

SGE – Systemgenerationsentwicklung

**Analyse und Zusammenhänge von Entwicklungspfaden in der
Produktentstehung**

von Albert Albers¹, Claas Kürten^{1,2}, Simon Rapp¹, Clemens Birk³,
Sebastian Hünemeyer^{1,4}, Christoph Kempf¹

KIT SCIENTIFIC WORKING PAPERS 199



- ¹ IPEK – Institut für Produktentwicklung, Karlsruher Institut für Technologie
- ² MAHLE International GmbH
- ³ TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG
- ⁴ Porsche AG

IPEK Institut für Produktentwicklung
Kaiserstr. 10
76131 Karlsruhe
<http://www.ipek.kit.edu/index.php>

Impressum

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
www.kit.edu



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz (CC BY-SA 4.0):
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>

2022

ISSN: 2194-1629

1 Einleitung und Motivation

Kürzer werdende Entwicklungszyklen und ein ansteigender Kundenbedarf nach Individualisierung sind zentrale Trends in der Produktentwicklung (Braun, Künnemann, Rich, Mißler-Behr & Woll, 2020; Kadam & Apte, 2015). Um diesen Herausforderungen zu begegnen, bedarf es geeigneter Methoden und Prozesse. Die Basis für die Entwicklung dieser ist ein gemeinsames Verständnis der Abläufe und Zusammenhänge in der Produktentstehung.

Die umfassende Analyse von Produktentstehungsprozessen in Unternehmen hat das Fundament gelegt für die Entwicklung des Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung nach Albers. Nach Albers, Bursac und Wintergerst (2015) basiert die Entwicklung neuer Produktgenerationen immer auf Referenzprodukten. Folglich kann jede Produktentwicklung sowohl durch die Anpassung als auch die Neuentwicklung von Teilsystemen charakterisiert werden (Albers et al., 2015). Auf der Basis des Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung nach Albers können praxisrelevante und nutzenstiftende Methoden und Prozesse für die Produktentstehung entwickelt werden. Dies wurde in mehreren Studien in der konkreten Zusammenarbeit mit Unternehmen gezeigt (Albers, Peglow, Powelske, Birk & Bursac, 2018; Albers et al., 2019; Albers, Fahl et al., 2020).

Produktentwicklungen verfolgen das Ziel die Ergebnisse der Entwicklung bzw. dessen Realisierungen Kunden anzubieten und somit einen Nutzen zu stiften (VDI-Richtlinie 2221:2019; Kotler, Keller & Oprešnik, 2015). Ein Nutzen in der Gesellschaft entsteht, wenn existierende Problemstellungen bzw. konkrete Bedarfe nach technischen Lösungen durch die Bereitstellung von technischen Lösungen durch Unternehmen erfolgt. Um attraktive technische Lösungen bereitzustellen, sind Unternehmen auf Entwickler sowie deren technische Expertise angewiesen. In Abbildung 1 sind beobachtete Bedarfs- sowie Versorgungsketten zwischen Gesellschaft, Unternehmen und Forschungseinrichtungen schematisch dargestellt.

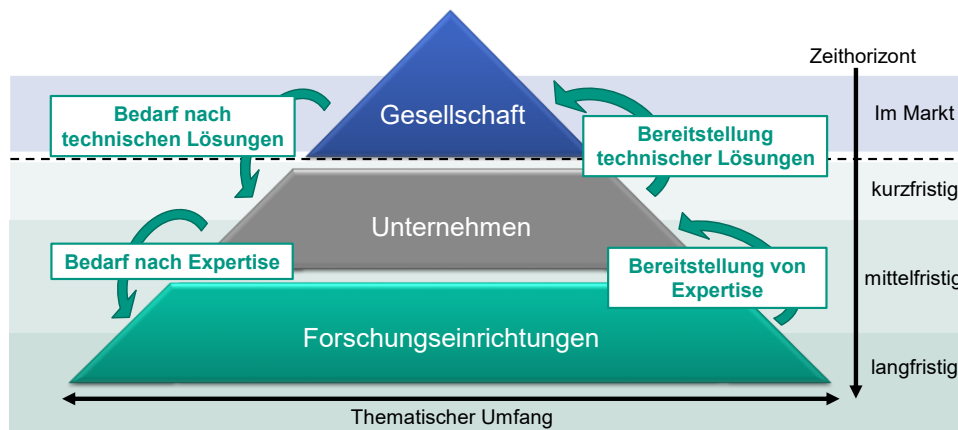


Abbildung 1: Bedarfs- und Versorgungsketten in der Produktentstehung angelehnt an Albers, 2018

Unterschiedliche Problemstellungen innerhalb einer Gesellschaft rufen Bedarfe nach technischen Lösungen hervor. Eine zentrale Voraussetzung für die erfolgreiche Entwicklung von Produkten ist die Identifikation und das Verständnis dieser Bedarfe durch die Entwickler eines Unternehmens. Für die Entwicklung und Bereitstellung einer geeigneten technischen Lösung zur Adressierung des gesellschaftlichen Bedarfs ist Expertise notwendig. Dieser Bedarf der Unternehmen wird durch die Bereitstellung von Expertise durch Forschungseinrichtungen zum Beispiel in Form von dort ausgebildetem Personal oder der Dokumentation von Forschungserkenntnissen abgedeckt.

Nach Albers (2018) sind alle Entwicklungsaktivitäten kurz-, mittel- oder langfristig auf die Schaffung eines gesellschaftlichen Nutzens ausgerichtet. Beispielsweise ist durch die Entwicklung und Markteinführung einer spezifischen Produktgeneration in der Regel ein unmittelbarer Nutzen dieser Produktentwicklung erkennbar. In der Praxis können darüber hinaus jedoch auch Entwicklungspfade beobachtet werden, dessen Ergebnisse bzw. Realisierungen nicht unmittelbar an einem Markt angeboten werden (können). Unter anderem können dies vorgelegte Entwicklungspfade sein, dessen Ergebnisse als Referenzen für die Entwicklung von einer oder mehreren Produktgenerationen dienen. Exemplarisch für diese Referenzen sind aufgebaute Prototypen einer Vorausentwicklung oder Forschungsdemonstratoren. Des Weiteren können die Ergebnisse von Entwicklungspfaden dem speziellen Produkt einer Generation übergeordnete Artefakte darstellen, welche als Module oder im Sinne von System-of-Systems in verschiedenen Produktgenerationen eingesetzt werden.

In diesem Beitrag wird eine detaillierte Analyse dieser Entwicklungspfade vorgestellt. Dazu werden vier Fallstudien aus verschiedenen Entwicklungsumgebungen in Unternehmen betrachtet. Die Ergebnisse bzw. Realisierungen der betrachteten Entwicklungspfade können dabei generalisierend als Systeme verstanden werden. Die Analyse zeigt, dass ihre Entstehung analog zur Entstehung von Produktgenerationen (im Sinne von einem am Markt verfügbaren Produkt), durch das Modell der PGE beschrieben werden kann. Um den erweiterten Kontext zu berücksichtigen, wird im Folgenden die generalisierende Beschreibung der Zusammenhänge als Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung vorgestellt.

2 Stand der Forschung

2.1 Technisches Systemverständnis

Ein System ist definiert als eine Kombination von interagierenden Elementen zur Erfüllung eines Zwecks (ISO/IEC/IEEE 15288). Das Systemverständnis nach Ropohl (2009) umfasst drei grundlegende Konzepte: funktionales (a), struktureles (b) und hierarchisches (c) Konzept. „Ein System ist das Modell einer Ganzheit, die (a) Beziehungen zwischen Attributen (Inputs, Outputs, Zustände etc.) aufweist, die (b) aus miteinander verknüpften Teilen bzw. Subsystemen besteht, und die (c) von ihrer Umgebung bzw. von einem Supersystem abgegrenzt wird“ (Ropohl, 2009, S. 77).

