

# Automobilindustrie macht e-mobil

Der zunehmende Funktionsumfang mechatronischer Produkte und ihre Vernetzung mit anderen Systemen erfordern einen ganzheitlichen Ansatz der Produktentwicklung. Das soll Systems Engineering (SE) leisten. Die Integration von Werkzeugen und Methoden des SE in die Produktentstehungsprozesse stellt sowohl die Anwenderunternehmen, als auch ihre IT-Systemlieferanten vor neue Aufgaben. Wie Automobilhersteller und -zulieferer damit umgehen, beschreibt Teil 3 unserer Serie zum Thema Systems Engineering.



*Der Trend zur E-Mobility ist einer der Treiber für die SE-Initiativen in der Automobilindustrie. Die wachsende Komplexität der Fahrzeuge und die zunehmende Modellvielfalt erfordern neue Ansätze der modellbasierten Systementwicklung. (Bild: BMW)*

Systems Engineering ist in Mode. Alle Welt redet davon, aber wenn man drei Fachleute fragt, was sie darunter verstehen, wird man vermutlich fünf verschiedene Antworten erhalten. Der Definition von IncoSE (International Council on Systems Engineering) zufolge handelt es sich um einen interdisziplinären Ansatz und ein Mittel für die erfolgreiche Realisierung von (komplexen technischen) Systemen, der alle Disziplinen und Spezialisten in einem strukturierten Entwick-

lungsprozess vereint und dabei alle Aspekte vom Konzept bis zur Produktion und zum Betrieb berücksichtigt. Wobei der Fokus auf der Definition der Kundenbedürfnisse und der gewünschten Funktionalität am Anfang des Entwicklungszyklus, der Dokumentation der Anforderungen, der Design-Synthese und der Überprüfung (Verifikation beziehungsweise Validierung) des Gesamtsystems liegt.

Angewandt wurde SE als interdisziplinärer Ansatz zunächst bei komplexen Groß-

projekten in Raumfahrt und Rüstungsindustrie, später dann auch im Flugzeugbau. Derzeit gehört vor allem die Automobilindustrie zu den Branchen, die sich intensiv mit der Thematik beschäftigen und konkrete SE-Initiativen gestartet haben. Zielsetzung dieser Initiativen ist es, die zunehmende Komplexität der Produktentwicklung im Fahrzeugbau besser beherrschbar zu machen, indem man die verschiedenen Engineering-Disziplinen, das heißt Mechanik-, Elektrik/Elektronik (E/E)- und Software-Entwicklung beziehungsweise die IT prozesstechnisch enger verzahnt. Ein wichtiges Mittel dafür ist die Integration von einheitlichen Werkzeugen und Methoden des SE, insbesondere der modellbasierten Systementwicklung (MBSE), in den Produktentstehungsprozess (PEP).

### Neue Methoden der Produktentwicklung

Nach dem Verständnis von Dr.-Ing. Dietmar Trippner, Leiter Prozess IT Idea to Offer (sinngemäß Produktentwicklung) bei der BMW Group, ist SE eine grundlegende Methodik, um den gesamten Entwicklungsprozess im Sinne des RFLP-Modells (Requirements, Functional, Logical and Physical Definition) stärker zu systematisieren, das heißt zu untergliedern und dadurch zu vereinfachen. Das hat zunächst noch nichts mit interdisziplinärer Zusammenarbeit zu tun. De facto hat die Methodik bei BMW vor zehn Jahren zunächst in der E/E-Entwicklung Einzug gehalten, die vor der Herausforderung stand, in jedem Fahrzeugtyp nicht mehr nur Hunderte, sondern Tausende von Funktionen absichern zu müssen. Die damit verbundene Komplexität machte es erforderlich, funktionale, logische und physische Ebene stärker zu entkoppeln, wie Trippner sagt: „Für die Mechanik-Entwickler ist SE hingegen relatives Neuland, obwohl die theoretischen Grundlagen des methodischen Konstruierens seit mehr als 40 Jahren an deutschen Hochschulen gelehrt werden. Sie müssen lernen, nach der gleichen Methodik zu arbeiten.“

