

SYSTEMS ENGINEERING

in der industriellen Praxis



Herausgeber



HEINZ NIXDORF INSTITUT
Universität Paderborn
Produktentstehung
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier



Fraunhofer
IPT

UNITY
CONSULTING & INNOVATION

Vorwort

Systems Engineering (SE) ist kein neues Phänomen. Es wird bereits seit Jahrzehnten betrieben, beispielsweise beim Zusammenführen verschiedenster Technologien oder bei sicherheitsrelevanten Missionen, die nicht anhand eines Prototypen untersucht werden können. In der Luft- und Raumfahrtindustrie hat SE eine Vorreiterrolle und ist ein etablierter Standard. Es ist in Projekten sowie in der Organisation fest verankert. Ohne die ganzheitliche und systematische Vorgehensweise sowie die konsequente Nutzung von Methoden und Prozessen des Systems Engineering ist eine erfolgreiche Mission unter Schwerelosigkeit und allen Raumfahrteinflüssen als „first time right“ nicht sicherzustellen. Der Systems Engineer sorgt dafür, dass das Ergebnis die Anforderungen erfüllt, und zwar im ersten Versuch und zum richtigen Zeitpunkt. Systems Engineering hat sich dort etabliert, wo komplexe Zusammenhänge vorherrschen oder auch sicherheitskritische Aspekte einen Einfluss haben und Menschenleben in Gefahr sind. Nichts wird dem Zufall überlassen und darf bei der Einführung schief gehen. Somit befindet sich SE auch im Bereich Schiene aber auch im Schiffbau seit Jahren in der Anwendung.

Einen Anfang für die weitere Etablierung hat die Gründung des International Council on Systems Engineering (INCOSE) 1993 getan, der dann 1997 die Gründung des Chapters für den deutschsprachigen Raum folgte, der Gesellschaft für Systems Engineering e.V. (GfSE). Mit der Herausgabe des SE-Handbuchs und der Mitarbeit an internationalen Standards und Normen, der Sammlung von Best Practices, der Einführung des SE-Zert® Programms (Ausbildung zum zertifizierten Systems Engineer), hochdotierten Studienpreisen und internationalen als auch nationalen Konferenzen gewinnt Systems Engineering zunehmend an Bedeutung. Gerade in den letzten Jahren haben der Zuspruch und die Nachfrage an das Systems Engineering nochmals stark zugenommen. Ein Grund könnte sein, dass die Komplexität und Anforderungen in der Systementwicklung über alle Branchen hinweg signifikant angestiegen sind.

Daher ist die vorliegende Studie für die GfSE e.V. ein gutes Maß, inwieweit Systems Engineering in den verschiedenen Branchen bekannt ist und sich etabliert hat. Bisher gab es nur durch die Herkunft der Mitglieder und Teilnehmer der GfSE-Konferenz, dem Tag des Systems Engineering (TdSE), eine Indikation über die Verbreitung und den Einsatz von Systems Engineering. Eine nachweisliche Übersicht oder eine Studie basierend auf Interviews fehlten ganz. Somit ist eine Unterstützung der Studie, welche die drei korporativen Mitglieder durchgeführt haben, aus Sicht der GfSE nie in Frage gestellt worden. Im Gegenteil, sie ist die Basis für weitergehende Aktivitäten, mit denen einem breiten Publikum der Nutzen durch die Anwender aufgezeigt werden soll. Systems Engineering ist keine Nische in einzelnen Branchen, sondern kann in der Breite die Industrie bei der Entwicklung von erfolgreichen Produkten unterstützen und ist damit ein Wettbewerbsvorteil für den Entwicklungsstandort Deutschland.

In diesem Sinne wünsche ich Ihnen eine interessante Lektüre zum Systems Engineering.

Sven-Olaf Schulze
Vorsitzender der GfSE e.V.



Inhalt

Seite 6	Einleitung
Seite 10	Zusammenfassung
Seite 13	1 Auf dem Weg zu den Produkten von morgen 1.1 Intelligente technische Systeme – die Produkte von morgen 1.2 Herausforderungen für die Produktentstehung
Seite 20	2 Systems Engineering im Überblick 2.1 Systems Engineering kurz erklärt 2.2 Meilensteine des Systems Engineering 2.3 Normen, Standards und Richtlinien 2.4 Die Promotoren
Seite 28	3 Systems Engineering in der Praxis 3.1 Verständnis von SE in der Praxis 3.2 Der Nutzen von SE aus Praxissicht 3.3 Hindernisse für die Anwendung von SE 3.4 Die Anwendung von SE in der Industrie 3.5 SE in den verschiedenen Branchen
Seite 51	4 Systems Engineering in Aus- und Weiterbildung 4.1 Qualifikationen zukünftiger Ingenieure 4.2 Aktuelles Studienangebot 4.3 Aktuelles Weiterbildungsangebot
Seite 56	Resümee und Ausblick
Seite 57	Übersicht der befragten Unternehmen
Seite 58	Autoren
Seite 60	Abkürzungen/Literaturverzeichnis/Bildnachweise
Seite 64	Glossar
Seite 69	Impressum

Einleitung

Ausgangslage

Die Erzeugnisse des Maschinenbaus und verwandter Branchen wie der Automobilindustrie oder Medizintechnik durchliefen in den letzten Jahren einen kontinuierlichen Wandel von mechanisch geprägten hin zu mechatronischen Systemen. Insbesondere die Informations- und Kommunikationstechnik wurde zu einem wesentlichen Innovationstreiber. Das Ende dieser Entwicklung ist nicht in Sicht. Vielmehr werden noch weitere Disziplinen wie z.B. die Künstliche Intelligenz-Forschung dazu beitragen, dass die Systeme immer leistungsfähiger werden. Es zeichnen sich technische Systeme ab, die in ihrer Funktionsweise adaptiv, robust und vorausschauend sind sowie eine hohe Benutzungsfreundlichkeit ausweisen.

Die Entwicklung dieser Systeme kann nicht mehr aus dem Blickwinkel einer einzelnen Fachdisziplin betrachtet werden; die etablierten fachdisziplinorientierten Methodiken stoßen hier an ihre Grenzen, da sie nicht das Zusammenwirken der beteiligten Disziplinen betrachten. Ein Ansatz, der diesem Anspruch gerecht wird, ist das Systems Engineering (SE).

Gegenstand und Zielsetzung

SE ist nicht neu; es ist seit Jahrzehnten fest in der Luft- und Raumfahrt etabliert und stößt heute in vielen anderen Branchen auf wachsendes Interesse. Allerdings ist das Bild über die tatsächliche Leistungsfähigkeit und den Nutzen für viele noch unklar. Oftmals werden SE-Methoden als zu abstrakt und generisch sowie wenig praxistauglich eingeschätzt. Ziel der vorliegenden Studie ist daher, ein fundiertes Bild über das Leistungsvermögen von

Systems Engineering und den derzeitigen Stand des Einsatzes von SE in der Praxis sowie der Aktivitäten in der Aus- und Weiterbildung zu erhalten. Ferner sind die Barrieren darzustellen, die der Ausschöpfung der Nutzenpotentiale entgegenstehen, und Empfehlungen zu geben, diese zu überwinden. Aus dieser übergeordneten Zielsetzung ergeben sich die in den einzelnen Kapiteln zu beantwortenden Fragen.

Auf dem Weg zu den Produkten von morgen

Für die Produkte und Dienstleistungen von morgen eröffnen sich faszinierende Perspektiven. Um diese Perspektiven und die damit verbundenen Herausforderungen zu verdeutlichen, werden in diesem Kapitel folgende Fragen erörtert:

- Welche Eigenschaften charakterisieren die Produkte von morgen?
- Welche Herausforderungen ergeben sich dadurch für die Produktentstehung?
- Was gilt es zu tun, um diese Herausforderungen zu meistern?

Systems Engineering im Überblick

Das Kapitel gibt einen allgemeinen Überblick zum Thema Systems Engineering. Neben einer Begriffsdefinition werden die Entwicklungslinien des SE skizziert und die aktuellen Vertreter im Bereich Systems Engineering untersucht. Dementsprechend werden folgende Fragen adressiert:

- Was ist Systems Engineering und dessen Anspruch?
- Wo liegen die Ursprünge des Systems Engineering?

- Welche Meilensteine und Schulen haben das Systems Engineering geprägt?
- Welche Promotoren und Standards gibt es für das Systems Engineering aktuell in Deutschland?

Systems Engineering in der Praxis

Grundlage der Studie sind 33 Interviews mit Fachleuten von Industrieunternehmen und Dienstleistern aus Deutschland, Österreich und der Schweiz (DACH-Region). Die Unternehmen unterschiedlicher Größe gehören durchweg zu den Spitzenreitern ihrer Branche (Auflistung der Unternehmen siehe Seite 57). Bei der Auswahl der Unternehmen wurden verschiedene Branchen berücksichtigt: Neben den vermeintlich typischen SE-Branchen Luft- und Raumfahrttechnik sind die Automobilindustrie sowie der Maschinen- und Anlagenbau, Automatisierungstechnik und Gerätehersteller vertreten (Bild E-1).

Es wurden sowohl weithin bekannte Unternehmen als auch sogenannte Hidden Champions befragt. Die Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer bekleiden verschiedene Positionen in den Unternehmen; befragt wurden in erster Linie Geschäftsführerinnen und Geschäftsführer, Entwicklungsleiterinnen und -leiter, Produktionsverantwortliche und Systems Engineers, falls diese Position explizit besetzt war. Dies ermöglicht ein weitgefächertes Bild über verschiedene Verantwortungs- und Anwendungsebenen. In ausführlichen Fachgesprächen wurde über das Verständnis und den Nutzen von SE gesprochen. Aufgrund des Interviewkonzepts mit vielen offenen Fragestellungen konnten die verschiedenen Perspektiven und SE-Vorkenntnisse der Interviewpartner

berücksichtigt und die Besonderheiten der unterschiedlichen Branchen beleuchtet werden. Balkendiagramme visualisieren die Interviewauswertung im Hauptteil der Studie und zeigen die Nennungen eines Aspekts im Verhältnis zu allen Befragten. Neben dem Verständnis und der Verbreitung von Systems Engineering im Allgemeinen wurden in den Interviews ausgewählte Themenfelder des Systems Engineering detaillierter diskutiert. Auf diese Weise konnten die Rolle und der Leistungsstand des Systems Engineering in verschiedenen Branchen herausgearbeitet werden. Dementsprechend stehen im Rahmen der Analyse folgende Fragen im Fokus:

- Welches Verständnis haben die Unternehmen aus unterschiedlichen Branchen von SE?
- Wie weit ist SE in der Praxis bereits verbreitet?

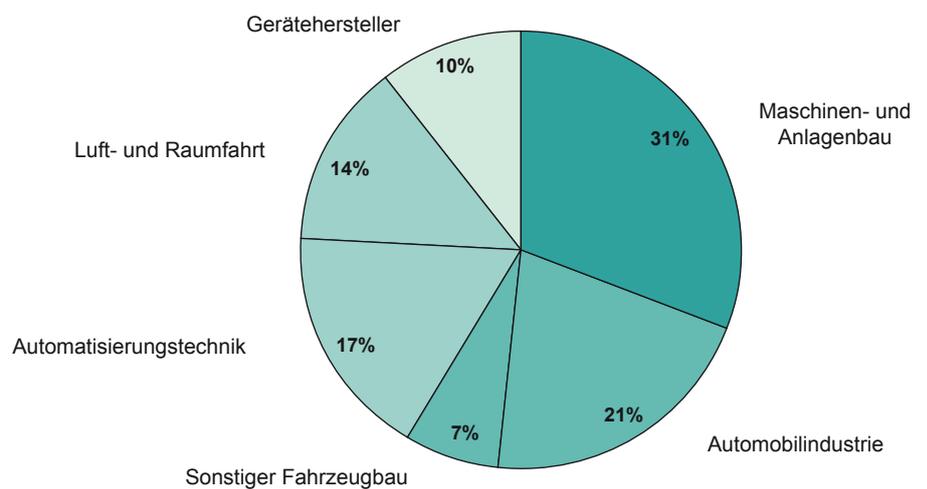


Bild E-1: Branchenverteilung der Interviewpartner

- Wie sind die Unternehmen heute in den zentralen Themenbereichen des SE aufgestellt?
- Welchen Nutzen und welche Hindernisse sehen die Vertreter in der Industrie in der Anwendung von SE?
- Was sind die Herausforderungen bei der Einführung von SE?

Systems Engineering in Aus- und Weiterbildung

Als Grundlage zur erfolgreichen Anwendung wird in diesem Kapitel das aktuelle Angebot in der Aus- und Weiterbildung betrachtet und mit dem Bedarf der Praxis gespiegelt. Hierzu wird zum einen das aktuelle Studienangebot ausgewertet. Zum anderen werden verschiedene Weiterbildungsmaßnahmen betrachtet. Zentrale Fragestellungen sind:

- Welches Kompetenzprofil hat ein Systems Engineer?
- Stimmt das Angebot mit dem Bedarf aus der Praxis überein?
- Wie muss die Ausbildung zukünftig gestaltet werden?

Resümee und Ausblick

Abschließend werden die wichtigsten Erkenntnisse der Studie nochmals gebündelt aufgeführt und ein Ausblick für weitere mögliche Aktivitäten gegeben.

Autoren

Die vorliegende Studie wurde unter Leitung von **Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier**, Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn, **Dr.-Ing. Roman Dumitrescu**, Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT

und **Dr.-Ing. Daniel Steffen**, UNITY AG von folgenden Personen erstellt:

- **Dipl.-Wirt.-Ing. Anja Czaja**, Heinz Nixdorf Institut
- **Dipl.-Wirt.-Ing. Olga Wiederkehr**, Heinz Nixdorf Institut
- **Dipl.-Wirt.-Ing. M.Eng. Christian Tschirner**, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT, Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik

Das Heinz Nixdorf Institut ist ein interdisziplinäres Forschungszentrum für Informatik und Technik der Universität Paderborn. In Forschung und Lehre liegt der Fokus auf dem Entwurf intelligenter technischer Systeme. Die Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik beruht auf einer Kooperation des Heinz Nixdorf Instituts mit dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT. Sie konzentriert sich auf den Entwurf mechatronischer und intelligenter technischer Systeme sowie die Konzipierung der erforderlichen Produktionssysteme. Die UNITY AG ist die Managementberatung für zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung. Sie unterstützt ihre Kunden unter anderem bei der Ausrichtung ihrer Produktentwicklung auf die Anforderungen ihres Geschäfts.

Wir danken **Sven-Olaf Schulze** (GfSE), **Prof. Dr. Robert Cloutier** (Stevens Institute of Technology) sowie **Dr.-Ing. Sascha Kahl** (Smart Mechatronics GmbH) für die Beratung bei der Erstellung der Studie. Unser besonderer Dank gilt den befragten Experten aus den Unternehmen, die die inhaltliche Tiefe dieser Studie ermöglicht haben.

Lesehinweis

Die vorliegende Studie ist so aufgebaut, dass das Wesentliche rasch erfasst werden kann. Dazu reicht es, die Grafiken anzusehen und die fett abgesetzten Zusammenfassungen der Unterkapitel zu lesen. Die jeweiligen Zusammenfassungen sind zusätzlich nach vorn – unmittelbar hinter diese Einleitung – gezogen. Ferner dienen die an den Seitenrändern hervorgehobenen Statements der raschen Orientierung und Erfassung der Inhalte.

Ausschließlich aus Gründen der einfacheren Lesbarkeit wird in der Studie die maskuline Form verwendet. Wenn beispielsweise von Ingenieuren gesprochen wird, sind damit selbstredend auch Ingenieurinnen gemeint.



Zusammenfassung

Kapitel 1 – Auf dem Weg zu den Produkten von morgen

Die technischen Systeme von heute sind von der Mechatronisierung geprägt. Intelligente Funktionen, Vernetzung, Funktionsintegration und Benutzungsfreundlichkeit sind die Eigenschaften, die die Produkte von morgen ausmachen. Die Begriffe Intelligente Technische Systeme und Cyber-Physical Systems bringen dies zum Ausdruck. Die Unternehmen stellen sich darauf ein, zukünftig solche Systeme im globalen Wettbewerb anzubieten.

Intelligente technische Systeme erfordern neue Ansätze in der Entwicklung; dies ergibt sich aus der Interdisziplinarität und Komplexität der Produkte und Produktionssysteme. Dessen sind sich die Unternehmen bewusst. Es fehlt eine umfassende fachdisziplinübergreifende Systembetrachtung. Je komplexer die Erzeugnisse, desto größer sind die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Methodik. Systems Engineering scheint der geeignete Lösungsansatz zu sein; allerdings besteht die Frage, warum sich Systems Engineering bislang nicht in der Breite durchsetzen konnte.

Kapitel 2 – Systems Engineering im Überblick

Systems Engineering ist ein durchgängiger fachdisziplinübergreifender Ansatz zur Entwicklung multidisziplinärer Systeme. Es adressiert aber nicht nur das zu entwickelnde System, sondern auch das dazugehörige Projekt.

Systems Engineering ist sehr facettenreich. Es hat seinen Ursprung in der Systemtheorie und hat sich stetig weiterentwickelt. Auslöser war stets ein Komplexitätszuwachs in der Problemstellung. Die aktuellen Forschungsthemen Industrie 4.0 und Cyber-Physical Systems sind heute wesentliche Treiber des Systems Engineering.

Die existierenden Normen unterstützen die Anwendung von Systems Engineering in der Breite nicht ausreichend genug. Das Zusammenwirken der Normen ist nur schwer zu überschauen und hilft kaum, dem Anwender Systems Engineering näher zu bringen.

Der wichtigste Promotor des Systems Engineering weltweit ist INCOSE. Im deutschsprachigen Raum ist dessen Ableger die GfSE. Beide Institutionen bringen SE-Experten und SE-Interessierte zusammen und spielen eine wichtige Rolle in den Bereichen Standardisierung und Aus- und Weiterbildung.



Kapitel 3 – Systems Engineering in der Praxis

Der Begriff Systems Engineering ist in der Praxis geläufig; ein Grundverständnis ist vorhanden. Ein tiefes Verständnis ist nur bei ausgesprochenen Experten gegeben. Oftmals wird vom „System Engineering“ gesprochen, das nur die Softwareentwicklung fokussiert und zu kurz greift. Dennoch zeigen die Interviews, dass die Erwartungshaltung gegenüber Systems Engineering hoch ist, auch wenn die Bandbreite der hierfür notwendigen Aktivitäten, Methoden und Werkzeuge nicht überblickt wird.

Grundsätzlich sehen alle Befragten erhebliche Nutzenpotentiale bei der Anwendung von Systems Engineering. Im Wesentlichen erhofft man sich, dass es eine Grundlage für die Kommunikation und Kooperation bildet und so die Aktivitäten abgestimmter und leichter zu koordinieren sind und die Verwendung von bewährten Teillösungen gefördert wird. Der Nutzen, so die Experten, steigt dabei mit zunehmender Komplexität der Aufgabenstellung.

Insbesondere in kleinen und mittleren Unternehmen ist das Thema Systems Engineering bislang sehr personengebunden. Meist sind aber besonders diese Personen sehr bemüht, die Ideen und Ansätze des SE in den Alltag zu überführen. In Großunternehmen ist ein unternehmensweites SE-Bewusstsein ebenfalls noch nicht zu erkennen. Erstaunlich ist, dass einige Unternehmen trotz fortschreitender Mechatronisierung, der Ansicht sind: „Meine Produkte brauchen kein Systems Engineering.“

Über alle Branchen und Unternehmensgrößen hinweg wurden sämtliche Themenfelder als bedeutsam bewertet, unabhängig von der SE-Expertise der Befragten. Unternehmen mit geringer SE-Expertise stufen sich durchschnittlich besser ein als Unternehmen mit hoher Expertise. Während einige Themenfelder (z.B. Anforderungsmanagement) schon große Aufmerksamkeit erhalten, stecken andere Aktivitäten noch in den Kinderschuhen. Hier gilt es folgende Aspekte zu überwinden: Fehlendes Know-how und methodisches Vorgehen sowie unzureichende Werkzeugunterstützung. Alle Themenfelder sind eng miteinander verzahnt; erfolgreiche Aktivitäten in einem Themenfeld unterstützen die Betrachtung der anderen Themenfelder. Entsprechend schwächen Mängel in einem Bereich unter Umständen das gesamte Gefüge.

Im deutschsprachigen Raum ist die Verbreitung von Systems Engineering stark branchenabhängig. So ist Systems Engineering in der Luft- und Raumfahrttechnik fest etabliert. In der Fahrzeugindustrie wird SE inzwischen als Befähiger gesehen, es gewinnt zunehmend an Bedeutung und wird von den OEMs vorangetrieben. Aber in der Breite, insbesondere dem in Deutschland stark mittelständisch geprägten Maschinen- und Anlagenbau, wird Systems Engineering trotz seiner hohen Bedeutung nicht eingesetzt.



Kapitel 4 – Systems Engineering in Aus- und Weiterbildung

Die Befragten sehen zukünftig zwei Arten von Ingenieuren: den Spezialisten und den Generalisten. Der Spezialist beherrscht das Detailwissen einer Fachdisziplin. Der Generalist hingegen verfügt über Basiswissen der involvierten Fachdisziplinen und zeichnet sich durch ganzheitliches Systemdenken aus. Um seiner Rolle gerecht zu werden, besitzt er Soft Skills, Praxiswissen und Methodenkompetenz.

Ein Großteil der angebotenen Studiengänge ist fachdisziplinspezifisch ausgerichtet. Die eigentliche Idee des Systems Engineering findet sich in der Lehre nur selten wieder. Die Interdisziplinarität des SE scheint auch eine Herausforderung für Hochschulen zu sein, die diesen Bereich kaum durch eine Fakultät abdecken können.

Die Vielzahl der Aktivitäten im Bereich der Weiterbildung spiegeln den Bedarf der Praxis an SE-Expertise wider. Für ein einheitliches Basiswissen muss es jedoch zukünftig ein vergleichbares Lehrprogramm für Systems Engineering geben. Die Standardisierungsbemühungen der GfSE sind ein Weg die Weiterbildung im Systems Engineering anzugleichen und die Anforderungen der Praxis exakt zu treffen.

Die vorliegende Studie belegt, dass Systems Engineering aus Sicht der Industrie eine notwendige Voraussetzung zur Entwicklung komplexer technischer Systeme ist. Dennoch konnte es sich bisher nicht in der Breite durchsetzen, der aktuelle Leistungsstand von Systems Engineering in der industriellen Praxis zeigt eine Lücke zwischen den Erwartungen und dem Bedarf der Unternehmen auf. Dies betrifft insbesondere die Anwendbarkeit und Akzeptanz schon bestehender Methoden und Werkzeuge.

1 Auf dem Weg zu den Produkten von morgen

Erfolgversprechende Produktinnovationen des modernen Maschinenbaus und artverwandter Branchen beruhen zunehmend auf dem engen Zusammenwirken von Mechanik, Elektrik/Elektronik, Regelungstechnik und Softwaretechnik. Dafür steht der Begriff Mechatronik. Es ist ein Kunstwort aus Mechanik und Elektronik, das die Erweiterung mechanischer Systeme um elektronische Funktionen widerspiegelt. Aus der sich abzeichnenden Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnik eröffnen sich weitere Perspektiven: mechatronische Systeme mit inhärenter Teilintelligenz. Solche intelligenten technischen Systeme werden zukünftig in der Lage sein, sich ihrer Umgebung und den Wünschen ihrer Anwender im Betrieb anzupassen. Sie stiften Nutzen im Haushalt, in der Produktion, im Handel, auf der Straße; sie sparen Ressourcen, sind intuitiv zu bedienen und verlässlich. Dabei verschmilzt die physikalische Welt, in der diese Systeme agieren, mit der virtuellen Welt (dem Cyber-Space), über die sie miteinander vernetzt sind und kommunizieren. Derartige intelligente technische Systeme werden daher auch als Cyber-Physical Systems (CPS)¹ bezeichnet, die Self-X-Fähigkeiten (Selbstdiagnose, Selbstoptimierung, Selbstkonfiguration, Selbstheilung etc.) besitzen und die Grundlage für Schwarmintelligenz und die Verwirklichung einer vierten industriellen Revolution sind [aca11]. Im Folgenden werden die Eigenschaften der Produkte von heute und morgen näher beleuchtet und die damit einhergehenden Herausforderungen im Produktentstehungsprozess erörtert. Zentrale Fragestellungen sind:

- Welche Eigenschaften charakterisieren die Produkte von morgen?
- Welche Herausforderungen ergeben sich dadurch für die Produktentstehung?
- Was gilt es zu tun, um diese Herausforderungen zu meistern?

1.1 Intelligente technische Systeme – die Produkte von morgen

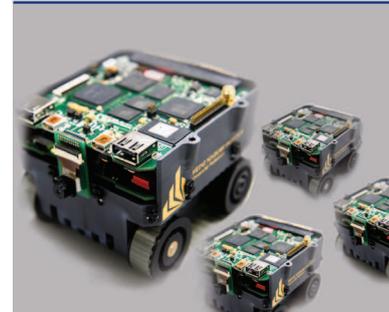
Um die Perspektive der Erzeugnisse von morgen zu erfassen, zeigt dieser Abschnitt auf, wie die Unternehmen ihre Produkte charakterisieren. Von Interesse sind dabei sowohl heutige als auch zukünftige Produkteigenschaften.

Unabhängig von den Branchen und den Erzeugnissen bestätigen die Befragten die große Bedeutung der „Mechatronisierung“ für ihre Produkte in den vergangenen Jahren. Offensichtlich charakterisiert das Zu-

sammenwirken von Mechanik, Elektronik und Softwaretechnik die Produkte von heute. Die Tiefe und die Komplexität der Mechatronisierung werden dabei von den Produkten bzw. der Branche bestimmt.