Aufbauend auf diesem Verständnis können Produkte als Systeme verstanden werden und somit unterschiedliche Sichtweisen für deren Entwicklung integriert werden. Ein Produkt wird weiterhin durch folgende Merkmale charakterisiert (Albers, Basedow et al., 2020; VDI-Richtlinie 2221:2019; DIN EN ISO 9000:2015):

- Ergebnis einer Entwicklung und Realisierung
- Beliebige Kombination aus materiellen Systemen und/oder Services und/oder Geschäftsmodellen
- Einem Kunden anbietbar und nutzenstiftend

2.2 Innovation

Für die erfolgreiche Weiterentwicklung eines Unternehmens gilt es Wettbewerbsvorteile zu generieren. Ein erhebliches Potenzial zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit liegt im technischen Fortschritt (Schuh & Klappert, 2011). Für den Markterfolg eines Produkts sind jedoch mehrere Faktoren zu berücksichtigen. Aufbauen auf Schumpeters (Schumpeter, 1927) Innovationsverständnis bilden Albers, Heimicke et al. (2018) drei notwendige Elemente einer Innovation in ihrem Innovationsmodell ab (vgl. Abbildung 2).

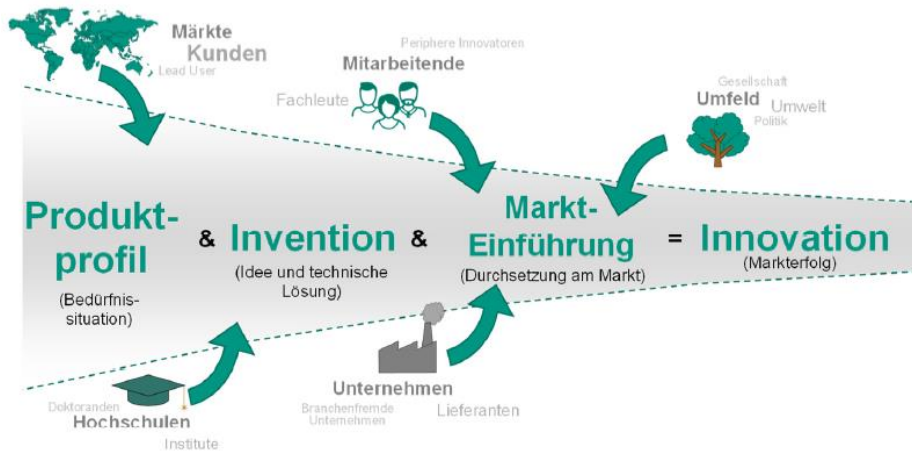


Abbildung 2: 3-Element Innovationsmodell nach Albers und Heimicke et al. (2018)

Nach dem in Abbildung 2 dargestellten Innovationsmodell besteht eine Innovation aus: einer identifizierten und adressierten Bedürfnissituation, einer Idee und dessen technischer Ausgestaltung und Realisierung sowie der erfolgreichen Durchsetzung am Markt. Nach dieser Betrachtung wird der Nutzen eines Produkts, der für Kunden, Anwender und Anbieter entsteht als zentrales Element für den Erfolg am Markt angesehen. (Albers, Heimicke et al., 2018)

2.3 Modellierung von Kunden-, Anwender- und Anbieternutzen

Zur Identifikation einer Bedürfnissituation bzw. um frühzeitig ein gemeinsames Verständnis zu schaffen, wird von Albers und Heimicke et al. (2018) die Beschreibung eines Produktprofils vorgeschlagen. Um dieses Verständnis für die Validierung zugänglich zu machen, werden im Produktprofil-Schema (s. Abbildung 3) die angestrebten Anbieter-, Kunden- und Anwendernutzen festgehalten und damit der Lösungsraum für die Gestaltung des Produkts erarbeitet und definiert.

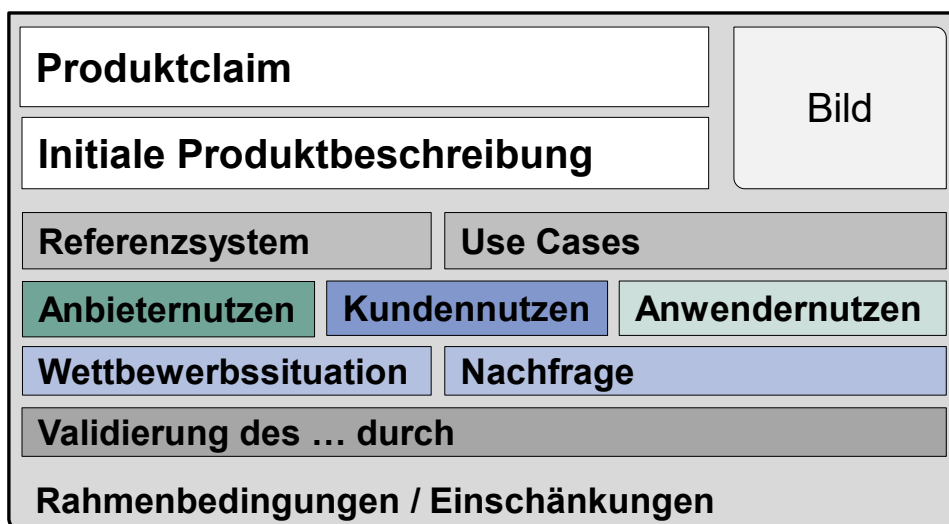


Abbildung 3: Vereinfachte Darstellung des Produktprofil-Schemas in Anlehnung an Albers und Heimicke et al. (2018)

Neben den genannten Nutzendimensionen enthält die in Abbildung 3 gezeigte Darstellung des Produktprofil-Schemas unter anderem Informationen über vorhandene Referenzsysteme-

mente (vgl. Kapitel 2.4), Rahmenbedingungen und die Marktsituation. Mit Hilfe des Produktprofils wird eine frühzeitige Identifikation von möglichen Konflikten der verschiedenen Interessengruppen unterstützt und die Überprüfung des Nutzenbündels bei der Validierung fokussiert. Zentral ist in dieser Betrachtung, dass Albers die Entwicklung und Gestaltung eines Produktprofils bereits als Teilaufgabe der Produktentwicklung versteht, die hier im Team mit anderen Funktionsbereichen wie zum Beispiel Marketing, Vertrieb und Unternehmensleitung stattfindet. Albers begründet die frühe Einbindung der Entwickelnden mit der Inkubation für die folgende Phase der Invention. Wenn die Entwickelnden von Anfang an die Bedürfnissituation und Begründung für ihre Invention kennen, ist die kreative Leistungsfähigkeit bei der Generierung von Inventionen zielgerichtet, aber auch gesteigert. Ein Vermitteln des Designraums über Lastenhefte, die in der Praxis auch heute noch weit verbreitet sind, ist allein nicht zielführend (s. Kapitel 2.4). (Albers, Heimicke et al., 2018)

2.4 Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung

Das Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung nach Albers dient als Grundlage für die Entwicklung unterstützender Methoden und Prozesse für die Produktentwicklung in Unternehmen (Albers et al., 2015). Das Modell nimmt dabei Sichtweisen der klassischen Konstruktionsmethodik (Pahl & Beitz, 2013) und des Innovationsmanagements (Henderson & Clark, 1990) auf und entwickelt darauf ein grundlegend neues Beschreibungsmodell von realen Synthese und Analyse Prozessen in der Produktentwicklung. Das Modell basiert auf den folgenden zwei Hypothesen und kann durch Formel 1 ausgedrückt werden (Albers et al., 2019):