Natürlich werden komplexe Systeme und Systemkomponenten sowohl bei BMW und anderen OEM, als auch bei ihren Tier-1-Suppliern schon seit langem interdisziplinär entwickelt (und validiert). Sonst würden Automobile, in denen Millionen Zeilen Programmcode stecken und die Tausende von Funktionen zu erfüllen haben, nicht sicher und zuverlässig über unsere Straßen rollen. In vielen Bereichen kommen dabei auch

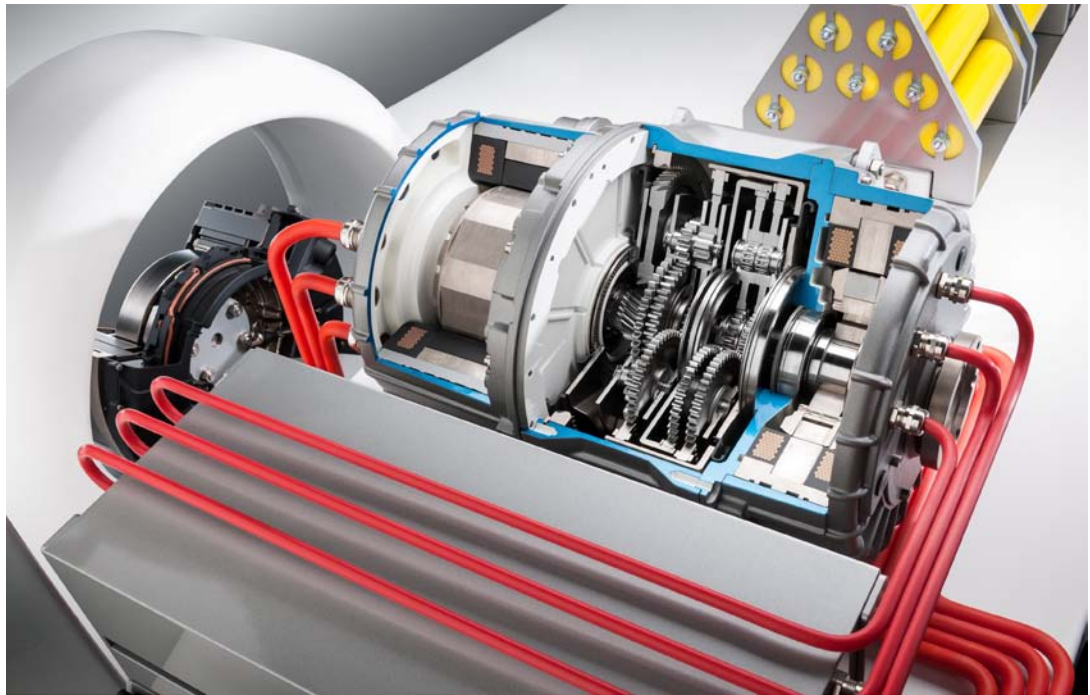
schon Methoden des SE beziehungsweise des MBSE zur Anwendung, wie Dr.-Ing. Walter Koch, Leiter Entwicklungsprozesse Schaeffler Gruppe sagt, „aber eben nicht so prozessdurchgängig wie wir uns das wünschen würden und auch nicht mit der nötigen Tool-Unterstützung, die für den Entwicklungsprozess erforderlich wäre.“ Dr.-Ing. Stefan Rude, Leiter des neuen Netzwerks Systems Engineering bei BMW sieht das ähnlich: „Human Based Systems Engineering machen wir schon lange. Jetzt geht es darum, bei der modellbasierten Systementwicklung den RFLP-Ansatz auf allen Ebenen vom Gesamtfahrzeug bis auf Komponentenebene umzusetzen, so dass wir auch in den IT-Systemen bzw. den zugrunde liegenden Modellen die Traceability erreichen.“