Industrie 4.0



Schwarmintelligenz

Selbstoptimierung



Cyber-Physical Systems



¹ Cyber-Physical Systems und Industrie 4.0 sind zentrale Bausteine der Hightech-Strategie der Bundesregierung und Thema der Hannover Messe 2014 [Bun10].

Die Produkte von morgen sind adaptiv, robust, vorausschauend und benutzungsfreundlich.

Während z.B. die Automobilindustrie ohne das enge Zusammenspiel von Mechanik, Elektronik und Software undenkbar ist, sind die Erzeugnisse anderer Branchen noch überwiegend mechanikzentriert.

Die Integration der Disziplinen wird sich zukünftig deutlich verstärken. Ferner wird auch eine Verschiebung hinsichtlich der Bedeutung der einzelnen Disziplinen insb. von der Mechanik hin zur Informationstechnik stattfinden. Dies spiegelt sich auch in den zukünftigen Eigenschaften der Produkte wieder, die von den Unternehmen genannt wurden (Bild 1-1):

Intelligenz

Zukünftige Produkte sind adaptiv; sie interagieren mit dem Umfeld und passen sich diesem autonom an. So können sie sich zur Laufzeit in einem vom Entwickler vorausgedachten Rahmen weiterentwickeln. Sie sind robust; d.h. sie bewältigen unerwartete und vom Entwickler nicht be-

rücksichtigte Situationen in einem dynamischen Umfeld. Unsicherheiten oder fehlende Informationen können bis zu einem gewissen Grad ausgeglichen werden. Auf der Basis von Erfahrungswissen antizipieren sie die künftigen Wirkungen von Einflüssen; Gefahren werden frühzeitig erkannt und die passenden Strategien zu ihrer Bewältigung ausgewählt.

Vernetzung

Die Systeme sind in der Lage, mit weiteren Systemen zu kommunizieren und zu kooperieren. Die Funktionalität dieser vernetzten Systeme erschließt sich erst durch das Zusammenspiel der Einzelsysteme. Weder die Vernetzung noch die Rolle der Einzelsysteme ist statisch. Der Verbund von Systemen muss in der Lage sein, dynamisch auf wechselnde (vom Menschen geforderte) Gesamtfunktionalitäten reagieren zu können. Durch die voranschreitende Entwicklung des Internets spielt die geographische Nähe dabei keine Rolle mehr. Die Vernetzung erfolgt zunehmend in globaler Dimension. Dabei werden Ansätze im Sinne von Cyber-Physical Systems integriert, die, wie beispielsweise Cloud Computing, in der Vergangenheit völlig separat betrachtet wurden. Das vernetzte System wird nicht mehr ausschließlich durch eine globale Steuerung beherrschbar sein. Ein global gutes Verhalten muss durch hochdynamische lokale Strategien sichergestellt werden.

Funktionssteigerung

Weitere Perspektiven ergeben sich durch die zunehmende räumliche Integration mechanischer und elektronischer Komponenten, verbunden mit Funktionsintegra-

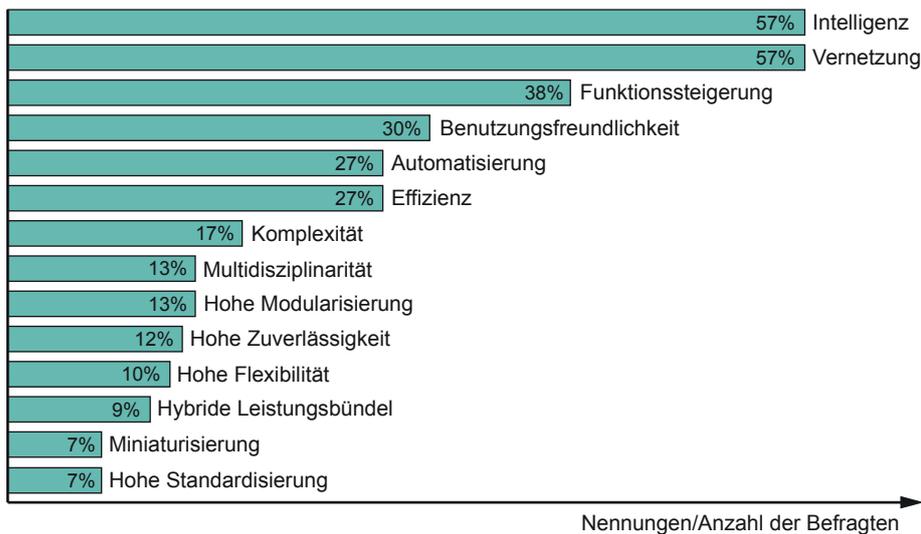


Bild 1-1: Eigenschaften der Produkte von morgen

tion und Miniaturisierung [GFo6]. Die steigende Anzahl automatisierter Funktionen führt zu einer Verbesserung der Leistungsfähigkeit und entlastet den Nutzer in zahlreichen Aufgaben.

Benutzungsfreundlichkeit

Die Systeme passen sich dem Benutzerverhalten an und stehen in einer bewussten Interaktion mit dem Benutzer. Dabei bleibt ihr Verhalten für den Benutzer stets nachvollziehbar.

In erster Linie bestimmt die Art der Informationsverarbeitung den Wandel von mechatronischen zu intelligenten technischen Systemen. Mechatronische Systeme besitzen eine starre Kopplung zwischen Sensorik und Aktorik. Intelligente technische Systeme verfügen ebenfalls über diese Kopplung. Die meisten existentiellen Systemmechanismen müssen schon aus Gründen der Sicherheit reaktiv und reflexartig ablaufen. Die Besonderheit intelligenter technischer Systeme liegt in der Modifikation der Kopplung zwischen sensorischer Eingabe und aktorischer Ausgabe. Die Informationsverarbeitung ermöglicht eine flexible Anpassung des systemeigenen Verhaltens entsprechend der subjektiv wahrgenommen externen sowie internen Zustände. Das aus der Kognitionswissenschaft stammende Dreischichtenmodell für die Verhaltenssteuerung veranschaulicht diese Zusammenhänge (Bild 1-2). Das Modell beruht auf der Überlegung, dass bei komplexen kognitiven Systemen wie beispielsweise dem Menschen die starre Kopplung der Sensorik und Aktorik mit der modifizierbaren Kopplung koexistiert. STRUBE definiert hierfür eine Schicht für

die nicht-kognitive und eine Schicht für die kognitive Regulierung. Die Schnittstelle dieser rein reaktiven und der kognitiven Schicht bildet eine Zwischenebene, welche die assoziative Regulierung beschreibt.

Die unterste Ebene des Schichtenmodells beinhaltet die nicht-kognitive Regulierung; in einem maschinenbaulichen System ist das stets der geschlossene Regelkreis. Aufgrund der starren Kopplung zwischen der Sensorik und der Aktorik findet kein Lernprozess statt. Lediglich in der assoziativen und kognitiven Schicht ist das System lernfähig. Der Lernprozess in der mittleren Ebene, der assoziativen Re-

Die Unternehmen stellen sich darauf ein, dass ihre Produkte intelligenter und im Betrieb mit anderen Systemen vernetzt sein werden.

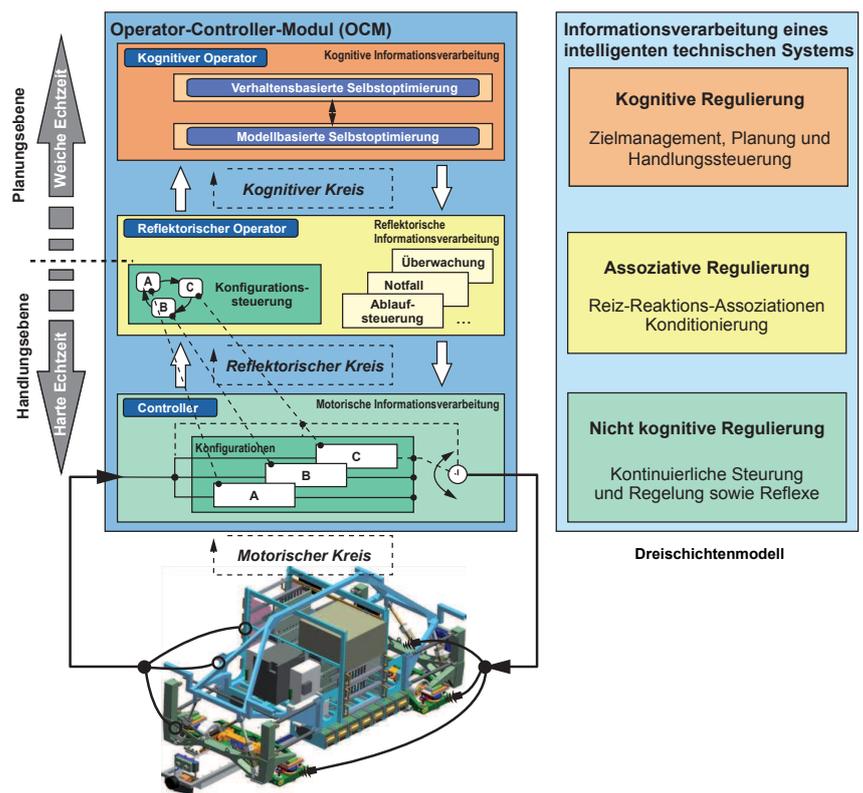


Bild 1-2: Informationsverarbeitung in ITS; links: Dreischichtenmodell nach STRUBE; rechts: am Beispiel Operator-Controller-Modul eines selbstoptimierenden Systems [ADG+og]

gulationsschicht, erfolgt durch klassische oder operante Konditionierung. Die Rede ist hierbei vom assoziativen Lernen. Die oberste Ebene des Dreischichtenmodells leistet die kognitive Regulierung. Kognition umfasst alle Arten von Vorgängen, die mit der Aufnahme von Informationen, ihrer Verarbeitung und Speicherung im Gedächtnis sowie ihrer Nutzung und Anwendung

verbunden sind. Unter kognitivem Lernen werden alle höheren und bewussten Stufen der Informationsverarbeitung zusammengefasst [Dum10], [Str98]. Die Konzepte Cyber-Physical Systems und das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 entsprechen dieser Richtung. Es sind nicht nur Schlagworte, sondern sie spiegeln die zu beobachtende Entwicklung der Produkte wider.

Die technischen Systeme von heute sind von der Mechatronisierung geprägt. Intelligente Funktionen, Vernetzung, Funktionsintegration und Benutzungsfreundlichkeit sind die Eigenschaften, die die Produkte von morgen ausmachen. Die Begriffe Intelligente Technische Systeme und Cyber-Physical Systems bringen dies zum Ausdruck. Die Unternehmen stellen sich darauf ein, zukünftig solche Systeme im globalen Wettbewerb anzubieten.

1.2 Herausforderungen für die Produktentstehung

Die Entwicklung intelligenter Produkte ist Neuland; sie erfordern neue Ansätze in der Entwicklung. In diesem Abschnitt werden die Herausforderungen im Produktentstehungsprozess als Folge der steigenden Systemkomplexität beleuchtet und Lösungsansätze aufgeführt.



Bild 1-3: Herausforderungen in der Produktentstehung von morgen

Der Produktentstehungsprozess erstreckt sich von der Produkt- bzw. Geschäftsidee bis zum Serienanlauf (Start of Production – SOP). Er besteht aus den Aufgabebereichen strategische Produktplanung, Produktentwicklung und Produktionssystementwicklung. Die Produktentstehung erfolgt zunehmend global verteilt und in Kooperation mit zahlreichen Zulieferern und Wertschöpfungspartnern, deren Arbeitsergebnisse klar spezifiziert und ins Gesamtsystem integriert werden müssen. Hieraus ergeben sich folgende Auswirkungen auf die Produktentstehung (Bild 1-3):

Wachsende Interdisziplinarität

Intelligente technische Systeme sind multidisziplinär, das gilt auch für die an der Entwicklung beteiligten Akteure. Die Kommunikation und Kooperation über die Grenzen einzelner Fachdisziplinen hinweg ist zwingend geboten. Jede Fachdisziplin verfügt aber über spezifische Vorgehensweisen, Methoden und Denkmuster. Das Sicherstellen eines einheitlichen Systemverständnisses stellt daher eine zentrale Herausforderung dar.

Hohe Schnittstellenvielfalt

Die arbeitsteilige Entwicklung komplexer Systeme führt zu einer hohen Anzahl vielfältiger Schnittstellen in Produkten und in den entsprechenden Produktentstehungsprozessen. Nur eine lückenlose Beherrschung der Schnittstellen ermöglicht eine erfolgreiche Systemintegration.

Steigende Anforderungskomplexität

Mit steigender Komplexität der Produkte steigt in der Regel auch die Komplexität der Prozesse. Die Anzahl und Vernetzung der Anforderungen und die damit einhergehende steigende Dynamik des Anforderungsmanagements stellen die Unternehmen vor neue Herausforderungen. Von der Aufnahme der Anforderungen bis hin zur Absicherung der Produkteigenschaften müssen die Prozessschritte beherrscht werden.

Zunehmende Produktvarianz

Die Erwartungen der Kunden an individualisierte Produkte nehmen zu. Dies führt in Konsequenz zur kundenindividuellen Produktion (Mass Customization). Zur Sicherung ihrer Wettbewerbsfähigkeit reagieren

Unternehmen mit einer hohen Variantenvielfalt nach außen, die es nach innen zu beherrschen gilt.

Kürzere Produktlebenszyklen (PLZ)

Die dynamische technologische Entwicklung und der globale Wettbewerb führen zu immer kürzeren Produktlebenszyklen. Dies bedeutet aber auch kürzere Entwicklungszeiten trotz steigender Anforderungen an das Produkt. Das Spannungsfeld zwischen Qualität, Kosten und Zeit determiniert den gesamten Produktentstehungsprozess und kann nur durch eine systematischere sowie effizientere Vorgehensweise gelöst werden.

Die genannten Herausforderungen an die Produktentstehung belegen, dass die Erzeugnisse von morgen nicht mehr aus dem Blickwinkel einer einzelnen Fachdisziplin betrachtet und somit auch nicht mit ihrer Methodik allein entwickelt werden können. In Zukunft wird die Lücke zwischen der Leistungsfähigkeit etablierter, primär fachdisziplinenorientierter Entwicklungsmethodiken und der notwendigen Leistungsfähigkeit von Entwicklungsmethoden, bedingt durch die Produktkomplexität, signifikant zunehmen (Bild 1-4). Aus dieser Lücke ergibt sich der Bedarf an einer disziplinübergreifenden Entwicklungsmethodik, die das Gesamtsystem in den Mittelpunkt stellt.

Die Interviews zeigen, dass diese Lücke bereits besteht. Neuere fachdisziplinübergreifende Ansätze, wie die VDI-Richtlinie 2206 „Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme“ [VDI2206], für die Entwicklung der technischen Erzeugnisse greifen nicht weit genug, da sie längst nicht alle Aspekte eines komplexen technischen Systems und dessen Entstehung abde-

Die Unternehmen sehen in der zunehmenden Interdisziplinarität den wesentlichen Treiber für Veränderungen in der Produktentstehung.

Systems Engineering ist nicht neu; daher stellt sich die Frage, warum es sich in der Breite nicht durchgesetzt hat.

cken. Aus Sicht der Befragten müssten insbesondere folgende Themen stärker adressiert werden (Bild 1-5):

Durchgängige Werkzeugketten

Zur Beherrschung der Komplexität multidisziplinärer Erzeugnisse ist eine durchgängige Virtualisierung des Produktentstehungsprozesses unabdingbar. Hier sind Konsistenzbeziehungen zwischen den Teilmodellen der Produkt- und Produktionssystementwicklung (insb. mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad und verschiedener Fachdisziplinen) herzustellen und so die spezifischen Werkzeuge zu kohärenten Werkzeugketten zu kombinieren [EGZ12].

Methodenkompetenz

Die Fähigkeit zur zielgerichteten Anwendung von Arbeitstechniken, Vorgehensweisen und Methoden ist Grundlage für eine erfolgreiche Entwicklung. Der gelungene Einsatz der zur Verfügung stehenden Werk-

zeuge bedarf einer geeigneten Methodik. Sowohl innerhalb der Fachdisziplinen als auch disziplinübergreifend muss ein Unternehmen über ausgezeichnete Methodenkompetenz verfügen. Nur so kann eine systematische und zielorientierte Entwicklung gewährleistet werden.

Akzeptanz für neue Herangehensweisen schaffen

Die Akzeptanz lässt sich im Wesentlichen durch drei zentrale Aspekte erreichen: (1) Bei den Akteuren der Produktentstehung muss das Bewusstsein für die neuen Herausforderungen geschaffen werden. (2) Die Methoden, Vorgehensweisen und Werkzeuge müssen sich am Nutzer orientieren; der Benutzer muss diese als Unterstützung und nicht als Last empfinden. (3) Eine neue, das Gesamtsystem in den Mittelpunkt stellende Methode erfordert erhebliche Anstrengungen in der Aus- und Weiterbildung.



Bild 1-4: Die Lücke zwischen notwendigen und etablierten Entwicklungsmethoden wird größer

Die wesentlichen Herausforderungen liegen wie oben beschrieben aber nicht in den einzelnen Fachdisziplinen, sondern in deren Synchronisation und in der übergeordneten Gestaltung des Gesamtsystems. Systems Engineering (SE) hat das Potential und erhebt den Anspruch, Disziplinen und vielfältige Aspekte zu integrieren und kann somit als Grundlage für eine Weiterentwicklung der Entwicklungsmethodik dienen. Es greift die von den Befragten aufgeführten Herausforderungen auf, indem es einen disziplinübergreifenden Ansatz adressiert. Je komplexer die Erzeugnisse, desto größer sind die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der SE-Methoden. Systems Engineering ist nicht neu; daher

stellt sich die Frage, warum es sich in der Breite nicht durchgesetzt hat. Dieser Fragestellung wird in den folgenden Kapiteln nachgegangen.

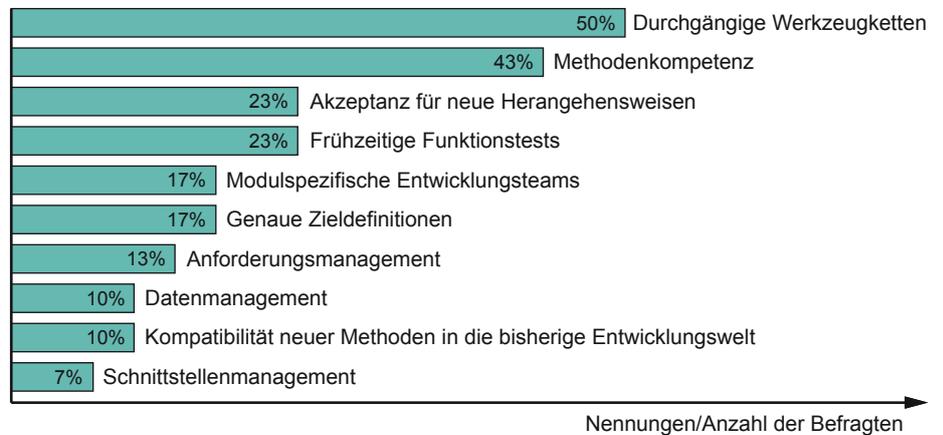


Bild 1-5: Was muss getan werden?

Intelligente technische Systeme erfordern neue Ansätze in der Entwicklung; dies ergibt sich aus der Interdisziplinarität und Komplexität der Produkte und Produktionssysteme. Dessen sind sich die Unternehmen bewusst. Es fehlt eine umfassende fachdisziplinübergreifende Systembetrachtung. Je komplexer die Erzeugnisse, desto größer sind die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Methodik. Systems Engineering scheint der geeignete Lösungsansatz zu sein; allerdings besteht die Frage, warum sich Systems Engineering bislang nicht in der Breite durchsetzen konnte.

2 Systems Engineering im Überblick

Der Begriff Systems Engineering ist derzeit außerordentlich präsent: Engineering- und Beratungsunternehmen sowie Anbieter von IT-Lösungen positionieren sich verstärkt unter diesem Schlagwort. Fachkonferenzen im Bereich der Produktentwicklung adressieren das Thema verstärkt und werden von Interessierten als Plattform zum Informieren und für den Erfahrungsaustausch genutzt. Das Interesse an Systems Engineering scheint so hoch wie noch nie. Dieses Kapitel gibt daher insb. Einsteigern einen Überblick, indem es folgende Aspekte aufgreift:

- Was versteht man unter Systems Engineering?
- Was sind die wesentlichen Meilensteine?
- Welche Normen existieren?
- Wer sind die Promotoren?

2.1 Systems Engineering kurz erklärt

Für den Begriff Systems Engineering existieren in der Theorie zahlreiche Definitionen. Im Kern unterscheiden sich diese aber nur unwesentlich.

Systems Engineering versteht sich als durchgängige, fachdisziplinübergreifende Disziplin zur Entwicklung technischer Systeme, die alle Aspekte ins Kalkül zieht. Es stellt das multidisziplinäre System in den Mittelpunkt und umfasst die Gesamtheit aller Entwicklungsaktivitäten. Im Vordergrund stehen also die Interdisziplinarität und die zielgerichtete ganzheitliche Problembetrachtung. Das International Coun-

cil on Systems Engineering (INCOSE) definiert SE wie folgt: „*Systems Engineering ist ein interdisziplinärer Ansatz und soll die Entwicklung von Systemen methodisch ermöglichen. SE fokussiert ein ganzheitliches und zusammenwirkendes Verständnis der Stakeholder Anforderungen, der Entdeckung von Lösungsmöglichkeiten und der Dokumentation von Anforderungen sowie das Synthetisieren, Verifizieren, Validieren und die Entwicklung von Lösungen. Das gesamte Problem wird währenddessen von der Konzeptentwicklung bis zur Systementwicklung betrachtet. Das Systems Engineering stellt hierfür geeignete Methoden, Prozesse und Best Practices bereit [INC10].*“

Systems Engineering erhebt somit den Anspruch, die Akteure in der Entwicklung komplexer Systeme zu orchestrieren. Es adressiert hierzu das zu entwickelnde System sowie das zugehörige Projekt gleicher-

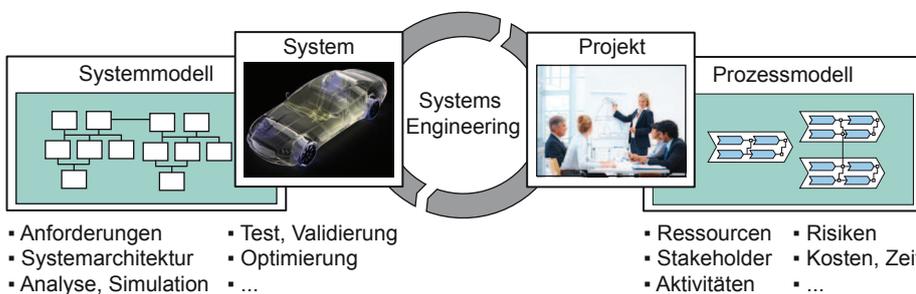


Bild 2-1: Gemeinsame Betrachtung von System und Projekt – Die Kernaspekte des SE

maßen. Über die zentralen Aufgaben in der Produktentwicklung hinaus berücksichtigt SE die wechselseitigen Abhängigkeiten dieser Tätigkeiten bis hin in das sozioökonomische Umfeld einer gesamten Branche (Bild 2-1).

System

Die Systemgestaltung erstreckt sich über den gesamten Entwicklungsprozess und umfasst insbesondere folgende Aufgaben: Anforderungsmanagement, Systemarchitekturgestaltung, Analyse, Simulation, Test und Validierung. Neue Technologien und Anwendungen erfordern interdisziplinäre Entwicklungsteams. Heute besteht im Allgemeinen die Situation, dass jede Fachdisziplin ihre spezifische Sichtweise auf das zu gestaltende System sowie ihre etablierte Fachsprache und Methoden hat.

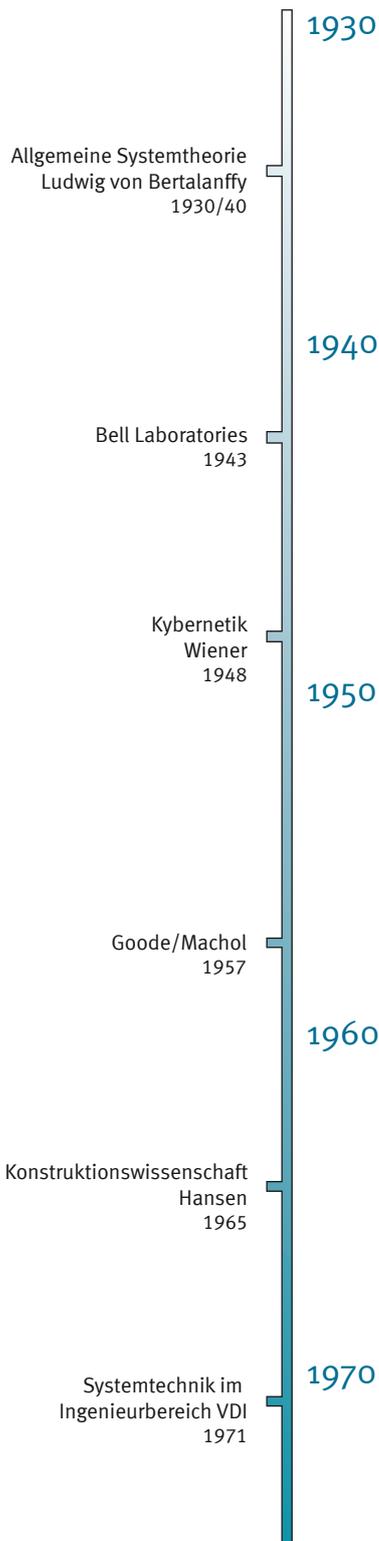
Projekt

Die Projektgestaltung umfasst die Abstimmung der Aktivitäten unter Berücksichtigung der gegebenen Ressourcen, Zeit-, Kosten- und Qualitätsrestriktionen, um sicher das Entwicklungsziel zu erreichen. Je höher die Anzahl der Stakeholder in der Entwicklung, desto komplexer wird diese Aufgabe. Systems Engineering fokussiert die Einbindung von neuen Fachdisziplinen sowie die damit einhergehende steigende Komplexität der Lösungen im konkreten Entwicklungsprojekt.