1. Die Entwicklung neuer Produktgenerationen G_n basiert auf einem Referenzsystem R_n , welches aus Elementen existierender oder geplanter sozio-technischer Systeme besteht.
2. Neue Produkte werden basierend auf diesem Referenzsystem R_n durch die Aktivitäten Übernahme- $ÜV_n$, Ausprägungs- AV_n und Prinzipvariation PV_n entwickelt und gestaltet.

$$R_n \xrightarrow{v} G_n = ÜV_n \cup AV_n \cup PV_n \quad (1)$$

Der Entwicklung neuer Produkte, welche nach dem Verständnis von Ropohl (2009) als Systeme modelliert werden können, liegen folglich immer Referenzen zugrunde. Diese Elemente des Referenzsystems können dabei sowohl innerhalb als auch außerhalb der entwickelnden Entität liegen. Beispielsweise können Objekte und Erfahrungen aus eigenen oder fremden Entwicklungen als Referenzsystemelemente herangezogen werden. Insbesondere bei der Entwicklung einer ersten Produktgeneration (G_1) – die in der Praxis der Unternehmen relativ selten vorkommt – liegt Erfahrungswissen häufig nur eingeschränkt vor. Für dieses Umfeld typische Herausforderungen sind unter anderem unbekannte Anforderungen und fehlendes technologisches Wissen sowie der damit einhergehende hohe Validierungs- und Entwicklungsaufwand. Die systematische Suche und Identifizierung von Elementen des Referenzsystems auf Basis des Produktprofils wird als erster Schritt bei der Entwicklung von Inventionen angesehen. Während des Entwicklungsprozesses erfolgt eine kontinuierliche Erweiterung des Referenzsystems, um neu auftretende Fragestellungen zu adressieren. Die Produkte werden durch die Variation der Elemente des Referenzsystems gestaltet. (Albers et al., 2019; Albers, Ebertz et al., 2020)

Die Entwicklung von Produkten in konsekutiven Generationen G_i ($i \in \mathbb{N}$) lässt sich am Beispiel des Produktportfolios eines Automobilherstellers anschaulich erläutern (vgl. Abbildung 4).

**Ausschnitt aus dem Produktportfolio eines Anbieters a
am Beispiel der Produktlinie p und Variante v** 

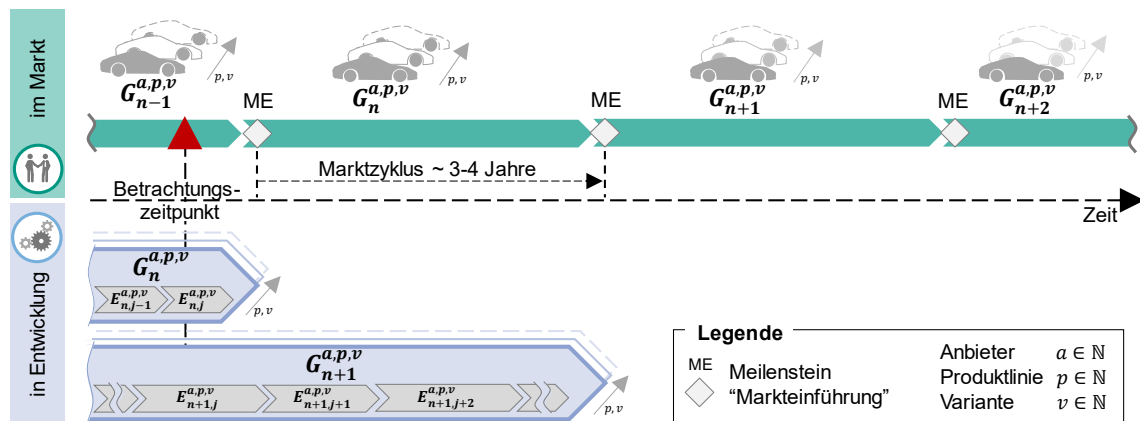


Abbildung 4: Ausschnitt aus dem Produktportfolios eines Automobilherstellers (in Anlehnung an Albers et al., 2016; Albers, Fahl et al., 2020, S. 671)

In der Abbildung ist ein Ausschnitt aus dem Produktportfolio eines Automobilherstellers dargestellt. Die Darstellung zeigt exemplarische Generationen eines Fahrzeugs einer bestimmten Variante einer bestimmten Produktlinie (dunkelgrau). Die dazu parallel existierenden Varianten, sowie weitere Produktlinien des Anbieters sind schematisch angedeutet.

Im Sinne des in Kapitel 2.1-2.4 beschriebenen Verständnis wird die Produktgeneration des Fahrzeugs, welche als nächstes in den Markt eingeführt wird als G_n bezeichnet. Folglich wird diejenige Produktgeneration, die sich gegenwärtig im Markt befindet als G_{n-1} bezeichnet. Typische Marktzyklen für Fahrzeuggenerationen dauern zwischen drei und vier Jahren an. Eine im Markt befindliche Produktgeneration $G_{n-1}^{a,p,v}$ eines Anbieters a , jeder Produktlinie p und jeder Variante v wird nach dieser Zeit durch eine neue Generation $G_n^{a,p,v}$ abgelöst. Die Produktentstehung umfasst neben der aktuell in der Entwicklung befindlichen Generation (G_n) auch nachfolgende Generationen (G_{n+1}, G_{n+2}, \dots).

Ein Neufahrzeug im Sinne einer neuen Produktlinie (p) oder einer neuen Produktvariante (v) eines Anbieters (a) wird aus Marktsicht häufig als erste Generation bezeichnet. Diese Sichtweise ist jedoch nicht mit dem Verständnis der Produktgenerationsentwicklung nach Albers gleichzusetzen. Nur wenn „ein Entwicklungspfad [...] völlig neu begonnen [wird und] keine Vorgänger-Generation [als Referenz] vorhanden ist“ (Albers in Yan, 2020), spricht man von einem G_1 -Entwicklungsvorhaben. (vergleiche auch Albers, Ebertz et al., 2020)

Die im Vergleich zur Entwicklungsdauer kurzen Marktzyklen von Fahrzeuggenerationen führen dazu, dass parallel zur Entwicklung der als nächstes im Markt einzuführenden Generation ebenfalls nachfolgende Generationen entwickelt werden (siehe G_{n+1} in Abbildung 4). Die Entwicklung einer bestimmten Produktgeneration kann in der Praxis durch die Modellierung von sogenannten Entwicklungsgenerationen (E) in verschiedene Phasen oder Zwischenstufen eingeteilt werden. Die exemplarische Strukturierung der Produktgeneration G_{n+1} eines Fahrzeugs durch Entwicklungsgenerationen $E_{n+1,j}$ ist in Abbildung 4 unten dargestellt. Der Index j beschreibt dabei die Entwicklungsgeneration einer Produktgeneration n . Analog zur Bezeichnung der Produktgenerationen (G), beschreibt $E_{n+1,j}$ die gegenwärtige, $E_{n+1,j-1}$ die vorherige sowie $E_{n+1,j+1}$ die nachfolgende Entwicklungsgeneration. Diese Zwischenstufen können beispielsweise anhand von Reifegradstufen oder Sprint-Inkrementen beschrieben werden. Der

Umfang und Ziel-Reifegrad der Entwicklungsgenerationen wird bei der initialen Zielsystembildung der Produktgeneration eindeutig festgelegt. (Albers, Haug, Heitger, Fahl & Hirschter, 2019; Wessels et al., 2019)

Die Ergebnisse einer Entwicklungsgeneration werden in der Regel in Form von Prototypen abgebildet, welche unter anderem zur frühzeitigen Validierung genutzt werden (Albers et al., 2016). Prototypen können dabei als Modelle des Produkts verstanden werden und in virtuell, virtuell-physisch oder physischer Ausprägung vorliegen. Angelehnt an Stachowiaks (1973, S. 129) Modellverständnis sind Prototypen somit zeitgleich Abbild und Vorbild des zu entwickelnden Produkts. Weiterhin werden Prototypen für einen bestimmten Verwendungszweck geschaffen und stellen somit ausschließlich eine Abstraktion des Produkts dar (vgl. Stachowiak, 1973, S. 131–133). Auch wenn sich Ausprägung, Reifegrad und Verwendung von Prototypen in der Entwicklung unterscheiden (Jensen, Özkil & Mortensen, 2016) dienen sie insbesondere der Validierung des in Kapitel 2.3 beschriebenen Nutzens.

