



WHITEPAPER

Systems Engineering: Ganzheitlicher Ansatz mit hohem Potenzial

Durchgängige Digitalisierung sowohl in den Produkten als auch in der Produktentstehung ist ein wichtiges Trendthema. Überall schießen Konzepte, Software und Tools zum Thema Industrie 4.0 aus dem Boden, die Vorteile durch digital vernetzte Systeme und Prozesse aufzeigen. Doch der Knackpunkt für eine vollständig digitalisierte Entwicklung und Produktion liegt in einer ganzheitlichen Sicht aller Beteiligten auf sämtliche Vorgänge und Planungen entlang des gesamten Produktentstehungsprozesses. Konstrukteure müssen sich mit Nicht-CAD-Spezialisten austauschen können, verschiedene Disziplinen wie Mechanik, Elektrik/Elektronik und Software zusammenwachsen, Daten überall verfügbar sein. Aber auch bisher kaum integrierte Fachbereiche wie psychophysiologische Wissenschaften, Neurobiologie oder Rechts- und Wirtschaftswissenschaften sollten im Sinne einer ganzheitlichen Produktentwicklung berücksichtigt werden. Seit einigen Jahren wird Systems Engineering als vielversprechender Ansatz dafür in der Fachwelt diskutiert und auch angewendet. Neuere technische Entwicklungen wie Cloud Computing, Apps und Modellierung als integraler Bestandteil im PLM-Kontext eröffnen zusätzliche Potenziale.

Das Interesse am Thema ist riesig. Die Mitgliedszahlen bei der Deutschen Gesellschaft für Systems Engineering (GfSE) steigen exponentiell. Offenheit und Transparenz sind in aller Munde, aus zwei Gründen: Man hofft auf sinkende Kosten, verbesserte Produktqualität und mehr Planungssicherheit. Zudem versprechen sich die Beteiligten von einem modellbasierten Entwicklungsansatz einen besseren Umgang mit den steigenden komplexen Anforderungen.

Komplexe Systeme wie das autonome Fahren, die Elektrifizierung im Antriebstrang von Autos oder die Vernetzung von Maschinen und Anlagen steigern die Komplexität von Produktentwicklungsprozessen in einer bisher nicht da gewesenen Weise. Gleichzeitig verändern sich auch die rechtlichen Rahmenbedingungen. Umfassende Nachweispflichten zur Durchgängigkeit von Entwicklungsprozessen sowie die Rückverfolgbarkeit des kompletten Produktentstehungsprozesses (Traceability) werden zunehmend von Kunden und Behörden im Rahmen der Produkthaftung eingefordert.

Nur ein ganzheitlicher Ansatz bei der Entwicklung von Produkten schafft die notwendige Transparenz für alle beteiligten Gruppen. Systems Engineering spannt im Sinne des Product-Lifecycle-Managements (PLM) den Bogen von der Anforderungsermittlung über die technische Implementierung und das fertige Produkt bis hin zum Recycling.

WETTBEWERBSVORTEILE DURCH SYSTEMS ENGINEERING

Die GfSE definiert Systems Engineering als eine umfassende Ingenieurtätigkeit, die zur effizienten und bewusst gestalteten Entwicklung komplexer Produkte notwendig ist. Die Aufgaben sind vielfältig und interdisziplinär. Sie umfassen Systemanalyse, Anforderungsermittlung, Systementwicklung, Absicherung und Testphase. Ziel ist es, die zahlreichen Funktionen unterschiedlicher Disziplinen in einem komplexen System möglichst modellbasiert zu beschreiben und mit vielen integrierten Projektbeteiligten auf nur einer Plattform zeitgleich zu bearbeiten. Um dabei einen reibungslosen Ablauf zu gewährleisten, ist es notwendig, den Entwicklungsprozess vollständig zu digitalisieren und gleichzeitig die Entwicklungsdaten zu vereinheitlichen.

Am einfachsten beschreiben lässt sich Systems Engineering als „V“ dargestelltes Vorgehensmodell mit interdisziplinärer Vernetzung. Dabei zeigt der linke Strang des V-Modells die Entwurfsphasen, der rechte die Testphasen. Systems Engineering in der mechatronischen Produktentwicklung gliedert sich in die drei Hauptphasen Systemanalyse, physikalische Entwicklung und Systemintegration. In der Systemanalyse wird das zu entwickelnde Produkt durch die Schritte Anforderungsdefinition, Funktionsanalyse, Entwurf logische Architektur und Komponentenspezifikation theoretisch beschrieben und durch die dabei entstehenden Produktmodelle spezifiziert. Die physikalische Entwicklung resultiert in der Erstellung von Produktentwicklungsdaten (u.a. 3D-/CAD-Modelle, Verhaltensmodelle). Im Rahmen der Systemintegration werden die entwickelten Komponenten simuliert und getestet, in das System integriert und unter ständiger Verifikation und Validierung einer Prüfung unterzogen.

