

Methoden, Prozesse, Tools

Die Werkzeuge, deren Bedienung und die domänenspezifischen Informationsflüsse sind einem großen Wandel unterworfen.

**CHRISTOF GEBHARDT, CADFEM GMBH;
DR.-ING. ARNOLD HERP, HEITEC AG;
DR.-ING. HELMUT MEITNER, DRÄXLMAIER GROUP;
NORBERT FINKEL, COSCOM COMPUTER GMBH;
MICHELE DEL MONDO, PTC GMBH;
DR.-ING. DIRK ORTLOFF, CAMLINE GMBH;
MICHAEL PROBST, ISKO ENGINEERS AG;
DR. MARKUS RICKERT, FORTISS;
CLEMENS SCHLEGEL, SCHLEGEL SIMULATION GMBH;
DR. BERNHARD VALNION, DIGITAL AGENDA UG;
JAN VOLLMAR, SIEMENS AG;
DR.-ING. KLAUS FUNK, ZENTRUM DIGITALISIERUNG.BAYERN**

„Geschätzte 80% der Versuche in den F&E-Abteilungen wurden so oder ganz ähnlich schon einmal gemacht. Davon die Hälfte in der eigenen Organisation!“ So ungefähr ist von erfahrene Entwicklungsleitern in informellen Gesprächen immer wieder zu hören.

Wenn man ehrlich ist, wird die Dokumentation der Arbeiten und Ergebnisse in F&E, die beispielsweise nicht von Compliance-Anforderungen für die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften, der Gewissenhaftigkeit des Managements oder der Qualitätssicherung geleitet wird, meist als notwendiges Übel angesehen. Dokumentieren wird nicht gemocht, weil es gefühlt die Freiheit zu beschränken scheint, die Kreativität behindert und (zumindest zuerst) als Overhead mit begrenztem Wert wahrgenommen wird.

Wissensmanagement, Innovationsmanagement und Transdisziplinarität

DR.-ING. DIRK ORTLOFF, CAMLINE GMBH

Was sollten denn die Ergebnisse sein, wenn auch in F&E sauber dokumentiert wird? Hier ein paar überraschend überzeugende Antworten:

- Kollaboratives Wissensmanagement und einfacher, multiperspektivischer Zugriff auf Informationen und Wissen in der Organisation: Das Hauptproblem bei vielen Wissensmanagement-Initiativen besteht darin, dass die archivier-

ten Informationen nicht so strukturiert sind, dass sie aus verschiedenen Perspektiven leicht abrufbar sind

- Verbesserung der Lernfähigkeit der Organisation und des assoziierten Ökosystems
- Speicherung sämtlicher Forschungsdaten für den Zugriff durch autorisierte Nutzer. Zum Beispiel die Speicherung von experimentellen Daten, die eigentlich nicht den erhofften Ergebnissen entsprechen (nur aus Fehlern lernt man Neues!)
- Zugriff von jedem Standort aus
- Ermöglichung der Suche nach Forschungsdaten mit mehreren Perspektiven und verschiedenen Kriterien.

In der F&E-Praxis gibt es jedoch nach wie vor diverse Probleme:

- Daten liegen in semi-strukturierter (Tabellen mit Zahlen und Einheiten) und unstrukturierter (Bildern, E-Mails, Dokumenten) Form vor. Tatsächlich liegen etwa 80% der digitalisierten Daten in einem typischen Unternehmen in Form von unstrukturierten Daten vor.
- Die strukturierten Daten können sich täglich oder sogar stündlich ändern. Neue Parameter zur Sammlung und Überwachung werden gefunden und alte werden nicht weiter unterstützt.
- Suchkriterien und Berichte ändern sich mit jedem Projekt und sogar innerhalb eines Projekts.
- Die Volltextsuche reicht nicht aus und liefert nicht den Kontext (In welchem Projekt wurde dieses Ergebnis erreicht? Wie wurde die Komponente hergestellt? Wo sonst verwendeten wir das gleiche Material? Zeigen Sie mir alle Komponenten, die in einem Bereich von -50°C bis 120°C funktionieren).
- Der Kontext von Daten im Allgemeinen wird aufgrund von

Einschränkungen in der Kategorisierung meistens nicht beibehalten oder geht teilweise verloren.

Darüber hinaus kann die Zusammenstellung der gesammelten Ergebnisdaten in Berichten und die Auswertung einen großen Teil der Entwicklungszeit beanspruchen. Die Statusfeststellung der Entwicklung ist oft eher eine manuelle Zusammenstellung der Berichte als ein automatisierter Prozess. Die Eingabedaten sind oft nicht auf dem neuesten Stand, sodass der Work-in-Progress-(WIP-)Status nicht unbedingt präzise ist. Die Auswirkungen dieser Effekte werden durch Qualitätssicherungs- und Compliance-Anforderungen wie ISO 900X, CMMI, SOX oder FDA 21 CFR Part 11 noch verstärkt. Da diese immer mehr in der Entwicklung und auch in der Produktion Anwendung finden, besteht eine starke Nachfrage, um die auferlegten Dokumentationsanforderungen zu erfüllen.

Doch gerade die Datenqualität ist essenziell, wenn diese Daten in Algorithmen des Machine Learnings weiterverarbeitet werden sollen. Zusätzlich setzt sich immer mehr der Wunsch nach semantischen Zusatzinformationen durch.

