

Advanced Systems Engineering unternehmensindividuell konfigurieren und einführen

Advanced Systems Engineering Assessment

B. Schneider, S. Schüle, M. Kürümüoglu, O. Riedel

ZUSAMMENFASSUNG Steigende externe Anforderungen, die zunehmende Komplexität von Systemen und neue Anforderungen an die interdisziplinäre Zusammenarbeit stellen Unternehmen vor Herausforderungen. Das Advanced Systems Engineering (ASE) beschreibt Methoden und Technologien für die Handhabung dieser Herausforderungen. Mit einem Assessment können Unternehmen analysiert und eine nahtlose Integration der Methoden und Technologien sowie eine strukturierte Transformation hin zu ASE-Unternehmen erreicht werden.

STICHWÖRTER

Advanced Systems Engineering, Management, Technologietransfer

Advanced Systems Engineering Assessment – Individually configuring and introducing ASE in industry

ABSTRACT Ever increasing external requirements, growing complexity of systems, and new demands on interdisciplinary collaboration pose challenges for companies. Advanced Systems Engineering (ASE) describes methods and technologies for handling these challenges. An assessment allows for analyzing companies and achieving a seamless integration of methods and technologies as well as a structured transformation towards an ASE company.

1 Einleitung

Die aktuelle wie die zukünftige Produktentstehung wird von Megatrends wie Globalisierung, Individualisierung, Konnektivität und Neo-Ökologie beeinflusst [1, 2]. Diese haben einen doppelten Einfluss auf die Produktgestaltung. Unternehmen müssen Produkte und Systeme entwickeln, die den zukünftigen Anforderungen, beispielsweise in den Bereichen Nachhaltigkeit, Autonomie, Konnektivität und Individualisierung, genügen. Dies führt unweigerlich zu einer höheren Komplexität im Produkt sowie in der zugehörigen Produktentstehung. So müssen neben den heute etablierten Disziplinen Mechanik, Elektronik und Software weitere Disziplinen, beispielsweise die Dienstleistungsentwicklung oder Kommunikationsdienstleister, in die Produktentwicklung integriert werden, um zusätzliche Funktionalitäten abilden und realisieren zu können [3].

Das Advanced Systems Engineering (ASE) ist Teil der Hightech-Strategie des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) [4]. Es zielt darauf ab, Methoden und Technologien für die effiziente Begleitung von heutigen und zukünftigen komplexen Produkten und Systemen über deren Lebenszyklus zu beschreiben. ASE wird über die Säulen Advanced Systems (AS), Systems Engineering (SE) und Advanced Engineering (AE) definiert und detailliert (**Bild 1**) [1]. Es kann mit seinen Ansätzen, Technologien und Methoden als Zielbild oder Blaupause für Unternehmen dienen.

AS beschreiben zukünftige Marktleistungen, welche aktuelle (Mega-)Trends sowie Vorgaben aus der Regulierung adressieren.

Sie sind gekennzeichnet durch Aspekte von Autonomie, dynamischer Vernetzung im Sinne von Systems-of-Systems, optimierter sozio-technischer Interaktion und der direkten Integration von Dienstleistungen im Sinne von Produkt-Service-Systemen [1].

Das SE, als etablierte Methodik im Aerospace-Bereich, strukturiert die Entwicklung der AS und kann für die effiziente Gestaltung von Projekten in der Produktentstehung und der zugehörigen Organisation eingesetzt werden [1]. Das zugehörige Model-Based Systems Engineering (MBSE) beschreibt die IT-gestützte Praxis des SE, die eine digitale Modellierung und somit Nachvollziehbarkeit und Nachverfolgbarkeit ermöglichen soll [1, 5].

AE beschreibt aktuelle und zukünftige Best Practices, Technologien und Methoden in der Produktentstehung mit Fokus auf IT, Organisation und Innovation. Beispiele sind Agilität und Kreativität, Künstliche Intelligenz (KI) in der Produktentwicklung (wie Topologieoptimierung, Anforderungsmanagement) sowie weitere Methoden und digitale Technologien wie das Produkt- und Anwendungslbenszyklusmanagement oder die virtuelle Verifikation und Validierung [1]. Das ASE-Paradigma ist in [1, 3, 4, 6] detailliert beschrieben.

Die Implementierung neuer Methoden, Technologien und Organisationsstrukturen ist besonders in bestehenden Unternehmen eine Herausforderung. Dies ist durch gewachsene und etablierte Strukturen, die benötigten Ressourcen sowie die erforderliche Transformationsbereitschaft der Belegschaft begründet. Wie die Erfahrung zeigt, ist es kaum möglich, eine auf alle Unternehmen passende Blaupause im Sinne eines einheitlichen Zielzustands zu