Die Herausforderung für Automobilhersteller und ihre Systemlieferanten besteht nicht nur darin, ihre IT-Systemlandschaften umzubauen beziehungsweise ihre PLM-Lösungen SE-fähig zu machen – sie müssen auch ihre Entwicklungsprozesse anpassen und (vor allem im Mechanik-Bereich) Anwender mit dem notwendigen System-Know-how finden beziehungsweise heranziehen. Oder wie Koch sich ausdrückt: „SE erfordert einen Mind Change im gesamten Unternehmen und auf allen Hierarchieebenen.“ Wobei sich Anforderungen und Lösungsansätze von OEM und Zulieferern aufgrund ihrer unterschiedlichen Position in der Prozesskette etwas unterscheiden. Um sie besser zu verstehen, sei an dieser Stelle ein Seitenblick auf die wesentlichen Triebkräfte für SE-Initiativen gestattet.



*Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs ist bei Schaeffler wesentlicher Treiber für eine stärkere Einbettung des SE in den Produktentstehungsprozess: Der Wälzlagerhersteller entwickelt heute komplexe mechatronische Systeme wie den Radnabenmotor eWheel Drive, in denen Elektrik/Elektronik und Software integrale Bestandteile sind. (Bild Schaeffler)*

*Ausgeklügelte Steuerungs-  
algorithmen sorgen im  
eDifferenzial von Schaeffler  
für eine höhere Energieef-  
fizienz und sparen dadurch  
Kraftstoff. Die Entwicklung  
solcher Produkte erfordert  
eine disziplinenübergrei-  
fende Herangehensweise.  
(Bild Schaeffler)*



### Motor für die Systementwicklung

Schaeffler ist ein gutes Beispiel für den Wandel in der Automobilzulieferindustrie, der den Bedarf für SE weckt. Als klassischer Wälzlagerhersteller war das Unternehmen ursprünglich rein auf die Mechanik-Entwicklung fokussiert, bis man vor einiger Zeit anfang, sich intensiver mit der Elektrifizierung des Antriebsstrangs zu beschäftigen. Das Unternehmen entwickelt heute mechatronische Produkte für die e-Mobilität von morgen wie den Radnabenmotor eWheel Drive, in denen Elektrik/Elektronik und Software integrale Bestandteile sind. „Die Kunden erwarten von uns komplexe Systemlösungen, für die wir die Systemverantwortung übernehmen und die abgestimmte Funktionalität aller Komponenten sicherstellen“, erläutert Koch. Das enge Ineinandergreifen der Disziplinen bei der Elektrifizierung des Antriebsstrangs müsse man durch abstraktere Modelle unterstützen, um ein gemeinsames Verständnis für die Funktionsweise der Produkte entwickeln zu können.

Bei BMW spielt neben der Verzahnung von Mechanik, Elektronik und Software und der damit einhergehenden Komplexität ein zweites Phänomen eine wichtige Rolle für den Ruf nach neuen Methoden: Die zunehmende Komplexität über die Varianz. Während es früher drei oder vier verschiedene Modellreihen gab, die sequentiell entwickelt wurden, laufen heute 25 verschiedene Fahr-

zeugtypen parallel durch die Entwicklung. „Das schaffen wir nur dadurch, dass wir auf Baukästen aufsetzen und dieselben Teile in verschiedenen Typen einbauen, wodurch die Abhängigkeiten und Rückkopplungseffekte enorm zugenommen haben“, erläutert Trippner.