3 Forschungsbedarf und Forschungsmethode

Das Modell der PGE stellt wie im vorherigen Kapiteln gezeigt, einen ganzheitlichen Ansatz zur Beschreibung der Aktivitäten und Zusammenhänge im Produktentstehungsprozess dar. In vielen Studien konnte gezeigt werden, dass die Entwicklung verschiedenster Systeme mit Hilfe des Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung nach Albers (siehe Formel 1) abgebildet werden kann (Albers, Behrendt, Klingler, Reiß & Bursac, 2017; Albers, Peglow et al., 2018; Albers, Fahl et al., 2020; Albers, Ebertz et al., 2020).

Tiefgehende Untersuchungen von Entwicklungsprozessen in Unternehmen zeigen auf, dass es neben den Kern-Entwicklungspfaden, welche die Markteinführung der jeweiligen Produktgenerationen fokussieren, weitere Entwicklungspfade gibt. Die dort entwickelten Systeme werden dabei weder unmittelbar am Markt angeboten, noch stellen sie eine direkte Zwischenstufe (Entwicklungsgeneration) eines neuen Produkts dar.

Das Ziel dieses Beitrags ist es daher, die Motivation, Ziele und Ergebnisse dieser Entwicklungspfade zu analysieren und aufbauend auf dieser Analyse die Zusammenhänge in der Produktentstehung strukturiert und systematisch abzubilden. Dazu werden folgende Forschungsfragen bearbeitet:

1. Wodurch werden verschiedene Entwicklungspfade, die nicht direkt in der Markteinführung einer neuen Produktgeneration münden, initiiert und welche Ziele verfolgen diese Entwicklungspfade?
2. Was sind die Ergebnisse dieser Entwicklungspfade und wie tragen diese zur Realisierung von Nutzen bei?

Zur Beantwortung der oben genannten Forschungsfragen wurde aufbauend auf teilnehmenden Beobachtungen in vier verschiedenen Entwicklungspfaden eine fragengeleitete Datenerhebung durchgeführt. Die Fallbeispiele setzen sich zusammen aus der Betrachtung von „Vorausentwicklungsprojekten“ bei der MAHLE GmbH, „Baukastenentwicklungen“ bei der TRUMPF GmbH & Co. KG, der „Entwicklung von Anzeige- und Bedienkonzepten“ bei der Porsche AG und „Forschungsprojekten“ am IPEK – Institut für Produktentwicklung. Dabei wurden die folgenden vier Aspekte analysiert:

1. Wodurch werden die betrachteten Entwicklungspfade initiiert?
2. Welches Ziel steht im Zentrum dieser Entwicklungspfade?
3. Was ist das Ergebnis bzw. wann werden die Aktivitäten als abgeschlossen betrachtet?
4. Welche Referenzen im Sinne der Elemente eines Referenzsystems wurden zum Erreichen der Ziele herangezogen?

Auf eine Einordnung der unternehmensspezifischen Benennung der betrachteten Entwicklungspfade wird an dieser Stelle verzichtet und auf die Abstrahierung der Zusammenhänge zwischen verschiedenen Entwicklungspfaden in Kapitel 5.2 hingewiesen.

4 Analyse der betrachteten Entwicklungspfade

Die Ergebnisse der Erhebung in den verschiedenen Umgebungen werden in den folgenden Abschnitten kurz vorgestellt und sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Unternehmensweite Ideenfindungsprozesse unterstützen in der Mahle GmbH eine dedizierte Beobachtung der Wettbewerber und der relevanten Forschungslandschaft hinsichtlich neuer Impulse, welche auch über das existierende Produktportfolio eines Unternehmens hinausgehen. Eine Auswahl der generierten Ideen werden in **Vorausentwicklungen** aufgegriffen und hinsichtlich der technischen Funktionalität untersucht. Aufbauend auf Forschungsergebnissen und existierenden Systemen werden *Prototypen* aufgebaut, die abhängig vom Reifegrad zunächst in experimenteller und später in einer der Anwendung nahen Umgebung umgesetzt werden. Prototypen können damit in verschiedenen Ausprägungen vorliegen: von rein virtuellen über gemischt physisch-virtuelle bis hin zu ausschließlich physischen Systemen. Als Teil der frühzeitigen Validierung des zu entwickelnden Systems, werden die verschiedenen Prototypen ebenfalls dazu genutzt zu ermitteln inwieweit Stakeholder-Bedarfe adressiert werden. Im Betrachteten Fall der Entwicklung von Systemen in der automobilen Anwendung laufen diese Vorausentwicklungsprojekte in der Regel zwischen *4 und 8 Jahren vor Produktionsbeginn* einer neuen Produktgeneration.

Die beobachteten **Baukastenentwicklungen** bei Trumpf wurden primär durch das *Marktumfeld* angestoßen. Dabei werden in der Regel aufbauend auf dem bestehenden Produktportfolio *Synergien* identifiziert und so eine Modularisierung vorangetrieben. Folglich verlaufen diese Entwicklungen meist *parallel zur Entwicklung einer bestimmten Produktgeneration* und werden erst mit dem letzten Produkt einer auslaufenden Produktlinie beendet. Die Ziele der Baukastenentwicklung umfassen unter anderem die *Evaluierung des Diversifizierungspotentials bei Modularisierung*. Als zentrales Ergebnis werden strategische Entscheidungen hinsichtlich des Baukastens, und damit hinsichtlich der *Schnittstellen und Randbedingungen* der Module, angestrebt. Durch diese frühzeitigen Entscheidungen hinsichtlich der Baukastenentwicklung kann die notwendige Produktdifferenzierung bedient werden.

Ausgehend von einer *strategischen Roadmap-Planung* werden bei Porsche **Entwicklungen von Anzeige- und Bedienkonzepten** initiiert. Die strategische Roadmap-Planung umfasst geplante zukünftige Generationen ($G_{n+1}/G_{n+2}/ \dots$) der Produktlinien und Produktvarianten mit einem Zeithorizont von sechs oder mehr Jahren bis Produktionsstart. In einer dedizierten Abteilung zur Konzipierung werden verschiedene Ziele zur *Evaluierung der Machbarkeit, Marktauglichkeit inkl. Kunden- und Anwendernutzen sowie finanzieller Ergebnisbewertung* verfolgt. Die Validierung der formulierten Ziele erfolgt mit Hilfe von digitalen und physischen Prototypen, die aufbauend auf den entwickelten Konzepten erstellt werden. Neben der Modellierung der Anwendungsfälle werden durch die Definition der Konzeptspezifikationen auch Randbedingungen und Schnittstellen der Systeme festgelegt.

