wiedenbrück mit Unterstützung der Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik und des Heinz Nixdorf Instituts gearbeitet. Den Rahmen gab der Spitzencluster it's OWL.

*Kirsten Harting, Kommunikation Produktentstehung, Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik*

Die Lackieranlage Nifco des Unternehmens Venjakob Maschinenbau misst etwa 40 Meter und besteht aus elf einzelnen Systemen: Ihre Aufgabe ist die Oberflächenbeschichtung eines Werkstücks, um es etwa vor Korrosion oder Stößen zu schützen. Der Weg dahin führt über eine Reihe von Prozessschritten: Nifco verfügt über Komponenten zur Entstaubung und Ionisierung, zur Vorbehandlung durch CO<sub>2</sub>-Schneestrahlen (VEN Clean) sowie zur variablen Trocknung der Werkstücke nach der Lackierung (VEN DRY). Die verschiedenen Systeme mit eigener Funktionalität führen zu zahlreichen Schnittstellen und zu einer entsprechend hohen Komplexität. Diese Komplexität, die hohe Varianz der zu lackierenden Werkstücke sowie immer kleiner werdende Losgrößen stellen Venjakob vor die Herausforderung, verstärkt anpassungsfähige Anlagen zu entwickeln.

„Unser Ziel ist es, auch künftig stets optimale Ergebnisse hinsichtlich Lackierqualität und Ausbringungsmenge zu liefern“, erläutert Hubert Runschke, Leiter der Elektrotechnik bei Venjakob. „Beim Auswählen und Zusammenstellen der Anlagenkomponenten, aber auch beim Anpassen einzelner Prozessschritte, gilt es also, mögliche Störungen oder Probleme der Kunden vorherzusehen und diesen intelligent entgegenzuwirken.“ Durch die Zusammenarbeit mit dem Heinz Nixdorf Institut und der Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik ergaben sich hier zahlreiche Handlungsoptionen und Stellhebel für die Weiterentwicklung des Gesamtsystems Lackieranlage.

### Zusammenhänge analysieren und Innovationspotentiale identifizieren

Grundlage für die Weiterentwicklung der Lackieranlage bildete die Analyse von Zusammenhängen zwischen den einzelnen Prozessschritten und Systemen. So dient etwa das Ionisieren und Entstauben dazu, ein mögliches Einlackieren von Staubpartikeln zu vermeiden. Erforderlich macht dies die oft elektrostatisch geladene Oberfläche von Kunststoffwerkstücken: Staubpartikel werden angezogen und setzen

sich fest. Abhilfe schaffen sogenannte Ionisierstäbe, die die Ladung neutralisieren. Partikel werden anschließend problemlos von der Oberfläche abgeblasen; eine einwandfreie Lackierung ist möglich.

„Obwohl die prozessübergreifenden, aber auch -internen Zusammenhänge bei Venjakob bekannt sind, haben wir sie im Rahmen unseres Projektes visualisiert, um in bewährten Anlagen weitere Optimierungspotentiale zu identifizieren“, sagt Peter Iwanek, Projektleiter vom Heinz Nixdorf Institut. Hierzu erstellten die Projektpartner mithilfe der Spezifikationstechnik Consens und der Modellierungssprache Omega

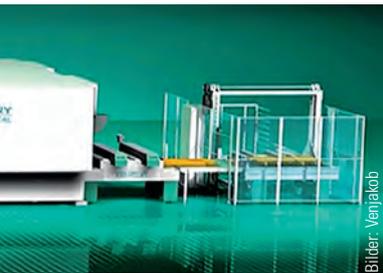
INFO

### Hintergrund

Im Technologie-Netzwerk it's OWL – Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe – entwickeln über 170 Unternehmen und Forschungseinrichtungen in 46 Projekten gemeinsam Lösungen für intelligente Produkte und Produktionssysteme. Das Spektrum reicht von intelligenten Automatisierungs- und Antriebslösungen über Maschinen, Fahrzeuge und Hausgeräte bis zu vernetzten Produktionsanlagen. Über ein innovatives Transferkonzept werden neue Technologien für eine Vielzahl von – insbesondere kleinen und mittelständischen – Unternehmen verfügbar gemacht. Ausgezeichnet im Spitzencluster-Wettbewerb des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gilt it's OWL als eine der größten Initiativen für Industrie 4.0 in Deutschland.

[www.its-owl.de](http://www.its-owl.de)



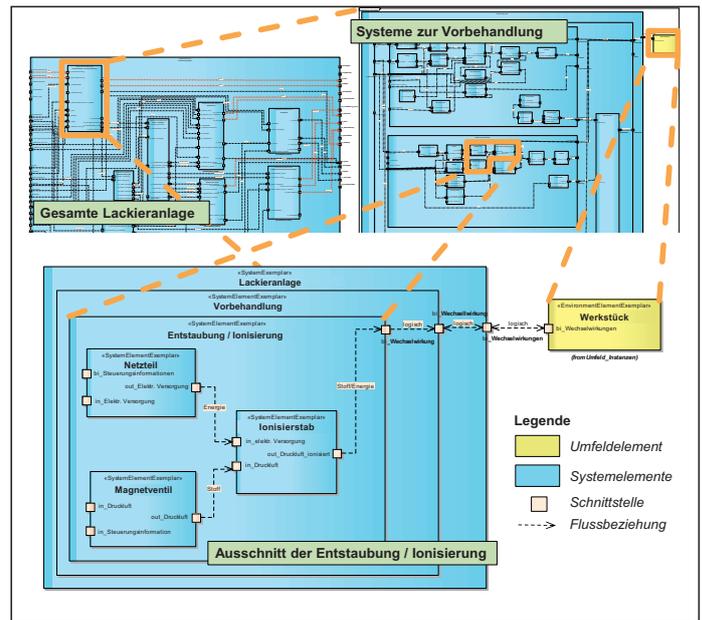


Verschiedenste Systeme mit jeweils eigener Funktionalität: Lackieranlagen verfügen über Komponenten zur Entstaubung und Ionisierung, zur Vorbehandlung durch CO<sub>2</sub>-Schneeestrahlen sowie zur variablen Trocknung

Bilder: Venjakob



VEN Spray Vario ist der neueste Lackierautomat von Venjakob



Auf Grundlage der disziplinübergreifenden Systemspezifikation, hier in der Software Enterprise Architect, war es möglich, Störungen oder ungewünschte Verhaltensweisen sowie deren Ursachen für das System Lackieranlage zu identifizieren

ein gemeinsames Systemmodell. Dieses bildet sowohl die Struktur als auch das Verhalten der einzelnen Komponenten des komplexen mechatronischen Systems Lackieranlage disziplinübergreifend ab: Alle am Projekt beteiligten Experten der verschiedenen Disziplinen (Konstruktion, Elektrotechnik, Vertrieb etc.) erhalten auf diese Weise eine verständliche Sicht auf das System. Auf Grundlage dieser disziplinübergreifenden Systemspezifikation war es möglich, in einem ersten Schritt Störungen oder ungewünschte Verhaltensweisen sowie deren Ursachen für das System Lackieranlage zu identifizieren. Fragestellung vor dem Hintergrund der Ionisierung war, warum es dennoch passieren könnte, dass sich noch Staubpartikel auf dem Werkstück befinden. Die Projektpartner identifizierten die potentiellen Störungen und ihre Ursachen und bereiteten sie systematisch auf. Für den Störfall einer unzureichenden Ionisierung wurde als Ursache etwa die mögliche Verschmutzung des Ionisierstabes oder eine falsche Einstellung des Netzteils in Abhängigkeit von dem jeweiligen Werkstück ermittelt.

### Lösungen aus dem Kontext der Selbstoptimierung

Basierend auf dieser Störungsanalyse folgte in einem zweiten Schritt das Herausarbeiten von Maßnahmen, um diese zukünftig zu vermeiden. Ziel der Projektpartner war dabei der Einsatz von Technologien aus dem Bereich der Selbstoptimierung (beispielsweise virtuelle Sensorik, Condition Monitoring oder mathematische Optimierungsverfahren), die das Verhalten des Systems intelligenter machen sollen. Selbstoptimierende Systeme können ihr Systemverhalten autonom und flexibel auf sich ändernde Umfeldbedingungen anpassen oder auf Störungen reagieren. „Gerade unsere komplexen Lackieranlagen profitieren von den neuen Technologien der Selbstoptimierung, da zum Beispiel eine manuelle Überwachung von Zuständen der Anlage oftmals zeitintensiv ist“, betont Hubert Runschke.

Mit Kenntnissen über die physikalischen Zusammenhänge zwischen Störung und Ursache ermittelten die Projektpartner technische Möglichkeiten, um ungewünschte Verhaltensweisen und potentielle Störungen

des Systems Lackieranlage zu vermeiden, zu detektieren oder auf diese zu reagieren. Besonderes Interesse galt dabei der Sensorik und den Fragen, was die bereits integrierten Sensoren leisten und welche Potentiale sich aus zusätzlicher Sensorik ergeben. Für die Ionisierstäbe ermittelten die Projektpartner gleich zwei mögliche Maßnahmen, um ein verbessertes Systemverhalten zu erreichen. So könnte künftig mit Condition-Monitoring-Ansätzen der Zustand der Stäbe kontinuierlich überwacht oder über die Integration zusätzlicher Sensorik deren Differenzladung über die Laufzeit erfasst werden.

Eine ganze Reihe von Potentialen der Selbstoptimierung stehen Venjakob Maschinenbau nun zur Weiterentwicklung seiner Lackieranlagen zur Verfügung. Unter Berücksichtigung von Unternehmensstrategie, Technologie- und Marktbetrachtung werden diese nun zu konkreten Handlungsoptionen ausgearbeitet und in eigenständige Projekte der unternehmensinternen Forschung und Entwicklung überführt.

