

AUTOREN



Dr. rer. nat. Dipl.-Inf. Thorsten Weyer

leitete bis Dezember 2020 eine Forschungsgruppe bei Paluno - The Ruhr Institute for Software Technology/ Arbeitsgruppe Software Systems Engineering der Universität Duisburg-Essen und ist aktuell Systemarchitekt bei Schaeffler Automotive in Bühl.



Dipl.-Ing. (FH) Marcel Goger

ist Specialist Process Management Systems Engineering bei Schaeffler in Nürnberg.



Dr.-Ing. Walter Koch

ist Bereichsleiter Advanced R&D Engineering bei Schaeffler in Nürnberg.



Birgit Kremer, M. A.

ist verantwortlich für die Öffentlichkeitsarbeit bei Paluno – The Ruhr Institute for Software Technology der Universität Duisburg-Essen in Essen.

Einführungsstrategie für ein durchgängiges modellbasiertes Systems Engineering

Eine Systementwicklung, die auf Modellen beruht, ermöglicht es, komplexe Systemarchitekturen nachvollziehbar und beherrschbar zu machen. Doch ein Umstieg auf modellbasiertes Entwickeln fällt vielen Organisationen schwer. Die Universität Duisburg-Essen und Schaeffler zeigen, wie es mit fundierter Methodik, einem Einführungskonzept und geeigneter Weiterbildung der Mitarbeiter gelingen kann.



© gorodenkoff | Getty Images

| | |
|---|---------------------------------|
| 1 | MOTIVATION |
| 2 | BEHERRSCHUNG DER DOKUMENTENFLUT |
| 3 | HERAUSFORDERUNGEN |
| 4 | METHODENBAUKASTEN |
| 5 | WEITERBILDUNG |
| 6 | PILOTIERUNGSKONZEPT |
| 7 | FAZIT UND AUSBLICK |

1 MOTIVATION

Aktuell entwickelte Fahrzeuge basieren auf einer hochgradig vernetzten Systemarchitektur, deren Softwarefunktionen ständig angepasst und erweitert werden. Die Entwicklung vollzieht sich in der Regel verteilt über verschiedene Organisationen, Disziplinen und Domänen. Um ein gemeinsames Verständnis zu erzeugen, erstellen die Beteiligten dabei üblicherweise hunderte Dokumente auf verschiedenen Abstraktionsebenen. Ausgehend von Dokumenten über die Ziele von Endkunden, OEMs, Zulieferern etc. werden Dokumente verfasst, die zur Beschreibung von Funktionen dienen. Darauf bauen wiederum Dokumente mit einer detaillierten Spezifikation der Komponenten des Systems auf. Diese werden häufig untereinander verknüpft, was zu einem komplexen Dokumentengeflecht führt, das über den Lebenszyklus einer Entwicklung schwerlich konsistent zu halten ist. Eine Lösung für dieses Problem ist das modellbasierte Systems Engineering (MBSE). In der Arbeitsgruppe Software Systems Engineering am Softwaretechnik-Institut Paluno der Universität Duisburg-Essen wurde ein Konzept zur Einführung von MBSE erarbeitet und am Beispiel einer konkreten Anwendung bei Schaeffler evaluiert.

2 BEHERRSCHUNG DER DOKUMENTENFLUT

Beim MBSE steht ein zentrales Systemmodell im Mittelpunkt der Entwicklungsaktivitäten, das je nach Ausgestaltung von allen Beteiligten genutzt werden kann und von den Anforderungen bis zur Schnittstellenbeschreibung alle Informationen rund um das Entwicklungsprojekt speichert. Die dadurch mögliche Zusammenarbeit kann bereits in einer frühen Projektphase erfolgen und auf Nachfolgeprojekte ausgeweitet werden. Unter anderem ergeben sich hierdurch folgende Vorteile:

- bessere Arbeitsteilung
- Beherrschbarkeit zunehmender Komplexität
- Wiederverwendbarkeit von Entwicklungsartefakten
- Beherrschung von Varianz und Varianten
- Automatisierung bei der Generierung von Modellen, Code und Tests
- Automatisierbarkeit von Aktivitäten in der Qualitätssicherung
- eindeutige Kommunikation bei der Erstellung der Modelle durch präzise Modellierungssprache.