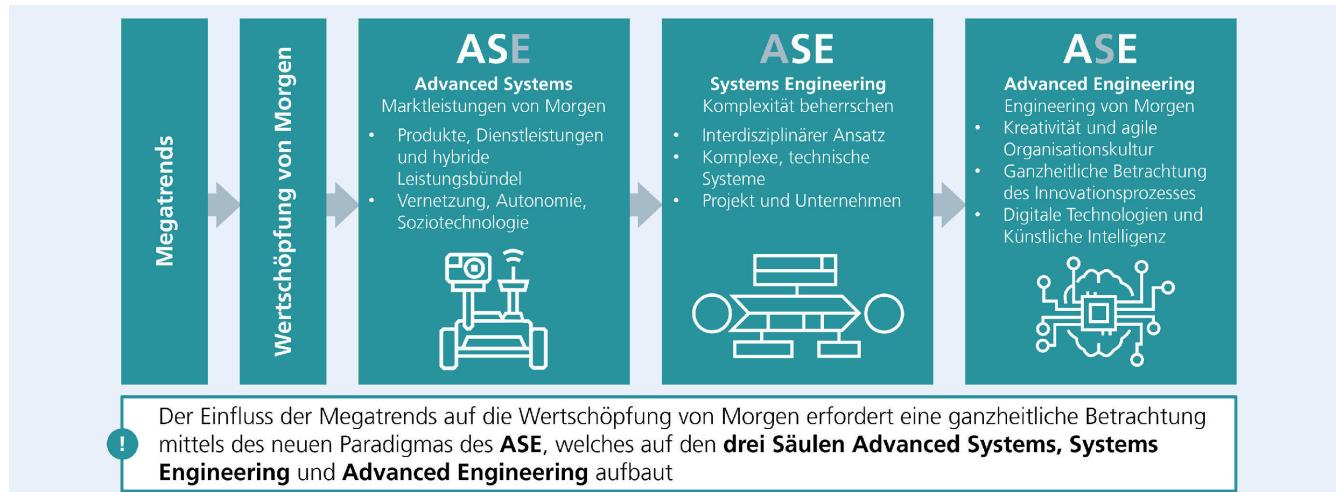


Bild 1. Drei Säulen des Advanced Systems Engineering. *Grafik: eigene Darstellung auf Basis von [1]*

definieren. Es müssen viel eher individuell angepasste Konzepte für die Einführung entwickelt werden [7–9].

Dieser Beitrag schlägt hier einen Ansatz für die Entwicklung von unternehmensindividuellen Zielzuständen, im Kontext des Advanced Systems Engineering, vor. In diesem wird zunächst deskriptiv [10–12] der aktuelle Stand des Unternehmens bewertet. Darauf aufbauend wird ein optimaler Zielzustand erarbeitet und abschließend eine Roadmap für die Transformation abgeleitet. Die Bewertung findet auf Basis eines Reifegradmodells und verschiedenen, für die Transformation relevanten Aspekten in Kategorien und Unterkategorien statt.

Kapitel 2 beschreibt den aktuellen Stand der Technik im Bereich Assessment Frameworks und zugehörigen Reifegradmodellen und zeigt den Bedarf für einen ASE-spezifischen Ansatz auf. Kapitel 3 beschreibt den vorgeschlagenen Ansatz für die Entwicklung von Transformationsstrategien mit einem Fokus auf dem Assessment Framework und dem Reifegradmodell. Kapitel 4 beschreibt die Erkenntnisse und Erfahrungen aus der Anwendung des Ansatzes in Industrieunternehmen.

2 State of the Art

Die Literaturanalyse fokussiert Publikationen zu Assessment Frameworks im Kontext der Digitalisierung, welche entweder das Vorgehen, die Struktur oder eine Kombination beschreiben. Für die Analyse wurde eine systematische Literaturanalyse in den Datenbanken „Scopus“ und „Web of Science“ durchgeführt. Es wurde der folgende Suchstring genutzt: ((„assessment framework“ OR „assessment“) AND („Digitalization“) AND („manufacturing“ OR „engineering“)). Die Suche ergab nach dem Entfernen von Dubletten 649 Publikationen.

Die Auswahl der Literatur erfolgte in einem zweistufigen Verfahren. Zunächst wurden Titel und Abstract der Publikationen analysiert. Dies ergab 126 relevante Publikationen. Im zweiten Schritt wurden die Volltexte der Publikationen analysiert, die im ersten Schritt positiv bewertet wurden. Dies ergab 78 Publikationen. Die Analyse wurde um Publikationen ergänzt, welche den Autoren bereits bekannt waren und solche, die in der identifizierten Literatur referenziert wurden. Im Folgenden wird aufgrund der hohen Anzahl an relevanten Publikationen nur eine Auswahl beschrieben, die unterschiedliche Sichten auf den Digitalisie-

Tabelle 1. Übersicht der in den analysierten Frameworks beschriebenen Kategorien.

	Strategie	Produkt	Prozess	Produktion	Organisation	Methoden	Technologie	Mensch	Kunden	Finanzen
[7]	x	x		x	x		x	x		
[13]		x		x						
[14]	x	x	x		x		x	x	x	
[17]	x				x	x	x	x		
[18]	x		x	x			x	x		
[20]			x		x	x		x		
[21]	x		x		x	x	x	x	x	
[23]	x		x			x			x	
[24]	x	x	x		x	x	x	x		
[40]			x				x	x		
[22]	x	x	x	x	x		x	x	x	
[41]	x	x	x					x		x
[9]	x				x		x	x		

rungskontext bieten. So soll ein möglichst umfassender Überblick gegeben werden. **Tabelle 1** zeigt einen Überblick, der in den beschriebenen Frameworks enthaltenen Kategorien. Im Folgenden werden die ausgewählten Publikationen, und die enthaltenen Kategorien und Unterkategorien, beschreiben.

Lichtblau et al. [7] beschreiben einen Ansatz zur Bewertung des Istzustands von Unternehmen bezüglich Industrie 4.0 (I4.0). Das Framework beschreibt 6 Kategorien und insgesamt 18 Unterkategorien, die zu berücksichtigen sind, wenn mit I4.0-Implementierungen begonnen wird. Es konzentriert sich auf produktionspezifische Bereiche wie die „intelligente Fabrik“, bietet aber auch weitere Kategorien, die den Umgang mit der Digitalisierung

Tabelle 2. Lichtblau et al. – VDMA – Industrie 4.0 Readiness [7].