Übrigens: Neue Erkenntnisse verbucht nicht allein der Industriepartner des Projekts: Auch die Wissenschaftler von Fraunhofer und Heinz Nixdorf Institut ziehen aus der Kooperation mit Venjakob ihren eigenen Nutzen, so wie es das Technologie- und Transferkonzept des Spitzenclusters it's OWL beabsichtigt. Neben der Validierung ihrer Ansätze zur Identifikation von Potentialen der Selbstoptimierung – Fazit praxistauglich! – evaluierten sie die Tauglichkeit eines Software-Werkzeugs zur Systemmodellierung. „Wir haben das im Projekt entworfene Systemmodell in der Software Enterprise Architect mithilfe des Profils Consens4SysML abgebildet – in dieser Konstellation ein Pilotprojekt, mit dessen Ergebnis wir sehr zufrieden sind“, so Peter Iwanek. Nicht nur die Komponente Ionisieren sondern das gesamte gemeinsam erarbeitete Systemmodell der Lackieranlage ist nun rechnergestützt dokumentiert und steht Venjakob damit für weitere Projekte zur Verfügung.

co

## Teil 4: Technologiesprung per Mechatronisierung – Praxisbeispiel Poppe + Potthoff Präzisionsstahlrohre

# Kontrollierter Kaltzug

Das Familienunternehmen Poppe + Potthoff Präzisionsstahlrohre GmbH macht eine Fertigungslinie für Präzisionsstahlrohre mit intelligent vernetzter Mess- und Sensortechnik fit für die Zukunft: Industrie 4.0. Im Rahmen eines Projektes arbeitet das Unternehmen am Technologiesprung für seine Kaltziehbank. Gemeinsam mit dem Fraunhofer IEM entwickelt Poppe + Potthoff ein Konzept für die Mechatronisierung – mit Pionierfunktion für den gesamten Anlagenpark.

*Kirsten Harting, Kommunikation Produktentstehung, Fraunhofer IEM*



Bild: Poppe + Potthoff

Eine Kaltziehbank von Poppe + Potthoff wird als erste einen Technologiesprung im Sinne einer bedarfsgerechten Mechatronisierung machen: Sie wird mess- und steuerungstechnisch aufrüstet

**S**tahlrohr ist nicht gleich Stahlrohr: Der spätere Anwendungszweck bestimmt die Qualitätsansprüche an das verarbeitete Metall genauso wie das Herstellungsverfahren. So werden etwa Präzisionsstahlrohre mit besonders kleinen Toleranzen durch Kaltzug gefertigt. Zwischen dem unverarbeiteten Rohling und dem maßgeschneiderten Rohr liegt dabei eine komplexe Prozesskette. „Die Qualität der Endprodukte hängt maßgeblich von einem reibungslosen Ablauf und grundlegender Kenntnis der Einflussfaktoren aus dem Prozess ab“, erläutert Bengt-Hennig Maas, Technischer Leiter bei der Poppe + Potthoff Präzisionsstahlrohre GmbH. „Störungen an einer Maschine wirken sich auf den Betrieb anderer aus – am Ende stehen Produktionsfehler oder ungewollte Maschinenstillstände durch defekte Werkzeuge.“

Prozessstabilität lautet das Stichwort. Die Einbindung mechatronischer Komponenten und intelligenter Datenauswertung machen es möglich. Sowohl der Zustand der einzelnen Maschinen und ihr Ineinandergreifen im gesamten Fertigungsprozess als auch die Produktmerkmale müssen stetig überwacht werden. Die Chancen liegen auf der Hand: Ungeplante Stillstände der Anlage können verhindert, Fehler besser rückverfolgt und der Produktausschuss verringert werden.

## Aufrüsten mit neuen Technologien

Wie bei vielen kleinen und mittleren Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus ist der Maschinenpark von Poppe + Potthoff über Jahrzehnte gewachsen. Dementsprechend vielfältig sind die vorhandenen Anlagen. „Unsere ‚alten Schätzchen‘ sind produktiv und erfüllen ihren Zweck; eine komplette Erneuerung der Anlagen ist somit nicht notwendig und unter finanziellen Gesichtspunkten nicht sinnvoll“, erklärt Bengt-Hennig Maas die Ausgangssituation des Unternehmens. Bei der schrittweisen Aufrüstung ist also Kreativität gefragt – und eine systematische Herangehensweise. Zusammen mit dem Fraunhofer IEM integrieren Maas und sein Team nun neue Technologien in bestehende Anlagen.

Die mechatronische Optimierung der Prozess- und Maschinenüberwachung erfolgt bedarfsgerecht. Nach dem Retrofit-Prinzip analysieren die Projektpartner, wo genau eine Verbesserung vorhandener oder die Ergänzung neuer Mess- und Steuerungstechnik notwendig ist. „Bedarfsgerecht meint für uns nicht, die Grenzen des technisch Möglichen auszuloten“, berichtet Dr.-Ing. Christian Henke, Fraunhofer IEM. „Vielmehr sollen diejenigen Stellhebel angegangen werden, die unter den gegebenen Rahmenbedingungen den größten Nutzen stiften.“ Die Referenzanlage des gemeinsamen Projekts ist eine Rohrziehmaschine des Unternehmens. Hier entstehen präzise Sonderanfertigungen.

Eine gelungene Kooperation: Poppe + Potthoff Präzisionsstahlrohre ist Partner des Spitzenclusters it's OWL. Von links nach rechts: T. Lobert, R. Schöwerling, K. Fischer, B. Maas (Poppe + Potthoff Präzisionsstahlrohre), M. Krüger, M. Borzykh, L. Weigel, C. Fechtelpeter (Fraunhofer IEM)



Bild: Poppe + Potthoff

## Ganzheitliches Prozesswissen

Grundlage für die bedarfsgerechte Optimierung der Steuerungs- und Messtechnik ist eine umfassende Kenntnis über den Produktionsprozess sowie seine störenden und qualitätsbestimmenden Faktoren. Umfangreiches Prozesswissen schließt aber auch die Betrachtung der organisatorischen Abläufe und Abhängigkeiten mit ein:

- Für welche Daten interessiert sich der kaufmännische Leiter genau?
  - Welche Messtechnik erlaubt es, Daten für die unterschiedlichen Sichten der jeweiligen Produktionsverantwortlichen zu erfassen?
- Die ganzheitliche Systembetrachtung der Referenz-Rohrziehmaschine erarbeitet das Projektteam mithilfe eines Prozessmodells. „Prozesswissen spielt für uns eine immer größere Rolle“, so Bengt-Henning Maas weiter. „Dabei wollen wir unsere Mitarbeiter nicht überwachen – vielmehr steht im Vordergrund, schnell reagieren zu können und eine Datenbasis für die stetige Verbesserung und Extrapolation aus bekannten Prozessfenstern hinaus zu erhalten.“

Nach der Analyse des Ist-Zustandes ermittelt das Projektteam, welche weiteren Prozessdaten erforderlich sind, um den Fertigungspro-

zess möglichst umfassend zu überwachen. Dabei bezieht es Erfahrung und technisches Expertenwissen der Mitarbeiter ein. Verschiedene Einsatzszenarien zeigen thematisch abgegrenzte Umsetzungsoptionen auf. Eine Potenziallandkarte verdeutlicht die vielfältigen Zusammenhänge und Schnittmengen. Am Ende steht eine detaillierte Beurteilung aller Szenarien. Kriterien sind die gewünschten Funktionalitäten und ihre technische Realisierbarkeit sowie die damit verbundenen Aufwände und der absehbare Zeitkorridor.

## Vision Intelligente Fabrik

Für die Kaltziehbank von Poppe + Potthoff entsteht im Rahmen des Projekts ein detaillierter Fahrplan für die bedarfsgerechte Mechatronisierung. Geeignete zusätzliche Sensorik, Steuerung und Aktorik werden ausgewählt und mit „einem Preisschild versehen“. Die Rohrziehmaschine wird zum Demonstrator für das erarbeitete Konzept, das langfristig auch auf weitere Anlagen angewendet werden soll. „Unsere Ergebnisse haben doppelten Nutzen für Poppe + Potthoff“, erläutert Christian Fechtelpeter, Fraunhofer IEM. „Durch unser Konzept bauen wir langfristig nutzbares Prozesswissen auf und gleichzeitig gehen wir in die exemplarische Umsetzung, die den direkten Nutzen verdeutlicht.“

In der Vision der Industrie 4.0 erfolgt die Prozessregelung der intelligenten Fabrik durch autonome Eingriffe der Maschinen auf Basis vernetzter Sensor- und Regelungstechnik. Intelligente technische Systeme ermöglichen eine Online-Prozess- und Zustandsüberwachung. Mit dem Projekt unternimmt Poppe + Potthoff erste Schritte zur datentechnischen Erweiterung seiner Produktion. „Industrie 4.0 in all seinen Facetten gibt es bei uns heute nicht und morgen sicher auch nicht“, so Bengt-Henning Maas abschließend. „Wir sind aber auf den Digitalisierungszug aufgesprungen, können an den technologischen Neuerungen partizipieren und uns damit dem Wettbewerb stellen.“

co

## INFO

### Hintergrund

Im Technologie-Netzwerk it's OWL – Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe – entwickeln über 170 Unternehmen und Forschungseinrichtungen in 46 Projekten gemeinsam Lösungen für intelligente Produkte und Produktionssysteme. Das Spektrum reicht von intelligenten Automatisierungs- und Antriebslösungen über Maschinen, Fahrzeuge und Hausgeräte bis zu vernetzten Produktionsanlagen. Über ein innovatives Transferkonzept werden neue Technologien für eine Vielzahl von – insbesondere kleinen und mittelständischen – Unternehmen verfügbar gemacht. Ausgezeichnet im Spitzencluster-Wettbewerb des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gilt it's OWL als eine der größten Initiativen für Industrie 4.0 in Deutschland.