3 HERAUSFORDERUNGEN

Trotz des Bewusstseins für frühes modellbasiertes Arbeiten im Entwicklungsprozess setzen viele Unternehmen MBSE noch nicht im Tagesgeschäft ein. Zum einen verfügen Mitarbeiter noch nicht über ausreichende Fähigkeiten: Der Zugang zu einer fundierten Methodik fehlt, und integrierte Werkzeuge zur durchgängigen Anwendung im gesamten Entwicklungsprozess stehen nicht zur Verfügung. Zum anderen ist die Organisation selbst eine Herausforderung. Um langfristig von MBSE zu profitieren und die wesentlichen Hindernisse, **BILD 1**, zu überwinden, ist gerade in frühen Entwicklungsphasen ein erheblicher Mehraufwand zu leisten. Zwar ist das Frontloading zur Reduktion von kostenaufwendigen Verifizierungs- und Validierungsaufgaben auf Hardware-in-the-Loop- oder Fahrzeugebene akzeptiert und etabliert, doch die modellbasierte Architektur- und Anforderungsentwicklung mit MBSE setzt noch früher im Entwicklungsprozess an. Dies bedeutet zunächst einen Mehraufwand, der vom Management und nicht zuletzt den Mitarbeitern mitgetragen werden muss. Letztere müssen ihre gewohnten Arbeitsabläufe ändern, was nur gelingen kann, wenn sie von den Vorteilen und einer persönlichen Arbeitserleichterung überzeugt werden können.

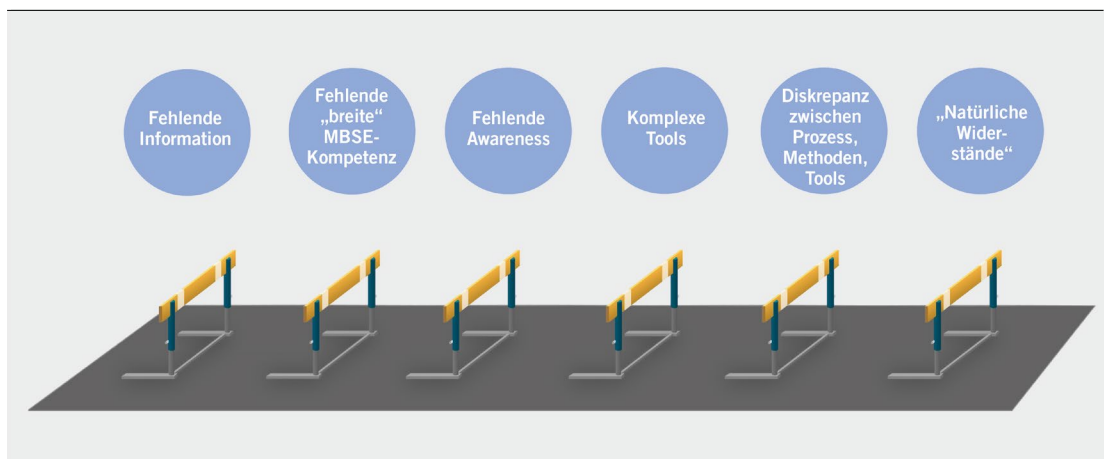


BILD 1 Hindernisse bei der Transformation zum MBSE
(© Schaeffler)

