

# ZURÜCK IN DIE ZUKUNFT: SYSTEMS ENGINEERING!

S. Finkel<sup>1</sup>, S. Märkl<sup>1</sup>, C. Kessler<sup>2</sup>

<sup>1</sup>3DSE Management Consultants GmbH, Seidlstraße 18a, 80335 München, Deutschland

<sup>2</sup>Astronautin GmbH

## Zusammenfassung

Systems Engineering (SE) beinhaltet bewährte Ansätze, um sehr neue, sehr große, sehr komplexe und typischerweise Einzelprodukte oder Missionen zu liefern (z.B. "eine bemannte Mondlandung durchführen und zur Erde zurückkehren"). Die in fast allen Branchen aufkommende Notwendigkeit, agiler, skalierbarer und profitabler zu werden, erfordert eine Auffrischung der "klassischen" Interpretation von SE. Nachfolgend wollen wir auf der Grundlage unserer Erfahrungen, Beobachtungen und Praktiken unserer Beratungstätigkeit in unterschiedlichen Industrien Teaser und Ideen für die Luft- & Raumfahrtindustrie zur Verbesserung von SE bieten. Der Schwerpunkt liegt hier auf der Kombination von SE mit agilen Ansätzen und Aspekten der Modularisierung und Wiederverwendung.

## Keywords

Systems Engineering; Agile; Modularisierung; Product Line Engineering; Luftfahrt; Raumfahrt

## 1. EINFÜHRUNG

Neue und digitale Geschäftsmodelle, hochvernetzte Systeme (z.B. Internet der Dinge), mechatronische und softwareintensive Produkte, anspruchsvolle Zertifizierungsanforderungen (ISO26262, ARP4754, Automotive SPICE, etc.) stellen sowohl etablierte als auch neue Unternehmen aller Branchen vor sehr hohe Herausforderungen. Mit altbewährten Praktiken und den teilweise auf dem „Heldentum“ einzelner Experten basierenden Problemlösungsfähigkeiten sowie Barrieren und Formalitäten zwischen organisatorischen "Silos", ist die heutige Komplexität nicht mehr hinreichend zu bewältigen. SE, wie es ursprünglich in der Raumfahrtindustrie z.B. durch das Apollo-Programm in den 1960er Jahren entwickelt wurde, enthält zahlreiche Ansätze, um große und neue Projekte (z.B. Funktionsanalyse, Architektur, Trade-off-Entscheidungen) systematisch zu strukturieren und in interdisziplinären Teams anforderungs- und normgerecht umzusetzen.

In den frühen 2000er Jahren fanden diese Ansätze auch in anderen Branchen Eingang. Mechatronische Systeme waren auf dem Vormarsch, das Zusammenspiel von Mechanik, Elektrik/Elektronik und Software hielt Einzug in viele der traditionellen Maschinenbauunternehmen. Mit aktuellen Bewegungen in Richtung Industrie 4.0, IoT oder vernetzten High-Tech-Systemkonstellationen wie autonomes Fahren ist der Trend hin zu SE in großen und mittleren Unternehmen noch ausgeprägter. Um die neue Komplexität und Marktdynamik in den Griff zu bekommen und handlungsfähig zu bleiben, setzen Unternehmen aus den unterschiedlichsten Branchen wie der Automobilindustrie, der Landtechnik, der Medizintechnik oder dem Schiffbau Programme zur Verankerung von SE auf. SE hat sich in vielen Facetten entwickelt, um den Besonderheiten dieser Branchen gerecht zu werden, wie z.B. Design to Value, Modularisierung, Wiederverwendung und Variantenmanagement. Darüber hinaus wird SE durch moderne, agile Arbeitsmethoden wie Scrum, Kanban und Design Thinking ergänzt. Die agile Produktentwicklung bewegt sich derzeit in Richtung skaliert agiler Ansätze,

die auch Projektportfolio, Organisation und Führung umfassen [1]. Eine agile F&E ist konsequent auf wertschöpfende Tätigkeiten ausgerichtet und adaptiert sich schnell an sich ändernde Kundenbedürfnisse und Rahmenbedingungen.

Insbesondere in der Luft- & Raumfahrtindustrie ist SE ein etablierter und effektiver Ansatz zur systematischen Bewältigung komplexer Herausforderungen. Abhängig von den individuellen Zielen, dem Geschäftsmodell, dem Kontext und der Historie kann ein Luft- & Raumfahrtunternehmen davon profitieren, seinen SE-Ansatz zu hinterfragen und durch agile Methoden zu ergänzen. Dies gilt insbesondere in Bereichen, in denen die zahllosen Start-ups frischen Wind in die Szene bringen oder in stark skalierenden Bereichen wie den kommenden "Mega"-Satellitenkonstellationen. Neue Ansätze zeichnen sich derzeit ab. Beispielsweise müssen viele Komponenten, etwa in der Elektronik, nicht von Grund auf neu entwickelt werden, sondern können als COTS („Components Of The Shelf“) z.B. von Automobilzulieferern bezogen und dann angepasst und getestet werden. Auch Modularisierungs- und Wiederverwendungsansätze werden intensiviert, die z.B. im Automobilbereich etabliert sind und das Potenzial kundenindividueller Lösungen bei vertretbarem Aufwand bieten. Es geht nicht mehr notwendigerweise um die ausgereifteste Technologie, sondern darum, kleinere Systeme auf den tatsächlichen Kundennutzen auszurichten, kostengünstiger und schneller zu entwickeln und damit in Betrieb zu nehmen.