Kategorie	Unterkategorie
Strategie und Organisation	Strategie, Innovationsmanagement
Smart Factory	Digitale Schatten, Datennutzung, IT-Systeme
Smart Operations	Cloud Nutzung, IT-Sicherheit, Autonome Prozesse, Informationsaustausch
Smarte Produkte	Daten Analyse, ICT-Funktionalitäten
Datengetriebene Services	Datenbasierte Services, Nutzung von Daten
Mitarbeiter	Kompetenzen, Qualifikationen

Tabelle 3. VDMA – Leitfaden Industrie 4.0 [13].

Kategorie	Unterkategorie
Produkt	Integration von Sensoren und Akteuren, Konnektivität, Informationsaustausch, Überwachung, IT-Dienste, Geschäftsmodell für das PSS
Produktion	ICT-Infrastruktur, Mensch-Maschine-Schnittstelle, unternehmensweite Vernetzung, Datenverarbeitung

Tabelle 4. Schumacher et al. – A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises [14].

Kategorie	Unterkategorie
Strategie	Industrie 4.0 Roadmap, Ressourcen für die Realisierung
Leadership	Bereitschaft der Führungspersönlichkeiten
Kunden	Nutzung von Kundendaten, Digitalisierung von Vertrieb/Dienstleistungen
Produkte	Individualisierung von Produkten, Digitalisierung von Produkten, Integration von Produkten in andere Systeme
Betrieb	Dezentralisierung von Prozessen, Modellierung und Simulation, Interdisziplinäre, abteilungsübergreifende Zusammenarbeit
Kultur	Wissensaustausch, offene Innovation und unternehmensübergreifende Zusammenarbeit, Wert der IKT im Unternehmen
Menschen	IKT-Kompetenzen
Verwaltung	Schutz von IP-Rechten
Technologie	Vorhandensein von moderner IKT

adressieren. Beispiele sind „datengetriebene Services“ und „Mitarbeiter“ (**Tabelle 2**).

Der *VDMA* [13] bietet einen Werkzeugkasten für Unternehmen, die sich mit der Transformation hin zur I4.0 beschäftigen (**Tabelle 3**). Die Inhalte werden in den Kategorien „Produkte“ und „Produktion“ mit jeweils sechs Unterkategorien beschrieben. Die Kategorie „Produkt“ fokussiert intelligente Produkte sowie neue Dienstleistungen und Geschäftsmodelle. Die Kategorie „Produktion“ fokussiert die die Etablierung einer digitalen Durchgängigkeit.

Schumacher et al. [14] stellen ein Reifegradmodell zur Bewertung der I4.0-Bereitschaft in produzierenden Unternehmen vor. Sie definieren neun Kategorien, welche durch 62 Unterkategorien weiter detailliert werden (**Tabelle 4**). Der Fokus der Bewertung liegt auf dem gesamten Unternehmen und deckt sowohl Produktions- als auch Strategie- und Produktaspekte ab. Das Modell wurde um die Möglichkeit zum Roadmapping ergänzt und kann

somit zur unternehmensindividuellen Planung der Transformation genutzt werden [8].

Schuh et al. [9] beschreiben mit dem Industrie-4.0-Maturity-Index eine Studie sowie eine Richtschnur, die Unternehmen als Orientierung im Transformationsprozess nutzen können. Der Index nutzt ein sechsstufiges Reifegradmodell und vier Kategorien, (**Tabelle 5**). Das Modell wird aufgrund seiner breiten Ausrichtung auch von anderen Autoren [15, 16] adaptiert.

Nortje und Grobbelaar [17] beschreiben ein Framework für die Implementierung von KI in Unternehmen. Der Fokus liegt auf der Integration in Geschäftsprozesse und dem Aufbau von KI-basierten Dienstleistungen. Insgesamt wurden für die Erstellung 85 Primärstudien ausgewertet. Die Autoren beschreiben sieben Kategorien und 42 Unterkategorien (**Tabelle 6**).

Ghobakhloo [18] beschreibt eine strategische Roadmap für die Industrie 4.0. Die Arbeit basiert auf einer systematischen Literaturanalyse. Die Roadmap ist in sechs Kategorien mit Unterkate-

Tabelle 5. Schuh et al. – Industrie 4.0 Maturity Index. Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten [9].

Kategorie	Unterkategorie
Ressourcen	Digitale Befähigung, Strukturierte Kommunikation
Informationssysteme	Selbstlernende Informationsverarbeitung, Integration der Informationssysteme
Organisationsstruktur	Organische interne Organisationen, dynamische Kollaboration im Wertschöpfungsnetzwerk
Kultur	Bereitschaft zur Veränderung, Soziale Kollaboration

Tabelle 6. Nortje und Grobbaelar – Framework for the Implementation of Artificial Intelligence in Business Enterprises [17].

Kategorie	Unterkategorie
Strategie	u. A.: Messbarkeit der Ergebnisse, Agile Bereitstellung, Technologie-Roadmaps
Mitarbeiter und Kultur	u. A.: Fähigkeiten und Fachwissen, Nutzen, Werte, Arbeitsplatzsicherheit, Vertrauen, Akzeptanz bei den Mitarbeitenden
Technologiemanagement	u. A.: Investitionen, Risikomanagement, Wettbewerberanalyse, Qualitätsmanagement, Cloud-Ressourcen
Leadership	Unterstützung von Führungskräften, Budget, Geschäftsmöglichkeit, strategische Führung, Business Cases
Infrastruktur	Dienstleistungen, Infrastrukturplattform, Informationsnetzwerke, Kommunikationsnetzwerke, Technologische Nachhaltigkeit und Lageplan
Informationsmanagement	u. A.: ROI, Wissensmanagement, Technologieauswahl, Ressourcenplanung
Sicherheit	Cyber Security

Tabelle 7. Ghobakhloo – The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0 [18].