Systems Engineering ist ein durchgängiger fachdisziplinübergreifender Ansatz zur Entwicklung multidisziplinärer Systeme. Es adressiert aber nicht nur das zu entwickelnde System, sondern auch das dazugehörige Projekt.

Aus der integrativen System- und Projektbetrachtung folgt ein wesentlicher Schwerpunkt des SE: Die durchgängige und fachdisziplinübergreifende Beschreibung des zu entwickelnden Systems, die in einem einzigen Systemmodell mündet. Dieses umfasst eine graphische Präsentation (sog. Diagramme) und eine rechnerinterne Repräsentation in Form eines Datenmodells (das sog. Repository). Während Daten im Repository nur einmal vorkommen, können diese mehrmals und auch unterschiedlich interpretiert in Diagrammen genutzt werden, um spezifische Sichten auf das System zu generieren. Model-Based Systems Engineering (MBSE) stellt ein disziplinübergreifendes Systemmodell in den Mittelpunkt der Entwicklung. Dabei schließt MBSE das Vorhandensein von anderen Modellen des Systems, insb. von disziplinspezifischen, nicht aus, sondern bindet diese über geeignete Schnittstellen ein. Für die Erstellung des Systemmodells gibt es unterschiedliche Sprachen (z.B. SysML), Methoden (z.B. CONSENS, SysMod) und IT-Werkzeuge (z.B. Enterprise Architect), die auch verschieden miteinander kombiniert werden können. Eine einheitliche und anerkannte Methodik des MBSE gibt es noch nicht (vgl. Kapitel 3.4.2).

Systems Engineering = durchgängiger, fachdisziplinübergreifender Ansatz zur Entwicklung multidisziplinärer technischer Systeme.



2.2 Meilensteine des Systems Engineering

Historisch gesehen trat SE als Disziplin immer in den Vordergrund, wenn das zu lösende Problem durch eine noch nie dagewesene Komplexität geprägt war. Die Folge sind unterschiedliche Entwicklungslinien, die im Folgenden kurz skizziert werden. Bild 2-2 veranschaulicht zusätzlich die verschiedenen Schulen des Systems Engineering.

Allgemeine Systemtheorie und Kybernetik

Die Diskussion um SE hat ihre Wurzeln in den philosophischen Betrachtungen zur allgemeinen Systemtheorie. BERTALANFFY kritisierte die deduktiven Verfahren der Naturwissenschaften und die damit einhergehende isolierte Betrachtung von Einzelphänomenen [Ber32]. Anstelle von Einzelphänomenen müssten Phänomene in ihrer Vernetzung beschrieben werden – der Begriff System bringt dies zum Ausdruck: „Systeme“ existieren parallel in unterschiedlichen Wissensgebieten, sie stehen dabei stets in Interaktion und beeinflussen sich gegenseitig. Die allgemeine Systemlehre beschreibt das „grenzübergreifende“ Zusammenwirken beliebiger Systeme und Disziplinen. Die technikkwissenschaftlichen Arbeiten zur Kybernetik durch WIENER und KÜPFMÜLLER/STEINBUCH greifen den Ansatz des systemischen Denkens auf, um Modellkonzepte der Regelungs- und Informationslehre zu verallgemeinern [Wie48].

Systemdenken in Großprojekten

Operations Research Anwendungen im zweiten Weltkrieg und die Arbeiten der Bell Laboratories in den 1940er Jahren bei der Planung von Telekommunikationsnetzwerken gelten als der Ursprung des industriellen Systems Engineering. Hierbei spielte interdisziplinäres Systemdenken eine wesentliche Rolle. Den Durchbruch in der Praxis erzielte das SE jedoch ab

Ende der 1950er Jahre im Rahmen der militärischen Luft- und Raumfahrtprogramme der USA. Es entstanden zahlreiche Handbücher, Best Practices und Standards, meist als pragmatische „how-to“-Ansätze.

Der Systems Approach

GOODE und MACHOL erkannten Mitte der 1950er Jahre in der US-amerikanischen Industrie eine veränderte Arbeitsweise. Sie wird häufig als systems design, systems analysis oder systems approach bezeichnet [GM57]. Im Mittelpunkt von systems approach standen neuartige Werkzeuge, Vorgehensmodelle und Ansätze zur Teamarbeit. Dieser systems approach wurde jedoch häufig schlecht umgesetzt, wirkte chaotisch und war nur vage dokumentiert, v.a. aber erschienen die einzelnen Bestandteile nicht richtig aufeinander abgestimmt. Gerade die unterschiedlichen Begriffswelten der einzelnen Fachdisziplinen wirkten häufig wie Sprachbarrieren und erschwerten die erfolgreiche Kommunikation und Zusammenarbeit [Cha74]. In Russland systematisierte ALTSCHULLER mit der Theorie des erfinderischen Problemlösungsprozesses (TRIZ) Entwicklungstätigkeiten, um schneller und effizienter zu neuen Problemlösungen zu kommen [TZZ98].

Management der Produktentwicklung

In den 1980er Jahren prägten insb. BLANCHARD/FABRYCKY den Begriff „System-Life-

Cycle-Engineering“ [BF81]. Der mögliche Lebenszyklus des Systems sollte bei der Entwicklung stärker betrachtet werden. Von nun an wurde SE vermehrt auch als eine Art Managementlehre gesehen, die aus drei eng miteinander verknüpften Teilen besteht: Systems Management, Systems Methodology und einem Set an Methoden und Werkzeugen. SAGE und ARMSTRONG beschreiben SE als einen interdisziplinären Ansatz für technische und organisatorische Fragestellungen [Sag95].

Konstruktionslehre und Systemtechnik

Motiviert durch einen Mangel an Fachkräften entstanden in der ehemaligen DDR erste methodische Ansätze in der Konstruktionslehre mit dem Ziel einer gesteigerten Effizienz beim Entwickeln [Han56], [Han65]. Die denkpsychologische Sichtweise wurde fokussiert, um den Konstrukteur besser in seiner Arbeit zu unterstützen [Mue90], [PB93]. In der Bundesrepublik wurden insbesondere in den 1980er Jahren in der Konstruktionslehre Konstruktionskataloge und spezielle Aspekte wie Kosten und Qualität fokussiert, was durch den Begriff Design for X zum Ausdruck kam [SWM10], [Rot82].

Der Begriff **Systemtechnik** – häufig als Synonym zu Systems Engineering verwendet – wurde in Deutschland zunächst durch РОРОHL in den 1970er Jahren geprägt. Seiner Ansicht nach liegt die Bedeutung der Systemtechnik darin, der Ingenieurpraxis neue Arbeitsverfahren und Hilfsmittel zugänglich zu machen. Darüber hinaus liegt ihre Leistung darin, bekannte Einzelercheinungen in neuem Zusammenhang zu sehen und dadurch besser verstehen und beherrschen zu können. Es schien,

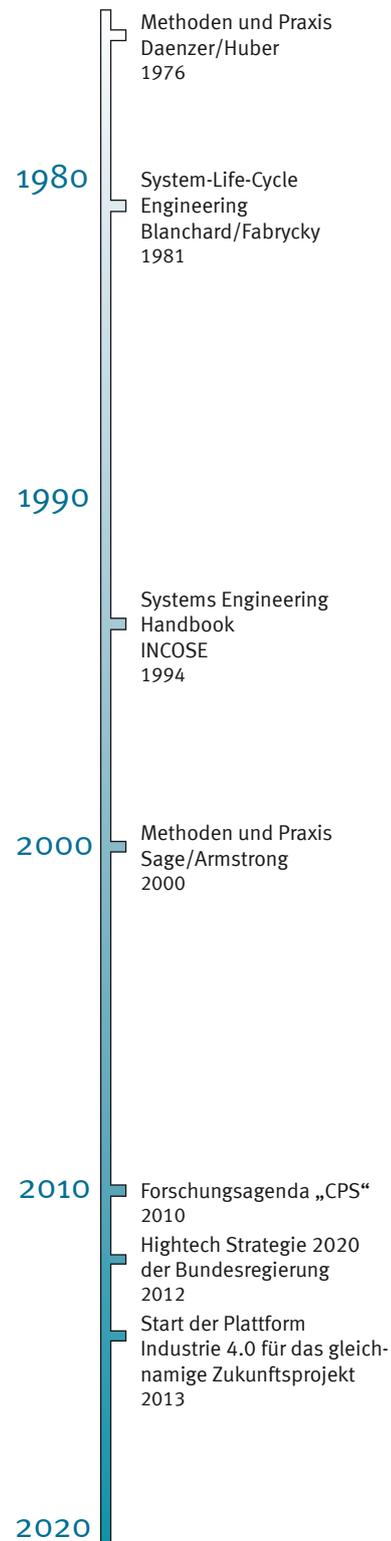
als würde Systems Engineering den Durchbruch zur Konstruktionslehre des Maschinenbaus schaffen. So war das Motto des Deutschen Ingenieurtags von 1971 des VDI die „Systemtechnik“. In diesem Jahr veröffentlichte BEITZ in den VDI-Berichten einen Beitrag mit dem Titel „Systemtechnik im Ingenieurbereich“ [Bei71]. Aus diesen Zeiten stammen die richtungsweisenden Arbeiten von DAENZER/HUBER [DH76] oder PATZAK [Pat82].

SE auf dem Weg zur einheitlichen Betrachtung

Die große Anzahl an Arbeiten hat Ende der 1980er Jahre insb. im US-amerikanischen Raum zu ersten Konsolidierungsbemühungen geführt: Organisationen wie die Electronic Industries Association (EIA) und die inzwischen größte internationale Systems Engineering Organisation INCOSE haben sich dieser Aufgabe verpflichtet. In der jüngeren Vergangenheit hat insb. die Kritik am praxisgetriebenen SE zu zahlreichen wissenschaftlichen Initiativen geführt. Sie sehen ihre Aufgabe primär in einer „Transformation des SE“, um es auf die zukünftigen Anforderungen in der Systementwicklung vorzubereiten und gleichzeitig seinen Nutzen stärker herauszuarbeiten [Sys12], [Hon11].

Systems Engineering heute

Seit etwa zwei Jahrzehnten vollziehen der Maschinenbau und verwandte Branchen wie die Automobilindustrie den Wandel von der Mechanik zur Mechatronik. Paradoxerweise erfolgte dies völlig unabhängig vom Systems Engineering, obwohl Mechatronik Systems Engineering bedingt. So wurde weder die Mechatronik durch Sy-



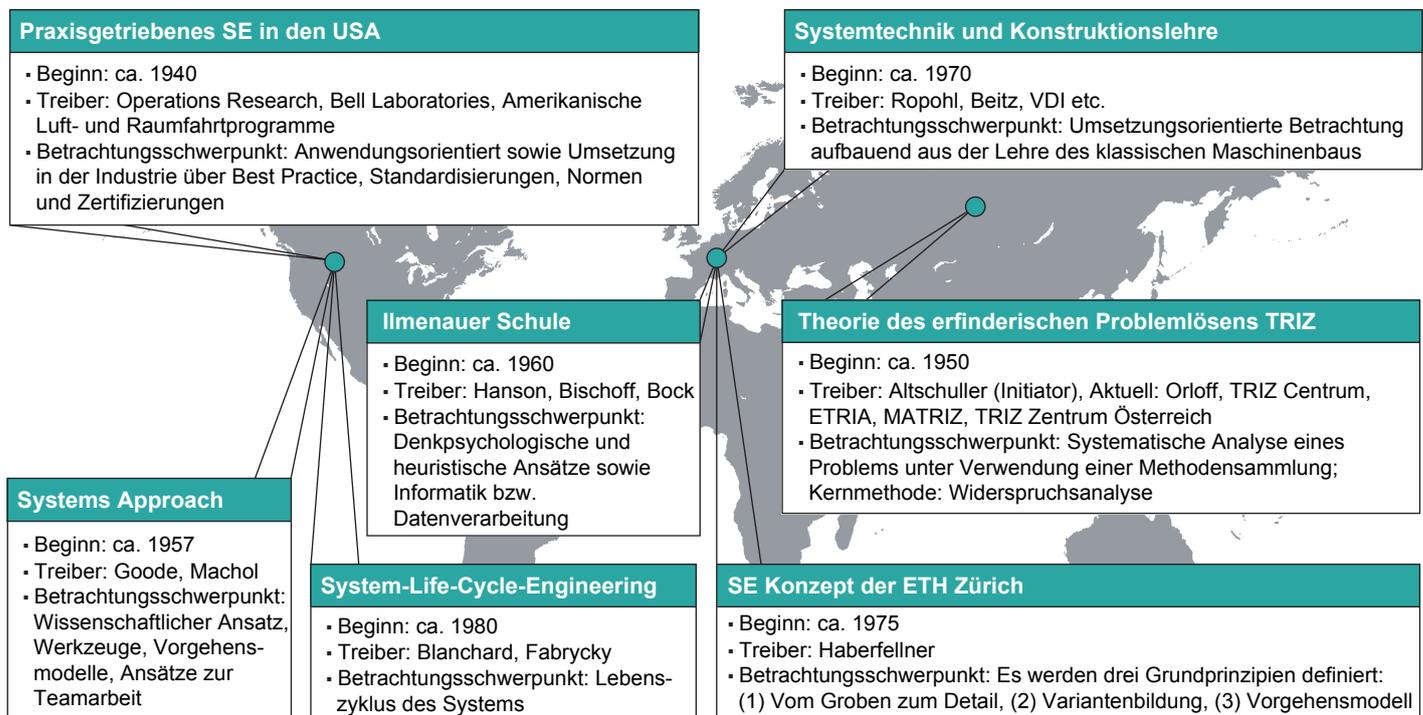


Bild 2-2: Schulen des Systems Engineering

systems Engineering geprägt, noch hat Systems Engineering durch die Mechatronik einen wesentlichen Schub erfahren.

Aktuell wird Systems Engineering in seinen vielfältigen Facetten weltweit an renommierten Forschungseinrichtungen sowie in verschiedenen Interessengemeinschaften vorangetrieben. Das reicht vom Anforderungsmanagement über das Projektmanagement bis hin zur modellbasierten Verifikation und Validierung. Als ein exponierter Schwerpunkt im Systems Engineering hat sich die durchgängige Beschreibung und Analyse des zu entwi-

ckelnden Systems auf Basis disziplinübergreifender rechnerintegrierter „Systemmodelle“ (Model-Based Systems Engineering) herausgebildet. Damit geht die Absicht einher, die Systemmodelle in die verbreiteten Produktdatenmanagement/Product Lifecycle Management Systeme (PDM/PLM) zu integrieren. Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 und das Forschungsfeld Cyber-Physical Systems treiben derzeit die Forschungsaktivitäten in Deutschland und Europa an; sie setzen neue Maßstäbe an das durchgängige Engineering über den gesamten Produktlebenszyklus.

Systems Engineering ist sehr facettenreich. Es hat seinen Ursprung in der Systemtheorie und hat sich stetig weiterentwickelt. Auslöser war stets ein Komplexitätszuwachs in der Problemstellung. Die aktuellen Forschungsthemen Industrie 4.0 und Cyber-Physical Systems sind heute wesentliche Treiber des Systems Engineering.

2.3 Normen, Standards und Richtlinien

Eine Verbreitung von SE in der Praxis setzt Normen voraus. Dieser Abschnitt gibt einen Überblick, welche Normen, Standards und Richtlinien existieren und warum die Verbreitung des Systems Engineering gerade an diesem Punkt bisher scheitert.

Normen bezeichnen die Formulierung und Anwendung von Regeln und Leitlinien, die auf gesicherten Ergebnissen von Wissenschaft, Technik und Erfahrung basieren. Die Festlegungen werden im Konsens erstellt und fördern u.a. die Anwendung und Qualitätssicherung. Eine Norm ist bestimmend. Eine Richtlinie ist eine Handlungs-vorschrift mit bindendem Charakter, aber nicht gesetzlicher Natur. Ein Standard hingegen hat empfehlenden Charakter.

Die Normen, Standards und Richtlinien des SE basieren meist auf Best Practices und wurden von den Vertretern/Institutionen auf Grundlage ihrer Erfahrungen verfasst (z.B. aus Luft- und Raumfahrt oder dem Verteidigungsministerium der USA). Das führt dazu, dass die Normen sich nur in bestimmten Aspekten voneinander abheben und unterschiedliche Blickwinkel adressieren. Sowohl für Anwender aus der Praxis als auch für SE-Experten sind die Normen nur schwer überblickbar; das kann zur Verwirrung in der Anwendung führen. Es ist nicht klar welche Normen relevant sind und wie diese miteinander in Beziehung stehen. Bild 2-3 veranschaulicht stark vereinfacht die Vielzahl an Systems Engineering zuordenbaren Normen, ihre Vernetzung und ihre Vielfältigkeit.

Die existierenden Normen unterstützen die Anwendung von Systems Engineering in der Breite nicht ausreichend genug. Das Zusammenwirken der Normen ist nur schwer zu überschauen und hilft kaum, dem Anwender Systems Engineering näher zu bringen.

ISO/IEC 15288

In Europa positioniert die ISO/IEC 15288 mit dem Titel „Systementwicklung – Der Systemlebenszyklus und seine Prozesse“ das Thema Systems Engineering. In dieser Norm werden folgende vier Sichten betrachtet: (1) Vereinbarungsprozesse, (2) Unternehmensprozesse, (3) Technische Prozesse und (4) Projektspezifische Prozesse.

VDI 2206

Im deutschsprachigen Raum dient vor allem die VDI-Richtlinie 2206 „Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme“ als etablierter Standard zur Orientierung.

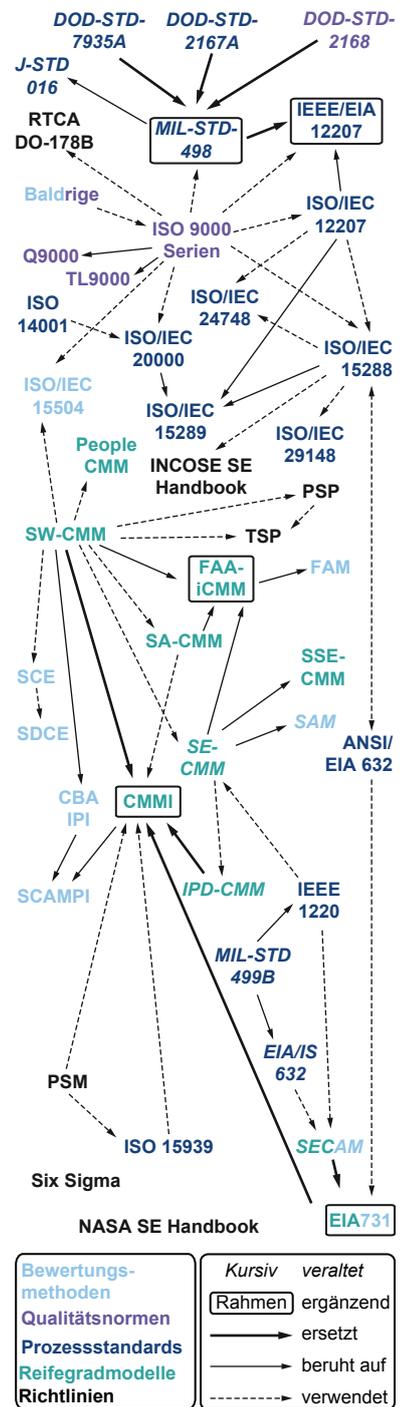


Bild 2-3: Undurchsichtige Vielfalt der Normen im Kontext SE nach [Armo5]

2.4 Die Promotoren

Organisationen, die die Entwicklung und Verbreitung des Systems Engineering fördern, Unternehmen Hilfestellung leisten und als Ansprechpartner zur Seite stehen, gibt es bislang nur wenige. Die Entwicklung und Verbreitung des SE wird derzeit stark durch das INCOSE (International Council on Systems Engineering) vorangetrieben. Sie ist v.a. in den USA und Großbritannien die zentrale Organisation zur Etablierung des SE. Der deutsche Ableger, die Gesellschaft für Systems Engineering e.V. (GfSE) erfährt erst seit etwa 2010 größere Aufmerksamkeit. Darüber hinaus existieren einige kleinere Promotoren, so z.B. regionale Themennetzwerke wie der OWL Maschinenbau e.V., das Kompetenzzentrum Baden-Württemberg e.V. oder der Mechatronik-Cluster München Augsburg; diese werden hier nicht näher betrachtet.

International Council on Systems Engineering (INCOSE)



Kontaktdaten

International Council on Systems Engineering
7670 Opportunity Rd., Suite 220
San Diego, CA 92111-2222
USA

Phone: +1 (o) 858-541-1725
Toll Free Phone (US): +1 800-366-1164
Fax: +1 (o) 858-541-1728
E-Mail: info@incose.org
www.incose.org

Größe der Institution

8344 Mitglieder
(Stand Dezember 2012)

Die Institution/Selbstverständnis

Das 1990 gegründete International Council on Systems Engineering (INCOSE) ist eine unabhängige gemeinnützige Organisation, die weltweit aktiv ist. Sie stammt aus dem National Council on Systems Engineering (NCOSE), welches ursprünglich zur Förderung US-amerikanischer Interessen gegründet wurde. Grundgedanke war und ist die Entwicklung und Verbreitung der interdisziplinären Prinzipien und Praktiken zur Realisierung von erfolgreichen Systemen.

Vision/Motivation

- Vermitteln von Kenntnissen im Bereich Systems Engineering
- Förderung der Zusammenarbeit zwischen Industrie und Wissenschaft in den Feldern Forschung, Lehre und Weiterbildung
- Bereitstellung einer Austauschplattform zum Thema Systems Engineering
- Einführung von Standards im Bereich Systems Engineering

Veröffentlichungen/Publikationen

Publikationen, Leitfäden, Wissensdatenbanken (zum Teil veröffentlicht auf INCOSE Website z.B. Systems Engineering Handbuch sowie Stellungnahmen zu einer Vielzahl an Themen im Bereich SE (Vision, Indikatoren etc.))

Aktivitäten und Veranstaltungen

- Veranstaltung einer Vielzahl an Symposien und Konferenzen zum Wissensaustausch und Erarbeitung von strategischen Programmen
- Auszeichnungen/Förderung von ausgezeichneten Leistungen (INCOSE Foundation)
- Veranstaltungen zu Weiterbildungszwecken (in Form von persönlichen Treffen oder Webinars bzw. Virtual Meetings)
- Zertifizierungen

Zielgruppe

Die Aktivitäten des INCOSE richten sich an Studierende, Einzelpersonen aus Industrie und Wissenschaft, Industrieunternehmen sowie Regierungseinrichtungen.

Gesellschaft für Systems Engineering e.V. (GfSE)

Die Institution/Selbstverständnis

Die deutsche Vertretung des INCOSE ist die Gesellschaft für Systems Engineering (GfSE), gegründet 1997. Als gemeinnützig anerkannter, ehrenamtlich geführter Verein fördert sie Wissenschaft und Aus- und Weiterbildung im Bereich des Systems Engineering in Industrie, Forschung und Lehre. Das Ziel ist die bestmögliche Anwendung und Weiterentwicklung von Systems Engineering im deutschsprachigen Raum – also Österreich, Deutschland und Schweiz. Sie partizipiert an den Aktivitäten des INCOSE auf europäischer und internationaler Ebene und ist darüber hinaus ein deutschsprachiges Dienstleistungsangebot zum Thema Systems Engineering.

Vision/Motivation

- Anwendung und Weiterentwicklung des SE im deutschsprachigen Raum
- Verbreitung und Austausch von Wissen im Bereich Systems Engineering

Veröffentlichungen/Publikationen

Veröffentlichungen der GfSE-Mitglieder (meist im INCOSE Journal publiziert).

Zielgruppe

Die Aktivitäten der GfSE richten sich an Studierende, Einzelpersonen aus Industrie und Wissenschaft sowie Industrieunternehmen.

Aktivitäten und Veranstaltungen

- Durchführung von fachlichen Veranstaltungen zum Thema Systems Engineering (z.B. Tag des Systems Engineering)
- Entwicklung von Produkten zum Systems Engineering
- Mitwirken bei Standardisierungsaktivitäten
- Fördern der Aus- und Weiterbildung zum Thema Systems Engineering
- Themenbezogene Arbeitsgruppen
- Seminare und Workshops zum Thema Systems Engineering



Kontaktdaten

Gesellschaft für Systems Engineering e.V.
Zeppelinstr. 71-73, 81669 München
Deutschland

Phone: +49 (0) 893-603-6808

Fax: +49 (0) 893-603-6700

E-Mail: office@gfse.de

www.gfse.de

Größe der Institution

37 Organisationen (Institute und Unternehmen aus beinahe allen Bereichen).

Der wichtigste Promotor des Systems Engineering weltweit ist INCOSE. Im deutschsprachigen Raum ist dessen Ableger die GfSE. Beide Institutionen bringen SE-Experten und SE-Interessierte zusammen und spielen eine wichtige Rolle in den Bereichen Standardisierung und Aus- und Weiterbildung.