## 2. CHARAKTERISTIKA VON „KLASSISCHEM“ SE

Der ursprüngliche Schwerpunkt von SE lag vor allem auf Projekten, die ein sehr neues, sehr großes und sehr komplexes und oft Einzelprodukt oder eine Mission liefern mussten.

Typische Merkmale des "klassischen" SE sind:

- Stark prozessorientiert: z.B. ISO15288
- Top-Down Entscheidungen, klare Hierarchie

- Ganzheitlich, Streben nach Vollständigkeit
- Hohe Qualität, Perfektion, Null-Fehler-Philosophie
- Einzellösungen, Kleinserien, auf bestimmte Mission oder ein bestimmtes Produkt optimiertes System

### 3. ERGÄNZENDE BAUSTEINE FÜR EIN ZUKUNFTSFÄHIGES SE: AGILE ANSÄTZE, MODULARISIERUNG & WIEDERVERWENDUNG

#### 3.1. Modernes SE

Die rein "klassischen" SE-Prozesse bieten einen bewährten Rahmen zum Beherrschen von Komplexität, reichen aber für die neuen Herausforderungen in den heutigen Märkten nicht mehr aus. Die Notwendigkeit von Schnelligkeit, Flexibilität, kundenindividuellen Lösungen („Mass-Customization“) und Kosteneffektivität erfordert eine Auffrischung und pragmatische Interpretation. SE braucht moderne Elemente, um den klassischen Ansatz zu vervollständigen.

Technische Komplexität wird durch organisationsinterne Hindernisse und ständig steigenden Markt- und Wettbewerbsdruck zu einer neuen Gesamtkomplexität erhöht. Konnten in der früheren Vergangenheit Systeme "in Ruhe" entwickelt und zur Reife gebracht werden, so können heute schon wenige Monate ausreichen, um einen etablierten Markt komplett umzuwerfen. Unternehmen und Organisationen müssen ihre Strategie für stark volatile Zukunftsszenarien entwickeln und diese konsequent verfolgen und ggf. schnell adaptieren. Beispiel - Ziele der ESA-Technologie-Strategie 2019: Als Wegweiser auf dem Weg zu größtmöglicher Wettbewerbsfähigkeit und als Versicherung für ambitionierte Zukunftsprojekte veröffentlichte die ESA die folgenden strategischen Ziele für ihre Entwicklungsprozesse [2]:

- 30% Verbesserung der Entwicklungszeit von Raumfahrzeugen bis 2023
- Verbesserung der Kosteneffizienz um eine Größenordnung mit jeder Generation
- 30% schnellere Entwicklung und Einführung innovativer Technologien.
- Umkehrung des europäischen Beitrags zum Weltraummüll bis 2030, so dass künftige Generationen den Weltraum weiterhin in vollem Umfang nutzen können.

Im gegenwärtigen Trend der Digitalisierung liegt die Vermutung nahe, dass diese Ziele im Wesentlichen durch neue oder verbesserte digitale Werkzeuge erreicht werden können. Aus unserer Expertise sind jedoch auch weitere Aspekte in der Regel gleichermaßen relevant bzw. Voraussetzung für die Nutzung von Digitalisierungspotenzialen: Arbeitsmethoden, Organisationsstruktur, Prozesse und Kultur. Hier können agile Ansätze zu einem modernen SE-Ansatz beitragen. Wie kann modernes SE charakterisiert werden? Neben den klassischen SE-Prozessen braucht SE moderne Komponenten, z.B. agile und modellbasierte Methoden, UX (User Experience) sowie Ansätze zur Modularisierung, um schnell und flexibel genug am Markt zu sein und wirtschaftlich höchsten Kundennutzen und individuelle Lösungen liefern zu können.

Modernes SE

- ... ist konsequent auf Kundenbedürfnisse, Kundenwert und Marktpotenzial ausgerichtet

- ... ist konsequent und ganzheitlich
- ...ist interdisziplinär (abteilungs-, geschäftsbereichs-, unternehmensübergreifend, ...)
- ... ermöglicht modulare und skalierbare Systeme/ Architekturen
- ... ist schlank, schnell und flexibel
- ... ist adaptiv, iterativ und inkrementell
- ... ist modellbasiert und automatisiert
- ... ist standard- und normenkonform
- ...stellt die Zertifizierung sicher

#### 3.2. Agile Ergänzungen

Warum sollte SE um agile Aspekte ergänzt werden?

