

Strategie Advanced Systems Engineering

Leitinitiative zur Zukunft des Engineering-
und Innovationsstandorts Deutschland

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Das wissenschaftliche Projekt AdWISE wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm »Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen«, Fördermaßnahme »Beherrschung der Komplexität soziotechnischer Systeme – Ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering für die Wertschöpfung von morgen (PDA_ASE)« gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Strategie **Advanced Systems Engineering**

**Leitinitiative zur Zukunft des Engineering-
und Innovationsstandorts Deutschland**



	Vorwort	4
	Die Strategie in Kürze	8
1	Einführung	11
2	Ausgangssituation - Wertschöpfung im Wandel	21
3	Vorausschau - Engineering im Jahr 2035 in Deutschland	27
4	SWOT-Analyse	33
5	Strategische Stoßrichtung »Engineering Excellence«	37
6	Leitbild	39
7	Konsequenzen und Handlungsbedarfe	43
	Mitwirkende	55
	Bildquellen	57
	Literatur	58
	Anhang	61

Vorwort

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften unterstützt Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft bei der Gestaltung des technologischen Wandels. Die Akademie setzt sich dafür ein, dass aus Ideen Innovationen und aus Innovationen Wertschöpfung und Beschäftigung sowie Wohlstand, Wohlfahrt und Lebensqualität erwachsen.

Vor diesem Hintergrund hat acatech die technologische Entwicklung im Blick, erkennt wo Technologien Nutzen stiften können und weist den Weg, Nutzenpotentiale mit Hilfe von Systemen bzw. soziotechnischen Systemen auszu-schöpfen. Das erfordert Systems Engineering. Nun erleben wir, dass die Systeme von morgen besonders durch die Digitalisierung geprägt werden: Sie werden autonom und dynamisch vernetzt sein, häufig als Produkt-Service-Kombination auftreten und last but not least in der Regel mit den Menschen interagieren. Dies gilt für die gesamte Bandbreite der sich abzeichnenden Herausforderungen in Feldern wie die Energieversorgung, die Mobilität und die Kreislaufwirtschaft. Diese Herausforderungen lassen sich nicht mit dem Engineering von gestern bewältigen; wir benötigen einen wesentlich weitergehenden Ansatz von Systems Engineering – Advanced Systems Engineering (ASE). Der ganzheitlich angelegt ist, der der hohen Vernetzung von Technologiefeldern gerecht wird und der neue Perspektiven eröffnet, die durch Agilität, Kreativität und durch ein hohes Maß an Sozialkompetenz geprägt sind. ASE steht für Engineering Excellence, stärkt die Innovationskraft und positioniert den Engineering- und Innovationsstandort Deutschland im globalen Wettbewerb vorteilhaft.

acatech hat das erkannt und ASE zu einem Handlungsschwerpunkt erhoben. In der Folge hat das Anliegen ASE sowohl in der Wissenschaft als auch in der Wirtschaft hohe Resonanz gefunden. Ferner hat das BMBF die Fördermaßnahme »Beherrschung der Komplexität soziotechnischer Systeme – Ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering für die Wertschöpfung von morgen (PDA_ASE)« gestartet. Im Rahmen dieser Fördermaßnahme hatte das von acatech angeregte wissenschaftliche Begleitprojekt mit dem Akronym AdWiSE die Aufgabe, den Status quo von Systems Engineering in Wissenschaft und Wirtschaft zu erheben sowie eine Strategie zur Gestaltung der Zukunft des Engineerings in Deutschland zu formulieren. Beide Berichte liegen vor. An deren Erarbeitung hat ein Experten- und Dialogkreis von 40 Fachleuten aus Wissenschaft und Wirtschaft mitgewirkt. Ferner wurden die Arbeiten an der vorliegenden Strategie durch einen Lenkungskreis mit namhaften Persönlichkeiten ebenfalls aus Wissenschaft und Wirtschaft unterstützt. Beiden Kreisen sei herzlich gedankt. Insbesondere durch deren Engagement wird fundiert und gut nachvollziehbar dargelegt, dass die Strategie entscheidend dazu beitragen kann, die vor uns liegenden Engineering-Herausforderungen zu bewältigen. Ferner konkretisiert die Strategie auf der Basis

von 27 Handlungsbedarfen, was Politik, Wirtschaft und Wissenschaft gemeinsam anpacken müssen, um die Vision eines führenden Engineering-Standorts zu verwirklichen. acatech wird mit seiner Expertise auch künftig Treiber für technische und soziotechnische Innovationen sein. Advanced Systems Engineering ist dafür ein besonders wirkungsvoller Hebel.

Dr.-Ing. Reinhard Ploss

acatech

Prof. Dr.-Ing. Jan Wörner

acatech

Prof. Dr.-Ing. Siegfried Russwurm

Bundesverband der Deutschen Industrie e.V.,
acatech

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier

acatech



Christiane Benner
2. Vorsitzende IGM



Advanced Systems Engineering erfordert in vielen Unternehmen ein Umdenken und einen Kulturwandel, damit übergreifende Zusammenarbeit gelebt wird. Aus Sicht der IG Metall hat gut gestaltetes und mitbestimmtes ASE das Potential zu einem sozialen und technologischen Innovationstreiber.



Thomas Kriegel
Konzern-Entwicklungssteuerung,
Volkswagen AG



Wir sehen uns mit dynamischen Wettbewerbsumfeldern, neuen Playern, Produkten und Geschäftsmodellen sowie neuen Gesetzen und Regularien für unsere Produkte und Prozesse konfrontiert. Um diesen Herausforderungen gewachsen zu sein, müssen wir uns im Sinne von Systems Engineering neu aufstellen.



Dr. Stefan Kampmann
CTO Voith GmbH & Co. KGaA



Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers
Sprecher des acatech Themennetzwerks
Produktentwicklung und Produktion



Wir können nicht mit den Methoden des 20. Jahrhunderts die Herausforderungen in der Produktentstehung des 21. Jahrhunderts angehen. ASE – Advanced Systems Engineering ist ein Kern der zukünftigen Praxis für erfolgreiches Engineering.



Prof. Dr. Sabina Jeschke
Deloitte GmbH
Wirtschaftsprüfungsgesellschaft,
Senior Advisor



Innovationsführerschaft braucht exzellentes Engineering – dabei müssen auch jene Technologien betrachtet werden, die sich heute erst abzeichnen, die aber in den kommenden Jahren einschneidende Disruptionen bewirken werden. Dazu gehört etwa der Aufbau des Technologiefeldes Quantum Computing für hochleistungsfähige Simulationen auf der Basis von Digital Twins, die ihrerseits für die Echtzeitfähigkeit nicht nur 5G, sondern perspektivisch auch 6G benötigen. Advanced Systems Engineering wäre dafür eine vielversprechende Plattform.



Ich bin überzeugt, dass wir durch den Fokus ASE auf die ganzheitliche Entwicklung von soziotechnischen Systemen die Technikbegeisterung von jungen Menschen in unserem Land stärken werden.



Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Liggesmeyer
Sprecher des Forschungsbeirats
der Plattform Industrie 4.0



Es war immer schon akzeptiert, dass man neuartige Systeme nicht mit den alten Werkzeugen entwickeln kann, sondern die Werkzeuge auf die Eigenschaften der Systeme angepasst werden müssen. Das gilt auch für zukünftige Systeme, die autonomer, interdisziplinärer und unübersichtlicher sein werden sowie zum Teil Technologien nutzen werden, über deren sichere Handhabung wenig bekannt ist. Um insbesondere solche Systeme gut entwickeln zu können, benötigen wir Advanced Systems Engineering.



Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber
Vizepräsident acatech



Die vorliegende Strategie legt überzeugend dar, wie mit Engineering Excellence die vor uns liegenden Innovationsherausforderungen erfolgreich bewältigt werden können. Dass dies gelingt, erfordert einen engen Schulterschluss von Politik, Wirtschaft und Wissenschaft bei der Umsetzung der vorgeschlagenen Handlungsempfehlungen.



Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Nebel
Sprecher des acatech
Themennetzwerks Informations-
und Kommunikationstechnik



ASE als gesamtsystemischer Ansatz ist die zentrale Voraussetzung, um Deutschlands führende Stellung als Land der Erfinder und Ingenieure zu halten und auszubauen. Die Empfehlungen zeigen, was konkret zu tun ist.



Dr. Thomas Schneider
Geschäftsführer Entwicklung Trumpf
Werkzeugmaschinen, Trumpf
GmbH & Co. KG



Advanced Systems Engineering eröffnet uns neue Perspektiven zur Steigerung der Innovationskraft; so ermöglicht uns agiles Engineering, die Entwicklungsgeschwindigkeit zu erhöhen und weiter als Innovationsgarant im Markt zu agieren.

Die Strategie in Kürze

Die Bewältigung der großen transformatorischen Herausforderungen unserer Zeit, wie Digitalisierung, nachhaltige Entwicklung, Mobilität und Energieversorgung, wird über Engineering-Projekte führen, die die Planung, Realisierung und den Betrieb von technischen und soziotechnischen Systemen zum Gegenstand haben. Es zeichnet sich ab, dass sowohl die Anzahl als auch das Investitionsvolumen derartiger Projekte über das bislang Übliche hinausgehen. So war beispielsweise im Handelsblatt vom 22. Oktober 2021 nachzulesen, dass zur Erreichung der Klimaneutralität allein bis 2030 jährlich 100 Milliarden Euro Mehrinvestitionen erforderlich sind [Str21]. Ein erheblicher Teil dieser Mittel dürfte in relativ große Engineering-Projekte fließen, die nach all dem, was wir wissen, nur eine durchwachsene Erfolgsbilanz vorweisen können; in der überwiegenden Anzahl der großen Engineering-Projekte ist es zu teils eklatanten Kostenüberschreitungen und Terminverzögerungen gekommen. Vieles deutet darauf hin, dass wir – vereinfacht ausgedrückt – die Großprojekte von morgen nicht mit dem Engineering von gestern zum Erfolg bringen können.

Die Ermittlung des Status quo des Engineerings und die Antizipation der künftigen Rahmenbedingungen für das Engineering in Deutschland münden in die Erkenntnis, dass der Anspruch der Innovationsführerschaft Spitzen-Engineering bedingt. Der Innovations- und Produktionsstandort Deutschland befindet sich hier in einer eher aussichtsreichen Position. Um die Chancen zu nutzen, bietet sich eine offensive Strategie mit der Stoßrichtung »Engineering Excellence« an.

Die Strategie wendet sich primär an Führungspersönlichkeiten aus Wirtschaft, Politik und Wissenschaft, die sich mit der Gestaltung der Zukunft des Innovations- und Produktionsstandorts befassen. Dreh- und Angelpunkt eines strategiegeleiteten Agierens der adressierten Personen ist ein umfassendes Leitbild, das prägnante Aussagen zum Zweck, zur Mission, zu Zielen, Kernwerten und Stakeholder-Nutzen trifft. Auszug aus dem Leitbild: »Wir wollen die Spitzenstellung im Engineering von technischen und soziotechnischen Systemen; damit wollen wir den zentralen Herausforderungen unserer Zeit wirkungsvoll begegnen und aus dem sich abzeichnenden Umbruch als Gewinner hervorgehen.« Zur Konkretisierung des Wegs zum Leitbild sehen wir 6 Konsequenzen und nennen je Konsequenz einige Handlungsbedarfe (insgesamt 27).

Wir schlagen eine Zuordnung von Handlungsbedarfen zu den Adressatengruppen Politik, Wirtschaft und Wissenschaft vor, um ein Verständnis der Rollen und die Herausbildung von Zuständigkeiten zu fördern. Daraus ergeben sich vorderhand folgende Rollen der Adressatengruppen im Kontext des Engineerings:

- 1) Politik: Rahmenbedingungen schaffen für gesellschaftliche Akzeptanz, die Überwindung des Fachkräftemangels und umfassende Souveränität.
- 2) Wirtschaft/Industrie: Treiber und Hauptakteur auf dem Weg zu Marktleistungsinnovationen und somit zu nachhaltiger Wertschöpfung, Beschäftigung, Wohlstand und Wohlfahrt.
- 3) Wissenschaft: Methodikentwicklung mit Fokus auf nachhaltige und verlässliche Systeme. Interaktion in Forschung und Lehre mit der Wirtschaft.

Welche Handlungsbedarfe von welchen Hauptakteuren vordringlich aufzugreifen sind, um der Sache einen entscheidenden Schub zu geben, ist nachfolgend aufgeführt:

1. Programm-Management »Engineering Excellence« einrichten – Wirtschaft/Industrie.
2. Digitale und technologische Souveränität in den Blick nehmen – Politik.
3. Nachhaltigkeit soziotechnischer Systeme in den Fokus rücken – Wissenschaft.

1 Einführung

Ein umfassendes Systems Engineering erweist sich als eine der herausragenden Kompetenzen zur Sicherung des Innovationsstandorts Deutschland. Im Folgenden vermitteln wir mit Anwendungsszenarien beispielhaft und prägnant, was unter Advanced Systems Engineering (ASE) zu verstehen ist. Ferner gehen wir auf das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Projekt »Vernetzung der Akteure zur disziplinübergreifenden Entwicklung komplexer vernetzter soziotechnischer Systeme für die Wertschöpfung von morgen (Advanced Systems Engineering)«, mit dem Akronym AdWiSE, ein, in dessen Rahmen die vorliegende Strategie entwickelt wurde. Abschließend werden die Struktur der Strategie und damit verbunden die Methodik der Strategieentwicklung erläutert.

Herausforderung Advanced Systems Engineering

Die Digitalisierung und insbesondere Künstliche Intelligenz (KI) wird zu intelligenten, vernetzten Systemen führen, die auf dem engen Zusammenwirken von vielen Fachdisziplinen basieren. Dies prägt nahezu alle Zukunftsthemen wie Mobilität, Energieversorgung und Circular Economy. Die Kreation derart komplexer Systeme erfordert eine neue, auf der Systemtheorie und Systemtechnik beruhende Herangehensweise. Darauf sind weder Industrie noch Hochschulen adäquat vorbereitet: In beiden Sektoren sind die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten aufbauorganisatorisch nach Fachdisziplinen respektive Fakultäten aufgestellt; es fehlt an den notwendigen ganzheitlichen

Engineering-Methoden und -Instrumenten; schließlich zeichnet sich ein eklatanter Mangel an Fachkräften ab, die in der Lage wären, die Systeme von morgen fachgebietsübergreifend zu entwickeln.

Die einschlägigen Studien der letzten Jahre zum Forschungs- und Transferbedarf im Kontext der Digitalisierung fordern nachdrücklich eine Offensive auf dem Gebiet Engineering [ADG+18, AG12, Fa17, Abr18]. Postuliertes Ziel ist eine im internationalen Wettbewerb herausragende Kompetenz im Bereich des Engineerings von intelligenten, vernetzten Produkten, Dienstleistungen und Produktionssystemen. Eine solche strategische Erfolgsposition stellt sicher, dass am Standort Deutschland komplexe Systeme professionell entwickelt und schnell zum Markterfolg gebracht werden sowie die Vergeudung von Ressourcen durch Projektfehlschläge erheblich reduziert wird. Das ist der entscheidende Beitrag für Wertschöpfung, Beschäftigung, Wohlstand und Wohlfahrt und somit für die Sicherung des Innovations- und Produktionsstandorts Deutschland. >

Der Begriff »Advanced Systems Engineering« (ASE) steht für diesen Anspruch. Er integriert drei Perspektiven:

- **Advanced Systems (AS):** Es handelt sich um intelligente, vernetzte Produkte, Dienstleistungen und Produktionssysteme. Diese können autonome, dynamisch vernetzte oder interaktive soziotechnische Systeme und Produkt-Service-Systeme sein.
- **Systems Engineering (SE):** Hier stehen die modellbasierte Systemgestaltung und -optimierung über den gesamten Lebenszyklus (Digitaler Zwilling) sowie die Integration von Systemgestaltung und Projektmanagement im Vordergrund.
- **Advanced Engineering (AE):** Das umfasst vor dem Hintergrund der Digitalisierung neue, stark auf Kreativität und Agilität beruhende Arbeitsweisen.

Orthogonal zu diesen Perspektiven weist ASE folgende Merkmale auf:

- Fachdisziplinübergreifende und modellbasierte Entwicklung von intelligenten, vernetzten, multidisziplinären und soziotechnischen Systemen.
- Abdeckung des gesamten Innovationsprozesses von der Vorausschau der Entwicklung von Märkten, Technologien und Geschäftsumfeldern bis zum nachhaltigen Markterfolg.
- Neue, durch KI geprägte Engineering-Prozesse.
- Frühzeitige Erlebbarkeit des in Entwicklung befindlichen Systems für unterschiedliche Anspruchsgruppen (Stakeholder) zur Förderung von Akzeptanz und Identifikation.

ASE eröffnet Erfolgspotentiale für die Wertschöpfung von morgen als soziotechnisches Gesamtsystem.

Anwendungsszenarien ASE in der Praxis

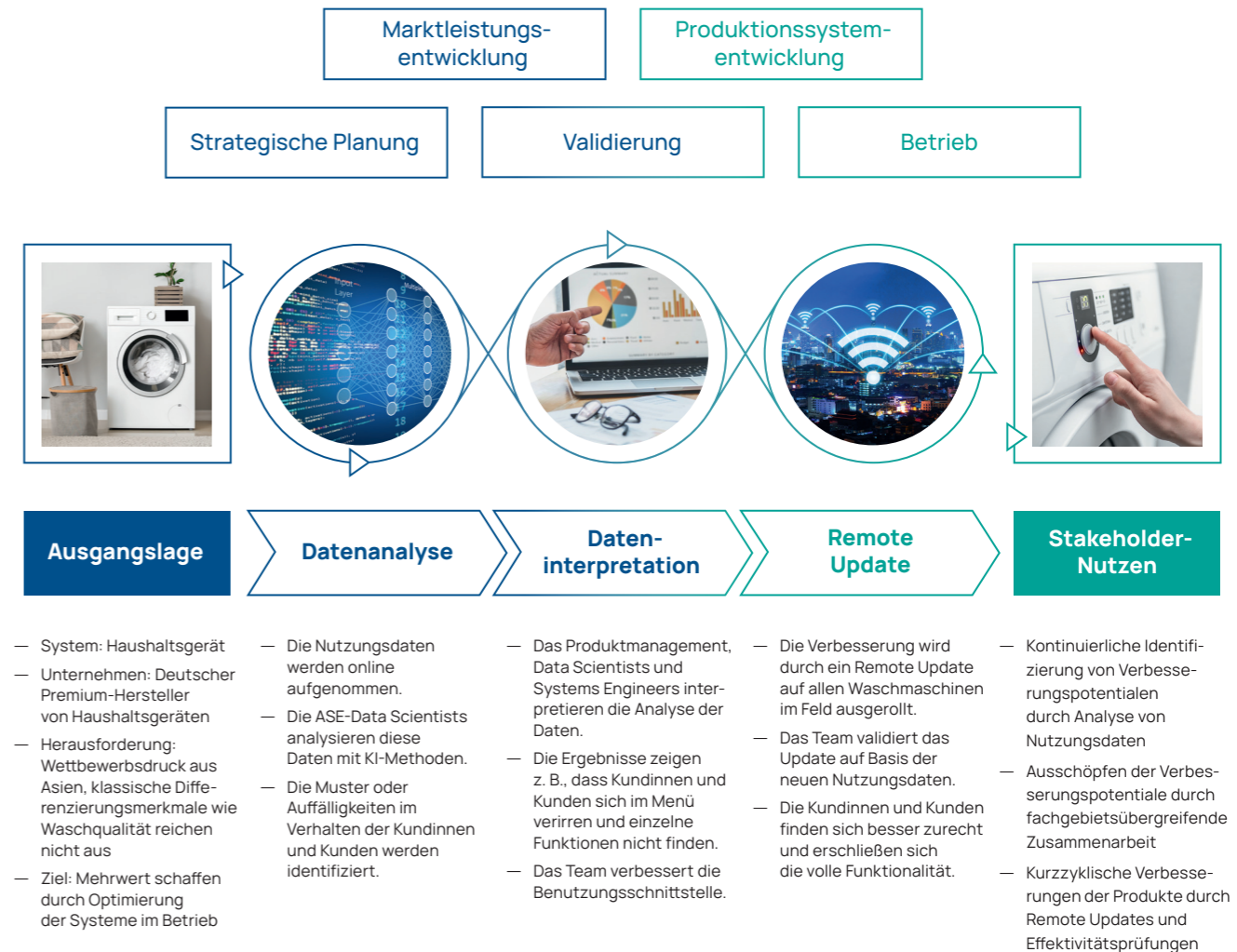
Anhand von drei ausgewählten, mehr oder weniger bekannten Systemen wird ansatzweise gezeigt, wie ASE-Methoden Entwurf, Analyse und Optimierung derartiger Systeme unterstützen. Dies kann lediglich einen Einblick in das Engineering vermitteln. Die Darstellung eines praxisgemäßen vollständigen Engineerings würde den hier zur Verfügung stehenden Rahmen sprengen. Gleichwohl dürfte es in den Grundzügen klar werden, dass ein fortgeschrittenes Systems Engineering, das den kompletten Innovationsprozess von der ersten Idee bis zum erfolgreichen Markteintritt abdeckt, schneller als bisher zur Systemreife und zum Markterfolg führt.