[www.its-owl.de](http://www.its-owl.de)



## Teil 5: it's OWL-Querschnittsprojekt SE und Mobile Automation – Praxisbeispiel Claas

# Der intelligente Ladewagen

Landmaschinen werden künftig immer intelligenter arbeiten. Damit das ein Erfolg wird, erprobt Claas in Kooperation mit dem Fraunhofer IEM und Dassault Systèmes Methoden des Systems Engineering. Das daraus entstandene Entwicklungsprojekt Claas Cargos wurde auf der Hannover Messe zum realistischen Anschauungsbeispiel aus der Praxis, das die Vorteile der Methoden in der software-gestützten Produktentwicklung verdeutlichte.

*Kirsten Harting, Kommunikation Produktentstehung, Fraunhofer IEM*

**R**ollenwechsel der Landmaschinen: Bei Claas bestimmt inzwischen das Anbaugerät, wie schnell sich sein Traktor über das Feld bewegt. Ein Beispiel dafür ist der Claas Cargos. Der Ladewagen sammelt Informationen zu Menge und Beschaffenheit des Grasses, berechnet die optimale Fahrtgeschwindigkeit und sendet sie an den Traktor. Dieser regelt daraufhin seine Geschwindigkeit und wird vom ehemals führenden zum ausführenden Part des Gesamtgepens. Das Ergebnis ist eine ideale Maschinenauslastung, bei der der Fahrer deutlich entlastet und das Ernteergebnis optimiert wird. Grundlagen für den intelligenten Ladewagen sind Sensorik, eine umfangreiche Steuergerätetechnik und eine hochintegrierte Schnittstelle zum Traktor. Früher rein mechanische Systeme entwickeln

Auf der Hannover Messe gliederte sich das Systems-Engineering-Projekt in das Product-Lifecycle-Management der 3DExperience-Plattform von Dassault Systèmes ein, das in Kooperation mit Claas an verschiedenen Stationen gezeigt wurde

sich damit auch bei Claas zu intelligenten technischen Systemen. Bis der Cargos allerdings auf dem Feld mit seinen Sensoren messen und über intelligente Schnittstellen kommunizieren konnte, standen die Ingenieure vor einer komplexen Entwicklungsaufgabe. Daraus entstanden ist die heute am Markt erhältliche Softwarelösung ICT Cruise Pilot – ein intelligentes mechatronisches System für die Steuerung der Fahrgeschwindigkeit des Traktors über sein jeweiliges Anbaugerät.

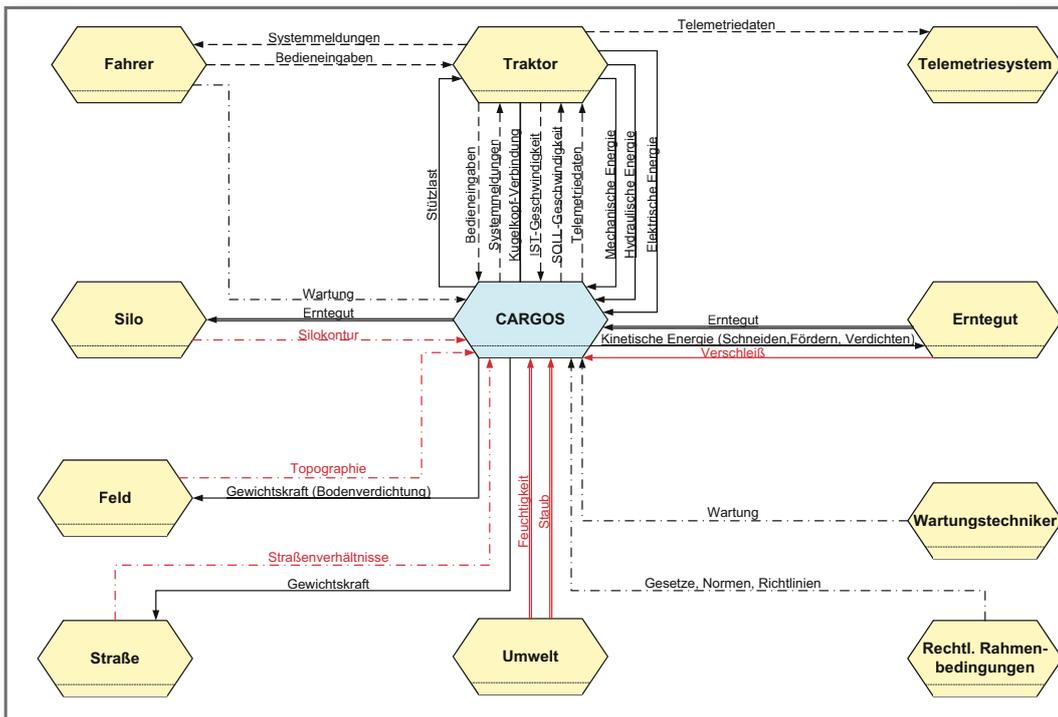
### Systems Engineering als effektive Herangehensweise

Dass die Komplexität in Zukunft jedoch noch weiter zunimmt, davon ist das Unternehmen überzeugt. „An die Entwicklung von Claas werden derzeit ganz neue Herausforderungen gestellt“, erläutert Torsten Krafczinski, Projektleiter bei Claas. „Wir müssen verstärkt und von Beginn an auf die unterschiedlichen Schnittstellen unseres Entwicklungsprojektes achten: Sowohl technisch als auch organisatorisch eine fordernde Aufgabe.“ Schon bei der Entwicklung des Cargos stellten sich die Ingenieure deshalb die Frage, welche neuen Herangehensweisen der steigenden Vielschichtigkeit in der Entwicklung Rechnung tragen können. Systems Engineering (SE) ist dabei ein effektiver Ansatz. Zur Entwicklung der Funktion ICT Cruise Pilot wurde er daher erprobt. In Kooperation mit der Fraunhofer-Einrichtung für Entwurfstechnik Mechatronik IEM und Dassault Systèmes bauten die Claas-Entwickler ein Systemmodell auf und bildeten es in Vorbereitung auf die diesjährige Hannover Messe in der 3DExperience Plattform von Dassault Systèmes ab.

Der erste Schritt dafür war die Erarbeitung eines gemeinsamen Verständnisses des Gesamtsystems Cargos. Dafür kam Consens zum Einsatz, eine Methode des Model-Based Systems Engineering. „Mit Consens beschreiben wir das zu entwickelnde System aus sieben verschiedenen Perspektiven, den sogenannten Partialmodellen“, erläutert Jörg Heihoff-Schwede vom Fraunhofer IEM. Die ersten Modelle, wie das Umfeldmodell, die Anwendungsszenarien, Funktionen und die Wirkstruktur entstanden im Workshop per Kartentechnik. Neben dem Gesamtsystem des Cargos erstellten die Projektpartner auch Modelle des ICT Cruise Pilot. Dann wurden alle Partialmodelle in der



Bild: OWL



Model-Based Systems Engineering ermöglicht es, den Cargos durch verschiedene Partialmodelle – hier das Umfeldmodell – zu beschreiben

Bild: Claas

3DExperience-Plattform abgebildet, um eine spätere durchgängige softwaregestützte Entwicklung zu ermöglichen. „Alle Systemmodelle stehen zueinander in Beziehung und ergeben ein konsistentes Ganzes. Die Kenntnis über die Wechselwirkungen und Beziehungen innerhalb des Gesamtsystems sind für die erfolgreiche Entwicklung ausschlaggebend“, sagt Jörg Heihoff-Schwede.

### Frühzeitige Identifikation der Einwirkungen auf das Regelungssystem

Die gründliche Systemmodellierung zu Projektbeginn macht sich also bezahlt. Aus Umfeldmodell und Anwendungsszenarien etwa identifizierten die Projektpartner Einwirkungen auf das Regelungssystem des Cargos. Wie reagiert das Steuergerät des Ladewagens auf Eingangs- und Ausgangsgrößen und wie werden diese verarbeitet? So konnten die Projektpartner bereits in der Workshop-Phase wichtige Informationen für die spätere softwaretechnische Umsetzung ziehen. „Mit Hilfe der Claas-Ingenieure konnten wir in kürzester Zeit die bestehenden CAD-Daten des Cargos gemeinsam mit den erarbeiteten Systemmodellen in die 3DExperience-Plattform einbinden und so ein durchgängiges Engineering ermöglichen“, erläutert Robert Klein, Systems Engineering-Solution Consultant, Dassault Systèmes. Für die Entwicklung intelligenter Landmaschinentechnik könnte Systems Engineering auch künftig eine Option sein. „Das methodische Herangehen in einem gemeinsamen Workshop haben wir als sehr zielführend für das weitere Vorgehen im Entwicklungsprozess empfunden. Innerhalb eines Workshop-Tages konnten wir alle relevanten Informationen identifizieren. Noch ein Vorteil: alle Entwickler waren gleich zu Beginn im Austausch“, sagt Torsten Krafczinski.