Der Einsatz von Systems Engineering bringt den Kunden erhebliche Vorteile:

- + Reduzierung der Kosten für reale Versuchsträger durch frühzeitige modellbasierte Absicherung für Hardware & Software
- + Interdisziplinäres Qualitätsmanagement durch die Vernetzung bzw. Integration von Teilmodellen aus den unterschiedlichen Ingenieursdisziplinen zu einem Gesamtsystem
- + Reduktion bzw. verbesserte Handhabbarkeit der Komplexität während der Entwicklung durch systematisches Vorgehen „Vom Groben ins Detail“
- + Vereinfachung von Kooperationen (z.B. Kunde-Lieferant, Joint Venture) und damit eine maßgebliche Effizienzverbesserung durch den Austausch von ausführbaren Modellen statt rein beschreibenden Dokumenten
- + Verbesserte Risikoabschätzung und gesteigerte Produktqualität bei gleichzeitiger Reduzierung der Time-to-Market
- + Höhere Produktreife schon bei der ersten Generation; der Endanwender bekommt viel früher ein weniger störanfälliges Produkt
- + Weniger Beschwerden oder Rückrufaktionen und dadurch eine Steigerung der Markenreputation

Die vielen Disziplinen wie Mechanik, Elektrik/Elektronik und Software in neuen Produkten verlangen von den Unternehmen, dass sie Systems Engineering vollständig beherrschen. So können sie sich aber auch klare Wettbewerbsvorteile verschaffen. Eine konkurrenzfähige Entwicklung mechatronischer Produkte ist ohne die Einführung einer durchgängigen Systems Engineering Methode nicht realisierbar.

MBSE VERBESSERT PRODUKTENTWICKLUNG

Die Einführung und Anwendung von Model Based Systems Engineering (MBSE) für die Entwicklung komplexer Systeme gewinnt in der Automobilbranche, im klassischen Maschinenbau, in der Medizintechnik und bei Geräten der Konsumgüterindustrie zunehmend an Bedeutung.

Die heute noch überwiegend dokumentenzentrierte Systementwicklung mittels Lastenheft, das Tausende von Anforderungen beinhaltet, hin zu einem datenbankgestützten Requirements-Engineering-Werkzeug lässt sich durch die modellbasierte Entwicklungsmethodik MBSE erheblich verbessern. Sie beschreibt alle Anforderungen und Spezifikationen für das spätere Produkt und koordiniert dessen gesamten Lebenszyklus, einschließlich der Qualitätstests und der Anforderungen an das spätere Recycling.

Modellbasiert bedeutet auch, dass es nur noch eine digitale Repräsentanz des Projektes gibt, an der alle Beteiligten z.B. in einem global verteilten Entwicklungsprozess arbeiten. Dadurch entsteht automatisch die notwendige Kollaboration und Vernetzung zwischen den interdisziplinären Teams innerhalb des digitalisierten Produktentstehungsprozesses. Jede einzelne Änderung ist auf der Arbeitsplattform sofort für alle sichtbar. Es steht immer nur eine aktuelle Version zur Verfügung (Single Source of Truth). So lassen sich Fehler vermeiden sowie Zeit und Kosten sparen.

Das MBSE bildet das jeweilige System einschließlich seiner Sub-Systeme komplett ab und erlaubt zudem dessen Bewertung. Die Entwickler leiten aus den Kundenanforderungen die notwendigen Prozesse und Werkzeuge ab und beschreiben diese nachvollziehbar mithilfe verschiedener Modelle. Ein kritischer Erfolgsfaktor liegt in der Durchgängigkeit der Daten oder der Wiederholbarkeit der Prozesse. Dabei bindet MBSE die jeweils vorhandenen Modelle des Systems über geeignete Schnittstellen ein. Um das Systemmodell zu erstellen, gibt es unterschiedliche Sprachen wie zum Beispiel SysML, Methoden und IT-Werkzeuge. Sie lassen sich auch verschieden miteinander kombinieren. Allerdings fehlen hier noch vereinheitlichte Methoden und Standardschnittstellen.