Nachfolgend werden drei ASE-Anwendungsszenarien visualisiert. Für alle gilt: die in der oberen Hälfte angeordneten Begriffe, zum Beispiel »Strategische Planung«, kennzeichnen die Hauptaufgaben im Produktlebenszyklus. Die Bildfolge im Zentrum charakterisiert beispielhaft die ASE-Aktivitäten, beginnend bei einer Ausgangslage bis zum angestrebten Ziel mit der Erläuterung des Stakeholder-Nutzens.

Bei der Betrachtung der Anwendungsszenarien ist zu beachten, dass ASE einen multidisziplinären Ansatz bietet, der prinzipiell auch offen gegenüber weiteren Technologien ist. Über diesen Ansatz können neben der Mechanik, Elektronik (Hardware) und Software weitere Disziplinen, beispielsweise die Biotechnologie zur Befähigung einer biointelligenten Wertschöpfung, integriert werden. Weitere Perspektiven gehen zum Beispiel aus der Betriebswirtschaftslehre, der Soziologie oder der Rechtswissenschaft hervor. >

Anwendungsszenario 1 Kontinuierliche Anforderungsanalyse und Remote Update

Systemlebenszyklus von der Idee bis zur Wiederverwendung



ASE befähigt Unternehmen, ihre Marktleistungen zukünftig im Betrieb kontinuierlich zu optimieren und diese sich wandelnden und nicht ohne weiteres antizipierbaren Kundenbedürfnissen anzupassen.

Anwendungsszenario 2

Kollaboratives System-of-Systems (SoS)-Engineering und Sektorenkopplung

Systemlebenszyklus von der Idee bis zur Wiederverwendung



- System: Strompreis-gesteuertes Laden von Elektrofahrzeugen
- Unternehmen: Hersteller von Ladeinfrastruktur, Automotive OEMs, Payment-Dienstleister
- Herausforderung: Abstimmung der Vernetzung von Sektoren (Energiewirtschaft und Industrie)
- Ziel: Schnittstellen- definition im Systemverbund
- Mit modellbasiertem SoS-Engineering werden Interaktionen der Stakeholder analysiert und gesteuert.
- Auf Basis eines gemeinsamen Systemmodells werden Schnittstellen (z. B. Ladeinfrastruktur, Fahrzeug, Payment-Dienstleister) antizipiert und spezifiziert.
- Auf Basis der Schnittstellen-Spezifikation können die Einzelsysteme wider-spruchsfrei und unter Berücksichtigung der übergeordneten Wünsche der Kunden ausgelegt werden.
- Die Erzeugung des Kundenerlebnisses im SoS-Kontext bietet Wettbewerbsvorteile.
- In einem interdisziplinären und unternehmensübergreifenden Team kann das Zusammenwirken der Systeme während des Betriebs online validiert werden.
- Die Zuverlässigkeit und die Zufriedenheit der Kunden werden unter Zugriff auf den Datenraum Mobilität gewährleistet.
- Umfassendes Verständnis des SoS-Kontextes
- Kompatibilität und Effizienzsteigerung des Gesamtsystems durch unternehmensübergreifende Zusammenarbeit
- Gemeinschaftliche Validierung der Erfüllung der Wünsche von Kunden und SoS-Zuverlässigkeit

ASE befähigt Unternehmen, Kundenerlebnisse im Umfeld von dynamischen Systemverbänden zu gestalten. Dabei werden sowohl die technische Interoperabilität als auch die Kollaboration aller Stakeholder im Wertschöpfungsprozess forciert.

Anwendungsszenario 3

Nachhaltigkeit durch den Digitalen Zwilling im Maschinen und Anlagenbau

Systemlebenszyklus von der Idee bis zur Wiederverwendung



- System: Verfahrenstechnische Großanlage
- Unternehmen: Hersteller von Maschinen und Anlagen für Großwäschereien
- Herausforderung: Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus einer Anlage
- Ziel: Erreichung von internen und externen Nachhaltigkeitszielen
- Mit Hilfe eines Digitalen Zwillings kann die Auslegung der Anlage unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten erfolgen.
- Ein energetisch optimiertes und emissionsreduziertes Verhalten im Betrieb wird durch die Co-Simulation der relevanten Module erzeugt.
- Die Zustandsdaten der Anlage werden im Betrieb online überwacht.
- Der Betreiber profitiert von der Zustandsüberwachung und der Selbstoptimierung.
- Der Hersteller kann auch nach der Inbetriebnahme eine Anlagen-Modernisierung realisieren und virtuell testen, um den Kunden eine Effizienzsteigerung anzubieten.
- Das Condition Monitoring des Digitalen Zwillings erzeugt Transparenz der Anlage über ihren gesamten Lebenszyklus.
- Für jede Komponente werden Wartungs-, Instandhaltungs-, Wiederverwendungs- und Recycling-Aktivitäten spezifiziert, geplant, gesteuert, überwacht und dokumentiert.
- Steigerung der ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit
- Verlängerung der Produktlebenszyklen
- Gestaltung neuer, daten-basierter Geschäftsmodelle wie Condition Monitoring oder Reuse von Anlagen-Komponenten

ASE unterstützt Unternehmen, die Nachhaltigkeit der technischen Systeme über den gesamten Lebenszyklus zu planen und zu überwachen.

acatech als Treiber der Initiative ASE

acatech hat das Handlungsfeld ASE frühzeitig identifiziert und sich in den letzten Jahren dafür eingesetzt, das Thema ASE als wichtiges Handlungsfeld zur Sicherung des Innovationsstandorts Deutschland im Bewusstsein der einschlägigen Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger zu verankern und das Thema auch förderpolitisch zu platzieren. In diesem Zusammenhang wurde ASE in den Rang eines acatech Programms erhoben. Damit unterstreicht acatech die herausragende Bedeutung von ASE für die Gestaltung der Zukunft des Innovationsstandorts Deutschland. Verantwortlich für die Umsetzung des Programms sind die Präsidiumsmitglieder Jürgen Gausemeier und Siegfried Russwurm.

Das vom BMBF geförderte Projekt AdWiSE

Das Thema ASE ist im Programm »Zukunft der Wertschöpfung – Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit« im Referat »Zukunft von Arbeit und Wertschöpfung; Industrie 4.0« (521) des BMBF positioniert. In diesem Kontext wird die Fördermaßnahme (Ausschreibung) »Beherrschung der Komplexität soziotechnischer Systeme – ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering für die Wertschöpfung von morgen (PDA_ASE)« durchgeführt. Gegenstand der damit geförderten neun Verbundprojekte ist die Erforschung, Entwicklung, exemplarische Implementierung und Validierung in industriellen Pilotanwendungen von übertragbaren Methoden, Werkzeugen und Modellen zur Entwicklung komplexer Systeme im Sinne von ASE. (Diese Projekte werden der Lesbarkeit halber im Folgenden als ASE-Verbundprojekte bezeichnet.) Die ASE-Verbundprojekte werden durch das wissenschaftliche **Begleitprojekt AdWiSE** mit der Zielsetzung flankiert, die wissenschaftliche Vorbereitung der geplanten Verbundprojekte, die projektübergreifende Vernetzung sowie die Nachbereitung und Verstetigung der Entwicklungen der vom BMBF geförderten ASE-Verbundprojekte im Sinne einer effektiven Begleitforschung zu unterstützen. Das **Projektkonsortium AdWiSE** umfasst acatech (vertreten durch Jürgen Gausemeier und Johannes Winter), das Institut für Produktentwicklung (IPEK) am Karlsruher Institut für Technologie (Albert Albers) sowie die Fraunhofer-Institute IAO (Oliver Riedel), IEM (Roman Dumitrescu) und IPK (Kai Lindow, Nachfolge Rainer Stark).

Im Zuge der wissenschaftlichen Vorbereitung wurde eine Erhebung des Ist-Stands in Wissenschaft und Wirtschaft durchgeführt [DAG+21]. Ferner wurde die vorliegende Strategie für den Aufbau einer strategischen Erfolgsposition ASE erarbeitet.

Struktur und Methodik der ASE-Strategie

Eine Strategie weist den Weg von einer heutigen Ausgangssituation zu einer Vision im Sinne eines Zukunftsentwurfs (siehe Bild 1). Daran orientiert sich auch die ASE-Strategie. Im Folgenden erläutern wir kurz die Struktur der ASE-Strategie und die jeweiligen methodischen Ansätze.

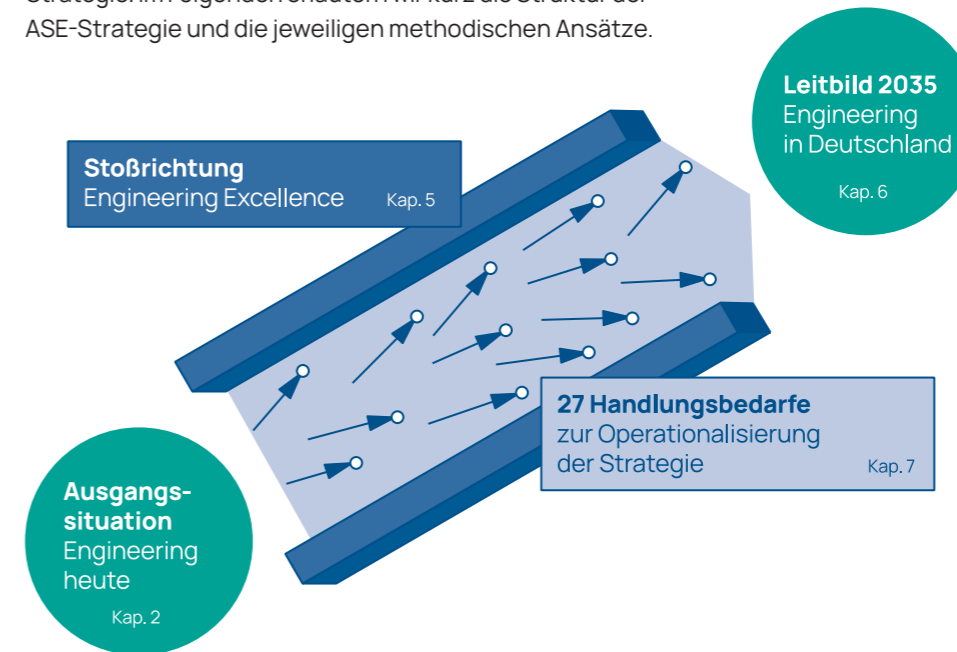


Bild 1: Eine Strategie beschreibt den Weg von einer Ausgangssituation zu einer Position in der Zukunft (Vision, Leitbild)

Kapitel 2, Ausgangssituation: Zusammenfassung der wesentlichen Befunde aus der Erhebung des Ist-Stands in Wissenschaft und Wirtschaft [DAG+21].

Kapitel 3, Vorausschau – Engineering im Jahr 2035 in Deutschland: Ausgehend von denkbaren Entwicklungen von 16 Einflussfaktoren aus den Bereichen Advanced Systems, Engineering, Faktor Mensch und Umfeld wurden drei Zukunftsszenarien erarbeitet, die das Engineering sowie entsprechende Rahmenbedingungen im Jahr 2035 charakterisieren. Das Szenario 2 »Optimale Rahmenbedingungen ergeben eine strategische Erfolgsposition« ist besonders vorteilhaft im Hinblick auf die Sicherung des Innovationsstandorts und – wenngleich auch mit erheblichen Anstrengungen – erreichbar. Daraus resultiert das Zielbild der vorliegenden Strategie.

Kapitel 4, SWOT¹-Analyse: Aus den Befunden der Ausgangssituation und dem Zukunftsszenario 2 ergeben sich Stärken, Schwächen, Chancen und Bedrohungen, die hier prägnant zusammengefasst dargestellt werden. Daraus lassen sich Erfolgspotentiale ableiten.

Kapitel 5, Strategische Stoßrichtung: Die SWOT-Analyse mündet in eine strategische Stoßrichtung, die die grundsätzliche Richtung und den Handlungskern der zu entwickelnden Strategie verdeutlicht. >

¹ SWOT: Strengths (Stärken), Weaknesses (Schwächen), Opportunities (Chancen), Threats (Bedrohungen)

Kapitel 6, Leitbild: Das Leitbild beschreibt nach Maßgabe der Stoßrichtung die Situation, die in Deutschland erreicht werden soll und trifft Aussagen zu fünf Bereichen (Zweck und Motivation, Mission, Ziele, Kernwerte und Stakeholder-Nutzen). Es umreißt umfassend die Zielsetzung, an der sich die ASE-Strategie und insbesondere die Handlungsbedarfe orientieren.

Kapitel 7, Konsequenzen und Handlungsbedarfe: Die Konsequenzen drücken aus, was grundsätzlich geschehen muss, um im Sinne des Leitbilds und insbesondere der strategischen Teilziele voranzukommen. Daraus folgen konkrete Handlungsbedarfe zur Operationalisierung der Strategie.

Zielgruppen

Aus Sicht eines einzelnen Unternehmens auf der Suche nach einer erfolgversprechenden Positionierung in Sachen Engineering und Innovation vermitteln die erarbeiteten Aussagen hauptsächlich die Rahmenbedingungen im künftigen Innovationswettbewerb. Die Einflussfaktoren liegen aber weitgehend außerhalb der Einflussmöglichkeiten eines einzelnen Unternehmens. Allerdings kann ein konzertiertes Zusammenwirken von Wirtschaft, Politik und Wissenschaft – sowohl auf nationaler wie auch auf europäischer Ebene – dafür sorgen, dass das Leitbild erreicht wird und aus dieser Situation die einzelnen Akteure auf dem Weg zu Innovationen einen erheblichen Schub erfahren. Vor diesem Hintergrund sollen primär Entscheiderinnen und Entscheider der Zielgruppen Wirtschaft, Politik und Wissenschaft angesprochen werden, die sich mit der Gestaltung des Innovationsstandorts Deutschland befassen. Als weitere wichtige Zielgruppe sehen wir Führungspersönlichkeiten aus Unternehmen, die das technikbezogene Geschäft von morgen gestalten und ein vitales Interesse an der Entwicklung der Rahmenbedingungen des Handlungsfelds Engineering im Kontext Innovation haben. Die Zielgruppe Wirtschaft impliziert neben den Belangen der Arbeitgeber selbstredend auch die der Arbeitnehmer. ●

2 Ausgangssituation

Wertschöpfung im Wandel

Übergeordnetes Ziel von ASE ist die Sicherung von Wertschöpfung und daraus resultierend von Beschäftigung, Wohlstand und Wohlfahrt. ASE fungiert als Leitbild für die erfolgreiche Gestaltung von innovativen Produkten, Dienstleistungen und Produkt-Service-Systemen sowie deren Entstehungsprozesse. Dies eröffnet eine neue umfassende Perspektive für die Planung, Entwicklung und den Betrieb der soziotechnischen Systeme von morgen. Im Hinblick auf die weitere Konkretisierung des Leitbilds wurde der Status quo des Engineerings in Wissenschaft und Wirtschaft erhoben und im internationalen Vergleich analysiert [DAG+21]. Die wichtigsten Erkenntnisse sowie der daraus resultierende Handlungsbedarf werden nachfolgend vorgestellt.

Advanced Systems

Marktleistungen von morgen

Megatrends im Engineering: Digitalisierung, Globalisierung und Nachhaltigkeit beeinflussen die zukünftigen Marktleistungen wie auch deren Entstehungsprozesse. Es eröffnen sich erhebliche Erfolgspotentiale, deren Ausschöpfung Umsetzungsstärke erfordert.

Perspektiven für Advanced Systems: Autonome Systeme, vernetzte, intelligente Systeme, soziotechnische Interaktion und Produkt-Service-Systeme entwickeln sich zu dominierenden Leistungsmerkmalen.

Herausforderungen bei der Gestaltung von Advanced Systems: Allem voran stehen die Bewältigung der Entwicklungskomplexität sowie nach wie vor kurze Innovationszyklen, Kostendruck und regulatorische Aspekte.

Systems Engineering

Komplexität managen

Verständnis von Systems Engineering: Viele halten Systems Engineering für ein potentiell mächtiges Werkzeug, die Vorstellungen sind aber eher vage.

Mehrwert von Systems Engineering: Systems Engineering fördert das gemeinsame Systemverständnis. Das ist die Voraussetzung für die professionelle Entwicklung der multidisziplinären Systeme von morgen. >

Leistungsstand von Systems Engineering in der Wirtschaft: Abgesehen von wenigen avantgardistischen Einsätzen wie in der Luft- und Raumfahrt steht Systems Engineering erst an der Schwelle zu einer Verbreitung.

Einführung von Systems Engineering: Auf dem Weg zum erfolgreichen Systems Engineering sind noch viele Hürden zu nehmen, wie methodische Defizite und geringe Erfahrung im Nachweis der Wirtschaftlichkeit. Offensichtlich bewährt sind eine inkrementelle, projektbezogene Einführung.

Rollen im Systems Engineering: Konsens herrscht über die Notwendigkeit der Rolle »Systems Engineer« und der daraus abgeleiteten Rollen wie dem »Systemarchitekten«. Konkrete Inhalte wie Aufgaben und Kompetenzen sind jedoch unklar. Einiges deutet darauf hin, dass die entsprechenden Qualifikationen durch Learning by Doing und berufsbegleitende Maßnahmen erworben werden müssen.

Model-Based Systems Engineering (MBSE): MBSE ist die Voraussetzung für die Durchgängigkeit des Entwicklungsgeschehens und ist somit ein wesentlicher konzeptioneller Schlüssel für den Erfolg von Systems Engineering. Nichtsdestotrotz setzen nur wenige Unternehmen MBSE ein. Der Einführungsaufwand wird als sehr hoch angesehen und die Amortisation ist vielfach unklar.

