



acatech KOOPERATION

# Advanced Systems Engineering

Eine Leitlinie zur Stärkung  
der Innovationskraft

acatech, Fraunhofer IAO,  
Fraunhofer IEM, Fraunhofer IPK,  
Institut für Produktentwicklung (IPEK) (Hrsg.)



DEUTSCHE AKADEMIE DER  
TECHNIKWISSENSCHAFTEN

# Advanced Systems Engineering – Eine Leitlinie zur Stärkung der Innovationskraft

Stand: 2. März 2018  
Redaktionelle Korrekturen: 26. Mai 2021

| <b>Inhaltsverzeichnis</b>   | <b>Seite</b> |
|---|--------------|
| Motivation .....  | 2            |
| Zusammenfassung .....   | 3            |
| 1 Digitalisierung der Marktleistung .....                           | 6            |
| 2 Marktleistungsentstehung als Schlüssel zum Erfolg .....           | 9            |
| 3 Digitalisierung der Marktleistungsentstehung .....                | 12           |
| 4 Thesen für eine erfolgreiche Kreation der Marktleistungen .....   | 15           |
| 5 Handlungsfelder für die Marktleistungsentstehung von morgen ..... | 20           |
| 6 Leitbild Advanced Systems Engineering .....                       | 27           |
| <br>  |              |
| Anhang A: Arbeitsorganisation .....                                 | A-1          |

## Motivation

Die Digitalisierung wird die technischen Systeme von morgen entscheidend prägen. Der Begriff System umfasst einerseits im Sinne der Resultate eines Entwicklungsgeschehens Produkte (Sachleistungen), Kombinationen von Sach- und Dienstleistungen sowie Produktionssysteme und andererseits die Entwicklungssysteme mit ihren Methodiken, IT-Umgebungen und Ablauforganisationen. In beiden Bereichen sind in hohem Maße Menschen involviert, sodass wir es konsequenterweise mit komplexen soziotechnischen Systemen zu tun haben. Ein Großteil der Systeme wird eine inhärente Teilintelligenz aufweisen, was dazu führt, dass sie adaptiv, robust, vorausschauend und benutzungsfreundlich sind; derartige Systeme werden autonom agieren und dynamisch vernetzt sein, sie werden im Sinne von „System of Systems“ kooperieren, aber auch autark voneinander operieren.

Die Systeme von heute und morgen beruhen auf dem engen Zusammenwirken mehrerer Fachdisziplinen wie Elektronik, Informatik und Maschinenbau. Keine Fachdisziplin kann für sich in Anspruch nehmen, ein komplexes technisches System allein zu entwickeln; die heute etablierten Entwicklungsmethodiken sind fachgebietszentriert. Innovationserfolge als Voraussetzung für Wohlstand und Beschäftigung werden sich auf Dauer nur dann einstellen, wenn wir in der Lage sind, in großem Stil komplexe technische Systeme professionell zu entwickeln und von Beginn an die Akzeptanz der Stakeholder zu sichern. Es ist eine Denk- und Handlungsweise erforderlich, die das multidisziplinäre System in den Mittelpunkt stellt, die Interaktion mit den Stakeholdern fördert und das in Entstehung befindliche System für die Anwenderinnen und Anwender erlebbar macht. Systems Engineering (SE) hat das Potenzial, die Kreation der technischen Systeme von morgen auf eine neue Basis zu stellen.<sup>1,2</sup>

Mit Blick auf die heimische Wirtschaft ergibt sich die grundlegende Fragestellung, wie die Entstehung von digitalisierten Marktleistungen von morgen organisiert werden muss, um zukünftig am Hochlohnstandort Deutschland erfolgreich agieren zu können. Eine Reihe von Untersuchungen im Kontext der Digitalisierung wie „Forschungsagenda der Plattform Industrie 4.0“, „Autonome Systeme“, „Industrie 4.0 – Internationaler Benchmark, Zukunftsoptionen, Handlungsempfehlungen für die Produktionsforschung (INBE-NZHAP)“, das acatech Themennetzwerk Sicherheit, aber auch der Spitzencluster „Intelligente Technische Systeme Ostwestfalen-Lippe (it's OWL)“ und die jährliche Ermittlung der acatech Zukunftsthemen unterstreichen das und fordern eine neue Schule des Entwurfs der technischen Systeme von morgen.

Die vorliegende Ausarbeitung umreißt – ausgehend von einer Charakterisierung künftiger Marktleistungen und des entsprechenden Entwicklungsgeschehens – eine Zielprojektion in Form von Thesen. Daran knüpft eine prägnante Darstellung der Handlungsfelder für die Marktleistungsentstehung von morgen an.

acatech mit dem Markenkern Innovation und der Fähigkeit, Wissenschaft und Praxis zusammenzuführen, nimmt das zum Anlass, eine auf dem Ansatz Systems Engineering basierende Kampagne zur Stärkung der Innovationskraft Deutschlands voranzutreiben.

---

<sup>1</sup> ALBERS, A./GAUSEMEIER, J.: *Finanzierungsantrag 2013–2016 Advanced Systems Engineering für die Produktentstehung von morgen (ASE)*, KIT Karlsruher Institut für Technologie und Universität Paderborn, Karlsruhe, Paderborn 2012.

<sup>2</sup> ALBERS, A./GAUSEMEIER, J.: „Von der fachdisziplinenorientierten Produktentwicklung zur vorausschauenden und systemorientierten Produktentstehung“. In: Anderl, R./Eigner, M./Sendler, U./Stark, R.: *Smart Engineering. Interdisziplinäre Produktentstehung (acatech DISKUSSION)*, München 2012.

Das Papier richtet sich in erster Linie an Entscheidungsträger und Entscheidungsträgerinnen aus Wirtschaft, Politik und Wissenschaft, die mit dem Innovationssystem befasst sind. Es nimmt primär den **Maschinenbau** und verwandte Branchen wie die **Automobil-** und die **Elektroindustrie** in den Fokus, weil diese Branchen auch künftig eine Schlüsselstellung für Wertschöpfung und Beschäftigung einnehmen werden und einen tiefgreifenden Transformationsprozess vor sich haben.

## Zusammenfassung

### Digitalisierung der Marktleistungsentstehung als Schlüssel zum Innovationserfolg

Mit der Digitalisierung der Marktleistungen<sup>3</sup> geht die Digitalisierung der Marktleistungsentstehung einher. Diese wird mehr denn je Dreh- und Angelpunkt zur Sicherung des Erfolgs der hier primär betrachteten Branchen Maschinenbau, Automobil- und Elektroindustrie sein. Die Digitalisierung betrifft alle vier **Hauptaufgaben der Produktentstehung: Strategische Produktplanung, Produktentwicklung, Dienstleistungsentwicklung und Produktionssystementwicklung**. Diese Hauptaufgaben sind parallel und eng aufeinander abgestimmt voranzutreiben. Nur so wird sichergestellt, dass auch alle Möglichkeiten der Realisierung einer innovativen und überlegenen Marktleistung ausgeschöpft werden. Die üblichen Innovationskennzahlen der deutschen Industrie unterstreichen die herausragende Bedeutung von Produkt- beziehungsweise Marktleistungsinnovationen für Wertschöpfung und Beschäftigung, die angesichts der Nutzenpotenziale der Digitalisierung noch zunehmen wird.

Die Digitalisierung beeinflusst also nicht nur die zukünftigen Marktleistungen, sondern auch die Art und Weise, wie diese entstehen. Die einzelnen Tätigkeiten der Marktleistungsentstehung sind zunehmend vernetzt und werden mehr denn je durch IT-Werkzeuge unterstützt. Entsprechend verändern sich Prozesse, Methoden, Organisationsstrukturen und insbesondere die Form der Zusammenarbeit. Vor diesem Hintergrund zeichnen sich **sechs Hebel** zur Stärkung der Innovationskraft ab: **1) Virtualisierung**, das heißt die konsequente Bildung und Analyse digitaler Modelle mit dem Ziel des sogenannten „Digitalen Zwilling“ als Gegenstück zum real operierenden System, **2) digitale Durchgängigkeit** in der Produktentstehung und den weiteren Phasen des Produktlebenszyklus, **3) Assistenzsysteme**, die Routineaufgaben in der Marktleistungsentwicklung übernehmen und die Konsistenz der Entwicklungsinformationen sichern, **4) Kreativität**, die beim Endbenutzer beziehungsweise bei der Endbenutzerin ansetzt, **5) Agilität**, die ein flexibles, proaktives Agieren fördert, sowie **6) Kommunikation und Kooperation** sowohl der Fachleute in der Marktleistungsentstehung als auch auf der Metaebene mit den Stakeholdern.

Die Kreation der Systeme von morgen muss ferner vielfältigen **Entwicklungsaspekten** wie Funktionalität, Verhalten, Resilienz, Security, Sustainability, Usability, Herstellbarkeit und Wartbarkeit gerecht werden und integrieren.

### Zielprojektion Advanced Systems Engineering

Systems Engineering hat das Potenzial, Disziplinen und vielfältige Aspekte zu integrieren und eine fundierte Basis für eine zwingend erforderliche ganzheitliche Produktentstehungsmethodik im Zeitalter der Digitalisierung zu bilden. Systems Engineering erhebt

---

<sup>3</sup> Der Begriff Marktleistung schließt Produkte (Sachleistungen) und Dienstleistungen ein. In Anlehnung an die Umgangssprache verwenden wir synonym für Marktleistung oft den Begriff Produkt. Dies gilt insbesondere für eingeführte Begriffe wie Strategische Produktplanung, Produktprogramm und Ähnliches.

den Anspruch, die Orchestrierung aller Beteiligten in der Entwicklung komplexer Systeme wirkungsvoll zu unterstützen. Die folgenden **Thesen** charakterisieren eine Zielprojektion und ein damit verbundenes neues Selbstverständnis für die Gestaltung der Produktentstehung von morgen, was mit dem Begriff **Advanced Systems Engineering (ASE)** unterstrichen wird:

- These 1: Industrie 4.0 beruht auf Produkt- und Dienstleistungsinnovationen.
- These 2: Die Digitalisierung eröffnet neue Möglichkeiten für die Gestaltung der Entwicklungsarbeit.
- These 3: Digitale Technologien verbessern die Verbindung zwischen Kunden- beziehungsweise Anwendungs- und Entwicklerseite.
- These 4: Einzelne Branchen und Entwicklungs-Communities verwenden eigene Systems-Engineering-Entwicklungsrahmen, die projektspezifisch ausgeprägt werden.
- These 5: Daten- und modellbasiertes Arbeiten bildet in allen Bereichen der Marktleistungsentstehung die Grundlage.
- These 6: Die Absicherung der Marktleistung erfolgt auf Basis von Modellen.
- These 7: PDM<sup>4</sup>/PLM<sup>5</sup>/ALM<sup>6</sup> und MBSE<sup>7</sup> beruhen auf einem integrativen Gesamtkonzept.
- These 8: Lösungswissen ist für die Marktleistungsentstehung von entscheidender Bedeutung.
- These 9: Im Entstehungsprozess der Marktleistung sind agile Arbeitsweisen etabliert.
- These 10: Der Nutzen von Systems Engineering ist bewertbar.
- These 11: Systems Engineering ergänzt etablierte fachdisziplinspezifische Methodiken.
- These 12: Die Geschäftsmodellentwicklung geht Hand in Hand mit der Konzipierung des Produkts, des Dienstleistungsangebots und des Produktionssystems.
- These 13: Die Strategische Produktplanung und die Marktleistungsentwicklung bilden ein Aufgabenkontinuum.
- These 14: Die Systems-Engineering-Kompetenzentwicklung ist zentraler Bestandteil in der Aus- und Weiterbildung.
- These 15: Systems Engineering überwindet Kulturgrenzen.