SE ist klassischerweise planungs- und prozessorientiert, mit dem Schwerpunkt auf der korrekten Erzielung des (spezifizierten) Ergebnisses am Ende des Projekts und einer definierten Vorgehensweise. Je nach Komplexität, Neuartigkeit oder Veränderbarkeit der Aufgabe kann dieser Weg jedoch sehr unvorhersehbar sein. Der SE-Ansatz bietet ein starkes entwicklungsmethodisches Fundament, zeigt aber seine Grenzen vor allem in der teilweise starren Ausprägung der Prozesse und in der geringen Freiheit, auf Veränderungen der Projekthalte, des Marktes, der Kundenanforderungen zu reagieren sowie kurzfristig neue Technologien oder Erkenntnisse zu integrieren. SE wird tendenziell eher als plan-getrieben gelebt als flexibel und adaptiv.

Gerade in diesen Bereichen entfaltet eine agile Entwicklungsmethodik ihre Stärken. In unseren Kundenprojekten setzten wir zunehmend auf ein spezifisch auf das Unternehmen und die Aufgabe abgestimmtes Hybridmodell aus SE und Agilität, in dem die Stärken beider Welten kombiniert werden.

Obwohl das Konzept der Agilität heute in der Industrie weit verbreitet ist und große Hoffnungen weckt, ist es oft von hartnäckigen Mythen umgeben - "agile arbeiten" bedeutet nicht, unsystematisch, willkürlich oder gar chaotisch zu arbeiten. Das Gegenteil ist der Fall. Wenn Agile richtig umgesetzt wird, entsteht ein Arbeitsmodell, das ähnlich systematisch wie SE ist und klare Rollen, Verantwortlichkeiten und Strukturen hat. Denkweisen und Prinzipien bedürfen in der Regel der stärksten Transformationsenergie und brauchen Übung in der Umsetzung, um ihren Wert zu entfalten.

Worin besteht der Mehrwert von Agile im SE?

- Ganzheitlicher Ansatz, der den organisatorischen Rahmen für Entwicklungsaktivitäten bildet, unabhängig von spezifischen Entwicklungsmethoden
- Hohe Kundenorientierung und Fähigkeit, auf Veränderungen zu reagieren (Nachfrage, Markt, Technologie, ...)
- Hohe Gestaltungsfreiheit und Anpassungsfähigkeit des Arbeitsmodells
- Starkes Timing und Rhythmus der Aktivitäten
- Klare (Zwischen)Ereignisse und regelmäßige Synchronisationspunkte
- Schwerpunkt auf Lernen und kontinuierliche Verbesserung der Arbeitsmethoden (Inspect & Adapt)
- Starker kooperativer Ansatz mit erhöhter Verantwortung der "Wissensarbeiter"
- Skalierbarkeit je nach Aufgabenumfang und Komplexität
- Die Entscheidungsgewalt liegt im Team, nicht in einzelnen Meinungen

- Methodisches Instrumentarium für die Priorisierung von Aufgaben, Schätzung des Aufwands, Definition von Akzeptanzkriterien
- Transparenz durch Metriken zur Messung von Fortschritt und Entwicklungsgeschwindigkeit

Ein hybrider Ansatz „SE+Agile“ kann eine deutliche Steigerung von Produktqualität, Entwicklungsgeschwindigkeit, Budgeteinhaltung bzw. Profitabilität sowie Mitarbeiteridentifikation bewirken. Ein agiler Ansatz trägt dabei mit einer um 15-30% kürzeren Produkteinführungszeit, einem um 40-60% geringeren Risiko von Terminüberschreitungen und bis zu 45-60% weniger technischen Risiken bei [3].

Aus den Erfahrungen unserer Projekte lässt sich eine weitere Differenzierung vornehmen. Häufig wird die Diskussion über agile Methoden auf SCRUM oder KANBAN reduziert. Diese sind als Grundlage sinnvoll und notwendig, auch um erste Erfahrungen mit der Methodik/dem Denken zu erlangen und Anpassungsbedarfe zu erkennen. Basismethoden haben jedoch einen klar definierten Fokus auf Grundstrukturen. Im Fall von SCRUM z.B. liegt der Schwerpunkt auf einem klar abgegrenzten, unabhängig arbeitenden agilen Team. Bei komplexen Entwicklungsprojekten ist dies jedoch in der Regel nicht mehr realistisch. Es sind zahlreiche Teams und Disziplinen beteiligt. Daher ist die Auseinandersetzung mit agilen, skalierten Ansätzen notwendig. Dies ist besonders relevant für den Arbeitsrhythmus parallel arbeitender Teams, deren Synchronisation und das Erkennen/Freigeben von Abhängigkeiten. Die bekanntesten sind die agilen Frameworks SAFe (Scaled Agile Framework) und LeSS (Large Scale Scrum), wobei SAFe einen stärker definierten Rahmen bietet, während LeSS viel Freiheit zum Lernen und individuellen Ausgestalten bietet. Beiden gemeinsam ist, dass die agilen Grundprinzipien bei der Skalierung gleichbleiben, aber zusätzliche Rollen und Synchronisationspunkte geschaffen werden.