Im Bereich der **Forschung** an Universitäten werden unter Verwendung wissenschaftlicher Methoden *Wissenslücken* identifiziert. Aufbauend auf diesen Wissenslücken werden Forschungsbedarfe ermittelt. Wie im betrachteten Fall, der Erforschung eines Materialsystems, entstehen meist disziplinenübergreifende Projekte. Mit dem Ziel die identifizierten Wissenslücken zu schließen, steht der *Erkenntnisgewinn* im Fokus. Aufbauend auf existierenden Forschungsbeiträgen in den jeweiligen Disziplinen wird das neu hinzugewonnene Wissen im Projekt wieder in *Veröffentlichungen* gesammelt und so der Forschungsgemeinschaft zur Verfügung ge-

stellt. Abhängig vom Forschungsbereich und -schwerpunkt leisten diese Ergebnisse *kurz-, mittel- oder langfristig* einen Beitrag für zukünftige Produkte. Dabei kann zwischen Forschung in Unternehmen (kurzfristig), mit Unternehmen (kurz- und mittelfristig) und für Unternehmen (langfristig) unterschieden werden. Die langfristige Forschung ermöglicht mit ihren Erkenntnissen hierbei mittel- und schlussendlich kurzfristige Forschung. Forschung beschäftigt sich hierbei nicht nur mit dem technischen System, sondern auch der Prozess-, Methoden- und Toolgestaltung, um somit eine effiziente und effektive Produktentwicklung zu fördern. (Albers, 2018)

Case	Analyseschema				
	Initiierung	Ziele	Output / Ergebnis	Zeithorizont	Referenzen
Forschung	Identifizierte Wissenslücke / Forschungsbedarf aus dem Forschungsumfeld	Erkenntnisgewinn hinsichtlich Funktionalität und Nutzen	Wissenschaftliche Veröffentlichungen, Forschungsdemonstrationen	Grundlagenforschung / Anwendungsbezogene Forschung i.d.R. > 5-15 Jahre vor SOP	Forschungsbeiträge
Vorausentwicklung	Unternehmensweite Ideenfindung	Nachweis technischer Funktionalität anhand von Prototypen	Digitale / physische Prototypen zur Prüfung technischer Funktionalität und Untersuchung der Bedarfssituation	Abhängig von Markt und Produkt Bsp. Subsysteme elektrischer Traktionsantriebe: 4-8 Jahre vor SOP	Forschungsbeiträge, existierende (Teil-)Systeme, Wettbewerber
Baukastenentwicklung	Marktumfeld	Ausnutzung von Synergie-Effekten, Diversifizierung	Strategische Entscheidung hinsichtlich Baukastenentwicklung, Definition der Baukastenmodule	i.d.R. nach Serienanlauf, kontinuierlich bis zum Auslaufen des letzten Produkts	Baukastenstrukturen und -systeme
Anzeige- und Bedienkonzepte	Strategische Roadmap zur Planung von Teilsystemen	Machbarkeitsnachweis, Markttauglichkeit, finanzielle Ergebnisbewertung	Abgestimmte Teilsysteme, Prototypen	Zuordnung zu einem „Ersteinsetzer“ innerhalb der Roadmap Hier: ca. 6 Jahre vor SOP	existierende (Teil-)Systeme, Wettbewerber

Tabelle 1 - Analyse der Fallbeispiele verschiedener Entwicklungspfade

5 Zusammenhang der Entwicklungspfade im Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung

Die betrachteten Fallbeispiele zeigen, dass die Ergebnisse dieser verschiedenen Entwicklungspfade nicht unmittelbar in der Markteinführung eines Produkts münden. Die jeweilige Entwicklung der Systeme, können jedoch mit Hilfe der Hypothesen (s. Kapitel 2.4 / Formel 1) des Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung nach Albers abgebildet werden. Konsequenterweise kann generalisierend für die Beschreibung von Systementwicklungen analog zur Produktentwicklung das Modell als Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung bezeichnet werden. In diesem Kapitel werden aufbauend auf der Analyse der betrachteten Entwicklungspfade die Forschungsfragen adressiert und ein Ansatz zur Beschreibung der Zusammenhänge zwischen diesen Pfaden im Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung vorgestellt.

5.1 Verständnis der Systementwicklung im Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung am Beispiel der Vorausentwicklung

In der Vorausentwicklung der Mahle GmbH steht der Erkenntnisgewinn und Wissensaufbau hinsichtlich der Bedürfnissituation sowie technische Ideen und Lösungen im Vordergrund. In Abbildung 5 ist der Entwicklungspfad der Vorausentwicklung als eigenständige Systementwicklung mit entsprechenden Zielen (links) und Ergebnissen (rechts) schematisch dargestellt.

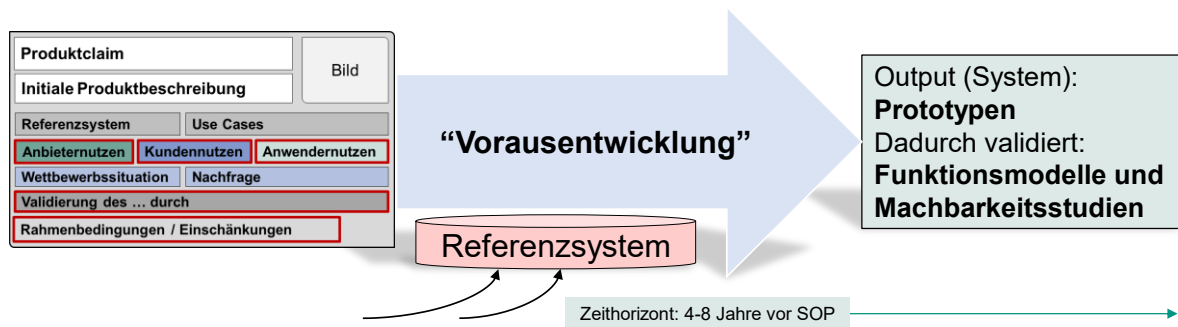


Abbildung 5: Schematische Darstellung des Entwicklungspfad - Vorausentwicklung

Mit der Entwicklung von Prototypen werden einerseits die technische Umsetzbarkeit der generierten Ideen untersucht und andererseits das Nutzenpotenzial durch die Entwicklung des neuartigen Systems überprüft. Im Beispiel des automobilen Zulieferers wird dabei für alle Akteure der B2B-Geschäftsbeziehung das Nutzenpotenzial untersucht. Die Formulierung des Nutzens nimmt eine zentrale Rolle bei der Erstellung eines Produktprofils (vgl. Kapitel 2.3) ein. Für eine erfolgreiche Entwicklung ist in der Regel eine Kombination von Anbieter-, Kunden- und/ oder Anwendernutzen durch die Entwicklung bzw. Verwendung des Systems notwendig. Die Entwicklung eines neuen Traktionsantriebs zur Erweiterung des Produktportfolios des Zulieferers kann nur dann erfolgreich sein, wenn dieser von seinem Kunden, einem Automobilhersteller (OEM) abgenommen wird. Der OEM ist gleichzeitig aber auf die Akzeptanz des Anwenders angewiesen. Durch die Evaluierung des Nutzens und der (Teil-)Validierung des Systems werden frühzeitig mehrere Aspekte des Produktprofils (rot markiert) adressiert, ohne ein marktreifes Produkt vorwegzunehmen.

Übereinstimmend mit Albers et al. (2019) wurden, wie in Tabelle 1 dargestellt, auch hier verschiedene Elemente bzw. Teilsysteme aus anderen Entwicklungspfaden, sogenannte Referenzsystemelemente für die Entwicklung der Prototypen herangezogen. Die iterative Entwicklung der Systeme kann analog zur Modellierung von Produktgenerationen im Modell der PGE, durch Entwicklungsgenerationen abgebildet werden. Ziel und Zweck der Iterationen bzw. Entwicklungsgenerationen können von der Untersuchung technischer Funktionalität einzelner Subsysteme bis hin zur Überprüfung des Kundennutzens im Kontext des Gesamtsystems variieren.