---

<sup>4</sup> PDM: Produktdatenmanagement

<sup>5</sup> PLM: Product Lifecycle Management

<sup>6</sup> ALM: Application Lifecycle Management

<sup>7</sup> MBSE: Model-Based Systems Engineering

## **Handlungsfelder für die Marktleistungsentstehung von morgen**

Die folgenden Handlungsfelder resultieren aus der vorgenommenen Problemanalyse und verdeutlichen den Forschungs- und Transferbedarf auf dem Weg zur Zielprojektion Advanced Systems Engineering.

- A) Innovative Formen der Kooperation – Kollektive Kreativität und Agilität fördern.
- B) Künstliche Intelligenz im Engineering – Mit Assistenzsystemen zu besseren Ergebnissen kommen.
- C) Verifikation und Validierung – Komplexe Systeme intelligent absichern.
- D) Einsatz von Lösungsmustern – Kreativität mit externalisiertem Lösungswissen befeuern.
- E) Standardisierung von Modellen und Austauschformaten – Voraussetzungen für unternehmensübergreifendes Arbeiten und Interoperabilität schaffen.
- F) Entwicklungsumgebungen – Die Entwicklungsarbeitsplätze von morgen gestalten.
- G) Geografisch verteiltes Arbeiten – Die Entwicklungsarbeit zu den Menschen bringen.
- H) Aus- und Weiterbildung – Studierende sowie Praktikerinnen und Praktiker mit neuen Formaten fit machen.
- I) Qualifizierung 50 plus – Erfahrenen Entwicklungsingenieurinnen und -ingenieuren neue Entfaltungsperspektiven eröffnen.
- J) Partizipation der Stakeholder – Auf der Metaebene Transparenz schaffen und Systeme erlebbar machen.

## **Eine acatech Kampagne zur Stärkung der Innovationskraft**

Advanced Systems Engineering wird den Anforderungen der Innovationspraxis von morgen gerecht. Es existieren viele Aktivitäten, um Systems Engineering voranzubringen. Allerdings gibt es weder eine mit den erforderlichen Ressourcen adäquat ausgestattete, herausragende Aktivität, noch werden die Aktivitäten gebündelt und koordiniert. Ziel der Initiatoren des vorliegenden Papiers ist es, diese Situation zu überwinden und eine Kampagne zu starten, die einschlägige Aktivitäten zusammenführt und das Thema Systems Engineering wesentlich verstärkt vorantreibt. Dies beruht auf der Erkenntnis, dass Produkt- beziehungsweise Marktleistungsinnovationen die Voraussetzung für den Erhalt des Produktionsstandorts Deutschland sind.

## 1 Digitalisierung der Marktleistung

Die Informationstechnik und auch nicht-technische Disziplinen wie die Kognitionswissenschaft oder die Neurobiologie haben eine Vielfalt an Methoden, Techniken und Verfahren hervorgebracht, die es ermöglichen, sensorische, aktorische und kognitive Funktionen in technische Systeme zu integrieren. Hinzu kommt ein zunehmendes Angebot von internetbasierten Diensten und die Verfügbarkeit großer Datenmengen, aus denen sich Erfolg versprechende Möglichkeiten für innovative Dienstleistungen – oft in geschickter Kombination mit Sachleistungen – und attraktive Geschäftsmodelle<sup>8</sup> ergeben. Offensichtlich eröffnet die skizzierte technologische Entwicklung neue Perspektiven für die Gestaltung der technischen Systeme von morgen sowie der entsprechenden Marktleistungen,<sup>9,10</sup> wie die folgenden vier Punkte verdeutlichen:

- 1) **Autonome Systeme:** Diese lösen selbstständig komplexe Aufgaben innerhalb einer bestimmten Anwendungsdomäne. Dazu müssen diese Systeme in der Lage sein, ohne Fernsteuerung oder weitere menschliche Hilfe zielführend zu agieren. Beispielsweise kann die Grundlage der Steuerung der Aktorik auf einem systeminternen Umfeldmodell beruhen, das es dem System erlaubt, im Betrieb auf neue Ereignisse zu reagieren und neue Aktionen zu lernen. Hierfür werden zahlreiche technologische Bausteine benötigt, wie zum Beispiel Sensorfusion, semantische Erklärungsmodelle oder Planungsverfahren.<sup>11</sup>
- 2) **Dynamisch vernetzte Systeme:** Der Grad an Vernetzung der Systeme wird zunehmen. Hieraus entstehen neue, komplexere Systeme, deren Funktionalität die Summe der Funktionalitäten der Einzelsysteme übersteigt. In Abhängigkeit des Gesamtsystemziels variieren die Systemgrenzen, die Schnittstellen und die Rollen der Einzelsysteme. Das vernetzte System, das zunehmend in globaler Dimension agiert, wird nicht mehr ausschließlich durch eine globale Steuerung beherrschbar sein, vielmehr muss auch durch lokale Strategien ein global erwünschtes Verhalten erreicht werden. Da wir davon ausgehen, dass diese Einzelsysteme autark voneinander agieren können und unabhängig beziehungsweise von verschiedenen Anbietern entwickelt werden, spricht man von einem System of Systems<sup>12</sup> (SoS)<sup>13</sup>.
- 3) **Interaktive soziotechnische Systeme:** Die aufgezeigte technologische Entwicklung eröffnet auch neue Perspektiven der Interaktion zwischen Mensch und Maschine. Die entsprechenden Systeme werden sich flexibel an die Bedürfnisse der Anwenderinnen und Anwender anpassen und sie kontextsensitiv unterstützen. Ferner werden sie auch fähig sein, sich zu erklären und der Benutzerin beziehungsweise dem Benutzer

---

<sup>8</sup> ACATECH – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN: *Smart Service Welt – Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft. Abschlussbericht*, Berlin, 2015.

<sup>9</sup> Der Begriff Marktleistung schließt Produkte (Sachleistungen) und Dienstleistungen ein. In Anlehnung an die Umgangssprache verwenden wir synonym für Marktleistung oft den Begriff Produkt. Dies gilt insbesondere für eingeführte Begriffe wie Strategische Produktplanung, Produktprogramm und Ähnliches.

<sup>10</sup> ACATECH – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN: *Smart Service Welt 2018 – Wo stehen wir? Wohin gehen wir?*, Kooperationspublikation, München, 2018.

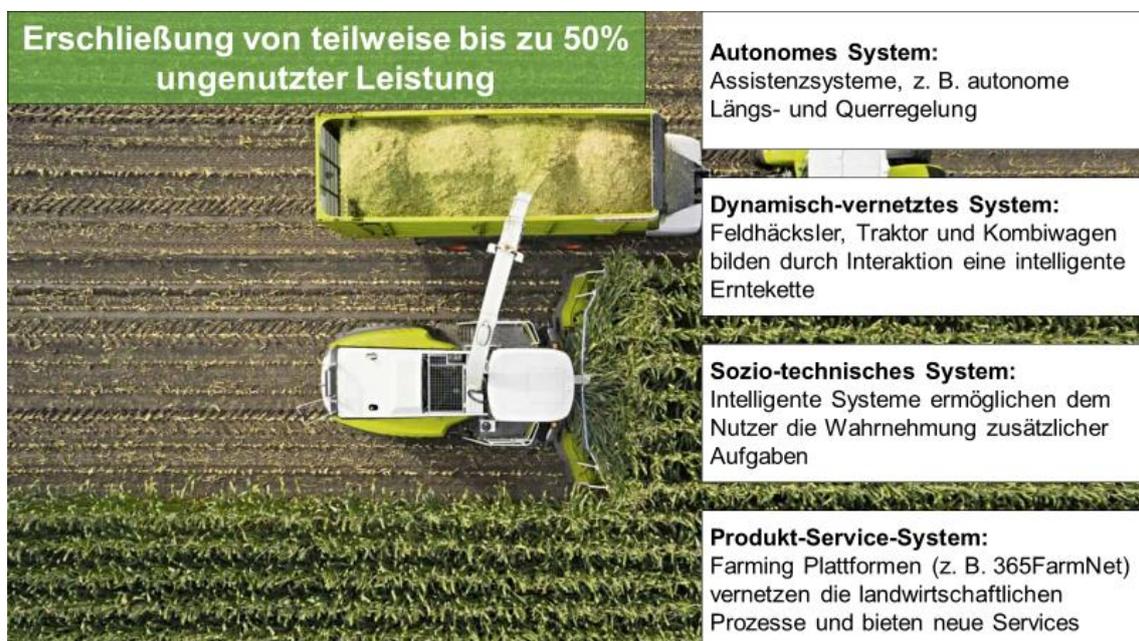
<sup>11</sup> ACATECH – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN: *Autonome Systeme – Chancen und Risiken für Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft. Zwischenbericht*, Berlin, 2016.

<sup>12</sup> ACATECH – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN: *Cyber-Physical Systems – Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion*, Berlin, 2011.

<sup>13</sup> PORTER, M. E./HEPPELMANN, J. E.: „How Smart, Connected Products Are Transforming Competition“. In: *Harvard Business Review*, November 2014.

Handlungsmöglichkeiten zu bieten. Die Interaktion wird zunehmend multimodal (zum Beispiel Sprache und Gestik) und auf Basis neuer Technologien (zum Beispiel Augmented Reality oder Hologrammen) erfolgen. Dies führt zu neuartigen soziotechnischen Systemen.<sup>14</sup> Vor diesem Hintergrund stellt sich weniger die Frage, bei welchen Aufgaben der Mensch ersetzt wird, sondern welche neuen beziehungsweise welche bekannten Aufgaben auf neue Art durch Augmentation – also die Erweiterung menschlicher Fähigkeiten durch maschinelle Intelligenz – gelöst werden können.

- 4) Produkt-Service-Systeme:** Produkt-Service-Systeme (auch hybride Leistungsbündel genannt) beruhen auf einer engen Verzahnung von Sach- und Dienstleistungen und bieten auf die Kundinnen und Kunden ausgerichtete Problemlösungen. Der Nutzen neuartiger Systeme entsteht in der Regel durch datenbasierte Dienstleistungen, die die Erfassung, Verarbeitung und Auswertung von Daten umfassen. Beispielsweise kann die Auswertung der Daten einer Produktionsanlage einen Maschinenausfall prognostizieren, was wiederum die Grundlage für die Planung weiterer Dienste wie präventiver Wartung und automatischer Bestellung von Ersatzteilen sein kann.



*Bild 1: Digitalisierung der Marktleistung am Anwendungsbeispiel Landwirtschaft 4.0  
(Quelle: <http://www.bauernverband.de/landwirtschaft-4>; Bildquelle: CLAAS)*

Erste **Beispiele** für intelligente technische Systeme unterstreichen die Mächtigkeit der sich abzeichnenden Veränderungen (Bild 1). Wie diese Systeme im Spannungsdreieck von Zeit, Kosten und Qualität erfolgreich entwickelt werden, wird bislang kaum explizit untersucht. Dabei stellen insbesondere die zunehmende Intelligenz in den Systemen und die damit einhergehende Multidisziplinarität die Marktleistungsentstehung vor neue Herausforderungen. So haben intelligente Systeme nicht zwangsläufig eine feste Systemgrenze. Ihre Funktionalität verändert sich im Laufe des Produktlebenszyklus, hängt häufig von ad hoc auftretenden Anwendungsszenarien in ihrer Benutzungsphase ab und kann deshalb nur begrenzt bei der Entwicklung vorausgedacht werden. Der Weg zu intelligenten technischen Systemen verändert aber nicht nur die Entwicklungstätigkeit an sich, sondern auch die Anforderungen hinsichtlich der Verifikation und Validierung dieser Systeme bis hin zur Haftungsfrage im Fehlerfall.