Systemwissen als Grundlage für den Digital Twin

**DR.-ING. DIRK ORTLOFF, CAMLINE GMBH;
DR.-ING. KLAUS FUNK, ZENTRUM DIGITALISIERUNG.
BAYERN**

Eine andere Dimension des Wissensmanagements ist nötig, um ein funktionales System aus Teilwissen der Partner und Zulieferer zusammenzusetzen. So lassen sich Materialeigenschaften mit Verarbeitungsprozessen in Verbindung bringen und das Engineeringwissen aller Partner – ein geeignetes Geschäftsmodell einschließlich IP-Sharings als Grundlage vorausgesetzt – zu einem Digital Twin fusionieren. Dieser beschreibt nicht nur die sogenannten as-is-Daten eines spezifischen Assets (digitaler Schatten), sondern auch aktuelle Abweichungen bei Material, verschlissenen Equipment oder bei den geänderten Prozessen, seine Systemeigenschaften und kann so Vorhersagen und/oder Entscheidungen nachhaltig unterstützen. Dabei ergeben sich durch die Fusion von Teilwissen und der Einbeziehung des Echtzeit-Istzustandes echte Mehrwerte.

Ebenfalls zum Outside-in-Prozess gehört der Aufbau des Wissens durch die Integration von Nutzerdaten (Daten aus dem Feld) bzw. Erweiterungen und Nachrüstungen beim Kunden. In der Automobilindustrie ist dies unter dem Begriff „Software Flashing over the Air“ bekannt.

Simulation und modellbasierte Systementwicklung: technischer Imperativ des Erhalts der Wettbewerbsfähigkeit

**CLEMENS SCHLEGEL, SCHLEGEL SIMULATION GMBH;
MICHAEL PROBST, ISKO ENGINEERS AG;
DR. BERNHARD VALNION, DIGITAL AGENDA UG**

In der heutigen Entwicklung von Produkten und Systemen ist die Technik der Simulation nicht mehr wegzudenken. Vieles, ja nahezu alles wird inzwischen simuliert, dabei nahe an der Realität abgebildet und realitätsnahen Prüfscenarien unterworfen. Dieses Vorgehen hat sich in vielen Bereichen etabliert und Simulation – oder besser deren Ergebnisse – begegnen uns täglich, ob in den Wetterprognosen oder in hochkomfortablen Fahrzeugen.

Mit Abstand betrachtet kann man sagen, dass jedes Training und jeder Test ursprünglich bereits eine Art der Simulation ist. Ein Training ist z. B. eine Vorbereitung auf einen Wettkampf. Verhaltensweisen und Situationen werden nachgestellt, eingeübt und perfektioniert. Dieses Prinzip gilt eins zu eins bei Testverfahren. Auch diese bilden den reduzierten Teil der Realität ab, der für eine bestimmte Eigenschaft oder Funktion relevant ist. So gesehen ist Simulation so alt wie das Probieren an sich. Der Effekt ist, dass in einer Phase der Vorbereitung auf den Realfall mit reduziertem Aufwand Erkenntnisse gewonnen und Verbesserungen eingebracht werden.

In der heutigen Dynamik der Entwicklung wachsen die Ansprüche an das „Training“ ebenso deutlich wie die Komplexität der Systeme. Dies hat zur Folge, dass auch die Trainings- und Testszenarien immer mehr Aspekte der Realität einbeziehen müssen, um belastbare Verhaltensvorhersagen zu gewinnen. Simulation ist mit all seinen Ausprägungen aus heutiger Sicht der einzige geeignete Weg, um dies effizient darstellen zu können. Hierbei umfasst der Begriff „Simulation“ ein sehr breites Spektrum an Technologien, Vorgehensweisen und Methoden. Einige Beispiele sind 1D-Systemsimulation, 3D-Geometriemodellierung (Mechanik, Elektronik, Wärme, Strömung), Produktionssimulation z. B. bei der Halbleiterfertigung (Simulation der Bewegungen und Reaktionen von Molekülen an Grenzschichten) oder Multidisziplin-Simulation für komplexe Produkte und Systeme.

Die Vorteile liegen bei näherer Betrachtung auf der Hand: Das System (z. B. eine Maschine) kann, ohne sie in Hardware herzustellen, in Modellen beschrieben und hinsichtlich der Anforderungen getestet und damit optimiert werden. Je früher dieser virtuelle Prozess greift, desto weniger Fehler müssen später mit teils enormem Aufwand korrigiert werden. Änderungen in einem digitalen Modell zu berücksichtigen, ist um ein Vielfaches schneller und günstiger. Daraus ergeben sich bei richtigem Einsatz enorme Zeit- und Kostenvorteile gegenüber Realtests. Zudem werden durch Simulation Systemoptimierungen möglich, was zu einer enormen Verbesserung von Materialeinsatz, Energieverbrauch, System- oder Herstellparametern führen kann. Schließlich kann mit Hilfe von Simulationsmodellen

eine Bedienschulung z. B. von Fahrzeugen und Anlagen aufgebaut werden.

Der weitere Vorteil der Simulation liegt in der Möglichkeit, die Ergebnisse zu jedem Zeitpunkt und an jedem Ort des Systems auslesen und interpretieren zu können. Bei einem realen Versuch ist es meist unmöglich, das Innenleben in seinem Verhalten zu beobachten. Die Simulation bietet hier beste Optionen, um das Verständnis des Systemverhaltens schnell und umfänglich zu generieren. Zudem lassen sich mittels virtueller (Prüf-)Methoden viele Qualitätsfragen wie Herstellbarkeit, Prozessparameter, Sicherstellung der Funktion und Eigenschaft sehr frühzeitig und mit hoher Prognosegüte beantworten.

Die klare Stärke der Simulation liegt in der vergleichenden Betrachtung, also einer „Was-wäre-wenn-Analyse“. Die Abbildung der vollständigen Realität ist nach wie vor der Wirklichkeit selbst vorbehalten, da wir in vielen Bereichen noch keine effizienten Methoden haben, um alle Aspekte der Umwelt zu modellieren. Übrigens ist dies meist auch gar nicht erforderlich. Man kann sich auf die wesentlichen Elemente, Parameter und Eigenschaften beschränken und trotzdem eine akzeptable Prognosegüte erreichen.