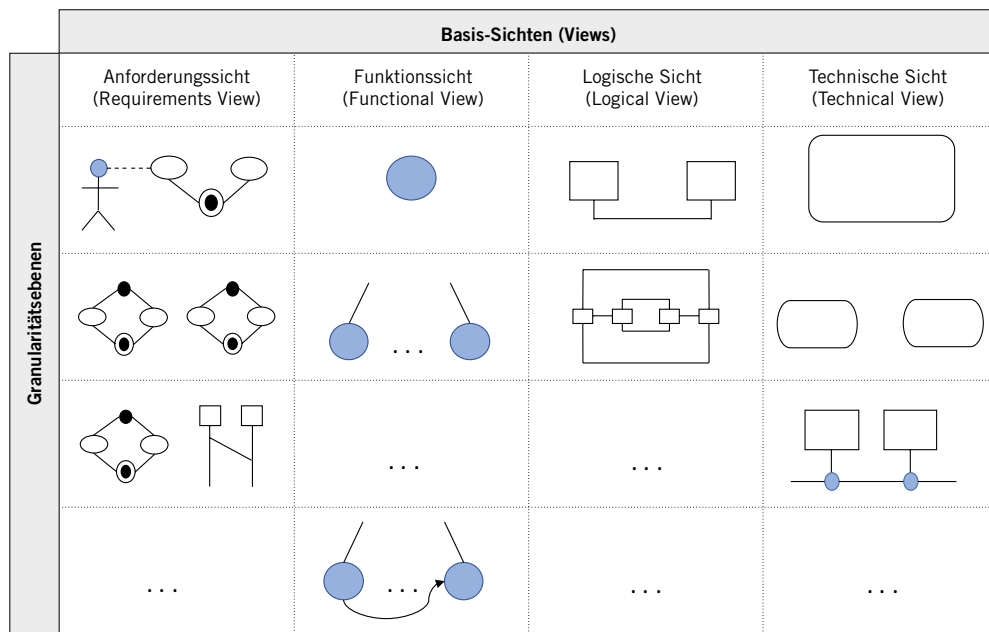


BILD 2 SPES-Matrix beispielhafter Views und entsprechende Granularitätsebenen; Piktogramme [1] für mögliche Modellierungen (© Paluno)

4 METHODENBAUKASTEN

In den letzten zehn Jahren wurde im Rahmen groß angelegter Forschungsprojekte das Software Platform Embedded Systems (SPES) Modeling Framework entwickelt – eine umfassende Methodik für die durchgängige modellbasierte System- und Softwareentwicklung (kollaborativer) eingebetteter Systeme beziehungsweise Cyber-physischer Systeme (CPS) [1-3]. Der Kern dieser Methodik ist, ein System aus verschiedenen semantisch integrierten Sichten (Views) zu betrachten und dabei möglichst formale und in sich konsistente Modelle des Systems zu erarbeiten. Die Views sind auf

Rollen im Produktentstehungsprozess zugeschnitten (Anforderungsentwickler, Funktionsentwickler, Systemarchitekt etc.) und fokussieren auf die für die jeweilige Rolle relevanten Ausschnitte des zu entwickelnden Systems. Durch das Erstellen und Verknüpfen der Modelle einzelner Views wird eine konsistente Datenbasis von miteinander verbundenen Artefakten erzeugt.

Ausgewählte Architekturkomponenten werden als eigenständige (Sub-)Systeme betrachtet, für die wiederum Modelle nach dem SPES-Ansatz erstellt werden. So entstehen mehrere Granularitätsebenen, auf denen System und Subsysteme beschrieben sind. Die sogenannte SPES-Matrix, **BILD 2**, fasst die Views auf den Granula-