<sup>14</sup> PLATTFORM INDUSTRIE 4.0: *Umsetzungsstrategie Industrie 4.0*. Berlin, 2015.

Führende Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen treiben zahlreiche Forschungsprojekte und Anwendungen im Kontext der Digitalisierung von technischen Produkten und Produktionssystemen voran. So wurden im Rahmen der Nationalen Plattform Industrie 4.0 etwa 300 konkrete Beispiele identifiziert, die nach definierten Industrie 4.0-Anwendungsszenarien, wie zum Beispiel wandlungsfähige Fabrik und selbstorganisierende adaptive Logistik, strukturiert wurden.<sup>15</sup> Die Fülle der Beispiele verdeutlicht die großen Nutzenpotenziale digitalisierter Produkte und Produktionssysteme, wenngleich viele Beispiele noch sehr punktuellen Charakter haben und der Schwerpunkt auf Produktionsthemen liegt. Um die offensichtlichen Nutzenpotenziale auszuschöpfen, muss die Betonung stärker auf intelligente vernetzte Systeme (Schlagwort System of Systems) und hier insbesondere auf Produkte und Produkt-Service-Systeme gelegt werden.

---

<sup>15</sup> Im Rahmen des Projekts EiBILA der Nationalen Plattform Industrie 4.0 wurden etwa 300 bekannt gewordene Anwendungsbeispiele erfasst, übergeordneten generischen Anwendungsszenarien zugeordnet und zu einer Industrie 4.0-Landkarte aufbereitet.

## 2 Marktleistungsentstehung als Schlüssel zum Erfolg

Die Marktleistungsentstehung beschreibt die grundsätzlichen Schritte von der Produktbeziehungswise Geschäftsidee bis zum Serienanlauf beziehungsweise Markteintritt. Sie umfasst zunächst die drei Hauptaufgabenbereiche Strategische Produktplanung, Produktentwicklung und Produktionssystementwicklung (vgl. Bild 2). In den letzten Jahren hat sich gezeigt, dass hybride Leistungsbündel durch die Digitalisierung einen besonderen Kundennutzen generieren können. Aus diesem Grund ist die Produkt- und Produktionssystementwicklung gegebenenfalls um die Dienstleistungsentwicklung zu ergänzen.

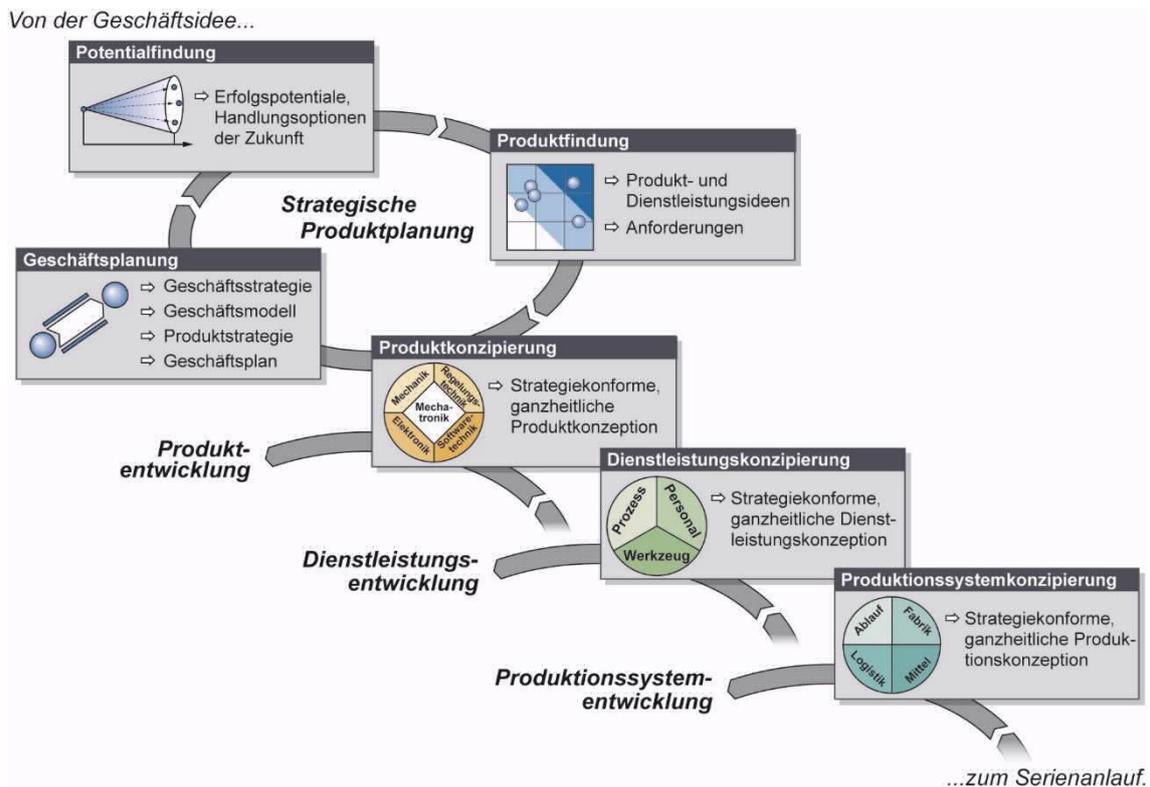


Bild 2: 4-Zyklus-Modell der Marktleistungsentstehung<sup>16</sup> – die drei Entwicklungszyklen sind nur angedeutet.

Die **Strategische Produktplanung** charakterisiert das Vorgehen vom Finden der Geschäftspotenziale der Zukunft bis zur Erfolg versprechenden Produktkonzeption, der sogenannten prinzipiellen Lösung. Dies umfasst die Aufgabenbereiche Potenzialfindung, Produktfindung sowie Geschäftsplanung und mündet schließlich in die Produktkonzipierung.<sup>17</sup> Zentrales Ergebnis der Strategischen Produktplanung ist der Entwicklungsauftrag, der bislang im Wesentlichen den Anforderungskatalog sowie Angaben über Termine, Entwicklungs- und Herstellkosten enthält. Nun zeigt die Erfahrung, dass die Entwicklungsingenieurinnen und -ingenieure darüber hinaus noch weitere Informationen benötigen, die wohl in der Strategischen Produktplanung vorhanden sind, aber nicht an die Entwicklung weitergegeben werden. Es handelt sich beispielsweise um Zukunfts-

<sup>16</sup> GAUSEMEIER, J./DUMITRESCU, R./ECHTERFELD, J./PFÄNDER, T./STEFFEN, D./THIELEMANN, F.: Innovationen für die Märkte von morgen. Strategische Planung von Produkten, Dienstleistungen und Geschäftsmodellen. München, 2018.

<sup>17</sup> Wir gehen davon aus, dass gegebenenfalls auch das Dienstleistungsangebot und das Produktionssystem zu konzipieren sind.

szenarien und daraus abgeleitete Prämissen, Geschäftsmodelle und Produktstrategien. Des Weiteren benötigt die Strategische Produktplanung Informationen über das Produkt, Dienstleistungs- und Produktionssystemkonzept, um im Rahmen der Geschäftsplanung die Geschäftsstrategie, das Geschäftsmodell, die Produktstrategie und den Geschäftsplan zu präzisieren. Daraus leitet sich die Notwendigkeit ab, Strategische Produktplanung mit der Produktkonzipierung zu integrieren, um den involvierten Fachleuten die Informationen bereitzustellen, die sie in den frühen Phasen der Produktentstehung tatsächlich benötigen. Diese Integration muss unter anderem auf einem umfassenden integrierten Modell des erweiterten Entwicklungsauftrags beruhen.<sup>18</sup>

Die **Produktentwicklung** startet mit der fachgebietsübergreifenden Produktkonzipierung und umfasst den fachgebietsspezifischen Entwurf und die Integration der Ergebnisse der einzelnen Fachgebiete zu einer Gesamtlösung. In diesem Zusammenhang spielt die Bildung und Analyse von rechnerinternen Modellen eine wichtige Rolle, was durch die Begriffe Digitaler Zwilling und Virtualisierung zum Ausdruck kommt.

Den Ausgangspunkt der **Produktionssystementwicklung** bildet die Konzipierung des Produktionssystems. Dabei sind die vier Aspekte Arbeitsablaufplanung, Arbeitsmittelplanung, Arbeitsstättenplanung und Produktionslogistik (Schwerpunkt: Materialflussplanung) zu konkretisieren und zu integrieren. Die Begriffe Virtuelle Produktion beziehungsweise Digitale Fabrik drücken aus, dass in der Produktionssystementwicklung ebenfalls rechnerinterne Modelle gebildet und analysiert werden – Modelle von den geplanten Produktionssystemen beziehungsweise von Subsystemen wie Fertigungslinien und Arbeitsplätzen.

Ziel der **Dienstleistungsentwicklung** ist die Umsetzung einer Dienstleistungsidee in eine Marktleistung. Auch hier handelt es sich wie in den zuvor genannten drei Hauptaufgabenbereichen um ein Wechselspiel von Aufgaben und zwar der Dienstleistungskonzipierung, der Dienstleistungsplanung und der Dienstleistungsintegration. Die relevanten Entwicklungsaspekte sind die Ablauforganisation der Dienstleistungserbringung, die Personalplanung und die Planung der Werkzeuge.

Produkt-, Dienstleistungs- und Produktionssystementwicklung sind parallel und eng aufeinander abgestimmt voranzutreiben. Nur so wird sichergestellt, dass auch alle Möglichkeiten der Realisierung einer innovativen und überlegenen Marktleistung ausgeschöpft werden.

Die besondere **Rolle der Marktleistungsentstehung** lässt sich auch anhand einiger Innovationskennzahlen der einschlägigen deutschen Industrie verdeutlichen:

- Die deutsche Wirtschaft erzielte im Jahr 2015 mit sogenannten „Produktinnovationen“<sup>19</sup> einen Umsatz von rund 710 Milliarden Euro. Damit liegt der Umsatzanteil dieser Produktinnovationen bei 13,3 Prozent (nach 12,9 Prozent im Jahr 2014). Der Anteil von Marktneuheiten am gesamten Umsatz stieg 2015 auf 3,0 Prozent (2014: 2,8 Prozent).
- Besonders hoch war der Umsatzanteil mit Produktinnovationen 2015 im Fahrzeugbau (48 Prozent, davon 10 Prozent mit Marktneuheiten), in der Elektroindustrie (33 Prozent, davon 7,3 Prozent mit Marktneuheiten) sowie im Maschinenbau (21 Prozent,

---

<sup>18</sup> GAUSEMEIER, J. (HRSG.): *Strategische Produktplanung – Adaptierbare Methoden, Prozesse und IT-Werkzeuge für die Planung der Marktleistungen von morgen. Abschlussbericht des BMBF-Verbundprojekts ADISTRA*, Heinz Nixdorf Institut, Paderborn, 2016.

<sup>19</sup> Unter Produktinnovationen werden hier neue oder verbesserte Produkte (beziehungsweise Marktneuheiten, Sortimentsneuheiten oder Nachahmerinnovationen) verstanden.

davon 6,2 Prozent mit Marktneuheiten). Jedes zweite deutsche Unternehmen im Maschinenbau hat hierzu Produktinnovationen hervorgebracht.