3 Systems Engineering in der Praxis

Die vorangegangenen Kapitel haben gezeigt, wie facettenreich das Systems Engineering in der Theorie ist. Das folgende Kapitel beleuchtet detailliert das Verständnis und die Leistungsfähigkeit von Systems Engineering aus Sicht der Industrie und stellt den Kern der Studie dar. Die Kenntnisse der befragten Fachleute variieren, es wurden zertifizierte Experten und mit Systems Engineering weniger vertraute Führungskräfte befragt. Die Auswertung adressiert vier zentrale Aspekte:

- Verständnis von SE in der Praxis
- Nutzen und Hindernisse in der Anwendung von SE
- Leistungsfähigkeit der Unternehmen in SE-relevanten Themenfeldern
- Unterschiede in verschiedenen Branchen

3.1 Verständnis von SE in der Praxis

Ein einheitliches Verständnis ist Grundlage für eine erfolgreiche Anwendung. Um das Verständnis von Systems Engineering in der Praxis zu verdeutlichen, werden im Folgenden die am häufigsten in den Interviews genannten Schlüsselbegriffe zur Definition von SE erörtert (Bild 3-1). Diese werden an der Definition von INCOSE gespiegelt (vgl. Kapitel 2.1).

Ganzheitliches Systemdenken

Über drei Viertel der Befragten sehen SE als eine ganzheitliche Sichtweise auf die Entwicklung eines multidisziplinären Systems. Allerdings empfinden die Akteure in der Systementwicklung die Umsetzung der ganzheitlichen Systembetrachtung als große Hürde. Insbesondere das Denken in einzelnen Produktkomponenten (komponentenorientiertes Denken) ist immer

noch zu stark verankert und verhindert eine ganzheitliche und funktionsorientierte Betrachtung. Es fällt auf, dass meist das zu entwickelnde Produkt als Gesamtsystem bezeichnet wird. Zum Gesamtsystem gehören jedoch auch das Projekt, das Unternehmen, die Branche und das sozioökonomische Umfeld. Jeder Teilbereich ist dabei integraler Bestandteil der übergeordneten Ebene. Die Systemgrenzen werden daher zu eng gezogen.

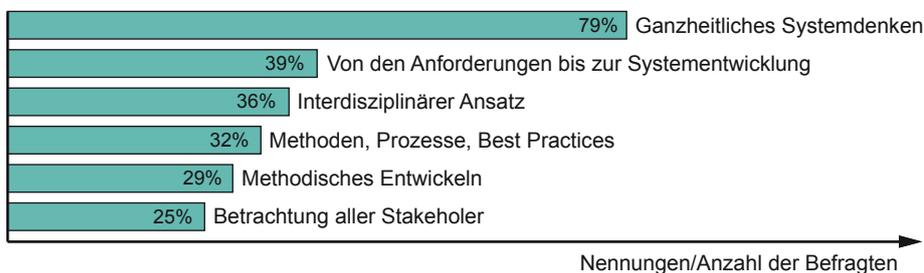


Bild 3-1: Schlüsselbegriffe zur Definition von Systems Engineering

Von den Anforderungen bis zur Systementwicklung

39% der Befragten verstehen Systems Engineering als durchgängigen Ansatz zur Systementwicklung – also von der Definition der Anforderungen über die Konzeptentwicklung bis hin zum Validieren und Testen des Systems. Dem Anforderungsmanagement und auch dem Änderungs-

management wird während der Entwicklung eine wichtige Rolle zugeordnet. Die durchgängige Nachverfolgung und Umsetzung sowie die Bearbeitung der Gesamtheit an Anforderungen stellen die Unternehmen vor eine Herausforderung. Es wird häufig übersehen, dass Systems Engineering insb. Wert auf die Konzeptentwicklung legt und in der Regel Top-down (vom Abstrakten zum Konkreten) erfolgt und damit eine gute Basis für die Nachverfolgung der Anforderungen bildet.

Interdisziplinärer Ansatz

Etwa ein Drittel der Befragten sehen Systems Engineering als einen interdisziplinären Ansatz, der alle Fachdisziplinen in der Entwicklung vereint. Nicht im Bewusstsein vieler Befragten ist dabei, dass Systems Engineering weit über die eigentliche Entwicklungsaufgabe hinausgeht: So unterstützen der Vertrieb und das Marketing bei der Identifikation von Kundenwünschen und der Definition der Anforderungen; Fertigungsplaner stellen die wirtschaftliche Herstellung der Erzeugnisse sicher etc. Auch hier setzt das Systems Engineering an. Zudem adressiert Systems Engineering organisatorische Aspekte und bietet einen Rahmen zur Gestaltung von Entwicklungsprozessen und Befähigung von Entwicklungsorganisationen.

Methoden, Prozesse, Best Practices

Für 32% der Befragten ist Systems Engineering stark durch Best Practices geprägt, da gerade dadurch Nutzen entsteht. Die befragten Experten bemängeln jedoch deutliche Defizite in der methodischen Vorgehensweise im Entwicklungsalltag. Aus ihrer Sicht hat dies zwei Gründe:

(1) Die Methoden sind oftmals nicht praxisorientiert gestaltet und dadurch in der Anwendung zu unhandlich. (2) Durch den zeitlichen Druck in der Entwicklung wird das methodische Vorgehen häufig vernachlässigt.

Betrachtung aller Stakeholder

Stakeholder sind Anspruchsgruppen, die das soziotechnische und sozioökonomische Umfeld charakterisieren. Es reicht nicht aus, nur die direkten Stakeholder in der Produktentstehung, z.B. Kunde, Entwickler und Konkurrenten zu betrachten. Vielmehr sind mit Blick auf den gesamten Produktlebenszyklus auch z.B. Wartungspersonal, Interessenverbände und Gesetzgeber ins Kalkül zu ziehen. Das wird allerdings nur von einem Viertel der Befragten deutlich wahrgenommen.

Das Verständnis von SE in der Praxis ist noch nicht stark ausgeprägt. Zwar nennt ein Großteil der Befragten mit Systemdenken den Kern des Systems Engineering, was das konkret bedeutet, ist jedoch nicht überall klar. Dies erklärt die Diskrepanz zwischen der eher allgemeinen Feststellung „Systemdenken“ und der eingeschränkten Betrachtung aller Stakeholder in der Praxis. Paradoxerweise geht das einher mit der hohen Erwartungshaltung gegenüber Systems Engineering.

Wir schließen daraus, dass es dem Begriff an Griffbarkeit und Eindeutigkeit fehlt. Besonders aus Sicht von SE-Neulingen trifft dies zu. Systems Engineering wird häufig als „Sammelbegriff“ verstanden. Die Definition der führenden Institutionen INCOSE und GfSE ist trotz ihres Engagements nicht stark verbreitet. Doch gera-

Ganzheitliches Systemdenken ist essentiell; dennoch werden die Systemgrenzen oft zu eng gezogen.

Dem Begriff Systems Engineering fehlt es an Griffbarkeit und Eindeutigkeit. Systems Engineering wird häufig als „Sammelbegriff“ verstanden.

de aus Sicht der SE-Vertreter ist SE alles andere als ein Sammelbegriff, sie sehen Systems Engineering als Schule des Entwurfs komplexer Systeme. Die im Rahmen der Studie befragten SE-Experten mahnen daher, dass die steigende Popularität des Begriffs zu übersteigerten Erwartungen

und dann zur Ernüchterung führt. Andere sehen die Gefahr, dass singuläre Aspekte des SE, wie Anforderungsmanagement, Datenschnittstellen und Modellierung, als Kern dargestellt werden und es so zu Fehleinschätzungen des Leistungspotentials von Systems Engineering kommt.

Der Begriff Systems Engineering ist in der Praxis geläufig; ein Grundverständnis ist vorhanden. Ein tiefes Verständnis ist nur bei ausgesprochenen Experten gegeben. Oftmals wird vom „System Engineering“ gesprochen, das nur die Softwareentwicklung fokussiert und zu kurz greift. Dennoch zeigen die Interviews, dass die Erwartungshaltung gegenüber SE hoch ist, auch wenn die Bandbreite der hierfür notwendigen Aktivitäten, Methoden und Werkzeuge nicht überblickt wird.

3.2 Der Nutzen von SE aus Praxissicht

Hier stehen die Fragen im Vordergrund: Stimmen die Verheißungen der Theorie mit den Einschätzungen der Praxis überein? Welche Nutzenpotentiale sieht die Praxis im Systems Engineering? Zur Beantwortung sei auf Bild 3-2 verwiesen.

Orchestrierung der disziplinübergreifenden Zusammenarbeit

Die Systeme der Befragten haben einen Wandel zu stark mechatronisch geprägten Systemen durchlaufen. Die Unternehmen arbeiten daher schon häufig in interdisziplinären Teams; jedoch denkt und handelt jeder in den Mustern und Strukturen seines Fachbereichs. Oft dominiert historisch

bedingt ein Fachbereich die Produktentwicklung. Branchenunabhängig erhoffen sich die Befragten, dass SE bei der Überwindung der vorhandenen Kooperations- und Koordinationsdefizite hilft. Dies entspricht dem Anspruch, den das SE erhebt.

Berücksichtigung der Bedürfnisse aller relevanten Stakeholder

SE ermöglicht eine ganzheitliche Systembetrachtung. Das betrifft insb. ein einheitliches Verständnis der Gesamtproblemstellung und eine ganzheitliche Sichtweise auf das zu entwickelnde System.

Verbesserte Planungs- und Steuerungssicherheit

Mehr als die Hälfte (55%) der Befragten erhofft sich durch SE eine verbesserte

Systems Engineering bildet die Grundlage für Kommunikation und Kooperation in der Entwicklung.

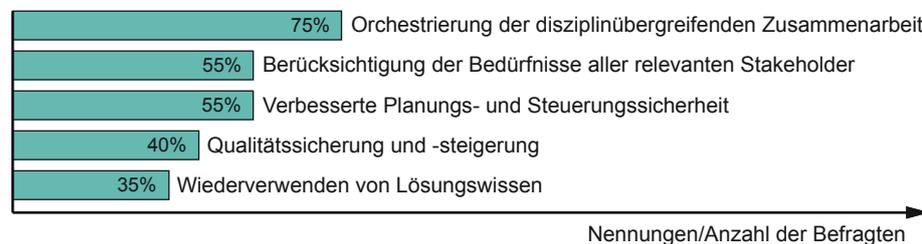


Bild 3-2: Nutzen von Systems Engineering

Vorhersagbarkeit von Projekten in Bezug auf Zeit-, Qualitäts- und Kostenziele. 40% sehen Verbesserungspotential im Erreichen von Zeitzielen, 33% im Bereich der Kostenziele und 22% im Erreichen von Qualitätszielen, wobei sich die Effekte gegenseitig bedingen und verstärken. Die Befragten sehen die fehlende Transparenz in der Produktentstehung als Kernursache für Fehlplanung und Abstimmungsprobleme. SE könnte hier aus Sicht der Befragten Abhilfe schaffen.

Qualitätssicherung und -steigerung

Die Mechatronisierung erfordert erhebliche Anstrengungen zur Sicherstellung der Zuverlässigkeit. Ein funktionierendes

Gesamtsystem stellt hohe Anforderungen an die Akteure der Produktentstehung. Von der ganzheitlichen Vorgehensweise und der Betrachtung des Gesamtsystems versprechen sich die Befragten großen Nutzen.

Wiederverwenden von Lösungswissen

Das Erkennen und Nutzen von Synergien sowie das Wiederverwenden von Wissen werden ebenfalls als entscheidende Vorteile eingeschätzt. Dies ist insb. dann der Fall, wenn die Wiederverwendbarkeit von konkreten Entwicklungsobjekten im Anpassungs- und Variantengeschäft den Aufwand deutlich reduzieren kann, bspw. im Automobilbau.

Grundsätzlich sehen alle Befragten erhebliche Nutzenpotentiale bei der Anwendung von Systems Engineering. Im Wesentlichen erhofft man sich, dass es eine Grundlage für die Kommunikation und Kooperation bildet und so die Aktivitäten abgestimmter und leichter zu koordinieren sind und die Verwendung von bewährten Teillösungen gefördert wird. Der Nutzen, so die Experten, steigt dabei mit zunehmender Komplexität der Aufgabenstellung.

Fehlende Transparenz in der Produktentstehung verursacht teure Fehlplanungen und Abstimmungsprobleme.

3.3 Hindernisse für die Anwendung von SE

Dem erwarteten Nutzen von Systems Engineering stehen einige Hürden gegenüber, die es zu überwinden gilt. Diese werden im Folgenden erläutert.

Haupthindernis zur Anwendung von Systems Engineering ist nach Einschätzung vieler Interviewpartner die fehlende Akzeptanz bei den Mitarbeitern und in der gesamten Organisation. SE erfordert in erster Linie ein Umdenken, das bis in die Unternehmens- und Kooperationskultur reicht, sowie Veränderungen der Prozesse und ggf. der Aufbauorganisation. Bild 3-3 zeigt Gründe für diese mangelnde individuelle und organisatorische Akzeptanz:

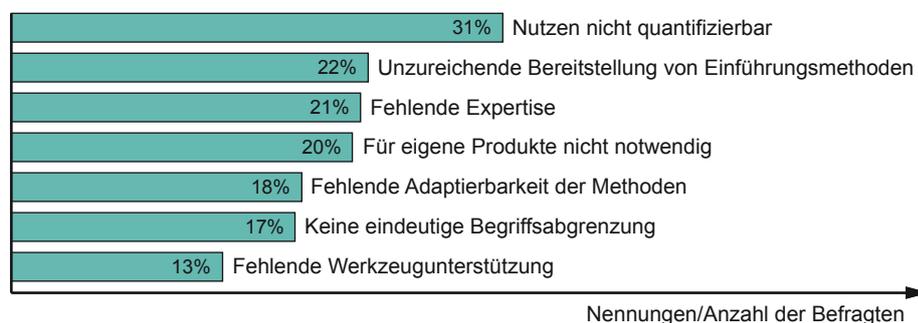


Bild 3-3: Hindernisse in der SE-Anwendung

Nutzen nicht quantifizierbar

Der Nutzen von Systems Engineering erscheint hoch, kann aber nicht ausreichend quantifiziert werden (31%). Projekte müssen sich sofort rechnen, Systems Engineering bedeutet aber vor allem zu Beginn einen höheren Aufwand. Die Relation zwischen dem zunächst hoch erscheinenden Aufwand und dem resultierenden Nutzen ist für das Management nicht greifbar. Es fehlt an belastbaren Kennzahlen, welche die Anwendung von SE und auch den höheren Personal- und Zeiteinsatz zu Projektbeginn im Sinne eines „Frontloading“ rechtfertigen.

Einführungsbarrieren

Ebenso wird eine unzureichende Einführung bemängelt (22%). Das betrifft sowohl ganzheitliche SE-Ansätze, aber auch viele Teilaspekte. Den Unternehmen fällt es daher schwer zu erkennen, welche Veränderungen und Aktivitäten wann, wo und wie einzuführen sind. In diesem Zusammenhang wird außerdem die fehlende Adaptierbarkeit (18%) des SE-Ansatzes in verschiedenen Branchen über die Luft- und Raumfahrt hinaus angemerkt. Insbesondere aus dem Maschinen- und Anlagenbau wird darauf hingewiesen, dass die Handhabbarkeit der Methoden und die Integrierbarkeit der Vorgehensweisen in bestehende Abläufe bisher noch nicht gegeben sind. Allerdings ist diese Aussage dahingehend zu relativieren, dass die genannten Mängel teils eher auf Vermutungen als auf praktischen Erfahrungen beruhen.

Fehlende Expertise

Dies betrifft alle Unternehmensbereiche vom Management bis hin zum Fachexper-

ten. Bei allen müssen Verständnis und Bewusstsein für Systems Engineering vorliegen. Ein entsprechender Weiterbildungsaufwand ist für das heutige Entwicklungsteam einzuplanen – meist aber zeitlich nicht zu stemmen.

Sowohl Vertreter von Unternehmen mit intensiven Systems Engineering-Aktivitäten als auch thematische Neulinge geben an, dass fehlende Expertise und ein fehlendes Bewusstsein für die Problematik eine ausschlaggebende Barriere darstellen (21%). Hier besteht besonders in der Ingenieursausbildung noch ein großer Unterschied zwischen dem aktuellen Lehrangebot und dem Bedarf in der Praxis. Ein Großteil der angebotenen Studiengänge ist fachdisziplinspezifisch ausgerichtet, was sich nahezu zwangsläufig aus den etablierten Fakultätsstrukturen ergibt. Auch die wenigen heutigen Systems Engineering-Studiengänge decken die Anforderungen der Praxis an das Systems Engineering nicht ab (vgl. Kapitel 4).

Heutige Systems Engineering-Studiengänge sind nicht ausreichend, um die interdisziplinären Anforderungen zu erfüllen. Die eigentliche Idee des Systems Engineering findet sich in der Lehre nur selten wieder.

Für eigene Produkte nicht notwendig

Einige befragte Unternehmen empfinden Systems Engineering für ihre eigenen Produkte für überdimensioniert. Sie bringen ihre Produkte bisher erfolgreich auf den Markt und sehen daher keinen Bedarf für die Anwendung in ihrem Unternehmen. Es bleibt abzuwarten, ob die Entwicklung hin zu stetig komplexeren, interdisziplinären Erzeugnissen diese Meinung verändert.

Mangelnde individuelle und organisatorische Akzeptanz behindert die Anwendung in der Praxis.

Keine eindeutige Begriffsabgrenzung

Schon bei der allgemeinen Definition wurde erkennbar, dass der Begriff Systems Engineering nicht eindeutig belegt ist. Diese Unklarheit ist ein ernstzunehmendes Hindernis für die erfolgreiche Einführung von Systems Engineering – auch wenn es

nur von 17% der Befragten genannt wurde. Solange es kein einheitliches fundiertes Verständnis gibt, wird es nur diffuse Vorstellungen von den Nutzenpotentialen und wenig Bereitschaft zum Einstieg in Systems Engineering geben.

Insbesondere in kleinen und mittleren Unternehmen ist das Thema Systems Engineering bislang sehr personengebunden. Meist sind aber besonders diese Personen sehr bemüht, die Ideen und Ansätze des SE in den Alltag zu überführen. In Großunternehmen ist ein unternehmensweites SE-Bewusstsein ebenfalls noch nicht zu erkennen. Erstaunlich ist, dass einige Unternehmen trotz fortschreitender Mechatronisierung, der Ansicht sind: „Meine Produkte brauchen kein Systems Engineering.“

3.4 Die Anwendung von SE in der Industrie

Wie steht es um die Anwendung von Systems Engineering in der industriellen Praxis? In diesem Zusammenhang werden die Bedeutung des Systems Engineering innerhalb einer Branche sowie die Rolle einzelner Themenfelder im Allgemeinen betrachtet.

Auf Basis der Systems Engineering-Definition von INCOSE wurden in der Studie die folgenden sieben Themenfelder zur detaillierten Betrachtung des Leistungsstands in der Praxis definiert:

- Anforderungsmanagement
- Model-Based Systems Engineering
- Modellbasierte Entwicklung
- Virtuelle Verifikation und Validierung
- Integrative Planung des Produktionssystems
- Berücksichtigung des gesamten Produktlebenszyklus
- Projektspezifische Anpassung von Entwicklungsprozessen (Tailoring)

Im Mittelpunkt der Analyse stehen dabei die Einschätzungen bzgl.

- des derzeitigen Leistungsstands des Unternehmens in dem jeweiligen Themenfeld und
- der zukünftigen Bedeutung des jeweiligen Themenfelds.

Im Folgenden werden die Ergebnisse zu den definierten Themenfeldern des SE aufgezeigt. Für jedes Themenfeld werden die Bedeutung und die Kernherausforderungen in der Produktentstehung von heute und morgen aufgezeigt. Konkrete Beispiele und Bezüge zur Industrie verdeutlichen die Aktualität und Schlüsselrollen dieser Themenfelder.



3.4.1 Anforderungsmanagement

Unter Anforderungsmanagement versteht man die Ermittlung, Bewertung und die Pflege aller Anforderungen, die an ein System gestellt werden, sowie die Bewertung der Anforderungserfüllung im Zuge der Produktentstehung. Das umfasst die Definition relevanter Stakeholder (z.B. Kunden, Entscheidungsträger usw.), das Ableiten ihrer Erwartungen und Wünsche sowie das Bewerten der identifizierten Anforderungen unter verschiedenen Gesichtspunkten, z.B. Priorität, Konsistenz, Zielkonflikte. Zusätzlich umfasst es die Anforderungsdokumentation und das Herstellen einer Nachverfolgbarkeit zu umsetzenden Lösungen [INC10], [Lin09].

Bedeutung, Leistungsstand und Nutzen

Anforderungen repräsentieren ein konkret formuliertes Entwicklungsziel. Abhängig von Produktart und Produktkomplexität sind in der Praxis bis zu einige Tausend Anforderungen relevant. Bedingt durch die steigende Anzahl von Anforderungsgebern sowie Normen und Richtlinien steigt auch die Anzahl zu berücksichtigender Anforderungen. Sie stellen letztendlich die Basis für die spätere Bewertung von Lösungskonzepten sowie der Gesamtlösung dar. Somit zieht sich das Management von Anforderungen durch den gesamten Produktentstehungsprozess und spielt eine maßgebliche Rolle für die erfolgreiche Entwicklung eines Produkts [PL11]. Vor diesem Hintergrund ist das Ergebnis der Befragung bzgl. der Bedeutung des Anforderungsmanagements keine Überraschung: Alle Befragten messen dem Anforderungsmanagement eine hohe bis sehr hohe Be-

deutung bei. Die Befragten sehen hier ein hohes Potential zur Steigerung der Kundenzufriedenheit und zur Fehlervermeidung. Das Bewusstsein von Unternehmen bzgl. der Relevanz von konsequentem Anforderungsmanagement ist hoch. Vor diesem Hintergrund wird das Engagement in diesem Bereich flächendeckend verstärkt. Trotzdem besteht nach wie vor eine Vielzahl an Problemen, die noch lange nicht gelöst sind.

Barrieren

Insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) fällt der Einstieg in das Anforderungsmanagement schwer. In der Regel nutzen KMU Standard-Softwarewerkzeuge (z.B. MS-Office) für die Dokumentation der Anforderungen. Die Herausforderung mit Blick auf die Qualitätssicherung liegt in der eindeutigen Definition sowie der Vollständigkeit von Anforderungen. Fehlerhafte Interpretationen oder unberücksichtigte Anforderungen, die erst in späteren Entwicklungsphasen entdeckt werden, führen zu zusätzlichen Iterationen. Das kostet Zeit und Geld.

Große Unternehmen mit komplexen Produkten wie z. B. Unternehmen aus der Automobilindustrie haben die Herausforderungen bzgl. der eindeutigen und vollständigen Definition bereits gemeistert. Sie investieren einen nicht geringen Aufwand in das Anforderungsmanagement. In der Regel werden hierzu dedizierte Softwarewerkzeuge wie IBM Rational DOORS oder Polarion REQUIREMENTS eingesetzt. Sie ermöglichen eine strukturierte Aufzeichnung und Verwaltung von Anforderungen.

Anforderungsmanagement wird bereits intensiv behandelt – Anforderungsmanagement allein ist aber nicht Systems Engineering!

Große Unternehmen mit komplexen Erzeugnissen betreiben erfolgreich Anforderungsmanagement; gleichwohl gibt es noch Weiterentwicklungsbedarf.

Für diese Unternehmen liegt die Herausforderung eher in der geschickten Wiederverwendung von Anforderungsspezifikationen und deren Konsistenzerhaltung.

Es gilt festzuhalten, dass alle befragten Unternehmen dem Anforderungsmanagement eine hohe Bedeutung beimessen. Große Unternehmen mit komplexen Erzeugnissen praktizieren das bereits erfolgreich. Gleichwohl gibt es noch deutlichen Weiterentwicklungsbedarf.

Exkurs: Anforderungsmanagement in der Automobilindustrie

Die großen deutschen Automobilhersteller sind sich einig: Der PKW der Zukunft wird ein informationstechnisch integriertes und digital vernetztes Fahrzeug sein [WZ]+05]. Automobilhersteller entwickeln, produzieren und vermarkten neue Funktionen in Fahrzeugen, die über Schnittstellen einen Austausch von Daten mit dem Internet ermöglichen. Damit hält das Internet Einzug in die Welt des Automobils [Mbt11]. Das Auto avanciert zum „mitdenkenden“ digitalen Assistenten, zur Schnittstelle mit neuen Möglichkeiten. Diese neuen Möglichkeiten eröffnen der Automobilindustrie und Internetdienstleistern neue Geschäftsoptionen. Gleichzeitig steht diesem Potential eine Reihe von Herausforderungen gegenüber. Bezogen auf das Anforderungsmanagement bedeuten die sich abzeichnenden Entwicklungen eine erhebliche Steigerung der Komplexität.

So führt die Kombination von Fahrzeug und Internet zu einer Erweiterung der Systemgrenze. Während die Systemgrenze in der Vergangenheit beim Fahrzeug endete, gehören die Integration von Smartphones sowie die Nut-

zung aktueller Informationen jeglicher Art, wie beispielsweise Verkehrsdaten, zum Stand der Technik. Die Umsetzung dieser Funktionen führte einerseits zu einem Anstieg der zu berücksichtigenden Stakeholder und folglich deren Anforderungen. Andererseits haben die Hersteller spezialisierte Zulieferer eingebunden, die ihrerseits ggf. weitere Zulieferer einzubinden haben. In diesem vielfach vernetzten System muss sichergestellt werden, dass die relevanten Anforderungen den Mitarbeitern in allen be-

teiligten Teams in der aktuellen Version zur Verfügung gestellt werden. Gleiches gilt für Änderungen. Die Änderung einer Anforderung muss die Anpassung aller mit ihr verknüpften Anforderungen zur Folge haben. Bei Fortschreitung dieser Entwicklung vor dem Hintergrund der Car-to-X-Kommunikation ergibt sich ein Anstieg der Komplexität und somit der erforderlichen Leistungsfähigkeit des Anforderungsmanagements (Bild 1).