### Hannover Messe bildet Projektabschluss

Besucher der Hannover Messe konnten sich am Messestand von Dassault Systèmes einen Eindruck vom Systems-Engineering-Projekt verschaffen. Das in die 3DExperience-Plattform integrierte

INFO

## Hintergrund

Im Technologie-Netzwerk it's OWL – Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe – entwickeln über 170 Unternehmen und Forschungseinrichtungen in 46 Projekten gemeinsam Lösungen für intelligente Produkte und Produktionssysteme. Das Spektrum reicht von intelligenten Automatisierungs- und Antriebslösungen über Maschinen, Fahrzeuge und Hausgeräte bis zu vernetzten Produktionsanlagen. Über ein innovatives Transferkonzept werden neue Technologien für eine Vielzahl von – insbesondere kleinen und mittelständischen – Unternehmen verfügbar gemacht. Ausgezeichnet im Spitzencluster-Wettbewerb des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gilt it's OWL als eine der größten Initiativen für Industrie 4.0 in Deutschland.

[www.its-owl.de](http://www.its-owl.de)



Consens-Systemmodell des Cargos gliederte sich in das Product-Lifecycle-Management der Plattform ein, das in Kooperation mit Claas an verschiedenen Stationen gezeigt wurde. „Das gemeinsame Messekonzept mit einem Anwenderunternehmen und einem Forschungspartner ermöglichte uns, realistische Anschauungsbeispiele aus der Praxis zu schaffen und damit die Vorteile des Systems Engineering in der softwaregestützten Produktentwicklung zu verdeutlichen“, so Robert Klein.

co

Teil 6: it's OWL-Querschnittsprojekt Systems Engineering – Praxisbeispiel Accumotive

# Hochleistungs-Stromspeicher effizient entwickeln

Hochvoltbatterien bilden zusammen mit Elektromotoren die Herzstücke des Elektroautos. Die Stromspeicher mit besonders hoher Energiedichte auf engem Raum sind technisch hochkomplex, was ihre Entwicklung sehr anspruchsvoll macht. Grund genug für ihre Hersteller, sich mit innovativen Entwicklungsmethoden zu beschäftigen.

Kirsten Harting, Kommunikation Produktentstehung, Fraunhofer IEM

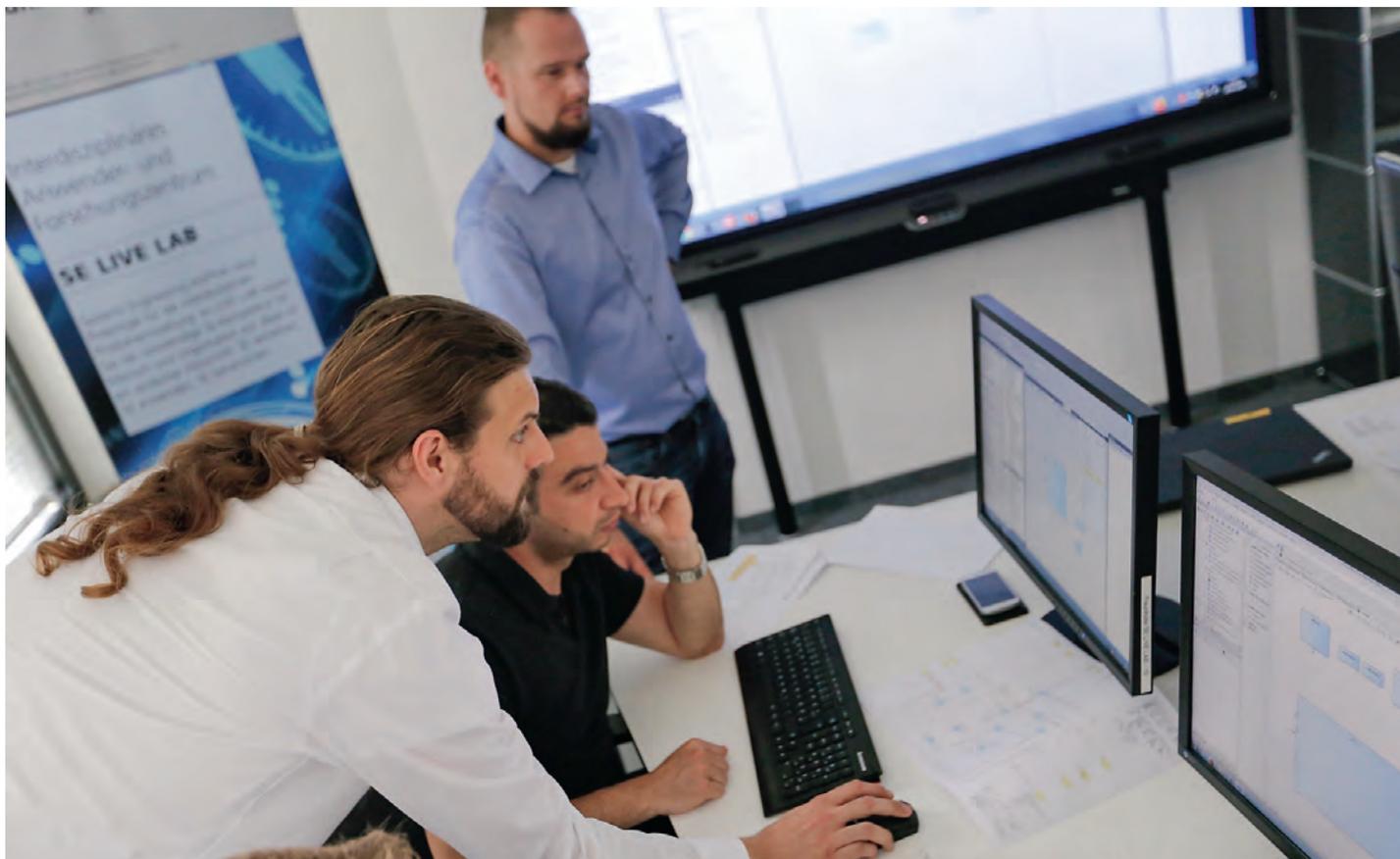


Bild: Fraunhofer IEM

**H**ochvolt (HV)-Batterien werden aus vielen verschiedenen Komponenten zusammengesetzt. Die einzelnen sogenannten Batteriezellen speichern die Energie und sorgen zusammen mit einer komplexen Elektronik für die Energieversorgung des Fahrzeugs. Der Wunsch nach hohen Reichweiten bei Elektroautos erfordert eine optimale Ausnutzung der verfügbaren Bauräume, eine effektive Kühlung und crashsichere Konzepte. Künftig geht es für Entwickler der Hochleistungsspeicher darum, immer mehr Energie auf möglichst kleinem Raum akkumulieren zu können und höhere Leistung abzugeben: Neben dem Antrieb des Hybrid- oder Elektromotors sollen Batterien auch andere Komfortfunktionen im Fahrzeug mit Energie versorgen.

**Systems Engineering mit Softwareunterstützung: Im SE Live Lab des Fraunhofer IEM erprobt Accumotive verschiedene Softwaretools**

## Bedarf an System-Experten steigt

Die Entwicklungsabteilungen sehen sich immer wieder mit neuen Herausforderungen konfrontiert, weiß Andre Gronke, Clusterleiter Systems Engineering bei der Daimler-Tochter Accumotive: „Jedes unserer Projekte soll von neuen Erkenntnissen in der Batterietechnologie und der Verbesserung bestehender Produktlinien profitieren. Dafür müssen bei Bedarf Änderungen auch noch spät im Projektverlauf möglich sein – gerade bei komplexen Produkten und vielen parallelen Projekten mit Gleichteilen keine einfache Aufgabe.“ Bei Accumotive, einem Spezialisten für die Entwicklung und



Bild: Accumotive

Herstellung von Lithium-Ionen-Batteriesystemen, übernimmt das Team der Systemauslegung die Synthese der Anforderungen und unterstützt die Konzeptfindung mit den Fachabteilungen. Neben Softwaretechnikern, Konstrukteuren und Elektrotechnikern müssen auch die Perspektiven aus den Abteilungen Testing und Qualitätssicherung sowie – nicht zu vergessen – die des Kunden und der Zulieferer berücksichtigt werden. „Unser Job ist es, zu gewährleisten, dass das Zusammenspiel der Komponenten in der Batterie reibungslos funktioniert“, sagt Andre Gronke.

In der Entwicklung besteht oft in der frühen, konzeptionellen Phase Optimierungspotential. Bei einem unzureichenden Systemüberblick entstehen häufig in diesen Phasen Entwicklungsfehler, die zum Teil erst nach der Inbetriebnahme des Produkts auffallen und dann enorme zusätzliche Entwicklungsaufwände bedeuten. „Für Accumotive erhöht sich die Komplexität in doppelter Hinsicht. Durch die steigenden Anforderungen der Kunden und den steten Technologiefortschritt steigt die Systemkomplexität ihrer Produkte enorm. Hinzu kommt eine größere Anzahl an Projekten, die es intern zu koordinieren und zwischen denen es Anknüpfungspunkte zu erkennen gilt“, sagt Dr.-Ing. Harald Anacker vom Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM.

### Lösungsansätze im SE Live Lab

Die Wissenschaftler des Fraunhofer IEM begleiten die Ingenieure von Accumotive inzwischen in unterschiedlichen Entwicklungsreihen von HV-Batterien. Gemeinsam werden so in laufenden Projekten Methoden des Systems Engineering angewendet und Accumotive erarbeitet sich eine durchgängige, durch SE-Methodik gestützte, Herangehensweise an ihre Entwicklungsprojekte. Der übergeordnete Ansatz: Lange bevor sich die Fachexperten an die detaillierte Entwicklung der einzelnen Komponenten machen, wird fachübergreifende Transparenz und Einigkeit über das Projekt geschaffen. So denkt beispielsweise auch der Softwaretechniker nicht nur in der IT-Dimension, sondern leistet durch seine Arbeit einen Beitrag zum Gesamtprojekt.