- Auch die Ausgaben für Produktinnovationen unterstreichen die Rolle der Produktentstehung: Ihr Anteil am Umsatz stieg 2015 auf 3,0 Prozent. Dabei wurde der Anstieg der Innovationsausgaben im Jahr 2015 nicht nur von den Großunternehmen, sondern auch von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) getragen. Besonders expansiv war dabei die Gruppe der Unternehmen mit weniger als 250 Beschäftigten. Ihre Innovationsausgaben stiegen um 17 Prozent von 22,2 Milliarden Euro (2014) auf 25,9 Milliarden Euro (2015). Der absolut größte Steigerungsbetrag entfiel allerdings auf die Großunternehmen, deren Innovationsbudgets von 111,6 auf 121,1 Milliarden Euro im Jahr 2015 (+8,5 Prozent) zunahmen.<sup>20</sup>
- Der Innovationsindikator 2017 bestätigt, dass Deutschland zu den innovationsstärksten Ländern der Welt gehört und unverändert den vierten Platz belegt. Gemessen am Digitalisierungsindikator, der ebenfalls im Rahmen des Innovationsindikators ermittelt wurde, liegt Deutschland aber deutlich hinter anderen Industrienationen zurück (Rang 17). Das gilt besonders für die Bereiche Forschung/Technologie (Rang 16), Bildung (Rang 17) und Infrastruktur/Staat (Rang 19).<sup>21</sup>

Offensichtlich sind Produkt- beziehungsweise Marktleistungsinnovationen für den Unternehmenserfolg von entscheidender Bedeutung und sie werden angesichts der Nutzenpotenziale der Digitalisierung erheblich an Bedeutung gewinnen.

---

<sup>20</sup> ZENTRUM FÜR EUROPÄISCHE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG GMBH (ZEW) (HRSG.): *Innovationsverhalten der deutschen Wirtschaft – Indikatorenbericht zur Innovationserhebung 2016*, Mannheim, 2017.

<sup>21</sup> ACATECH – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN/BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN INDUSTRIE E. V. (BDI): *Innovationsindikator 2017*, 2017.

### 3 Digitalisierung der Marktleistungsentstehung

Die Digitalisierung beeinflusst nicht nur die zukünftigen Marktleistungen, sondern auch die Art und Weise, wie diese entstehen.<sup>22</sup> Die einzelnen Tätigkeiten der Marktleistungsentstehung sind zunehmend vernetzt und werden mehr denn je durch IT-Werkzeuge unterstützt. Entsprechend ergeben sich in hohem Maße direkte Auswirkungen sowohl auf die **Technik** als auch auf die mit ihr agierenden **Menschen**. Es verändern sich Prozesse, Methoden, Organisationsstrukturen und die Form der Zusammenarbeit.<sup>23,24</sup> Vor diesem Hintergrund zeichnen sich **sechs Hebel** zur **Stärkung der Innovationskraft** ab. Die Hebel 1 bis 3 setzen dabei unmittelbar an der Technik an. Die Hebel 4 bis 6 charakterisieren hingegen die Art und Weise des menschlichen Agierens, die aufbauend auf dem technischen Fortschritt möglich wird.

**1) Virtualisierung:** Der Fortschritt in der computerunterstützten Produktentstehung<sup>25</sup> ermöglicht die rechnerinterne Repräsentation aller wesentlichen Aspekte eines zu entwickelnden Systems, wie Anforderungen, Funktionalität, Wirkungsweise, Gestalt und Verhalten. Die Virtualisierung in der Marktleistungsentstehung adressiert neben den Daten zur Repräsentation der genannten Aspekte auch alle anfallenden Daten aus dem weiteren Produktlebenszyklus. Die Daten werden disziplinübergreifend in Modellen erzeugt – wobei jedes Modell aufgabenspezifisch zum Problemlösungsprozess beiträgt. Diese umfassende Virtualisierung ermöglicht die realitätsnahe Simulation und Erprobung des in Entwicklung befindlichen Systems. Die Virtualisierung des Systems ist wesentliche Grundlage des Konzepts des sogenannten Digitalen Zwillings. Dieser besteht aus dem realen System, der Virtualisierung dieses Systems sowie dessen konsistenter Verknüpfung.

**2) Digitale Durchgängigkeit:** Die digitale Durchgängigkeit unterstützt eine ganzheitliche und eindeutige Beschreibung sämtlicher Entwicklungsobjekte und -aspekte und ermöglicht unter dem Blickwinkel der Zusammenarbeit auch die Vernetzung von Fachexpertinnen und Fachexperten über Disziplinen und Unternehmensgrenzen hinweg. Medien- und Informationsbrüche werden überwunden. So wird das durchgängige Management aller auf ein System bezogenen Prozesse und Informationen in digitaler Form gewährleistet. Dabei zeichnet den Umgang mit den Daten aus, dass diese jederzeit auswertbar, nicht redundant vorliegen und spezifischen Aufgaben aufbereitet zur Verfügung stehen – im Sinne des „Single Source of Truth“.

Ein weiterer Schritt ist die Kopplung der virtuellen und realen Welt mittels des Konzepts des Digitalen Zwillings. Dies ermöglicht die Analyse von Daten und die Überwachung realer Systeme sowie die parallele Simulation und Optimierung der Systeme. Die digitale Durchgängigkeit ist damit über den gesamten Lebenszyklus sicherzustellen.

---

<sup>22</sup> PORTER, M./HEPPELMANN, J.: „How Smart, Connected Products Are Transforming Companies“. In: *Harvard Business Review*, Oktober 2015.

<sup>23</sup> HIRSCH-KREINSEN, H./ITTERMANN, P./NIEHAUS, J.: *Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen*, Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft, 2015.

<sup>24</sup> NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE (U. S.): *Information Technology and the U. S. Workforce: Where Are We and Where Do We Go from Here?*, Washington, DC: The National Academies Press, 2017.

<sup>25</sup> Wir verwenden synonym zum Begriff Marktleistungsentstehung auch den eingeführten Begriff der Produktentstehung.

- 3) Assistenzsysteme:** Diese können sowohl motorische und körperliche als auch kreative und wissensbasierte Arbeitstätigkeiten unterstützen. Sie beruhen auf Technologien wie Virtual Reality oder Künstlicher Intelligenz. Die Möglichkeiten der Künstlichen Intelligenz zeigen sich bereits in vielen Arbeitsbereichen. So ermöglicht Künstliche Intelligenz, große Mengen anwendungsbezogener Daten zu ordnen und komplexe Zusammenhänge herauszustellen. Daraus lassen sich wertvolle Informationen beispielsweise über das Verhalten von Kundinnen und Kunden und ihre Bedürfnisse sowie zur Planung von Verbesserungen ableiten. Eine weitere Facette des Einsatzes von Künstlicher Intelligenz ergibt sich in der Produktentwicklung: Es ist vorstellbar, dass Routineaufgaben, die auf einer leicht formalisierbaren Konstruktionslogik beruhen, maschinell durch Einsatz von KI-Verfahren erledigt werden. Damit ließen sich Freiräume für kreative Prozesse schaffen.
- 4) Kreativität:** Diese führt zu neuen Lösungen und generiert noch nie dagewesene Ideen – das Potenzial für Innovationen. Zur Förderung von Kreativität werden neuartige Denk- und Arbeitsweisen benötigt. Daher finden Methoden wie beispielsweise Design Thinking Einzug in die Unternehmen. Diese und ähnliche Methoden kennzeichnen unter anderem eine unkonventionelle Herangehensweise, das Loslösen von bekannten Denkmustern, Arbeiten in und mit Gruppen und der Einsatz von Hilfsmitteln zur schnellen Umsetzung von einfachen Prototypen. Kreativität beruht auf der Verknüpfung von Wissen. Damit ermöglichen diese Ansätze, das Wissen von Individuen in einem kreativen Prozess weiterzuverarbeiten, mit dem Ziel Neues zu erschaffen.
- 5) Agilität:** Agilität zeichnet sich durch ein flexibles und proaktives Agieren aus, das notwendigen Veränderungen gerecht wird. Dieses Agieren ist angesichts kürzer werdender Innovationszyklen erforderlich, um mit neuartigen Lösungen schnell auf dem Markt zu sein. Agile Arbeitsweisen werden in verschiedenen Bereichen bereits heute eingesetzt. Weitverbreitet sind agile Ansätze aus dem Software Engineering – einer der bekanntesten darunter ist Scrum. Bekannte Ansätze orientieren sich an ähnlichen Prinzipien: Wechselspiel zwischen inkrementeller und iterativer Vorgehensweise, Timeboxing, Orientierung am Kundennutzen und intensive Einbindung der Kundinnen und Kunden, Eigenverantwortlichkeit und Selbstorganisation sowie veränderungsfreundliche Projektkultur.
- 6) Kommunikation und Kooperation:** Die Produktentstehung erfordert künftig eine sehr intensive Kommunikation und Kooperation von Fachleuten unterschiedlicher Disziplinen. Dabei werden die Beteiligten zunehmend geografisch verteilt operieren; die räumliche Verortung von Leistungserbringenden wird flexibel, traditionelle Arbeitssorte und -zeiten lösen sich auf.<sup>26</sup> Neuartige Interaktionstechnologien, basierend zum Beispiel auf Augmented Reality und Virtual Reality, können diese Zusammenarbeit weit über Telefon- und Videokonferenzen hinaus unterstützen. Beispiele sind virtuelle und global verteilte Konferenzräume und virtuelle Design Reviews in multidisziplinären Projektteams. In Ergänzung zur Interaktion der Beteiligten wird auch die Interaktion der Entwicklungsteams mit den Entwicklungsobjekten selbst eine wichtige Rolle spielen, um neue Wege für Funktionsnachweise und die Erprobung zu erschließen. Aber auch die nicht wertschöpfenden notwendigen Arbeiten werden von der zunehmenden Digitalisierung profitieren: Beispielsweise werden langwierige Abstimmungen von Terminen zwischen vielen Beteiligten durch intelligente Algorithmen ihren

---

<sup>26</sup> BUNDESMINISTERIUM FÜR ARBEIT UND SOZIALES (HRSG.): *Grünbuch Arbeit 4.0*, 2015. URL: <https://www.bmas.de/DE/Service/Publikationen/A872-gruenbuch-arbeiten-vier-null.html> [Stand: 27.05.2021].

Präferenzen entsprechend optimiert, internationale Meetings können mit Übersetzungsrobotern in Echtzeit unterstützt und Entwicklungsteams flexibel nach Kompetenzen und nicht primär nach Verfügbarkeit zusammengestellt werden. Insgesamt ergibt sich mit der voranschreitenden Digitalisierung eine Fülle neuer Möglichkeiten für Produktivitätssteigerungen. Dies betrifft im Zuge des Wandels von Wertschöpfungsketten hin zu Wertschöpfungsnetzwerken nicht nur die Kommunikation und Kooperation innerhalb eines Unternehmens, sondern auch die Zusammenarbeit über Unternehmensgrenzen hinweg. Hier stellt sich die Herausforderung, zu einer wirksamen Zusammenarbeit trotz unterschiedlicher Kulturen beziehungsweise Unternehmenskulturen (zum Beispiel etablierte Großunternehmen, KMU und Start-ups) zu kommen.