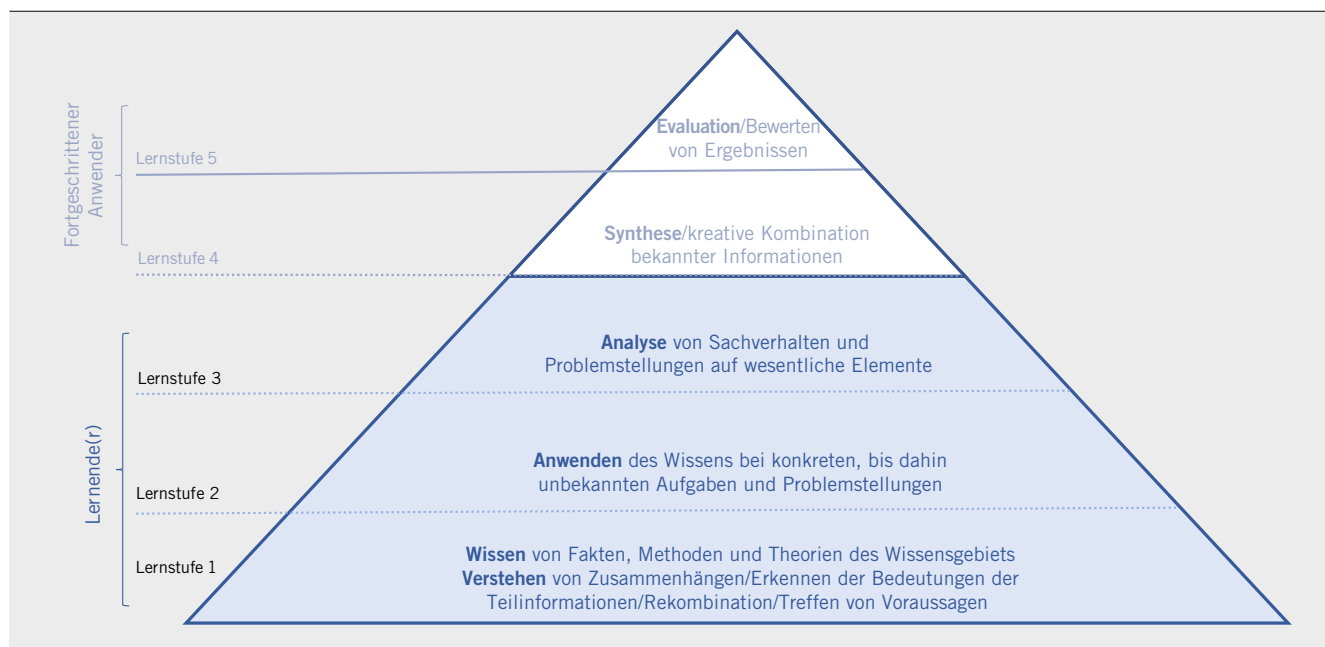


BILD 3 Lernzielstufen und entsprechende Lernziele (© Paluno)

ritätsebenen zusammen. Die jeweiligen Views haben einen umfangreichen und in sich konsistenten Satz von konkreten Modellierungstechniken und -aktivitäten. Für jede Zelle in der Matrix schlägt die SPES-Methodik eine Reihe von Modellen vor, um die notwendigen Informationen zu beschreiben. So befasst sich zum Beispiel die Analyse- und Spezifikationstätigkeit aus der Anforderungssicht mit der Kontext-, Ziel-, Szenarien- und Anforderungsmodellierung.

5 WEITERBILDUNG

Um die SPES-Methodik in der Praxis zu etablieren, wurden im Technologietransferprojekt Spedit multimediale Lernmaterialien zur Weiterbildung erarbeitet. Konzepte und Materialien wurden bei Unternehmen verschiedener Branchen evaluiert. Das Lernmaterial orientiert sich an den typischen Rollen und deren Kompetenzprofilen. Für jede Rolle wie zum Beispiel die des Systemarchitekten wurde festgelegt, auf welcher Lernstufe das entsprechende Wissen benötigt wird. Die zur Erarbeitung des Lernmaterials betrachteten Lernstufen sind in **BILD 3** dargestellt. Das Lernmaterial wurde bis zur Lernzielebene 3 entwickelt, auf der die Lernenden befähigt sind, komplexere Sachverhalte strukturiert zu analysieren und in Form eines Modells auszudrücken. **TABELLE 1** zeigt die fünf reali-

| Lerninhalte | Lernstufe |
|--|-----------|
| Modul 1: Systemarchitekt | |
| Anforderungsmodellierung | L1 |
| Funktionsarchitektur | L2-3 |
| Logische Architektur | L2-3 |
| Deployment | L1 |
| Modul 2: System Requirements Engineer | |
| Kontext- und Zielmodellierung | L2 |
| Szenariomodelle | L2 |
| Spezifikation/Analyse von Anforderungen | L2-3 |
| Verfeinerung von Anforderungen | L2-3 |
| Modul 3: Test Engineer | |
| Anforderungsmodellierung | L1-2 |
| Modellierung von Testfallspezifikationen | L2-3 |
| Testausführung | L3 |
| Simulation | L3 |
| Modul 4: Softwarearchitekt | |
| Kontext- und Zielmodellierung | L2 |
| Szenariomodelle | L2 |
| Spezifikation/Analyse von Anforderungen | L2-3 |
| Funktionsarchitektur | L2-3 |
| Logische Architektur | L2-3 |
| Modul 5: Software Developer | |
| Anforderungsmodellierung | L1 |
| Spezifikation von Softwarekomponenten | L2 |
| Formale Analyse | L3 |
| Simulation | L3 |
| Scheduling-Synthese | L3 |