Große Systemhersteller in der Automobilindustrie, Luft- und Raumfahrt setzen bereits viele Jahrzehnte auf Simulation. Der hohe Aufwand für Software, Rechenleistung und die erforderliche Anwendungsexpertise hat sich bei der hohen Wertschöpfung stets schnell gerechnet. Mittlerweile sind Rechenleistung und Softwarekosten in einem Bereich, dass diese Technologien prinzipiell zumindest ökonomisch jedem offenstehen. Gleichwohl treffen wir regelmäßig auf Bereiche und Unternehmen, in denen Simulation als Bestandteil der Entwicklung kaum eine Rolle spielt. Die Verfügbarkeit von Experten (Ingenieurmangel und hoher Sog der großen OEMs) einerseits und die aufwändige Ausbildung andererseits begrenzt den schnellen und breiten Einsatz von Simulation. Zudem gibt es sicherlich technologische Berührungspunkte.

Die Entwicklung von CPS (Cyber Physical Systems), also von Systemen, die sowohl Hardware, Elektronik- als auch Softwarekomponenten eng verzahnt beinhalten, erfordert die Integration von realen und virtuellen Testkomponenten in einer Testumgebung. Hierin liegt eine Erweiterung des Begriffs „Simulation“ begründet. Die Trennung von bestehenden (realen) Komponenten (z.B. Software) und virtuellen Komponenten (z. B. Aktuatormodell) lässt sich nicht mehr aufrechterhalten. Die vielen Ansätze von XiL-Verfahren (X steht für Hardware, Model, Software; iL: in the Loop) verschmelzen zu einem System-in-the-Loop. Hochintegrierte Systeme wie autonome Minenfahrzeuge, Land- oder Luftfahrzeuge lassen sich anders nicht mehr entwickeln, weder technisch noch wirtschaftlich.

Die mittlerweile allgegenwärtige digitale Transformation gepaart mit Globalisierung und wachsender Komplexität stellt somit eine Art technischen Imperativ für den Einsatz virtueller (Test-)Verfahren dar, um weiterhin wettbewerbsfähig zu bleiben. Je früher, intensiver und geschickter (smarter) diese Technologien eingesetzt werden, desto besser wird ein Unternehmen für die An- und Herausforderungen der technologischen Zukunft gerüstet sein.

Ergebnisse der Simulation

Der Zweck von Simulation ist technisch betrachtet, das Systemverhalten zu verstehen, zu quantifizieren (z. B. Kräfte/Momente, Geschwindigkeiten, Strömungswiderstände, Wärme-flüsse, Temperaturen, elektrische Ströme, magnetische Flüsse, Induktivitäten, Impedanzen, etc. in Abhängigkeit vom Betriebsfall) und Betriebsstrategien zu untersuchen.

Ein gut handhabbares Simulationsmodell unterliegt vielen vereinfachenden Annahmen und kann immer nur einen bestimmten, meist eng umrissenen Aspekt des Systemverhaltens approximieren. Sehr oft begrenzt die Verfügbarkeit von Modelldaten die Möglichkeit, ein bestimmtes Simulationsmodell einzusetzen. Daraus resultiert die Notwendigkeit, ein Modell zu vereinfachen oder verschiedene Eigenschaften zu aggregieren.

Ein Simulationsmodell besteht aus mathematischen Beziehungen, numerischen Algorithmen und systemspezifischen Daten. Die durchgehende Nutzung von erarbeiteten und validierten Teilmodellen (mechanisches Subsystem, Elektronik, Embedded Software) ist die Voraussetzung für ein gutes Systemdesign. In vielen Anwendungen zeigt sich, dass erst in der Interaktion von verschiedenen Teilsystemen das Systemverhalten geeignet erfasst und optimal gestaltet werden kann. So können Software-Entwickler Verhaltensmodelle der mechanischen Komponenten für ein gutes Reglerdesign nutzen oder umgekehrt die Konstrukteure der mechanischen Komponenten ein Verhaltensmodell der Software.

Die durchgehende Verwendung solcher Modelle – vom Requirements Engineering über den System- und den Komponentenentwurf bis hin zur Verifikation und Validierung – über alle Entwicklungsbereiche (mechanische Konstruktion, Elektronik, embedded Software) hat den Begriff der modellbasierten Entwicklung (MBE) geprägt, wobei der Ursprung in der modellbasierten Software- oder Systementwicklung (MBSE) lag. Die Nutzung von Simulation in einer solchen modellbasierten Entwicklung beschränkt sich also nicht auf einzelne Teilsysteme, sondern erreicht mit dem Fortschritt der Produktentwicklung einen immer höheren Reifegrad. Je mehr die Produkteigenschaften sich entwickeln, desto feiner werden auch die zugehörigen digitalen Modelle, die für den jeweils aktuellen Produktzustand (bzw. die aktuelle Fragestellung in der Produktentwicklung) die bestmögliche Aussage liefern können. Somit wird schon innerhalb der Produktentwicklung der digitale Zwilling immer weiter angereichert.

Wie die obigen Ausführungen verdeutlichen, erfordert das modellbasierte Engineering einerseits Erfahrung mit der entsprechenden Art von Systemen (z. B. welche Effekte sind für die vorliegende Fragestellung wichtig und welche können weggelassen werden), andererseits solides Wissen über die einschlägigen Methoden der Simulationstechnik bzw. der numerischen Mathematik (welcher Löser ist für welche Art von Gleichungen sinnvoll einsetzbar, etc.).