Diese Hebel beeinflussen die Art und Weise, wie die Marktleistung entsteht. Die Kreation der Systeme von morgen erfordert darüber hinaus, vielen **Entwicklungsaspekten** wie Funktionalität, Verhalten, Resilienz, Security, Sustainability, Usability, Herstellbarkeit, Wartbarkeit etc. gerecht zu werden. Alle Aspekte sind über die Hauptaufgaben der Marktleistungsentstehung – Strategische Produktplanung, Produktentwicklung, Dienstleistungsentwicklung und Produktionssystementwicklung – ins Kalkül zu ziehen und **zu integrieren. Systems Engineering hat das Potenzial, Disziplinen, Entwicklungsaufgaben und vielfältige Aspekte zu integrieren und die Beteiligten in der Entwicklung komplexer Systeme zu orchestrieren.** Es versteht sich als durchgängige, fachdisziplin-übergreifende Disziplin zur Entwicklung multidisziplinärer Systeme. Systems Engineering hat seinen Ursprung in der Systemtheorie und hat sich stetig weiterentwickelt. Auslöser war stets ein Komplexitätszuwachs in der Problemstellung. **Systems Engineering bildet eine fundierte Ausgangsplattform für eine zwingend erforderliche ganzheitliche Produktentstehungsmethodik.**

## 4 Thesen für eine erfolgreiche Kreation der Marktleistungen

Die folgenden Thesen charakterisieren ein neues Selbstverständnis für die Gestaltung der Marktleistungsentstehung von morgen. Sie beschreiben einen anzustrebenden Soll-Zustand, der eine Weiterentwicklung der bestehenden Disziplin Systems Engineering darstellt. Hierfür verwenden wir den Begriff **Advanced Systems Engineering (ASE)**, der diese Perspektive zusammenfasst.

### **These 1: Industrie 4.0 beruht auf Produkt- und Dienstleistungsinnovationen.**

Die Vierte Industrielle Revolution fokussiert vielfach die Veränderungen in der Produktion. Der Erhalt und die Weiterentwicklung des Produktionsstandorts Deutschland beruht allerdings stark auf Produkt- und Dienstleistungsinnovationen. Defizite in diesen Bereichen gefährden zunächst den Entwicklungsstandort und damit auch den Produktionsstandort Deutschland. Angesichts der Rahmenbedingungen des globalen Wettbewerbs ist eine Spitzenstellung der Innovationskraft Voraussetzung zur Sicherung des Wirtschaftsstandorts Deutschland.

### **These 2: Die Digitalisierung eröffnet neue Möglichkeiten für die Gestaltung der Entwicklungsarbeit.**

Die Digitalisierung beeinflusst die Art und Weise des Handels und bietet vielfältige Möglichkeiten, Prozesse, Methoden, Organisationsstrukturen und die Form der Zusammenarbeit neu zu gestalten. Beispielsweise können mithilfe neuer Technologien (wie Augmented-Reality-Brillen im Design Review oder Künstlicher Intelligenz zur Datenanalyse) Entscheidungen über das Geschehen im Entwicklungsprojekt aufgrund besserer Datentransparenz, -aktualität und -qualität fundierter getroffen werden. Auf der Metaebene wird die Interaktion mit den Stakeholdern unterstützt und das in Entstehung befindliche System für die Benutzerinnen und Benutzer erlebbar gemacht.

### **These 3: Digitale Technologien verbessern die Verbindung zwischen Kundenbeziehungsweise Anwendungs- und Entwicklungsseite.**

Entwicklungsteams starten auf Basis von Anforderungen mit der Herausforderung, diese zu verstehen und den eigentlichen Kundenwunsch zu erkennen und zu realisieren. Denn häufig wissen die Kundinnen und Kunden nicht, was sie benötigen, beziehungsweise können es nicht präzise ausdrücken. Daher sind bessere Kommunikationswege und -techniken zwischen Kunden- und Entwicklerseite erforderlich, sodass der Kundennutzen besser erfasst und nachvollzogen werden kann. Durch die Vernetzung der Systeme ergeben sich neue Informationsquellen (zum Beispiel im Betrieb) für die Entwicklungsteams, die für die Verbesserung der Systemkonzipierung und -auslegung genutzt werden können. Das gilt auch für ein erweitertes Verständnis des Entwicklungsauftrags (vgl. Abschnitt 3, Strategische Produktplanung). Durch die steigende Systemkomplexität kommt erschwerend hinzu, dass die Funktionalität sowohl für die Kunden- als auch für die Entwicklerseite nicht im vollen Umfang erfasst werden kann. Daher ist eine frühzeitige Erlebbarkeit von Systemen zu ermöglichen, sodass Kundinnen und Kunden ebenso wie Entwicklerinnen und Entwickler die Funktionalität nachvollziehen und anpassen können.

**These 4: Einzelne Branchen und Entwicklungs-Communities verwenden eigene SE-Entwicklungsrahmen, die projektspezifisch ausgeprägt werden.**

Prozesse bilden Leitlinien für eine strukturierte, erfolgreiche Entwicklung. Die etablierten Unternehmensprozesse sind jedoch meist nicht für die disziplin- und unternehmensübergreifende Zusammenarbeit ausgelegt. Die entsprechenden Schnittstellen sind oft nicht klar. Ausgangspunkt für eine erfolgreiche Zusammenarbeit ist ein generischer, ausprägbarer Entwicklungsrahmen. Er besteht aus einem festen Kern an Prozessen, Werkzeugen und Methoden, der nach Maßgabe von relevanten Spezifika ausgeprägt werden kann und Methoden- und Werkzeugbrüche vermeidet. Für ein konkretes Projekt wird dieser Rahmen dann so konfiguriert, dass die im vorliegenden Fall relevanten Entwicklungsaspekte und entsprechenden Methoden (zum Beispiel Security by Design, Resilience by Design und Cost by Design) unterstützt werden.

**These 5: Daten- und modellbasiertes Arbeiten bildet in allen Bereichen der Marktleistungsentstehung die Grundlage.**

Alle relevanten Informationen liegen von Anfang an als maschinenlesbare Daten vor und werden nicht-redundant weiterverwendet. Dies geschieht in Form von Modellen, die sich über alle Hauptaufgaben der Marktleistungsentstehung erstrecken: Strategische Produktplanung, Produktentwicklung, Dienstleistungsentwicklung und Produktionssystementwicklung. Model-Based Systems Engineering bildet die Basis für die Abbildung der benötigten Informationen. Dabei sind die Modelle so gestaltet, dass daraus Informationen einfach für spezifische Problemlösungsprozesse abgeleitet werden. Die Zusammenarbeit über Unternehmensgrenzen hinweg erfolgt ebenfalls modellbasiert. Daten und Modelle können einfach ausgetauscht und weiterverarbeitet werden. Die benötigten Austauschformate sind industriegetrieben definiert und standardisiert.

**These 6: Die Absicherung der Marktleistung erfolgt auf Basis von Modellen.**

Die Absicherung der Marktleistung setzt sich aus Tätigkeiten im Entstehungsprozess zusammen – der Verifikation und Validierung sowie der Sicherstellung der Funktionsweise über den gesamten Lebenszyklus. Die Basis für die Absicherung sind Modelle im Entstehungsprozess. Virtuelle Prototypen sind dabei systematisch geplant und werden automatisch aus bestehenden Modellinhalten abgeleitet.

Die Veränderung der Marktleistung hin zur Lernfähigkeit und autonomen Verhalten setzt die lebenslange Absicherung der Systeme voraus. Dies geschieht unter anderem mithilfe des Digitalen Zwillings. Die modellbasierte Absicherung ist eine Voraussetzung zur Freigabe/Zulassung der Marktleistung. Im Fehlerfall werden Modelle zur Analyse und Klärung der Haftungsfrage herangezogen.

**These 7: PDM<sup>27</sup>/PLM<sup>28</sup>/ALM<sup>29</sup> und MBSE<sup>30</sup> beruhen auf einem integrativen Gesamtkonzept.**

Die Kreation der erfolgreichen Systeme von morgen setzt Spitzenleistungen im Datenmanagement in der Produktentstehung und den folgenden Phasen des Systemlebenszyklus voraus, das stark durch MBSE getrieben wird. Die entsprechenden Aktivitäten bedingen und unterstützen sich gegenseitig. Daher sind die Methoden, Werkzeuge und Daten dieser Bereiche von Anfang an durch geeignete Daten- und Modellstrukturen zu integrieren.

**These 8: Lösungswissen ist für die Marktleistungsentstehung von entscheidender Bedeutung.**

In der Regel handelt es sich um implizites Wissen, das in geeigneter Form als „Rohstoff“ der Produktentstehung zu externalisieren ist. Hierfür bieten sich sogenannte Lösungsmuster an, die ein wiederkehrendes Problem und den Kern der dazugehörigen Lösung in möglichst generalisierter Form beschreiben. Es werden Objekt- und Prozessmuster unterschieden. Objektmuster beschreiben Problemlösungen, die sich anhand von Objekten manifestieren. Ein Prozessmuster ist eine prozedurale Wissensrepräsentation – es enthält eine Menge von Anweisungen, die zu einem bestimmten Ziel führen. Insbesondere die (Teil-)Modelle aus dem MBSE bieten sich sowohl als Wissensquelle als auch als geeignete Spezifikationsform an, Lösungsmusterbibliotheken in Unternehmen personenungebunden nachhaltig aufzubauen.

**These 9: Im Entstehungsprozess der Marktleistung sind agile Arbeitsweisen etabliert.**

Die Prinzipien der agilen Arbeitsweise sind Teil der Unternehmenskultur geworden. Dabei wird nicht die akribische Einhaltung der Prinzipien angestrebt, vielmehr sind die Bedürfnisse der Marktleistungsentstehung erkannt und mit den Prinzipien in Einklang gebracht. Dabei bieten digitale Technologien und Medien die notwendige Unterstützung zum Beispiel in der Einbeziehung der Kunden (vgl. These 3) oder der Durchführung von Änderungen. Die daten-/modellzentrierte Arbeitsweise (These 5) ermöglicht dabei die Nachverfolgung von Auswirkungen bei benötigten Änderungen.

**These 10: Der Nutzen von Systems Engineering ist bewertbar.**

Systems Engineering bringt Nutzen – direkt zu quantifizierenden Nutzen wie Verkürzung der Entwicklungszeit oder Senkung der Testkosten sowie nur indirekt zu quantifizierenden Nutzen wie ein früherer Markteintritt oder ein Imagegewinn durch zuverlässige Systeme. Systems Engineering verursacht aber auch Kosten: Initialkosten und laufende Kosten. Systems Engineering wird sich nur dann durchsetzen, wenn die Unternehmensleitungen einen Nachweis der Wirtschaftlichkeit erhalten. Um diesen zu führen, ist ein entsprechendes Verfahren zu entwickeln, das mit relativ geringem Aufwand auf Unternehmensspezifika angepasst werden kann.

---

<sup>27</sup> PDM: Produktdatenmanagement

<sup>28</sup> PLM: Product Lifecycle Management

<sup>29</sup> ALM: Application Lifecycle Management

<sup>30</sup> MBSE: Model-Based Systems Engineering

**These 11: Systems Engineering ergänzt etablierte fachdisziplinspezifische Methodiken.**

Systems Engineering hat den Anspruch, bei allen Beteiligten von Beginn an ein gemeinsames Systemverständnis zu erzeugen und darauf aufbauend das folgende methodische Vorgehen in den Fachgebieten Mechanik-, Elektronik- und Softwareentwicklung sowie gegebenenfalls in weiteren Fachdisziplinen zu orchestrieren. Durch die Verzahnung des Systems Engineerings mit den bisher etablierten fachdisziplinspezifischen Methodiken wird eine weitere Voraussetzung für den Erfolg von ASE geschaffen.

**These 12: Die Geschäftsmodellentwicklung geht Hand in Hand mit der Konzipierung des Produkts, des Dienstleistungsangebots und des Produktionssystems.**

Der Erfolg eines Produkts wird am Markt entschieden. Dabei ist das zugrunde liegende Geschäftsmodell ausschlaggebend. Geschäftsmodellsystematiken erlauben die diskursive Entwicklung von Geschäftsmodellen, was insbesondere den Vorteil bietet, den Lösungsraum für innovative Geschäftsmodelle auszuschöpfen und auch Geschäftsmodellalternativen zu finden. In diesem Kontext bieten sich Geschäftsmodellmuster an, die bewährte Lösungen für Teile eines Geschäftsmodells darstellen und somit die Geschäftsmodellentwicklung wesentlich beschleunigen können. Geschäftsmodell auf der einen Seite und Produktkonzept sowie gegebenenfalls auch das Dienstleistungs- und das Produktionssystemkonzept auf der anderen Seite determinieren sich gegenseitig. Daher kann die Geschäftsmodellentwicklung nicht losgelöst von der Produktentwicklung sowie gegebenenfalls von der Dienstleistungs- und Produktionssystementwicklung vorangetrieben werden – und vice versa.