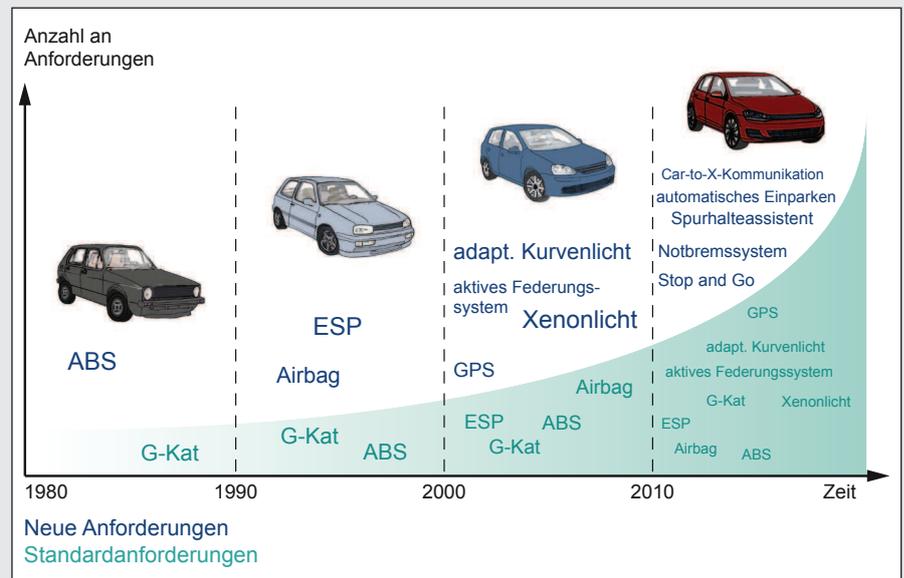


Bild 1: Anforderungssteigerung am Beispiel Automobil

3.4.2 Model-Based Systems Engineering

Model-Based Systems Engineering (MBSE) stellt ein sog. Systemmodell in den Mittelpunkt der Entwicklung multidisziplinärer Systeme (vgl. Kapitel 2.1). Es dient als Verständigungsmittel zwischen den Entwicklern der verschiedenen Fachdisziplinen (z.B. Mechanik, Elektrik/Elektronik und Softwaretechnik), indem es alle wesentlichen fachdisziplinübergreifenden Informationen über das System enthält und disziplinunabhängig beschreibt. Zur Beschreibung des Systemmodells sind eine Modellierungssprache, eine Methode und ein Softwarewerkzeug notwendig, die idealerweise aufeinander abgestimmt sind.

Bedeutung und Leistungsstand

Die steigende Systemkomplexität erschwert das Sicherstellen von Transparenz in der Entwicklung. Fachdisziplinübergreifende Zusammenhänge und Abhängigkeiten können nur schwer erkannt und analysiert werden. Das Systemmodell ermöglicht eine umfassende Darstellung und stellt so ein gemeinsames Systemverständnis für alle an der Produktentstehung Beteiligten sicher. So kann bspw. der Experte, der das Gehäuse eines Funkschlüssels entwickelt, nachvollziehen, wie sich die Anordnung der Elektronik auf seine Konstruktion auswirkt ohne dabei in die Details der Elektronikentwicklung einzutauchen. Das Systemmodell ist Ausgangspunkt für die fachdisziplinspezifische Ausarbeitung und dient zum Informationsaustausch und zur Koordination der Entwicklungsaktivitäten. Entscheidend ist die Sicherung der horizontalen und der vertikalen Konsistenz. Horizontal heißt auf einer Abstraktions-/

Konkretisierungsstufe fachdisziplinübergreifend; vertikal heißt entlang der Achse Abstraktion bis zur Konkretisierung. Ebenso werden auf Basis des Systemmodells frühzeitige Analysen möglich.

Der Leistungsstand in den Unternehmen entspricht allerdings noch nicht den beschriebenen Möglichkeiten. Die Unternehmen selbst schätzen dieses Thema derzeit als noch nicht ausreichend betrachtet und beherrscht ein. Der Produktentstehungsprozess sei immer noch zu stark dokumentenzentriert, d.h. etliche Entwicklungsinformationen werden, wenn überhaupt, nur in „starren“ Unterlagen einmalig hinterlegt. Änderungen werden und können in der Regel nicht nachgepflegt werden. MBSE stößt aber verstärkt auf Interesse und ist auf dem Vormarsch. Die Automobilbranche und die Luft- und Raumfahrttechnik setzen konsequent auf MBSE. Hier dient das Systemmodell zunehmend auch als Mittel zur Abstimmung mit dem Management, Vertrieb oder dem Kunden. Trotzdem kann noch nicht von einer flächendeckenden Anwendung gesprochen werden, vielmehr handelt es sich um Initiativen, häufig im Kontext der funktionalen Sicherheit und zur Qualitätssicherung.

Nutzen und Barrieren

Aus Sicht der Teilnehmer kann MBSE als Grundlage für Kommunikation und Kooperation interdisziplinärer Teams großen Nutzen bieten. MBSE kann die Komplexität beherrschbar machen und die Qualität in der Konzipierung, dem Entwurf und der Konkretisierung steigern. Die gesteigerte

Die überwiegende Mehrheit hat bisher noch wenig Erfahrung.



Wiederverwendbarkeit von Wissen und Lösungen durch MBSE eröffnet ebenfalls hohes Nutzenpotential.

Allerdings gibt es noch viel Aufklärungs- und Forschungsbedarf, um die existierenden Barrieren zu überwinden: Trotz vorhandener Softwarewerkzeuge wird die Erstellung des Systemmodells als zu aufwändig und nicht handhabbar eingestuft. Ferner ist das Vorgehen trotz seines disziplinübergreifenden Anspruchs immer noch sehr stark durch Methoden und Begrifflichkeiten aus der Softwaretechnik geprägt; für Ingenieure besteht oftmals eine hohe Akzeptanzhürde. Die Werkzeuge sind teilweise zu starr und steigern die Komplexität

der MBSE-Anwendung selbst. Ebenso fehlt den Unternehmen die notwendige Methodenkompetenz. MBSE kann nur gelingen, wenn die Modelle gepflegt und genutzt werden, die Mitarbeiter über das notwendige Know-how verfügen und die entsprechende Infrastruktur zur Verfügung steht. Einige Befragte haben bereits Erfahrungen mit der Sprache SysML² gemacht. Um SysML als Modellierungssprache nutzen zu können, fehlt es aber an einer anwenderorientierten Methodik. Bislang werden die Modelle häufig als „tote Bilder“ bezeichnet. Das kann durchaus mit einem zu geringen Verständnis für das Themenfeld zusammenhängen.

Eine etablierte Anwendung von MBSE erfordert noch hohen Aufklärungs- und Forschungsaufwand!

Model-Based Systems Engineering wird allorts diskutiert, bis auf Ausnahmen fehlt es aber an konkreten Einsätzen. Je größer das Unternehmen und je komplexer die Produkte, desto größer ist das Interesse an diesem Thema – hier wird der Nutzen klar erkannt. Diese Unternehmen nähern sich MBSE in kleinen Schritten. Eine erfolgreiche Anwendung erfordert aber noch Weiterentwicklungen bei Methoden und unterstützenden Werkzeugen.

Exkurs: Fahrzeugzugangssysteme – klein, aber vernetzt

War bis vor mehr als einer Dekade der Zugang zu einem Auto über den mechanischen Schlüssel möglich, so hat sich durch die Funkschlüsseltechnologie einiges verändert. Zahlreiche weitere Funktionen wurden in das System integriert: Fensterheberfunktion, freiprogrammierbare Funktionsschalter für beliebige Funktionen. Hierdurch wird der Schlüs-

sel zu einem wichtigen Subsystem in der Fahrzeugentwicklung. Er kommuniziert mit zahlreichen Steuergeräten und ist hochgradig mit dem Fahrzeug vernetzt. Gleichzeitig nimmt die Komplexität zu. Was ein „einfacher“ Schlüssel leisten muss und wie er mit dem Fahrzeug und dem Umfeld interagiert, ist schwierig zu überschauen. Eine einfache graphische Spezifikation des Schlüssels schafft hier Abhilfe (Bild 1).

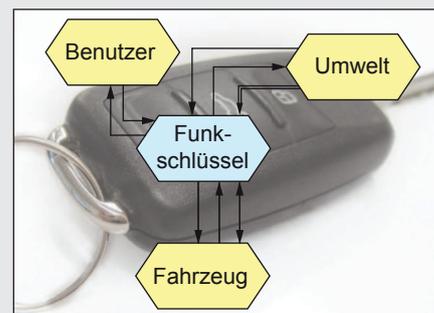


Bild 1: Umfeldmodell eines Funkschlüssels (Ausschnitt)

² SysML (Systems Modeling Language) ist die Erweiterung und Anpassung der etablierten Modellierungssprache der Softwaretechnikentwicklung UML (Unified Modeling Language) im Rahmen einer Initiative der Object Management Group (OMG).

3.4.3 Modellbasierte Entwicklung

Die durchgängige modellbasierte Entwicklung adressiert die Formalisierung und Implementierung von virtuellen Modellen zur Unterstützung von Entwicklern und Managern in allen Phasen der Produktentstehung (Anforderungsmanagement, Systemdesign, Systemanalyse, Verifikation und Validierung) [INC10].

Bedeutung und Leistungsstand

Unter den Schlagworten Virtual Prototyping und Digitale Fabrik ist die Virtualisierung der Produktentstehung weit fortgeschritten. Nahezu für jeden Aspekt eines technischen Systems wie Kinematik, Dynamik, Temperaturverteilung, Aerodynamik, Umformen, Materialfluss etc. existieren leistungsfähige Software-Werkzeuge zur Analyse bzw. Simulation. Handlungsbedarf gibt es nach wie vor in der Durchgängigkeit über mehrere Aspekte und Fachdisziplinen. Entsprechende Wechselwirkungen werden nur ansatzweise behandelt.

Zur Beherrschung der Komplexität in der Entwicklung intelligenter technischer Systeme ist eine durchgängige konsistente Virtualisierung der Produktentstehung unabdingbar. Zur Umsetzung dieser Durchgängigkeit werden zwei Ansätze verfolgt: das direkte Koppeln der Modelle oder der Aufbau eines fachdisziplinübergreifenden Systemmodells (vgl. Kapitel 3.4.2). Die Interview-Ergebnisse bestätigen die hohe Relevanz der virtuellen Produktentwicklung. Vielfältige Modelle werden in der Produkt- und Produktionssystementwicklung genutzt. Es wird allerdings deutlich, dass eine vollständige Durchgängigkeit der modellbasierten Entwicklung nicht

umgesetzt ist. Die genutzten Modelle werden überwiegend losgelöst von anderen Fachdisziplinen aufgebaut und weiterverwendet. Die horizontale Konsistenz ist nicht gegeben. Für 65% der Befragten ist diese aspektspezifische Durchgängigkeit bereits ausreichend. Die interdisziplinäre Kopplung der Modelle und entsprechende Analysen und Simulationen finden nur vereinzelt in Unternehmen statt.

Hervorheben lassen sich die Luft- und Raumfahrttechnik sowie die Automobilbranche. In beiden Branchen wird die Thematik intensiv betrachtet. Im Leistungsstand sind diese Branchen den anderen Branchen deutlich voraus. Sie bewerten sich aber in der eigenen Einschätzung noch mit hohem Verbesserungspotential. Der Unterschied zwischen Bedeutung für die Entwicklung und der Leistungsstand der Unternehmen ist aus Sicht der Luft- und Raumfahrttechnik sowie der Automobilbranche bei diesem Themenfeld am größten. Nur Experten, die sich schon intensiv mit der Virtualisierung der Produktentwicklung auseinandergesetzt haben, erkennen das noch nicht erschlossene Potential. Der Ansatz eines fachdisziplinübergreifenden Systemmodells als Grundlage der modellbasierten Systementwicklung wird nur in wenigen sehr fortgeschrittenen Unternehmen erprobt.

Nutzen und Barrieren

Der Nutzen der durchgängigen modellbasierten Entwicklung wird sehr unterschiedlich eingeschätzt. Während ein Teil der Befragten die Durchgängigkeit der virtuellen Produktentwicklung als essentiell

Wer sich intensiver mit dem Thema beschäftigt hat, erkennt Verbesserungspotential.



einschätzt, wird die Notwendigkeit insb. bei kleinen und mittleren Unternehmen weniger wichtig gesehen. Zentraler Nutzen ist die Sicherung der vertikalen und horizontalen Konsistenz in der Entwicklung, z.B. um die Nachverfolgbarkeit von Anforderungen – trotz vernetzter Systeme und verschiedener Akteure – zu gewährleisten. Die Befragten identifizierten das Gewährleisten der Zuverlässigkeit als zentrale Herausforderung in der Produktentwicklung von heute und morgen.

Der Durchgängigkeit stehen allerdings große Hindernisse gegenüber. Es fehlt an lückenlosen Werkzeugketten und

etablierten Standards, die eine Durchgängigkeit der Modelle ermöglichen. Die Werkzeugschnittstellen spielen dabei eine entscheidende Rolle. Eine durchgängige Simulation wird aufgrund fehlender standardisierter Formalismen nicht unterstützt. Den entstehenden Brüchen in der Entwicklung kann durch eine Standardisierung von Modellierungsformalismen und einer Werkzeugintegration begegnet werden. Ein weiteres Hindernis ist das fehlende Vertrauen in Simulationsergebnisse. Hier gilt für jedes Unternehmen abzuwägen, welche Lösung ihren Produkten und ihrer Organisation gerecht werden kann.

Der Grad der Modellbildung in der Entwicklung nimmt stetig zu; es mangelt aber an der Durchgängigkeit der verschiedenen Modelle.

Die modellbasierte Entwicklung weist im Bereich der Durchgängigkeit einen hohen Forschungsbedarf auf. Die Notwendigkeit wird erkannt. Insbesondere mit zunehmender Systemkomplexität spielt die Modellbildung eine wichtige Rolle. Eine durchgängige konsistente Realisierung ist in der Praxis allerdings noch nicht ohne weiteres umsetzbar.

Exkurs: Datenaustausch

Das Application Protocol (AP) 233 ist Teil des internationalen Standards ISO 10303 (STEP-Standard for the Exchange of Product model data). Das umfasst die Beschreibung von Informationen, die für den Systems Engineering Prozess benötigt werden und bietet ein neutrales Format für den SE-Datenaustausch zwischen Werkzeugen für z.B. Projektmanagement, Produktdatenmanagement (PDM), Product Lifecycle Management (PLM), Computergestützte Entwicklung (CAx). AP233 wird primär für den se-

quentiellen Datenaustausch zwischen Werkzeugen genutzt. Dieser Standard wird jedoch nicht flächendeckend eingesetzt.

Das Forschungsprojekt MODELISAR³ adressierte ebenfalls den Bedarf nach einem standardisierten Datenaustausch im Kontext SE. Die Projektpartner entwickelten das Functional Mock-Up Interface (FMI) als herstellerneutrale Standard für Modellaustausch und Co-Simulation. Die FMI-Entwicklung wurde von der Daimler AG ins Leben gerufen, um den Modellaustausch zwischen OEM

und Zulieferer zu verbessern. FMI wird von über 35 Werkzeugen unterstützt. Beispielsweise setzt das Projekt Smart Systems Engineering des ProSTEP iViP e.V. an diesen Ergebnissen an. Unter anderem werden die Möglichkeiten der Systemarchitektur- und Schnittstellengestaltung mit Methoden des SE untersucht. Zentraler Bestandteil der Betrachtung ist der Austausch von Modellen zur durchgängigen modellbasierten Entwicklung über Unternehmensgrenzen hinweg [Pro12].

³ MODELISAR – Simulationsplattform für Software in der Automobilentwicklung; an dem Projekt waren 28 Einrichtungen aus Industrie und Forschung aus fünf europäischen Ländern beteiligt.

3.4.4 Virtuelle Verifikation und Validierung

Validierung ist der Vergleich der Anforderungen und Effektivitätskennzahlen der Interessensgruppen mit der technischen Spezifikation und den definierten Leistungskennzahlen. Die Verifikation beinhaltet die durchgängige Überprüfung der Systemeigenschaften zu den definierten Anforderungen und zeigt erforderliche Korrekturmaßnahmen auf, um Abweichungen zwischen dem realisierten System und dem geforderten System zu erkennen und frühzeitig zu korrigieren [INC10], [Ehro9].

Bedeutung und Leistungsstand

Virtuelle Prototypen ermöglichen die modellbasierte Verifikation und Validierung und tragen damit zur Senkung des zeit- und kostenintensiven Baus und Tests von realen Prototypen bei. Das verkürzt erheblich die Produktentstehungszeit (time to market) und erhöht gleichzeitig die Entwicklungsqualität zu einem frühen Zeitpunkt. Ein wesentliches Ziel der virtuellen Produktentstehung ist die möglichst frühzeitige Erprobung und Absicherung von Produkt- und Produktionssystemeigenschaften. Grundlage hierfür ist die Verfügbarkeit analysierbarer bzw. simulationsfähiger Modelle bspw. zur Nachbildung des dynamischen Verhaltens, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Realität übertragbar sind [SHI+11].

Ähnlich wie dem Themenfeld Anforderungsmanagement wird der virtuellen Verifikation und Validierung im Vergleich zu den anderen Themenfeldern eine besonders hohe Bedeutung beigemessen. Die befragten Unternehmen weisen ihren Leistungsstand in dem Bereich der V&V als

überdurchschnittlich aus. Dabei fällt allerdings auf, dass die sich immer noch meist auf den Einsatz von physischen Prototypen bezieht. Häufig wird der Einsatz von Modellen zur virtuellen V&V als interessante Zwischeninformationsquelle genutzt, aber nicht als belastbare Analyse gewertet. Es fehlt das Vertrauen in die Modelle.

Reale Prototypen vs. virtuelle Modelle

Nur ein geringer Teil der Befragten ordnet die V&V in die frühen Phasen der Produktkonzipierung ein und fokussiert auf die virtuelle modellbasierte Validierung. Es wird deutlich, dass hier noch erheblicher Handlungsbedarf besteht – es fehlt an entsprechenden Methoden und Werkzeugen zur Modellierung, Analyse und Simulation bzw. an deren Etablierung. Die grundlegende Problematik liegt in der Abhängigkeit von der Qualität der zugrunde gelegten Modelle. Hier stößt die Produktentwicklung noch oft an Grenzen. So ist es z.B. derzeit noch nicht möglich, das Komfortverhalten eines Fahrzeugs kundenrelevant vollständig zu simulieren. Daher werden immer noch sehr viele Tests auf Basis von physischen Prototypen durchgeführt. Diese Problematik greift die X-in-the-Loop-Methodik [ADO08] auf. Sie nutzt im Sinne der Virtualisierung Simulationsmodelle mit unterschiedlicher, vom Entwickler zu definierender, Granularität und koppelt diese bei Bedarf. Das bedeutet: Wenn kein Modell der erforderlichen Güte vorhanden ist (z.B. Friktionssystem der Bremse eines Fahrzeugs), wird zusätzlich jeweils problemspezifisch mit in Hardware vorliegenden Teilsystemen simuliert.

Insbesondere KMU arbeiten ausschließlich mit physischen Prototypen. Sie sind mit den Möglichkeiten der Virtualisierung noch nicht vertraut.

Ein großer Teil der Befragten, insbesondere die Vertreter der KMU, konzentriert sich noch stark auf reale Prototypen zur Verifikation und Validierung. Der Aspekt der virtuellen Produktentwicklung wird nur als Vorstufe, aber nicht als gleichwertig anerkannt. Das Vertrauen in die Modelle fehlt, so dass der Einsatz von realen Prototypen als unabdingbar angesehen wird.

Exkurs: all-electrical-aircraft

Die Luftfahrt befasst sich in Forschungsvorhaben und Konzeptstudien mit den Möglichkeiten der konsequenten Elektrifizierung ihrer Produkte. Dabei geht es zum einen darum, den Kerosinverbrauch der Maschinen zu reduzieren und wo immer sinnvoll elektrische Energiequellen zu verwenden. Zum anderen wird durch X-by-Wire-Lösungen eine erhebliche Ver-

einfachung der komplexen und teuren mechanischen Strukturen angestrebt. Die Vision ist das all-electrical-aircraft. In Grundlagenprojekten wurden bereits große Anstrengungen unternommen, das elektrische Gesamtsystem Flugzeug in einem Modell abzubilden. Die entsprechenden hierarchischen Modelle sind notwendig, um Energienetze auszulegen, Kommunikationsbeziehungen

zu definieren sowie die Leistungsfähigkeit eines vernetzten Systems unter verschiedenen Lastsituationen zu untersuchen und seine Robustheit gegenüber Fehlern zu belegen. Zahlreiche Veröffentlichungen zeigen den Weg zum „Virtual Iron Bird“ [Deu13-01], der die Absicherung der Elektronik und Informationstechnik erlaubt und der auf Basis von Modellbibliotheken aufgebaut wird.

3.4.5 Integrative Planung des Produktionssystems

Produkt und Produktionssystem bedingen sich gegenseitig. Daher müssen beide von Beginn an im engen Wechselspiel entwickelt werden. Nur so wird sichergestellt, dass alle Möglichkeiten der Gestaltung eines leistungsfähigen und kostengünstigen Erzeugnisses ausgeschöpft werden.

Bedeutung

Gerade bei komplexeren Erzeugnissen wird bereits das Produktkonzept durch die in Betracht gezogenen Fertigungstechnologien determiniert. Ferner können neue Produktkonzepte die Entwicklung bzw. Anpassung von Fertigungstechnologien und Produktionssystemen erfordern. Demzufolge herrschen bereits in der Konzipierung eine enge Verbindung und ein hoher Abstimmungsbedarf zwischen Produkt- und Produktionssystementwicklung. Dieser Abstimmungsbedarf besteht im Verlauf der weiteren Konkretisierung in Entwurf und Ausarbeitung weiter. Die integrative und frühzeitige Betrachtung des Produktionssystems wird allerdings im Vergleich zu den anderen Themenfeldern von den Befragten mit der geringsten Bedeutung bewertet.

Leistungsstand

In der Einordnung des eigenen Leistungsstands zeigt sich, dass über 50% der Befragten angeben, dass das Produktionssystem bereits früh in die Entwicklung miteinbezogen wird. In einigen Unternehmen sind Vertreter der Produktionssystemplanung im Kernteam der Entwicklung.

Genauerer Nachfragen zeigt aber, dass die Integration der Produktionssystemplanung erst spät im Entwicklungsprozess stattfindet. Zu diesem Zeitpunkt sind aber wesentliche Entwicklungsentscheidungen bereits erfolgt und nur mit hohem Aufwand wieder zu ändern. Der Schwerpunkt liegt insbesondere auf der fertigungs- und montagegerechten Konstruktion.

Barrieren

Es wird deutlich, dass der aktuelle Leistungsstand der Unternehmen im Bereich der Produktionssystemplanung eine konstruktionsgerechte Gestaltung und die Berücksichtigung der verfügbaren Ressourcen fokussiert. Dies ist auf verschiedene Gründe zurückzuführen: (1) Fehlendes Bewusstsein bei den Verantwortlichen, (2) Scheu vor dem vorgelagerten Aufwand, (3) räumliche und organisatorische Trennung der Entwicklung und Fertigung, (4) fehlende Expertise zur Umsetzung.

Hervorzuheben ist, dass Automobilhersteller und Endgerätehersteller aus dieser Einschätzung herausstechen und die Bedeutung deutlich höher einschätzen. Über alle Branchen hinweg besteht Einigkeit: Die Notwendigkeit der integrativen Betrachtung von Produkt und Produktionssystementwicklung nimmt mit steigender Komplexität von Produkt und Produktionssystem zu.

Fertigungstechnologien determinieren Produktkonzepte und umgekehrt, trotzdem wird dem Themenfeld die geringste Bedeutung zugesprochen.

Bisher liegt die fertigungs- und montagegerechte Konstruktion im Fokus.

Die Analyse zeigt, dass das Bewusstsein für die Bedeutung und den Nutzen einer integrativen Betrachtung von Produkt- und Produktionssystem über den Aspekt einer fertigungs- und montagegerechten Gestaltung hinausgehend gestärkt werden muss. Die Einbindung der Produktionsverantwortlichen in den Entwicklungsprozess von Anfang an ist der erste Schritt in diese Richtung.

Exkurs: 3-Zyklen-Modell der Produktentstehung

Unserer Erfahrung nach kann der Produktentstehungsprozess nicht als stringente Folge von Phasen und Meilensteinen verstanden werden. Vielmehr handelt es sich um ein Wechselspiel von Aufgaben, die sich in drei Zyklen gliedern lassen. Produkt- und Produk-

tionsystementwicklung sind parallel und eng aufeinander abgestimmt voranzutreiben, um sicherzugehen, dass auch alle Möglichkeiten der Gestaltung eines leistungsfähigen und kostengünstigen Erzeugnisses ausgeschöpft werden. In vielen Fällen erfordert ein innovatives Produktkonzept die Entwicklung von neuen Fertigungsprozessketten

und Produktionssystemen, weil klassische Lösungen nicht hinreichend sind. Demzufolge sehen wir eine besonders enge Verbindung von Produkt- und Produktionssystementwicklung auf der Stufe der Konzipierung. Im Verlauf der weiteren Konkretisierung besteht ein Abstimmungsbedarf. Die beiden Pfeile in Bild 1 sollen das verdeutlichen.