Advanced Engineering Engineering neu denken

Digitale Durchgängigkeit und Produktlebenszyklusmanagement (PLM): Im Zuge einer digitalen Durchgängigkeit existiert eine Vielfalt an IT-Tools und Datenbasen, die aufwändig zu integrieren sind. Dem muss mit Standards, zum Beispiel für Austauschformate, zur Gewährleistung von Datenschutz und Datensicherheit sowie für Programmierschnittstellen, entgegengewirkt werden.

Digitale Zwillinge und Betriebsdatennutzung im Engineering: EEs herrscht Konsens über die hohe Bedeutung des Konzepts Digitaler Zwilling und der damit verbundenen Nutzung von Betriebsdaten zur Systemoptimierung beziehungsweise in der Entwicklung späterer Systeme. Die Implementierung und Nutzung in der Praxis steckt

jedoch in den Kinderschuhen. Nur in wenigen Fällen greift die Produktentwicklung auf Betriebsdaten, beispielsweise für Zwecke der Produktoptimierung, zu.

KI und Assistenzsysteme: KI wird als mächtiges Werkzeug zur Unterstützung des Menschen angesehen. Bei der Erschließung dieses Potentials bestehen Herausforderungen, wie die Bildung domänenspezifischer KI-Modelle, sowie unzureichende Kompetenzen. Nichtdeterministische Lernalgorithmen werden noch kritisch gesehen.

Agilität im Engineering: Agile Arbeitsweisen werden als sehr förderlich für die Kommunikation und die Kooperation im Engineering angesehen – im Unternehmen und unternehmensübergreifend. Allerdings fehlt es noch an Vorgehensmodellen, um Agilität auf breiter Front einzuführen. Ferner bedarf es zudem einer Abstimmung agiler Arbeitsweisen mit Systems Engineering.

Kreativitätsmanagement im Engineering: Obwohl hinreichend bekannt ist, dass Innovationen auf Kreativität beruhen und eine Fülle an Kreativitätstechniken, inklusive überzeugender Success Stories, existiert, ist Kreativität in vielen Unternehmen nur ein Randthema. Viele Erfolgspotentiale sind bisher noch nicht erschlossen.

Produktgenerationsentwicklung (PGE): Die Innovationswirklichkeit wird vielfach durch ein Denken und Handeln in Produktgenerationen geprägt. Die Wissenschaft hat dies aufgegriffen und entsprechende Methoden zur modellorientierten Entwicklung von Produktgenerationen erarbeitet. Diese haben sich in der Praxis noch nicht vollumfänglich etabliert, sodass die Erfolgspotentiale der Produktgenerationsentwicklung noch nicht ausgeschöpft sind.

Auswirkungen von Advanced Systems Engineering auf die Organisation und den Menschen im soziotechnischen Gesamtsystem

Wandel der Organisationsstruktur und -kultur: Die Bewältigung der Engineering-Komplexität erfordert mitdenkendes Personal, ein hohes Kooperationsvermögen sowie Denken und Handeln in End-to-End-Prozessen. Für die meisten Unternehmen bedeutet das auch eine Weiterentwicklung der Unternehmenskultur, was erfahrungsgemäß Zeit und Beharrlichkeit verlangt.

Kollaboration im Engineering: Innovationskraft beruht zu einem erheblichen Teil auf dem Leitbild »Lernende Organisation« sowie auf gemeinsamen Ausdrucksmitteln und Praktiken. Die entsprechenden Potentiale sind bei Weitem noch nicht ausgeschöpft.

Kooperation von Wirtschaft und Wissenschaft: Aus der Interaktion und Zusammenarbeit von Unternehmen mit Hochschulinstituten resultieren häufig Innovationen. Dabei kommt es darauf an, die unterschiedlichen Interessenlagen aller Beteiligten (unternehmerische versus wissenschaftliche Ziele) in Einklang zu bringen. Die Befragten erwarten eine zunehmende Relevanz derartiger Kooperationen.

Rollen im Entstehungsprozess: Das Engineering-Umfeld verändert sich stetig. Das erfordert eine regelmäßige Nachjustierung der Rollen im Engineering-Geschehen, mit der eine situationskonforme Personaleinsatzplanung und Teamnominierung sowie eine vorausschauende Qualifikationsplanung einhergehen müssen.

Erforderliche Kompetenzen: Die Akteurinnen und Akteure in den Entstehungsprozessen von Innovationen werden mehr denn je gefordert sein, den Zielkonflikt zwischen fundiertem Fachwissen in dem jeweils involvierten Fachgebiet auf der einen Seite und einem ganzheitlichen Systemdenken auf der anderen Seite zu meistern. Mehr denn je kommt es ferner auf den ausgewogenen Dreiklang von Fach-, Methoden- und Sozialkompetenz an.

Bildungswege im Engineering: Es gilt, mehr junge Menschen für Technikwissenschaften zu begeistern, um einem Fachkräftemangel frühzeitig entgegenzuwirken. Hier ist nach neuen Wegen zu suchen, die zu einer sichtbaren Attraktivität der Systemgestaltung führen. Im Bereich der Hochschullehre erscheinen Projektarbeiten mit Aufgabenstellungen aus der Praxis, die in interdisziplinären Teams bearbeitet werden, als probates Mittel, um Fach-, Methoden- und Sozialkompetenzen einzusetzen und zu vertiefen. Ferner sind in der berufsbegleitenden Weiterbildung mit neuen Angeboten wirkungsvolle Akzente zu setzen.

Engineering im internationalen Vergleich

Systems Engineering in Forschung und Lehre im internationalen Vergleich: Die führenden Industrienationen haben Systems Engineering als Schlüsselkompetenz im Wettlauf um die Zukunft erkannt und handeln dementsprechend. China und die USA führen in diesem Bereich deutlich bei der Zahl der Hochschulabsolventinnen und -absolventen sowie den Publikationen, die ein Indiz für die Forschungsintensität sind. Deutschland folgt, hält jedoch nicht Schritt mit den führenden Nationen. Im europäischen Vergleich nimmt Deutschland beim Systems Engineering in Forschung und Lehre eine Vorreiterposition ein.

Advanced Engineering im internationalen Vergleich: Deutschland fällt auch in dieser Perspektive gegenüber den USA und China zurück. Signifikante Stärken sind noch in den Bereichen PLM und Digitaler Zwilling zu verzeichnen.

Advanced Systems Engineering im internationalen Vergleich: Die Untersuchung zeigt eine Zunahme der Veröffentlichungen in den kombinatorischen Betrachtungen der Themenfelder KI und SE sowie Agilität und SE. Offenbar kann dem dynamischen Wandel der Technologielandschaft und der Arbeitsweisen mit ASE wirkungsvoll begegnet werden. >

Resümee

Aus Gesprächen mit den Vertreterinnen und Vertretern aus Wirtschaft und Wissenschaft im Rahmen der Erhebung des Status quo des Engineerings ergibt sich das Meinungsbild, dass die Digitalisierung, der globale Wettbewerb und der Wandel von Arbeitsstrukturen die Organisationen vor neue Herausforderungen stellen werden. Die aktuelle Studienlage unterstreicht diesen Befund. Insbesondere bei Schlüsseltechnologien wie KI wird häufig gewarnt, dass ein zunehmender Rückstand im internationalen Vergleich die zukünftige Wertschöpfung erheblich beeinträchtigen kann. Gleichzeitig wird immer wieder hervorgehoben, dass die Innovationen von morgen nur durch das synergetische Zusammenwirken mehrerer Fachdisziplinen möglich werden. Die befragten Führungskräfte und die herausragenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sehen daher ein besonders attraktives Innovationspotential in der Gestaltung von komplexen interdisziplinären Systemen. Mit diesem Ansatz können anspruchsvolle Bedürfnisse des Markts sowie der Kundinnen und Kunden adressiert und die Wertschöpfung in Deutschland langfristig gesichert werden.

Die Marktleistungen der deutschen Kernbranchen wie der Automobilindustrie oder dem Maschinenbau sind international weiterhin sehr gefragt und basieren auf erfolgreichen Geschäftsmodellen. Die wissensbasierten Kompetenzen und Qualifikationen des Ingenieurwesens entlang der industriellen Wertschöpfung können nur schwer von internationalen Konkurrenten adaptiert oder kurzfristig aufgebaut werden. Der Wettbewerb der Wirtschaftsmächte bei der Gestaltung innovativer Marktleistungen ist folglich noch nicht entschieden. Der Schlüssel werden technische Lösungen sein, die insbesondere durch smarte, datenbasierte Dienstleistungen einen hohen Kundennutzen stiften und zu erfolgreichen Geschäftsmodellen führen.

Allerdings wird Deutschland auf sehr starke Wettbewerber stoßen: China, Japan, Südkorea und die USA haben die Bedeutung von ASE erkannt und handeln dementsprechend. Ansatzpunkte, um sich in dieser Wettbewerbsarena vorteilhaft zu differenzieren, ergeben sich aus der Beherrschung des gesamten Entstehungsprozesses einer Marktleistung von der strategischen Planung bis zum Markterfolg. Das schließt ausgesprochene Stärken in den Bereichen Qualität, Verlässlichkeit und Unternehmenskultur ein. Der Weg zu einer führenden Engineering-Nation wird größte Anstrengungen erfordern. Dies gilt ganz besonders für die Überwindung des Fachkräftemangels.

Die Erhebung des Status quo des Engineerings unterstreicht zwei weitere wichtige Punkte: 1) Spitzen-Engineering befähigt zur Wertschöpfung in Deutschland und 2) Engineering wurde bislang meistens nur implizit oder gar zweitrangig vorangetrieben (sowohl in der Forschung als auch in der Praxis). So laufen wir Gefahr, die Chance zu versäumen, die Innovationskraft durch ein Zusammenspiel von neuen Entwicklungsmethoden und neuen Kompetenzen, wie der Systemkompetenz (Systemgestaltungs-kompetenz) und der Datenkompetenz sowie Fähigkeiten wie Kreativität und Agilität, signifikant zu erhöhen.

»Advanced Systems Engineering« steht für den Wandel des Engineerings in Deutschland. 🍎

3 Vorausschau Engineering im Jahr 2035 in Deutschland

Die angestrebte ASE-Strategie weist den Weg von der heutigen Situation zu einer Vision im Sinne eines Zukunftsentwurfs. Um die Vision auf eine erfolgversprechende Basis zu stellen, ist es essentiell, sich ein Bild von den Situationen zu machen, die für das Jahr 2035 denkbar sind. Da praktisch alle Einflussfaktoren auf die Zukunft des Engineerings in unseren Händen liegen, gilt es, diejenige Situation in Form eines Zukunftsszenarios zu ermitteln, die für uns besonders vorteilhaft und erreichbar ist. Primärer Gegenstand des vorliegenden Kapitels ist ein umfassendes Zukunftsszenario, das die Rahmenbedingungen für Systems-Engineering-Lösungen mit einem Zeithorizont bis 2035 beschreibt.

Aus der Ausgangssituation resultieren Hinweise zur Gestaltung der Zukunft – allerdings aus der heutigen Perspektive. Wenn nun diese Hinweise vollumfänglich berücksichtigt würden, heißt das nicht, dass damit alle Herausforderungen der Zukunft bewältigt wären. Daher ist es wichtig, zukünftige Erfolgspotentiale und aufkommende Bedrohungen für das etablierte Geschäft aufzuspüren [aca12]. Eine bewährte Methodik dafür ist die Szenario-Technik [GP14], bei der es nach Kurt Sontheimer »weniger um das Vorhersagen als vielmehr das Vorausdenken der Zukunft geht« [Son70].

Ein Szenario ist eine allgemeinverständliche und nachvollziehbare Beschreibung einer möglichen Situation in der Zukunft, die auf einem konsistenten Bündel von Ausprägungen (Projektionen) von Einflussfaktoren beruht. Im vorliegenden Fall wurden 16 Einflussfaktoren identifiziert und ins Kalkül gezogen (siehe Bild 2).

Im Folgenden sind drei entwickelte Szenarien in Kurzfassung wiedergegeben, jeweils strukturiert nach »Advanced Systems«, »Engineering«, »Faktor Mensch« und »Umfeld« (siehe Tabelle 1). Das Szenario 2 »Optimale Rahmenbedingungen ergeben eine strategische Erfolgsposition²« ist besonders erfolgversprechend und auch erreichbar – wenn auch mit großen Anstrengungen. Daher verkörpert Szenario 2 die Situation im Jahr 2035, auf die wir uns einstellen sollten, wenn wir das Engineering der Zukunft gestalten. >

² »Strategische Erfolgsposition«: nach [PÜM83] eine Stärke, die ein Unternehmen besonders vorteilhaft im Wettbewerb positioniert, tief in der Unternehmenskultur verankert ist und nicht ohne Weiteres von Wettbewerbern nachvollziehbar ist.

Advanced Systems

- 1 Systemeigenschaften von soziotechnischen Systemen
- 2 System of Systems
- 3 Künstliche Intelligenz (KI)

Engineering

- 4 Entwicklungssystematiken
- 5 Validierung und Verifikation
- 6 Digitale Durchgängigkeit



Faktor Mensch

- 7 Bildungssystem
- 8 Weiterbildung
- 9 Arbeitsgestaltung

Umfeld

- 10 Standardisierung, Normung
- 11 Wertschöpfungskonzeption
- 12 Machtverhältnisse im Innovationswettbewerb
- 13 Zusammenarbeit Wirtschaft und Wissenschaft
- 14 Safety und Security, Resilienz
- 15 Digitale Souveränität
- 16 Entwicklung der Gesellschaft

Bild 2: Einflussfaktoren auf die Zukunft des Engineerings

Tabelle 1: Kurzfassungen und Gegenüberstellung der Szenarien

Einflussbereich	Szenario 1 »Der Innovationsstandort verliert an Boden«	Szenario 2 »Optimale Rahmenbedingungen ergeben eine strategische Erfolgsposition«	Szenario 3 »Schleppender Ausbau des innovationsförderlichen Engineering-Umfelds«
Advanced Systems	<p>Die hohen Erwartungen an die Schlüsseltechnologien haben sich nicht erfüllt:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Probleme bei der Validierung und Verifikation sowie Angst vor der Überlegenheit der Technik lähmen den Fortschritt. - KI beschränkt sich auf Expertensysteme und Nischen. 	<p>Die Schlüsseltechnologien eröffnen faszinierende Nutzenpotentiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Soziotechnische Systeme, KI und das Paradigma »System of Systems« boomen. - Die Online-Validierung stößt lediglich bei hochkomplexen Systemen an ihre Grenzen. 	<p>Die hochgesteckten Erwartungen haben einen Dämpfer erhalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Soziotechnische Systeme unterstützen eine pragmatische Kooperation von Menschen und Technik. - Die unzureichende Verlässlichkeit der Systeme sorgt für Ernüchterung.
Engineering	<p>Die postulierte Renaissance des Systems Engineering ist ausgeblieben:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Es herrscht ein Wildwuchs an Ansätzen. - Die IT-Giganten besetzen das Handlungsfeld Systems Engineering. - Die Konzepte MBSE und Digitaler Zwilling werden nur schleppend verwirklicht. 	<p>Engineering-Kompetenz ist der Schlüssel zu Innovationen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eine umfassende Engineering-Methodik wird von Wissenschaft und Wirtschaft akzeptiert. - MBSE und die Verwirklichung des Konzepts Digitaler Zwilling führen zu einem Innovationsschub. 	<p>Die Engineering-Kompetenz ist hoch:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Es zeichnet sich eine umfassende, in weiten Teilen akzeptierte Engineering-Methodik ab. - Eine Reihe von Communitys hält jedoch an eigenen Lösungen fest. - Starke Tool-Ökosysteme verfestigen diese Entwicklung.
Faktor Mensch	<p>Engineering findet global statt:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Freelancer sind die neuen Wanderarbeiter. - In Deutschland sorgt nur eine MINT-Elite für Innovationskraft. - Die Mehrheit der Bevölkerung schaut nur zu und partizipiert nicht von dieser Entwicklung. 	<p>Engineering schafft Top-Jobs:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Agile Arbeitsweisen, Kreativität und eine »Lust zur Systemgestaltung« zeichnen den Wandel der Arbeitswelt aus. - Es herrscht eine hohe Arbeitszufriedenheit. - Weiterbildung findet im Sinne des Leitbilds der lernenden Organisation statt. 	<p>Stillstand, allenfalls graduelle Fortschritte:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Es herrscht nach wie vor ein Fachkräftemangel. - Weiterbildung wird oft als notwendiges Übel angesehen. - Unternehmen setzen auf bewährte Ansätze der Arbeitsgestaltung wie zum Beispiel den kontinuierlichen Verbesserungsprozess.
Umfeld	<p>Der Innovationsstandort befindet sich in einer schwierigen Situation:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Klassische Branchen geraten durch hohe ökologische Anforderungen unter Druck. - Das Oligopol der Hyperscaler³ beherrscht IKT. - Die Digitalisierung wird fremdbestimmt. - Partialinteressen behindern Standardisierung. 	<p>Verantwortungsvolle Kooperation zählt:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die europäische Integration führt zu einer neuen Stärke mit ökologisch, ökonomisch und sozial ausgewogenen Innovationen. - Wertschöpfungsnetzwerke werden von einer neuen Kooperationskultur geprägt. - Digitale Souveränität ist gewährleistet. - Standards ermöglichen »Plug and Work«. 	<p>Mehr Licht als Schatten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Gesellschaft befindet sich im Wettbewerbsmodus. - Digitale Souveränität wird teils durch eigene, teils durch transatlantische Lösungen gewährleistet. - Offene Standards fördern Innovationsdynamik.

³ »Hyperscaler«: Tech-Konzerne wie Amazon, Google, Microsoft und Alibaba, die sämtliche Cloud-Dienstleistungen aus einer Hand anbieten können.

Im Anhang ist Szenario 2 ausführlich beschrieben, wobei die gleiche Grundstruktur wie bei den Kurzfassungen gewählt wurde (das heißt eine Beschreibung in den Dimensionen Advanced Systems, Engineering, Faktor Mensch und Umfeld). Darüber hinaus enthält jeder Absatz eine prägnante Beschreibung der relevanten Projektion des jeweiligen Einflussfaktors.

Resümee

Die ins Kalkül gezogenen 16 Einflussfaktoren stecken die Wettbewerbsarena im Kontext des Engineerings und der technologischen Innovationen ab. Die je Einflussfaktor erarbeiteten denkbaren Entwicklungen (Projektionen) mit einem Zukunftshorizont 2035 münden in drei in sich konsistente Zukunftsszenarien, die erreichbar sind; allerdings ist nur Szenario 2 vorteilhaft, sodass dieses Szenario als Zielbild für ein strategisches Agieren dient.

Aus Sicht eines einzelnen Unternehmens auf der Suche nach einer Erfolg versprechenden Positionierung in Sachen Engineering und Innovation vermittelt das Szenario 2 die Rahmenbedingungen im Wettbewerb von morgen. Die Einflussfaktoren liegen aber weitgehend außerhalb der Einflussmöglichkeiten eines einzelnen Unternehmens. Allerdings kann ein konzentriertes Zusammenwirken von Wirtschaft, Politik und Wissenschaft – sowohl auf nationaler wie auch auf europäischer Ebene – dafür sorgen, dass das Zielbild erreicht wird und aus dieser Situation die einzelnen Akteure auf den Weg zu Innovationen einen erheblichen Schub erfahren. Wie dieses konzentrierte Zusammenwirken konkretisiert werden könnte, wird in Kapitel 7 »Konsequenzen und Handlungsbedarfe« behandelt. Welche Schlüsse ein Unternehmen aus Szenario 2 ziehen könnte, obliegt dem Unternehmen und ist nicht Gegenstand der vorliegenden Strategie. ●

4 SWOT-Analyse

Die Ausführungen zu der Ausgangssituation und dem angestrebten Zukunftsszenario enthalten eine Fülle von Hinweisen für die Entwicklung einer ASE-Strategie, die in Form einer SWOT-Analyse (Strengths, Weaknesses, Opportunities und Threats) im Sinne einer prägnanten Zwischenbilanz strukturiert werden.