**These 13: Die Strategische Produktplanung und die Marktleistungsentwicklung bilden ein Aufgabenkontinuum.**

Die Strategische Produktplanung stellt frühzeitig die Weichen für den Innovationserfolg; sie legt fest, „was“ entwickelt werden soll, wohingegen die folgenden Hauptaufgabenbereiche in erster Linie für das „Wie“ verantwortlich zeichnen. Die Strategische Produktplanung liefert eine Fülle an Informationen, die über den klassischen Entwicklungsauftrag hinausgehen und für die folgenden Bereiche der Produktentstehung essenziell sind. Beispielsweise ist eine Vorausschau von Marktentwicklungen, Technologien und Geschäftsumfeldern eine Voraussetzung für eine stetig zu aktualisierende Release-Planung und für eine erfolgreiche Produktgenerationenentwicklung. Andererseits benötigt die Strategische Produktplanung Informationen über das Produkt-, Dienstleistungs- und Produktionssystemkonzept, um im Rahmen der Geschäftsplanung die Geschäftsstrategie, das Geschäftsmodell, die Produktstrategie und den Geschäftsplan zu präzisieren. Diese wechselseitigen Beziehungen erfordern eine enge Verzahnung der Strategischen Produktplanung auf der einen Seite und der Produkt-, der Dienstleistungs- und der Produktionssystementwicklung auf der anderen Seite.

**These 14: Die SE-Kompetenzentwicklung ist zentraler Bestandteil in der Aus- und Weiterbildung.**

Die in Deutschland erfolgreiche fachgebietsorientierte Ausbildung ist um fachgebietsübergreifende Ausbildungszweige zu ergänzen. An den Hochschulen sind hierfür die Voraussetzungen zu schaffen, damit diese Basisaufgabe einer zeitgemäßen Lehre nicht weiter in die Praxis ausgelagert wird. Dabei kommt es ganz besonders darauf an, den

an der Entwicklung eines komplexen, multidisziplinären Systems beteiligten Fachleuten unterschiedlicher Disziplinen neue Ausdrucksmittel zur fachgebietsübergreifenden Kommunikation und Kooperation an die Hand zu geben. Ferner sind Zertifizierungslehrgänge für die berufliche Weiterbildung, wie zum Beispiel SE-ZERT®, kontinuierlich weiterzuentwickeln und zu verbreiten.

### **These 15: Systems Engineering überwindet Kulturgrenzen.**

Die Entwicklung soziotechnischer Systeme stößt in der Regel an die Grenzen der fachspezifischen Problemlösungskulturen, aber auch spezifischer Unternehmenskulturen. Letzteres wird typisch für die Wertschöpfungsnetzwerke von morgen sein, in denen etablierte Großunternehmen, KMU und Start-ups nach Maßgabe neuer Arbeitsweisen in kurzer Zeit zu Innovationen kommen. Die entsprechenden Kulturgrenzen werden durch Advanced Systems Engineering überwunden.

## 5 Handlungsfelder für die Marktleistungsentstehung von morgen

Die folgenden zehn Handlungsfelder resultieren aus der vorgenommenen Problemanalyse und verdeutlichen den Forschungs- und Transferbedarf auf dem Weg zur Zielprojektion Advanced Systems Engineering.

### A) Innovative Formen der Kooperation – Kollektive Kreativität und Agilität fördern.

Die Marktleistungsentstehung von morgen erfordert innovative Formen der Kommunikation und Kooperation der involvierten Fachleute über Abteilungs- und Unternehmensgrenzen hinweg.

Gewachsene Organisationen sind häufig zu schwerfällig, um den dynamischen Marktbedingungen zu begegnen. Wandel erfordert Veränderungsbereitschaft und Flexibilität auf allen Ebenen. Diese Merkmale müssen sich in der Unternehmenskultur und somit in den Denk und Handlungsmustern der einzelnen Beteiligten wiederfinden. Es gilt, Agilität und Kreativität durch neue Herangehensweisen und digitale Technologien zu unterstützen, sodass sie als Katalysator für Marktleistungsinnovationen dienen. Auf dem Weg dahin sind auch zahlreiche Stolpersteine zu identifizieren und zu beseitigen – beispielsweise fehlende Ausdrucksmittel in Kombination mit einer gewissen Unbeholfenheit in der fachgebietsübergreifenden Kommunikation, was auch eine Frage der Sozialkompetenz der Beteiligten ist. Des Weiteren ist immer wieder festzustellen, dass der ausreichend belegte Erkenntnis der Überlegenheit der Kreativität eines Kollektivs gegenüber individueller Kreativität nicht konsequent Rechnung getragen wird.

Vor diesem Hintergrund ergeben sich folgende Forschungsfragen:

- Was zeichnet eine wandlungsfähige Unternehmenskultur aus und wie kann der Transformationsprozess von der vorherrschenden zu einer innovationsdienlichen Unternehmenskultur gestaltet werden?
- Wie kann agile und kreative Kooperation in Unternehmen und in Allianzen gestaltet werden?
- Gibt es Muster zur Überwindung von im Prinzip häufig auftretenden Problemen im Kontext der adressierten Transformation?
- Welche Auswirkungen haben neue Formen der Kommunikation und Kooperation auf die Aufbau- und die Ablauforganisation?

### B) Künstliche Intelligenz im Engineering – Mit Assistenzsystemen zu besseren Ergebnissen kommen.

Künstliche Intelligenz (KI) eröffnet in der Marktleistungsentstehung neue Perspektiven.

Die Bandbreite der Möglichkeiten reicht von der Prognose der Entwicklung von Märkten, Technologien und Geschäftsumfeldern über das Erkennen neuer Muster in der Anwendung eingeführter Erzeugnisse bis hin zur Unterstützung der eigentlichen Entwicklungsarbeit durch Assistenzsysteme. Im Bereich der Assistenzsysteme ergeben sich sehr konkrete Ansatzpunkte: Eine in naher Zukunft Erfolg versprechende Anwendung bildet die Varianten- und Anpassungskonstruktion, die formalisierbare Konstruktionslogiken aufweist. Aber auch in der KI-Domäne Problemlösung bieten sich gute Ansatzpunkte; hier geht es um die Beantwortung der Frage, wie die kreative Leistung von Entwicklerinnen und Entwicklern durch KI wesentlich gestärkt werden kann. Vor dem Hintergrund dieser mannigfaltigen Möglichkeiten drängt sich zunächst auf, die Einsatzfelder von KI in Erwartung der bevorstehenden Entwicklung systematisch zu erfassen und ihnen KI-Lösungsmuster zuzuordnen. Des Weiteren rückt auch die Notwendigkeit in den

Vordergrund, kleinere und mittlere Unternehmen, die insbesondere für den Maschinenbau typisch sind, von Anfang an in die KI-getriebene, dynamische Entwicklung einzubeziehen und sie daran teilhaben zu lassen.

In dieser Situation ergeben sich folgende Forschungsfragen:

- Welche KI-Anwendungen sind besonders Erfolg versprechend (Bewertungsdimensionen: Hebelwirkung auf den Innovationserfolg, Realisierungsaufwand, Fristigkeit)?
- Welche neuen Aufgaben können Planerinnen und Entwickler mit der Unterstützung von KI lösen (Stichwort: Augmentation)?
- Welchen Einfluss wird KI auf das Innovationsgeschehen (unternehmensübergreifende Zusammenarbeit, Unternehmenskultur), die Gestaltung der Entwicklungsarbeit (Aufbau- und Ablauforganisation, Projektmanagement) sowie auf die Aus- und Weiterbildung haben?
- Wie lassen sich mit KI-Unterstützung entwickelte Artefakte verifizieren und wie kann insbesondere der Funktionsnachweis erbracht werden?
- Entstehen durch KI neue Einfallstore für Produktpiraterie und Sabotage und wie kann dem präventiv begegnet werden?
- Wie ist die Zusammenarbeit von Entwicklungsteams mit Systemen Künstlicher Intelligenz zu gestalten?

### **C) Verifikation und Validierung – Komplexe Systeme intelligent und kontinuierlich absichern.**

Die Marktleistungen von morgen werden kontinuierlich integriert und müssen auch kontinuierlich abgesichert werden. Grundlage bilden intelligente Umgebungen zur Verifikation und Validierung.

Eigenschaftsabsicherung stellt sicher, dass die tatsächlichen Systemeigenschaften mit den geforderten Eigenschaften übereinstimmen und das System in allen Betriebssituationen in der Zielumgebung verlässlich funktioniert. Intelligente, selbstlernende Systeme stellen in dieser Hinsicht eine Herausforderung dar, da nicht alle Situationen zur Entwicklungszeit vollständig antizipiert werden können. Die kontinuierliche Integration der Systeme erhöht zusätzlich die Komplexität und schafft die Notwendigkeit der Absicherung auch über den Entstehungsprozess hinweg – in Form einer kontinuierlichen Absicherung.

Die Entwicklung intelligenter technischer Systeme (ITS) erfolgt derzeit und vermehrt in der Zukunft in einem Netzwerk aus Anbietern. Damit verbunden sind eine Neugestaltung der Freigabe- und Zulassungsprozesse sowie die Regelung von Nachweis- und Dokumentationspflichten. Neuen Validierungsumgebungen durch den Einsatz von Modellen und virtuellen Räumen wird eine neue Bedeutung zukommen.

Vor diesem Hintergrund ergeben sich folgende Forschungsfragen:

- Mit welchen modellbasierten oder datengetriebenen Methoden werden Eigenschaften komplexer ITS validiert und verifiziert?
- Wie können virtuelle Umgebungen zur rationellen Exploration durch Experimente insbesondere das Verhalten und die Mechanismen in intelligenten Systemen sichtbar und verständlich machen?
- Wie können virtuelle Umgebungen zur Optimierung, zum Training und zur Validierung der Systeme eingesetzt werden?
- Wie werden die Produkt-, Feld- und Simulationsdaten von komplexen Systemen zur Generierung und Optimierung von Testfällen und Testszenarien in einer intelligenten Validierungsumgebung genutzt (KI-basiertes Testen)?

- Wie unterstützen modellbasierte Methoden, Verfahren und Techniken unternehmensübergreifende Zulassungs- und Freigabeprozesse und welche neuen Formen des Standards zur Dokumentation sind dafür notwendig?
- Welche Standards gelten für Modelle zur Verifikation und Validierung, welchen Qualitätskriterien unterliegen sie und wie werden die Modelle zwischen den an der Entwicklung Beteiligten Partnerinnen und Partnern ausgetauscht?
- Wie arbeiten Unternehmen zukünftig zusammen, um vernetzte, autonome Systeme ganzheitlich zu testen?

#### **D) Einsatz von Lösungsmustern – Kreativität mit externalisiertem Lösungswissen befeuern.**

Lösungsmuster werden das unternehmensweite Wissensmanagement revolutionieren.