Im Folgenden werden die Simulation dynamischer Eigenschaften und die Systemsimulation, d. h. die Simulation der dynamischen Interaktion verschiedener Teile eines Systems (mechanisch, elektrisch, hydraulisch, etc.), näher beleuchtet. Es gibt unterschiedliche Arten von Simulationsmodellen und Herangehensweisen. Die wichtigsten sind:

Discrete-Event-Modell. Dieses Modell beschreibt nur diskrete Ereignisse, keine kontinuierlichen Änderungen. Es nimmt in Abhängigkeit von Eingangssignalen und seines momentanen Zustandes einen neuen Zustand an. Die Zustandsänderung erfolgt ohne dynamischen Übergang, die Rechenzeiten sind vernachlässigbar. Beispiele sind Aufzugsteuerung, Ablaufsteuerung, etc.

Modell für Systemsimulation. Das Modell beschreibt das dynamische Verhalten eines Systems, das aus Baugruppen verschiedener Art besteht. Es enthält also mechanische, elektrische, hydraulische, pneumatische, thermische, fluidische, elektrochemische und/oder regelungstechnische Komponenten bzw. Softwarekomponenten (Embedded Software). Das Modell wird auf der Basis physikalischer Gesetze durch Differentialgleichungen, algebraische Gleichungen und diskrete Gleichungen beschrieben. Eine Mischung mit der Discrete-Event-Modellierung ist möglich. Die Parametrierung solcher dynamischer Simulationsmodelle ist oft aufwändig, da die Parameter erst aus anderen Tools extrahiert werden müssen (z. B. Massen und Trägheiten aus CAD-Systemen), oder Annahmen getroffen werden müssen, da kein Prototyp für eine Messung zu Verfügung steht (z. B. Reibkräfte). Typische Rechenzeiten dynamischer Simulationsmodelle reichen von unter einer Minute bis wenige Stunden.

Finite Elemente Methode (FEM). Eine kontinuierlich ausgedehnte Geometrie (2D- oder 3D-Körper, Strömungsfeld, etc.) wird in viele kleine Teilgebiete („finite Elemente“) eingeteilt („diskretisiert“). Die Lösung des Problems (Spannungen und Verformungen in einem Bauteil, Schwingungsformen, Eigenfrequenzen, Temperaturverteilung, Strömungsverteilung, Crash-Verhalten etc.) kann für jedes Einzelelement aufgrund dessen vereinfachter Geometrie gut approximiert werden. Aus der Kombination der Lösungen für die einzelnen Elemente wird die Lösung für die gesamte Geometrie gewonnen. Dank der Geometrieorientierung dieser Methode ist eine Schnittstelle zu CAD-Tools möglich und wird oft eingesetzt. Eine Kopplung verschiedener Domänen (z.B. Strukturmechanik und Fluidmechanik) ist möglich, aber aufwändig. Die Methode ist rechenintensiv, mit Rechenzeiten im Bereich von Stunden bis vielen Tagen.

White-Box-Modell. Es wird auf der Basis physikalischer Gesetze durch Differentialgleichungen und algebraische Gleichungen beschrieben.

Ein **Black-Box-Modell** ist im Gegensatz dazu ein rein mathematisches Modell ohne Bezug zur Physik. Der innere Aufbau des Modells und seine Funktionsweise sind nicht bekannt oder werden als unwichtig betrachtet. Man beschränkt sich bei der Beschreibung auf die Messung der Input-Output-Beziehungen eines Prototypen. Black-Box-Modelle basieren u. a. auf tabellierten Messwerten, einer statistischen Auswertung von Messungen oder einem neuronalen Netz, das anhand von Messungen trainiert wurde. Black-Box- und White-Box-Modellierung kann auch gemischt werden. Insbesondere für das Training von Black-Box-Modellen sind White-Box-Modelle sinnvoll, da z. B. Verschleißverhalten und z. T. auch Versagensverhalten physischer Produkte in White-Box-Simulationsmodellen manchmal nur schwierig darstellbar sind und/oder reale Trainingsdaten

nicht zu Verfügung stehen, da noch kein einsatzfähiger Prototyp existiert.

Lineares Modell. Im Allgemeinen sind dynamische Simulationsmodelle nichtlinear, d. h. die rückwirkende Kraft ist nicht proportional zur Auslenkung (z. B. nimmt quadratisch mit der Auslenkung zu). Für eine Reglerauslegung z. B. wird das nichtlineare Modell meistens linearisiert und der Reglerentwurf dann anhand des ursprünglichen, nichtlinearen Modells überprüft.

Auch der Einsatzzweck eines Simulationsmodells beeinflusst die Art der Modellierung:

- Offline-Simulation für allgemeine Berechnung: Die Simulation läuft unabhängig von der Zeit (nicht synchronisiert mit der realen Zeit).
- Offline-Simulation für spezielle Aufgaben: Das Simulationsmodell wird von einem übergeordneten Algorithmus ausgewertet (Kalibrierung, Optimierung, etc.)
- Echtzeit-Simulation: Die Simulation läuft synchronisiert mit der Zeit. Möglicherweise werden online, d. h. in einem festgelegten Zeitschema, Daten ausgetauscht (Anzeigen, AD/DA-Wandler, etc.).
- Hardware-in-the-Loop(HiL)-Simulation: Eine Echtzeitsimulation einer Systemkomponente (z. B. Fahrzeuggetriebe und Antriebsstrang) wird gekoppelt mit einer realen Komponente (z. B. Getriebesteuerung).
- Trainingssimulator: Echtzeitsimulation zur Bedienschulung mit tatsächlichen (oder emulierten) Ein- und Ausgabeeinheiten (Anzeigen, Schalter, Bedienhebel, Lenkrad, etc.).
- Virtuelle Inbetriebnahme: Die Simulationsmodelle mehrerer Systemkomponenten werden zum Zweck des Komponenten-tests miteinander verschaltet, z. B. Produktionsanlage und Steuerung. Anhand der Simulationsergebnisse kann u. a. die Steuerungssoftware überprüft werden (Software-in-the-Loop), aber auch Anlagen- und Prozessparameter können experimentell bestimmt werden, ohne eine reale Anlage zu benutzen. Umgekehrt können einzustellende Parameter der Steuerung anhand von Simulationen bestimmt werden (Model-in-the-Loop). Bei Verwendung von Echtzeitsimulationen in der virtuellen Inbetriebnahme können die simulierten Komponenten nach und nach durch reale Komponenten eines Systems ersetzt werden (per Plug-&-Play). Cloud-Technologien ermöglichen, dass sich z. B. eine Maschine beim Testen in der Herstellung mit dem virtualisierten Produktionssteuerungssystem des Kunden in der Cloud verbindet, Testeinheiten abarbeitet und damit die Schnittstellen und Kompatibilität der Datenmodellierungen überprüft werden können. Dies erleichtert erheblich die Integration in der Produktivumgebung beim Kunden und beschleunigt die Produktivsetzung.
- Restbussimulation: Bei Echtzeitsimulation einer Komponente einer verteilten Steuerung müssen u. U. die grundlegenden Funktionen der anderen Steuerungskomponenten (und die von ihnen gesteuerten Anlagenkomponenten) mit simuliert werden, um ein realistisches Betriebsszenario der eigentlich simulierten Steuerung zu gewährleisten (z. B. verteilte Steuerung in einer Produktionsanlage, Steuergerätenetzwerk im Fahrzeug, etc.)

Wie Simulation das eigene Unternehmen aufwertet

Für viele Unternehmen stellt sich die Frage, wie und mit welchem Engagement sie einsteigen sollen, welche (CAE-)Tools für sie die richtigen sind und was ist erforderlich, um diesen Einstieg schnell und effizient umzusetzen. Allerdings können hierzu keine pauschalen Empfehlungen gegeben werden, doch zumindest einige grundsätzliche Statements.

Zum einen gilt auch hier: Digitalisierung ist Chefsache und der Einsatz der Simulation ist als Teil einer Digitalisierungsstrategie zu verstehen. Die bewusste Auseinandersetzung mit der Zielsetzung und dem eigenen Anspruch an die Technologie ist Grundvoraussetzung für eine sinnvolle Verwendung. Wenn man nicht selbst Experte ist oder auf Experten im eigenen Unternehmen zugreifen kann, empfehlen wir, einen kompetenten Berater hinzuzuziehen. Es gibt für jede Anwendung dutzende Tools und Vorgehensweisen. Die Erfahrung lehrt indes, dass kein Tool „Off the Shelf“ das mitbringt, was das jeweilige Unternehmen spezifisch benötigt.

Oftmals ist es sinnvoll, die ersten Erfahrungen mit Partnern gemeinsam zu machen, also die Simulation an einen kompetenten Experten auszulagern. Dies erspart zum einen teure Erstinvestitionen (Software, Hardware, Personal, Knowhow), ermöglicht also die entstehenden Kosten auf mehrere Schultern zu verteilen und damit auch deutlich schneller erste Ergebnisse zu erreichen. Andererseits ist spezifisches Simulations-Knowhow nicht umsonst Expertenwissen, und dieses schnell aufzubauen ist zumeist teuer, in jedem Fall sehr schwierig, da erfahrene Personal hierfür nur schwerlich zu finden ist.

Es zeigt sich zunehmend, dass kein Unternehmen in der Lage ist, jedes notwendige domänenspezifische Knowhow in der erforderlichen Tiefe selbst bereit zu halten. Hier gilt es auch seitens der Geschäftsleitung, Kernkompetenz und Marktkompetenz klar voneinander abzugrenzen.

Wenn derartige Technologien bereits im Einsatz sind, gilt es dennoch zu hinterfragen, wie mehr Nutzen aus dem Einsatz der Simulation gezogen werden kann. Auch hier helfen Experten für Simulationsmethoden und -prozesse, über eine Beratungsleistung die Potenziale zu erkennen und zu heben. Angefangen bei der Modellbildung mit Fragen nach z. B. Zieldefinition, Eigenleistung, Automatisierungsgrad, Standardisierung oder Sourcing lassen sich in jedem Unternehmen noch erhebliche Kosten- und Aufwandspotenziale aufdecken. Dies kann bis zu vollständig automatisierten Simulationsprozessen reichen, die via einer App dem Produktentwickler problemspezifisch zur Verfügung gestellt werden können. Für diese Beratungsleistungen finden sich im Markt ebenfalls kompetente Berater mit entsprechend eigenen Anwendungs- und Umsetzungserfahrungen.

Die zunehmende Komplexität auch in den „Nischentechnologien“ der Simulation erfordert eben Spezialisten mit deren Unterstützung der maximale Nutzen aus den verfügbaren Technologien gezogen werden kann.

Modellbasierte Systementwicklung

Der systemische Ansatz in der Produktentstehung und damit verbunden Model-Based Systems Engineering (MBSE) gehören zu jenen Themen, die derzeit in den einschlägigen Fachkreisen für viel Furore sorgen. Doch so neu ist MBSE eigentlich nicht.

Denn Gerhard Pahl und Wolfgang Beitz haben mit dem Standardwerk „Konstruktionslehre“ bereits 1977 die wesentlichen Grundlagen hierfür zusammentragen.

Durch den Siegeszug von 3D-CAD freilich wurde der abstrakte, modellbasierte Zugang zur Lösung von Konstruktionsaufgaben für mindestens zwei Dekaden in den Hintergrund gedrängt, zumindest in den Leitbranchen Automobilindustrie und Maschinenbau. Im Grunde genommen steht die Einführung von CAD für das Errichten von Datensilos in den Domänen MCAD und ECAD, wobei die Mechanik-Fraktion lange Zeit die Wortführerschaft für sich in Anspruch nahm.