Die Hinweise resultieren größtenteils aus den Interviews, die in Hinblick auf die Analyse der Ausgangssituation geführt wurden, sowie aus der Erarbeitung der Zukunftsszenarien. In einem Workshop mit dem Experten- und Dialogkreis wurde eine umfassende SWOT-Analyse vorgestellt, überprüft und wo nötig modifiziert. Auf dieser Grundlage entstand die in Tabelle 2 wiedergegebene Aufstellung, die die wesentlichen Stärken, Schwächen, Chancen und Bedrohungen enthält. >

Tabelle 2: Ergebnisse der SWOT-Analyse

Strengths/Stärken

- S1 Kompetenzen für cyber-physische Systeme (CPS) und cyber-physische Produktionssysteme (CPPS)
- S2 Kompetenzen in der Produktentwicklung, Produktionstechnik und Produktionssystementwicklung
- S3 Ausgeprägtes Nachhaltigkeits-Mindset
- S4 Problembewusstsein und Kompetenzen bezüglich Informationssicherheit und Datenschutz
- S5 Intensive Interaktion von Wissenschaft und Wirtschaft

Weaknesses/Schwächen

- W1 Entwicklung softwareintensiver Systeme
- W2 Integrative Entwicklung von Sach- und Dienstleistungen, Geschäftsmodellen und Wertschöpfungsnetzwerken
- W3 Rudimentäre Nutzung von Systems Engineering in der Industrie
- W4 Umsetzung der digitalen Transformation in Wirtschaft und öffentlichem Leben
- W5 Ausschöpfung der Erfolgspotentiale von Agilität und Kreativität
- W6 Eklatanter Fachkräftemangel im Engineering

Opportunities/Chancen

- O1 Steigende Marktrelevanz von Autonomie, Interaktivität und Vernetzung in Verbindung mit Verlässlichkeit
- O2 Steigende Nachfrage nach neuen Engineering-Lösungen für nachhaltige, intelligente technische Systeme
- O3 Entstehung neuer Formen der Wertschöpfung durch Analyse und Verwertung von Daten im Engineering
- O4 Breite Verfügbarkeit von Schrittmachertechnologien (zum Beispiel KI und Cloud-Infrastrukturen)
- O5 Etablierung von innovationsförderlichen Kooperationskulturen

Threats/Bedrohungen

- T1 Scheitern der Validierung von komplexen Systems of Systems
- T2 Mangelnde Akzeptanz von Innovationen aufgrund von »Technik-Angst«
- T3 Wettbewerbsnachteile durch Überregulierung
- T4 Digitale Abhängigkeit von den USA und/oder China
- T5 Schäden durch Cyber-Attacken

Aus der SWOT-Analyse resultieren insbesondere vier Erfolgspotentiale, die als Steuergrößen für die Operationalisierung der Strategie dienen. Die Klammern kennzeichnen die jeweils aufgegriffenen Aspekte der SWOT-Analyse.

- 1) Der Engineering-Standort Deutschland kann auch in Zukunft erfolgreich sein, wenn er seine führende Stellung in der Entwicklung und Produktion intelligenter technischer Systeme ausbaut, den neuen Marktanforderungen Autonomie, Interaktivität und Vernetzung gerecht wird und ihm eine Differenzierung durch Verlässlichkeit gelingt (S1, S2, O1).
- 2) Neben der weiterhin hohen Qualität wird insbesondere die Nachhaltigkeit der entwickelten Systeme im Fokus stehen (S3, O2).
- 3) Aufgrund der stetig steigenden Anzahl an CPS und CPPS werden in Zukunft kaum vorstellbare Datenmengen verfügbar sein. Im Engineering wird es auf die Auswertung eben dieser Datenmengen ankommen. Dafür ergeben sich insbesondere aus KI vielversprechende Lösungsansätze (O3, O4).
- 4) Die steigende Vernetzung sowie das Paradigma System of Systems werden mehr denn je die unternehmensübergreifende Zusammenarbeit erfordern. Eine innovationsfreundliche Kooperationskultur bildet die Grundlage für die erfolgreiche Zusammenarbeit (O5).

Resümee

Der Innovations- und Produktionsstandort Deutschland befindet sich im globalen Wettbewerb in einer aussichtsreichen Position, was durch die erheblichen Stärken und die Erfolg versprechenden Chancen unterstrichen wird. Es darf aber nicht übersehen werden, dass die festgestellten Schwächen sehr gravierender Natur sind und ein energisches Zupacken zur Überwindung dieser Schwächen unumgänglich ist. Des Weiteren müssen die ebenfalls sehr gravierenden Bedrohungen fest in den Blick genommen und zum Gegenstand einer vorausschauenden Bedrohungsanalyse gemacht werden, um im Fall des Eintretens der Bedrohungen rechtzeitig und wirkungsvoll gegensteuern zu können. Wie die identifizierten Erfolgspotentiale ausgeschöpft werden können, wird im Kapitel 7 »Konsequenzen und Handlungsbedarfe« konkretisiert. ●

5 Strategische Stoßrichtung »Engineering Excellence«

Die aus den vielfältigen Hinweisen sich abzeichnenden Maßnahmen und Handlungsbedarfe sind so zu bündeln, dass die Kräfte auf ein übergeordnetes Ziel gerichtet sind und eine maximale Wirkung erzielen. Dafür bedarf es einer klaren strategischen Stoßrichtung, die die grundsätzliche Richtung und den Handlungskern der zu entwickelnden Strategie verdeutlicht.

Es ist davon auszugehen, dass die hier ins Auge gefassten Systeme komplexer werden und die Intensität des globalen Innovationswettbewerbs eher zunimmt. Angesichts dessen liegt es nahe, einen ehrgeizigen strategischen Ansatz zu verfolgen, der zu erstklassigen Engineering-Ergebnissen führt, die gleichzeitig dem hohen Anspruch an Wertschöpfung, Beschäftigung, Wohlstand und Wohlfahrt genügen. Ferner kommt es darauf an, der Fülle der teils konkurrierenden Designziele, wie Usability, Resilience, Security und Sustainability, gerecht zu werden, was durch die Formel »...by Design« zum Ausdruck kommt, und die entsprechenden designzielspezifischen Lösungen zu integrieren. Des Weiteren zeichnet sich ab, dass die Verlässlichkeit (dies beinhaltet Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, Sicherheit und Vertraulichkeit) der zu entwickelnden Systeme ein entscheidendes Differenzierungsmerkmal in der Wettbewerbsarena von morgen sein wird. Vor dem Hintergrund dieser übergeordneten Überlegungen ergibt sich die ambitionierte **strategische Stoßrichtung »Engineering Excellence«**, die den Anspruch unterstreicht, im Wettbewerb der führenden Industrienationen einen Spitzenplatz zu erobern und auszubauen. Das erfordert vorderhand eine

Bündelung von Methoden- und Verhaltensinnovationen und äußert sich im Gesamtergebnis, dass Unternehmen mit ASE schneller zum Markterfolg kommen.

Methodeninnovationen bilden die Basis für exzellentes Engineering und betreffen insbesondere Vorausschau und Technologieplanung, Einsatz von KI in Erzeugnissen und Engineering-Prozessen, Entwurfstechniken, Nutzung Digitaler Zwillinge, Validierung und Verlässlichkeit.

Verhaltensinnovationen adressieren das soziotechnische Gesamtsystem der Marktleistungserstellung und die fruchtbare Zusammenarbeit in komplexen Wertschöpfungsnetzen. Leitgedanke in der entsprechenden Unternehmenskultur ist »die Freude an der Systemgestaltung«.

Die führenden Engineering-Nationen treiben Systems Engineering mit einer starken Manpower und Intensität voran. Vor diesem Hintergrund ist es höchst zweifelhaft, ob die Fachkräftebasis in Deutschland ausreicht, um im globalen Engineering-Wettbewerb mitzuhaltan. Daher muss die strategische Stoßrichtung mit einer **Fachkräfte-offensive** flankiert werden, die auf die Ausschöpfung von zwei offensichtlichen Reservoirs abzielt: Die »Generation 50+« und die »latent technikaffine Jugend«.

Digitale beziehungsweise **technologische Souveränität**: Engineering-Führung bedeutet nicht die Führung in jeder einschlägigen Schlüsseltechnologie wie KI oder System of Systems, sondern die Fähigkeit zur Beherrschung und Nutzung solcher Schlüsseltechnologien. Dies erfordert technologische Anwendersouveränität. Außerdem muss der Engineering-Führer die technologische Anbietersouveränität auf dem Gebiet des Engineerings erobern, um sich auf Dauer zu behaupten. Unter dieser Voraussetzung hat der Engineering-Führer auf dem Weg zu Innovationen tendenziell eine vorteilhaftere Position als der Technologie-Führer. Er verfügt über entscheidende Kompetenzen und Mittel im Engineering und kann gleichzeitig Schlüsseltechnologien in der Produktentstehung souverän nutzen.

Resümee

Die Systeme von morgen werden komplex sein und hohe Anforderungen insbesondere an Nachhaltigkeit und Verlässlichkeit erfüllen müssen. Deutschland hat im Innovationswettbewerb den Anspruch, solche Systeme schnell und sicher zum Markterfolg zu bringen. Das erfordert in erster Linie Spitzen-Engineering, aber auch innovationsförderliche Rahmenbedingungen wie eine adäquate Fachkräftebasis und technologische Souveränität. Vor diesem Hintergrund kristallisiert sich »Engineering Excellence« als strategische Erfolgsposition im Innovationswettbewerb von morgen heraus. ●

6 Leitbild

Das Leitbild ist eine prägnante Beschreibung einer Situation im Jahr 2035, die wir in Deutschland erreichen wollen. Es trifft Aussagen zu fünf Bereichen: Zweck und Motivation, Mission, Ziele, Kernwerte und Stakeholder-Nutzen (siehe Bild 3). Damit umreißt es umfassend die Zielsetzung, an der sich die ASE-Strategie und insbesondere die Handlungsbedarfe orientieren. Ferner ist zu prüfen, ob sich aus dem Leitbild Alleinstellungsmerkmale – auch unterschwellig – herausbilden können.



Bild 3: Die fünf Bereiche des ASE-Leitbilds

1 Zweck und Motivation

Wir wollen Wohlstand, Wohlfahrt und Nachhaltigkeit. Der Weg dorthin führt über Spitzen-Engineering, das gute Ideen und Inventionen frühzeitig erkennt, rechtzeitig aufgreift, konkretisiert und zum Markterfolg bringt.

2 Mission

Aus der Entwicklung von Technologien, Märkten und gesellschaftlichen Umfeldern eröffnen sich faszinierende Erfolgspotentiale für Innovationen, Wertschöpfung und Beschäftigung. Diese wollen wir mit ASE erschließen. ASE steht für den weitreichenden Wandel des Engineerings von komplexen technischen und soziotechnischen Systemen in Deutschland. Das »German Engineering« differenziert sich vor allem durch Nachhaltigkeit und Verlässlichkeit (Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, Sicherheit und Vertraulichkeit).

3 Ziele

Wir wollen die Spitzenstellung im Engineering von technischen und soziotechnischen Systemen. Damit wollen wir den zentralen transformatorischen Herausforderungen unserer Zeit, wie Digitalisierung, Energieversorgung, Mobilität und Nachhaltigkeit, wirkungsvoll begegnen und aus dem sich abzeichnenden Umbruch als Gewinner hervorgehen. Diese übergeordnete Zielsetzung gliedern wir in strategische Teilziele: ➤

Teilziel 1: »German Engineering« ist an der Spitze; die Methodik ASE ist ein globaler Defacto-Standard.

Teilziel 2: Deutschland ist Leitanbieter für Advanced Systems. Leistungsmerkmale derartiger Systeme sind Autonomie, Vernetzung intelligenter Systeme, sozio-technische Interaktion und Produkt-Service-Integration.

Teilziel 3: Engineering ist »Job-Motor«. Der hohe Leistungsstand im ASE erweist sich als ein Hauptbefähiger für Innovationen. Aus dieser prosperierenden Entwicklung entstehen mehr denn je attraktive Arbeitsplätze.

Teilziel 4: Hohe Technikaffinität der Gesellschaft im globalen Vergleich. Es herrscht die Einsicht vor, dass die offensichtlichen Herausforderungen unserer Zeit in erheblichem Umfang Technik erfordern und insbesondere das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung mit massivem Einsatz von Spitzen-Engineering zu verwirklichen ist.

Teilziel 5: ASE-Studiengänge boomen. Die hohe Identifikation der jungen Menschen mit der Gestaltung der sozio-technischen Systeme von morgen sowie die Attraktivität des Arbeitsmarktes führen zu einem Boom von ASE-affinen Studiengängen primär in den Ingenieurwissenschaften und der Informatik.

Teilziel 6: Innovationsförderliche Arbeitskultur im Innovationsgeschehen. Neue, durch Kreativität und Agilität geprägte Arbeitsweisen, ein gut ausbalancierter Dreiklang von Fach-, Methoden- und Sozialkompetenz sowie die vielerorts zu beobachtende Einstellung, durch Kooperation schneller zum Markterfolg zu kommen, führen zu hoher Produktivität und Arbeitszufriedenheit.

Teilziel 7: Europäische digitale, technologische Souveränität und Cyber-Infrastruktur. Ausgehend von der vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) jährlich herausgegebenen Cyber-Security-Strategie hat sich in der Praxis ein strategiegeleitetes Agieren etabliert. Damit einhergehend ist eine leistungsfähige Cyber-Security-Industrie entstanden.

4 Kernwerte

Die Kernwerte prägen das Denken und Handeln sowie die Arbeitskultur in Engineering-Prozessen. Sie setzen Emotionen frei, fördern einen Geist des Aufbruchs und bilden die Basis für den Auf- und Ausbau der strategischen Erfolgsposition »Engineering Excellence«, die von Dritten nicht ohne Weiteres nachvollziehbar ist. Es bieten sich folgende grundlegende Werte an:

- Balance von ökonomischen, ökologischen und sozialen Innovationszielen.
- Freude an Systemgestaltung; Systemgestaltung heißt Zukunftsgestaltung.
- Mut und Kompetenz, die Grenzen des gewohnten Denkens zu überwinden, das »Udenkbare« zu denken, da oft nicht das vermeintlich Wahrscheinliche, sondern das »Udenkbare« Wirklichkeit wurde.

5 Stakeholder-Nutzen

Für die Jugend: Eröffnen von Perspektiven.

Nach dem »Global Youth Development Index« haben junge Deutsche in der Altersklasse von 15 bis 29 Jahren weltweit gesehen sehr gute Zukunftschancen [Cs21]. Dennoch sorgen sich viele junge Deutsche um die Zukunft und nur wenige sehen klar ihre konkreten Möglichkeiten, die Zukunft zu gestalten. Noch weniger ist jungen Deutschen bewusst, dass die Überwindung der großen Herausforderungen unserer Zeit den Einsatz von Technik erfordert und zur Verwirklichung der entsprechenden technischen und soziotechnischen Systeme Systems Engineering erforderlich ist. »Mindestens die Hälfte der Klima-Aktivisten sollten Entwicklungsingenieure werden und an neuen Konzepten für Energieversorgung und Klimaschutz arbeiten«⁴. Wir wollen die Jugend an ASE heranzuführen und die Erkenntnis vermitteln, dass die Zukunft wirkungsvoll gestaltet werden kann und das in hohem Maße sinnstiftend ist.

⁴ Natalie Kühn, in INSM Initiative Neue Soziale Marktwirtschaft, Berlin 2021

Für die Hochschulen: Wissen aus dem dynamischen Innovationsgeschehen ziehen.

Hochschulen stehen in einem internationalen Wettbewerb um die besten Köpfe und Forschungsfelder. Zunehmend wird die Frage gestellt, welchen Einfluss die Hochschulforschung auf Innovationen hat. Innovationen entstehen im Schnittpunkt von »Application Pull« und »Science Push«. Insofern sind sowohl die Grundlagenforschung als auch die angewandte Forschung für das Innovationsgeschehen hochgradig relevant. Es liegt daher nahe, die Hochschulen in das Innovationsgeschehen zu integrieren, um daraus Wissen und Impulse zu ziehen sowie sie wirkungsvoller als bisher in die Lage zu versetzen, Inventionen voranzutreiben und für Innovationen entscheidende Impulse zu geben. Das ASE-Leitbild kann den Hochschulen zudem eine Orientierung bieten, um die Bedarfe bei der praktischen Umsetzung von Innovationen besser zu verstehen. Damit geht zum Beispiel die verstärkte Förderung von Interdisziplinarität und des systemischen Denkens einher. Das wirkt sich auch auf die Positionierung der Hochschulen im internationalen Wettbewerb vorteilhaft aus.

Für die Unternehmen: Die Innovationskraft im Engineering stärken.

ASE hat den Anspruch, den Ideenreichtum am Engineering-Standort Deutschland in neue Produkte, Dienstleistungen und Produkt-Service-Systeme zu überführen und diese erfolgreich am Markt zu etablieren. Angesichts der hohen Komplexität der Marktleistungen und der damit verbundenen Entstehungs- und Nutzungsprozesse kommt es mehr denn je darauf an, diese Komplexität vollumfänglich zu bewältigen. ASE leistet das. Insofern stärkt ASE die Innovationskraft der Unternehmen in den hier adressierten Zukunftsfeldern.

Für die Gesellschaft: Zuversicht erzeugen und attraktive Arbeitsplätze schaffen.

Lediglich eine knappe Mehrheit der Deutschen erwartet positive Auswirkungen der Digitalisierung auf die Gesellschaft. Drei Viertel (74 Prozent) der Befragten äußern die Befürchtung, dass im Zuge der Digitalisierung Arbeits-

plätze verloren gehen [ak19]. Ereignisse, wie der Diesel-Abgasskandal, die Schwierigkeiten in Großprojekten wie dem Berliner Flughafen oder der misslungene Aufbau einer Solarindustrie, haben zudem das Vertrauen in den eigenen Innovationsstandort erschüttert. ASE hat das Potential, auch komplexe Projekte zum Erfolg zu bringen. Es kann davon ausgegangen werden, dass nach und nach sehr positive ASE-Referenzen entstehen, die den Eindruck verstärken, dass mit ASE auch die dominierenden Herausforderungen wie der Klimawandel bewältigt werden können. Das erzeugt Zuversicht. Damit einher geht die Schaffung von neuen attraktiven Arbeitsplätzen.

Resümee

Aus dem Leitbild resultieren eine Reihe potentieller Alleinstellungsmerkmale, die zur vorteilhaften Positionierung des Innovationsstandorts Deutschland maßgeblich beitragen könnten: Es handelt sich um die drei Kernwerte, die angestrebte Differenzierung durch nachhaltige und verlässliche Systeme sowie die angestrebte Engineering-Führung. Diese Alleinstellungsmerkmale sind samt und sonders in der Organisations- beziehungsweise Arbeitskultur verankert und somit von Wettbewerbern nicht ohne Weiteres nachvollziehbar. Zusammengefasst ergibt das die strategische Erfolgsposition »Engineering Excellence«. ●

7 Konsequenzen und Handlungsbedarfe

Konsequenzen drücken aus, was grundsätzlich geschehen muss, um im Sinne des Leitbilds und insbesondere der strategischen Ziele voranzukommen. Sie fördern den öffentlichen Diskurs und spannen einen Suchraum für Handlungsbedarfe (H) zur weiteren Operationalisierung der Strategie auf. Die daraus resultierenden Informationen verdeutlichen den Handlungsrahmen für das strategische Agieren und geben den involvierten Akteuren Hinweise für eine anzustrebende Positionierung im globalen Innovationswettbewerb.