### 3.3. Modularisierung und Wiederverwendung

Modularisierung und Wiederverwendung sind Stellhebel, kundenindividuelle Lösungen profitabel zu realisieren. So sind z.B. Plattformen bzw. Produktlinienansätze in der Automobilindustrie breit etabliert. Typischerweise bedient eine „Backbone“-Architektur verschiedene Produkte. Standardisierte Module (z.B. E/E-Komponenten) werden für ein breites Spektrum innerhalb einer Produktliniengeneration wiederverwendet.

Charakterzüge von Modularisierungs- und Wiederverwendungsansätzen sind:

- Standardisiert
- Kundenindividuell („Mass-Customization“)
- Sucht nach Kommunalitäten, wiederverwendungsorientiert
- Balanciert und steuert externe und interne Varianz
- Lebenszyklus-Geschäftsmodell und ROI (statt Einzelprojekt-ROI)

Typische Ziele von Modul- und Plattformansätzen reichen von der Erhöhung des Marktanteils durch kürzere Markteinführungszeit und Massen Anpassung, reduzierten Risiken durch verringerte Nicht-Qualität bis hin zu reduzierten Kosten durch Variantenreduzierung und Skalenvorteilen. Typischerweise zielen unsere Kunden auf etwa 15-40 % Kosteneinsparungen durch einen

modularen Plattformansatz gegenüber Einzelprodukten ab.

Zukunftsfähiges SE greift die etablierten, "klassischen" SE-Prozesse und -Prinzipien (z.B. Requirements Engineering, Architekturdesign, Integration, Verifikation & Validierung, Konfigurations- & Änderungskontrolle, Lebenszyklusmodell-Management, ...) auf und erweitert diese, abhängig vom Geschäftsmodell, um Modularisierungs- und Wiederverwendungs-Ansätze.

## 4. DIMENSIONEN ZUR VERANKERUNG VON SE

Um modernes SE zum Leben zu bringen, müssen die beschriebenen Aspekte entlang unterschiedlicher Dimensionen der SE-Implementierung ausgerichtet werden. 3DSE verwendet ein eigenes Best-Practice-SE-Referenzmodell mit 8+1 Dimensionen, die ineinander verzahnt sein müssen. Für eine erfolgreiche und nachhaltige Implementierung oder Optimierung von SE haben sich die folgenden 8 Dimensionen als effektiv erwiesen: (1) Zielsystem, Führungsmodell und Anreize, (2) Arbeitsorganisation und interdisziplinäre SE-Rollen, (3) Systemarchitektur, (4) Systemdenken und SE-Mindset, (5) Systemkompetenz, Karrierepfad und Qualifikation, (6) Entwicklungslogik, Lebenszyklusperspektive und SE-Prozesse, (7) SE-Methoden, (8) digitale Fähigkeiten und IT-Tools. Die 9. Dimension fordert die stimmige Verzahnung der Einzel-Dimensionen miteinander.

### 4.1. Zielsystem, Führungsmodell und Anreize

Um Systeme ganzheitlich zu entwickeln, bedarf es eines Top-Down und zentral gesteuerten Zielsystems, das sich aus Kundennutzen, Geschäftsmodell und Unternehmensstrategie ableitet. In einem agilen, d.h. dynamischen Marktumfeld und kaum vorhersehbaren Randbedingungen gibt eine gemeinsam getragene Vision mit nur wenigen, aber zentralen Zielen, die sich an einem globalen Optimum orientieren, dem Team Orientierung während der gesamten Systementwicklung, insbesondere bei Systementscheidungen. Sind Gesamtvision und Schlüsselziele klar und durch das Team mitgetragen, wird sich ein („empowered“) Team selbständig an sich ändernde Rahmenbedingungen adaptieren. Ein zentraler Faktor ist eine dienende Führung („Servant Leadership“) und die Befähigung und Ermächtigung des Teams. So werden lange Entscheidungskaskaden und damit verbundene Verzögerungen reduziert. Dies funktioniert aber nur mit der richtigen Kompetenz und Fähigkeit im Team.

Ein oft vernachlässigter, aber entscheidender Aspekt sind Anreiz- und Bonussysteme. Wenn das Handeln zugunsten eines globalen Optimums durch Anreize zur lokalen "Silo"-Optimierung verhindert wird, entstehen bestenfalls Subsysteme/Komponenten, aber kaum ein kundenbewertetes bzw. optimales Gesamtsystem.

Das globale Optimum im Kontext von Modularisierung und Wiederverwendung muss in einem erweiterten Rahmen definiert werden. Dabei bezieht sich das globale Optimum bzw. der Business Case nicht nur auf ein einzelnes Produkt, sondern auf den Lebenszyklus der gesamten Produktfamilie.

Durch den Einsatz agiler Elemente, insbesondere Backlog/ Backlog-Pflege, User Stories sowie regelmäßiges Rapid Prototyping, Systemintegration und Demos, kann der gewünschte Weg zum Ziel wesentlich flexibler und adaptiver gestaltet werden. Dies bedeutet

beispielsweise, dass das Ziel zunächst eher in Form einer User Story beschrieben wird, die sich erst mit geeigneten Akzeptanzkriterien füllt, wenn das System verstanden wird. Umfangreiches Frontloading zur Erstellung einer fiktiven und vollständigen Systemspezifikation kann auf das Wesentliche reduziert werden. Durch die Verwendung eines Produkt-Backlogs kann eine Priorisierung der zu implementierenden Funktionselemente transparent vorgenommen, die Größe der zu entwickelnden Elemente abgeschätzt und insbesondere der "Geschäfts- bzw. Kundenwert" von Lösungselementen als Kontrollinstrument eingesetzt werden. Für manche Team-Mitglieder wird zum ersten Mal greifbar, welchen Wert ihr Beitrag im Gesamtkontext beisteuert.