Auch wenn ein nahtloser Übergang von Vorausentwicklungen in Serienentwicklungen angestrebt wird, so sind diese Entwicklungspfade in der Praxis häufig organisatorisch getrennt. Im Beispiel der Vorausentwicklung dient diese Trennung vor allem der Vergrößerung des kreativen Freiraums der Entwickler (Ili, Albers, Heismann & Maul, 2012). In globalisierten Unternehmen können ebenfalls verteilte Entwicklungsstandorte zu einer organisatorischen Trennung führen. Unabhängig von der Strukturierung der Entwicklungspfade konnte beobachtet werden, dass die entwickelten Systeme der Vorausentwicklung in unterschiedlicher Art und Weise als Referenzen für ein oder mehrere Serienentwicklungen verwendet wurden. Im Modell der SGE (PGE) werden diese Systeme somit als Elemente des Referenzsystems einer Produktgeneration abgebildet und für die Entwicklung dieser herangezogen. Mehrere der spezifischen Herausforderungen, die bei der Entwicklung neuartiger Systeme vorliegen (vgl. Albers, Ebertz et al., 2020), können somit bei einer in der Aufbauorganisation vorgesehenen Vorausentwicklung frühzeitig adressiert werden. Die Prüfung des im Produktprofil beschriebenen Nutzens erhöht die Vertrautheit mit Stakeholdern und den Rahmenbedingungen des Systems. Durch die aufgebauten Simulationen und Prototypen werden neben einer Verbesserung der Zugänglichkeit zur verwendeten Technologie auch Erfahrungen mit dem verknüpften Validierungssystem gesammelt.

5.2 Interaktionen der betrachteten Entwicklungspfade

Analog zum detailliert betrachteten Pfad der Vorausbildung können alle betrachteten Entwicklungspfade als eigenständige Systementwicklungen verstanden werden. In Abbildung 6 sind die betrachteten Entwicklungspfade sowie die Interaktionen dieser untereinander bzw. mit den verschiedenen Produktgenerationen / -varianten eines exemplarischen Produktportfolios schematisch dargestellt. Um die Akzeptanz und das Verständnis des Modells zu erhöhen, wurde eine fraktale Darstellung gewählt. Zur Übersichtlichkeit wird hier auf die Darstellung aufeinanderfolgender Generationen sowie die Strukturierung in Entwicklungsgenerationen verzichtet. Des Weiteren bietet der fraktale Charakter die Möglichkeit die in Kapitel 2.4 dargestellte Nomenklatur zur Modellierung der Generationsentwicklung konsequent auf die Systemgenerationen auszuweiten.

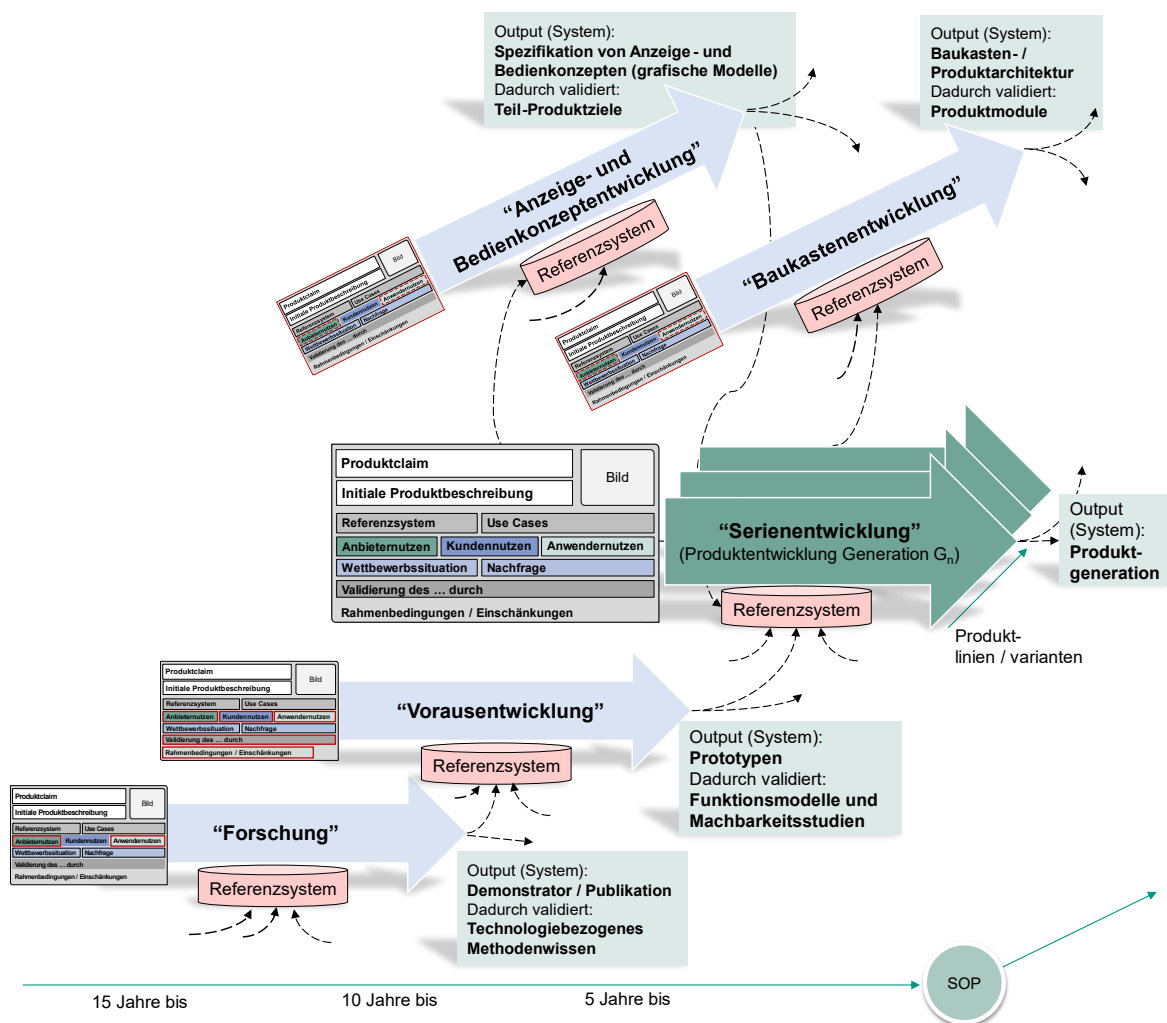


Abbildung 6: Betrachtete Entwicklungspfade, dessen Initiierung, Ergebnisse und Interaktionen im Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung

5.3 Initiierung und Ziele der Entwicklungspfade

Die Initiierung der Entwicklungspfade innerhalb der analysierten Fallbeispiele unterliegen übergreifend dem Gedanken Innovationen zu fördern. In der Regel führen dabei strategische Entscheidungen zur Erweiterung bzw. Weiterentwicklung des Unternehmensproduktportfolios zur Initiierung der Entwicklungspfade. Die Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit zeigen, dass diese strategischen Entscheidungen in der Vorausbildung bei MAHLE und bei der

Entwicklung von Anzeige- und Bedienkonzepten in der Porsche AG aufbauend auf neuartigen Ideen bzw. technischen Lösungen sowie identifizierten Bedürfnissen der Kunden und/oder Anwender getroffen werden. Die beobachteten Baukastenentwicklungen bei Trumpf wurden primär durch die Beobachtung spezieller Kundenbedürfnisse angestoßen. Die betrachteten Beispiele können Tabelle 1 entnommen werden.