1 Strategiekompetenz stärken.

ASE umfasst den gesamten Innovationsprozess von der ersten Geschäftsidee über die Marktleistungs- und Produktionssystementwicklung bis zum erfolgreichen Markteintritt. In den frühen Phasen des Innovationsprozesses sind die denkbaren Entwicklungen von Märkten, Technologien und Geschäftsumfeldern zu antizipieren, Marktleistungen, Geschäftsmodelle und Wertschöpfungsnetze zu konzipieren und präzise Entwicklungsaufträge zu erarbeiten. Insbesondere viele kleine und mittlere Unternehmen (KMU) beherrschen nicht die Methoden und Werkzeuge zur effizienten Wahrnehmung dieser Aufgaben und können dafür nicht in dem Maße wie führende große Unternehmen Ressourcen einsetzen. Es bietet sich daher an, im Rahmen von vorwettbewerblichen Kooperationsforen die große Anzahl von KMU, die strategische Planung allenfalls rudimentär einsetzen, auf diesem Gebiet sukzessive zu qualifizieren.

H 1.1: Technologie-Frühaufklärung betreiben.

Es geht um die frühzeitige Identifikation und Aufbereitung von Technologien beziehungsweise technologischen Entwicklungen, die am Horizont auftauchen, ein Disruptionspotential erkennen lassen und aller Voraussicht nach zu einer intensiven Debatte der Stakeholder führen. In deren Verlauf sind Fragen derart zu beantworten: Welche Auswirkungen könnte die neue Technologie auf die Gesellschaft beziehungsweise das etablierte Geschäft haben? Die Reihe acatech HORIZONTE kann dafür einen wichtigen Impuls geben.

H 1.2: Mit Zukunfts-Reports Orientierungswissen teilen.

Strategische Führung erfordert das frühzeitige Erkennen der Erfolgspotentiale der Zukunft und der Bedrohungen für das etablierte Geschäft von heute. Dafür wird das Format Zukunftsreports vorgeschlagen. Die Reports antizipieren Entwicklungen von Märkten und Geschäftsumfeldern (Branche, Zulieferer, Wirtschaft, Politik etc.) und vermitteln Orientierungswissen. Sie adressieren Klassen von Unternehmen wie beispielsweise die Software-Industrie oder die Hersteller von elektrischen Antrieben. Die Erarbeitung der Reports erfolgt vorwettbewerblich gemeinsam. Selbstredend zieht jedes Unternehmen seine spezifischen Schlüsse aus den Reports, ergänzt die unternehmensübergreifenden Zukunftseinschätzungen um eigene Aspekte und schafft so eine fundierte Basis für strategische Entscheidungen. >

H 1.3: ASE-Reifegradmodell einführen.

Für einzelne Unternehmen stellen sich zwei Fragen: 1) Wo stehen wir bezüglich des Einsatzes von ASE heute und 2) was müssen wir noch tun, um die für uns besonders relevanten ASE-Nutzenpotentiale sukzessive zu erschließen? Es geht also nicht darum, alles, was ASE bietet, auszu-schöpfen, sondern die ASE-Instrumente einzusetzen, die für das Erreichen der angestrebten strategischen Wettbewerbsposition erforderlich sind. Daher bietet es sich auch hier an, vorwettbewerblich und auf Unternehmensklassen fokussiert Reifegradmodelle zu erarbeiten, die jeweils aus einem Verfahren sowie einer Wissensbasis bestehen und auf einzelne Unternehmen übertragbar sind.

H 1.4: Kompetenz-Monitoring verstetigen.

Angestoßen durch den »Innovationsdialog« von Bundesregierung, Wirtschaft und Wissenschaft hat acatech gemeinsam mit dem Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) und der Hans-Böckler-Stiftung ein Verfahren für ein Nationales Kompetenz-Monitoring (NKM) erarbeitet [aca18]. Das NKM gibt einen Überblick über Kompetenzbedarfe für Zukunftstechnologien, die in Hinblick auf die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen von besonderer Bedeutung sind. Das Verfahren wurde anhand der zwei Technologien Data Science und Energiespeichersysteme (Fokus: Lithium-Ionen-Speicher) erfolgreich erprobt. Die drei Kooperationspartner empfehlen den breiten Einsatz des NKM. Im Rahmen der ASE-Strategie wird das Verfahren nachdrücklich empfohlen, weil unmittelbar nach Erhalt der Ergebnisse einer Technologie-Frühaufklärung die Frage nach den erforderlichen Kompetenzen und deren Leistungsstand im internationalen Vergleich zu beantworten ist.

2 Vielfalt der Aktivitäten bewältigen.

Auf dem Weg zum Leitbild bieten sich viele Aktivitäten an, die in der Regel mit den strategischen Zielen und auch untereinander vernetzt sind. Vor diesem Hintergrund ist es essentiell, das systemische Verhalten dieser Aktivitäten zu analysieren, um insbesondere deren Hebelwirkung auf das Leitbild zu bewerten und eine Einstufung hinsichtlich der Merkmale Wichtigkeit und Dringlichkeit zu unterstützen. Dies ist eine wichtige Grundlage für ein wirkungsvolles Programm-Management und den Aufbau einer Plattform ASE.

H 2.1: Programm-Management »Engineering Excellence« einrichten.

Es handelt sich um eine von der Industrie und den Hochschulen getragene dynamische Lenkungs- und Arbeitsorganisation, die die Umsetzung von besonders relevanten ASE-Aktivitäten vorantreibt. Dies soll als Hauptergebnis in einen weltweit anerkannten De-facto-Standard einer ASE-Methodik münden, die beispielsweise unter der Marke »German Engineering« etabliert werden sollte. Weitere wichtige, zu koordinierende Aktivitäten wären die Entwicklung von ASE-Datenräumen, Standardisierung, Validierung und Software Systems Engineering. Ferner obliegt dem Programm-Management die regelmäßige Überprüfung und Weiterentwicklung der vorliegenden ASE-Strategie. Das schließt das Umsetzungs- und das Prämissen-Controlling ein, welches auf die Dienste entsprechend der Handlungsbedarfe H 1.1, H 1.2 und H 1.4 zurückgreifen soll.

H 2.2: ASE als Querschnittsaufgabe begreifen.

Herausragende Innovationsfelder, wie Industrie 4.0, die Zukunft der Mobilität, Energiesysteme und Circular Economy, werden über kurz oder lang mit Fragen der Systemgestaltung und des damit verbundenen Engineerings konfrontiert. Angesichts dieser abzusehenden Entwicklung liegt es nahe, ASE als Querschnittsaufgabe über alle Innovationsfelder zu begreifen. Gleichzeitig ist dabei Sorge zu tragen, dass sich alle Akteure unter der Federführung des Programm-Managements mit dem Ziel

aufeinander zu bewegen, eine auf der Systemtechnik beruhende generische, aber ausprägbare ASE-Methodik zu etablieren. Als wesentliche Katalysatoren dieses Prozesses sind vor allem die Aktionsfelder Datenräume und Standardisierung zu nennen.

H 2.3: Erfolgsgeschichten aufbereiten und kommunizieren.

Folgende Gegebenheiten fördern die Verbreitung von ASE:

- Aussagekräftige Anwendungsbeispiele, die den Nutzen von ASE verdeutlichen und die sich auf die Innovationspraxis der interessierten Unternehmen übertragen lassen,
- der Nachweis, dass diese Beispiele wirtschaftlich sind sowie
- die Verdeutlichung der Rolle von ASE zur Erschließung von Wertschöpfungspotentialen.

Hinsichtlich der Erfassung und Aufbereitung der Erfolgsgeschichten ist eine Klassifizierung auf Basis einer relativ großen Menge an Beispielen sinnvoll, da dies Unternehmen hilft, relevante Beispiele schnell zu identifizieren. Mit Blick auf die Notwendigkeit, weite Kreise der Gesellschaft und insbesondere die Jugend für das Thema ASE zu gewinnen, sollte ein erheblicher Teil der Beispiele Themen wie Nachhaltigkeit und Klimaschutz adressieren, da diese Themen die jeweiligen Zielgruppen besonders ansprechen. Unternehmen, die in ASE investieren wollen, benötigen zum Nachweis der Wirtschaftlichkeit außerdem Hinweise zur möglichen Monetisierung des Nutzens. Beispiele dafür sind ein direkt quantifizierbarer Nutzen, wie die Verkürzung der Entwicklungszeit oder die Senkung der Testkosten, sowie ein nur indirekt quantifizierbarer Nutzen, wie ein früherer Markteintritt oder ein Imagegewinn durch zuverlässige Systeme. Auf der Kostenseite sind Initialkosten und laufende Kosten ins Kalkül zu ziehen.

H 2.4: Plattform für ASE betreiben.

Die im Rahmen des Begleitprojekts AdWiSE entwickelte Plattform ASE dient zunächst der Veröffentlichung der Ergebnisse aus den Verbundprojekten der Bekanntmachung PDA_ASE und der Begleitforschung aus AdWiSE selbst. Gleichzeitig fördert die Plattform die Vernetzung der Verbundprojekte und weist den Weg zu einer Verstetigung ihrer Aktivitäten. Perspektivisch könnte die Plattform folgende Funktionen bieten:

- Aufbau eines umfassenden Werkzeug-Ökosystems nach Maßgabe des Ebenen-Modells der digitalen Souveränität.
- Unterstützung der Kooperation und des Datenaustauschs in unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsnetzen.
- Bereitstellung von Diensten und Daten zur Stärkung der Strategiekompetenz.
- Bereitstellung von ASE-Anwendungsbeispielen, inklusive des jeweiligen Nachweises der Wirtschaftlichkeit sowie eines Auswahlverfahrens zur Ermittlung von Beispielen, die der Situation eines anfragenden Unternehmens am nächsten kommen.
- Einsatz als Innovationskatalysator insbesondere für KMU (Unterstützung bei der Anwendung des Reifegradmodells oder der Vermittlung von Qualifizierungsmaßnahmen und Projektarbeiten etc.).

Es liegt nahe, mit etablierten Plattformen wie der Plattform Industrie 4.0 (zum Beispiel zur Umsetzung des Konzepts Digitaler Zwilling mit Hilfe der Verwaltungsschale) und der Plattform Lernende Systeme eng zusammenzuarbeiten. Auch erscheint es sinnvoll, sich in die Initiativen Catena-X der Automobilindustrie und GAIA-X zur Schaffung einer leistungsfähigen Dateninfrastruktur einzubringen. Dadurch kann der lange Weg zum Leitbild ASE abgekürzt werden. Gleichzeitig können dabei die Kooperationspartner vom Know-how der Initiative ASE auf dem Schlüsselfeld der methodischen Systemgestaltung profitieren. ➤

3 Methodeninnovationen voranbringen.

Auf den ersten Blick herrscht kein Mangel an dedizierten Entwicklungs- beziehungsweise Engineering-Methoden. Es fehlen aber Methodenpakete, die auf komplexe Aufgaben, abgestimmt sind. Beispiele dafür sind die strategische Planung und Entwicklung einer Produktgeneration, die Transformation eines Anbieters von Sachleistungen zu einem Anbieter von Smart Services oder die Online-Validierung eines System of Systems. Ein weiteres Beispiel ist die Integration von Design-Zielen (Usability, Resilience, Security und Sustainability etc.). Besonderes Augenmerk ist auf die Designziele Nachhaltigkeit und Verlässlichkeit (Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, Sicherheit und Vertraulichkeit) zu richten, die eine außerordentlich hohe Relevanz und ein hohes Potential zur Differenzierung im globalen Wettbewerb aufweisen. Ferner schaffen Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit die Grundlage für resiliente Systeme.

H 3.1: Validierung komplexer Systeme ermöglichen.

»Engineering Excellence« soll sich insbesondere durch eine hohe Verlässlichkeit der Marktleistung differenzieren. Das erfordert neue leistungsfähige Methoden zur Validierung und Freigabe von intelligenten und vernetzten soziotechnischen Systemen. Derartige Systeme sind in der Lage, aufgrund von geänderten, nicht vorhersehbaren Betriebssituationen ihre Ziele und daraus resultierend ihr Verhalten automatisch anzupassen. Zum Zeitpunkt der initialen Systementwicklung ist die Überprüfung aller denkbaren Betriebssituationen nicht möglich. Folglich ist eine Fortsetzung der Validierung im laufenden Betrieb (Online-Validierung) und der daraus resultierenden Freigabe notwendig. Dies ist durch eine Regulatorik zu flankieren, die sich dynamisch entwickelt und neben der Begrenzung von Handlungsdomänen auch Aussagen beinhaltet, was gemacht werden darf.

H 3.2: Integration von Systems Engineering und Software-Engineering vollziehen.

Die Funktionalität der hier betrachteten Systeme wird zunehmend von Interaktion, Automatisierung, Datenzentrierung und Vernetzung auf Basis integrierter Software bestimmt. In der Folge muss das Systems Engineering immer expliziter darauf zugeschnitten werden, wie sich Systeme in ihrer Funktionsweise auf umfangreiche vernetzte Softwaresysteme abstützen, die ihre Funktionalität in weiten Teilen prägen. So wird Software maßgeblich zur Gewährleistung von Safety und Security beitragen sowie eine Schlüsselstellung im Rahmen der Erzeugung und des Managements von kundenwahrnehmbarer Funktionalität einnehmen. Vor diesem Hintergrund ist die Art und Weise, wie diese softwareintensiven Systeme mit ihrer dominanten Software geplant, konzipiert, entwickelt und betrieben werden, auf eine neue Basis zu stellen.

H 3.3: Nachhaltigkeit soziotechnischer Systeme in den Fokus rücken.

Vieles deutet darauf hin, dass der Aspekt der Nachhaltigkeit sowohl von der Gesellschaft grundsätzlich als auch von den globalen Märkten konkret gefordert wird. Dabei geht es vor allem um die in Deutschland entwickelten und produzierten Systeme für den Weltmarkt, aber auch die Entwicklung nachhaltiger Engineering- und Produktionsprozesse. Dafür fehlt es weitgehend an gut aufeinander abgestimmten Methodenpaketen sowie an einer umfassenden Methodik zur Entwicklung nachhaltiger Systeme (Sustainability by Design), die auch für die einschlägige Aus- und Weiterbildung unabdingbar ist. Ferner ist der Gegebenheit Rechnung zu tragen, dass insbesondere das Designziel Nachhaltigkeit in Wechselwirkung mit weiteren Designzielen, wie Verlässlichkeit, Resilienz und Usability, steht und die entsprechenden Sichten zu integrieren sind.

H 3.4: Datenkompetenz für das Engineering sicherstellen.

Der Umgang mit Daten gewinnt stark an Bedeutung; im Vordergrund steht deren Nutzung für neuartige Geschäftsmodelle. Aber auch in der Entwicklung von komplexen Systemen spielen Daten in großem Umfang eine wichtige Rolle: Daten aus den unternehmensinternen IT-Systemen (zum Beispiel PLM- und ERP-Systeme), Test- und Simulationsdaten, Betriebsdaten aus Vorgängersystemen und Marktdaten über Nutzungspräferenzen sind hier als Beispiele zu nennen. Diese Bedeutung von Daten bei der Entwicklung komplexer Systeme äußert sich auch im Zuge der Erarbeitung von Entwicklungsaufträgen, die weitaus mehr Daten erfordern als gemeinhin angenommen wird [Ech16]. Vor diesem Hintergrund wird der hohe Bedarf an neuen datenbasierten Methoden deutlich, die bislang nur in Ansätzen in den Ingenieurwissenschaften anzutreffen und daher von Grund auf zu erarbeiten sind.

4 Zusammenarbeit zwischen Wirtschaft und Wissenschaft intensivieren.

In der Zusammenarbeit von Wirtschaft und Wissenschaft findet ein wechselseitiger und oftmals dialogischer beziehungsweise interaktiver Wissens- und Technologietransfer statt. Ziel ist die zweckmäßige und geplante Übertragung von Techniken und technischem Wissen aus Forschungsaktivitäten in die wirtschaftliche Anwendung. Der zugrunde liegende Innovationspfad von der Geschäftsidee bis zum Markterfolg gliedert sich in die Bereiche Grundlagenforschung, angewandte Forschung, industrielle Entwicklung und Produktion sowie Kommerzialisierung. Heute ist dieser Pfad in der Regel zu lang. Es bietet sich daher an, die genannten Bereiche wirksamer zu verzahnen und auf eine gemeinsame Innovationsvision zu fokussieren. Die ganzheitliche Methodik ASE kann dies unterstützen und somit die Zusammenarbeit von Wirtschaft und Wissenschaft fördern. Auf dem Weg dahin sind noch Hürden zu überwinden. Diese liegen offenbar in einem Strategiedefizit der involvierten Institutionen und einem Anerkennungsdefizit des Transfers innerhalb des Wissenschaftssystems [WR16].

H 4.1: Transfer als dritte Säule im Hochschulsystem verankern.

Der Forderung des Wissenschaftsrats entsprechend sollte Transfer als dritte gleichberechtigte Säule neben den beiden Säulen Forschung und Lehre flächendeckend etabliert werden. Um dies zu verwirklichen, sind alle involvierten Institutionen gefragt. Beispielsweise könnte der Staat mit dedizierten Förderungsprogrammen Einfluss auf die Ausprägung der neuen dritten Säule nehmen und deren Attraktivität für die Akteure des Wissenschaftssystems erhöhen. Ferner sei an dieser Stelle die ebenfalls vom Wissenschaftsrat ausgesprochene Empfehlung der wechselseitigen Durchlässigkeit der forschungsorientierten Karrierepfade in Wirtschaft und Wissenschaft in Erinnerung gerufen [WR14], die der Zusammenarbeit von Wirtschaft und Wissenschaft einen starken Impuls geben könnte.

H 4.2: Transfer und Interaktion durch Berufungspolitik fördern.

Die Betonung des Transfers muss sich auch in der Berufungspolitik niederschlagen. Insbesondere in den angewandten Ingenieurwissenschaften sollten vermehrt F&E-Führungspersonlichkeiten aus der Wirtschaft berufen werden. Dies unterstützt die Weiterentwicklung des Transfers in eine Interaktion von Wissenschaft und Wirtschaft, die vom gemeinsamen angestrebten Markterfolg geleitet wird. Basis einer derartigen Politik sollte eine ausgeprägte Kooperationskultur hinsichtlich der Zusammenarbeit der Fachdisziplinen und Fakultäten sowie der Wirtschaft und der Hochschulen sein, unabhängig von deren Leistungsposition als praxisorientierte Hochschule oder als forschungsstarke Eliteuniversität. >

H 4.3: Wissenstransfer neu denken.

Wissenstransfer ist keine Einbahnstraße von Hochschulen zu Unternehmen, sondern ein dialogisches Geben und Nehmen und somit ein Erkenntnisgewinn für alle Beteiligten. Eine derartige Interaktion ist immer dann besonders wirkungsvoll, wenn sie von der Absicht getrieben wird, ein ambitioniertes Innovationsziel gemeinsam zu erreichen. Dazu sollten neue Wege beschritten werden, Beispiele dafür sind das Konzept Open Innovation oder die Formate Hackathons und Makeathons. Mit Hilfe der letztgenannten Formate lassen sich herausfordernde Fragestellungen unter Einsatz von Spitzen-Engineering häufig unkonventionell und schnell beantworten. Mit Blick auf die Jugend fördern diese neuen Formate besonders einen Leitgedanken von ASE: Freude an der Systemgestaltung.