Kategorie	Unterkategorie
Strategisches Management	Definition der I4.0-Strategie
Marketing	Intelligente Produkte als Dienstleistung BM
Personalwesen	Bewertung der Kompetenzen der Humanressourcen (HR) für Industrie 4.0, funktionsübergreifende Ausbildung
IT-Reifegrad	IT-Governance-Strategie, Harmonisierung und Integration bestehender und neu hinzukommender IT-Infrastruktur
Smart Manufacturing	Vertikale IIoT-Strategien, Intelligentes ERP, Datenanalyse, Integrierte Simulation und Digital Twin-Modell
Smartes Supply Chain Management	Funktionsübergreifende IT-Integration, Datenkonsistenz, WoT/Blockchain, gemeinsames Wissensmanagement für Führungskräfte

gorien gegliedert (**Tabelle 7**). Die Kategorien werden durch eine weitere Publikation von Ghobakhloo und Iranmanesh [19] ergänzt.

Die Studie von Gausemeier et al. [20] analysiert die industrielle Anwendung des Systems Engineering. Sie zeigt den steigenden Bedarf und die Treiber für den SE-Einsatz und beschreibt Szenarien für die Einführung von SE in der Industrie. Zudem werden die Mitarbeiter und die erforderlichen Kompetenzen betrachtet (**Tabelle 8**).

Das „Fraunhofer F&E-Assessment“, beschrieben von Schubert et al. [21], zielt darauf ab, die Stärken und Schwächen im Bereich der Forschung und Entwicklung einer Organisation zu ermitteln. Der ganzheitliche Ansatz analysiert den Istzustand und gibt den Unternehmen individuelle Empfehlungen und Maßnahmen zur

Verbesserung anhand von Reifegraden (**Tabelle 9**). Das Assessment Tool wurde in der Zwischenzeit in 15 Unternehmen aus den Bereichen Weiße Ware, Maschinen- und Anlagenbau, Konsumgüter und Automobilzulieferer validiert.

Klötzter und Pflaum [22] beschreiben, ausgehend von einer Analyse mehrerer Unternehmen, die Perspektive „Smart Product Realization“ mit einem Fokus auf der Digitalisierung der Produktion und die Perspektive „Smart Product Application“ mit einem Fokus auf der Digitalisierung des Services gegenüber dem Kunden. In Summe werden 20 Kategorien (10 je Perspektive) mit je fünf Reifegradstufen beschrieben (**Tabelle 10**).

Die Studie von Chiesa et. al. [23] analysiert 15 italienische, technologieintensive Unternehmen und leitet daraus Leistungs-

Tabelle 8. Gausemeier et al. – Systems Engineering in der industriellen Praxis [20].

Kategorie	Unterkategorie
Systems Engineering	Anforderungsmanagement, MBSE, modellbasierte Entwicklung, virtuelle Verifikation und Validierung, integrierte Planung von PSS, Betrachtung des gesamten Produktlebenszyklus, projektspezifischer Zuschnitt von Entwicklungsprozessen, Qualifizierung von zukünftigen Ingenieuren, Aus- und Weiterbildung

Tabelle 9. Schubert et al. – Development of an Assessment Tool for Industrial R&D [21].

Kategorien	Unterkategorie
Strategie	Integrierte Lösungsentwicklung, F&E- und Digitalisierungsstrategie
Organisationsstruktur	Interdisziplinarität, Projektmanagement, Organisationsstruktur und Zusammenarbeit (in der Wertschöpfungskette), Unternehmenskultur
Prozesse	Prozessmanagement und -verbesserung
Methoden und Werkzeuge	Anforderungsmanagement, Testen, Variantenmanagement, Wissensmanagement, Künstliche Intelligenz, Nahtlose IT-Strukturen, F&E-Methoden, Lösungsmodellierung
Mensch	Incentives, Mitarbeiterentwicklung, Mitarbeitergewinnung und -bindung

Tabelle 10. Klötzer und Pflaum – Maturity Model for Digitalization within the Manufacturing Industry's Supply Chain [22].

Kategorien	Unterkategorie
Smart Product Realization	Strategieentwicklung, Angebot an den Kunden, „Smartes“ Produkt, Komplementäre IT-Systeme, Kooperation, strukturelle Organisation, Prozessorganisation, Kompetenzen, Innovationskultur
Smart Product Application	Strategieentwicklung, Angebot an den Kunden, „Smarte“ Fabrik, Komplementäre IT-Systeme, Kooperation, strukturelle Organisation, Prozessorganisation, Kompetenzen, Innovationskultur

Tabelle 11. Chiesa et. al. – Performance measurement in R&D [23].

Kategorien
Finanzielle Perspektive, Kundenperspektive, Innovations- und Lernperspektive, Geschäftsprozessperspektive

dimensionen mit hoher Relevanz für Forschung und Entwicklung ab (**Tabelle 11**). Diese Perspektiven der Leistungsmessung (wie bereits von Balanced Score Cards bekannt) werden von den Zielklassen (diagnostisch, motivierend oder interaktiv) beeinflusst und ändern sich von Unternehmen zu Unternehmen.

Der Bewertungsansatz des CEN Workshop Agreement (CWA) [24] basiert auf einem ganzheitlichen Rahmen für die Ermittlung

der Innovationsfähigkeit und der Innovationsmanagementleistung. Das zugrunde liegende Modell berücksichtigt die wichtigsten Erfolgsfaktoren im Innovationsprozess von KMUs (kleine und mittlere Unternehmen). Es werden die Kategorien Innovationsfähigkeiten und Innovationsmanagement Performance unterschieden (**Tabelle 12**).

Weitere Frameworks für die reifegradbasierte Analyse von Unternehmen sind in [25–33] beschrieben. Analysen verschiedener Frameworks und Reifegradmodelle sind in [28, 29, 32, 34, 35] zu finden. In mehreren Publikationen [36–39] werden Fähigkeiten, die als Voraussetzung für eine reibungslose Digitalisierung angesehen werden können, beschrieben.