Eine Herausforderung liegt in diesem Zusammenhang oft in der Vertragsgestaltung, da es für die Beteiligten oft schwierig ist, eine Definition des endgültigen Liefergegenstandes zu finden. Hier gilt es, frühzeitig in der Vertragsgestaltung, entsprechende Prinzipien (SE+Agile) zu verankern bzw. Risiken und Chancen einer agilen Arbeitsweise mit dem Vertragspartner abzustimmen und das geeignete Maß zu finden.

#### 4.2. Arbeitsorganisation und interdisziplinäre SE-Rollen

Für die erfolgreiche Implementierung von SE in einem Unternehmen ist eine interdisziplinäre Organisation mit niedrigen Abteilungsbarrieren erforderlich. Dieses Prinzip ist im SE Stand der Technik und wird bei agilen Ansätzen voll unterstützt.

Systemarchitekten, Funktions- & Eigenschafts-Verantwortliche bilden die Klammern über dem System, moderieren die unterschiedlichen Disziplinen und haben das Mandat, Entscheidungen auf Systemebene herbeizuführen. Sie stellen sicher, dass eine optimale, kundenorientierte Gesamtlösung geschaffen wird, die alle Interessen der Stakeholder und die geltenden Rahmenbedingungen bestmöglich ausbalanciert. Integration, Verifikation & Validierung (IVV) Manager stellen sicher, dass die Lösung entsprechend Anforderungen und Architekturdefinition realisiert wird. Solche Rollen sind in Organisationen mit SE-Erfahrung in der Regel bereits etabliert und werden von skalierten Agilen Ansätzen annähernd vergleichbar aufgegriffen. Z.B. verwendet SAFe (Scaled Agile Framework) Rollen wie Lösungs- und Systemarchitekten und für Integrationsaufgaben Rollen wie Solution Train und Release Train Engineer.

Prinzipiell kann eine agile Arbeitsweise ohne umfangreiche organisatorische Anpassungen eingesetzt werden, da der grundlegende Wandel in der "Denkweise" und teilweise in der Arbeitsmethodik stattfindet. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, dass organisatorische Veränderungen genutzt werden können, um die neuen Denk- und Handlungsmuster zu etablieren. Dies beginnt mit der Bildung von interdisziplinären Teams (sofern diese nicht bereits bestehen). Ein Indikator interdisziplinärer Arbeitsweise ist, wenn Einzelbüros zunehmend verlassen wirken, da sich die Teams in Teamräumen/ Projektbereichen zur engen Zusammenarbeit versammeln.

Die Einbeziehung agiler Methoden und Denkweisen kann zu Verschiebungen in der Organisation führen, die gezielt gesteuert und moderiert werden sollten. Die traditionelle Definition von Rolle und Verantwortungsbereich wird hinterfragt und gegebenenfalls angepasst. Allerdings wird sich das Verständnis von Führung und Hierarchie ändern,

da Entscheidungsbefugnis und Verantwortung viel stärker an die („empowered“) Teams abgegeben werden. Dies stellt Entwickler und noch viel mehr vielmehr Führungskräfte vor große, auch persönliche Herausforderungen.

Für einen erfolgreichen Modularisierungs- und Wiederverwendungsansatz braucht die Arbeitsorganisation Rollen wie Plattformarchitekt, Moduleigner oder Produktlinienmanager, die Wiederverwendung sicherstellen und Variantenbildung über verschiedene Produkte hinweg steuern. Die Stärke des Mandats solcher Rollen hat einen wesentlichen Einfluss darauf, wie standardisiert oder individuell Produkte sein werden. Dies muss bei der Ausgestaltung der Organisation strategisch berücksichtigt werden.

#### 4.3. Systemarchitektur

Die Systemarchitektur ist ein abstraktes, aber zentrales Element eines Systems und ein wesentlicher Hebel für Skalierbarkeit, Modularität, Nachhaltigkeit und Handhabbarkeit des betreffenden Systems.

Aufgrund der interdisziplinären Teamzusammensetzung, welche SE wie Agile verfolgt, wird bereits ein wesentlicher Schritt in Richtung Systemdenken getan. D.h. die unterschiedlichen Domänen kämpfen darum, eine konsistente Lösung für eine gemeinsame Herausforderung zu finden. Insbesondere bei großen Entwicklungsprojekten ist eine enge Abstimmung der Schnittstellen zwischen den Teams erforderlich. Im Zusammenhang mit dem Scaled Agile Framework (SAFe) geht es dabei um die gemeinsame Planung eines großen Entwicklungsabschnitts in der PI-Planung, wie der im Luft- & Raumfahrtsektor etablierte Concurrent Engineering-Ansatz. Dieses Format hat einen erheblichen Einfluss auf das ganzheitliche Systemdenken, da allen Disziplinen der direkte Einfluss ihrer eigenen Aktivitäten auf andere Teams aufgezeigt wird.