Die Reduzierung der Teilevielfalt ist ein wesentliches Ziel der SE-Aktivitäten bei BMW, wie Trippner weiter ausführt: „Es ist sicher eine Besonderheit der Automobilindustrie, dass wir der Wiederverwendung einen so hohen Stellenwert einräumen.“ Um sie zu ermöglichen, müsse man die Anforderungen beziehungsweise die daraus abgeleiteten Merkmale und Funktionen auf einzelne Komponenten herunter brechen und gleichzeitig sicherstellen können, dass diese auch unter anderen Umgebungsbedingungen die Anforderungen erfüllen. Diese Verdrachtung von Anforderungen und Lösungen erfordere ein viel systematischeres Arbeiten in allen Disziplinen, um die Zusammenhänge auf Gesamtfahrzeugebene validieren und nachvollziehbar dokumentieren zu können.

Traceability ist ein Kernelement des modellbasierten SE, aber es darf auch nicht immer alles für alle nachvollziehbar sein, wie Koch betont, der in diesem Zusammenhang die Bedeutung des Know-how-Schutzes hervorhebt. In punkto Modularisierung ist Schaeffler noch nicht so weit wie BMW, aber die Erkenntnis für ihre Notwendigkeit wächst: „SE-Methoden lassen sich natürlich auch

ohne Ordnungssystematik anwenden, aber es nicht effizient und auch von den Kosten nicht tragbar, jede kundenspezifische Ausprägung neu zu machen“, so Koch weiter. Man brauche eine ausgeklügelte Systemarchitektur und müsse sich deshalb vorab Gedanken machen, wie man seine Produkte strukturiert und wo man Schnittstellen setzt, nicht nur zum Kunden hin, sondern auch nach innen, um bestimmte Komponenten schnell austauschen zu können.

### Projektmanagement als Bindeglied

Bei Schaeffler versteht man SE als eine von vier Engineering-Disziplinen der Mechanik-Entwicklung, neben (oder vor) der Mechanik-, Elektronik- und Software-Entwicklung. Derzeit ist es noch nicht fest im PEP verankert – das Prozessmodell wird gerade überarbeitet und soll Ende des Jahres freigegeben werden. Vorgesehen ist, die SE-Experten des Systemhauses e-Mobility (eine Art hausinternes Kompetenzzentrum) über einen Projektmanagement-Ansatz in die interdisziplinären Teams einzubinden. „Voraussetzung für SE ist ein substantielles Projektmanagement, um die Experten zusammenzubringen und die Projektarbeit zu steuern“, sagt Koch. „Wir brauchen die SE-Expertise jeweils am Anfang der Projekte und wieder gegen Ende, um die Arbeit der einzelnen Disziplinen zusammenzuführen und zu validieren. Das heißt wir müssen mehrere Projekte untereinander aussteuern.“ Die SE-Mannschaft des Systemhauses e-Mobility setzt sich aus vielen neuen Mitarbeitern zusammen, die direkt von den Hochschulen oder anderen Unternehmen kommen, aber zum Teil werden auch langjährige Mitarbeiter hausintern weiter qualifiziert. Offene Stellen zu besetzen ist schwierig, wie Koch einräumt.

Für einen Automobilzulieferer, der mechatronische Produkte von Grund auf neu entwickelt, ist die Verankerung des SE im PEP zweifellos einfacher als für einen OEM, der die Gesamtfahrzeugentwicklung im Blick hat und haben muss. (Wobei Koch darauf hinweist, dass SE bei Schaeffler nicht nur im Automobilbereich zur Anwendung kommt.) Bei BMW stellt sich die Frage, für welche Aufgaben beziehungsweise Funktionsbereiche im Fahrzeug man SE vorrangig nutzen soll. Neue Automobile werden normalerweise nicht komplett neu entwickelt, sondern bauen auf Vorhandenem auf, das meist noch nicht mit SE-Unterstützung entwickelt wurde. Der Aufwand, Funktionsweise und Ver-

halten eines bestehenden Fahrzeugs komplett in abstrakten Modellen zu beschreiben, stünde jedoch in keinem Verhältnis zum Nutzen.