Die Analyse ergibt, dass keiner der identifizierten Ansätze den gesamten Produktlebenszyklus (PLC) im Sinne des ASE abdeckt. Es werden vielmehr Schwerpunkte gelegt auf Aspekte wie Forschung und Entwicklung, Digitalisierung in der Fertigung oder

Tabelle 12. CEN Workshop Agreement – Standardization of an innovation capability rating for SMEs [24].

Kategorien	Unterkategorie
Innovationsfähigkeiten	Innovationskultur, Strategie, Kompetenz & Wissen, Technologie, Produkt & Dienstleistungen, Prozess, Struktur & Netzwerk, Markt, Projektmanagement
Innovationsmanagement Performance	Innovationsstrategie, Innovationsorganisation und -kultur, Management des Innovationslebenszyklus, fördernde Faktoren, Innovationsergebnisse



Bild 2. Vorgehensmodell des Assessmentframework. *Grafik: eigene Darstellung*

Tabelle 13. Kategorien und Unterkategorien des ASE-Assessment-Framework.

Kategorie	Unterkategorie
Produkt	Systemstruktur, Integrierte Planung, Digitaler Zwilling
Strategie	ASE-Strategie und Vision, Produktlebenszyklusmanagement, Nachhaltigkeit, Wertschöpfung in Netzwerken, Regulierung und Compliance, IT- und Cybersicherheit, Wiederverwendung von Lösungswissen
Prozesse	Prozessplanung, Anforderungsmanagement, Projektmanagement, Integrierte Lösungsentwicklung, Variantenmanagement, Organisatorische Schnittstellen, Stakeholder- und Kundenintegration, Prozessautomatisierung, Änderungsmanagement
Produktion	Shop Floor Monitoring, Produktionsplanung, Schnittstelle Entwicklung und Produktionsplanung, CPS in der Produktion, Robotics, Logistik, Digitaler Zwilling der Produktion, Flexibilität in der Produktion, Wartung
Methoden und Werkzeuge	Durchgängige IT-Unterstützung, standardisierte Schnittstellen, IT-Architekturen, Verifikation und Validierung, Künstliche Intelligenz, Entwicklungsmethoden, Virtuelle Technologien und HMI, Kreativitätssmethoden
Organisation	Interdisziplinarität, Wertschöpfungsnetzwerke, Agile Organisationen, Modellbasierte Zusammenarbeit, New Work
Menschen	Zukünftige Rollen, Kompetenzen und Qualifikationen, Aus- und Weiterbildung

die frühen Phasen des Innovationsprozesses. Die in Kapitel 3 vorgestellte Methodik und der zugehörige Bewertungsrahmen bilden einen aus den vorgestellten Ansätzen synthetisierten und auf der Erfahrung der Autoren aufbauenden Ansatz, der Aspekte des gesamten PLC im Sinne des ASE abdeckt.

3 Advanced Systems Engineering Assessment

3.1 Methode

Die Methode zur Entwicklung unternehmensspezifischer ASE-Zielzustände folgt einem dreistufigen Ansatz (**Bild 2**).

In Phase 1 wird der Istzustand des Unternehmens analysiert. In diesem Schritt wird das in Kapitel 3.2 beschriebene ASE-Framework für die Bewertung der Stärken und Schwächen einzelner Unternehmen verwendet. Kapitel 3.3 zeigt anhand einer Unterkategorie die unternehmensindividuelle Bewertung durch vordefinierte Reifegrade. In Phase 2 liegt der Fokus auf der Definition eines unternehmensspezifischen Zielzustands. Dies wird durch Beispiele aus bestehenden ASE-Anwendungsfällen unterstützt. Phase 3 strukturiert und detailliert die verschiedenen Maßnahmen, die in den jeweiligen Unterkategorien zu ergreifen sind. Aus diesen wird abschließend eine Roadmap erstellt, die dem Unternehmen einen detaillierten Plan für die Umsetzung der vorgeschlagenen Optimierungen bereitstellt und die einzelnen Maßnahmen zeitlich verortet und in Verbindung setzt.

3.2 ASE Assessment Framework

Das Advanced Systems Engineering soll als unternehmensindividueller Baukasten zur Gestaltung der Produktentstehung der Zukunft verstanden werden. Es besteht eine direkte Abhängigkeit vom Leistungsportfolio des zu analysierenden Unternehmens. **Tabelle 13** beschreibt die Struktur des ASE Assessment Frameworks. Die Gesamtstruktur basiert auf den ASE-Säulen [1] und adaptiert in Teilen die Kategorien des „Fraunhofer F&E-Assessment“ [21] sowie weiteren in Kapitel 2 analysierten Modellen und Ansätzen. Die Rahmenwerke mit Schwerpunkt auf Innovationsmanagement [24] und Forschungs- und Entwicklungsmangement [23] wurden zur Validierung der Kategorien herangezogen.