Nun, da wir an einem Punkt angekommen sind, an dem die domänenübergreifenden Abhängigkeiten in den Produkten derart zugenommen haben, dass mehr oder weniger in jedem Vortrag aus dem Engineering der Begriff „Komplexität“ fällt, ist sie wieder da, die große Stunde von MBSE.

Sind also die Grundlagen von MBSE so etwas wie der Schnee von gestern, hat sich bei den unterstützenden Tools jede Menge getan. So viel, dass es eine echte Herausforderung für jeden Fertigungsbetrieb ist, der willens ist, Tür und Tor seiner Entwicklungsabteilungen dafür zu öffnen, den Überblick zu erhalten: Welche Entwicklungswerkzeuge passen zu meinen Produkten? Welcher Systempartner kann mich bei meiner Reise hin zu MBSE kompetent begleiten? Hinzu kommt die Notwendigkeit einer kritischen Bestandsaufnahme der eigenen Engineering-IT-Infrastruktur mit Bezug auf die neuen Themen – denn natürlich sind Entwicklungswerkzeuge bereits im Einsatz und natürlich verrichten Simulationstechniken extensiv ihren Dienst. Deren Stellenwert und Wertbeiträge gilt es jedoch genau zu verorten, gegebenenfalls neue Rollen zuzuweisen und neue Tools anzuschaffen.

Typische Ziele, die mit MBSE verfolgt werden, sind:

- verbesserte Kommunikation zwischen den Engineering-Disziplinen auf Basis eines allgemein verständlichen, formalen, eindeutigen und konsistenten Systemmodells
- systematisches Anforderungsmanagement einschließlich Anforderungsabprüfung
- Generierung von Engineering-Artefakten (z. B. Schnittstellenbeschreibungen) aus den Modellen
- funktionsorientierte Produktentwicklung im Sinne der Umsetzung von Modularisierungs- und Standardisierungsstrategien
- holistische Systemsimulation und -validierung zur Reduzierung der von Fehlern und Minimierung von Risiken
- virtuelle Inbetriebnahme des Produkts.

MBSE hat nicht primär die Modellverbesserung zum Ziel, sondern die optimale Organisation der interdisziplinären Entwicklungsprozesse und die Konsolidierung der Ergebnisse in einem gesamtheitlichen Produktmodell [1]. Ziel ist es, so möglichst viele Fehler in den frühen Entwicklungsphasen zu erkennen und zu beseitigen. MBSE umfasst nicht nur eine Beschreibungssprache wie SysML für die Aufgabenstellung, sondern es ist ein modellbasierter, vereinheitlichender Ansatz. Es geht um die präzise Definition von Anforderungen und zunächst abstrakt formulierte Funktionen, die die Anforderungen erfüllen sollen. Und die Funktionen sind in eine Produktarchitektur eingebettet.

MBSE fordert, dass der prozedural-basierte, ablaforientierte Ansatz im Engineering zugunsten eines Modell-basierten umgedacht werden muss. Ein Modell ist eine Art Plattform, bei der die Informationen in Form einer mathematischen Beschreibung zusammengefasst sind und alle Informationen miteinander verlinkt sind.

Literatur

[1] d1g1tal AGENDA 3/2018. Die Zukunft beginnt jetzt!, Baden-Baden

Herausforderungen im Engineering-to-Order-Prozess

JAN VOLLMAR, SIEMENS AG

Unternehmen des Engineer-to-Order-Geschäfts (ETO) sehen sich verschiedenen Trends wie Digitalisierung und die fortschreitende Globalisierung gegenüber. ETO ist ein Ansatz, bei dem die einzelnen Produkte für jede Kundenbestellung eigens konstruiert und gefertigt werden. Auch wenn das Endprodukt Standardteile enthält, ist ein eigener Produktionsablauf mit spezifischer Stückliste vonnöten. Typisch ist ETO u. a. beim Bau von Großanlagen sowie in der Unikatfertigung.

Die oben genannten Trends werden die Arbeitsweise in dieser Art von Produktentstehung radikal verändern, die sich in vier grundlegende Kategorien des ETO-Geschäfts Easy Engineering, Perfect Engineering, Zero Engineering, Pioneer Engineering und Crisis Engineering einteilen lassen.



Quelle: Siemens AG, 2017

Easy Engineering bezeichnet das Szenario eines geschlossenen Systems mit klar definierten Schnittstellen, einem bekannten, stabilen Verhalten und einer geringen, überschaubaren Anzahl bekannter Wirkzusammenhänge. Unternehmen, die Projekte in diesem Umfeld abwickeln, haben umfangreiche Erfahrung in der Realisierung solcher Umgebungen.

Die Umgebungen bestehen in diesem Umfeld meist aus einem stabilen Kern standardisierter (CAx-)Tools, die im Stammhaus entwickelt und gepflegt werden. In den Regionen werden die Systeme an vordefinierten Punkten und in einem eng vorgegebenen Rahmen projektspezifisch konfiguriert und angepasst. Easy Engineering zielt damit auf eine Stärkung des

lokalen Geschäfts ab, in dem es den Regionen Module und Werkzeuge (z. B. Konfiguratoren) zur Verfügung stellt. Während im Stammhaus also ein hohes Maß an systemischem Engineering-Wissen gefragt ist, reicht in den Regionen Knowhow zur Anpassung der Systeme aus, da das Engineering-Wissen in den Modulen gekapselt ist. Die Aufteilung der Tiefe des erforderlichen Detailwissens ermöglicht Projekte global abzuwickeln und das Geschäft zu skalieren.