Besonders das Umfeldmodell der Methode Consens setzen inzwischen auch die einzelnen Fachabteilungen mit Erfolg ein. „Das Sichtbarmachen der verschiedenen Interaktionspartner der zu entwickelnden HV-Batterien ist von großem Wert“, erklärt Andre Gronke. „Wir erarbeiten hier ein viel vollständigeres Bild unseres Entwicklungsprojektes. Durch die bildliche Darstellung der Elemente im Umfeld unserer Batterie – etwa dem E-Motor – und ihrer Wechselwirkungen erhalten wir ein fachübergreifendes Verständnis unseres Entwicklungsauftrags und der Interaktion zwischen der Batterie sowie den beteiligten Fahrzeugkomponenten.“ Auch die Modellierung der Wirkstruktur, die zeitige Einbindung der Kunden-

Hochvolt-Batterien werden aus vielen verschiedenen Komponenten zusammengesetzt – der Wunsch nach hohen Reichweiten bei Elektroautos erfordert eine optimale Ausnutzung der verfügbaren Bauräume, eine effektive Kühlung und crasht sichere Konzepte

perspektive über verschiedene Anwendungsszenarien und das Entwerfen von Verhaltensmodellen sind inzwischen festes Ritual zum Start aller Entwicklungsprojekte. Ziel von Andre Gronke ist es, das modellbasierte Denken in den Köpfen der Accumotive-Ingenieure zu verankern und als standardisierte Vorgehensweise zu etablieren. Unterstützen könnte da künftig auch eine Softwarelösung, die das Accumotive-Entwicklungsteam im Systems Engineering Live Lab des Fraunhofer IEM in Paderborn erprobt. Über das Tool werden die gemeinsam entwickelten Modelle formal aufgebaut und strukturiert dokumentiert. Auch das parallele Arbeiten von Experten am gleichen Modell sowie das gemeinsame Änderungsmanagement sind möglich.

ik

[www.its-owl.de](http://www.its-owl.de)

INFO

## Hintergrund

Im Technologie-Netzwerk it's OWL – Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe – entwickeln über 180 Unternehmen und Forschungseinrichtungen in 46 Projekten gemeinsam Lösungen für intelligente Produkte und Produktionssysteme. Das Spektrum reicht von intelligenten Automatisierungs- und Antriebslösungen über Maschinen, Fahrzeuge und Hausgeräte bis zu vernetzten Produktionsanlagen. Über ein innovatives Transferkonzept werden neue Technologien für eine Vielzahl von – insbesondere kleinen und mittelständischen – Unternehmen verfügbar gemacht. Ausgezeichnet im Spitzencluster-Wettbewerb des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gilt it's OWL als eine der größten Initiativen für Industrie 4.0 in Deutschland.

[www.its-owl.de](http://www.its-owl.de)



Teil 7: it's OWL-Querschnittsprojekt Systems Engineering – der intelligente Separator

# Expertensystem erhöht Zuverlässigkeit und Effizienz in der Produktion

Das Prinzip eines Separators ist simpel: Die Zentrifugalkraft separiert Stoffe aus flüssigen Rohprodukten. Dabei kann es sich um Flüssigkeiten unterschiedlicher Dichte aber auch um Feststoffe aus Flüssigkeiten handeln. Beispielsweise wird so aus trübem Apfelsaft klarer, Rohmilch wird entrahmt und in der Bierproduktion lässt sich die Hefe vom Bier trennen. Das Unternehmen GEA und das Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM haben einen Separator in einem Leuchtturmprojekt des Spitzenclusters it's OWL nun mit Technologien des maschinellen Lernens ausgestattet. Damit sind für den Sondermaschinenbauer neue Dienstleistungen und sogar gänzlich neue Geschäftsmodelle denkbar.

Kirsten Harting, Kommunikation Produktentstehung, Fraunhofer IEM



Alle Betriebsabläufe im Blick: Das Expertensystem von GEA und Fraunhofer IEM könnte es künftig möglich machen

hier, den Fehler schnell zu finden und unseren Kunden Handlungsempfehlungen zur Behebung der Störung zu geben“, erläutert Markus Fleuter, Senior Vice President Offer and Order Management von GEA. „Hier sind langjährige Mitarbeiter mit Expertenwissen gefragt. Es gehört viel Erfahrung dazu, zügig die Ursache zu identifizieren und die entsprechenden Parameter anzupassen.“

Erfahrung und Expertenwissen sind gute Schlagworte für das gemeinsame it's OWL-Leuchtturmprojekt von GEA und Fraunhofer IEM, in dem der Sondermaschinenbauer aus Oelde und das Forschungsinstitut aus Paderborn vier Jahre lang gearbeitet haben. Die übergeordneten Fragen: Wie kann das personenbezogene Expertenwissen über Separatoren mit Methoden des maschinellen

Lernens ergänzt und noch zuverlässiger gemacht werden? Wie können auch Nicht-Experten, wie neue Mitarbeiter oder Beschäftigte an anderen Produktionsstandorten, auf das Expertenwissen zugreifen? Für den führenden Anbieter von Komponenten und Prozesstechnik mit zahlreichen Applikations- und Produktzentren weltweit sind dies zukunftsweisende Fragen.

## Expertensystem: Erfahrung trifft Sensorik

Das Ergebnis der Zusammenarbeit, das zunächst als Prototyp bei GEA getestet wird, ist ein digitales Expertensystem, das den Betriebszustand des Separators kontinuierlich überwacht, analysiert und somit detaillierte Auskunft bei Abweichungen vom Normalbetrieb anzeigt. In dem Expertensystem sind zweierlei Daten hinterlegt: Das Projektteam protokollierte hier zum einen das langjährige Erfahrungswissen von Mitarbeitern – beispielsweise wie sich wel-

**F**ür Anwender eines Separators ist eine optimale und zuverlässig gleichbleibende Trennleistung in der laufenden Produktion wichtig. Das Rohprodukt verändert sich jedoch. Die Eigenschaften des Apfelsaftes ändern sich etwa je nach Sorte oder Reifegrad. Diese Unterschiede können sich auf das Trennergebnis des Separationsprozesses auswirken. Hier lag die Herausforderung des Projektteams: Ein Separator ist oft Teil eines übergeordneten Produktionsprozesses, an dessen naturgegebene Unregelmäßigkeiten er kontinuierlich angepasst werden muss.

Die Anpassung nimmt der Kunde selbst vor. Hierbei unterstützt ihn die Steuerung der Maschine mit verschiedenen Regelalgorithmen. „Die Herausforderung liegt in der Behandlung von Störfällen. Ziel ist



Bild: Fraunhofer IEM

Forschung im Austausch vorantreiben: Dr.-Ing. Thorsten Westermann vom Fraunhofer IEM stellt den im Projekt entwickelten Ansatz für die Mechatronische Modularisierung vor

ches Medium im Separationsprozess verhält. Auch das Wissen um die verfahrenstechnischen Abläufe und deren Unregelmäßigkeiten innerhalb eines Separators wird hier abgebildet.

Erfahrung ist gut, (Echtzeit-)Kontrolle ist aber besser. Deshalb integrierten die Projektpartner zum anderen Sensorik. Hier stellte das System des Separators das Projektteam vor die Herausforderung, unsichtbare Systemelemente für die Mitarbeiter sichtbar, also detektierbar und auswertbar zu machen. Die Wissenschaftler des Fraunhofer IEM wählten dafür den Ansatz des Maschinellen Lernens: An welchen Stellen und mit welcher Technologie können Betriebsdaten in Echtzeit erhoben werden, die jederzeit Auskunft über den tatsächlichen Zustand des Separators geben? Hier stand die Entwicklung und Integration geeigneter intelligenter Sensorik vor der enormen Herausforderung, dass sich die relevanten Informationen in der Regel in der Trommel des Separators befinden. Berücksichtigt werden musste etwa die hohe Drehzahl der Trommel, die Verarbeitung von sensiblen Lebensmitteln oder Pharmaprodukten sowie der minimale Bauraum. In einer intensiven Konzeptarbeit wurden deshalb Sensoren identifiziert, die unter den oben genannten Bedingungen verfahrenstechnische Prozessabweichungen detektieren können. Sobald es zum Beispiel zum verfahrenstechnischen Fehler Kavitation, also zu turbulenten Strömungen, kommt, wird dieser sensorisch erfasst und an das Expertensystem weitergeleitet.

Die intelligente Sensorik in Kombination mit dem Expertenwissen führt nun zu einer signifikanten Verbesserung der Prozessstabilität. Neben dieser Verbesserung lassen sich auch Geräuschs-, Energieverbrauchs- und Verschleißreduktionen von Separatoren und Teilen erreichen. Derzeit erprobt GEA das Expertensystem und entwickelt es weiter. „Unsere Vision ist, dass unsere Kunden künftig auch mobil auf das Expertenwissen zugreifen und darüber den gesamten Maschinen- und Prozesszustand bequem und zuverlässig im Blick haben. Für GEA als Separatoren-Hersteller eröffnen sich neben dem eigentlichen Produkt somit viele Möglichkeiten, nützliche Dienstleistungen anzubieten“, erklärt Markus Fleuter, der sich eine Kommerzialisierung des Expertensystems vorstellen kann.