TABELLE 1 Lernmodule, zugehörige Themenbereiche und Lernstufen (© Paluno)

VEREDELN SIE IHR WISSEN. MIT DEM JOT-TESTABO



Ihre Abo-Vorteile:

- ✓ 12 Ausgaben im Jahr
- ✓ Plus mindestens 5 exklusive Specials
- ✓ Inkl. E-Magazin *NEU!*
- ✓ Freier Zugriff auf das Online-Archiv mit Fachartikeln seit 2000
- ✓ Ohne Risiko jederzeit kündbar

Führend. Praxisnah. Anwenderorientiert. Mit allem, was Sie über Oberflächentechnik wissen müssen.

www.meinfachwissen.de/JOT



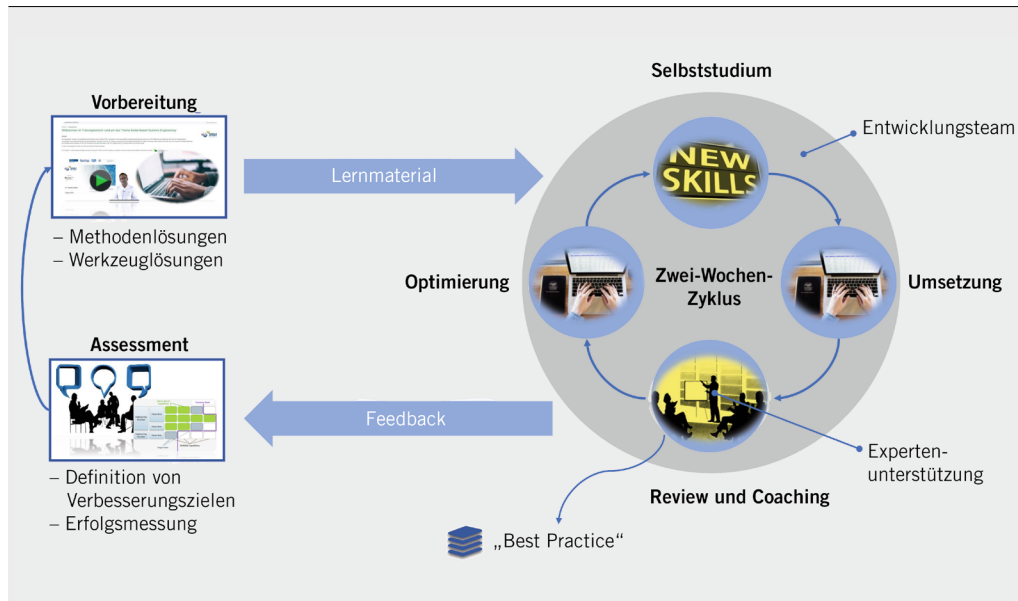


BILD 4 Pilotierungskonzept von Schaeffler (© Schaeffler)

sierten Weiterbildungsmodule, die thematisch in Lerninhalte gegliedert und denen wiederum die jeweiligen Lernzielebenen zugewiesen sind. So besteht das Weiterbildungsmodul Systemarchitektur aus vier Themenbereichen. Die Lerninhalte zur Anforderungsmodellierung und zum Deployment befinden sich hier auf Lernziel Ebene 1, auf dieser Ebene müssen sie lediglich verstanden sein. Die Inhalte zu den Themengebieten Funktionsarchitektur und logische Architektur befinden sich bei diesem Modul auf Lernziel Ebene 2 beziehungsweise Lernziel Ebene 3. Hier müssen die Lernenden nach erfolgreicher Absolvierung in der Lage sein, komplexe funktionale Zusammenhänge aufzudecken und zum Beispiel Funktionsarchitekturen mithilfe von Modellen zu spezifizieren. Ein Modul beansprucht jeweils circa 60 h. Die Ausbildungsinhalte können in verschiedene Online-Lernplattformen wie zum Beispiel Moodle integriert werden.