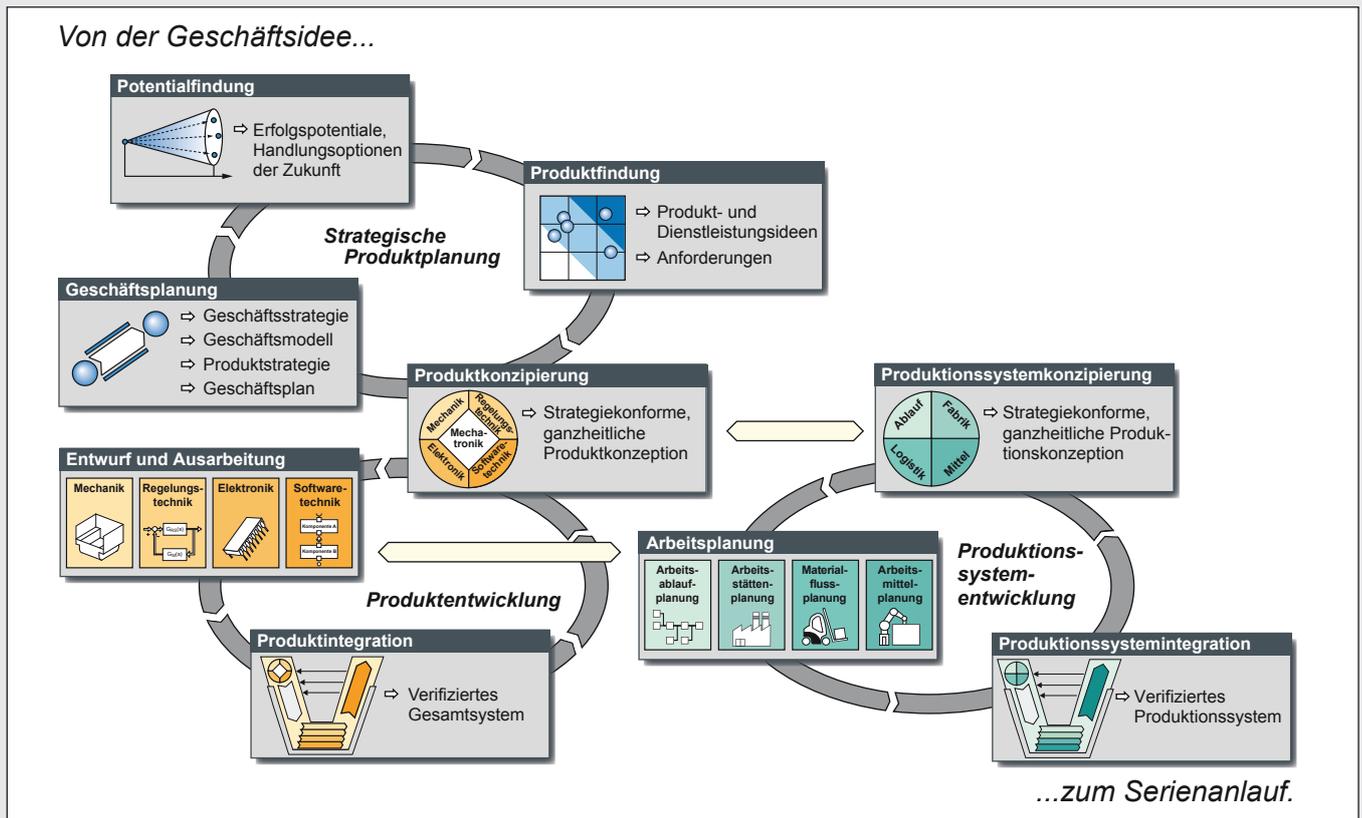


Bild 1: Produktionssystementwicklung im 3-Zyklen-Modell der Produktentstehung

3.4.6 Berücksichtigung des gesamten Produktlebenszyklus

Der Produktlebenszyklus (PLZ) umfasst die Produktentstehung, also strategische Produktplanung, Produkt- und Produktionssystementwicklung, sowie die Fertigung, Distribution, Nutzung und Rücknahme [GLR+00] (Bild 3-4).

Bedeutung

Der Erfolg eines neuen Produktes entscheidet sich in der Zukunft; allerdings werden die Weichen dafür im Zuge der Produktentstehung gestellt. Wesentliche Entscheidungen über das Produkt sind bereits bei der Erstellung der Produktstrategie im Rahmen der Strategischen Produktplanung zu treffen. Zu beantworten sind Fragen der Art: Wie kann die vom Markt geforderte Variantenvielfalt wirtschaftlich bewältigt werden? Welche Leistungsoptionen werden im

Laufe des Marktzyklus gebracht? Hier die falschen Entscheidungen zu treffen wird in der Regel sehr teuer und kann die Rentabilität des gesamten Geschäfts mit dem neuen Produkt gefährden. Weitere Entscheidungen von hoher Tragweite, die auf einer Vorausschau des Produktlebenszyklus beruhen, sind im Zuge der Produkt- und Produktionssystementwicklung zu treffen, wenn es um die frühzeitige Bewertung Konzeptalternativen geht. Im Fokus steht die möglichst weitgehende Absicherung eines angemessenen Return-On-Investment einer F&E-Investition unter Beachtung des Leitbildes der nachhaltigen Entwicklung sowie um die langfristige Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit. Durch die vorausschauende Berücksichtigung der Expertise sowie der Ziele und der Einflüsse der am Lebenszyklus eines Produkts beteiligten Stakeholder kann dieser Herausforderung begegnet werden.

Nicht alle Unternehmen sind für die Betrachtung aller Produktlebenszyklusphasen sensibilisiert.

Leistungsstand und Barrieren

Die Befragungen zeigen jedoch, dass bei weitem nicht alle Unternehmen für die Betrachtung aller Produktlebenszyklusphasen sensibilisiert sind. Der PLZ wird traditionell mit den Begriffen Nachhaltigkeit und Wartung assoziiert. Die Bedeutung des PLZ hängt aus Sicht der Befragten stark von den Stakeholdern bzw. der Intensität der Beziehung zu selbigen ab. Ein Beispiel hierfür sind hybride Leistungsbündel – also die Frage, ob ein Service integrierter Teil der angebotenen Sachleistung ist oder nicht. Ein Beispiel stellt der Verkauf einer

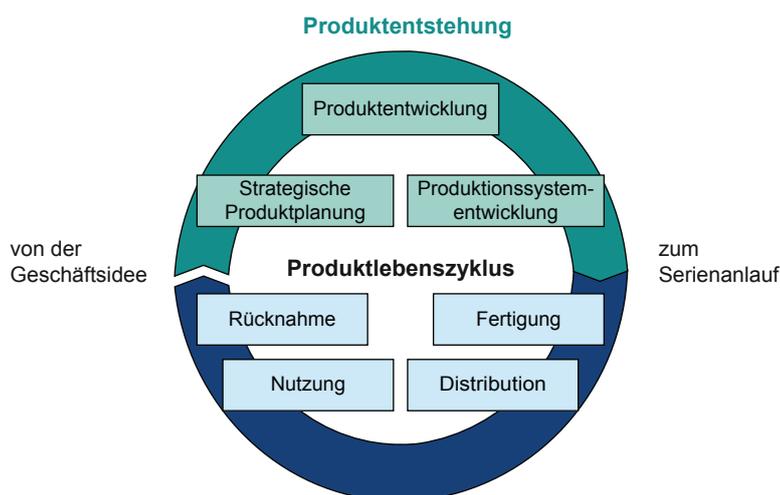


Bild 3-4: Produktlebenszyklus nach GAUSEMEIER et al.

Maschine dar: Wird lediglich die Maschine verkauft oder sind die Verfügbarkeit der selbigen oder gar die Anzahl produzierter Produkte Gegenstand der Leistung? Eine weitere Angabe der Befragten betrifft die Länge des PLZ: Ist mit einer sehr langen Lebenszeit zu rechnen, werden die Versuche, den Lebenszyklus frühzeitig vor auszudenken, intensiviert. Eine Herausforderung resultiert jedoch aus dem Fehlen geeigneter Methoden. Die Unternehmen sehen sich häufig nicht in der Lage, derartige Aspekte in Anforderungen zu übersetzen. Dies gilt jedoch nicht für alle Disziplinen gleichermaßen; insbesondere in der Hardwareentwicklung sind wissenschaftliche Erkenntnisse bereits in den Abläufen der

befragten Unternehmen angekommen. Darüber hinaus ist im Rahmen der Interviews deutlich geworden, dass insbesondere bei der Kostenbetrachtung in immer mehr Fällen der gesamte Lebenszyklus betrachtet wird. Untermauert wird dies durch Aussagen der folgenden Art: „Die Bedeutung der Lebenszykluskosten übersteigt die Bedeutung der Anschaffungskosten [...] für den Kunden“. Diese Betrachtung des PLZ deutet sich auch bei dem Thema Ressourceneffizienz von Produkten an. Hierbei kann zwischen der Effizienz der Fertigung und der Nutzung unterschieden werden. Obwohl beide an Bedeutung gewinnen, ist die Ressourceneffizienz der Nutzung oftmals das kaufentscheidende Kriterium.

Die Betrachtung des Lebenszyklus ist abhängig von der Art der Marktleistung und der Länge des PLZ.

Zusammenfassend gilt es festzuhalten, dass die Antizipation des Lebenszyklus eines Produktes grundsätzlich als notwendig erachtet wird. Geeignete Methoden sind den Unternehmen in den meisten Fällen nicht bekannt.

Exkurs: Antizipation des PLZ am Beispiel Flugzeugbau

Im Flugzeugbau ist die Antizipation des PLZ in den frühen Phasen der Produktentwicklung unerlässlich. Treibendes Element ist dabei die Zeit, die Flugzeuge am Boden verbringen. In diesem Zusammenhang fällt den Anforderungen aus Betrieb, Instandhaltung und Entsorgung eine besonders hohe Bedeutung zu. Diese Anforderungen müssen bereits in den frühen Phasen der Entwicklung antizipiert und berücksichtigt

werden. Besondere Herausforderungen stellt dabei die Instandhaltung der Flugzeuge dar. Sie umfasst die Überholung, Inspektion, Reparatur, Änderung, den Austausch oder die Fehlerausbesserung an einem Flugzeug bzw. an einer Komponente. Die hierfür notwendigen Aktivitäten sind im Rahmen eines Instandhaltungsprogramms definiert. Gleiches gilt für die Zeitpunkte, zu denen die jeweiligen Aktivitäten stattfinden sollen. Diese Instandhaltungsaktivitäten sowie die Intervalle sind im Rahmen der Ent-

wicklung zu berücksichtigen. Die Komponenten sind so zu gestalten, dass die Überprüfung bzw. der Austausch in einem bestimmten Zeitfenster zu bestimmten Intervallen erfolgen. Darüber hinaus ist der Zugang zu Komponenten so zu gestalten, dass die geforderten Austauschzeiten gewährleistet werden können. Hierbei stehen vor allem sicherheitskritische Komponenten im Vordergrund.

3.4.7 Projektspezifische Anpassung von Entwicklungsprozessen (Tailoring)

Die Anpassung von Entwicklungsprozessen unterstützen basierend auf der Kenntnis des aktuellen Projektstands einen gezielten Einsatz von Methoden und Werkzeugen. Einzelne Prozessschritte werden situationsspezifisch zu einem Prozess hinzugefügt oder gestrichen [INC10]. Ziel ist eine projekt- und situationsspezifische Gestaltung der Produktentstehung.

Bedeutung und Leistungsstand

In nahezu jedem gut funktionierenden Unternehmen wurden in den letzten Jahren Prozesshandbücher definiert, die in unterschiedlicher Granularität vorgeben, wie ein Projekt schrittweise zum Erfolg geführt werden soll. Jedoch sind diese Prozesse meist generisch und können nicht 1:1 auf das Projekt übertragen werden, insb. wenn die Komplexität der zu entwickelnden Systeme stark variiert oder Unternehmen eine stark heterogene Produktpalette anbieten. Das „Tailoring“ beschreibt die Möglichkeit, den Entwicklungsprozess auf die Projektbedürfnisse zuzuschneiden.

Generell kann festgestellt werden, dass Prozess-Tailoring von kleinen und mittleren Unternehmen als weniger wichtig als von großen Unternehmen eingestuft wird. Generell korreliert die Größe der Entwicklungsabteilung sehr stark mit der Bedeutung von der Anpassung von Entwicklungsprozessen. Erstaunlicherweise existieren hier trotzdem zwei wesentliche Blickwinkel: Die einen halten die Anpassung von Entwicklungsprozessen für zentral und notwendig, um den Aufwand und Nutzen

klar definierter Prozesse im Gleichgewicht zu halten, andere empfinden die Anpassung generell als Qualitätseinbuße. Dennoch wird Prozess-Tailoring eher aus dem Bauchgefühl erfahrener Projektmanager getrieben anstatt anhand klar definierter Kriterien. So werden im Prozess aufeinanderfolgende Meilensteine gelegentlich gemeinsam geklärt – was durchaus sinnvoll sein kann. Objektive Kriterien gibt es hierzu jedoch nur selten. Hinzu kommt: Während einige Unternehmen sich streng an diese Schritte halten, nutzen insb. Unternehmen mit kleinen Entwicklungsabteilungen diese eher als grobe Richtlinien. Je nach Unternehmensgröße werden die Anpassungen von Entwicklungsprozessen also unterschiedlich ernstgenommen – dies ist insbesondere in kleineren Unternehmen der Fall. Dass hierdurch die Qualität des Entwicklungsergebnisses leiden kann und insb. langfristig die Dokumentation der Produktentstehung leidet, wird häufig übersehen, dass der Aufwand zu hoch ist, um alles strikt nach Prozess auszuführen. Dennoch geben die Unternehmen über alle Branchen hinweg an, vorgeschriebene Entwicklungsprozesse zu haben. Nahezu jedes Unternehmen verfügt über eigene Produktentstehungsprozesse (PEP), die sich beispielsweise am V-Modell der VDI 2206 orientieren. Es handelt sich dabei in der Regel um Phasen-Meilenstein-Modelle. Schwer wiegt hier aber, dass das Verständnis für die Anwendung und die Bedeutung für ein qualitativ hochwertiges Entwicklungsergebnis häufig

Nahezu alle geben an, dass sie wohldefinierte Prozesse haben. Es sind aber Zweifel angebracht, ob diese auch gelebt werden.

nicht vorhanden ist. Die Folge sind nicht selten erhebliche Qualitätsmängel, die die Reputation des Unternehmens beeinträchtigen und mit kostenträchtigen Schleifen zu beheben sind.

Die Größe der Entwicklungsabteilung korreliert stark mit der Bedeutung der Anpassung von Entwicklungsprozessen. Orthogonal dazu existieren zwei Blickwinkel: Die einen halten die Anpassung von Entwicklungsprozessen für zentral und notwendig, um den Aufwand und Nutzen klar definierter Prozesse im Gleichgewicht zu halten, andere empfinden die Anpassung von Entwicklungsprozessen als Qualitätseinbuße. Prozess-Tailoring wird oftmals anhand der Erfahrung der Projektmanager getrieben anstatt anhand klar definierter Kriterien.

Exkurs: Besondere Herausforderungen für KMU

Viele Firmen finden sich in den von Großprojekten inspirierten Lehrbuchansätzen des Systems Engineering nicht wieder. Die Methodenvielfalt erscheint zu umfangreich, die Prozesse zu starr bzw. zu formal und damit gerade für die flexible Anwendung in kleinen Un-

ternehmen nicht geeignet. Hinter dem Stichwort Tailoring verbirgt sich die Möglichkeit, einen geordneten Einstieg in die Prozesse des SE zu finden. Systems Engineering wird für Firmen dann relevant, wenn ihre Produkte eine bestimmte Komplexität erreichen. Die Norm ISO/IEC 29110: Systems and Software Life Cycle Profiles and Guidelines for Very

Small Entities macht deutlich, dass ein Zuschnitt der Methoden für kleine und mittlere Unternehmen gefragt ist. Die Norm greift die spezifischen Aspekte und Bedürfnisse kleiner und mittlerer Unternehmen auf und bietet eine entsprechende Hilfestellung.

Über alle Branchen und Unternehmensgrößen hinweg wurden sämtliche Themenfelder als bedeutsam bewertet, unabhängig von der SE-Expertise der Befragten. Unternehmen mit geringer SE-Expertise stufen sich durchschnittlich besser ein als Unternehmen mit hoher Expertise. Während einige Themenfelder (z.B. Anforderungsmanagement) schon große Aufmerksamkeit erhalten, stecken andere Aktivitäten noch in den Kinderschuhen. Hier gilt es folgende Aspekte zu überwinden: Fehlendes Know-how und methodisches Vorgehen sowie unzureichende Werkzeugunterstützung. Alle Themenfelder sind eng miteinander verzahnt; erfolgreiche Aktivitäten in einem Themenfeld unterstützen die Betrachtung der anderen Themenfelder. Entsprechend schwächen Mängel in einem Bereich unter Umständen das gesamte Gefüge.

SE-Experten stufen sich deutlich kritischer ein als Befragte mit weniger SE-Expertise.

3.5 SE in den verschiedenen Branchen

Die Rolle von Systems Engineering variiert von Branche zu Branche deutlich. Im Folgenden werden die prägnantesten Unterschiede aufgezeigt. Dazu werden die Branchen Luft- und Raumfahrttechnik, Fahrzeugindustrie sowie Maschinen- und Anlagenbau/Automatisierungstechnik unterschieden und näher betrachtet.

Das Portfolio in Bild 3-5 verdeutlicht, mit welcher Intensität Unternehmen der drei Branchen Luft- und Raumfahrttechnik, Fahrzeugindustrie und Maschinen- und Anlagenbau/Automatisierungstechnik Systems Engineering einsetzen. Es belegt die

unterschiedliche Positionierung der Themenfelder hinsichtlich der derzeitigen Leistungsfähigkeit der Unternehmen (Abszisse). Die hohe Bedeutung von SE wird von allen drei betrachteten Branchen bestätigt (Ordinate).

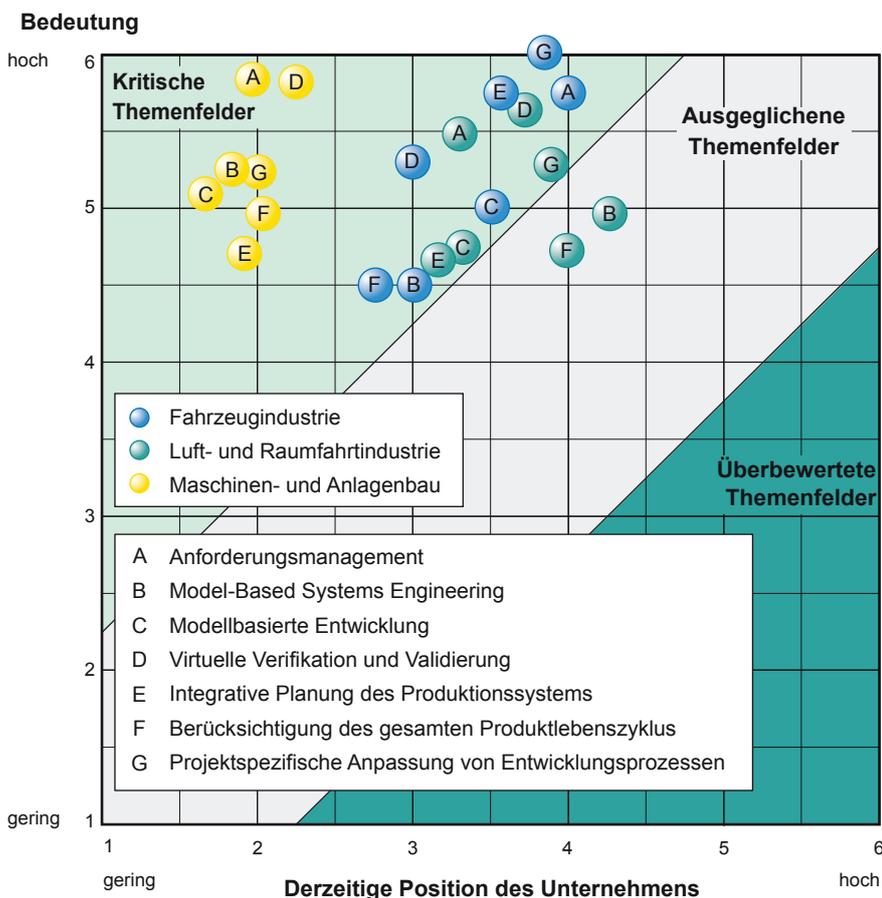


Bild 3-5: Branchenspezifische Beurteilung der Themenfelder des Systems Engineering

Luft- und Raumfahrttechnik

Systems Engineering ist etablierter Kern der Entwicklung und wird von den Befragten oftmals als gegeben Standard bezeichnet. Die Entwicklungsbereiche kennen Systems Engineering und handeln in der Regel danach. Ob dies eine Folge der historischen Entwicklung des Systems Engineering ist, bleibt unklar. Misserfolge in kommerziellen und militärischen Großprojekten der Branche haben dennoch in letzter Zeit einige Zweifel an der Leistungsfähigkeit der heutigen SE-Ansätze aufkommen lassen. Im Detail zeichnet sich im Portfolio ab, dass die Luft- und Raumfahrt im Vergleich zu den anderen Branchen Vorreiter für die Anwendung von Systems Engineering ist. Die Themenfelder „Model-Based Systems Engineering (MBSE)“ und „Berücksichtigung des gesamten Produktlebenszyklus“ werden als ausgeglichene Themenfelder bewertet (Bild 3-5). Insbesondere in diesen beiden Themenfeldern schätzen die Unternehmen ihre Leistungsfähigkeit bereits als sehr hoch ein. Die Unternehmen der Luft- und Raumfahrt sehen den Nutzen von Systems Engineering und sind durchaus

bereit in die Anwendung und Weiterentwicklung zu investieren.

Als besonders erfolgskritisch bei gleichzeitig geringerer Leistungsfähigkeit wird das Themenfeld Anforderungsmanagement genannt. Das überrascht, weil Anforderungsmanagement lange Zeit als zentrales Thema von Systems Engineering betrachtet wurde. In diesem Themenfeld wurden zahlreiche Investitionen getätigt. Ein Grund könnte sein, dass die zu entwickelnden Systeme in besonderem Maße durch das Zusammenspiel verschiedener Fachdisziplinen geprägt sind; insbesondere die eindeutige Spezifikation und die Vernetzung der Anforderungen innerhalb eines Produkts stellen die Entwickler vor große Hürden. Hierzu kommt die Zuordnung und Spezifikation der Anforderungen auf einzelnen Fachdisziplinen. Die einzelnen Bereiche werden zwar jeweils gut bis sehr gut beherrscht, das Zusammenspiel der Anforderungen aber ist nach wie vor ein Thema, das die Unternehmen beschäftigt. Im Fokus stehen aus diesem Grund Werkzeuge und Schnittstellen zur durchgängigen Handhabung von Anforderungen. Ziel ist die durchgängige modellbasierte Systementwicklung als Endstufe eines durchgängigen Produktentwicklungsprozesses. Als besonders kritisch erweist sich dabei die virtuelle Verifikation und Validierung von fachdisziplinübergreifenden Funktionen.

Fahrzeugindustrie

In der Fahrzeugindustrie wird Systems Engineering als „Befähiger“ gesehen. Das Thema gewinnt zunehmend an Bedeutung und wird stark von den OEM vorangetrieben. Verschiedene Unternehmens- und Forschungsaktivitäten verdeutlichen das

Interesse und unterstreichen die Notwendigkeit von Systems Engineering. Das Portfolio bestätigt dies. Die besonderen Rahmenbedingungen der Fahrzeugindustrie wie z.B. hohe Variantenvielfalt finden ihren Niederschlag im Portfolio: Als besonders erfolgskritisch werden die Themenfelder Anpassung von Entwicklungsprozessen, Anforderungsmanagement und die integrative Planung des Produktionssystems gesehen. Gleichzeitig schätzen sich die befragten Unternehmen in diesen Bereichen am besten ein. Sie sehen jedoch noch Verbesserungspotential. Durchaus als wichtig wird das Thema der modellbasierten Entwicklung betrachtet. Eng in Verbindung hiermit wird Model-Based Systems Engineering gesehen. Beides ist entscheidend für die erfolgreiche virtuelle Verifikation und Validierung des Fahrzeugs. Aus diesem Grund wird inzwischen immer stärker im Rahmen unternehmensinterner Aktivitäten an abteilungsübergreifenden Produkt- und Produktionssystemspezifikationen gearbeitet. Diese Initiativen sind oftmals im Bereich der Zuverlässigkeit verankert und werden von dort aus ins Unternehmen ausgerollt: Die Gewährleistung der Zuverlässigkeit bedarf einer optimalen Beherrschung aller Teilsysteme und ihrer Wechselwirkungen im Gesamtsystem.

Außerdem wird die enge Verzahnung von OEM und Zulieferern (insb. Tier-1) angestoßen, die auf der Kommunikation mit den Zulieferern beruht und die Eindeutigkeit der Spezifikationen erfordert. Noch lässt sich kein eindeutiger Trend zu einer standardisierten Sprache erkennen: Teilweise wird auf die SysML gesetzt, andere favorisieren eigene Notationen mit eigener Syntax und Semantik.

Der Leistungsstand im Systems Engineering ist branchenabhängig.

Obwohl Systems Engineering in der Luft- und Raumfahrtindustrie etabliert ist, gibt es nach wie vor Misserfolge in Großprojekten.

In der Fahrzeugindustrie gewinnt das Thema rasant an Bedeutung.