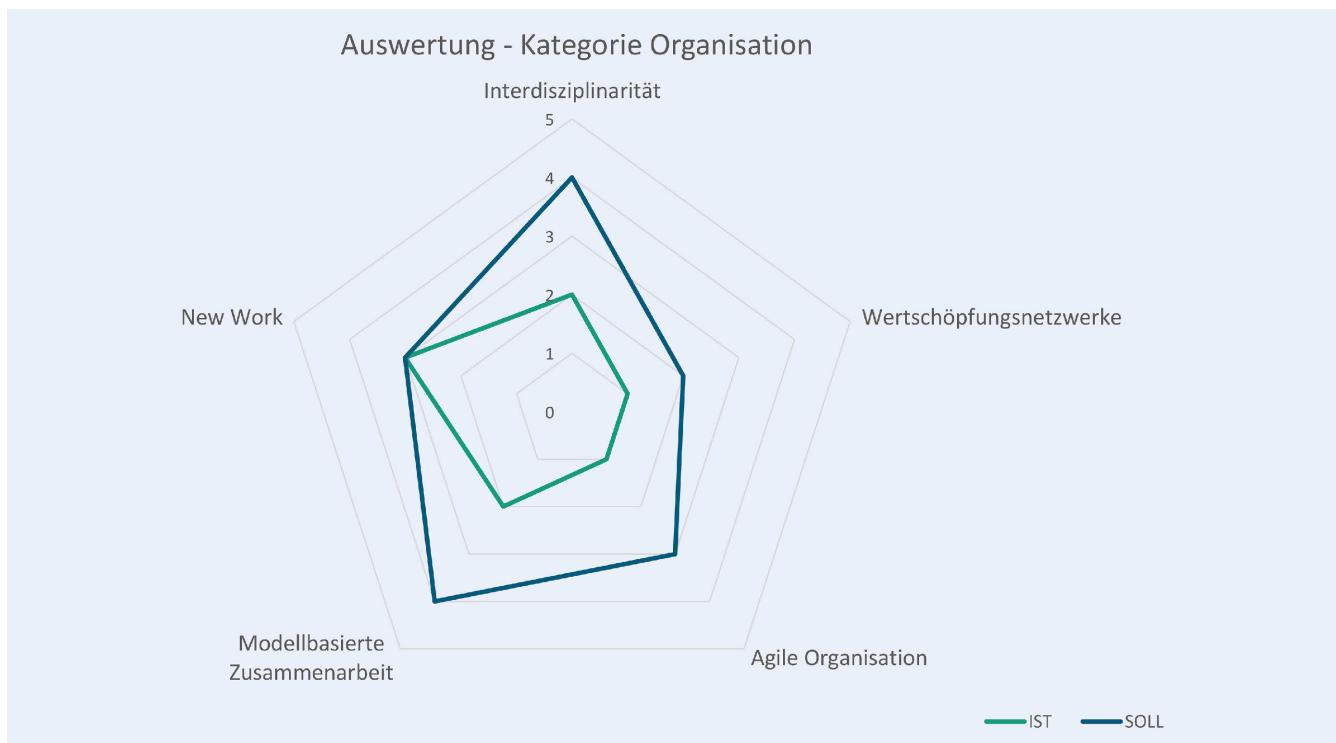
3.3 Reifegrade und Auswertung der Analyse

Um eine möglichst objektive Bewertung zu gewährleisten, werden zu jeder Unterkategorie Reifegrade vorgegeben. Beispielsweise zeigt dies **Tabelle 14** für die Unterkategorie Änderungsmanagement in der Kategorie Prozesse.

Die Auswertung findet je Kategorie statt und gibt einen Überblick über den Istzustand sowie die vom Experten vorgeschlagenen und gemeinsam mit dem Unternehmen ausgewählten Entwicklungsrichtungen. Eine beispielhafte Auswertung ist in **Bild 3** dargestellt.

Tabelle 14. Unterkategorie Änderungsmanagement mit Kurzbeschreibung und Reifegraden (RG).

Prozesse – Änderungsmanagement	
Info	Änderungen an einem Produkt können bis zu 25 % der F&E-Aufwendungen eines Unternehmens in Anspruch nehmen. Daher ist ein modellbasiertes und nachvollziehbares Änderungsmanagement eine Schlüsselkomponente für eine effiziente Entwicklung/Produkterstellung.
RG 5	Das Änderungsmanagement ist im Haupt-IT-System (z. B. PLM-System) implementiert. Es sind Benachrichtigungen und Workflows implementiert. Sie können auf verschiedene Arten/Schweregrade von Änderungen angepasst werden.
RG 4	Das Änderungsmanagement ist im Haupt-IT-System (z.B. PLM-System) implementiert.
RG 3	Änderungen werden dokumentiert und digital kommuniziert (per E-Mail, ...).
RG 2	Änderungen werden auf dem Papierweg kommuniziert.
RG 1	Kein explizites Änderungsmanagement vorhanden.

**Bild 3.** Auswertung und vorgeschlagene Entwicklungsrichtungen der Kategorie Organisation. *Grafik: eigene Darstellung*

4 Erfahrungen aus der Zusammenarbeit mit der Industrie

Das ASE-Assessment wurde gemeinsam mit mehreren Unternehmen durchlaufen und validiert:

- Anzahl der bewerteten Unternehmen: 8
- Unternehmensgröße: 60–1600 Mitarbeiter
- Branche: Maschinen- und Anlagenbau

Speziell mit Blick auf KMUs muss zunächst der Analysebereich individuell angepasst werden. Entsprechend der Baukastenweise muss nicht jedes Unternehmen in jeder Unterkategorie analysiert werden. Hier ist eine Vorauswahl der im aktuellen Kontext relevanten Unterkategorien sinnvoll. Ebenso muss nicht jedes Unternehmen in jeder Kategorie Reifegrad 5 erreichen.

Individuelle Empfehlungen durch die analysierenden und beratenden Experten sollten im Vordergrund stehen.

Hinzu kommen die in der Regel begrenzten Ressourcen. Dafür müssen Lösungen ausgearbeitet und ausgewählt werden, die von der Organisation entweder sehr schnell und direkt oder schrittweise parallel zum Tagesgeschäft über einen längeren Zeitraum umgesetzt werden können.

Basierend auf den Rückmeldungen sollten zusätzliche Kategorien, in das Framework aufgenommen werden. Ziel ist es, auch die Bereiche zu betrachten, welche der Entwicklung nachgelagert sind und im Optimalfall Daten nutzen, die in der Produktentwicklung entstehen. Der Fokus liegt hier aktuell auf dem Bereich Aftersales und Service.