## Systemverständnis mit Multiplikationseffekt: Mechatronische Modularisierung

Grundlage des gemeinsamen Projektes war das Schaffen eines umfassenden Systemverständnisses von Separatoren. In interdisziplinären Workshops mit CONSENS, einer Methode des Model-Based-Systems Engineering, wurden sämtliche systemrelevanten Eigenschaften modellbasiert abgebildet, die für das Verständnis und die Entwicklung des Systems notwendig sind. Im Umfeldmodell arbeitete das Projektteam alle Elemente heraus, die in Wechselwirkung mit dem Separator stehen, etwa Umwelteinflüsse wie Temperaturschwankungen oder vor- und nachgelagerte Prozessschritte. In Anwendungsszenarien beschrieben sie situationspezifische Sichten auf das System. Die interdisziplinäre Systemmodellierung ermöglichte dabei die Zusammenarbeit aller an der Separatorentwicklung beteiligten Disziplinen mit ihren spezifischen Anforderungen aus Mechanik, Automation und Prozesstechnik. „Da der Aufbau und die Funktionsweise von Separatoren trotz verschiedener Anwendungszwecke sehr ähnlich sind, erkannten wir großes Potenzial für die Modularisierung der einzelnen Systemmodelle“, sagt Dr.-Ing. Thorsten Westermann, Projektleiter vom Fraunhofer IEM, der mit seinem Team eine Grundlage zur effizienten Wiederverwendung von Software-Hardware-Kombinationen geschaffen hat.

Vertiefend wurden neuartige Modularisierungsansätze erarbeitet, die über die fachdisziplinspezifischen Grenzen hinausgehen. „Wie aus einem Baukasten können einzelne Systemelemente in neue Entwicklungsprojekte eingebracht werden, deren Funktionsweisen und Abhängigkeiten bereits im Vorfeld definiert wurden“, erklärt Dr.-Ing. Thorsten Westermann. Der Ansatz der Mechatronischen Modularisierung wird vom Projektteam für den allgemeinen Gebrauch abstrahiert und steht künftig auch weiteren Unternehmen im Spitzencluster it's OWL zur Verfügung. Die Entwicklung des Expertensystems in Verbindung mit der intelligenten Sensorik befindet sich derzeit noch im Prototypen-Stadium. GEA hat hiermit jedoch Grundlagen für weitere Innovationen sowie für eine Erweiterung seines Service-Portfolios geschaffen. *ik*

[www.its-owl.de](http://www.its-owl.de)

### INFO

## Hintergrund

Im Technologie-Netzwerk it's OWL – Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe – entwickeln über 170 Unternehmen und Forschungseinrichtungen in 46 Projekten gemeinsam Lösungen für intelligente Produkte und Produktionssysteme. Das Spektrum reicht von intelligenten Automatisierungs- und Antriebslösungen über Maschinen, Fahrzeuge und Hausgeräte bis zu vernetzten Produktionsanlagen. Über ein innovatives Transferkonzept werden neue Technologien für eine Vielzahl von – insbesondere kleinen und mittelständischen – Unternehmen verfügbar gemacht. Ausgezeichnet im Spitzencluster-Wettbewerb des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gilt it's OWL als eine der größten Initiativen für Industrie 4.0 in Deutschland.



[www.its-owl.de](http://www.its-owl.de)

Prof. Hanno Weber, Prorektor der Hochschule Pforzheim

## „Wissen über die Synthese fehlt noch“

Im Rahmen der Rubrik ‚Aus der Praxis des Systems Engineerings‘ gab uns Prof. Hanno Weber Auskunft zu seinen Erfahrungen. Bereits in seiner Promotion beschäftigte ihn die modellbasierte Produktentwicklung, heute verantwortet er die Ingenieur-Ausbildung an der Hochschule Pforzheim.

Interview: Michael Corban, Chefredakteur KEM Konstruktion

**KEM Konstruktion:** Prof. Weber, können Sie uns basierend auf Ihren Erfahrungen ein Beispiel für die gelungene Anwendung des Systems Engineerings nennen?

**Prof. Hanno Weber:** Ein gutes Beispiel ist die Einführung einer Leitstandsteuerung im Druckmaschinenbereich. Das waren auch früher schon riesige Maschinen, durch die hindurch eine Zentralwelle gelegt war, von der alle anderen Elemente ihre Drehzahl über Getriebe abgriffen – klassischer Maschinenbau. Moderne Druckmaschinen verfügen dagegen heute über geregelte Einzelantriebe, die über Lichtwellenleiter verbunden synchronisiert werden. Das ermöglicht eine enorme Leistungssteigerung, ganz andere Geschwindigkeiten.

**KEM Konstruktion:** Können Sie das kurz erläutern?

**Weber:** Durch die Benetzung mit Farbe dehnt sich das Papier – es wird also beim Lauf durch die Maschine länger. Mit geregelten Einzelantrieben ist das kein Problem, weil man etwa die letzte Walze einfach vier bis fünf Promille schneller drehen lassen kann. Vergleichbares konnte man mit den Getrieben gar nicht ausgleichen, was natürlich die erreichbare Druckleistung begrenzte. Hinzu kommt ein weiterer Aspekt: Wird frühmorgens beispielsweise die Zeitung gedruckt, sollen nun nachmittags Prospekte folgen – quasi auf Knopfdruck. Auch dann, wenn sich das Format ändert, ein anderer Falzapparat benötigt wird oder ein Trockner dazukommt. Früher ging das auch, doch musste dazu stundenlang geschraubt werden, der Umrüstaufwand war immens. Soll das alles auf Knopfdruck passieren, stoßen die Vorgehensweisen aus dem klassischen Maschinenbau an ihre Grenzen. Gefragt ist dann die interdisziplinäre Zusammenarbeit bezüglich Mechanik und Steuerungstechnik – wobei entscheidend ist, dass der Druckprozess verstanden wird, entsprechende Spezialisten sind einzubeziehen. Das kann in der Summe nur das Systems Engineering leisten.

**KEM Konstruktion:** Wollen Sie kurz das Systems Engineering einmal aus Ihrer Sicht definieren?

**Weber:** Es handelt sich um einen interdisziplinären Ansatz – bestehend aus Methoden zur Entwicklung komplexer Systeme und aus Methoden für das Management dieser Entwicklung. Ein Schlüsselbegriff ist Integration – zu verstehen in zweierlei Hinsicht: Einerseits geht es darum, ein Produkt in den späteren Nutzungskontext zu integrieren, andererseits um das Zusammenfügen einzelner Teile zu einem funktionsfähigen Ganzen. Entscheidend ist, dass sich im Vorfeld nur dann ein Lösungsraum erschließen lässt, wenn es gelingt, die Gesamtfunktion – in der der Kunde denkt – zu zerlegen. Dem

analytischen, dem ‚zerlegenden‘ Weg gemäß V-Modell muss dann aber die Integration folgen – und diese Synthese steht beim Systems Engineering im Vordergrund. Man könnte auch sagen: Es gibt genügend Wissenschaften, die analysieren können, aber noch zu wenig Wissen über die Synthese. Insbesondere dann, wenn zahlreiche Zulieferer – weltweit verteilt – mitentwickeln, gewinnt diese Aufgabe enorm an Komplexität und Dynamik. Da kann man nicht einfach nach VDI-Richtlinie 2221 weiterkonstruieren.

**KEM Konstruktion:** Welche Schwierigkeiten tauchen denn typischerweise beim Systems Engineering auf?

**Weber:** So bald eingefahrene Strukturen und Prozesse aufgebrochen werden, wird es schwierig. Ein Beispiel sind die vielen Dinge, die früher nicht kommuniziert wurden, nun aber zu dokumentieren sind – und das ist sicherlich nicht die Lieblingsbeschäftigung von Konstrukteuren. Allerdings führt daran kein Weg vorbei, wir brauchen heute eine verlässliche Beschreibung von Schnittstellen! Und wir brauchen darauf aufsetzend ein Konfigurations-Management. Letztlich sind das ja die Spezifikationen für all diejenigen, die zuarbeiten, sei es in einer anderen Abteilung oder anderen Unternehmen. Die Schnittstellenbeschreibung ist an dieser Stelle Vertragsgrundlage – ändern wir die, ohne dass unsere Partner das erfahren, führt dies zu großen Problemen. Denken Sie nur an die Frage, wer die Kosten übernimmt, wenn vier Wochen in die falsche Richtung entwickelt wurde.

INFO

### Zur Person

Hanno Weber, geboren 1965 in Lahr/Schwarzwald, studierte von 1987 bis 1993 Maschinenbau an der Technischen Universität Berlin und der University of Michigan, USA. Nach seiner Promotion über Entwurfsmethoden für komplexe Systeme, insbesondere die modellbasierte Produktentwicklung, arbeitete er für eine Düsseldorfer Unternehmensberatung. Seit 2001 lehrt er an der Hochschule Pforzheim unter anderem den ‚Entwurf komplexer Systeme‘ sowie das Produktdatenmanagement. Seit 2011 ist er dort als Prorektor für das Ressort Studium und Lehre zuständig.

Tel. +49 7231/28-6001

hanno.weber@hs-pforzheim.de



Prof. Hanno Weber,  
Prorektor, Hochschule  
Pforzheim

„Grundsätzlich sollte ein Systems Engineer Interesse am Ganzen haben – verbunden mit dem Bewusstsein, dass auch das Ganze an einem Detailproblem scheitern kann!“

Bild: Weber

**KEM Konstruktion:** Deswegen ist die Dokumentation so wichtig...

**Weber:** ...und im Systems Engineering Voraussetzung für eine erfolgreiche Entwicklung. Werden eingefahrene Prozesse hier nicht angepasst, wird es ‚schwergängig‘. Hinzu kommt: Fährt man wirklich einen systemorientierten Ansatz, verlängert sich die Anfangsphase – was für die Konstrukteure schwierig ist, da sie bereits ‚vibrierten‘ und endlich loslegen wollen. Doch genau an dieser Stelle ist es enorm wichtig, zunächst zu klären, ob man das richtige Konzept verfolgt. Dazu sind die Interessen aller Beteiligten zu klären – die Stakeholder-Analyse – und anschließend die Anforderungen sauber zu dokumentieren und zu verfolgen. Etwas Ähnliches mache ich selbst auch mit meinem Prüfungssystem an der Hochschule. Auch das ist modular aufgebaut und ich kann die Konfiguration kontrollieren.