Maschinen- und Anlagenbau/Automatisierungstechnik

In dieser Branche herrscht noch große Unsicherheit über Systems Engineering. Die Interviewten bestätigen, dass Entwickler bisher kaum Berührungspunkte zu dem Thema hatten. Insbesondere für Unternehmen, die überwiegend kundenspezifische Entwicklungen betreiben, sind schnelle Lösungen gefragt. Der Aufwand für SE wird in der Folge aus Zeitgründen gescheut, wenn gleich durchaus Potential im SE-Ansatz vermutet wird.

Der mangelnde Kontakt zum Systems Engineering wird auch im Portfolio ersichtlich. Unter Berücksichtigung der selbst eingeschätzten SE-Expertise ergibt sich über die Branche eine geringe Leistungsfähigkeit der Unternehmen in den Themenfeldern. Gleichzeitig wird die Bedeutung der Handlungsfelder als sehr hoch eingeschätzt. Anforderungsmanagement und virtuelle Verifikation und Validierung haben den höchsten Stellenwert. Die Lücke zwischen Anforderungen und Verifikation und Validierung kann dabei leicht durch eine frühzeitige und durchgängige Systemmodellierung geschlossen werden. Im Detail wird dem Themenfeld MBSE aber eine geringere Bedeutung beigemessen als das Portfolio auf den ersten Blick erkennen lässt. Der initiale Aufwand hierfür wird

gescheut, ebenso fehlt es den Methoden an Flexibilität für die stark unterschiedlichen Projekte in der Branche – auch bedingt durch den hohen Anteil an Anpassungsentwicklungen. Dass MBSE durch die Wiederverwendbarkeit von Modellen und Mustern für die Systementwicklung jedoch einen hohen Mehrwert bietet, wird aufgrund der geringeren SE-Expertise häufig übersehen. Die frühzeitige Entwicklung des Produktionssystems wird mit der geringsten Bedeutung eingestuft.

Für die kundenindividuellen Produkte wird auf die verfügbare Fertigungsinfrastruktur gesetzt. Die meist kleinen und mittleren Unternehmen sind eher durch das Tagesgeschäft getrieben und können nur selten zusätzlichen Aufwand für neue Ansätze wie Systems Engineering aufbringen. Ferner sind einige Unternehmen überzeugt, dass Systems Engineering nur für Systeme der Luft- und Raumfahrttechnik nutzenbringend ist und dessen Anwendung für ihre Aufgabenstellung überdimensioniert ist. Einzelne Unternehmen sind aber überzeugt, dass es nur eine Frage der Zeit ist, bis deren Systeme eine Komplexität einnehmen, die mit dem bestehenden Vorgehen nicht mehr beherrscht werden kann. Hierfür müsste Systems Engineering stärker auf die Anforderungen der Branche zugeschnitten werden.

Im mittelständisch geprägten Maschinen- und Anlagenbau fehlen noch Expertise und Kapazitäten.

Im deutschsprachigen Raum ist die Verbreitung von Systems Engineering stark branchenabhängig. So ist Systems Engineering in der Luft- und Raumfahrttechnik fest etabliert. In der Fahrzeugindustrie wird SE inzwischen als Befähiger gesehen, es gewinnt zunehmend an Bedeutung und wird von den OEMs vorangetrieben. Aber in der Breite, insbesondere dem in Deutschland stark mittelständisch geprägten Maschinen- und Anlagenbau, wird Systems Engineering trotz seiner hohen Bedeutung nicht eingesetzt.



4 Systems Engineering in Aus- und Weiterbildung

Erfolgreiches Systems Engineering beginnt in der Aus- und Weiterbildung. Wird das Erforderliche getan oder muss sich etwas grundlegend ändern? Folgende Fragen werden im Rahmen dieses Kapitels beantwortet:

- Über welche Qualifikationen soll der Ingenieur von morgen verfügen?
- Stimmt das Angebot mit dem Bedarf aus der Praxis überein?
- Wie muss die Ausbildung zukünftig gestaltet werden?

4.1 Qualifikationen zukünftiger Ingenieure

Die Unternehmen haben ein klares Bild von den Qualifikationen der Ingenieure von morgen. Um die Kompetenzprofile eines Ingenieurs zu verdeutlichen, werden im Folgenden geforderte Qualifikationen erörtert.

Die Befragten bestätigen, dass sich mit dem Wandel der Produkte auch die Aus- und Weiterbildung weiterentwickeln muss. Wesentlich sind dabei zwei Richtungen: (1) Spezialwissen in einer Fachdisziplin bzw. in einem Anwendungsfeld – also „Wissen in der Tiefe“ und (2) Gesamtverständnis für den Produktentstehungsprozess – „Wissen in der Breite“. Diese unterschiedlichen Ausprägungen wurden von den Befragten als zukunftsweisend bezeichnet (Bild 4-1).

Basiswissen in jeder Fachdisziplin

57% der Befragten bezeichnen das Basiswissen in jeder relevanten Fachdisziplin zukünftiger Ingenieure als essentiell. Diese Einschätzung ist wenig verwunderlich: Die Herausforderungen der Industrie sind zunehmend geprägt durch die Multidisziplinarität. Folgerichtig gewinnt die Rolle des Generalisten stetig an Bedeutung.

Das Basiswissen in jeder Fachdisziplin erlaubt dem Ingenieur die Analyse des Zusammenspiels verschiedener Fachdisziplinen – der Generalist wird somit

zum Spezialist für die Zusammenhänge des Gesamtsystems.

Spezialwissen in einer Fachdisziplin

Dem Spezialwissen in einer Fachdisziplin wird auch weiterhin eine hohe Bedeutung zugesprochen (47%). Somit wird der Spezialist auch zukünftig seine Rolle in der Praxis beibehalten.

Soft Skills

Soft Skills oder auch soziale Kompetenz bezeichnet die Fähigkeiten, die eine ef-

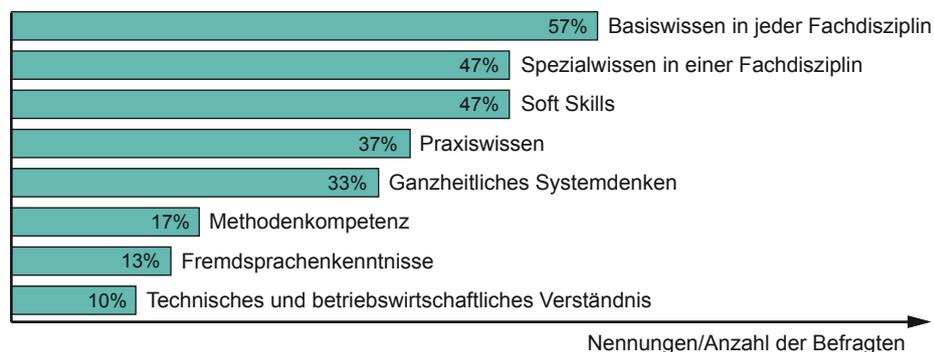


Bild 4-1: Erforderliche Qualifikationen zukünftiger Ingenieure

Der Generalist muss disziplinübergreifend agieren. Eine Rolle, die auch eine hohe Sozialkompetenz voraussetzt.

fektive Zusammenarbeit mit anderen Menschen ermöglichen. Das umfasst Kommunikationsfähigkeit, Teamfähigkeit, analytische Fähigkeiten, interkulturelle Kompetenzen, Kritikfähigkeit etc. Ausgeprägte Soft Skills werden derzeit bereits bei Berufseinsteigern erwartet. Das ist teilweise problematisch, da diese an Hochschulen häufig nicht in ausreichendem Maße vermittelt werden. Der Aspekt Soft Skills wird zukünftig deutlich an Bedeutung gewinnen; Ingenieure müssen zukünftig stärker kooperieren und zwischen verschiedenen Disziplinen bzw. Stakeholdern und Abteilungen im Unternehmen sowie teilweise unternehmensübergreifend agieren. Eine Rolle, die eine hohe Sozialkompetenz voraussetzt.

Praxiswissen

Eine ähnlich hohe Bedeutung wird dem Praxiswissen zugesprochen (37%). Häufig

besteht eine Diskrepanz zwischen dem im Hörsaal vermittelten Lehrplan und der Tätigkeit im späteren Beruf. Um den zukünftigen Arbeitgeber von sich zu überzeugen, reichen gute Noten und theoretische Kenntnisse in der Regel nicht aus.

Die befragten Unternehmen wünschen sich ein besseres Verständnis für die Herausforderungen in der Praxis. Die meisten Hochschulen haben daher die Lehrpläne um Praxisphasen, Projektarbeiten u.ä. ergänzt. Hier erhalten die Studierenden einen realistischen Eindruck künftiger Aufgabenbereiche. Im Rahmen dieser Praxisphasen haben Studierende die Möglichkeit ein Praktikum in dem gewählten Bereich zu absolvieren. Soft Skills werden in diesem Zusammenhang nur selten gelehrt und trainiert. Veranstaltungen, die beide Aspekte ansprechen, sind derzeit bei den Studierenden sehr gefragt.

Die Befragten sehen zukünftig zwei Arten von Ingenieuren: den Spezialisten und den Generalisten. Der Spezialist beherrscht das Detailwissen einer Fachdisziplin. Der Generalist hingegen verfügt über Basiswissen der involvierten Fachdisziplinen und zeichnet sich durch ganzheitliches Systemdenken aus. Um seiner Rolle gerecht zu werden, besitzt er Soft Skills, Praxiswissen und Methodenkompetenz.

4.2 Aktuelles Studienangebot

Der „Systems Engineer“ hat eine Schlüsselrolle in der Produktentstehung: Er legt die Systemarchitektur fest, verantwortet den fachgebietsübergreifenden Entwurf des Systems und orchestriert die weiteren fachgebietspezifischen Entwicklungsaktivitäten. Dies stellt die SE-Ausbildung vor besondere Herausforderungen: Sie muss diesen neuen Tätigkeitsfeldern und Anforderungen mit neuen Ausbildungskonzepten begegnen.

Das Kompetenzprofil eines Systems Engineers entspricht eher dem eines Generalisten, der sich auf das Systemdenken und

Zusammenwirken der verschiedenen Fachbereiche spezialisiert hat (Bild 4-2). Diese Aspekte werden derzeit noch nicht alle

In Deutschland steht man noch in den Anfängen, einen vergleichbaren oder gar einheitlichen Lehrplan für SE gibt es nicht.



von Berufsausbildungseinrichtungen und Hochschulen in der ausreichenden Intensität vermittelt. Ein Blick in die Lehrpläne zeigt jedoch, dass bereits erste Anstrengungen unternommen werden, um die Anforderungen der Industrie umzusetzen. So gibt es in Deutschland eine zunehmende Anzahl an Hochschulen, die Systems Engineering als Studiengang anbieten. Derzeit beläuft sich die Anzahl auf 32. Da der Begriff Systems Engineering jedoch nicht einheitlich definiert ist, divergieren auch die Ausbildungsinhalte sowie die Ausbildungsschwerpunkte. Einen einheitlichen Lehrplan gibt es daher nicht: 46% der Studiengänge sind der Informatik, 44% den Ingenieurwissenschaften und 7% dem Bereich Betriebswirtschaft/Management zuzuordnen (Bild 4-3).

Eine Analyse der Lehrpläne verdeutlicht, dass in einer Vielzahl der Fälle Standardfächer um einzelne Aspekte des Systems Engineering erweitert worden sind. Beispielhaft sei an dieser Stelle die Veranstaltung Grundlagen der Programmierung genannt. Hier werden Aspekte wie z.B. Systemtheorie zum Lehrplan hinzugefügt. Andere Bildungsstätten führen in dem Studiengang Systems Engineering Standardfächer verschiedener Disziplinen wie des Maschinenbaus, der Elektrotechnik, der Informatik und der Wirtschaftswissenschaften zusammen. Vereinzelt werden im Rahmen dieser Studiengänge auch Veranstaltungen angeboten, um die Soft Skills der Studierenden zu verbessern. Eine grundlegende Neugestaltung der Studiengänge vor dem Hintergrund einer systemtechnischen und -übergreifenden Denkweise gehört zu den Ausnahmen. Hier werden vorrangig das Systemdenken,

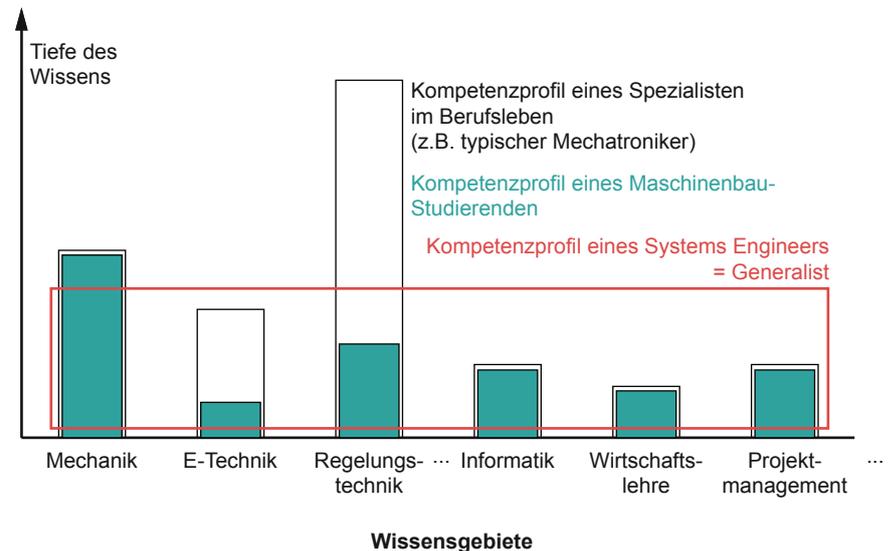


Bild 4-2: Kompetenzprofil eines Systems Engineers

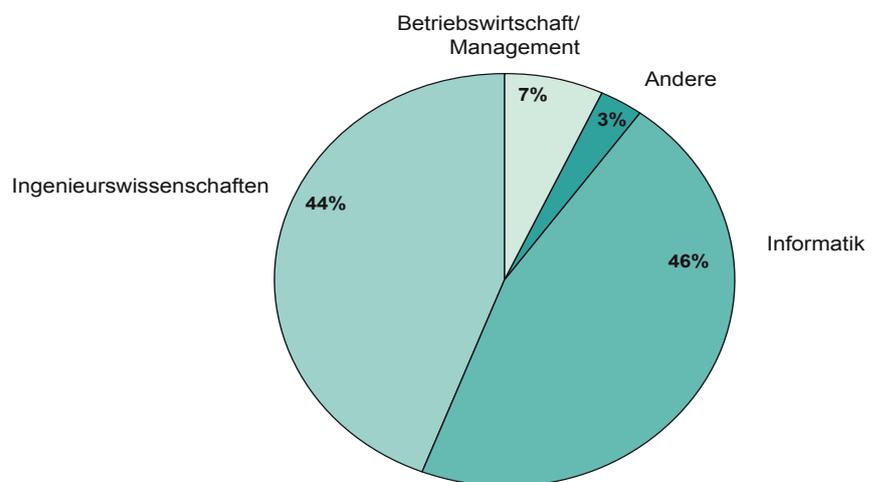


Bild 4-3: Fakultätsverankerung bestehender SE-Studienangebote

der Systementwurf, das Projektmanagement sowie SE-Methoden, -Techniken und -Werkzeuge adressiert.

Ein Großteil der angebotenen Studiengänge ist fachdisziplinspezifisch ausgerichtet. Die eigentliche Idee des Systems Engineering findet sich in der Lehre nur selten wieder. Die Interdisziplinarität des SE scheint auch eine Herausforderung für Hochschulen zu sein, die diesen Bereich kaum durch eine Fakultät abdecken können.

4.3 Aktuelles Weiterbildungsangebot

Neben der Ausbildung ist die berufsbegleitende Weiterbildung ein zentraler Schlüssel zur erfolgreichen Anwendung von Systems Engineering in der Praxis. Mit dem Label „Systems Engineering“ werden im deutschsprachigen Raum zahlreiche Weiterbildungs- und Zertifizierungsmöglichkeiten angeboten.

INCOSE und die Gesellschaft für Systems Engineering (GfSE) bieten Weiterbildungsmaßnahmen an, diese werden hier beispielhaft genauer betrachtet:

INCOSE-Zertifizierungsprogramm

Das mehrstufige Zertifizierungsprogramm des INCOSE ist eine Personenzertifizierung, die den Wissenstand des Systems Engineers widerspiegelt. In Deutschland wird das INCOSE-Zertifizierungsprogramm von der GfSE, dem German Chapter of INCOSE, unterstützt. Das Programm spricht

eine internationale Zielgruppe an und wird in englischer Sprache durchgeführt. Basis für die Lehrinhalte des Programms ist das INCOSE-Handbuch. Die verschiedenen Zertifizierungsstufen unterscheiden sich in den Voraussetzungen von Berufserfahrung, Bildung, Referenzen und im Test (Tabelle 4-1). Ziel ist die Etablierung eines Standards für Systems Engineering Aus- und Weiterbildung in deutscher Sprache sowie eine berufsbegleitende Weiterbildung von Ingenieuren mit praktischen Übungen und Inhalten. Das Angebot wird nur von einer begrenzten Zielgruppe angenommen. Bislang gibt es in Deutschland einen zertifizierten ESEP (Stand: 2012).

Tabelle 4-1: INCOSE-Zertifizierungsprogramm

Level	Bezeichnung	Zertifizierung seit	Beschreibung
ASEP	Associate Systems Engineering Professional	2008	Der Einstiegslevel für alle, die am Anfang ihrer Karriere als Systems Engineer stehen
CSEP	Certified Systems Engineering Professional	2004	Der Fortgeschrittenenlevel für Systems Engineers mit mehr als fünf Jahren relevanter Berufserfahrung
CSEP-Acq	CSEP with US DoD Acquisition	2008	Der Expertenlevel für Systems Engineers mit mehr als fünfzehn Jahren relevanter Berufserfahrung
ESEP	Expert Systems Engineering Professional	2009	Die Erweiterung für alle, die für das US Department of Defence arbeiten oder hierfür Dienstleistungen erbringen

Weiterbildungsmaßen der GfSE

Die Weiterbildung zum Certified Systems Engineer – SE-Zert® ist das deutsche Pendant zum INCOSE-Programm und wird seit 2012 angeboten (Tabelle 4-2). Als deutschsprachige Vertretung der INCOSE hat die GfSE dieses Programm explizit auf die Anforderungen europäischer Unternehmen zugeschnitten. Der SE-Zert® ist eine Personenzertifizierung für Unternehmen aus der EU und der Schweiz. Die Prüfung

zum SE-Zert® wird durch den TÜV Rheinland PersCert (TR PersCert) abgenommen. Im Rahmen der Zertifizierung können drei Kompetenzlevel durchlaufen werden: Mit der Eingangsstufe Level C wird SE-Kompetenz in der Theorie und anhand von Fallstudien vermittelt: „Systems Engineering verstehen“. Level B und insbesondere Level A richten sich an angehende SE-Experten. Ihr Fokus ist nun „SE anwenden“ und „SE beherrschen“. Bereits im ersten Jahr haben zwölf Teilnehmer die Ausbildung zum SE-Zert® des Levels C durchlaufen.

Tabelle 4-2: Ausbildungslevel des SE-Zert® Programms

SE-Zert®

Certified Systems Engineer

- Level A (Experte): Beherrschen
- Level B (Fortgeschrittene): Anwenden
- Level C (Eingangsstufe): Verstehen

Nachgewiesene Wissensbereiche im Rahmen der Zertifizierung

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Grundlagen des Systems Engineering ▪ Projektübergreifende Schnittstellen ▪ Schnittstellen des Systems Engineering zu Projektmanagement ▪ Systems Engineering Management ▪ Anforderungsmanagement und Validation & Verifikation | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Realisationsprozesse ▪ Querschnittsfunktion innerhalb von Entwicklungsprojekten ▪ Berücksichtigung von operationellen Aspekten und der Entsorgung im Design ▪ Konfliktmanagement und soziale Kompetenz |
|--|---|

Die Vielzahl der Aktivitäten im Bereich der Weiterbildung spiegeln den Bedarf der Praxis an SE-Expertise wider. Für ein einheitliches Basiswissen muss es jedoch zukünftig ein vergleichbares Lehrprogramm für Systems Engineering geben. Die Standardisierungsbemühungen der GfSE sind ein Weg die Weiterbildung im Systems Engineering anzugleichen und die Anforderungen der Praxis exakt zu treffen.

Resümee und Ausblick

Die vorliegende Studie belegt, dass Systems Engineering aus Sicht der Industrie eine notwendige Voraussetzung zur Entwicklung komplexer technischer Systeme ist. Dies betrifft nicht nur zukünftige Systeme, die zunehmend intelligenter und miteinander vernetzt sein werden, sondern bereits heute zu entwickelnde Produkte und Produktionssysteme. Wesentlicher Komplexitätstreiber ist die Multidisziplinarität der Systeme, die durch eine fachdisziplinorientierte Vorgehensweise allein nicht mehr beherrscht werden kann.

Der aktuelle Leistungsstand von Systems Engineering in der industriellen Praxis zeigt aber eine Lücke zwischen den Erwartungen und dem Bedarf der Unternehmen auf. Um diese Lücke zu schließen, ist eine Leistungssteigerung zwingend erforderlich. Dies betrifft neben neuen Ansätzen insbesondere die Anwendbarkeit und Akzeptanz der bestehenden Methoden und Werkzeuge.

Im deutschsprachigen Raum ist die Anwendung von Systems Engineering aber auch stark branchenabhängig. So ist es in der Luft- und Raumfahrttechnik erwartungsgemäß schon lange fest etabliert und nicht mehr wegzudenken. In der Fahrzeugindustrie wird Systems Engineering inzwischen ebenfalls als wichtiger Befähiger gesehen. Vor allem die deutschen OEMs haben das Potential erkannt, um als Systemintegrator erfolgreich zu bleiben. In der industriellen Breite, insbesondere im stark mittelständisch geprägten Maschinen- und Anlagenbau, ist Systems Engineering hingegen weitgehend unbekannt. Hier stehen in der Regel die zu entwickelnden Komponenten im Vordergrund. Ein funktions- oder gar systemorientiertes Vorgehen konnte nur in Einzelfällen festgestellt werden.

Eine erfolgreiche Anwendung bedingt die entsprechenden Anwender in den Unternehmen. Dies ist jedoch oftmals nicht der Fall. Das bisherige Aus- und Weiterbildungsangebot reicht nicht aus, um eine erfolgreiche Anwendung und Beherrschung im deutschsprachigen zu befähigen. Disziplinübergreifende Ansätze kommen in der universitären Ausbildung in Deutschland nach wie vor zu kurz. Ferner lässt die Befragung der Unternehmen darauf schließen, dass die Methoden des Systems Engineering ergänzend im Rahmen der Aus- und Weiterbildung vermittelt werden sollten. Ob spezialisierte Studiengänge für Systems Engineering den Bedarf der Praxis treffen, bleibt abzuwarten. Insgesamt bescheinigt die Studie, dass Praxis, Lehre und Forschung im Bereich Systems Engineering noch näher zusammenrücken müssen. Nur wenn die Forschungsaktivitäten den Bedarf der industriellen Praxis aufgreift und an ihr validiert wird, kann die erforderliche Leistungssteigerung erreicht werden. In diesem Zuge wäre im nächsten Schritt eine weitere Untersuchung notwendig, um die aktuellen Forschungsaktivitäten zu erheben und an dem in dieser Studie dokumentierten industriellen Bedarf zu spiegeln.

Übersicht der befragten Unternehmen

- Audi AG
- Astrium
- Beckhoff Automation GmbH
- Berief Innovativ GmbH & Co. KG
- Beumer Maschinenfabrik GmbH & Co. KG
- Blohm + Voss Naval GmbH
- BMW AG
- Claas Industrietechnik GmbH
- Daimler AG
- Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG Antriebssysteme
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
- Freudenberg New Technologies SE & Co. KG
- Gesellschaft für Systems Engineering e.V.
- Gildemeister AG
- Hella KGaA Hueck & Co.
- Hilti AG
- Kistler Instrumente AG
- Krause-Biagosch GmbH
- Heinrich KUPER GmbH & Co. KG
- Lufthansa Technik AG
- Mettler-Toledo GmbH
- Miele & Cie. KG
- Phoenix Contact GmbH & Co. KG
- Robert Bosch GmbH
- RUAG Holding AG
- Schindler GmbH
- Siemens AG
- Simon Möhringer Anlagenbau GmbH
- Volkswagen AG
- Weidmüller Interface GmbH & Co. KG
- WILO SE
- Wincor Nixdorf AG
- Voith GmbH

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier



ist Professor für Produktentstehung am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn. Er promovierte am Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der TU Berlin bei Prof. Spur. In seiner zwölfjährigen Industrietätigkeit war Dr. Gausemeier Entwicklungschef für CAD/CAM-Systeme und zuletzt Leiter des Produktbereiches Prozessleitsysteme bei einem namhaften schweizer Unternehmen. Herr Gausemeier ist Initiator und Aufsichtsratsvorsitzender des Beratungsunternehmens UNITY AG. Seit 2003 ist er Mitglied von acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und seit 2012 Vizepräsident. 2012 wurde er erneut in den Wissenschaftsrat berufen. Ferner ist er Vorsitzender des Clusterboards des BMBF-Spitzenclusters „Intelligente Technische Systeme Ostwestfalen-Lippe (it’s OWL)“.

Dr.-Ing. Roman Dumitrescu



studierte Mechatronik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Im Anschluss war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktentstehung am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn. Unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier promovierte er 2010 im Bereich Systems Engineering für intelligente mechatronische Systeme. Seitdem leitet er in der Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT die Abteilung Produktentstehung. Ferner ist er Geschäftsführer des Spitzenclusters „Intelligente Technische Systeme Ostwestfalen-Lippe (it’s OWL)“ und verantwortet den Bereich Strategie und F&E.