In reinen SE-Umgebungen treten oft Schwierigkeiten auf, wenn sich Anforderungen, Kundenbedürfnisse oder Marktbedingungen ändern. Die Gefahr, lange Zeit in eine zunehmend "falsche" Richtung zu laufen, ist sicherlich gegeben. Hier kann ein agiles Vorgehen zu einer erheblichen Risikoreduktion führen. Dazu tragen vor allem die Priorisierung oder das Hinzufügen neuer Themen im Backlog sowie die 2-4-wöchige inhaltliche Planung des nächsten Sprints bei. So wird spätestens nach einem Zeitraum von 2-4 Wochen transparent, ob andere oder neue Prioritäten gesetzt werden müssen.

Eine skalierbare, modulare Architektur wägt externe Varianz (kundenindividuelle Produkte) und interne Varianz (technische/ lösungsseitige Varianten) ab. Solche Architekturen haben typischerweise einen gemeinsamen, generischen Architekturkern ("Backbone") als Basis für abgeleitete Produkte, welche dann Instanzen der Produktlinien-Architektur verwenden. Der Backbone-Architektur werden wiederverwendbare Module zugeordnet, Modulvarianten werden angelegt, allokiert und entlang von Variationspunkten innerhalb dieses Backbones organisiert. Architekturregeln definieren die Art und Weise der Realisierung der Wiederverwendung, d.h. Einschränkungen und Randbedingungen der Varianten-erstellung oder Architekturanpassungen. Die Architektur hat einen hohen Einfluss auf den Kompromiss zwischen hoher externer Varianz (was auch i.d.R. ein Über-Design impliziert) und dem Fokus auf ein einzelnes Produkt (perfekt auf ein Einzelprodukt ausgelegt).

Die Definition der Systemarchitektur ist eine kreative

Aktion und erfordert die Zusammenarbeit der besten Köpfe. Besonders in den frühen Phasen der Systementwicklung, in denen die Größe des Definitionsteams noch klein ist, kann ein Scrum-Modus, d.h. z.B. ein Architektur-Sprint, die Leistung durch ein fokussiertes, engagiertes und befähigtes Team verbessern, das das Architekturkonzept in Iterationen und Inkrementen "schmiedet" und seinen Fortschritt regelmäßig hinterfragt. Mit fortschreitender Architektur-/Systemreife und zunehmender Anzahl von Aufgaben wird die Teamgröße des Projekts zunehmen, und es muss entschieden werden, ob ein skalierter agiler Ansatz oder Elemente davon für die folgenden Phasen zielführend sind.

#### 4.4. Systemdenken und SE-Mindset

In Systemen zu denken und für das Ganze zu handeln, stellt für viele, nicht-traditionelle SE-Unternehmen eine Veränderung für Arbeitnehmer und Führung dar. Ein klares Ziel für SE, unterstützt und kommuniziert durch das Top-Management, ist Voraussetzung für den Kulturwandel. Ziel ist es, ein gemeinsames und konsistentes Bild zu erzeugen, was "System" und „SE“ für das Unternehmen bedeuten. Von allen Stakeholdern getragene SE-Prinzipien können eine gemeinsame Basis definieren. Das agile Manifest und die agilen Prinzipien können diese Prinzipien ergänzen, müssen aber für den spezifischen Kontext des Unternehmens interpretiert und ausgeprägt werden. Pilotprojekte, die mit Pilotteams schnelle und spürbare Erfolge bringen, wirken als Multiplikatoren für den notwendigen Wandel der Arbeitsweisen. Für die nachhaltige Verankerung der definierten Prinzipien ist ein langfristiges und professionelles Change Management notwendig (z.B. Kommunikationsoffensiven, Qualifizierungsmaßnahmen, Coaching, Assessments etc.). Am wichtigsten ist aber das Vorbildverhalten der Unternehmensleitung entsprechend den angestrebten Prinzipien und Denkweisen. Wenn z.B. systematische Wiederverwendung und Modularisierung ein Prinzip darstellt, muss das Management andere Business Case Logiken akzeptieren als für die Rentabilitätsrechnung eines Einzel-Produkts (ohne Produktlinienkontext).

#### 4.5. Systemkompetenz, Karrierepfad und Qualifikation

SE braucht hoch qualifizierte Mitarbeiter. Ein Systemarchitekt muss zum Beispiel einen Überblick über die Systemzusammenhänge haben, fundierte Entscheidungen treffen und die Systementwicklung leiten. SE-Manager sollten verschiedene Ansätze kennen und in der Lage sein zu entscheiden, ob und welche agilen Elemente geeignet sind und ob eine Modularisierungsstrategie der richtige Weg ist oder nicht. Um diese Spitzenkräfte anzusprechen, muss SE als Rolle und Karriere attraktiv sein. Ein wichtiger Hebel hierfür ist ein langfristiger Karrierepfad, der mehrere Rotationen über verschiedene Disziplinen entlang der Wertschöpfungskette und den Aufbau von Managementenerfahrung gewährleistet. Karrierepläne sollten durch langfristige Qualifizierungsmaßnahmen und gezieltes Coaching entlang der Karrierestufen ergänzt werden.