**KEM Konstruktion:** Wie bildet denn die Hochschule Pforzheim Systems Engineers aus und was ändert sich für Ingenieure?

**Weber:** Nun – etwas flapsig formuliert, könnte man sagen, dass Konstrukteure früher Nerds waren, die sich mit Luftspalt und Toleranzen vergnügten. Darin waren sie auch sehr gut, bis zu dem Punkt, an dem ihre Lösung nicht zielführend war. Heute erwarten wir deshalb zusätzlich zu der Begeisterung für die jeweilige Disziplin, dass Ingenieure hochkommunikativ sind und zumindest der Projektleitung ihre Leistung auch ‚verkaufen‘ können. Das ist natürlich ein sehr umfangreiches Kompetenzbündel – detailverliebte Konstrukteure tun sich damit schwer, weil sie das schlicht nervtötend finden. An der Hochschule Pforzheim beginnen wir deswegen bereits in der Bachelor-Ausbildung damit, auf die Sichtweise des Systems Engineerings hinzuwirken. Ein entscheidender Baustein unserer Ausbildung sind praktische Projektarbeiten in jedem Semester, gefolgt von einer interdisziplinären Projektarbeit im sechsten Semester. Aufgabe ist hier, mit Kommilitonen aus anderen Studiengängen und sogar anderen Fakultäten gemeinsam eine Lösung zu entwickeln. Im Master-Studium zum Thema Produktentwicklung ver-

breitern wir diesen Ansatz noch und gehen zudem auf die klassischen Themen wie Anforderungs-Management, Funktions-Modellierung, logische Architektur, physische Architektur oder Integration ein.

**KEM Konstruktion:** Was ist denn die Voraussetzung, um erfolgreich ein Systems Engineer zu werden?

**Weber:** Man sollte auf alle Fälle eine technische Grundausbildung mitbringen – sei es Maschinenbau, Elektrotechnik oder Informatik. Hat man hier den fachlichen Tiefgang einmal gezeigt, fördert dies die Akzeptanz im Team, selbst wenn man als Maschinenbauer dann beispielsweise nicht die letzte Programmiersprache flüssig beherrscht. Grundsätzlich sollte ein Systems Engineer zudem Interesse am Ganzen haben – verbunden mit dem Bewusstsein, dass auch das Ganze an einem Detailproblem scheitern kann! Im Gegensatz zum reinen Projektmanagement haben Systems Engineers den Anspruch, sich mit Problemen auseinanderzusetzen und eine technische Lösung zu finden – eben Technical Leadership!

**KEM Konstruktion:** Abschließend noch die Frage mit Blick auf die Zukunft: Welche Bedeutung kommt dem Systems Engineering in den kommenden Jahren zu?

**Weber:** Das Systems Engineering ist im Aufblühen! Das Bewusstsein hierfür entsteht inzwischen auch außerhalb der Luft- und Raumfahrt, gerade auch in den klassischen zivilen Industriefeldern wie Automobilbau, Medizintechnik, Anlagenbau, Werkzeugmaschinenbau und rund um die Agrartechnik. Nicht zuletzt zeigt das die Mitgliederkurve der GfSE mit ihrem klassischen, exponentiellen Wachstum. Ich denke, die Systems-Engineering-Kompetenz wird in Zukunft noch deutlich an Relevanz gewinnen. Produkte und Dienstleistungen werden fachlich vielschichtiger, mehr Einzeldisziplinen gefordert sein – hier ist ein interdisziplinärer Ansatz unabdingbar. Zumal die Produktentwicklung ökonomisch riskanter wird und Technologien viel schneller durch neue ersetzt werden. Zudem rücken auch Folgen für die Gesellschaft in den Fokus – eine Aufgabe, die wir unseren Studenten mitgeben. Man kann heute nicht mehr beliebige Verbrennungsmaschinen konzipieren, ohne sich über den CO<sub>2</sub>-Ausstoß Gedanken zu machen. Gleiches gilt für den Einsatz von Materialien wie Seltenen Erden. Unternehmen, die das ausblenden, werden ein Problem bekommen.

Erschienen zuerst in Ausgabe 01/2015 der develop<sup>3</sup> systems engineering, dem Vorgänger der KEM Systems Engineering.

**Hinweis:**

Prof. Hanno Weber leitete anlässlich des GfSE-Workshops in Hannover den Workshop zum Thema Deutsches Handbuch für das Systems Engineering. Gesucht werden hier noch interessierte Co-Autoren sowie anschauliche Beispiele aus der Praxis. Die Kontaktdaten finden sich im Kasten.

Dr. David Endler, Systems Engineering Consultant

## „Ein kleines Team sollte die Grundlagen legen“

Im Rahmen der Rubrik ‚Aus der Praxis des Systems Engineerings‘ berichtete uns Dr. David Endler von seinen Erfahrungen rund um das Systems Engineering (SE). Der gelernte Physiker ist heute selbstständiger Berater und kann deswegen auf zahlreiche Projekte zurückblicken – eine ideale Basis, um Komplexität in den Griff zu bekommen.

*Interview: Michael Corban, Chefredakteur KEM Konstruktion*

**KEM Konstruktion:** Dr. Endler, können Sie uns von einem Projekt berichten, das rückblickend die Vorteile des Systems-Engineering-Ansatzes verdeutlicht?

**Dr. David Endler:** Interessanterweise sind es häufig kleine Dinge, die besonders gut funktionieren. So konnte ich beispielsweise einmal in einer Angebotsphase unterstützend tätig sein, in der es zunächst darum ging, sich mit dem Kunden bezüglich der Anforderungen auszutauschen. Das hört sich simpel an – doch muss man sich vor Augen führen, dass hier die Grundlagen für den späteren Vertragsabschluss gelegt werden. In dem konkreten Fall schlug ich eine vorausgehende Klärung vor, für deren Umsetzung ich dann innerhalb von zweieinhalb Jahren mehrfach für einige Tage nach China geflogen bin. Das scheint aufwändig zu sein, jedoch ließ sich im Endeffekt damit das Risiko deutlich senken – etwa in Höhe eines zwei- bis dreistelligen Millionenbetrags. Ein anderes Beispiel ist der Aufbau eines Technologiedemonstrators für eine Luftfahrtanwendung. Gezeigt werden sollte, dass die Technologie auch unter Extrembedingungen funktioniert – in diesem Fall bei einer schnellen Dekompression der Kabine in einer Flughöhe von zwölf Kilometern, also ausgehend von einem Druck entsprechend einer Höhe von 2000 Metern über Normalnull. Das Erstaunliche daran war, dass aufgrund des Systems Engineerings der Demonstrator bereits beim allerersten Probelauf in einer Druckkammer beim DLR alle wesentlichen Leistungsanforderungen erfüllte.

**KEM Konstruktion:** Wie würden Sie denn Systems Engineering allgemein definieren?

**Endler:** Das ist schwer zu beantworten – im Rahmen einer SE-Einführung versuchen wir derzeit, die Ziele auf nur einer Folie darzustellen. Das ist uns bislang nicht wirklich gelungen, da für jeden Stakeholder andere Facetten von Bedeutung sind. Allgemein lässt sich aber sagen, dass Systems Engineering ein strukturiertes Vorgehen für die Entwicklung nicht nur komplizierter, sondern vor allem komplexer Systeme beschreibt. SE ist dafür da, deren nicht in allen Details vorhersehbares Verhalten zu meistern und zu beherrschen. Bezüglich der Anforderungen an ein Produkt schafft SE zudem Transparenz – nicht zuletzt auch bezüglich der Risiken, wie eingangs geschildert.

**KEM Konstruktion:** An welcher Stelle geht Systems Engineering denn über das reine Anforderungs-Management oder Requirements Management hinaus?

**Endler:** Die Rolle des Systems Engineers hat ganz viel mit Kommunikation zu tun. In dem erstgenannten Beispiel war ich nicht nur als Requirements-Manager unterwegs, sondern vielmehr schon als auch in die Tiefe blickender Ingenieur; hinzu kamen sehr stark Aufgaben des Projektmanagements. Hier war es übrigens von Vorteil, das Team zunächst zu verkleinern – es macht keinen Sinn, etwas zu entwickeln, was dann durch notwendige Redesigns wieder hinfällig wird. Sind die Anforderungen initial definiert, können alle Beteiligten loslegen – und der Systems Engineer ist dann die Schnittstelle zwischen den Disziplinen, um die Kommunikation sicherzustellen. Die Rolle des Systems Engineers ändert sich also durchaus im Laufe des Projekts.

**KEM Konstruktion:** Es macht also Sinn, mit wenigen Personen ein Projekt zu starten?

**Endler:** In der Tat, es sollte in meinen Augen auf alle Fälle ein relativ kleines Team sein – entscheidend ist Erfahrung. Systems Engineering heißt ja nicht, dass jedes Projekt auch ein Erfolg wird. Wer erlebt hat, warum ein Projekt scheitert, weiß, worauf er achten muss. Wichtig ist in meinen Augen, dass man am Anfang die Klärung schafft – das kann ein kleines Team besser lösen.