Das Lernmaterial basiert auf dem Konzept des Blended Learning: Die Lernenden eignen sich selbstständig Wissen an und überprüfen den eigenen Lernfortschritt mittels Kontrollfragen und Modellierungsübungen. Die grundlegenden Inhalte werden durch Lehrvideos vermittelt. Die Lernkontrolle für die Lernzielebenen 2 und 3 erfolgt zum Beispiel mithilfe von Modellierungsaufgaben, die vom Lernenden online mit Modellierungswerkzeugen bearbeitet werden können. Flankierend wurden in den Pilotprojekten auch Web-Seminare eingesetzt, in denen sich die Lernenden mit Fachexperten austauschen konnten und Fragen zu den Inhalten stellen konnten.

6 PILOTIERUNGSKONZEPT

Zur schrittweisen Einführung der SPES-Methodik im Pilotprojekt bei Schaeffler wurde ein Konzept erarbeitet, BILD 4, das eine kon-

| | | Reifestufe | | | | | | | | | | |
|----------------------|--|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Entwicklungsbereiche | Fokusbereiche | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Anforderungen | Kontextmodellierung | | | A | B | C | | D | | E | | |
| | Zielmodellierung | | | A | B | C | | D | | | | |
| | Szenarienmodellierung | | | A | | B | C | | | | | |
| | Lösungsorientierte Anforderungen | | A | | | B | C | D | | E | | |
| Systemfunktionen | Modellierung von Systemfunktionen | | | A | B | | | C | | | | D |
| | Spezifikation von Systemfunktionen | | | | | B | C | D | | | | E |
| | Modellierung von Ereignisketten | | | | | A | B | C | | D | | |
| | Modellierung von Betriebsarten | | | | | B | | C | | | | |
| Architektur | Modellierung logischer Komponenten | | | | | | | B | C | | | |
| | Modellierung der logischen Architektur | | | A | B | C | | D | | E | F | |
| | Systemtests | | A | | | B | | C | | D | | |

„Quick Wins“

BILD 5 Beispiel eines Assessment-Ergebnisses (blau) und mögliche nächste Schritte der Einführung von MBSE (© Paluno)

tinuierliche Erfolgskontrolle und Steuerung der Einführung von einzelnen Modellierungsmethoden erlaubt. Als Pilotobjekt zur Anwendung von MBSE wurde die Entwicklung einer integrierten Parksperre für die Schaeffler-E-Achse ausgewählt. Diese eignete sich als Pilotanwendung, weil die Funktionsweise recht einfach ist. Zugleich wies das Projekt die notwendige Entwicklungstiefe auf, um die SPES-Methoden zu evaluieren: Die Entwicklung reichte vom mechatronischen System bis zum Software-Code.

Das Pilotierungskonzept sieht am Anfang ein Assessment der vorhandenen Fähigkeiten in Bezug auf MBSE vor. Diese Phase wird durch die Anwendung eines MBSE-Reifegradmodells unterstützt. Dieses dient erstens dazu, die aktuelle Reife einer Entwicklungsorganisation in Bezug auf MBSE zu bewerten, und zweitens, eine an Verbesserungszielen orientierte Strategie zu entwickeln, wie die entsprechende Organisation in klar definierten, beherrschbaren Schritten systematisch weiterentwickelt werden kann.

BILD 5 zeigt einen Ausschnitt des Reifegradmodells für die Bereiche Anforderungen, Systemfunktionen, Architektur und Systemtest. Jede dieser Entwicklungsbereiche ist in Fokusbereiche untergliedert, für die jeweils spezifische Reifegradstufen definiert sind. Anhand der jeweiligen Charakterisierung kann nachvollziehbar beurteilt werden, ob eine Entwicklungsorganisation diese Reifestufe bereits erreicht hat beziehungsweise welche Maßnahmen ergriffen werden sollten, um die Organisation in dem entsprechenden Fokusbereich zu verbessern. Das Assessment mit dem MBSE-Reifegradmodell nimmt in der Regel nur 2 bis 3 h in Anspruch und liefert wertvolle Erkenntnisse, um Verbesserungsziele für das MBSE zu definieren. **BILD 5** zeigt einen Teil der Ergebnisse einer Reifegradanalyse. Die grau eingefärbten Zellen repräsentieren Reifegradstufen, die in den einzelnen Fokusbereichen von der Organisation bereits erreicht wurden. In den Feldern, die Buchstaben (A, B, C...F) enthalten, sind in dem jeweiligen Fokusbereich Fähigkeiten definiert, die erfüllt sein müssen, damit die Organisation in diesem Bereich die entsprechende Reifestufe erreichen kann.