„Wenn wir heute Funktionen beschreiben, fangen wir mit den Teilumfängen an, bei denen das am meisten Sinn macht, beispielsweise im Fahrwerksbereich, aber noch nicht in der Karosserie. Das kommt vielleicht mal“, sagt Trippner, der eine interessante Analogie zur CAD-Einführung vor dreißig Jahren zieht. Damals gab es bei BMW sage und schreibe drei Mechanik-CAD-Arbeitsplätze (heute sind es Tausende), mit denen nur bestimmte Teile konstruiert wurden. „Wir hätten uns nicht vorstellen können, dass wir die Geometrie eines kompletten Fahrzeugs mal vollständig in 3D beschreiben würden“, so Trippner weiter. Er geht davon aus, dass die SE-Durchdringung in der Fahrzeugentwicklung aufgrund der hohen Innovationsdynamik und des Trends zur e-Mobilität schneller zunehmen wird als damals die CAD-Durchdringung.

### Prozess IT bei BMW umgekrempelt

Die SE-Initiative der BMW Group hat vier strategische Stoßrichtungen, aus denen sich die Handelsbedarfe hinsichtlich IT-Bebauungsplan, Prozessgestaltung und Organisation ableiten lassen: Durchgängigkeit von den Anforderungen bis zur Abnahme (Freizeichnung in der BMW-Terminologie), die Durchgängigkeit vom Gesamtfahrzeug bis zur Komponentenebene, die Verzahnung der Disziplinen und ihrer Systemmodelle sowie die Durchgängigkeit der Systembebauung und -bedienung: „Wir haben im Entwicklungsressort über 1.000 unterschiedliche Systeme im Einsatz und Anwender, die mehr als 50 davon bedienen müssen“, sagt Trippner. „Die brauchen Oberflächen mit einem einheitlichen Look & Feel.“

In organisatorischer Hinsicht hat BMW die Prozess IT, welche die Kollegen in den Fachbereichen der Fahrzeugentwicklung unterstützt, vor einigen Monaten komplett umgekrempelt, um den neuen Anforderungen der SE Rechnung zu tragen. Es gibt jetzt nicht mehr die klassischen Bereiche für Geometrie (CAD), Berechnung (CAE), Elektrik/Elektronik (ECAD, EDA) und Datenbanken (PDM), sondern eine stärker an den Prozessanforderungen ausgerichtete Organisation. Zu den wesentlichen Neuerungen gehört auch das von Rude geleitete Netzwerk Systems Engineering, eine Steuerungsabteilung, der sowohl die für die Applikationen verant-

*In Testfahrzeugen von heute erprobt Schaeffler Produkte für die eMobilität von morgen. Ihre frühzeitige Absicherung mit Hilfe von SE-Methoden reduziert die Zahl der erforderlichen Prototypen.  
(Bild Schaeffler)*



wortlichen Kollegen aus der Prozess IT, als auch Key-Anwender aus den Fachbereichen angehören. „Unsere Aufgabe ist es, den fachlichen Austausch zwischen den Key-Playern in Prozess, IT und Fahrzeugentwicklung sicherzustellen, Vorgaben für den Umbau der IT-Landschaft im Produktentwicklungsprozess zu machen und die Themen für PMT-Verbesserungen (Prozesse, Methoden, Tools) festzulegen“, erläutert Rude.

A propos IT-Bebauung: Die anstehende PLM-Entscheidung für die Ablösung der bestehenden PLM-Systeme bei BMW ist noch nicht gefallen. Schaeffler hat sich hingegen vor einigen Jahren entschieden, die bestehende PLM-Lösung durch Windchill und die integrierte ALM-Lösung Integrity (Application Lifecycle Management) von PTC zu ersetzen und mit einem leistungsfähigen Projektmanagement-System zu kombinieren. Das soll allerdings nicht heißen, dass die neue IT-Architektur die SE-Prozesse so durchgängig unterstützt, wie sich Koch das wünschen würde. Ähnliches gilt für die Lösungen anderer PLM-Hersteller: BMW hat die Eignung der Software von Siemens PLM Software und Dassault Systèmes anhand der Entwicklung von mechatronischen (Teil-)Systemen wie einem Bremswegbeispiel, einem Sonnendach und einer automatischen Heckklappe getestet und dabei festgestellt, dass sie noch Schwachstellen aufweisen beziehungsweise den RFLP-Ansatz noch nicht durchgängig unterstützen, wie Rude sagt. Es sei zum Beispiel nicht möglich oder noch sehr umständlich, Anforderungen automatisch mit Lösungselementen oder den dazu gehörigen Test Cases zu verknüpfen. Das soll aber kein Vorwurf an die Adresse der Softwarehersteller sein, wie Trippner betont: „Ihre Programmierer können letztlich nur das umsetzen, was die Anwender