Perfect Engineering zielt darauf ab, ein System optimal für den gesamten Produktlebenszyklus auszulegen. Dieses Umfeld umfasst typischerweise Großprojekte mit hohen Investitionskosten (z. B. Kraftwerke oder Hochgeschwindigkeitszüge), mit Modulen oder Komponenten, die auf bekannten Technologien basieren. Die kundenspezifische, technisch „perfekte“ Auslegung, oftmals basierend auf einer kontinuierlichen Verbesserung von vorhandenen Vorlagen, erfordert umfassende Engineering-Erfahrung der Unternehmen. Die Fähigkeit zur Integration auf Basis vorhandener Erfahrungen stellt dabei eine Kernkompetenz dar. Sie befähigt unter Anwendung von „System-of-Systems“-Ansätzen sowie etablierter Vorgehensmodelle nahezu beliebig komplizierte Systeme zu durchdringen und erfolgreich umzusetzen.

Unternehmen, die im Umfeld des Pioneer Engineering arbeiten, führen komplexe Projekte mit hohem Innovationsgrad durch (z. B. Offshore-Konverterplattformen, SpaceX, Hyper-Loop oder Transrapid). Innovation kann sich dabei auf die Neuheit des Projektumfangs, verwendeter Technologien oder auch vertraglicher Rahmenbedingungen beziehen. Charakteristisch für das Feld des Pioneer Engineering ist der Umstand, nicht auf bereits bestehende Erfahrungen in wesentlichen Aspekten des Vorhabens zurückgreifen zu können oder zu wollen. Dieses Umfeld ist daher durch Komplexität und Unsicherheit geprägt. Als „komplex“ bezeichnen wir ein System dann, wenn es offen (also zeitlich nicht konstant hinsichtlich topologischer Beziehungen einzelner oder mehrerer System-elemente) ist oder die im System wirkenden Kausalbeziehungen nicht (oder noch nicht) in allen wesentlichen Aspekten bekannt sind. Pioneer Engineering erfordert eine hohe Reaktionsfähigkeit und Agilität, um auf unerwartete oder neu auftretende Probleme schnell und angemessen reagieren und daraus lernen zu können. Systemarchitekturen im Pioneer-Engineering-Umfeld müssen einen Rahmen für emergentes Systemverhalten bieten und gleichzeitig frühes Lernen („Feedback“) zum Systemverhalten durch den Systemarchitekten ermöglichen.

Crisis Engineering zielt auf den richtigen Umgang mit Krisensituationen in einem Projektumfeld mit hoher Unsicherheit, Komplexität und Dynamik ab. Projekte dieser Kategorie setzen von den Unternehmen umfangreiche Maßnahmen zur Bewältigung von Bedrohungen voraus – vor, bei und nach deren Eintritt. Es sind spezielle Fähigkeiten und Techniken zum frühzeitigen Erkennen, Erfassen und Verstehen von Krisensituationen erforderlich. Der Umgang mit Krisensituationen hängt stark vom Umfeld bzw. den Projekten ab.

Literatur

Gepp, M. et al., „Ein Blick auf Zukunftsszenarien und Herausforderungen für das zukünftige Engineering im Anlagenbau“, Tag des Systems Engineering, 2017

Funktionale Sicherheit und Traceability

DR.-ING. HELMUT MEITNER, DRÄXLMAIER GROUP

Die funktionale Sicherheit ist eine Systemeigenschaft durch die gewährleistet wird, dass ein System seine Funktionen bestimmungsgemäß zur Verfügung stellt und im Fehlerfall in einen sicheren Zustand übergeht. Gesetzliche Grundlagen für die funktionale Sicherheit sind das Produktsicherheitsgesetz und für Kraftfahrzeuge die Normenreihe ISO 26262. Haftungsrechtliche Konsequenzen ergeben sich aus dem Produkthaftungsgesetz.

Die Herausforderung für produzierende Unternehmen besteht darin, dass ausgehend von der Spezifikation eines Systems bis zur Auslieferung des Produkts über die einzelnen Wertschöpfungsschritte im Engineering und in der Produktion Daten aufgezeichnet werden müssen, um im Haftungsfall nachweisen zu können, dass die funktionale Sicherheit des Produkts sichergestellt wurde. Die Daten sind in unterschiedlichen IT-Systemen (z. B. PLM, ALM, MES Qualitätssysteme) gespeichert und müssen hinsichtlich eines spezifischen Produkts miteinander verknüpft werden. Um diese Verknüpfung herzustellen bietet sich der Einsatz von Datenvirtualisierung an. Tools sind im Markt verfügbar (z. B. von Denodo oder Tibco) und ermöglichen die Verknüpfung von Daten aus verteilten Quellen, von unterschiedlichen Orten und verschiedenen Formaten ohne einer Replikation der Daten.

Cyber Security und Produktentstehung

THOMAS TRÄGLER, SOFTWARE FACTORY GMBH

Cyber Security wird heute vielfach als Schutz der Produkte vor Cyber-Attacken sowie die notwendigen Maßnahmen und Aktivitäten dafür im Produktentstehungsprozess (PEP) angesehen. Was ist jedoch mit dem Schutz und der Sicherheit der Entwicklungssysteme und -prozesse für diese Produkte? Was, wenn die Schwachstellen bereits während der Entwicklung durch Dritte identifiziert oder eingebaut werden (siehe vermutete Backdoor der NSA in diversen Sicherheitstechniken)? Durch die zunehmende Digitalisierung der Entwicklungsprozesse, die Einbeziehung der Supply Chain und der zentralen Verwaltung aller Engineering-Informationen in PLM- und ALM- (Application-Lifecycle-Management-) Systemen wird die „Angriffsfläche“ erheblich vergrößert. Damit erfordern diese Systeme einen erhöhten Schutzbedarf, der sich von einer Prevent-&Protect-Strategie hinzu einer Detect-&Respond-Strategie im Sinne von „BizSecOps“ ändern muss. Hierfür müssen die Systeme regelmäßig auf Anomalien überprüft werden und bei der Erkennung von Problemen eine Analyse und Rückverfolgung in die Vergangenheit ermöglichen. All dies erfordert natürlich den Einsatz von aktuellen und nicht veralteten Systemversionen mit allen verfügbaren Sicherheitspatches. Da kein 100-prozentiger

Schutz möglich ist, muss die Schutzwürdigkeit und welche Objekte oder Systeme besonders zu schützen sind, neu definiert werden.