In das Pilotprojekt der integrierten Parksperre waren circa 15 Mitarbeiter von Schaeffler involviert, je nach Rolle mit unterschiedlicher Intensität. Die Mitarbeiter lernten zunächst im Selbststudium die neuen Methoden und wendeten die erlernten Modellierungstechniken bei der Entwicklung der Parksperre an. Im Zwei-Wochen-Rhythmus trafen sich die Mitarbeiter zu Coachings mit MBSE-Experten des Instituts Paluno und weiteren Projektpartnern. Nach mehreren Zyklen wurde geprüft, ob die Ziele erreicht wurden, und neue Maßnahmen vorbereitet. In der zweijährigen Pilotierung konnte der Großteil der Modellierungsmethoden in die Praxis eingeführt und eingehend getestet werden – von der modellbasierten Anforderungsentwicklung über System- und Softwarearchitektur bis hin zum modellbasierten Testen. Während die Teilnehmer zu Projektbeginn durchaus skeptisch waren, überwog am Ende der Pilotierung durchweg eine positive Einstellung. Die Pilotierung verdeutlichte die Vorteile der modellbasierten Entwicklung: Unklarheiten werden identifiziert und kommen frühzeitig zur Diskussion und Klärung – und zwar disziplinenübergreifend und eindeutig.

7 FAZIT UND AUSBLICK

Derzeit haben bei Schaeffler mehr als 200 Mitarbeiter die Trainings durchlaufen, die auf Basis des Spedit-Trainingsmaterials aufgebaut wurden. Die Weiterbildungsmaßnahmen wurden durch-

weg positiv bewertet. Während im Pilotprojekt noch externe MBSE-Experten die Einführung begleiteten, gibt es im Unternehmen inzwischen eigene Experten, die unternehmensspezifische Ausprägungen der MBSE-Lösungen vorantreiben und bei der Einführung der Methodik in weitere Bereiche unterstützen. Das Bewusstsein für die modellbasierte Systementwicklung und damit auch das Erkennen ihrer Bedeutung ist im Unternehmen kontinuierlich gestiegen, was die Nachfrage nach weiteren MBSE-Einführungen nach sich zieht. Die SPES-Methoden, die Trainingsmaterialien und vor allem die Erfahrungen aus der Pilotierung bilden bei Schaeffler eine gute Grundlage, um die Prozesse, Methoden und Werkzeuge zur Produktentwicklung weiter zu optimieren.

LITERATURHINWEISE

- [1] Pohl, K.; Hönninger, H.; Achatz, R.; Broy, M. (Hrsg.): Model-Based Engineering of Embedded Systems: The SPES 2020 Methodology. Berlin/Heidelberg: Springer, 2012
- [2] Pohl, K.; Broy, M.; Daembkes, H.; Hönninger, H. (Hrsg.): Advanced Model-Based Engineering of Embedded Systems: Extensions of the SPES 2020 Methodology. Heidelberg: Springer, 2016
- [3] Böhm, W.; Broy, M.; Klein, C.; Pohl, K.; Rumpe, B.; Schröck, S. (Hrsg.): Model-Based Engineering of Collaborative Embedded Systems: Extensions of the SPES Methodology. Heidelberg: Springer, 2021

DANKE

Dieser Beitrag ist Teil der Ergebnisse der Forschungsprojekte Spedit, Crest, SPES 2020 und SPES XT, die vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wurden. Die Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Klaus Pohl des Softwaretechnik-Instituts Paluno hat dieses Projekt mit Partnern aus Industrie und Wissenschaft bearbeitet. Allen Partnern und Kollegen, vor allem Thorsten Bandyszak, Jennifer Brings und Dr. Marian Daun, gilt der Dank der Autoren.



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

Test now for 30 days free of charge: www.atz-worldwide.com