vorgeben, und denen fehlt oft selbst noch das nötige Know-how.“

### **Fehlende Standards und Schnittstellen**

Eine große Herausforderung für die Anwender eines mechanikgetriebenen Unternehmens wie Schaeffler ist es, zunächst einmal ein Verständnis für die Bedeutung des Requirements Engineering zu entwickeln. „Ein gutes Anforderungsmanagement ist die Grundlage des SE, um die vielen Anforderungen aufzunehmen und zu hinterfragen, was der Kunde wirklich will“, sagt Koch. „Damit ist es jedoch nicht getan. Wenn man SE richtig anwenden will, braucht man abstrakte Architekturmodelle und Mitarbeiter, die in der Lage sind, diese Modelle aufzubauen und zu verstehen. Man muss diese Modelle über lange Zeit pflegen und weiter entwickeln, um darauf vertrauen zu können, dass sie die Realität widerspiegeln. Und man muss sie simulieren können, um nicht ständig Versuchsträger aufbauen zu müssen, was extrem teuer ist.“

Am Beispiel des Requirements Engineering lässt sich verdeutlichen, wo die Schwierigkeiten bei der Integration der SE-Methoden in den PLM-Kontext bestehen. Es gibt bei Schaeffler drei Möglichkeiten, Anforderungen zu erfassen: In textlicher Form mit der Software Doors, die seitens der OEM gesetzt ist und das vorrangige Werkzeug der Einkäufer ist. Als unternehmensweiter Standard für das Anforderungsmanagement wird die Software Integrity eingesetzt, mit der Anforderungen attributorientiert in Listenform dargestellt werden, während die Systementwickler das Beziehungsgeflecht zwischen den Anforderungen mit SysML beziehungsweise dem Editor Enterprise Architekt modellieren und

visualisieren. „Jeder hat seine Sicht auf die Dinge und benötigt dafür unterschiedliche Werkzeuge, zwischen denen die Informationen nicht verlustfrei ausgetauscht werden können, zumindest nicht bidirektional. Und da reden wir nur von den Anforderungen“, sagt Koch. „Eigentlich bräuchte man ein zentrales Informationsmodell mit Anwendungen, die auf dieselben Informationsobjekte zugreifen und sie nur in unterschiedlicher Form darstellen, ähnlich dem Konzept der Apps bei Apple. Das wäre meine Vision.“

Bei der Entwicklung von Mechatronik-Produkten werden heute Informationen der unterschiedlichsten Art mit vielfältigen Beziehungen in Modellen (Architektur-, Funktions-, Simulationsmodellen etc.), Exceltabellen oder anderen Dokumenten gespeichert. Bei BMW gibt zum Beispiel immer noch eine eigene Bordnetz-Datenbank darüber Auskunft, welche Informationen zwischen welchen Funktionen der Steuergeräte ausgetauscht werden. „Die Herausforderung besteht darin, das alles IT-technisch zu integrieren“, sagt Rude. Aus PLM-Sicht ist das größte Problem dabei, dass die Informationen oft in Dokumenten beziehungsweise Dateien gekapselt sind, so dass man sie nicht direkt miteinander vernetzen und deshalb auch die Auswirkungen von Änderungen nur schwierig nachvollziehen kann. „Wir müssen die Informationsobjekte herausziehen und in Datenbanken verwalten, aber dafür fehlen einheitliche Standards und Schnittstellen“, sagt Koch. Handlungsbedarf sieht Rude diesbezüglich vor allem, was die Simulationsdaten beziehungsweise die Informationen aus der Funktionsmodellierung angeht.