Die große Herausforderung für Unternehmen besteht deshalb darin, ihre PLM- oder MBSE-Konzepte in der Zukunft miteinander zu verbinden. Die Einführung eines integrierten Systems wie der **3DEXPERIENCE** Plattform von Dassault Systèmes, in der alle Autorensysteme in einer zentralen Datenbank miteinander verknüpft werden, gilt als nachhaltiger und unvermeidlicher Lösungsansatz.



Die große Herausforderung für Unternehmen besteht darin, ihre PLM- oder MBSE-Konzepte in der Zukunft miteinander zu verbinden.

MMS ERLAUBT GANZHEITLICHE SYSTEMUNTERSTÜTZUNG

Um komplexe Produkte multidisziplinär zu entwickeln, kommt es darauf an, die Vielzahl der Kundenanforderungen, Systemfunktionen und Wirkprinzipien aus unterschiedlichen Disziplinen in einem gemeinsamen Produktmodell zu beschreiben und integriert zu behandeln. Für eine ganzheitliche Betrachtung und durchgängige Systemunterstützung sind hier föderative und integrierte Entwicklungsumgebungen erforderlich, die bisherige IT-Systeme nur bedingt erfüllen. Die passende Lösung ist nun über den Methodenbaukasten „Modeling Methodology for Systems“ (MMS) gefunden. Mit Hilfe des MMS lassen sich die vielfältigen Systemaspekte unterschiedlicher Modellausprägungen (statisch, dynamisch, etc.) und Modellebenen darstellen. Sie erfassen die Analyse des Systems von außen (Mission, Service) sowie das detaillierte Systemdesign (Funktionen, Komponenten). Da die Entwickler die Verhaltensweisen simulieren können, lässt sich bereits zu einem frühen Zeitpunkt eine Validierung der gewählten Modelle und ihrer Leistungsfähigkeit durchführen.

Als Backbone steht dem MMS die RFLP-Datenstruktur zur Verfügung. Die Abkürzung RFLP steht für:

- **Requirement** – Anforderungsmodell
- **Functional** – Funktionsmodell
- **Logical** – Logisches Modell bzw. Funktionsträgermodell
- **Physical** – Physikalische Modell entspricht „3D-Modell“

Sie wurde erstmals in der konventionell verfügbaren PLM-Umgebung CATIA V6 von Dassault Systèmes implementiert. Dabei handelt es sich um eine vernetzte 3D-Lösung für die Zusammenarbeit zwischen Konstrukteuren und Nicht-CAD-Spezialisten und ist daher ideal für das Systems Engineering geeignet. Die RFLP Datenstruktur ist ebenso in der aktuellen 3DEXPERIENCE Plattform integriert und bildet den zentralen Backbone innerhalb der mechatronischen Produktentwicklung mit Systems Engineering. Die Datenstruktur kann unternehmens- und entwicklungs-spezifisch angepasst werden und erlaubt so beispielsweise die Integration weiterer Knoten in die Datenstruktur (z. B. Operational, System, Component).

Die **3DEXPERIENCE** Plattform erlaubt durchgängige Lösungen im Rahmen des Systems Engineering sowie bei der Erzeugung und Handhabung der Objekte, die während der Produktentwicklung entstehen. Sämtliche Modellierungsergebnisse, Produktinformationen und Simulationsdaten können in der integrierten zentralen Datenbank objektorientiert und strukturiert abgelegt werden. Die datenbankbasierte **3DEXPERIENCE** Plattform erlaubt die gewünschte durchgängige Nutzung für alle Disziplinen und Nutzer ohne Schnittstellen- und Medienbrüche.

Die Anwender sind in der Lage, die einzelnen Phasen der Produktentwicklung zu durchlaufen und wichtige Erkenntnisse über den Entwurfsprozess zu erhalten. Sie erkennen auf einen Blick die Zusammenhänge zwischen den gestellten Anforderungen und welches logische Verhalten des Systems sich daraus ergibt. Außerdem können sie die Einflüsse auf die 3D-Geometrie erkennen. Der Hauptvorteil des modellbasierten Systems Engineering in der **3DEXPERIENCE** Plattform besteht in der Integration aller relevanten Modelle in ein übergeordnetes Systemmodell, aus dem die jeweils benötigten Sichtweisen auf das System abgeleitet werden können. Änderungen an einem Teilsystem oder einer Komponente wirken sich immer auf die umliegenden Bereiche und Bauteile aus, und diese Auswirkungen sind durch das Gesamtsystemmodell jederzeit sofort sichtbar. Systemanalysen und -validierungen können nun ganzheitlich durchgeführt werden und erlauben durch die vollständige Integration der Disziplinen domänenübergreifende Simulationen.