5 Zusammenfassung und Ausblick

ASE als Querschnittsthemenfeld soll Unternehmen helfen, die zunehmende Komplexität von Produkten, Dienstleistungen und deren Erstellung zu bewältigen. Dieser Beitrag stellt einen Ansatz für die Analyse und Optimierung der Reife von Unternehmen im ASE-Kontext vor. Das Assessment Framework besteht aus sieben Kategorien und 45 Unterkategorien. ASE-Lösungen müssen unternehmensindividuell zusammengestellt werden und bestehen in der Regel aus einer Auswahl der im vorgestellten Framework beschriebenen Unterkategorien.

Um den Bewertungsrahmen weiterzuentwickeln, sind die folgenden Punkte zu adressieren: Es sollen Empfehlungen in die Methodik implementiert werden, die helfen, unterschiedliche Rahmenbedingungen, Umgebungen und Unternehmensgrößen zu berücksichtigen. Dabei muss der Trade-off zwischen Automatisierung und Standardisierung sowie möglichst unternehmensindividueller und maßgeschneiderter Empfehlungen stets bedacht und hinterfragt werden. Zudem soll eine Erweiterung des aktuellen Betrachtungsrahmen in den Bereichen Aftersales und Service sowie End-of-Lifecycle angegangen werden.

L i t e r a t u r

- [1] Dumitrescu, R.; Albers, A.; Riedel, O. et al.: Engineering in Deutschland - Status quo in Wirtschaft und Wissenschaft. Ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering. Stand: 2021. Internet: www.acatech.de/publikation/engineering-in-deutschland/. Zugriff am 10.06.2024
- [2] Zukunftsinstitut: Die Megatrend-Map. Stand: 12.3.2024. Internet: www.zukunftsinstitut.de/zukunftsthemen/die-megatrend-map. Zugriff am 10.06.2024
- [3] Albers, A.: Engineering neu denken und gestalten. Herausforderungen, Anwendungsszenarien und das neue Leitbild Advanced Systems Engineering. Stand: 2023. Internet: www.acatech.de/publikation/engineering-neu-denken-und-gestalten/. Zugriff am 10.06.2024
- [4] BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.): Zukunft der Wertschöpfung. Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit. Internet: https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/5/31662_Zukunft_der_Wertschöpfung.pdf?__blob=publicationFile&v=10. Zugriff am 10.06.2024
- [5] INCOSE: A world in motion. Systems Engineering Vision 2025. Internet: www.incosse.org/docs/default-source/se-vision-2025/se-vision-2025/incose-se-vision-2025.pdf?sfvrsn=602663c7_2. Zugriff am 11.06.2024
- [6] Albers, A.; Dumitrescu, R.; Gausemeier, J. et al. (Hrsg.): Strategie Advanced Systems Engineering – Leitinitiative zur Zukunft des Engineering und Innovationsstandorts Deutschland. Stand: 2022. Internet: www.acatech.de/publikation/die-advanced-systems-engineering-strategie/download-pdf?lang=de. Zugriff am 18.06.2024
- [7] Lichtblau, K.; Stich, V.; Bertenrath, R. et al.: Industrie 4.0-Readiness. Impuls-Stiftung des VDMA. Stand: 2015. Internet: <https://impuls-stiftung.de/wp-content/uploads/2022/05/Industrie-4.0-Readiness-english.pdf>. Zugriff am 18.06.2024
- [8] Schumacher, A.; Nemeth, T.; Sihn, W.: Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises. Procedia CIRP 79 (2019), pp. 409–414
- [9] Schuh, G.; Anderl, R.; Dumitrescu, R. et al.: Industrie 4.0 Maturity Index. Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten – UP-DATE 2020. Internet: www.acatech.de/publikation/industrie-4-0-maturity-index-update-2020/download-pdf?lang=de. Zugriff am 18.06.2024
- [10] Maier, A.; Moultrie, J.; Clarkson, P. J.: Developing maturity grids for assessing organisational capabilities. 4th International Conference on Management Consulting. Academy of Management. Vienna, Austria 2009, n. p.
- [11] Becker, J.; Knackstedt, R.; Pöppelbuss, J.: Developing Maturity Models for IT Management. Business & Information Systems Engineering 1 (2009) 3, pp. 213–222
- [12] Poeppelbuss, J.; Roeglinger, M.: What makes a useful maturity model? A framework of general design principles for maturity models and its demonstration in business process management. ECIS 2011 Proceedings. 28. aisel.aisnet.org/ecis2011/28
- [13] VDMA – Forum Industrie 4.0: Leitfaden Industrie 4.0. Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand. Frankfurt a. M: VDMA Forum Industrie 2015
- [14] Schumacher, A.; Erol, S.; Sihn, W.: A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. Procedia CIRP 52 (2016), pp. 161–166
- [15] Li, D.; Fast-Berglund, Å.; Paulin, D.: Current and future Industry 4.0 capabilities for information and knowledge sharing. The International journal, advanced manufacturing technology 105 (2019) 9, pp. 3951–3963
- [16] Gürdür, D.; El-khoury, J.; Törngren, M.: Digitalizing Swedish industry: What is next? Computers in Industry 105 (2019), pp. 153–163
- [17] Nortje, M. A.; Grobbelaar, S. S.: A Framework for the Implementation of Artificial Intelligence in Business Enterprises: A Readiness Model. 2020 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), Cardiff, United Kingdom, 2020, pp. 1–10
- [18] Ghobakhloo, M.: The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. Journal of Manufacturing Technology Management 29 (2018) 6, pp. 910–936
- [19] Ghobakhloo, M.; Iranmanesh, M.: Digital transformation success under Industry 4.0: a strategic guideline for manufacturing SMEs. Journal of Manufacturing Technology Management 32 (2021) 8, pp. 1533–1556
- [20] Gausemeier J.; Czaja, A.; Wiederkehr, O. et al.: Studie: Systems Engineering in der industriellen Praxis. Tag des Systems Engineering , 2013, doi.org/10.3139/9783446439467/012
- [21] Schubert, M.; Finger, J.; Kern, M. et al.: Development of an assessment tool for industrial R&D. International Conference on Production Research (ICPR) 2011, Stuttgart, 2011, n. p.
- [22] Klötzer, C.; Pflaum, A.: Toward the Development of a Maturity Model for Digitalization within the Manufacturing Industry's Supply Chain. 50th Hawaii International Conference on System Sciences, 2017, <http://hdl.handle.net/10125/41669>
- [23] Chiesa, V.; Frattini, F.; Lazzarotti, V. et al.: Performance measurement in R&D: exploring the interplay between measurement objectives, dimensions of performance and contextual factors. R&D Management 39 (2009) 5, pp. 487–519
- [24] CEN Committee: CWA 15899:2008. Standardization of an innovation capability rating for SMEs. Brussels: European Committee for Standardization, 2008
- [25] Carolis, A. de; Macchi, M.; Negri, E. et al.: Guiding manufacturing companies towards digitalization a methodology for supporting manufacturing companies in defining their digitalization roadmap. 2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), Funchal, 2017, pp. 487–495
- [26] Leyh, C.; Bley, K.; Schäffer, T. et al.: SIMMI 4.0 – a maturity model for classifying the enterprise-wide IT and software landscape focusing on Industry 4.0. 2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS), Gdansk, Poland, 2016, pp. 1297–1302
- [27] Çınar, Z. M.; Zeeshan, Q.; Korhan, O.: A Framework for Industry 4.0 Readiness and Maturity of Smart Manufacturing Enterprises: A Case Study. Sustainability 13 (2021) 12, pp. 6659
- [28] Trotta, D.; Garengo, P.: Assessing Industry 4.0 Maturity: An Essential Scale for SMEs. 2019 8th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM), Cambridge, United Kingdom, 2019, pp. 69–74
- [29] Canetta, L.; Barni, A.; Montini, E.: Development of a Digitalization Maturity Model for the Manufacturing Sector. 2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), Stuttgart, 2018, pp. 1–7
- [30] Nwaiwu, F.; Duduci, M.; Chromjakova, F. et al.: Industry 4.0 Concepts within the Czech SME manufacturing sector: An empirical assessment of critical success factors. Business. Theory and Practice 21 (2020) 1, pp. 58–70
- [31] Nick, G.; Szaller, Á.; Bergmann, J. et al.: Industry 4.0 readiness in Hungary: model, and the first results in connection to data application. IFAC-PapersOnLine 52 (2019) 13, pp. 289–294
- [32] Siedler, C.; Dupont, S.; Zavareh, M. T. et al.: Maturity model for determining digitalization levels within different product lifecycle phases. Production Engineering 15 (2021) 3–4, pp. 431–450
- [33] Nick, G.; Kovács, T.; Kő, A. et al.: Industry 4.0 readiness in manufacturing: Company Compass 2.0, a renewed framework and solution for Industry 4.0 maturity assessment. Procedia Manufacturing 54 (2021), pp. 39–44
- [34] Pierin Ramos, L. F.; Rocha Loures, E. d. F.; Deschamps, F.: An Analysis of Maturity Models and Current State Assessment of Organizations for Industry 4.0 Implementation. Procedia Manufacturing 51 (2020), pp. 1098–1105