### SE-Modelle enthalten viel Know-how

Eine interessante Frage ist, welche Informationen und Beziehungen bei der modellbasierten Systementwicklung eigentlich in die PLM-Lösungen abgebildet werden sollen, um Prozesse wie das Änderungs- oder Konfigurations-Management durchgängig unterstützen zu können. Die Experten sind sich da nicht einig: Manche Wissenschaftler sind der Meinung, dass die Abbildung sämtlicher Beziehungen die PLM-Lösungen überfordern beziehungsweise ihre Anwendung zu komplex machen würde und befürworten stattdessen die Übernahme von kritischen Informationsobjekten (etwa den configured items). Koch bezweifelt allerdings, dass sich in der Praxis sauber entscheiden lässt, welche Objekte mit ihren Beziehungen änderungsrelevant sind. „Meiner Meinung nach ist es besser, die Infor-

mationsgeflechte ganzheitlich abzubilden und gegebenenfalls bestimmte Objekte zu verstecken, so dass sie nicht für alle sichtbar sind, aber trotzdem ihre Funktion beibehalten.“

Die Möglichkeit, bestimmte Informationen in den Systemmodellen in verschlüsselter Form weiterzugeben, ist gerade mit Blick auf die Supply Chain Collaboration wichtig, denn bei vernetzten Systemen verteilt sich die Entwicklung der einzelnen Systemkomponenten oft über verschiedene Lieferanten. „In den Modellen steckt sehr viel Know-how, das wir bei der Weitergabe an den OEM oder gar an andere Zulieferer schützen müssen. Wenn ich die Funktionen eines Produkts in SysML vollständig beschrieben habe, kann das praktisch jeder nachbauen“, sagt Koch, der auch hier einheitliche Standards vermisst. In der Praxis tauscht Schaeffler deshalb mit den eigenen Unterlieferanten, etwa von Elektronik-Baugruppen, derzeit noch keine Informationen modellbasiert aus. Kommunikationsgrundlage sind mit Doors erstellte und im pdf-Format ausgegebene Lastenhefte.

Die Etablierung von Industriestandards für den Austausch von SE-relevanten Informationen ist eine wesentliche Voraussetzung für die Nutzung der Werkzeuge und Methoden des SE in verteilten Entwicklungsszenarien, wie sie für die Automobilindustrie charakteristisch sind. Koch würde sich wünschen, dass sich die OEM hierfür ähnlich stark machen wie für die Durchsetzung des Autosar-Standards. „Außerdem brauchen wir ein Anforderungsmanagement, das gelebt wird, das heißt klare Vereinbarungen von Anforderungen, an die sich beide Seiten dann auch halten.“

Fazit: Neue Werkzeuge und Methoden des SE sind unerlässlich, um die wachsende Komplexität bei der Entwicklung von (vernetzten) mechatronischen Systemen beherrschbar zu machen. Ihre Anwendung in der Fahrzeugentwicklung wird allerdings noch durch eine Reihe von offenen „Baustellen“ behindert: Fehlende Modularisierung der Produkte, fehlende Verankerung in den Prozessen, fehlende personelle Ressourcen mit entsprechendem Know-how, fehlende Integration der Werkzeuge beziehungsweise der mit ihnen erzeugten Informationsobjekte in die PLM-Umgebung und fehlende Standards für den Austausch von Informationen. Es gibt also viel zu tun. Was die PLM-Anbieter tun, um ihre Plattformen fit für SE zu machen, lesen Sie in den kommenden Beiträgen dieser Serie. –sg–

Michael Wendenburg, Sevilla  
([www.wendenburg.net](http://www.wendenburg.net))