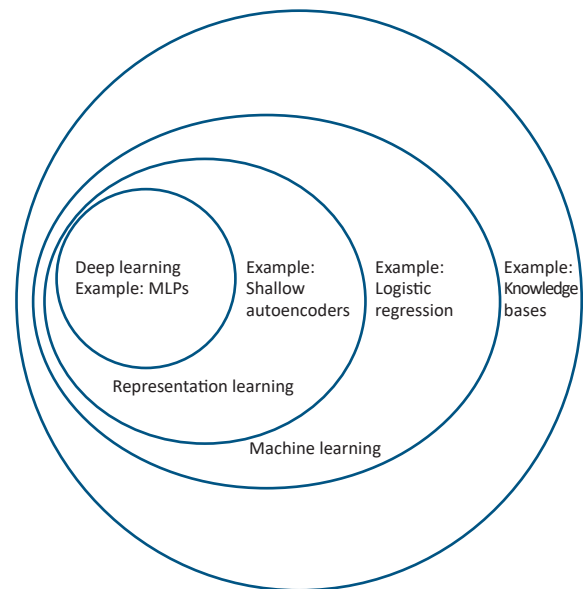
Datenschutz, Schutz vor Manipulation und Schutz vor unberechtigtem Zugriff sind die Schlüsselemente im digitalen Entwicklungsprozess. Dem Faktor „Mensch“ kommt dabei eine besondere Rolle zu, da Fehlverhalten und mangelndes Bewusstsein für dieses Thema ein großes Sicherheitsrisiko darstellen. Datenschutz und Datensicherheit ist die Aufgabe jedes Einzelnen im Unternehmen und die Verantwortung der gesamten Organisation. Dies ist jedoch nur zu gewährleisten, wenn alle Mitarbeiter regelmäßig und aktuell ausgebildet und sensibilisiert werden.

Künstliche Intelligenz

DR.-ING. DIRK ORTLOFF, CAMLINE GMBH

DR. KLAUS FUNK, ZENTRUM DIGITALISIERUNG.BAYERN

Ob wir Stand heute schon über Intelligenz im Zusammenhang mit Maschinen reden können, sei hier nicht erörtert. KI bzw. das angelsächsische AI wird gerne als Synonym für die datenbasierten Erkennung von Gesetzmäßigkeiten (Mustererkennung) und Anomalien gesehen. Machine Learning stellt jedoch nur einen Teilbereich von KI dar [1].



Das Venn-Diagramm fasst Deep Learning als eine Art Repräsentationslernen auf, welches wiederum eine Art maschinelles Lernen ist. Maschinelles Lernen wird für viele, aber nicht alle KI-Ansätze genutzt. Jede Sektion des Venn-Diagramms enthält ein Beispiel für eine KI-Technologie.

Quelle: www.deeplearningbook.org/contents/intro.html

Auch die vom BMWi finanzierte Studie „Potenziale der Künstlichen Intelligenz im produzierenden Gewerbe in Deutschland“ [2] zeigt eindrücklich, wie weit das Thema KI gefasst werden kann, welche Ansätze existieren und dass z. B. auch Verfahren der eher klassischen Statistik in diesen Themenkreis einbezogen werden müssen. Ein Hauptaugenmerk wird dabei auf die Potenziale für die produzierenden Unternehmen in Deutschland gelegt, welches erheblich ist und von Führungskräften nicht ignoriert werden darf.

Die computergestützte Auswertung macht große Fortschritte und wird rasch im Engineering wie der Produktion oder an der Schnittstelle zum Kunden vermehrt Einzug halten. Nach der Studie „Machine Learning in deutschen Unternehmen“ [3] werden unter den Top100 der deutschen Unternehmen bereits im Jahr 2020 61 Mrd. € oder rund 25% durch digitaler Wertschöpfung mit KI-Algorithmen prognostiziert. Dazu gehören das Erkennen relevanter Bedarfe (Big Data Analysen à la Google/Facebook für Industriekunden, bedarfsgesteuerte Entwicklung), Machine-Learning-basierte Analysen, vorausschauende Steuerung und Maßnahmen (z. B. für Predictive-Maintenance-Szenarien). Auch sind durch adaptive Algorithmen neue, nicht geschlossen vorab berechnete Optimierungsprozesse möglich, welche in sich ändernden oder unscharf definierten Systemen ihre Stärken haben.

Das Potenzial ist groß, die Materie für viele Unternehmen ist jedoch noch nicht greifbar, die zugrundeliegende physikalische Modellbildung sehr aufwändig und der Return on Invest und die Kundenakzeptanz nicht leicht abzuschätzen. Nichts desto trotz sind dies Technologien die von jedem Unternehmen mit wachem Auge beobachtet werden müssen, zumal Länder wie China sehr massiv in diesem Bereich investieren und dies wiederum die KI-Technologieentwicklung beschleunigt.

Literatur

[1] www.deeplearningbook.org/contents/intro.html, S. 9

[2] www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/_Publikation/PAiCE_KI_Studie.html, 2018

[3] www.crisp-research.com/publication/machine-learning-deutschen-unternehmen, 2017