Bei der Analyse der Ziele der betrachteten Entwicklungspfade ist erkennbar, dass verschiedene Elemente des Produktprofils adressiert werden. Der Serienentwicklung zeitlich vorgelagerte Entwicklungspfade, wie die Vorausentwicklung und Forschung an Universitäten, stellen die Untersuchung technischer Neuerungen hinsichtlich des Anwender- bzw. Kunden- und Anbieternutzen in den Vordergrund. Aufbauend auf einer Hypothese zum Nutzen wird eine Validierung des zu entwickelnden Systems (bzw. Teilsystems) unter entsprechenden Rahmenbedingungen verfolgt und somit ein Funktionalitätsnachweis angestrebt.

Die Baukasten- sowie die Anzeige- und Bedienkonzeptentwicklung bauen zumeist auf bestehenden Produkten auf und verlaufen fortan parallel zur seriellen Entwicklung verschiedener Produktgenerationen. Beide Systeme stellen dabei keine autarke Marktleistung dar – ihr Nutzen für Kunden, Anwender und Anbieter kann folglich erst realisiert werden, wenn sie in spezifische Produktgenerationen überführt werden. Dabei wird bei der Baukastenentwicklung durch die Ausnutzung von Synergieeffekten das Ziel verfolgt, den Anbieternutzen durch eine Modularisierung zu erhöhen und dabei gleichzeitig den Markt bzw. die Kunden bedarfsgerecht zu bedienen und somit folglich die Produktdifferenzierung sicherzustellen. In der Anzeige- und Bedienkonzeptentwicklung liegt der Schwerpunkt auf einem optimalen Produktnutzungserlebnis von Kunden und Anwendern. Durch gezielte Produktgestaltung kann ferner auch der Anbieternutzen erweitert werden, indem z.B. neue Zielkunden und -anwender adressiert werden. Das betrachtete Fallbeispiel umfasst die Evaluierung der Kunden- und Anwendertauglichkeit konzipierter Lösungen zur Bestimmung des Anwendernutzens sowie die Untersuchung der technischen und ökonomischen Umsetzbarkeit.

Die adressierten Aspekte des Produktprofils der jeweiligen Entwicklungspfade sind in Abbildung 6 rot markiert. Alle betrachteten Entwicklungspfade verfolgen das Ziel, die Profile hinsichtlich des Anwender-, Kunden- und/ oder Anbieternutzens auszugestalten und zu validieren. Während bei zeitlich vorgelagerten Entwicklungspfaden das spezifische Profil eines Produkts noch nicht definiert ist, werden in parallel zur Serienentwicklung verlaufenden Entwicklungen bestehende Produktprofile ergänzt und weiterentwickelt.

5.4 Beiträge zur Realisierung von Nutzen

Forschungsergebnisse werden in der Regel in Form von wissenschaftlichen Veröffentlichungen zur Verfügung gestellt. Diese Veröffentlichungen umfassen, falls vorhanden, auch die detaillierte Beschreibung der aufgebauten bzw. verwendeten Demonstratoren, um eine Wiederverwendung oder Reproduktion dieser Systeme zu ermöglichen. Allerdings gestaltet sich eine Umsetzung von Forschungsergebnissen rein auf verfügbaren Informationen, wie wissenschaftlichen Veröffentlichungen, oft als schwierig. Selten werden alle relevanten Umgebungsbedingungen (z.B. genutzte Softwareumgebung für Optimierungsansätze oder zugemischte Additive in neuen Materialsystemen) angegeben. Damit ist der Implementierungsaufwand in Unternehmen oft unverhältnismäßig hoch.

Im Rahmen der Datenerhebung in der Vorausentwicklung bei MAHLE wurden solche Forschungsbeiträge explizit als Referenzsystemelemente für die dortigen Entwicklungen genannt. Darauf aufbauend werden in der Vorausentwicklung durch die Gestaltung und Validierung von Prototypen weitere Erkenntnisse gewonnen und so die Wissensbasis erweitert. Diese Prototypen stehen häufig im Zentrum des Wissenstransfers von der Vorentwicklung zur Serienentwicklung.

Ergebnis der Baukastenentwicklung sind ausgearbeitete Baukastenstrukturen. Diese entwickelten Systeme umfassen neben der Definition von Randbedingungen und Schnittstellen auch strategische Entscheidungen, welche die neuen Produktgenerationen und -varianten maßgeblich gestalten.

Lieferobjekt am Ende der Definition von Anzeige- und Bedienkonzepten sind Konzeptmodelle, die Prinzip und Grobgestalt der Benutzungsschnittstellen sowie den Informationsfluss zwischen Kunden oder Anwendern und dem technischen System Fahrzeug beschreiben. Diese ermöglichen die Übersetzung von Zielen, Anforderungen und einschränkenden Randbedingungen in visuelle Dokumentationen. Abbildung 6 präzisiert die Beobachtung, dass Anzeige- und Bedienkonzepte in der Frühen Phase als eigenständige Systemgeneration definiert werden, die anschließend im Rahmen einer strukturierten Releaseplanung in einzelne Produktgenerationen der Produktlinien überführt werden (vgl. Kapitel 2.4). Die ersteinsetzende Produktgeneration gibt dabei die Meilensteinplanung vor. Im Sinne einer konsequenten Systemgenerationsentwicklung ist darauf zu achten, dass Entwickelnde diese ersteinsetzende Produktgeneration nicht zu stark fokussieren, sondern auch die anvisierten späteren Produktgenerationen der weiteren Produktlinien im Blick haben. Nur so kann eine gewisse Variabilität und auch übergreifende Lösungsgestaltung sichergestellt werden.

Die Experten-Erhebung zeigt, dass die Ergebnisse der betrachteten Entwicklungspfade Systeme darstellen, die sich in Umfang, Reifegrad und Ausprägung unterscheiden. Obwohl diese Systeme nicht am Markt angeboten werden, liefern sie als Referenzen für folgende Produktentwicklungen einen entscheidenden Beitrag zur Realisierung des im Produktprofil beschriebenen Nutzens. Nach Albers und Ebertz et al. (2020) wird der Entwicklungsaufwand und die Entwicklungsunsicherheit von der Herkunft und Zugänglichkeit dieser Elemente des Referenzsystem maßgeblich beeinflusst. Die betrachteten Entwicklungspfade heben den Reifegrad der entwickelten Systeme an, indem eine (Teil-)Validierung des Nutzens durchgeführt wird. Die entwickelten Systeme werden im Sinne der Generationsentwicklung als Elemente des Referenzsystems für die Entwicklung nachfolgender Systeme oder Produkte verwendet. Beispielsweise können die in der Vorausentwicklung aufgebauten Simulationen und Prototypen in gleicher Weise wie Vorgänger-Generationen als Referenzen für die Entwicklung einer bestimmten Produktgeneration herangezogen werden. Die Ergebnisse der betrachteten Entwicklungspfade können in Form von Übernahme- und Ausprägungsvariationen in die Produktentwicklung übertragen werden und folglich das Entwicklungsrisiko reduzieren. Auch eine Absenkung des Entwicklungsaufwands ist durch die Bündelung von Aktivitäten in vorgelagerte bzw. übergreifende Entwicklungspfade möglich.

6 Fazit & Ausblick

Grundlage und Ausgangspunkt für die Entwicklung neuer Produktgenerationen sind nach Albers et al. (2019) Referenzen aus bereits existierenden oder geplanten sozio-technischen Systemen und deren zugehörige Dokumentationen. Diese „Elemente des Referenzsystem[s] können [...] Teil einer Vorgängergeneration [...], Teilsysteme von Wettbewerbsprodukten [...], Teilsysteme von Produkten aus anderen Branchen oder [...] prototypische Lösungen aus der Forschung [...]“ sein (Albers et al., 2019).