#### 4.6. Entwicklungslogik, Lebenszyklusperspektive und SE-Prozesse

Grundlage der Entwicklungslogik von SE sind nach wie vor das "V-Modell" und die SE-Prozesse nach INCOSE/ISO15288, insbesondere unter Berücksichtigung von Zertifizierung und Nachweisführung. Entscheidend ist jedoch, den Grad der Prozessdetaillierung und die geeigneten Methoden zur Prozessanwendung unternehmensspezifisch zu wählen, um die Organisation nicht unnötig zu lähmen und branchenspezifische Prozessanforderungen zu erfüllen. Grundsätzlich empfehlen wir, dass die Systementwicklung immer architekturgetrieben sein sollte und dass es möglich sein sollte, eine Entwicklungs- und Betriebslogik zu definieren, die während des gesamten Lebenszyklus eines Projekts konsequent angewendet wird.

SE-Entwicklungslogik und -Prozesse sind weiterhin Grundlage für eine Systementwicklung. Für frühere Validierung und bessere Adaptionsfähigkeit sollten agile Aspekte wie ein stärker iteratives und inkrementelles Vorgehen aufgegriffen werden (z.B. kürzere Iterationsschleifen durch virtuelles/ Rapid Prototyping, MVPs – Minimum Viable Products, ...). Dies führt zu einer wesentlich stärkeren Taktung im Entwicklungsprozess sowie zu der Möglichkeit, erreichbare Zwischenergebnisse wesentlich besser bewerten und Fortschritte transparent machen zu können. Unsere Erfahrung hat gezeigt, dass die zunehmende Transparenz über Ergebnisfortschritt und -beitrag zwar nicht immer im Sinne aller Beteiligten ist, aber durch verbesserte Ergebnisse gerechtfertigt ist.

Agile Ansätze bieten ein signifikantes Potenzial zur Erhöhung der Geschwindigkeit und Flexibilität der Entwicklung, müssen aber in einer Weise eingeführt werden, die konsistent und skalierbar mit der Umgebung und der Systemarchitektur ist. Wir verstehen agile Ansätze eher als Arbeitsmethoden, die die Leistung der Organisation steigern können, denn als ein eigenständiges Prozess-Framework. So kann z.B. ein sprintbasierter Modus für Anforderungserhebung, Architektur, Modulentwicklung, ... zu einer Steigerung von Geschwindigkeit und Ergebnisqualität beitragen.

Für die Entwicklung, Pflege und Verwaltung von Produktlinien und deren Wiederverwendung ist eine kaskadierte Entwicklungsprozesslandschaft erforderlich. D.h. z.B. ein Architektur/ „Backbone“-Entwicklungsprozess inkl. Pflege für die Produktlinie und ein (kürzerer und reduzierter) Entwicklungszyklus für Derivat-Produkte. Die Roadmap für produktübergreifende Module kann auch einen separaten Modulentwicklungsprozess erfordern.

#### 4.7. SE Methoden

Um Projekte in der Anwendung von SE zu unterstützen, benötigen Mitarbeiter konkrete, operationalisierte Methoden. Es ist günstig, ein Methodenset zu typischen SE-Aufgaben bereit zu stellen, z.B. zur Kategorisierung, Hierarchisierung und Priorisierung von Anforderungen, zur Funktionsanalyse, zur Modellierung, Kommunikation und Koordination von Architekturen, zur Entscheidung über die Erstellung/Beseitigung von Varianten, zur Durchführung technischer Reviews, zur Entwicklung einer Integrationsstrategie, zur Planung von Verifikations- und Validierungsmaßnahmen und zum konsequenten Nachweis der Einhaltung von Anforderungen. Insbesondere Scrum, als "die" grundlegende agile

Methode, bietet verschiedene Praktiken zur Verbesserung von SE-Aktivitäten. Der "ritualbasierte" Arbeitsmodus (Planung von Veranstaltungen, Retrospektiven, Tageszeitungen, Reviews) mit Kadenz und Synchronisation kann die Teams in einen konzentrierten und produktiven Fluss („Flow“) bringen. Starke Kundeninteraktion und kontinuierliche Validierung verringern das Risiko eines nicht kundenwerten Produkts. Anpassungen erfolgen schnell, Ressourcen werden bei Bedarf neu allokiert. Besprechungen finden informell, aber sehr strukturiert und diszipliniert statt, so dass schnelle Entscheidungen und Neukalibrierungen vorgenommen werden können.