H 4.4: Erfolgspotentiale von bewährten Kooperationsmodellen ausschöpfen.

In den vergangenen Jahren haben sich an Orten wie Aachen, Berlin und Karlsruhe auf unterschiedlichen Technologiefeldern sehr erfolgreiche Innovations-Cluster entwickelt, zum Beispiel das Future Work Lab, Kompetenzzentren der Arbeitsforschung und nicht zuletzt Exzellenz- und Spitzencluster wie it's OWL. Letztere verkörpern regionale Allianzen von Unternehmen und Hochschulen auf Zeit mit dem Ziel, auf einem technologischen Zukunftsfeld gemeinsam erfolgreich zu sein. Dem liegt vor dem Hintergrund der dynamischen technologischen Entwicklung die Einsicht zugrunde, dass selbst große Unternehmen nicht mehr in der Lage sind, eine erkannte Marktchance rasch genug zu nutzen. Dies gilt uneingeschränkt auch für den Aufbau der strategischen Erfolgsposition »Engineering Excellence«. Herausragende Erfolgsfaktoren des Kooperationsmodells Cluster sind a) die Bündelung der Kompetenzen und Ressourcen einer Region auf ein Zukunftsfeld sowie b) die Erzeugung kulturelle Affinität (das heißt Kooperationskultur und Gemeinschaftsgeist). Es wird empfohlen, die Chancen derartiger Kooperationsmodelle, die regional verankert sind und in der Regel auf einer gemeinsamen Vision beruhen, wahrzunehmen.

5 Aus- und Weiterbildung forcieren.

Die im Vergleich mit den führenden Industrienationen unzureichende Fachkräftebasis in Deutschland ist die Achillesferse im Wettlauf um die Engineering-Führung. Kaum etwas deutet darauf hin, dass sich daran in der Zukunft etwas ändern wird, obwohl es gerade im MINT-Sektor keinen Mangel an gut gemeinten Aktivitäten gibt. Vor diesem Hintergrund bedarf es erheblicher Aus- und Weiterbildungsanstrengungen, um die Chancen im globalen Innovationswettbewerb zu stärken. Dabei sind auch neue Wege zu gehen. Eine hohe Hebelwirkung auf die Stärkung der Fachkräftebasis bieten Industriepraktika für Schülerinnen, Schüler und Studierende, grundlegende Studiengänge, praxisorientierte Projektarbeiten, eine Weiterbildungsoffensive sowie die Mobilisierung der »Generation 50+«.

H 5.1: Interesse wecken, Begeisterung erzeugen.

Die Jugend ist latent technikaffin und begeisterungsfähig. Beobachtungen im Alltag und in Veranstaltungen, wie Exkursionen, Tagen der offenen Tür und Praktika etc., unterstreichen das. Vor diesem Hintergrund liegt es nahe, nach besonders wirkungsvollen Ansätzen zur Motivierung der Jugend, sich mit Technik und Systemgestaltung auseinanderzusetzen, zu suchen. Wir empfehlen in erster Linie freiwillige Praktika in Industrieunternehmen und Forschungsinstituten von mehreren Wochen für Schülerinnen und Schüler ab Jahrgangsstufe 10. Dadurch können Einblicke in Berufsbilder gegeben und vor allem auch der »Innovations-Spirit«, der in vielen Unternehmen und Forschungsinstituten die Menschen bewegt, vermittelt werden. Dies kann Berufswünsche und das Interesse an einschlägigen Studiengängen prägen. Nicht zuletzt bestätigt die »Shell Jugendstudie« die hohe Bereitschaft der Jugend zur Übernahme von herausfordernden Aufgaben, die im Kontext Systemgestaltung zur Genüge existieren. Hinsichtlich der Erwartungen an die Berufstätigkeit werden vor allem ein »sicherer Arbeitsplatz«, die »Möglichkeit, etwas Sinnvolles zu tun« und das »Gefühl, etwas zu leisten« genannt [WR14].

H 5.2: Grundständige Studiengänge einrichten.

Systems Engineering ist heute schon in vielen ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen enthalten und es ist sehr zu begrüßen, dass sich diese Entwicklung aller Voraussicht nach auch für ASE fortsetzen wird. Allerdings wird das nicht ganz der Gegebenheit gerecht, dass die Systeme komplexer werden und in der Regel einen fachgebiets- beziehungsweise fakultätsübergreifendem Engineering-Ansatz erfordern. Aus diesem Grund sollte die Ergänzung der Curricula der klassischen Studiengänge mit SE-Inhalten um grundständige fakultätsübergreifende Studiengänge ergänzt werden. Auch die Rollen im Systems Engineering beziehungsweise im ASE, wie Systems Engineer oder Systemarchitektin respektive architekt, legen einen originären Ansatz nahe. In der Hauptsache geht es um die Vermittlung einer neuen auf der Systemtheorie und Systemtechnik beruhenden Engineering-Methodik, die unter der Marke »Engineering Excellence«, beziehungsweise »German Engineering« als De-facto-Standard weltweit Akzeptanz finden soll. Ein derartiger Anspruch erfordert den Schulterschluss mehrerer Fakultäten und deren Bereitschaft, neue Wege in der Lehre zu gehen.

H 5.3: In Praxisprojekten die Innovationswirklichkeit erleben.

In der Ausbildung von Ingenieurinnen und Ingenieuren sollte ein Fokus auf Kommunikation und interdisziplinärer Zusammenarbeit liegen. Dazu bieten sich unter anderem neue Lehrformate an, die möglichst fakultätsübergreifend entwickelt und umgesetzt werden sollten. Als besonders erfolgreich hinsichtlich der Vermittlung von ASE-Kompetenz erweisen sich Projektarbeiten mit Aufgabenstellungen aus der Wirtschaft. Hier bearbeitet ein interdisziplinäres Team, bestehend aus Studierenden, wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie Fachleuten aus dem jeweiligen Unternehmen, ein herausforderndes Innovationsprojekt über ein halbes Jahr (Workload: 50 Prozent). Es zeigt sich, dass derartige Projekte stets sehr erfolgreich sind, in den Teams Begeisterung erzeugen und den Blick für praxisgemäßes Arbeiten öffnen. Angesichts der

gewonnenen Erfahrungen sollte dieses innovative Veranstaltungsformat »flächendeckend« eingeführt werden. Allerdings erfordert das zum Teil tiefgreifende Änderungen der betroffenen Studienordnungen.

H 5.4: Weiterbildung in die Breite bringen.

Im Zuge der Transformationen in Bereichen wie der Digitalisierung, Nachhaltigkeit und Mobilität wird die Aktivität von Forschung und Entwicklung (F&E) stark ansteigen und in erheblichem Umfang Fachkräfte mit ASE-Kompetenz erfordern. Darauf sind Unternehmen und auch Hochschulen nicht adäquat vorbereitet. Deswegen ist es wichtig, viele der Beschäftigten in F&E zeitnah weiterzuqualifizieren. Der weit überwiegende Teil der Beschäftigten benötigt zunächst eine ASE-Basisausbildung als Ergänzung zu ihrem spezifischen Fachwissen, um in interdisziplinären Teams zielführend kommunizieren und kooperieren zu können. Ein kleinerer Teil benötigt eine grundlegende, umfassende ASE-Ausbildung, die darauf hinausläuft, neue Rollen wie den Systems Engineer und die Systemarchitektin respektive den architekten erfolgreich auszufüllen. Während große Unternehmen mit hoher Wahrscheinlichkeit eigene Weiterbildungsprogramme aufsetzen werden, werden KMU auf externe Angebote angewiesen sein. Da die Hochschulen bei der Umsetzung der ASE-Strategie ohnehin eine Schlüsselstellung einnehmen, bietet sich deren Engagement in der beruflichen Weiterbildung insbesondere für KMU an. >

H 5.5: Die »Generation 50+« mobilisieren.

Die Entwicklung komplexer technischer Erzeugnisse beruht in hohem Maße auf langjähriger Erfahrung. Vor dem Hintergrund des demographischen Wandels spielen berufserfahrene Entwicklerinnen und Entwickler eine sehr wichtige Rolle. Allerdings ist es zwingend notwendig, dass diese Gruppe im Rahmen der Personalentwicklung kontinuierlich mit neuen ASE-Methoden sowie entsprechenden Denk- und Arbeitsweisen in Berührung kommt. Wichtig ist dabei weiterhin, dass eine offene, zuversichtliche Haltung gegenüber aufkommenden Veränderungen und Umbrüchen eingenommen wird. Dieser Prozess muss mit adäquaten Weiterbildungskonzepten unterstützt werden. Als besonders erfolgversprechend erweist sich ein Konzept, das sich an Arbeitnehmerinnen und -nehmer 50+ richtet, die gelegentlich dazu neigen, Lösungen für neue Probleme im Gewohnten zu suchen. Kern des Weiterbildungskonzepts ist, dass Personen dieser Gruppe temporär und auf freiwilliger Basis für circa ein halbes Jahr in einen Bereich wechseln, in dem ASE sehr erfolgreich praktiziert wird und auch eine gänzlich andere Arbeitskultur herrscht. Allerdings liegen hier nicht die Erfahrungen vor, die sich durch jahrelange Praxis ergeben. Daher sehen wir in der Kombination von neuen Systemgestaltungstechniken und nach wie vor relevante Erfahrungen aus dem Einsatz von Natur- und Ingenieurwissenschaft einen Katalysator für Innovationen. In der Regel kehren die älteren Entwicklerinnen und Entwickler nach dieser gemeinsamen Erfahrung in ihren angestammten Bereich zurück und nehmen hier eine für die ASE-Diffusion entscheidende Rolle wahr. Der ebenfalls bedeutende persönliche Gewinn zeigt sich darin, dass sich diese Personen erfolgversprechende Perspektiven erarbeitet haben und entsprechend zuversichtlich in die Zukunft schauen. Wir empfehlen, derartige Weiterbildungsprogramme zu intensivieren.

6 Verhaltensinnovationen auf breiter Front verwirklichen.

Verhaltensinnovationen zielen vor allem auf das soziotechnische Gesamtsystem der Marktleistungsentstehung ab. Träger der Neuerungen sind die Stakeholder, die mit ihrem Verhalten auf unterschiedlichen Ebenen wirken. Auf der Ebene des Engineerings steht die Effizienz des

Innovationsgeschehens im Vordergrund, die sich durch neue Arbeitsweisen steigern lässt. Geschäftsmodellinnovationen betreffen das Verhalten von Unternehmen auf geschäftsstrategischer Ebene. Dem übergeordnet sind Fragen nach der Sicherung der Zukunft eines Unternehmens. Im Kontext von ASE zählen dazu besonders die Vermeidung von Abhängigkeiten von Anbietern von Werkzeug-Ökosystemen sowie der Erhalt der digitalen beziehungsweise technologischen Souveränität. Die folgenden Handlungsbedarfe adressieren verhaltensbezogene Innovationen auf diesen verschiedenen Ebenen.

H 6.1: Neue Arbeitsweisen praktizieren.

Die Systeme von morgen werden intelligent und vernetzt sein und häufig wird es sich um Produkt-Service-Systeme und soziotechnische Systeme handeln. Darüber hinaus wird das Innovationsgeschehen als Ganzes in Zukunft mehr denn je als komplexes soziotechnisches System zu sehen sein. Die Bewältigung der daraus resultierenden Herausforderungen an die Gestaltung der Arbeit wird in hohem Maße Agilität, Kreativität, Interdisziplinarität, Kommunikation und Kooperation sowie Systemgestaltungskompetenz erfordern. Auf dem Weg dahin sind zahlreiche Stolpersteine zu beseitigen, beispielsweise fehlende Ausdrucksmittel – in Kombination mit einer gewissen Unbeholfenheit – in der fachgebietsübergreifenden Kommunikation. Das ist auch eine Frage der Sozialkompetenz der Beteiligten. Die angestrebten neuen Arbeitswelten sollten sich im Idealfall an dem Leitgedanken »Freude an der gemeinsamen Systemgestaltung« orientieren und fest in der Unternehmenskultur im Sinne einer »Kultur der kreativen Macherinnen und Macher« verankert sein.

H 6.2: Die Entwicklungsarbeit zu den Menschen bringen.

Spitzenleistungen gedeihen auf Dauer nur dann, wenn berufliches und privates Umfeld attraktiv sind und in Einklang stehen. Heute verzeichnen wir die Entwicklung, dass sich das Innovationsgeschehen auf die Wirtschaftsmetropolen konzentriert und die Fachkräfte oftmals gezwungen sind, in den Metropolen zu leben oder lange beschwerliche

Fahrten vom Wohn- zum Arbeitsort in Kauf nehmen zu müssen. Das kann mit erheblichen Einbußen an Lebensqualität und standard verbunden sein. Um diese Situation zu überwinden und auch weitere Fachkräftepotentiale auszuschöpfen, sind neue Wege des geographisch verteilten Arbeitens zu erschließen. Die Technik dafür ist reif; es geht primär um die organisatorische Gestaltung der Entwicklungsarbeit und die Überwindung noch vorhandener oder vermeintlicher Barrieren.

H 6.3: Partizipation der Stakeholder sicherstellen.

Ein Projekt ist erst dann erfolgreich, wenn es die Akzeptanz der wesentlichen Anspruchsgruppen (Stakeholder) findet. Insbesondere komplexe visionäre Projekte stoßen häufig auf Widerstände seitens projektexterner Stakeholder. Die Ursachen liegen im Großen und Ganzen darin, dass die Vision – also der Zukunftsentwurf – nicht in geeigneter Weise vermittelt und erlebbar gemacht sowie der Projektfortschritt nicht klar genug kommuniziert werden. In der Folge kann es sein, dass ein Projekt als zu bekämpfende Bedrohung und nicht als eine wünschenswerte, erreichbare Situation in der Zukunft empfunden wird. ASE bietet im Kontext der Digitalisierung gute Ansätze zur Etablierung einer wirksamen, effizienten Kommunikation und Interaktion mit den Stakeholdern eines Projekts auf einer Metaebene.

H 6.4: Mit neuen Geschäftsmodellen in der Plattformökonomie erfolgreich sein.

Die Digitalisierung und insbesondere die große Menge an verfügbaren Daten und daraus entstehenden Diensten eröffnen vielfältige Möglichkeiten, sich im Wettbewerb von morgen vorteilhaft zu positionieren. Eine wichtige Rolle werden dabei voraussichtlich so genannte Plattformen spielen, die neuen Akteuren, wie insbesondere also den Betreiberunternehmen (sogenannten Intermediären), attraktive Geschäftsperspektiven eröffnen. Allerdings muss der damit einhergehenden Veränderung des direkten Kundenkontakts hohe Aufmerksamkeit geschenkt werden. Diese Entwicklung befeuert neue Geschäftsmodelle, die aber nicht losgelöst von der Pro-

dukt-, Dienstleistungs- und Produktionssystementwicklung vorangetrieben werden sollten, da sich die Konzepte von Geschäftsmodellen, Produkten, Dienstleistungen und Produktionssystemen gegenseitig determinieren. Mit Blick auf zukünftige Märkte müssen Geschäftsmodellinnovationen stets mitgedacht werden.

H 6.5: Digitale und technologische Souveränität in den Blick nehmen.

Wir brauchen auf nationaler und europäischer Ebene die Fähigkeit zu selbstbestimmtem Handeln und Entscheiden im digitalen Raum, sowohl im Sinne von Anbietersouveränität als auch im Sinne von Anwendersouveränität [Bit15a, P119]. Anbietersouveränität erfordert eigene Fähigkeiten auf weltweitem Spitzenniveau in zentralen Technologiefeldern, Diensten und Plattformen oder eine vertrauensvolle Kooperation mit außereuropäischen Partnern. Zur Gewährleistung von Anwendersouveränität sind die ASE-Akteure in die Lage zu bringen, selbstbestimmt zwischen mehreren Anbietern zu entscheiden. Die Basis dafür legen die europäische Datenstrategie, die Initiative GAIA-X und Plattformen wie Catena-X.

H 6.6: Für Engineering-Werkzeuge die Anwendersouveränität gewährleisten.

Die ASE-Methodik und die damit verbundene Modellorientierung erfordern eine weitreichende Unterstützung durch Software-Werkzeuge. Es kann nur so gut entwickelt werden, wie es die Werkzeuge zulassen. Für ein langfristig erfolgreiches Engineering ist es essentiell, die Entscheidungsfreiheit über die Werkzeuge und die damit verbundenen Ökosysteme zu erreichen und zu erhalten (Anwendersouveränität). Diese Herausforderung gewinnt angesichts des Anspruchs von ASE, den gesamten Lebenszyklus einer Marktleistung abzudecken, stark an Gewicht. Schon allein wegen der enormen Bedeutung von Daten im Engineering sind Interoperabilität und die digitale Durchgängigkeit von ASE-Werkzeugen zwingende Voraussetzungen. Vor diesem Hintergrund wird die Notwendigkeit deutlich, auf europäischer Ebene die Anwendersouveränität zu gewinnen und zu erhalten. ➤

Zielgruppen der Handlungsbedarfe und des weiteren öffentlichen Diskurses

Die vorliegende Strategie und die damit verbundenen Handlungsbedarfe richten sich vorderhand an Führungspersönlichkeiten aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft, die sich mit der Gestaltung des Innovationsstandorts Deutschland befassen. Angesichts der Komplexität des Handlungsfelds und insbesondere der hohen Vernetzung der 27 Handlungsbedarfe ist ein konzertiertes Zusammenwirken der drei Adressatengruppen unabdingbar. Wir schlagen eine Zuordnung von Handlungsbedarfen zu den Adressatengruppen vor, um ein Verständnis der Rollen und die Herausbildung von Zuständigkeiten zu fördern (siehe Tabelle 3). Es ergeben sich vorderhand folgende Rollen der Adressatengruppen im Kontext von Engineering:

- 1) **Politik:** Rahmenbedingungen schaffen für gesellschaftliche Akzeptanz, die Verbreitung von Erkenntnissen, die Überwindung des Fachkräftemangels und umfassende Souveränität.
- 2) **Wirtschaft/Industrie:** Treiber und Hauptakteur auf dem Weg zu Marktleistungsinnovationen und somit zu nachhaltiger Wertschöpfung, Beschäftigung, Wohlstand und Wohlfahrt.
- 3) **Wissenschaft:** Methodikentwicklung mit Fokus auf nachhaltige und verlässliche Systeme. Interaktion in Forschung und Lehre mit der Wirtschaft.

Die relativ große Anzahl an Handlungsbedarfen wirft die Frage nach deren Relevanz auf. Selbstredend sind alle Handlungsbedarfe relevant: Sie haben als Paket das Potential, den Innovationsstandort an die Spitze zu bringen. Dennoch haben wir eine Analyse der Handlungsbedarfe hinsichtlich ihrer Hebelwirkung auf die Verwirklichung des Leitbilds vorgenommen. Das Ergebnis ist eine Rangreihe. Nachfolgend die Top 3:

1. Programm-Management »Engineering Excellence« einrichten (H 2.1) – Wirtschaft/Industrie.
2. Digitale und technologische Souveränität in den Blick nehmen (H 6.5) – Politik.
3. Nachhaltigkeit soziotechnischer Systeme in den Fokus rücken (H 3.3) – Wissenschaft.

Hier wäre der Hebel zunächst anzusetzen, um die Sache in Gang zu bringen und Fahrt aufzunehmen.