Die Bedeutung von Wissen für die Entstehung neuer Marktleistungen nimmt stetig zu. Nicht zuletzt vor dem Hintergrund des demografischen Wandels stellt sich die Frage, wie Wissen organisationsweit verfügbar gemacht werden kann. In der Regel handelt es sich um implizites Wissen, das entweder personengebunden – und somit nur stillschweigend verfügbar – oder unerkannt in Wissensquellen (Entwicklungsdokumente und -modelle, Produktkataloge, Internet etc.) beziehungsweise in deren Vernetzung vorliegt. Für eine effiziente Entstehung innovativer Marktleistungen bedarf es einer geeigneten Einbindung von implizit vorliegendem Lösungs- und Erfahrungswissen in den Entstehungsprozess – und dies in Form von Lösungsmustern.

Lösungsmuster helfen den Menschen bei der Bewältigung von Problemstellungen. Sie geben Impulse, die eigenen Denkmuster zu überwinden sowie mit dem Wissen des Kollektivs (zum Beispiel eines Unternehmens) zu reflektieren und zu erweitern. In diesem Zusammenhang ist zu klären, wie Menschen überhaupt mit Lösungsmustern umgehen – und zwar im Spannungsfeld zwischen eigener Kreativität, der Vorgabe von Richtlinien und Standards und dem Wissen des Kollektivs. Des Weiteren rückt die Notwendigkeit in den Vordergrund, den Prozess von der Identifikation bis hin zur Bereitstellung des Wissens in Form von Lösungsmustern mithilfe digitaler Lösungen, zum Beispiel semantischer Beschreibungen, weitestgehend zu automatisieren. Ferner gilt es, die Aktualität von Lösungsmustern insbesondere vor dem Hintergrund des rasanten technologischen Wandels fortlaufend sicherzustellen.

In dieser Situation ergeben sich folgende Forschungsfragen:

- Welche Rolle spielt der Mensch bei der Definition und der Anwendung von Lösungsmustern? Welche Auswirkung haben Lösungsmuster auf die Kreativität und ist diese Auswirkung messbar?
- Welche Lösungsmuster entlang der Marktleistungsentstehung gibt es und wie lassen sich diese strukturiert darstellen – in der Marktleistung an sich als auch im Prozess? Wie ist die Vernetzung zwischen den Mustern?
- In welcher Form grenzt die Auswahl eines Lösungsmusters den Lösungsraum im nachgelagerten Entstehungsschritt ein?
- Was sind die Wissensquellen? Daten, Informationen, bestehende Artefakte (zum Beispiel Produktspezifikationen, Modelle etc.)? Lassen sich Muster automatisiert identifizieren?
- Wie lassen sich Lösungsmuster automatisiert identifizieren und aus unterschiedlichsten bestehenden Artefakten (zum Beispiel Produktspezifikationen, Modellen etc.) ableiten?
- Wie arbeitet der Mensch mit Lösungsmustern im Spannungsfeld zwischen persönlicher Kreativität, dem Wissen des Kollektivs und vorgegebenen Richtlinien und Standards?

## **E) Standardisierung von Modellen und Austauschformaten – Voraussetzungen für unternehmensübergreifendes Arbeiten und Interoperabilität schaffen.**

Durch den modellbasierten Ansatz ergeben sich innerhalb eines Unternehmens sowie branchenbezogen erhebliche Potenziale zur Nutzung von Synergien.

Ein Single Source of Truth, standardisierte Modelle sowie (intelligente) Austauschformate ebnen den Weg zu einer effizienteren Gestaltung der Marktleistungsentstehung. Für Unternehmen ergeben sich jedoch durch die Tatsache, dass Daten und Informationen in unzähliger Form redundant vorliegen, erhebliche Herausforderungen in der täglichen Entwicklungsarbeit. Ressourcen werden verschwendet, da etwa sich ändernde Anforderungen nicht präzise an die notwendigen Stellen kommuniziert werden. Die Idee des modellbasierten Arbeitens sieht grundsätzlich das Ablegen spezifischer Informationen an nur einem Ort vor, scheitert jedoch an mangelnder Durchgängigkeit zwischen verschiedenen Softwareumgebungen wie auch zwischen Modellen. Um diese Durchgängigkeit zu ermöglichen und die Umsetzung sicherzustellen, bedarf es neuer Arbeitsmethoden und Modelle.

Folgende Forschungsfragen gilt es dahingehend zu beantworten:

- Wo liegen Entwicklungspotenziale in Bezug auf standardisierte Modelle?
- Wie werden Inkompatibilitäten zwischen Modellen verhindert und wie muss die Verknüpfung von Modellen aussehen, um Änderungen modellübergreifend nachverfolgen zu können?
- Wie werden neuartige Modelle und Austauschformate in bestehende Entwicklungsumgebungen sowie -prozesse integriert?
- Welche technischen und methodischen Voraussetzungen müssen geschaffen werden, um effizient und effektiv unternehmensübergreifend an einem Modell zu arbeiten?
- Was geschieht mit den Modellen nach Beendigung der Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und wie wird der Schutz der Daten/des geistigen Eigentums sichergestellt?
- Wie können Modelle automatisiert disziplinspezifisch aufbereitet und dargestellt werden?
- Wie können die nicht-synchronen Zyklen von Standardisierungsprozessen sowie die Anwendung der Standards beherrscht werden?
- Wie verändern intelligente Standards die Arbeit des Menschen?
- Wie werden domänenspezifische Modelle mit unterschiedlicher Modellierungstiefe automatisch gekoppelt, um das Systemverhalten zu analysieren und zu validieren (Stichwort: Virtuelle, Reale und Hybride Testbeds)?

## **F) Entwicklungsumgebungen – Die Entwicklungsarbeitsplätze von morgen gestalten.**

Der Entwicklungsarbeitsplatz von morgen denkt mit und passt sich der Entwicklerin oder dem Entwickler an.

Die Entwicklerinnen und Entwickler von morgen agieren in einem Spannungsfeld aus verteilten Entwicklungsstandorten, schnellen Markt- und Anforderungsänderungen und interdisziplinärer Kollaboration. Zu dessen Bewältigung können die Beteiligten auf intelligente Assistenzsysteme, innovative Arbeitsmethoden und -strukturen sowie neuartige Interaktionsgeräte zurückgreifen. Der Entwicklungsarbeitsplatz von morgen ist ein lernendes System.

Intelligente Assistenzsysteme sind auf den Menschen abzustimmen und nahtlos in den Entwicklungsarbeitsplatz zu integrieren. Die Mensch-Technik-Interaktion am

Arbeitsplatz erfolgt intuitiv und personenbezogen mit neuartigen Technologien wie Augmented Reality. Die Arbeitsumgebung muss der verstärkten interdisziplinären Kollaboration und agilen Arbeitsweisen gerecht werden. Die Arbeitsplätze müssen sich individuell auf die Entwicklerinnen und Entwickler anpassen können. Insbesondere bei häufig wechselnden Arbeitsorten oder -aufgaben müssen den Handlungspersonen bedarfsgerecht die richtigen Informationen zur Verfügung gestellt werden. Darüber hinaus können individuelle Arbeitsweisen und Stimmungen der Entwicklerin beziehungsweise des Entwicklers erkannt und entsprechend darauf reagiert werden.

Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung derart visionärer Arbeitsplätze ist die Akzeptanz bei den beteiligten Entwicklerinnen und Entwicklern. Hierzu bedarf es einer höchst sensiblen innerbetrieblichen Abstimmung beziehungsweise eines Dialogs, um Sorgen und Ängsten, wie beispielsweise die eines überwachten Arbeitsplatzes, proaktiv zu begegnen. In diesem Zusammenhang gilt es ferner zu beleuchten, wie ein derart fundamentaler Wandel der Arbeitsplätze die Unternehmenskultur beeinflusst.

In dieser Situation ergeben sich folgende Forschungsfragen:

- Wie kann ein Gesamtkonzept für den Entwicklungsarbeitsplatz von morgen aussehen?
- Wie lässt sich der Entwicklungsarbeitsplatz von morgen proaktiv im innerbetrieblichen Dialog gemeinsam gestalten und umsetzen? Welche Rolle spielt die Frage nach der Akzeptanz?
- Wie können intelligente Assistenzsysteme im Sinne der Mensch-Technik-Interaktion nahtlos in den Arbeitsplatz integriert werden?
- Können sich die Assistenzsysteme an die natürlichen Gegebenheiten und individuellen Arbeitsweisen (strukturiert versus „chaotisch“) anpassen?
- Wie kann sich die Arbeitsumgebung individuell auf die Entwicklerin beziehungsweise den Entwickler einstellen (Emotionen, Arbeitsweisen, Nutzungsverhalten, bedarfsgerechte Informationen etc.)?
- Wie wirken sich intelligente Entwicklungsarbeitsplätze auf die Unternehmenskultur aus und umgekehrt?

### **G) Geografisch verteiltes Arbeiten – Die Entwicklungsarbeit zu den Menschen bringen.**

Spitzenleistungen können auf Dauer nur dann erbracht werden, wenn berufliches und privates Umfeld attraktiv sind und im Einklang stehen.

Heute verzeichnen wir die Entwicklung, dass sich das Innovationsgeschehen auf die Wirtschaftsmetropolen konzentriert und die Fachkräfte gezwungen sind, in den Metropolen zu leben beziehungsweise lange beschwerliche Fahrten vom Wohn- zum Arbeitsort in Kauf nehmen müssen. Das ist mit erheblichen Einbußen an Lebensqualität und auch Lebensstandard verbunden. Um diese Situation zu überwinden und auch weitere Fachkräftepotenziale auszuschöpfen, sind neue Wege des geografisch verteilten Arbeitens zu erschließen. Die Technik dafür ist reif; es geht primär um die organisatorische Gestaltung der Entwicklungsarbeit und die Überwindung noch vorhandener beziehungsweise vermeintlicher Barrieren.

Angesichts der skizzierten Problemsituation ergeben sich zunächst folgende Forschungsfragen:

- Existiert heute im ländlichen Raum tatsächlich ein noch ungenutztes Fachkräftepotenzial für Systems Engineering? Wie könnte sich dieses Potenzial in Zukunft entwickeln?

- Welche der teils schon seit längerem diskutierten Formen der Telearbeit, die auch Mischformen von Präsenz und Home Office umfassen, eignen sich besonders für Systems Engineering?
- Welche IKT-Infrastruktur und welche spezifischen Dienste sind für geografisch verteiltes Systems Engineering erforderlich?
- Wie müssen Aus- und Weiterbildung, Ablauforganisation und Projektmanagement gestaltet werden, um Innovationskraft und Arbeitszufriedenheit zu fördern?
- Welche Auswirkungen hat geografisch verteiltes Arbeiten auf die Unternehmenskultur sowie auf Loyalität und Fluktuation der Fachkräfte? Welche Personalentwicklungsprogramme könnten sich als besonders förderlich erweisen?

#### **H) Aus- und Weiterbildung – Studierende sowie Praktikerinnen und Praktiker mit neuen Formaten fit machen.**

Advanced Systems Engineering setzt interdisziplinär denkende Fachkräfte voraus.

Die Curricula an den Hochschulen müssen stärker auf die Bedarfe der Unternehmen ausgerichtet werden. Dem steht die bisherige starke Orientierung der Fakultäten an klassischen Disziplinen im Wege. Fakt ist, dass die zu entwickelnden Systeme hochgradig multidisziplinär sind. Daran können neue Bildungsformate ansetzen, die sich durch Interdisziplinarität und Praxisbezug auszeichnen. Projektseminare haben sich hier bewährt. Dabei wird über einen definierten Zeitraum (eine bis mehrere Wochen) eine reale Aufgabenstellung eines Unternehmens durch ein Team bestehend aus Studierenden, wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Hochschule und gegebenenfalls Angestellten des Unternehmens bearbeitet. Diese Formate müssten aber nicht nur intensiviert werden, sondern es muss auch sichergestellt werden, dass Studierende verschiedener Fachdisziplinen zusammenkommen.