INFO

### Zur Person

David Endler studierte Physik in Erlangen/Nürnberg und Hamburg, bevor er als Consultant in ein Beratungsunternehmen eintrat. Nach verschiedenen Positionen machte er sich im Oktober 2010 selbstständig und arbeitet heute als Systems Engineering Consultant. In den vergangenen Jahren hat er viele Unternehmen bei der Entwicklung von sicherheitskritischen Systemen in verschiedenen Industriezweigen (Luftfahrt, Anlagenbau, Automotive, Maritime) unterstützt. Zudem ist er Mitglied des DIN-Komitees NA 043-01-07 AA ‚Software und System-Engineering‘.

Tel. +49 170/2963536

de@davidendler.de

www.davidendler.de



Bild: Endler

Dr. David Endler,  
Systems Engineering  
Consultant

## „Die Rolle des Systems Engineers hat ganz viel mit Kommunikation zu tun.“

**KEM Konstruktion:** Systems Engineering ist vor allem eine Frage der methodischen Herangehensweise. Muss aus Ihrer Sicht an der Methodik weiter gearbeitet werden oder vor allem an deren Anwendung?

**Endler:** Beides ist wichtig! Systems Engineering ist ja schon sehr alt und es wurden damit bereits zahlreiche großartige Systeme entwickelt. Dennoch ist die SE-Szene in Bewegung. Im Januar war ich beispielsweise das erste Mal auf dem internationalen Workshop von INCOSE und erstaunt, wie viel Bewegung da drin ist. Nicht zuletzt wollen viele junge Leute das Thema vorantreiben. Und die SE Vision 2025 von INCOSE ist in der Tat sehr ambitioniert (Bem. d. Red.: siehe dazu Link Fußnote und SE-Glossar Teil 1 in Ausgabe 1/2015 der develop3 systems engineering, S. 38f.).

**KEM Konstruktion:** Spielen denn bei INCOSE und GfSE auch Branchen abseits der Luft- und Raumfahrt – etwa Maschinen- und Anlagenbau – eine Rolle?

**Endler:** Ja, zuerst sogar in der GfSE – dort bin ich seit 2006 Mitglied. Hinsichtlich der Verteilung der Industriezweige ist die Luft- und Raumfahrt dort nicht der größte Sektor. Auch bei INCOSE hat sich in den letzten fünf Jahren viel verändert. Hier sind etwa die Arbeitsgruppen stark getrieben aus Bereichen wie Medizintechnik und Schienenfahrzeuge, hinzu kommen regenerative Energien. INCOSE geht darauf ein, denn entscheidend ist, die ‚richtige‘ Sprache zu sprechen – auch wenn sich die Grundmethodiken nicht wesentlich unterscheiden. Verschieden ist die Art und Weise der Anwendung.

**KEM Konstruktion:** Erkennen Sie eine Weiterentwicklung mit Blick auf die zur Verfügung stehenden Tools?

**Endler:** Das ist eines der ganz heißen Themen. Auch in der SE Vision 2025 wird ja das Bild einer harmonisierten Toolandschaft entworfen – bis hin zur Zusammenarbeit regional verteilter Teams –, die es in dieser Form bislang nicht gibt. Alle großen Hersteller arbeiten aber daran. Als Vision ist das verlockend, auch wenn ich nicht glaube, dass sich das bei realen Problemen auf der Arbeitsebene jemals alles zusammenführen lässt. Letztlich arbeiten hier ja Menschen miteinander, mit individuellen Erfahrungen und unterschiedlichem Hintergrund. An fehlender Kommunikation und Absprache scheitert dann ein SE-Projekt eher als an der noch fehlenden durchgängigen Toolandschaft.

**KEM Konstruktion:** Wo sehen Sie denn Handlungsbedarf bezüglich eines erfolgreichen Einsatzes des Systems Engineerings?

**Endler:** Speziell in Deutschland vor allem im Bereich der Ausbildung. Eine unserer Stärken ist dabei natürlich die Vielzahl der Ausbildungsberufe bis hin zu den verschiedenen Studiengängen – dadurch besitzen wir sehr gut ausgebildete Fachkräfte. Was bei uns allerdings häufig in den Ausbildungsgängen fehlt, sind die interdisziplinären Ansätze – hier ist noch Potenzial vorhanden. Allerdings: Das ist Jammern auf hohem Niveau – es gibt ja Systems Engineers und die beherrschen das auch sehr gut!

**KEM Konstruktion:** Wie wurden denn Sie selbst zum Systems Engineer?

**Endler:** Ich habe Physik studiert und in diesem Fach auch promoviert – zu dieser Zeit hatte ich noch keine Berührung mit dem Systems Engineering. Anschließend hatte ich die Chance, für ein externes Unternehmen an einem Notsauerstoffsystem im Auftrag von Airbus zu arbeiten, was mich dann für viereinhalb Jahre in die Entwicklung von Flugzeugsystemen hineinzog. Das war Training on the Job – mit allen Vor- und Nachteilen. Hier aber gewinnt man die so wichtige Erfahrung. So erinnere ich mich, dass unser Team – damals war ich ein junger Systemingenieur – beim ersten großen Review angezählt wurde. Wie oft in der Praxis anzutreffen, hatte ein erfahrener Ingenieur das System kurz entworfen – wobei allerdings ein entscheidender Parameter übersehen wurde, was durch eine frühe Klärung der Anforderungen verhindert worden wäre. Erfahrungen wie diese haben mich dazu motiviert, nach strukturierteren Ansätzen zu suchen. Und einen fand ich eben im Systems Engineering!

**KEM Konstruktion:** Was würden Sie denn einem jungen Maschinenbau- oder Elektrotechnikstudenten empfehlen, der ein Systems Engineer werden will?

**Endler:** Sei und bleibe neugierig! Es ist durchaus ein Gewinn, sich auch schon einmal in andere Vorlesungen zu setzen, auch solche der Philosophie oder Germanistik. Das hilft beim Denken in größeren Zusammenhängen, woran man natürlich Spaß haben muss. ‚Den‘ Weg zum Systems Engineer gibt es sicher nicht, aber wer sich dafür interessiert, sollte über den Tellerrand schauen und mitbekommen, was die Nachbardisziplinen machen.

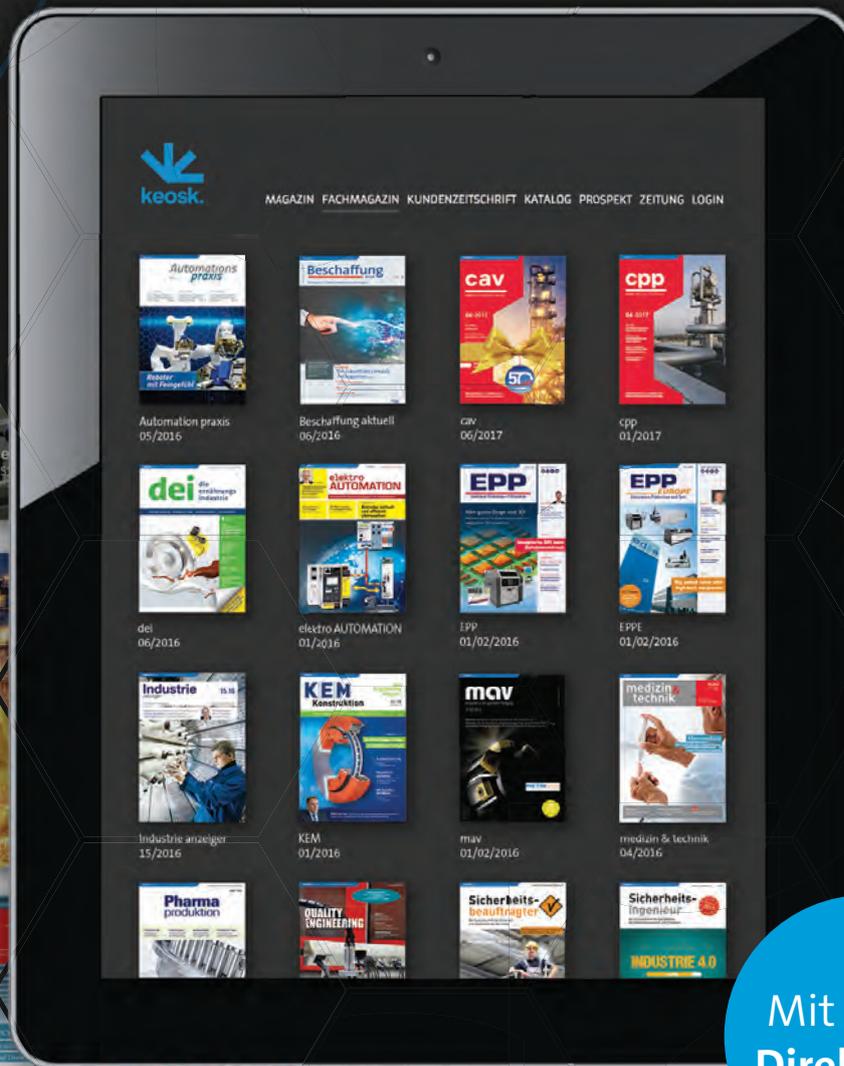
Erschienen zuerst in Ausgabe 02/2015 der develop<sup>3</sup> systems engineering, dem Vorgänger der KEM Systems Engineering.

**Hinweise:**

[1] Dr. David Endler ist Mitglied der GfSE und dort seit November 2013 Director Technology and Methods

[2] Link zur Studie SE Vision 2025 (International Council on Systems Engineering – INCOSE): <http://www.incose.org/AboutSE/sevision>

# Unsere Fachzeitschriften finden Sie auch als **ePaper** auf keosk!



Mit vielen  
Direktlinks!



Weitere Informationen finden Sie unter:  
› [www.media.industrie.de/fachmagazine-digital-lesen](http://www.media.industrie.de/fachmagazine-digital-lesen)