Bisherige IT-Systeme konnten die Methoden des Systems Engineering nicht umsetzen, da ein integriertes Datenmodell über die Produktentwicklungsphasen und Disziplinen fehlte. Dies ist durch die Einführung der **3DEXPERIENCE** Plattform nun gelöst.

DIE **3DEXPERIENCE** PLATTFORM BILDET DIE WERTSCHÖPFUNGSKETTE DIGITAL AB

Voraussetzung für ein erfolgreiches Systems Engineering ist, dass alle Daten, Standards und Softwaretools in einem Unternehmen nahtlos in einer Plattform zusammenlaufen. Idealerweise lassen sich auch Zulieferer und andere am Produktent-

stehungsprozess Beteiligte integrieren, um Schnittstellen- und Medienbrüche zu vermeiden. Die **3DEXPERIENCE** Plattform von Dassault Systèmes beschränkt sich nicht auf einzelne Prozessschritte, sondern bildet die gesamte Wertschöpfungskette durchgängig digital ab – von der ersten Idee über das Engineering und die Fertigung bis hin zu Vertrieb und Service. Hier können Ingenieure aus allen Branchen in Echtzeit ihre Produkte und Systeme in einem die Realität abbildenden Umfeld entwickeln und verschiedene Szenarien prüfen.

Die **3DEXPERIENCE** Plattform verwendet ein rollenbasiertes System bei dem es zu jedem Aufgabentypus jeweils eine zugehörige Rolle gibt (z.B. Project Manager, Dynamic Systems Engineer), die mit entsprechenden Applikationslösungen (Apps) in der Plattform einhergehen und somit jeden Schritt im Produktentstehungsprozess digital abbilden. Dies ermöglicht eine effiziente Zusammenarbeit aller Disziplinen und koordiniert als Business-Plattform die gemeinsame Produktentwicklung von der Konzeptphase bis zur Produkteinführung über verschiedene Apps.

Soziale und vernetzte Apps (ENOVIA, 3DEXCITE) ermöglichen den Aufbau von vernetzten Communities, in denen Inhalte zu Problemstellungen ausgetauscht und diskutiert werden können und Apps zu Information Intelligence (EXALEAD, NETVIBES) vereinfachen Darstellungen und Dashboarding. Über die Apps CATIA, SOLIDWORKS, GEOVIA und BIOVIA ist die 3D-Modellierung auf der Plattform genauso integriert wie die Apps zu Content und Simulation (SIMULIA, DELMIA, 3DVIA) an den Schnittstellen von virtueller Welt und Realität.

Die Webservice-Infrastruktur der **3DEXPERIENCE** Plattform ist mit zahlreichen Schnittstellenstandards kompatibel. Die kundenspezifische Anpassung und Integration der Kundendaten in einer einzigen Arbeitsumgebung schafft eine hohe Transparenz und beschleunigt den kompletten Produktentwicklungsprozess.

DURCHGÄNGIGE NACHVERFOLGBARKEIT ERMÖGLICHT TRANSPARENTE PRODUKTENTWICKLUNG

Umfassende Nachweispflichten zur Durchgängigkeit von Entwicklungsprozessen sowie die Rückverfolgbarkeit (Traceability) des kompletten Produktentstehungsprozesses sind aufgrund der hohen Komplexität wichtige Bestandteile des Systems Engineering. Die Nachvollziehbarkeit der einzelnen Entwicklungsschritte wird in einem Traceability-Report sichergestellt. Für Hersteller, aber auch Kunden und Behörden, ist es von höchster rechtlicher Relevanz, wenn sie im Falle von Störungen oder Schäden im Rahmen der Produkthaftung nachweisen können, dass sie den jeweiligen Stand der Technik erfüllt haben.

Eine besondere Herausforderung ist dabei die Anlehnung an Regularien und Normen. Bei komplexen Produkten und Systemen erfordern sie eine eindeutig nachvollziehbare Darstellung aller in der Entwicklung entstandenen Dokumente, Modelle, Designs etc. (Artefakte). Der Zweck liegt hierbei maßgeblich in der Vermeidung von Spezifikations-, Implementierungs- und Testfehlern. Die Nachvollziehbarkeit von Einflüssen erlaubt eine Ursachenanalyse von Fehlern und damit auch die Bestimmung aller weiteren Auswirkungen. Zusätzlich wird das Änderungsmanagement durch eine umfangreiche Impact-Analyse von Artefakten und Verantwortlichen unterstützt. Dieser Traceability-Prozess ist gerade bei einer heterogenen Werkzeuglandschaft schwierig darzustellen. Entsprechend der historisch gewachsenen IT-Infrastruktur der Unternehmen, trifft dies z.B. in der Automobilindustrie auf nahezu alle OEMs und Zulieferer zu. IT-Lösungen beinhalten oft nur Standard-Schnittstellen bzw. -Formate, um werkzeugübergreifend arbeiten zu können.