Resümee

Vorstehende Handlungsbedarfe zielen darauf ab, den Innovationsstandort Deutschland entsprechend des Leitbilds im globalen Wettbewerb vorteilhaft zu positionieren und insbesondere mit der strategischen Erfolgsposition »Engineering Excellence« zu punkten. Darüber hinaus wird deutlich, dass ASE zur Erreichung der gesellschaftspolitischen Ziele, wie Nachhaltigkeit, Mobilität, Kreislaufwirtschaft, gute Arbeit sowie digitale und technologische Souveränität, beitragen kann [ACA21]. Angesichts der vor uns liegenden Herausforderungen und der geplanten Investitionsvolumina respektive F&E-Aufwendungen ist die Hebelwirkung des hier propagierten Engineerings auf den Innovationserfolg offensichtlich.

Die Systeme von morgen gestalten – nachhaltig, verlässlich, souverän, erfolgreich. Systemgestaltung ist Zukunftsgestaltung! 🚀

Tabelle 3: Zuordnung der Handlungsbedarfe zu den Adressatengruppen Politik, Wirtschaft/Industrie, Wissenschaft zur Förderung des weiteren Diskurses

	P	WI	W
1) Strategiekompetenz stärken.			
H 1.1 Technologieförderung betreiben.		○	●
H 1.2 Mit Zukunftsreports Orientierungswissen teilen.		●	○
H 1.3 ASE-Reifegradmodell einführen.		●	
H 1.4 Kompetenz-Monitoring verstetigen.		●	○
2) Die Vielfalt der Aktivitäten bewältigen.			
H 2.1 Programm-Management »Engineering Excellence« einrichten.	○	●	○
H 2.2 ASE als Querschnittsaufgabe begreifen.		○	●
H 2.3 Erfolgsgeschichten aufbereiten und kommunizieren.		●	
H 2.4 Plattform für ASE betreiben.		●	○
3) Methodeninnovationen voranbringen.			
H 3.1 Validierung komplexer Systeme ermöglichen.		●	○
H 3.2 Systems Engineering und Software Engineering integrieren.		○	●
H 3.3 Nachhaltigkeit soziotechnischer Systeme in den Fokus rücken.	○	○	●
H 3.4 Datenkompetenz für das Engineering sicherstellen.		●	○
4) Zusammenarbeit zwischen Wirtschaft und Wissenschaft intensivieren.			
H 4.1 Transfer als dritte Säule im Hochschulsystem verankern.	●		○
H 4.2 Transfer und Interaktion durch Berufungspolitik fördern.	○		●
H 4.3 Wissenstransfer neu denken.		○	●
H 4.4 Erfolgspotentiale von bewährten Kooperationsmodellen ausschöpfen.	○	●	○
5) Aus- und Weiterbildung forcieren.			
H 5.1 Interesse wecken, Begeisterung erzeugen.	●	○	
H 5.2 Grundständige Studiengänge einrichten.			●
H 5.3 In Praxisprojekten die Innovationswirklichkeit erleben.		○	●
H 5.4 Weiterbildung in die Breite bringen.	○	●	○
H 5.5 Die »Generation 50+« mobilisieren.	○	●	
6) Verhaltensinnovationen auf breiter Front verwirklichen.			
H 6.1 Neue Arbeitsweisen praktizieren.		●	○
H 6.2 Die Entwicklungsarbeit zu den Menschen bringen.	○	●	
H 6.3 Partizipation der Stakeholder sicherstellen.	●	○	
H 6.4 Neue Geschäftsmodelle in der Plattformökonomie forcieren.		●	
H 6.5 Digitale und technologische Souveränität in den Blick nehmen.	●	○	○
H 6.6 Für Engineering-Werkzeuge die Anwendersouveränität gewährleisten.	○	●	○

Legende: P: Politik | WI: Wirtschaft/Industrie | W: Wissenschaft | ● Zielgruppe im Fokus | ○ maßgebliche Mitwirkung

Mitwirkende

Leitung acatech Programm »Advanced Systems Engineering« (ASE)

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier
acatech

Prof. Dr.-Ing. Siegfried Russwurm
Bundesverband der Deutschen
Industrie e.V., acatech

Konsortium Wissenschaftliches Begleitprojekt AdWiSE

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers
Karlsruher Institut für Technologie
(KIT), IPEK

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier
acatech

Prof. Dr. Oliver Riedel
Fraunhofer-Institut für Arbeits-
wirtschaft und Organisation IAO

**Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu
(Sprecher)**
Fraunhofer-Institut für Entwurfs-
technik Mechatronik IEM

Dr.-Ing. Kai Lindow
Fraunhofer-Institut für Produk-
tionsanlagen und Konstruktions-
technik IPK

Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark
Technische Universität Berlin

Dr. Johannes Winter
acatech

Lenkungskreis ASE

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers
Sprecher des acatech Themen-
netzwerkes Produktentwicklung
und Produktion

Dr. Stefan Kampmann
CTO Voith GmbH & Co. KGaA

Dr. Thomas Schneider
Geschäftsführer Entwicklung
Trumpf Werkzeugmaschinen,
Trumpf GmbH & Co. KG

Christiane Benner
2. Vorsitzende IGM

Thomas Kriegel
Konzern-Entwicklungssteuerung,
Volkswagen AG

Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber
Vizepräsident acatech

Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu
Fraunhofer-Institut für Entwurfs-
technik Mechatronik IEM

**Prof. Dr.-Ing. habil.
Peter Liggesmeyer**
Sprecher des Forschungsbeirats
der Plattform Industrie 4.0

Dr. Johannes Winter
acatech

Prof. Dr. Sabina Jeschke
Deloitte GmbH Wirtschaftsprü-
fungsgesellschaft, Senior Advisor

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Nebel
Sprecher des acatech Themen-
netzwerkes Informations-
und Kommunikationstechnik

Experten- und Dialogkreis ASE

Prof. Dr.-Ing. Michael Abramovici
Ruhr-Universität Bochum

Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl
Technische Universität Darmstadt

Prof. Dr.-Ing. Jan Christian Aurich
Technische Universität
Kaiserslautern

Prof. Dr. Manfred Broy
Technische Universität München

Dirk Denger
AVL List GmbH

Prof. Dr. rer. nat. Andreas Deuter
Technische Hochschule
Ostwestfalen-Lippe

Prof. Dr. Wolfgang Ecker
Infineon Technologies AG

Dr. Bernhard Feuchter
Hekatron Vertriebs GmbH

Dr.-Ing. Ursula Frank
Beckhoff Automation GmbH & Co. KG

Dr.-Ing. Volker Franke
Harting Applied Technologies
GmbH & Co. KG

Uwe Girsdies
Audi AG

Uwe Gruschka
Siemens Energy AG

Prof. Dr.-Ing. Mirko Meboldt
ETH Zürich

Prof. Dr. Volker Mehrmann
Technische Universität Berlin

Dr.-Ing. Jan Stefan Michels
Weidmüller Interface
GmbH & Co. KG

Nico Michels
Fresenius Medical Care
Deutschland GmbH

Wolfgang Nettelstroth
IG Metall

Sebastian Neumeyer
Airbus S.A.S.

Prof. Dr. Sabine Pfeiffer
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Jürgen Rambo
Daimler AG

Dr.-Ing. Stefan Rude
BMW AG

Dr. Siegmund Haasis
Haasis DEC Digital Engineering
Consulting

**Prof. em. Dr.-Ing. habil.
Dietrich Hartmann**
Ruhr-Universität Bochum

Prof. Dr. Otthein Herzog
Universität Bremen

Johannes Kalhoff
Phoenix Contact GmbH & Co. KG

Dr.-Ing. Sven Kleiner
:em engineering methods AG

Matthias Knoke
Miele & Cie. KG

Dr.-Ing. Walter Koch
Schaeffler AG

Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause
Technische Universität Hamburg

Dr. Matthias Kreimeyer
MAN Truck & Bus SE

Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza
Karlsruher Institut für Technologie
(KIT)

Dr. Eike Martini
Valeo Siemens eAutomotive
Germany GmbH

Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen
Karlsruher Institut für Technologie
(KIT), IPEK

Prof. Dr. Bernhard Rumpe
RWTH Aachen

Otto Schell
CEO Institute of Global Digital
Creativity and Relevance

Dr.-Ing. Daniel Steffen
UNITY AG

Dr.-Ing. Guido Stollt
Smart Mechatronics GmbH

Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser
Technische Universität München

Dr.-Ing. Christian A. von Holst
John Deere GmbH & Co KG

Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier
acatech

Maurice Meyer
Heinz Nixdorf Institut,
Universität Paderborn

Dr. Steffen Steglich
acatech

Mit Unterstützung durch:

Eva-Maria Grote
Fraunhofer-Institut für Entwurfs-
technik Mechatronik IEM

Rik Rasor
Fraunhofer-Institut für Entwurfs-
technik Mechatronik IEM

Bildquellen

S. 6 Albers: KIT, Patrick Langer; Benner: IG Metall; Jeschke: Deutsche Bahn AG, Pablo Castagnola; Kampmann: Voith GmbH & Co. KGaA; Kriegel: Volkswagen FE, Delikan

S. 7 Liggemeyer: Fraunhofer IESE; Nebel: OFFIS; Schneider: TRUMPF Werkzeugmaschinen SE + Co. KG; Weber: Daimler AG

S. 13 Pixel-Shot/Shutterstock.com; Pdsut/Shutterstock.com; Freedomz/Shutterstock.com; Peera_stockfoto/Shutterstock.com; Goffkein – stock.adobe.com

S. 14 Have a nice day – stock.adobe.com; Gorodenkoff/Shutterstock.com; PopTika/Shutterstock.com; Zinetron/Shutterstock.com; chesky – stock.adobe.com

S. 15 industryviews/Shutterstock.com; Gorodenkoff – stock.adobe.com; vectorfusionart/Shutterstock.com; Gorodenkoff – stock.adobe.com; archipoch – stock.adobe.com;

S. 28 Chesky/Shutterstock.com; Gorodenkoff – stock.adobe.com; VadimGuzhva – stock.adobe.com; pressmaster – stock.adobe.com;

Literatur

- [Abr18]** ABRAMOVICI, M. (Hrsg.): Engineering smarter Produkte und Services – Plattform Industrie 4.0 STUDIE. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, München, 2018.
- [aca12]** ACATECH – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN (Hrsg.): Technikzukünfte. Vorausdenken – Erstellen – Bewerten (acatech IMPULS), Heidelberg, u. a.: Springer 2012.
- [aca18]** ACATECH – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN (Hrsg.): Pilotphase Nationales Kompetenz-Monitoring (NKM): Basisbericht, Methodik und Verfahren (acatech DISKUSSION), München, 2018.
- [aca21]** ACATECH – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN (Hrsg.): Impuls zur Innovationspolitik 2021+, Transformation strategisch gestalten, München, 2021.
- [ADG+18]** ALBERS, A.; DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J.; RIEDEL, O.; STARK, R.: Advanced Systems Engineering – Eine Leitlinie zur Stärkung der Innovationskraft (acatech Kooperation). acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Fraunhofer IAO, IEM, IPK, Institut für Produktentwicklung (IPEK) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), München, 2018.
- [AG12]** ALBERS, A.; GAUSEMEIER, J.: Von der fachdisziplinorientierten Produktentwicklung zur vorausschauenden und systemorientierten Produktentstehung. In: Anderl, R.; Eigner, M.; Sandler, M.; Stark, R.: Smart Engineering. Interdisziplinäre Produktentstehung (acatech DISKUSSION), München, 2012.
- [AHQ19]** ALBERT, M.; HURRELMANN, K.; QUENZEL, G.: Jugend 2019: Eine Generation meldet sich zu Wort. Weinheim: Beltz 2019.
- [ak19]** ACATECH – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN; KÖRBER-STIFTUNG (Hrsg.): TechnikRadar 2019. Was die Deutschen über Technik denken. Kooperationspublikation. München/Hamburg, 2019. Unter: <https://www.acatech.de/publikation/technikradar-2019/>, zuletzt abgerufen am 16. Februar 2022.
- [Bit15a]** BITKOM – BUNDESVERBAND INFORMATIONSWIRTSCHAFT, TELEKOMMUNIKATION UND NEUE MEDIEN E. V. (Hrsg.): Digitale Souveränität – Positionsbestimmung und erste Handlungsempfehlungen für Deutschland und Europa. BITKOM, Berlin, 2015.

- [Cs21]** COMMONWEALTH SECRETARIAT: Global Youth Development Report 2020. London, 2021. Unter: <https://youth-development-index.thecommonwealth.org/assets/pdf/global-youth-development-report-2020.pdf>, zuletzt abgerufen am 16. Februar 2022.
- [DAG+21]** DUMITRESCU, R.; ALBERS, A.; GAUSEMEIER, J.; RIEDEL, O.; STARK, R. (Hrsg.): Engineering in Deutschland – Status quo in Wirtschaft und Wissenschaft. Ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering, Paderborn, 2021.
- [Ech16]** ECHTERHOFF, O.: Systematik zur Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 362, Paderborn, 2016.
- [Fa17]** FACHFORUM AUTONOME SYSTEME; ACATECH – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN (Hrsg.): Autonome Systeme – Chancen und Risiken für Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft. Abschlussbericht, Berlin, 2017.
- [GP14]** GAUSEMEIER, J.; PLASS, C.: Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung – Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen. 2., überarbeitete Auflage, München/Wien: Carl Hanser 2014.
- [PI19]** PLATTFORM INDUSTRIE 4.0: Leitbild 2030 für Industrie 4.0 – Digitale Ökosysteme global gestalten: Souveränität. 2019. Unter: <https://industrie40.isometric.site/#/5d674e14c798d1000ebc5812>, zuletzt abgerufen am 16. Februar 2022.
- [Püm83]** PÜMPIN, C.: Management Strategische Erfolgspositionen – Das SEP-Konzept als Grundlage wirkungsvoller Unternehmensführung. 2. Auflage, Bern: Paul Haupt 1983.
- [Son70]** SONTHEIMER, K.: Voraussage als Ziel und Problem moderner Sozialwissenschaft. In: Klages, H.: Möglichkeiten und Grenzen der Zukunftsforschung. Wien/Freiburg: Herder 1970.
- [Str21]** STRATMANN, K.: Das 860-Milliarden-Projekt. So teuer wird der grüne Umbau. Handelsblatt vom 22.10.2021.
- [WR14]** WISSENSCHAFTSRAT (Hrsg.): Empfehlungen zu Karrierezielen und -wegen an Universitäten. Drucksache 4009-14, Dresden, 2014.
- [WR16]** WISSENSCHAFTSRAT (Hrsg.): Wissens- und Technologietransfer als Gegenstand institutioneller Strategien. Positionspapier. Drucksache 5665-16, Weimar, 2016.

Anhang

A1 Langfassung Szenario 2 »Optimale Rahmenbedingungen ergeben eine strategische Erfolgsposition«

Advanced Systems: Die Schlüsseltechnologien KI und System of Systems eröffnen faszinierende Nutzenpotentiale.

KI-basierte Assistenzsysteme und Maschinen sind allgegenwärtig, die **Innovationsdynamik von soziotechnischen Systemen** [1C]¹ ist außerordentlich hoch. Neue Ansätze der Gestaltung von Benutzungsoberflächen (Natural User Interface) sowie die Integration von technischen Systemen in den menschlichen Körper fördern dies. Beispiele sind implantierte Chips, Brain Computer Interfaces, fortgeschrittene Prothesen etc. Die Vision Cyborg – Mischwesen aus lebendigem Organismus und Maschine – nimmt Konturen an. In Anbetracht dieser Entwicklungen rücken ethische Bedenken gegen eine zügellose Verbreitung dieser Technologie in das Zentrum der öffentlichen Debatte, zumal die langfristigen Folgen kaum abgeschätzt werden können. Andererseits gibt es zahlreiche, ethisch unbedenkliche Anwendungspotentiale, die einen hohen Nutzen und eine hohe Rendite versprechen.

¹ »[1C]« steht für Projektion C »Boom soziotechnischer Systeme« des Einflussfaktors 1 »Systemeigenschaften von soziotechnischen Systemen«. Die ausführliche Beschreibung aller Einflussfaktoren und Projektionen ist dem Projektionskatalog »Zukünftige Rahmenbedingungen für das Engineering im Jahr 2035 in Deutschland« zu entnehmen, der als PDF-Dokument unter https://www.advanced-systems-engineering.de/documents/AdWiSE_Projektionskatalog.pdf verfügbar ist.

System of Systems (SoS) [2A] hat sich zu einem **mächtigen Paradigma** zur Gestaltung von Advanced Systems im Sinne von leistungsfähigen intelligenten soziotechnischen Systemen entwickelt. Das gilt sowohl für Produkt-Dienstleistungssysteme als auch für vernetzte Wertschöpfungssysteme. Wesentliche technologische Voraussetzungen sind erfüllt: Dynamische Vernetzung, Konnektivität/Security, Echtzeitkommunikation und Erweiterbarkeit der Funktionalität zur Laufzeit durch Over-the-Air-Updates der Software und Generierung neuer Funktionalitäten durch Lernen. Handlungsbedarf gibt es nach wie vor im Bereich der Online-Validierung und Verifikation, da zum Entwicklungszeitpunkt alle Betriebs-situationen und die darauf ausgerichtete Funktionalität nicht vorhersehbar sind. Bis auf diesen Bereich ist das Systems Engineering sehr ausgereift, sodass viele in der Lage sind, SoS zu entwickeln. Unterstützt wird das durch Schnittstellenstandards und Ähnliches sowie durch eine gut strukturierte leistungsfähige Tool-Welt. Im Ergebnis gibt es mannigfaltige erfolgreiche Systeme, insbesondere in den Bereichen Mobilität von Personen und Gütern, der Produktion und im Bereich Smart Home. >

Eine hohe **Datenverfügbarkeit sorgt für einen KI-Boom** [3A]. Dank einer stetig wachsenden Anzahl an erfolgreichen KI-Anwendungen und Best Practices konnte die jahrelange Praxis der Datensilos überwunden werden. Über sichere Kommunikationswege werden Daten funktionsbereichs- und unternehmensübergreifend ausgetauscht. Die umfassende Verfügbarkeit von gut strukturierten Daten ermöglicht dem Engineering ein wirksames und effizientes Training der KI-Systeme. Infolge des großen Datenbestands sind diese in der Lage, auch angrenzende und vernetzte Aufgaben trotz unzureichender Kenntnisse und Ressourcen erfolgreich zu bearbeiten. Die Qualität der Ergebnisse kann vorab eingeschätzt werden, was wesentlich die Akzeptanz von KI-Anwendungen in der Breite fördert. Bei mangelnder Qualität wird das Anwenderwissen verwendet, um das System weiter zu verbessern. Gleichwohl existieren noch erhebliche Eintrittsbarrieren, deren Überwindung F&E-Anstrengungen erfordert. Beispiele für Handlungsfelder sind: Erklärungsfähigkeit (Explainable AI), verantwortliches Handeln im Umgang mit KI (Responsible AI) und Anonymisierung (Privacy by Design).

Advanced Systems werden über eine **datenbasierte Validierung** [5A] kontinuierlich abgesichert. Lernende Systeme erzeugen aus bewältigten Betriebssituationen ständig weitere Daten. Werden diese Daten aus mehreren Systemen kombiniert, erlauben Verfahren der Bereiche Data Analytics und Statistik eine verlässliche Online-Validierung der Systeme in nahezu allen Anwendungsfällen, allerdings stößt die Online-Validierung bei hochkomplexen Systemen an ihre Grenzen. Angesichts der großen Anzahl erfolgreich validierter Systeme gibt es eine hohe Akzeptanz der lernenden Systeme. Auch der Gesetzgeber sieht seine Anforderungen in der Regel erfüllt, sodass die Freigabe in den meisten Fällen erfolgt.

Engineering: Engineering-Kompetenz ist der Schlüssel zu Innovationen.