#### 4.8. Digitale Fähigkeiten und IT Tools

Modellbasierte Ansätze (MBSE) und integriertes Product Life Cycle Management (PLM) bilden einen wesentlichen Effizienzhebel durch die Automatisierung administrativer Tätigkeiten (z.B. Dokumentation, Pflege von Links, Bereitstellung/ Finden von Informationen). Grundlage für die Ausschöpfung des Potenzials ist jedoch eine ausgereifte SE-Arbeitsweise mit hinreichend standardisierten Prozessen, Methoden und Rollen. Sobald diese vorhanden ist, ist es entscheidend, die digitale Transformation auf die Nutzer (Fachbereiche) und ihre Bedürfnisse / Use Cases abzustimmen. Allzu oft ist in Unternehmen eine Ablehnung neuer IT-Tools zu verzeichnen, bei deren Einführung zwar technische Aspekte umfassend berücksichtigt, Nutzerorientierung und -freundlichkeit aber rudimentär gehandhabt wurden. Die Erhöhung digitaler Fähigkeiten verbessert die Basis für agile Arbeitsansätze. Z.B. kam Scrum in der Softwareentwicklung auf, wo Rapid Prototyping schon vor Jahren möglich war. Zeitkonstanten für Iterationen in der Nicht-Software-Entwicklung werden durch die Nutzung von MBSE-, PLM- und Virtual-Engineering-Möglichkeiten deutlich reduziert.

Unter dem Aspekt der Modularisierung und insbesondere des Variantenmanagements sind performante IT-Tool-Lösungen zur Beherrschung von Komplexität, die sich aus Variantenbildung und Konfigurationen ergibt, entscheidend.

#### 4.9. Stimmige Verzahnung der Dimensionen

Die aufgeführten Dimensionen stehen untereinander im Zusammenhang und müssen für eine erfolgreiche Systementwicklung miteinander verzahnt und zueinander stimmig ausgeprägt werden (z.B. die Systemarchitektur spiegelt sich in der Organisation wider).

SE muss immer auf das spezifische Unternehmen und seine Bedürfnisse zugeschnitten sein und sollte Best Practices des Unternehmens mit denen anderer Industrien zielgerichtet kombinieren, um das richtige Maß an SE, Agil, Modularisierung sowie Vorgaben und Freiheitsgraden zu halten.

### 5. ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN FÜR DIE LUFT- & RAUMFAHRTBRANCHE

In unserer Beratungspraxis lassen sich branchenübergreifend, jedoch häufig noch voneinander losgelöst, klare Trends zur Implementierung von SE und agilen Arbeitsmethoden erkennen. Im Gespräch mit Kunden wird oft ersichtlich, dass SE-Praktiken in vielerlei Hinsicht

bereits vorhanden sind, jedoch oft statisch und unflexibel ausgeübt werden. Auf der anderen Seite fehlt es agilen Initiativen an Orientierung und Basisprozessen. Es hat sich gezeigt, dass es möglich ist, die Vorteile beider Welten zu nutzen. Die organisatorische und prozessuale Stärke von SE bietet die Grundlage, mit agilen Methoden an Tempo/Taktung anzuknüpfen und bei Veränderungen flexibler zu werden.

Ein weiterer klarer Trend geht in Richtung Modularisierung und „Product Line Engineering“, um kundenindividuelle Lösungen wesentlich profitabler anbieten zu können. Hier muss das "klassische" SE in verschiedenen Dimensionen aufholen, um die Potenziale der Wiederverwendung zu nutzen.

Unabhängig davon, ob es sich um die Einführung oder Optimierung einer einzelnen Methode oder um einen kombinierten Ansatz handelt, wichtig sind eine auf den Geschäftskontext zugeschnittene Lösung, definierte Erfolgskriterien und qualifizierte Unterstützung durch Change-Management-Initiativen. Nur ein ganzheitlicher Ansatz kann sicherstellen, dass die erwarteten Auswirkungen und wirtschaftlichen Effekte schnell erreicht werden.

Der Luft- & Raumfahrtsektor ist in vielen Bereichen technologisch an der Spitze. Im Bereich Schnelligkeit, Adaptionfähigkeit und Wirtschaftlichkeit sehen wir Potenziale für die Branche und empfehlen, die Überprüfung und Aktualisierung etablierter SE-Ansätze in Richtung Agilität und Modularisierung/ Re-Use.

Andere Branchen sind hierbei bereits erfolgreich. Parallel dazu zeigen Luft- & Raumfahrt-Start-ups, dass mit unkonventionellen Arbeitsmethoden wettbewerbsfähige und teils disruptive Ergebnisse erzielt werden können.

### 6. SCHRIFTTUM

[1] Atzberger, A., Nicklas, S.J., Schrof, J., Weiss, S., Paetzold, K. (2020), Agile Entwicklung physischer Produkte, Universität der Bundeswehr München, Neubiberg, Germany.

[2] ESA's Technology Strategy, Version 1.1, November 2019, viewed 20 July 2020, <[http://esamultimedia.esa.int/docs/technology/ESA\\_Technology\\_Strategy\\_Version\\_1\\_0.pdf](http://esamultimedia.esa.int/docs/technology/ESA_Technology_Strategy_Version_1_0.pdf), 2020>.

[3] Referring to project results generated by 3DSE and Studies of Jacob Creech and Dean Leffingwell, 2019