Etliche Fragestellungen wären in diesem Handlungsfeld noch zu beantworten:

- Welche Studien- und Lehrformate unterstützen das interdisziplinäre Arbeiten?
- Wie kann eine anwendungsorientierte Gestaltung der Lerninhalte sichergestellt werden?
- Welche Anreize können an Hochschulen und Fakultäten geschaffen werden, innovative Lernformate zu entwickeln und zu erproben?
- Wie wird eine fakultätsübergreifende Anerkennung und Qualitätssicherung der Studieninhalte sichergestellt?
- Wie können sich Studierende, Praktikerinnen und Praktiker austauschen, um voneinander zu lernen?
- Welche Anreize sind nötig, um die Weiterbildung an Hochschulen stärker zu fördern?

#### **I) Qualifizierung 50 plus – Erfahrenen Entwicklungsingenieurinnen und -ingenieuren neue Entfaltungsperspektiven eröffnen.**

Die Entwicklung komplexer technischer Erzeugnisse beruht auf langjähriger Erfahrung.

Vor dem Hintergrund des demografischen Wandels spielen berufserfahrene Entwicklerinnen und Entwickler eine entscheidende Rolle. Hierzu ist es aber notwendig, dass diese kontinuierlich im Rahmen der Personalentwicklung auch mit den neuesten Methoden des Advanced Systems Engineering in Berührung kommen. Dabei setzen viele dieser neuen Methoden auch eine Abkehr von bisherigen Denkmustern voraus. Dieser Prozess muss mit geeigneten Formaten unterstützt werden, die bislang nur in Einzelfällen erprobt werden. Die Unternehmen werden von der erfolgreichen Kombination aus

Erfahrung und Methodenwissen genauso profitieren können wie die einzelne Arbeitnehmerin und der einzelne Arbeitnehmer.

Folgende Forschungsfragen müssen hierzu bearbeitet werden:

- Welche Anreizsysteme können für ältere Entwicklungsingenieurinnen und -ingenieure geschaffen werden?
- Welche Formate sind besonders erfolgsversprechend?
- Wie können Unternehmen von der Erfahrung älterer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter gezielt profitieren?
- Welche Aufgaben- und Tätigkeitsprofile ergeben sich für berufserfahrene Ingenieurinnen und Ingenieure?
- Wie kann die Forschung an der Erfahrung älterer Ingenieurinnen und Ingenieure partizipieren? Sind gemeinsame Forschungsformate bereits ausreichend vorhanden?

#### **J) Partizipation der Stakeholder – Auf der Metaebene Transparenz schaffen und Systeme erlebbar machen.**

Ein Projekt ist erst dann erfolgreich, wenn es die Akzeptanz der wesentlichen Anspruchsgruppen (Stakeholder) findet.

Insbesondere komplexe visionäre Projekte stoßen häufig auf Widerstände seitens der 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 wird. In der Folge wird ein Projekt als zu bekämpfende Bedrohung und nicht als eine wünschenswerte, erreichbare Situation in der Zukunft empfunden. Advanced Systems Engineering bietet im Kontext der Digitalisierung gute Ansätze zur Etablierung einer wirksamen, effizienten Kommunikation und Interaktion mit den Stakeholdern eines Projekts auf einer Metaebene in Ergänzung zur projektinternen Kommunikation.

Vor diesem Hintergrund ergeben sich folgende Forschungsfragen:

- Welche Rolle spielen die verschiedenen Stakeholder für den Projekterfolg? Lassen sich diese Rollen mithilfe von Analyseverfahren wie Stakeholder-Radar und Ziele-Macht-Portfolio bewerten?
- Wie kann die Erwartungshaltung der Stakeholder erfasst und konsistent spezifiziert werden? Bietet sich darüber hinaus eine Arbeitsplattform auf der Metaebene an, auf der Stakeholder ihre Projektvorstellungen erarbeiten und begleitend zum Projektplanungsfortschritt weiterentwickeln?
- Wie kann die Konsistenz von Projektauftrag und Erwartungen der Stakeholder hergestellt und kommuniziert werden?
- Welche Instrumente des Projektmarketings gibt es und wie werden diese nach Maßgabe spezifischer Marketingstrategien wirkungsvoll eingesetzt?

## **6 Leitbild Advanced Systems Engineering**

Advanced Systems Engineering wird den Anforderungen der Innovationspraxis von morgen gerecht. Es beruht auf dem Basiskonzept der Systemtechnik und orchestriert das komplexe Innovationsgeschehen von der Strategischen Produktplanung über den gesamten Produktlebenszyklus.

Es existieren viele Aktivitäten, um Systems Engineering voranzubringen. Allerdings gibt es weder eine mit den erforderlichen Ressourcen gut ausgestattete, herausragende Aktivität, noch werden die Aktivitäten gebündelt und koordiniert. Ziel der Initiatoren des vorliegenden Papiers ist, diese Situation zu überwinden und eine Kampagne zu starten, die einschlägige Aktivitäten zusammenführt und das Thema Systems Engineering wesentlich verstärkt vorantreibt. acatech mit seinem Markenkern Innovation und der Fähigkeit, Wissenschaft und Praxis zusammenzuführen, wäre die ideale Plattform für eine konzertierte Aktion zur Stärkung der Innovationskraft Deutschlands.

Die vorliegende Leitlinie dient der Ansprache von Stakeholdern und Fachleuten, die an einer Mitwirkung interessiert sind. Aus den bevorstehenden Gesprächen und Diskussionen werden viele Anregungen resultieren und auch neue Aspekte in das Blickfeld geraten, die in die Weiterentwicklung der Leitlinie einfließen werden und so zu einer fundierten Grundlage für die geplante Kampagne führen.

## Anhang A: Arbeitsorganisation

### Lenkungskreis

| <b>Name</b>         | <b>Institution, Funktion</b>   |
|---------------------|--|
| Anderl, Reiner      | Technische Universität Darmstadt<br>Sprecher Wissenschaftlicher Beirat Plattform Industrie 4.0             |
| Aurich, Jan C.      | Technische Universität Kaiserslautern<br>Sprecher acatech Themennetzwerk Produktentwicklung und Produktion |
| Gausemeier, Jürgen  | Universität Paderborn – Heinz Nixdorf Institut<br>Vizepräsident acatech, Sprecher des Lenkungskreises      |
| Rammig, Franz-Josef | Universität Paderborn<br>Sprecher acatech Themennetzwerk Informations- und Kommunikationstechnologie       |
| Winter, Johannes    | acatech Geschäftsstelle<br>Leiter Themenschwerpunkt Technologien   |

### Projektgruppe

| <b>Name</b>         | <b>Institution/Unternehmen</b>      |
|---------------------|-------------------------------------|
| Abramovici, Michael | Ruhr-Universität Bochum             |
| Albers, Albert      | Karlsruher Institut für Technologie |
| Auricht, Maik       | Dassault Systèmes Deutschland GmbH  |
| Bornkessel, Thomas  | Rolls Royce Ltd                     |
| Denger, Dirk        | AVL List GmbH                       |
| Dumitrescu, Roman   | Fraunhofer IEM                      |
| Frank, Ursula       | Beckhoff Automation GmbH & Co. KG   |
| Herzog, Otthein     | Jacobs University Bremen            |
| Kleiner, Sven       | :em engineering methods AG          |
| Koch, Walter        | Schaeffler AG                       |
| Michels, Jan        | Weidmüller Interface GmbH & Co. KG  |

|                      |                                     |
|----------------------|-------------------------------------|
| Michels, Nico        | CLAAS KGaA mbH                      |
| Ovtcharova, Jivka    | Karlsruher Institut für Technologie |
| Stark, Rainer        | Fraunhofer IPK                      |
| Steffen, Daniel      | UNITY AG                            |
| Stollt, Guido        | Smart Mechatronics GmbH             |
| Vogel-Heuser, Birgit | Technische Universität München      |
| Winzer, Petra        | Bergische Universität Wuppertal     |

### **Projektteam (Assistentinnen und Assistenten)**

| <b>Name</b>          | <b>Institution</b>                  |
|----------------------|-------------------------------------|
| Anacker, Harald      | Fraunhofer IEM                      |
| Blume, Claas         | Fraunhofer IPK                      |
| Bursac, Nikola       | Karlsruher Institut für Technologie |
| Gebus, Philip        | Ruhr-Universität Bochum             |
| Kaiser, Lydia        | Fraunhofer IEM                      |
| Kohlhuber, Martina   | acatech Geschäftsstelle             |
| Savarino, Philipp    | Ruhr-Universität Bochum             |
| Tschirner, Christian | Fraunhofer IEM                      |
| Wöste, Lars          | Fraunhofer IEM                      |

**acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften**

acatech berät Politik und Gesellschaft, unterstützt die innovationspolitische Willensbildung und vertritt die Technikwissenschaften international. Ihren von Bund und Ländern erteilten Beratungsauftrag erfüllt die Akademie unabhängig, wissenschaftsbasiert und gemeinwohlorientiert. acatech verdeutlicht Chancen und Risiken technologischer Entwicklungen und setzt sich dafür ein, dass aus Ideen Innovationen und aus Innovationen Wohlstand, Wohlfahrt und Lebensqualität erwachsen. acatech bringt Wissenschaft und Wirtschaft zusammen. Die Mitglieder der Akademie sind herausragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Ingenieur- und den Naturwissenschaften, der Medizin sowie aus den Geistes- und Sozialwissenschaften. Die Senatorinnen und Senatoren sind Persönlichkeiten aus technologieorientierten Unternehmen und Vereinigungen sowie den großen Wissenschaftsorganisationen. Neben dem acatech FORUM in München als Hauptsitz unterhält acatech Büros in Berlin und Brüssel.

Weitere Informationen unter [www.acatech.de](http://www.acatech.de).

## Impressum

**Autoren:****Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers**

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

**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  
Geschäftsstelle  
Karolinenplatz 4, 80333 München

**Prof. Dr.-Ing. Oliver Riedel**

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO)  
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

**Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark**

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK)  
Pascalstraße 8–9, 10587 Berlin

**Reihenherausgeber:**

**acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2018**

|                          |                           |                              |
|--------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Geschäftsstelle          | Hauptstadtbüro            | Brüssel-Büro                 |
| Karolinenplatz 4         | Pariser Platz 4a          | Rue d'Egmont/Egmontstraat 13 |
| 80333 München            | 10117 Berlin              | 1000 Brüssel (Belgien)       |
| T +49 (0)89/52 03 09-0   | T +49 (0)30/2 06 30 96-0  | T +32 (0)2/2 13 81-80        |
| F +49 (0)89/52 03 09-900 | F +49 (0)30/2 06 30 96-11 | F +32 (0)2/2 13 81-89        |

info@acatech.de

www.acatech.de

Vorstand i.S.v. § 26 BGB: Karl-Heinz Streibich, Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Prof. Dr. Reinhard F. Hüttl (Amt ruht derzeit), Dr. Stefan Oschmann, Dr.-Ing. Reinhard Ploss, Prof. Dr. Christoph M. Schmidt, Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, Manfred Rauhmeier, Prof. Dr. Martina Schraudner

## Empfohlene Zitierweise:

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-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik (IEM), Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK), Institut für Produktentwicklung (IPEK) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), München 2018.

## Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften • 2018

Koordination: Dr. Steffen Steglich

Korrektur: Astrid Schaumlöffel

Lektorat: Lektorat Berlin, Berlin

Titelfotos: shutterstock/Gorodenkoff

Die Originalfassung der Publikation ist verfügbar auf [www.acatech.de](http://www.acatech.de).