Wie von Fachleuten vorhergesagt, hat im vergangenen Jahrzehnt eine Renaissance des Systems Engineerings stattgefunden. Haupttreiber war die Erkenntnis, dass die zunehmende Komplexität soziotechnischer Systeme neue, ganzheitliche Ansätze der Systementwicklung erfordert. Vor diesem Hintergrund kam es primär an den

Hochschulen zu vielen Aktivitäten zur Formulierung von Entwicklungssystematiken. Durch massive Förderung der öffentlichen Hand, aber auch durch die hohe Bereitschaft der Wirtschaft, neue Ansätze anzuwenden, haben sich diejenigen Gruppen durchgesetzt, die durch hohe Praxis-tauglichkeit und Interaktion mit der Wirtschaft überzeugen konnten. Dies führte zu einem **Quasistandardwerk des Systems Engineerings** [4A], was fünfzig Jahre zuvor mit dem »PAHL/BEITZ« gelungen war. Die Protagonisten betonen, dass die neue Entwicklungssystematik die in den einzelnen Fachgebieten etablierten Systematiken, wie den »PAHL/BEITZ« für die Mechanikentwicklung, ergänzt und integriert und nicht ersetzt. Herausragende Stärken der neuen Entwicklungssystematik sind der logische, gut nachvollziehbare Aufbau und die leichte Anwendbarkeit. Ferner ist es den Urheberinnen und Urhebern mit großem Geschick gelungen, die Entwicklungssystematik populär zu machen, sie als De-facto-Standard zu positionieren und in der Lehre an den Hochschulen zu verankern. Deutschland gilt nach wie vor als führend im Engineering. Der Erfolg des Innovations- und Produktionsstandorts beruht zu einem wesentlichen Teil auf seiner Engineering-Kompetenz.

Die **digitale Durchgängigkeit** hat in den letzten Jahren einen entscheidenden **Innovationsschub** [6A] erhalten. Das seit Jahren überzeugend propagierte Konzept Digitaler Zwilling ist über die Wertschöpfungskette auf breiter Front verwirklicht worden. Dies führte in vielen Bereichen der Digitalisierung und insbesondere im MBSE, zum Durchbruch. Standardisierte Schnittstellen, Interoperabilität der Tools und leistungsfähige Mechanismen der Konsistenzsicherung der Datenmodelle bilden dafür die Basis. Vor allem Unternehmen mit hochkomplexen, datenintensiven Produkten profitieren davon – sie können nun zum Beispiel Informationen über die Produktnutzung direkt in die Entwicklung der nächsten Produktgenerationen einfließen lassen. Dies steigert die Innovationskraft und die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen.

Faktor Mensch: Engineering schafft attraktive Arbeitsplätze.

Ein **Top-Arbeitsklima** führt zu einer **Top-Performance** [9C]. Der über viele Jahre angestrebte Wandel der Arbeitswelt ist vollzogen worden; es herrscht in weiten Bereichen eine partizipative humanzentrierte Arbeitsgestaltung. Agile Arbeitsweisen haben sich auf breiter Front durchgesetzt und geben den Unternehmen erhebliche Innovationsimpulse. In den Unternehmen herrscht eine Kultur der »kreativen Macherinnen und Macher« vor, in welcher der Wandel als Herausforderung und nicht als Bedrohung verstanden wird, in der Gestaltungswille über Bedenken tragen dominiert, Innovation vor Besitzstandswahrung kommt, Eingehen von Risiken Anerkennung findet und individuelle Leistung belohnt wird. Offensichtlich beruht der Innovationserfolg auf der mentalen Einstellung der Menschen, die ihren Ausdruck in der Unternehmenskultur findet. Eine derartige, in der Unternehmenskultur verankerte Leistungsposition ist von Dritten nicht ohne Weiteres kopierbar.

Vielorts ist eine »**Freude an der Systemgestaltung**« [7B] zu beobachten. Die Technikaffinität der Bevölkerung ist deutlich gestiegen [aK20]. Es herrscht inzwischen die Einsicht vor, dass Wohlstand und Wohlfahrt auf technologischem Fortschritt beruhen und dieser zur Lösung der großen Herausforderungen unserer Zeit – wie Klimawandel und Digitalisierung – erforderlich ist. Schul- und Studienfächer im MINT-Bereich erfreuen sich einer hohen Beliebtheit. Der ehemals geringe Anteil von Mädchen und Frauen in diesen Gebieten ist stark angestiegen. Systemisches Denken ist Grundbestandteil der Bildung. Es entwickelt sich schon ab der Vorschulzeit eine gewisse Lust zur Systemgestaltung. Systems Engineering boomt. Attraktive Stellenangebote stoßen auf eine rege Nachfrage. Durch das tiefverwurzelte Grundverständnis systemischen Denkens kann die Kompetenz ASE nicht oder nur schwer von Dritten nachvollzogen werden. Systems Engineering erweist sich als strategische Erfolgsposition des Innovations- und Produktionsstandorts Deutschland.

Es besteht eine hohe **intrinsische Motivation zur Weiterbildung** [8A], die auf dem Leitbild der »Lernenden Organisation« [SKR96] beruht. Die Menschen suchen selbstständig und motiviert nach neuem Fachwissen und Kompetenzen,

die sie auf zukünftige Entwicklungen vorbereiten und ihre Chancen auf dem Arbeitsmarkt erhöhen. Dabei sind sie auch bereit, neue Formen der Wissensvermittlung auszuprobieren. Die große Nachfrage führt zu einer hohen Leistungsfähigkeit des Weiterbildungssystems sowie einem zunehmend größeren Angebot an digitalen und leicht skalierbaren Angeboten der Weiterbildung. Unterstützung erhalten Beschäftigte außerdem vom Personalmanagement, das ihnen passende Angebote vermittelt und Freiräume für Weiterbildungen einräumt. Ferner gelingt es, sowohl die Erfahrung von älteren Beschäftigten in Weiterbildungsprogramme einzubringen als auch diese an moderne Methodiken und Techniken heranzuführen.

Advanced Systems, das Engineering und die Rolle des Menschen in der Produktentstehung sind in ein komplexes System von Einflussfaktoren eingebettet. In diesem Umfeld aus den Bereichen Politik, Ökonomie, Gesellschaft, Technologie und Ökologie liegen entscheidende Voraussetzungen der Marktleistungsentstehung. >

Umfeld: Verantwortungsvolle Kooperation zählt.

Die gesellschaftliche Entwicklung schlägt einen **europäischen und Ökologie getriebenen Weg** [16A/C] ein. Es entsteht eine europäisch denkende und handelnde Gesellschaft, die gemeinsam mit den EU-Partnern selbstbewusst die eigenen Interessen und Vorstellungen vertritt. Europa ist auch bereit, sich bewusst vom Rest der Welt abzugrenzen [KAH+20]. Innovation und Bildung sind die zentralen Leitgedanken, die aus der seit Jahren propagierten Kausalkette resultieren: Wohlstand und Wohlfahrt brauchen Wertschöpfung und Beschäftigung, Wertschöpfung und Beschäftigung brauchen Innovationen und Innovationen brauchen Bildung. Zudem rückt der Klimaschutz als existentielle Herausforderung und als eine Voraussetzung für Wohlstand und Wohlfahrt in den Fokus. Der Klimawandel und nicht zuletzt das strategische Programm »Green New Deal« der europäischen Kommission bewirken eine tiefgreifende Transformation zu ökologisch, ökonomisch und sozial ausgewogenen Innovationen. Es ist die Erkenntnis gereift, dass Engineering-Kompetenz ein entscheidender Erfolgsfaktor ist, um den Herausforderungen für eine nachhaltige Entwicklung zu begegnen. Engineering spricht gerade junge Leute an; es zeichnet sich die Überwindung des Fachkräftemangels im Engineering ab. In der Bevölkerung ist der Wille ausgeprägt, aktiv zum Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen beizutragen. Dafür werden unter Umständen auch ökonomische Einbußen in Kauf genommen [KAH+20].

Das strategische Ziel der digitalen **Souveränität** [15B] ist erreicht: Deutschland und Europa handeln und entscheiden selbstbestimmt im digitalen Raum nach Maßgabe der verfolgten Strategie der Anbietersouveränität [Bit15a]. Dies geschieht entweder durch eigene Fähigkeiten auf weltweitem Spitzenniveau in zentralen Technologiefeldern, Diensten und Plattformen oder durch vertrauensvolle Kooperationen mit außereuropäischen Partnern. Dies beruht insbesondere auf zwei Säulen: der europäischen Datenstrategie sowie der Initiative »GAIA-X«.

Europa schafft vor diesem Hintergrund eine **Cyber-Infrastruktur** [14A] zur Stärkung von Safety und Security sowie Resilienz. Deutschland und Europa sind sich der Bedrohungslage durch Cyberkriminalität, Attacken auf kritische Infrastrukturen, unzureichende Widerstandsfähigkeit der IT-Infrastruktur etc. bewusst geworden und handeln seit Jahren dementsprechend. Es herrscht in Politik, Wirtschaft und Wissenschaft Konsens über die Vision einer sicheren, beherrschbaren Cyber-Infrastruktur [aca19]. Der Weg zur Verwirklichung dieser Vision wird durch die Cyber-Security-Strategie beschrieben, deren Umsetzung in Deutschland vom BSI vorangetrieben wird. Richtlinien und Gesetze wie die EU-Datenschutz-Grundverordnung flankieren das. Das strategiegeleitete Vorgehen und die Orchestrierung aller relevanten Akteure erweist sich als sehr wirkungsvoll zur Abwehr der genannten Bedrohungen. In diesem Klima ist eine leistungsfähige Cyber-Security-Industrie entstanden, die sehr eng mit den etablierten Industrien zusammenarbeitet und Informationssicherheit zu einem herausragenden Merkmal für das neue »Made in Germany« bzw. das neu entstehende Label »Made in Europe« im Zeitalter der Digitalisierung macht. Parallel dazu sind neue Entwicklungsmethodiken (zum Beispiel Security by Design, Resilience by Design, Reproducibility by Design, Controllability by Design) im Engineering der Industrie verankert worden.

Die sogenannten Hyperscaler – Tech-Konzerne wie Amazon, Google, Microsoft und Alibaba, die sämtliche Cloud-Dienstleistungen aus einer Hand anbieten können – spielen weiterhin eine große Rolle [14B]. Der EU ist es aufgrund der Wirtschaftsstärke ihrer Industrie jedoch gelungen, eine Abhängigkeit von diesen Unternehmen zu vermeiden: Vielmehr kann die EU erreichen, dass sich die großen IT-Konzerne aus den USA an den Vorgaben und am Wertesystem der EU orientieren. So werden beispielsweise in Europa Rechenzentren nach den Vorgaben der EU aufgebaut.

Die führenden Industriestaaten setzen im globalen Innovationswettbewerb einerseits auf die **Hegemonie als Ziel von Staat und Konzernen** [12A] andererseits auf die **entfesselte Vielfalt** [12C] der kreativen Geister. In ausgewählten Schlüsselbereichen unterstützen sie kompromisslos ihre Industriekonzerne im Wettbewerb um die Zukunft. Das Ziel ist die Entwicklung von Global Champions. Dafür agieren Staat und Industrie im Schulterschluss. Dieser Policy folgend

gelingt den Industriekonzerne der Aufschluss zu den IT-Giganten, die vor wenigen Jahren noch als uneinholbar enteilt galten. Die Kapitalkraft und die riesigen Datenpools der Industriekonzerne und IT-Giganten erlauben es, zahlreiche Innovationsprojekte parallel zu verfolgen und so die Chancen auf Erfolg drastisch zu erhöhen. Die Konzerne haben Ökosysteme mit eigenen Spielregeln geschaffen, an die sich andere Unternehmen auf der Suche nach Innovationen halten müssen.

Dennoch sind sich die führenden Industrienationen der Vorzüge des freien Spiels der Wettbewerbskräfte und des freien Welthandels bewusst. Slogans wie »America First« haben sich als Irrweg erwiesen. Die Entstehung und Aufrechterhaltung dynamischer, digitaler Ökosysteme wird politisch stark gefördert. Diese eröffnen auch kleineren, aufstrebenden Unternehmen neue Möglichkeiten für innovative Marktleistungen und Geschäftsmodelle, ohne in die Abhängigkeit eines Global Champions zu geraten. Es kommt zu einer »Entfesselung« der kreativen Geister.

Die Bedeutung von Standards und einer **proaktiven Standardisierung** [10C] auf dem Weg zum Markterfolg wurde frühzeitig erkannt. Zahlreiche nationale und europäische Förderprogramme und Initiativen, wie die Plattform Industrie 4.0 und die Plattform Lernende Systeme, treiben energisch und erfolgreich die Standardisierungsprozesse. Referenzmodelle und architekturen bilden den Rahmen für die Strukturierung, Entwicklung, Integration und den Betrieb der soziotechnischen Systeme. »Plug and Work« ist Realität. Auch auf internationaler Ebene wird diese Dynamik sehr begrüßt, wenngleich es viel Zeit bedarf, bis die Standards weltweit zum Tragen kommen.

Kundennahe Lösungsanbieter [11A] und eine **neue Kooperationskultur** [11C] prägen die Wertschöpfungskonzeptionen. Die Lösungsanbieter integrieren Sach- und Dienstleistungen zu hybriden Leistungsbündeln, um den Kundennutzen zu steigern, sie orchestrieren die Wertschöpfung und binden weitere Unternehmen flexibel je nach Bedarf ein. Oft werden auch die Kunden in die Wertschöpfung integriert. Das kontinuierliche Feedback von Anwenderinnen und Anwendern ermöglicht die frühzeitige Anpassung der Marktleistungen an die Kundenerwartungen und erhöht die Chancen auf einen nachhaltigen Markterfolg.

Allerdings haben die hohe Komplexität der Marktleistungen und die sehr dynamische technologische Entwicklung dazu geführt, dass selbst sehr große Unternehmen nicht mehr in der Lage sind, eine erkannte Marktchance rasch genug zu nutzen. Die Unternehmen gehen Allianzen – Zweckbündnisse auf Zeit – ein, um Erzeugnisse zu entwickeln und Märkte zu erschließen. In den Allianzen ist es von besonderer Bedeutung, komplementäre Stärken zu haben, um für die Allianz ein attraktiver Partner zu sein. Daraus resultiert jedoch die Gefahr, in ein Spezialistentum zu gleiten; der Kontakt zum Endkunden könnte verlorengehen. Eine wichtige Rolle spielt in der neuen Kooperationskultur die Verzahnung von Hochschulforschung mit F&E-Aktivitäten der Industrie, beispielsweise in Verbundprojekten der angewandten Forschung und in Clustern mit einer ausgeprägten regionalen Verankerung, basierend auf den Clusterprinzipien Proximität und kulturelle Affinität.

Die hohen Erwartungen der Wertschöpfungspartner an die **Plattformökonomie** [11B] ist einer Zurückhaltung gewichen, da viele Unternehmen eher die Risiken als die Vorteile des Geschäfts über Plattformen sehen [11B]. ➤

Die Zusammenarbeit von **Wirtschaft und Wissenschaft** fördert ein **starkes Innovationssystem** [13A]. Es herrscht durchgehend die Erkenntnis vor, dass gut ausgestattete und leistungsfähige Hochschulen entscheidende Beiträge für Innovationen, Wertschöpfung und Beschäftigung leisten. Dementsprechend gibt der Staat im Schulterschluss mit der Wirtschaft weit über 3 Prozent des Bruttoinlandsprodukts für F&E aus. Den Hochschulen ist es gelungen, Transfer in die Praxis als gleichberechtigte dritte Säule neben Forschung und Lehre zu etablieren, wie das seinerzeit vom Wissenschaftsrat gefordert wurde [WR16]. Dies wirkt sich auch auf die Berufungspolitik der Hochschulen

aus: Inzwischen werden wieder vor allem in den angewandten Ingenieurwissenschaften F&E-Führungspersonlichkeiten berufen; dies unterstützt die Weiterentwicklung des Transfers in eine Interaktion von Wissenschaft und Wirtschaft, die vom gemeinsam angestrebten Markterfolg geleitet wird und sich als sehr motivierend und erfolgreich erweist. Dies beruht auf einer ausgeprägten Kooperationskultur hinsichtlich der Zusammenarbeit der Fachdisziplinen und Fakultäten sowie der Wirtschaft und der Hochschulen, unabhängig von deren Leistungsposition als praxisorientierte Hochschule oder als forschungsstarke Eliteuniversität. ●

Literatur des Anhangs

- [aca19]** ACATECH – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): Cyber Security. München, 2019.
Unter: <https://www.acatech.de/publikation/cybersecurity/>, zuletzt abgerufen am 7. April 2020.
- [aK20]** ACATECH – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften; Körber-Stiftung (Hrsg.): TechnikRadar 2020. Was die Deutschen über Technik denken. Kooperationspublikation. München, Hamburg, 2020.
Unter: <https://www.acatech.de/publikation/technik-radar-2020/>, zuletzt abgerufen am 25. Mai 2020.
- [Bit15a]** BITKOM – BUNDESVERBAND INFORMATIONSWIRTSCHAFT, TELEKOMMUNIKATION UND NEUE MEDIEN E. V. (Hrsg.): Digitale Souveränität – Positionsbestimmung und erste Handlungsempfehlungen für Deutschland und Europa. BITKOM, Berlin, 2015.
- [KAH+20]** KLAUS, C.; ASTOR, M.; HORINK, A.; KLOSE, G.; STEHNKEN, T.; SPALTHOFF, F.; GLOCKNER, H.; GRÜNWALD, C.; BONIN, D.; SACHS, J.; EMLE, J.: Zukunft von Wertvorstellungen der Menschen in unserem Land. Prognos, Z_punkt, 2020.
- [SKR96]** SENGE, P.; KLEINER, A.; ROBERTS, C. (Hrsg.): Das Fieldbook zur, Fünften Disziplin!. Klett-Cotta, Stuttgart, 1996.
- [WR16]** WISSENSCHAFTSRAT (Hrsg.): Wissens- und Technologietransfer als Gegenstand institutioneller Strategien. Positionspapier. Drucksache 5665-16, Weimar, 2016.

Herausgeber:**Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu**

Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik
Mechatronik IEM
Zukunftsmeile 1, 33102 Paderborn

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier

acatech – Deutsche Akademie
der Technikwissenschaften
Karolinenplatz 4, 80333 München

Prof. Dr.-Ing. Oliver Riedel

Fraunhofer-Institut für Arbeitswissenschaft
und Organisation IAO
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers

IPEK – Institut für Produktentwicklung am
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Campus Süd
Kaiserstr. 10, 76131 Karlsruhe

Dr.-Ing. Kai Lindow

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen
und Konstruktionstechnik IPK
Pascalstr. 8–9, 10587 Berlin

Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark

Technische Universität Berlin
Pascalstr. 8–9, 10587 Berlin

Lektorat:

Karola Klatt

Gestaltung und Satz:

NORDSONNE IDENTITY GmbH
Linienstraße 153, 10115 Berlin

Druck:

ARNOLD group
Am Wall 15, 14979 Großbeeren

Empfohlene Zitierweise:

Albers, A.; Dumitrescu, R.; Gausemeier, J.;
Lindow, K.; Riedel, O.; Stark, R. (Hrsg.):
Strategie Advanced Systems Engineering –
Leitinitiative zur Zukunft des Engineering
und Innovationsstandorts Deutschland,
München, 2022

Die Originalfassung der Publikation**ist verfügbar unter:**

www.advanced-systems-engineering.de

Alle Rechte vorbehalten. Vervielfältigung und Verbreitung –
auch von Auszügen – nur mit Genehmigung der Redaktion.

© acatech, München 2022 | Stand: Juli 2022