Dr.-Ing. Daniel Steffen



ist Senior Manager bei der UNITY AG, einer technologieorientierten Unternehmensberatung. Sein Schwerpunkt ist Entwicklungsmanagement in der Automobilindustrie und im Maschinenbau. Er leitet u.a. Projekte zur strategischen F&E-Positionierung, zur Verbesserung von Produktentwicklungsprozessen und zur Organisationsentwicklung auf Basis von Standards wie CMMI oder Systems Engineering. Nach dem Studium des Wirtschaftsingenieurwesens promovierte er am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn.

Dipl.-Wirt.-Ing. Anja Czaja

hat an der Universität Paderborn Wirtschaftsingenieurwesen mit dem Schwerpunkt Maschinenbau studiert. Seit 2012 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Produktentstehung bei Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier am Heinz Nixdorf Institut. Ihr Forschungsschwerpunkt liegt im Bereich Systems Engineering und Entwicklungsmethodik Mechatronik.



Dipl.-Wirt.-Ing. Olga Wiederkehr

studierte Wirtschaftsingenieurwesen mit der Fachrichtung Innovations- und Entwicklungsmanagement an der Universität Paderborn. Nach Abschluss ihres Studiums im Jahr 2011 war Frau Wiederkehr Beraterin bei der UNITY AG, einer technologieorientierten Unternehmensberatung. Seit 2012 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn bei Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier. Ihre Tätigkeitsschwerpunkte liegen in den Bereichen Systems Engineering sowie Entwicklungsmethodik Mechatronik.



Dipl.-Wirt.-Ing. M.Eng. Christian Tschirner

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT. In der Abteilung Produktentstehung beschäftigt er sich mit Methoden des Systems Engineerings und des MBSE. Zuvor baute er in enger Zusammenarbeit mit der Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik den Forschungsschwerpunkt Systems Engineering am Heinz Nixdorf Institut auf.



Abkürzungen

SE	Systems Engineering	EIA	Electronic Industries Association
GfSE	Gesellschaft für Systems Engineering e.V.	PDM	Produktdatenmanagement
INCOSE	International Council on Systems Engineering	PLM	Product Lifecycle Management
DACH	Deutschland-Österreich-Schweiz	CPS	Cyber-Physical-Systems
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen	MBSE	Model-Based Systems Engineering
OEM	Original Equipment Manufacturer	PLZ	Produktlebenszyklus
ITS	Intelligente technische Systeme	FMI	Functional Mock-Up Interface
VDI	Verein Deutscher Ingenieure	PEP	Produktentstehungsprozess
		V&V	Verifikation und Validierung

Literaturverzeichnis

- [aca11] acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN (Hrsg.): Cyber-Physical Systems – Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion (acatech POSITION). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2011
- [ADE+11] ARNOLD, V.; DETTMERING, H.; ENGEL, T.; KARCHER, A.: Product Lifecycle Management beherrschen – Ein Anwenderhandbuch für den Mittelstand. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2011
- [ADG+09] ADEL, P.; DONOTH, J.; GAUSEMEIER, J.; GEISLER, J.; HENKLER, S.; KAHL, S.; KLÖPPER, B.; KRUPP, A.; MÜNCH, E.; OBERTHÜR, S.; PAIZ, C.; PORRMANN, M.; RADKOWSKI, R.; ROMAU, C.; SCHMIDT, A.; SCHULZ, B.; VÖCKING, H.; WITKOWSKI, U.; WITTING, K.; ZNAMENSHCHYKOV, O.: Selbstoptimierende Systeme des Maschinenbaus – Definition, Anwendungen, Konzepte. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 234, Paderborn, 2009
- [ADO08] ALBERS, A.; DÜSER, T.; OTT, S.: X-in-the-loop als integrierte Entwicklungsumgebung von komplexen Antriebssystemen. In: 8. Tagung: Hardware-in-the-Loop-Simulation. 16./17. September 2008, Kassel, 2008
- [AF13] AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN (ACATECH)/FORSCHUNGSUNION WIRTSCHAFT-WISSENSCHAFT (Hrsg.): Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 – Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Berlin, 2013
- [Arm05] ARMSTRONG, J. R.: A Systems Approach to Process Infrastructure. INCOSE Symposium, Virginia, 2005
- [Bei71] BEITZ, W.: Systemtechnik im Ingenieurbereich. VDI-Berichte Nr. 174, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1971
- [Ber32] BERTALANFFY, L. v.: Theoretische Biologie. Borntraeger Verlag, Berlin, 1932
- [BIT13-01] BUNDESVERBAND INFORMATIONSWIRTSCHAFT, TELEKOMMUNIKATION UND NEUE MEDIEN E.V.: Plattform Industrie 4.0. Unter: <http://www.plattform-i40.de/blog/was-industrie-40-f%C3%BCr-uns-ist>, 10. September 2013
- [BF81] BLANCHARD, B. B.; FABRYCKY, W.: Systems Engineering and Analysis. Prentice Hall, New Jersey, 1981
- [Bun10] BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF): Ideen, Innovation, Wachstum – Hightech-Strategie 2020 für Deutschland. Bonn, Berlin, 2010

- [Cha74] CHASE, W. P.: Management of Systems Engineering. Robert Krieger, Malabar, 1974
- [DH76] DAENZER, W.F.; HUBER, F.: Systems Engineering – Methodik und Praxis. Verlag Industrielle Organisation, Zürich, 1976
- [Deu13-ol] DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT E. V. (DLR) – The Virtual Iron Bird model library. Unter: http://dlr.de/rm/desktopdefault.aspx/tabid-3837/5985_read-8789/, 27. August 2013
- [Dum10] DUMITRESCU, R.: Entwicklungssystematik zur Integration kognitiver Funktionen in fortgeschrittene mechatronische Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 286, Paderborn 2010
- [EGZ12] EIGNER, M.; GILZ, T.; ZAFIROV, R.: Proposal for functional product description a part of a PLM solution in interdisciplinary product development. In: Proceedings of the International DESIGN Conference, Dubrovnik, 2012
- [Ehro9] EHRENSPIEL, K.: Integrierte Produktentwicklung. Carl Hanser Verlag, München, 2009
- [GB12] GEISBERGER, E.; BROY, M. (Hrsg.): agendaCPS – Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems (acatech STUDIE). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2012
- [GFo6] GAUSEMEIER, J.; FELDMANN, K.: Integrative Entwicklung räumlicher elektronischer Baugruppen. Carl Hanser Verlag, München, 2006
- [GLR+00] GAUSEMEIER, J.; LINDEMANN, U.; REINHART, G.; WIENDAHL, H.: Kooperatives Produktengineering – Ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 79, Paderborn, 2000
- [GM57] GOODE, H.; MACHOL, R.: Systems Engineering – An Introduction to the Design of large scale Systems. McGraw Hill, New York, 1957
- [GPW09] GAUSEMEIER, J.; PLASS, C.; WENZELMANN, C.: Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung – Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen. Carl Hanser Verlag, München, 2009
- [Hans6] HANSEN, F.: Konstruktionssystematik. VEB-Verlag Technik, Berlin, 1956
- [Han65] HANSEN, F.: Konstruktionssystematik. VEB-Verlag Technik, Berlin, 7. Auflage, 1965
- [Hon11] HONOUR, E. C.: Improved Correlation for Systems Engineering Return on Investment. In: Conference in Systems Engineering Research (CSER'11), April 15th/16th 2011, Redondo Beach, 2011
- [HWF+12] HABERFELLNER, R.; FRICKE, F.; DE WECK, O.; VÖSSNER, S.: Systems Engineering – Grundlagen und Anwendung. Orell Füssli Verlag, Zürich, 12. neu bearbeitete Auflage, 2012
- [INC07] INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING (INCOSE) (Hrsg): Systems Engineering Vision 2020. INCOSE-TP-2004-004-02, Version/Revision: 2.03, September 2007
- [INC10] INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING (INCOSE): Systems Engineering Handbook – A Guide for System life cycle processes and activities. International Council on Systems Engineering (INCOSE), Version 3.2, 2010
- [KHL+11] KUSTER, J.; HUBER, E.; LIPPMANN, R.; SCHMID, A.; SCHNEIDER, E.; WITSCHI, U.; WÜST, R.: Handbuch Projektmanagement. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2011

- [Lin09] LINDEMANN, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte – Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 3. Auflage, 2009
- [MA13-01] MODELICA ASSOCIATION: Functional Mock-up Interface (FMI). Unter: <https://www.fmi-standard.org/>, 10. September 2013
- [Mbt11] MBTECH CONSULTING GMBH: Trendanalyse: Vernetztes Fahrzeug 2015: Die wichtigsten Trends und Herausforderungen in der Fahrzeugtelematik. Sindelfingen, 2011
- [Mue90] MÜLLER, J.: Arbeitsmethoden der Technikwissenschaften – Systematik – Heuristik – Kreativität. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1990
- [Neg98] NEGELE, H.: Systemtechnische Methodik zur ganzheitlichen Modellierung am Beispiel der integrierten Produktentwicklung. Dissertation, TU München, 1998
- [Pat82] PATZAK, G.: Systemtechnik – Planung komplexer innovativer Systeme. Springer-Verlag, Wien, 1982
- [PB93] PAHL, G.; BEITZ, W.: Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung. Springer-Verlag, Berlin, 3. Auflage, 1993
- [PBF+07] PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K.-H.: Konstruktionslehre – Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung – Methoden und Anwendung. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 7. Auflage, 2007
- [Pilo6] PILLER, F. T.: Mass Customization - Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2006
- [PL11] PONN, J.; LINDEMANN, U.: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte – Systematisch von Anforderungen zu Konzepten und Gestaltungsformen. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2. Auflage, 2011
- [Pro12] PROSTEP IVIP: Smart Systems Engineering. Unter: <http://www.prostep.org>, 29. Juni 2012
- [Rot82] ROTH, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1982
- [Ruh13-01] RUHKAMP, C.: Car-to-X-Technologie – Das vernetzte Auto geht 2015 in Serie. Unter: <http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/unternehmen/car-to-x-technologie-das-vernetztes-auto-geht-2015-in-serie-12238398.html>, 10. September 2013
- [Sag95] SAGE, A. P.: Systems Management for Information Technology and Software Engineering. John Wiley & Sons, West Sussex, 1995
- [Sen09] SENDLER, U.: Das PLM-Kompendium. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2009
- [SHI+11] STARK, R.; HAYKA, H.; ISRAEL, J. H.; KIM, M.; MÜLLER, P.; VÖLLINGER, U.: Virtuelle Produktentstehung in der Automobilindustrie. Informatik Spektrum, 34(1), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2011
- [Sta73] STACHOWIAK, H.: Allgemeine Modelltheorie. Springer-Verlag, Wien, 1973
- [Str98] STRUBE, G.: Modelling Motivation and Action Control in Cognitive Systems. In: Schmid, U.; Krems, J. F.; Wysocki, F. (Hrsg.): Mind Modelling. Pabst, Berlin, 1998
- [SVE+07] STAHL, T.; VÖLTER, M.; EFFTINGE, S.; HASSE, A.: Modellgetriebene Softwareentwicklung: Techniken, Engineering, Management. dpunkt.verlag, Heidelberg, 2. Auflage, 2007
- [SWM10] STÖBER, C.; WARTZACK, S.; MEERKAMM, H.: Process Oriented DfX Support. Nord Design, Göteborg, 2010

- [Sys12] SYSTEMS ENGINEERING RESEARCH CENTER (SERC): 2010 Annual Report – A US Department of Defense University Affiliated Research Center. Unter: http://www.sercuarc.org/uploads/files/SERC-Inside-Pages2010_FINAL.pdf, 30. Juni 2012
- [TZZ98] TERNINKO, J.; ZUSMAN, A.; ZLOTIN, B.: TRIZ – der Weg zum konkurrenzlosen Erfolgsprodukt, Ideen produzieren, Nischen besetzen, Märkte gewinnen. Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech, 1998
- [VDI2206] VDI-RICHTLINIE 2206: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. Beuth-Verlag, Berlin, 2004
- [VDI3633] VDI-RICHTLINIE 3633: Simulation von Logistik-, Materialfluß und Produktionssystemen. Beuth-Verlag, Berlin, 1996
- [Wie48] WIENER, N.: Cybernetics: Or the Control and Communication in the Animal and the Machine. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1948
- [WZ]+05] WELFENS, P.J.J.; ZOCH, P.; JUNGMITTAG, A.; BECKERT, B.; JOISTEN, M.: Internetwirtschaft 2010 – Perspektiven und Auswirkungen. Physica-Verlag, Heidelberg, 2005

Bildnachweise

- Cover © Sdell (Fotolia), © snapfoto105 (Fotolia), © Sergei Poromov (Fotolia), © Lev (Fotolia), © Marianne Mayer (Fotolia), © Ingo Bartussek (Fotolia)
- Bild S. 13 © Srecko Djarmati (Fotolia), © hfng (Fotolia), © ZILJA MASIK (Fotolia), © Paul Fleet (Fotolia)
- Bild 1-4, S. 18 © mattilda (Fotolia), © RRF (Fotolia), © nali (Fotolia), © electriceye (Fotolia), © Zbynek Jirousek (Fotolia), © Julien Jandric (Fotolia), © hfng (Fotolia), © Maksim Toome (Fotolia), © Roland Hulin (Fotolia), © popov48 (Fotolia), © Srecko Djarmati (Fotolia)

Glossar

Car-to-X-Kommunikation

Car-to-X-Kommunikation bezeichnet den drahtlosen Informationsaustausch von Fahrzeugen untereinander sowie zwischen Fahrzeugen und der Verkehrsinfrastruktur [Ruh13-01].

Cyber-Physical Systems

Cyber-Physical Systems sind eingebettete Systeme, die mittels Sensoren unmittelbar physikalische Daten erfassen und mittels Aktoren auf physikalische Vorgänge einwirken. Sie sind durch digitale Netze miteinander verbunden, nutzen weltweit verfügbare Daten und Dienste und verfügen über multimodale Mensch-Maschine Schnittstellen. Cyber-Physical Systems sind offene soziotechnische Systeme. Wesentliche Anwendungsfelder für Cyber-Physical Systems sind Smart Mobility (intelligente Mobilität), Smart Health (Fernbetreuung und -diagnose in der Medizin), Smart Grid (intelligente Energienetze) und Smart Factory (intelligent vernetzte Produktion, siehe Industrie 4.0) [GB12]. siehe Intelligente technische Systeme

Functional Mockup Interface (FMI)

FMI ist ein werkzeugunabhängiger Standard zum Austausch von Simulationsmodellen sowie zur Co-Simulation von dynamischen Modellen. Der FMI-Standard erlaubt die Integration von Modellen unterschiedlicher Fachdisziplinen; auf dieser Grundlage lassen sich frühzeitig systemrelevante Aussagen über das zu entwickelnde System treffen [MA13-01].

Industrie 4.0

Der Begriff Industrie 4.0 beschreibt die vierte industrielle Revolution; eine neue Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten. Basis hierfür ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit. Durch die Vernetzung von Menschen, Objekten und Systemen entstehen dynamische, echtzeitoptimierte und sich selbst organisierende Wertschöpfungsnetzwerke. Diese lassen sich hinsichtlich unterschiedlicher Kriterien wie bspw. Kosten, Verfügbarkeit und Ressourcenverbrauch optimieren [BIT13-01].

Intelligente technische Systeme (ITS)

Intelligente technische Systeme sind vernetzte und hochkomplexe Produkte. Softwarekomponenten werden in Maschinen und Anlagen integriert; sie übernehmen Steuerung, Regelung und Datenverarbeitung und verleihen technischen Systemen eine maschinelle Intelligenz. Intelligente technische Systeme zeichnen sich durch vier zentrale Eigenschaften aus: Sie interagieren mit dem Umfeld und passen sich diesem autonom an (adaptiv). Intelligente technische Systeme bewältigen unerwartete Situationen in einem dynamischen Umfeld (robust). Auf Basis von Erfahrungswissen werden Gefahren frühzeitig erkannt und die passenden Strategien zu ihrer Bewältigung ausgewählt (vorausschauend). Darüber hinaus passen sie sich dem Benutzerverhalten an, dabei ist ihr Verhalten für den Benutzer stets nachvollziehbar (benutzungsfreundlich). siehe Cyber-Physical Systems

Mass Customization

Mass Customization beschreibt die Erstellung individueller Produkte und Leistungen mit der Effizienz einer vergleichbaren Massenproduktion. Mass Customization ist die Basis für den Aufbau dauerhaft profitabler Kundenbeziehungen [Pilo6].

Methode

Eine Methode ist eine regelbasierte planmäßige Vorgehensweise zur Erreichung eines bestimmten Zieles [PBF+07].

Model-Based Systems Engineering (MBSE)

MBSE bezeichnet die Formalisierung und Implementierung von Modellen zur durchgängigen Unterstützung in allen Phasen der Produktentstehung. MBSE beginnt in der Konzipierungsphase und wird durchgängig über den gesamten Produktentstehungsprozess hinweg als Kommunikations- und Kollaborationsbasis eingesetzt. MBSE hat das Ziel, dokumentenzentrierte Vorgehensweisen, welche von Systemingenieuren in der Vergangenheit praktiziert wurden, zu ersetzen [INCo7].

Modell

Ein Modell beschreibt eine vereinfachte, auf ein bestimmtes Ziel ausgerichtete Darstellung der Merkmale eines Betrachtungsgegenstands. Die Modellbildung erleichtert bzw. ermöglicht die Analyse komplexer Betrachtungsgegenstände [Sta73].

Modellierungssprache

Eine Modellierungssprache dient der abstrakten Beschreibung eines Sachverhalts. Die Sprachspezifikation einer Modellierungssprache umfasst ein Metamodell sowie die Definition der konkreten Syntax und der dynamischen Semantik. Die dynamische Semantik definiert, welche Bedeutung ein konkretes Modellelement im Kontext eines bestimmten Datenmodells (Instanz des Metamodells) besitzt. Die konkrete Syntax legt fest, welche Modellelemente durch welche Symbole graphisch repräsentiert werden [SVE+07].

Product Lifecycle Management (PLM)/Produktdatenmanagement (PDM)

PLM bezeichnet ein integriertes Konzept zur ganzheitlichen unternehmensweiten Verwaltung und Steuerung sämtlicher Informationen über den gesamten Produktlebenszyklus. Das Konzept umfasst Methoden, Prozesse und Werkzeuge und integriert diese in eine Umgebung, so dass Informationen zur richtigen Zeit in benötigter Qualität am richtigen Ort bereitstehen. Dabei stellt das PDM-System als technologische Integrationsplattform die essentielle Basis für PLM dar [Sen09], [ADE+11].

Produktentstehungsprozess

Der Produktentstehungsprozess erstreckt sich von der Produkt- bzw. Geschäftsidee bis zum Serienanlauf (Start of Production – SOP). Er besteht aus den Aufgabenbereichen strategische Produktplanung, Produktentwicklung und Produktionssystementwicklung [GPW09].

Produktlebenszyklus (PLZ)

Der Produktlebenszyklus umfasst die Produktentstehung, also strategische Produktplanung, Produkt- und Produktionssystementwicklung sowie Fertigung, Distribution, Nutzung und Rücknahme [GLR+00].

Projekt

Ein Projekt ist ein zeitlich befristetes, einmaliges und komplexes Vorhaben mit definiertem Anfangs- und Endzeitpunkt. Es dient der Lösung einer eindeutigen Aufgabenstellung im Rahmen vorgegebener Termin-, Kosten-, Qualitätsziele [KHL +11].

Simulation

Simulation ist ein Verfahren zur Nachbildung eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. Im weiteren Sinne wird unter Simulation das Vorbereiten, Durchführen und Auswerten gezielter Experimente mit einem Simulationsmodell verstanden. Mit Hilfe der Simulation kann das zeitliche Ablaufverhalten komplexer Systeme untersucht werden [VDI3633].

Smart Factories

Ein einzelnes oder ein Verbund von Unternehmen, die Informations- und Kommunikationstechnik zur Produktentwicklung, Produktionssystementwicklung, Produktion, Logistik und Koordination der Schnittstellen zu den Kunden nutzt. Durch die Kommunikation von Menschen, Maschinen und Ressourcen beherrscht die Smart Factory Komplexität, ist weniger störanfällig und steigert die Effizienz in der Produktion. Die Smart Factory (intelligente Fabrik) ist ein wichtiges Element von Industrie 4.0 [AF13].

System

Ein System besteht aus Elementen, die durch strukturelle, hierarchische und funktionale Beziehungen verbunden sind. Das zu entwickelnde System wird durch eine willkürlich gesetzte Grenze (Systemgrenze) festgelegt [HWF+12].

Systemdenken

Systemdenken bezeichnet eine Denkweise, die es ermöglicht, komplexe Systeme besser verstehen und gestalten zu können. Im Mittelpunkt des Systemdenkens steht die modellhafte Abbildung. Dadurch können komplexe Systeme und Zusammenhänge veranschaulicht werden [HWF+12].

Systemelement

Ein Systemelement repräsentiert einen Teil eines Systems, der noch nicht endgültig ausgeprägt ist. Es kann ein oder mehrere Lösungsmuster umsetzen. Systemelemente werden zur Modellierung der Wirkstruktur verwendet. Während der Produktentwicklung werden die Systemelemente konkretisiert und führen zu Modulen, Bauteilen/Baugruppen oder Softwarekomponenten [HWF+12].

Systemmodell

Das Systemmodell beinhaltet abstrakte fachdisziplinübergreifende Informationen des gesamten Systems (Produkt und Produktionssystem). Es werden verschiedene Aspekte des Systems betrachtet: z.B. Umfeld, Funktionen, Wirkstruktur, Fertigungsprozesse [HWF+12].

Systems Engineering

Systems Engineering ist ein interdisziplinärer Ansatz zur Entwicklung komplexer Systeme. Wesentlicher Bestandteil ist das Systemdenken. Dieses beinhaltet die Möglichkeit, komplexe Erscheinungen (Systeme) besser verstehen und gestalten zu können. Das System ist dabei ganzheitlich über den Entwicklungsprozess von der Definition der Anforderungen über den Systementwurf bis zur Validierung zu betrachten [INCo7], [HWF+12].

Virtual Prototyping

Virtual Prototyping bezeichnet die Erstellung einer rechnerinternen Repräsentation von sich in Entwicklung befindlichen Produkten und Produktionsanlagen. Basierend auf dieser rechnerinternen Repräsentation werden Analysen zum Nachweis der Funktionsfähigkeit durchgeführt. Dies spart Zeit und Geld, weil auf den Bau und den Test von realen Prototypen verzichtet werden kann [GPW09].

Virtualisierung

Virtualisierung bezeichnet das Herstellen von virtuellen (d.h. nicht physikalischen) Objekten. Diese Objekte sind losgelöst von konkreten Betriebsmitteln wie z.B. einer Hardwareplattform [GB12].

X-By-Wire-Technologien

Ansätze, welche die mechanische Steuerung von beispielsweise Fahrzeugen entkoppeln. Sollwerte werden über Sensoren erfasst und entsprechende Stellglieder über Aktoren angesteuert. Hierbei gelten hohe Anforderungen an die Echtzeitfähigkeit und Zuverlässigkeit.

X-in-the-Loop (XiL)

XiL beschreibt eine durchgängige und integrierte Simulations- und Testumgebung. Das „X“ steht für den zu untersuchenden Prüfling, die Unit Under Test (UUT). Diese kann in unterschiedlichem Granularitätsstufen vorliegen und wird im Bedarfsfall problemspezifisch mit in Hardware vorliegenden Teilsystemen gekoppelt werden.

Zulieferkette Automobilindustrie

Die Zulieferkette in der Automobilindustrie ist geprägt durch eine Pyramiden-Struktur. An der Spitze steht der Automobilproduzent – der OEM. Der OEM wird von einigen wenigen Systemlieferanten direkt beliefert; diese Systemlieferanten werden als Tier-1 bezeichnet. Der Tier-1 beschafft wiederum Produkte von Modullieferanten, die als Tier-2 bezeichnet werden. Diese Struktur zieht sich entsprechend weiter fort.

Impressum

Erscheinungsjahr 2013
Erscheinungsort Paderborn

Herausgeber

Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Lehrstuhl für Produktentstehung
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT –
Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik
UNITY AG

Verfasser

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier
Dr.-Ing. Roman Dumitrescu
Dr.-Ing. Daniel Steffen

Dipl.-Wirt.-Ing. Anja Czaja
Dipl.-Wirt.-Ing. Olga Wiederkehr
Dipl.-Wirt.-Ing. M.Eng. Christian Tschirner

Gestaltung Anell Bernard, Alexander Birkle, Alina Linden
Druck wentker druck GmbH

Alle Rechte, insbesondere Rechte der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung vorbehalten.

Die Verwendung dieses Werkes ist nur dem seinen Zweck nach bestimmten Gebrauch erlaubt. Eine andere Verwendung als für diese Bestimmung bedarf einer vorherigen schriftlichen Genehmigung der Herausgeber.

© 2013



Heinz Nixdorf Institut
Universität Paderborn
Fürstenallee 11
33102 Paderborn
Telefon +49 (0) 5251 | 60 62 67
Telefax +49 (0) 5251 | 60 62 68
www.hni.uni-paderborn.de

Fraunhofer-Institut
für Produktionstechnologie IPT
Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik
Zukunftsmeile 1
33102 Paderborn
Telefon +49 (0) 5251 | 54 65 101
www.ipt.fraunhofer.de

UNITY AG
Lindberghring 1
33142 Büren
Telefon +49 (0) 2955 | 74 3 0
Telefax +49 (0) 2955 | 74 3 299
www.unity.de