- [35] Hein-Pensel, F.; Winkler, H.; Brückner, A. et al.: Maturity assessment for Industry 5.0: A review of existing maturity models. *Journal of Manufacturing Systems* 66 (2023), pp. 200–210
- [36] Stich, V.; Zeller, V.; Hicking, J. et al.: Measures for a successful digital transformation of SMEs. *Procedia CIRP* 93 (2020), pp. 286–291
- [37] Hoyer, C.; Gunawan, I.; Reaiche, C. H.: The Implementation of Industry 4.0 – A Systematic Literature Review of the Key Factors. *Systems Research and Behavioral Science* 37 (2020) 4, pp. 557–578
- [38] Pessot, E.; Zangiacomi, A.; Battistella, C. et al.: What matters in implementing the factory of the future. *Journal of Manufacturing Technology Management* 32 (2021) 3, pp. 795–819
- [39] Liebrecht, C.; Kandler, M.; Lang, M. et al.: Decision support for the implementation of Industry 4.0 methods: Toolbox, Assessment and Implementation Sequences for Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Systems* 58 (2021), pp. 412–430
- [40] Sjödin, D. R.; Parida, V.; Leksell, M. et al.: Smart Factory Implementation and Process Innovation. *Research-Technology Management* 61 (2018) 5, pp. 22–31
- [41] Mittal, S.; Romero, D.; Wuest, T.: Towards a Smart Manufacturing Maturity Model for SMEs (SM3E). In: Moon, I.; Lee, G. M.; Park, J. et al. (Hrsg.): *Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing for Industry 4.0*. Cham: Springer International Publishing 2018, pp. 155–163



Benjamin Schneider, M.Sc. 

Foto: IAO

benjamin.schneider@iao.fraunhofer.de

Tel. +49 711 / 970-2281

Dipl.-Ing. Stephan Schüle

Dipl.-Ing. Mehmet Kürümlioglu

Prof. Dr. Oliver Riedel

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart
www.iao.fraunhofer.de



Dieser Fachaufsatzt steht unter der Lizenz Creative Commons
Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)