Die entwickelten Systeme der verschiedenen Entwicklungspfade, der Serienentwicklung zeitlich vorgelagert oder produktlinienübergreifend, dienen unter anderem als Referenzen für mehrere, folgende Produktgenerationen. Diese Systementwicklungen werden entweder implizit (Forschung, Vorausentwicklung) oder explizit (Baukastenentwicklung, Anzeige- und Bedienkonzeptentwicklung) mit dem Ziel der Bildung von Referenzsystemelementen für neue Produktgenerationen initiiert.

Unabhängig davon, ob die Ergebnisse eines Entwicklungspfades unmittelbar in der Einführung eines neuen Produkts am Markt münden oder ob die Ergebnisse als Referenzen für die Entwicklung von neuen oder bestehenden Produktgenerationen genutzt werden, kann das Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung zur Beschreibung verwendet werden. Die analysierten Fallbeispiele zeigen, dass sich die beiden Grundhypothesen des Modells auch auf die Entwicklung von Systemen übertragen lassen, welche nicht im unmittelbaren Zusammenhang mit einer bestimmten Produktgeneration stehen. Um die Beschreibung solcher Systeme mit einzubeziehen kann konsequenterweise vom Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung gesprochen werden. Zentral ist dabei die Fraktalität des Modells der SGE, das in ähnlicher Architektur und Nomenklatur auf die vielfältigen unterschiedlichen Entwicklungspfade anwendbar ist. Dies führt in der Praxis zu einer sehr viel einfacheren Kommunizierbarkeit und bietet letztendlich auch Chancen zur Vereinheitlichung und Standardisierung von Prozessen in Unternehmen.

Das Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung nach Albers bildet eine gemeinsame Basis für die Beschreibung von Abläufen und Zusammenhängen im Produktentstehungsprozess. In diesem Beitrag wurden die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Entwicklungspfaden im Produktentstehungsprozess analysiert und mit Hilfe des Modells abgebildet. Gegenstand weiterer Forschungen sind die Analyse weiterer Systementwicklungen wie beispielsweise die Entwicklung von Produktions- und Validierungssystemen.

7 Literaturverzeichnis

- Albers, A. (2018). *Design Research in, with and for companies: How to jointly shape innovations to create benefit for society*. Keynote at DESIGN 2018 Conference, Dubrovnik, Croatia.
- Albers, A., Basedow, G. N., Heimicke, J., Marthaler, F., Spadinger, M. & Rapp, S. (2020). Developing a common understanding of business models from the product development perspective. In *30th CIRP Design Conference. Enhancing design through the 4th industrial revolution thinking* (Bd. 30, S. 875–882).
- Albers, A., Behrendt, M., Klingler, S., Reiß, N. & Bursac, N. (2017). Agile product engineering through continuous validation in PGE – Product Generation Engineering. *Design Science*, 3, 16. <https://doi.org/10.1017/dsj.2017.5>
- Albers, A., Bursac, N. & Wintergerst, E. (2015). Produktgenerationsentwicklung – Bedeutung und Herausforderungen aus einer entwicklungsmethodischen Perspektive. In *Symposium für Produktentwicklung SSP* (o.S.). Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Stuttgart.
- Albers, A., Ebertz, J., Rapp, S., Heimicke, J., Kürten, C., Zimmermann, V. et al. (2020). *Produktgeneration 1 im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung: Verständnis, Zusammenhänge und Auswirkungen in der Produktentwicklung*. *Verständnis, Zusammenhänge und Auswirkungen in der Produktentwicklung* (149). <https://doi.org/10.5445/IR/1000127971>
- Albers, A., Fahl, J., Hirschter, T., Endl, M., Ewert, R. & Rapp, S. (2020). Model of PGE – Product Generation Engineering by the Example of Autonomous Driving. In *30th CIRP Design Conference. Enhancing design through the 4th industrial revolution thinking* (Bd. 91, S. 665–677).
- Albers, A., Haug, F., Heitger, N., Arslan, M., Rapp, S. & Bursac, N. (2016). Produktgenerationsentwicklung – Praxisbedarf und Fallbeispiel in der automobilen Produktentwicklung.
- Albers, A., Haug, F., Heitger, N., Fahl, J. & Hirschter, T. (2019). Entwicklungsgenerationen zur Steuerung der PGE – Produktgenerationsentwicklung: Von der Bauteil- zur Funktionsorientierung in der Automobilentwicklung. In *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung SSP* (S. 253–262). Universität Stuttgart.
- Albers, A., Heimicke, J., Walter, B., Basedow, G. N., Reiß, N., Heitger, N. et al. (2018). Product Profiles: Modelling customer benefits as a foundation to bring inventions to innovations. In *28th CIRP Design Conference* (Bd. 28, S. 253–258).
- Albers, A., Peglow, N., Powelske, J., Birk, C. & Bursac, N. (2018). Coping with Complex Systems-of-Systems in the Context of PGE – Product Generation Engineering. In *28th CIRP Design Conference* (Bd. 70, S. 457–462).
- Albers, A., Rapp, S., Spadinger, M., Richter, T., Birk, C., Marthaler, F. et al. (2019). The Reference System in the Model of PGE: Proposing a Generalized Description of Reference Products and their Interrelations. *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design*, 1(1), 1693–1702. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.175>
- Braun, J., Künnemann, S., Rich, B., Mißler-Behr, M. & Woll, R. (2020). Veränderung von Kundenanforderungen in der Automobilindustrie – Analyse von Experteninterviews. In R. H. Schmitt (Hrsg.), *Datengetriebenes Qualitätsmanagement. Bericht zur GQW-Jahrestagung 2019 in Aachen* (1. Aufl. 2020, S. 144–161). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-62442-5_9
- DIN EN ISO, 9000:2015 (2015). *Qualitätsmanagementsysteme*.
- Henderson, R. & Clark, K. B. (1990). Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 9–30.
- Ili, S., Albers, A., Heismann, R. & Maul, L. (Hrsg.). (2012). *Innovation Excellence. Wie Unternehmen ihre Innovationsfähigkeit systematisch steigern* (1. Aufl.). Düsseldorf: Symposion Publ.

- ISO/IEC/IEEE, 15288 (2015). *Systems and software engineering - System life cycle processes*.
- Jensen, L. S., Özkil, A. G. & Mortensen, N. H. (2016). Prototypes in engineering design: Definitions and strategies. In *14th International Design Conference - Design 2016* (S. 821–830). Dubrovnik, Croatia: Design Society.
- Kadam, S. & Apte, D. (2015). A survey on short life cycle time series forecasting. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM)*, 4(5), 445–449.
- Kotler, P., Keller, K. L. & Opresnik, M. O. (2015). *Marketing-Management. Konzepte, Instrumente, Unternehmensfallstudien* (Bd. 4121, 14., aktualisierte Auflage).
- Pahl, G. & Beitz, W. (2013). *Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung* (8., vollst. überarb. Aufl. 2013). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29569-0>
- Ropohl, G. (2009). *Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik*. KIT Scientific Publishing. https://doi.org/10.26530/OAPEN_422388
- Schuh, G. & Klappert, S. (2011). *Technologiemanagement*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12530-0>
- Schumpeter, J. (1927). The Explanation of the Business Cycle. *Economica*, (21), 286–311. <https://doi.org/10.2307/2548401>
- Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. S.I.: Vienna Springer.
- VDI-Richtlinie, 2221:2019 (2019). *Entwicklung technischer Produkte und Systeme*.
- Wessels, H., Heimicke, J., Rapp, S., Grauberger, P., Richter, T., Matthiesen, S. et al. (2019). Sprintplanung in der Mechatroniksystementwicklung auf Basis von Referenzsystemelementen. In *17. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik: Agile Entwicklung physischer Produkte* (o. S.). <https://doi.org/10.18154/RWTH-2019-08788>

KIT Scientific Working Papers
ISSN 2194-1629

www.kit.edu