Der Großteil der Werkzeuge in der Systementwicklung unterstützt diese Standards bisher nicht. Eine sinnvolle Traceability-Lösung benötigt aber neben einigen verfügbaren Standard-Schnittstellen vor allem zahlreiche werkzeugspezifische Schnittstellen (API) der heute eingesetzten IT-Lösungen in Unternehmen. Der häufig noch sehr manuelle Prozess zur Nachweiserbringung einer gesamten System-Traceability kann dadurch heute schon automatisiert werden, ohne bestehende IT-Systeme ersetzen zu müssen.



Systems Engineering hat den Anspruch, bei allen Beteiligten von Beginn an ein gemeinsames Systemverständnis zu erzeugen.

Sowohl mit der Systems Traceability Designer Rolle in der **3DEXPERIENCE** Plattform als auch dem Standalone Werkzeug REQTIFY bietet Dassault Systèmes intuitive Anwenderlösungen, um Anforderungen, Nachverfolgbarkeit und Auswirkungen analysen über unterschiedliche Systeme und Projektebenen hinweg zu verwalten. Der Vorteil für den Nutzer liegt darin, dass die Anforderungen auf allen Ebenen intuitiv aus Word- und PDF-Dokumenten erfasst werden können. Gleichzeitig sind alle Schritte einfach nachzuverfolgen. Durch die nachhaltigen Entwicklungs- und Prüfprozesse lassen sich die Auswirkungen bei Anforderungen und Lebenszyklusinformationen schnell analysieren. So sind schon in frühen Phasen der Produktentwicklung die Risiken besser abschätzbar und eine höhere Produktqualität erreichbar.

DIE ZUKUNFT VON SYSTEMS ENGINEERING

Die größten Herausforderungen im Produkt-Engineering sind die Komplexität, die wachsende Interdisziplinarität bei gleichzeitig verkürzten Entwicklungszeiten und steigender Wettbewerbsintensität. Prozessqualität heute benötigt Durchgängigkeit, Wiederholbarkeit und Standardisierbarkeit.

Systems Engineering hat den Anspruch, bei allen Beteiligten von Beginn an ein gemeinsames Systemverständnis zu erzeugen sowie die Systementwicklung und darauf aufbauend das folgende methodische Vorgehen in den Disziplinen Mechanik-, Elektrik-/Elektronik- und Softwareentwicklung sowie in noch weiteren Fachgebieten zu orchestrieren. Die Einführung von Systems Engineering in Unternehmen wird eher schrittweise über einen längeren Zeitraum erfolgen. Unternehmen, die diesen Weg schneller beschreiten und ihre Prozesse und Methoden zügig anpassen, werden mit Systems Engineering schnell nachhaltige Wettbewerbsvorteile erzielen.

Je einfacher sich gemeinsame Plattformen nutzen lassen, desto höher die Chancen der Hersteller auf Beherrschbarkeit der Komplexität und damit verbunden eine erhöhte Produktqualität, die zu weniger Rückrufaktionen führt. Und wenn es doch zu Auffälligkeiten kommt, kann die Ursache mittels Nachverfolgbarkeits-Analyse wesentlich schneller aufgespürt werden. Denn Systems Engineering dokumentiert jeden Schritt des Entwicklungsprozesses, sodass Nachweispflichten, Risikoabsicherung und höhere Produktqualität bereits in früheren Phasen durchgängig abgesichert werden können.

Die modellbasierte Systementwicklung erfordert aber nicht nur neue Werkzeuge und Standards. Sie verlangt auch ein anderes Denken, organisatorische und prozessuale Veränderungen in den Unternehmen. Die einzelnen Mitarbeiter der verschiedenen Fachbereiche müssen frühzeitig integriert werden – mit dem Ziel, eine gemeinsame Herangehensweise verbunden mit einheitlicher Systembeschreibung und Systemdenken zu entwickeln. Die große Herausforderung lautet: Den Dialog mit den beteiligten Menschen führen, sie abholen und für das Thema begeistern, weil sie die Vorteile überzeugen. Denn Systems Engineering ist zweifelsfrei sinnvoll für die anstehenden Aufgaben.

Herausgeber:

Dassault Systemes Deutschland GmbH
www.3ds.com/de