

Produktportfolio-übergreifendes Spezifizieren von Produktfunktionen am Beispiel der Sportwagenentwicklung

Product Portfolio-spanning Specifying of Product Functions using the Example of Sports Car Development

Joshua Fahl¹, Tobias Hirschter¹, Albert Albers¹

¹Karlsruher Institut für Technologie (KIT), IPEK – Institut für Produktentwicklung, Karlsruhe
joshua.fahl@partner.kit.edu, tobias.hirschter@partner.kit.edu,
albert.albers@kit.edu

Abstract (deutsch): Das Funktionsspektrum heutiger Generationen hochentwickelter Fahrzeuge hat sich, aufgrund steigender Kunden- und Anwenderanforderungen u.a. an Fahrerassistenz, Digitalisierung und Elektromobilität, im letzten Jahrzehnt mehr als vervierfacht. In der automobilen Entwicklungspraxis lässt sich beobachten, dass solche teilweise komplexen Funktionen übergreifend für das gesamte Produktportfolio eines Anbieters und nicht mehr nur für einzelne, automobiler Produktgenerationen entwickelt werden müssen. Produktentwickler stehen daher vor der Herausforderung, bereits beim Spezifizieren der Funktionen teils diametrale Anforderungen sowie Wechselwirkungen vielfältiger Produktgenerationen aus verschiedenartigen Produktlinien zu berücksichtigen. Im vorliegenden Beitrag wird daher die prozessuale und methodische Entwicklungsunterstützung beim Produktportfolio-übergreifenden Spezifizieren aus Funktionssicht empirisch analysiert, in einem Referenzprozess synthetisiert sowie in der Entwicklungspraxis am Beispiel der Produktfunktion „*Fahrzeugaerodynamik aktiv regeln*“ in der Sportwagenentwicklung angewandt und evaluiert.

Keywords (deutsch):

Produktportfolio-übergreifend, Spezifizieren, Produktfunktion, Sportwagenentwicklung, Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung

Abstract (english): The functional spectrum of today's generations of highly developed vehicles has more than quadrupled due to increasing customer and user requirements, such as driver assistance, digitalization and electro mobility in the last decade. In automotive development practice, it has become apparent that such functions, often complex in nature, no longer have to be developed for individual automotive product generations but rather for the entire product portfolio of a provider. Product developers are therefore faced with the challenge of considering partly diametrical requirements as well as interactions of diverse product generations from different product lines already when specifying the functions. In this paper, the process-related and methodical development support for product-portfolio-spanning specifying is therefore empirically analyzed from a functional point of view, synthesized in a reference process and applied and evaluated in development practice using the example of the product function "*Actively Controlling Vehicle Aerodynamics*" in sports car development.

Keywords (english):

Product Portfolio-spanning, Specifying, Product Function, Sports Car Development, Model of PGE – Product Generation Engineering

1 Herausforderungen und Motivation

Technologische „Quantensprünge“ bei grundlegenden Subsystemen und Infrastruktur bringen in der automobilen Produktentwicklung in zunehmendem Maße Innovationen hervor, die zu neuen, technischen Produkten und Dienstleistungen führen (Beihoff et al. 2014). Hochentwickelte Fahrzeuge, die gegenwärtig am Markt eingeführt werden, müssen von Generation zu Generation steigende Kunden- und Anwenderanforderungen, u.a. an Fahrerassistenz, Digitalisierung und Elektromobilität, befriedigen. Aufgrund dessen hat sich das Funktionsspektrum im letzten Jahrzehnt mehr als vervierfacht (Weissler 2018). Der Fokus liegt hierbei auf den für den Kunden oder Anwender wahrnehmbaren Funktionen, die einen direkt greifbaren Wert oder Nutzen des Gesamtproduktes schaffen. Gleichmaßen zeigt sich in der automobilen Entwicklungspraxis ein kontinuierlicher Trend hin zur übergreifenden Funktionsentwicklung für das gesamte Produktportfolio eines Anbieters. Bedingt durch bspw. Kosten- und Effizienzoptimierungen in der wettbewerbsgetriebenen Automobilindustrie können daher solche mitunter komplexen Funktionen nicht mehr nur für einzelne Fahrzeuge entwickelt werden. Aus diesem Grund hat der bspw. der Volkswagen-Konzern eine neue Gesellschaft zur übergreifende Funktionsentwicklung gegründet. Im Zuge dessen soll die *Car.Software-Organisation* Synergien und Skaleneffekte durch eine Produktportfolio-übergreifende Entwicklung von Produktfunktionen – zunächst mit hohem Software-Anteil – für alle Konzernmarken ausschöpfen und realisieren (Volkswagen AG 2019). Das Zusammenführen teils diametraler Anforderungen sowie Wechselwirkungen vielfältiger Produktgenerationen aus verschiedenartigen Produktlinien stellt Produktentwickler*innen bereits beim Spezifizieren der Funktionen vor ein komplexes Problem. Eine verstärkte Einführung des Systems Engineering Ansatzes verspricht in diesem Kontext die Sicherstellung von Transparenz und Durchgängigkeit zwischen den einzelnen Fahrzeugen bzw. Produktfunktionen des gesamten Produktportfolios in der Produktspezifikation (Königs et al. 2012).

2 Grundlagen und Stand der Forschung

2.1 Systemisches Verständnis in der Produktentwicklung

Das übergeordnete Ziel der Aktivitäten in der Produktentwicklung ist die Generierung funktionsfähiger, produzierbarer und letztlich vermarktungsfähiger Produkte (Ponn und Lindemann 2011). Die Verantwortung konzentriert sich in der Entwicklungsorganisation, die jedoch über vielfältige Schnittstellen verfügt und zunehmend *interdisziplinäre Problemlösungsteams* einsetzt (Ehrlenspiel 2009). Darüber hinaus verschiebt sich der Entwicklungsfokus zunehmend von singulären Produktgenerationen auf der Abstraktionsebene ganzer *Produktlinien* (konsekutive Generationen von bspw. Fahrzeugen) oder gar des gesamten *Produktportfolios* eines Anbieters (Fahl et al. 2019). Aus diesen Gründen ist ein *systemisches Verständnis des Produkts und der Entwicklungsaufgabe* unerlässlich. Geboren aus der Notwendigkeit heraus, mit der Komplexität in der Luft-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie umzugehen, beruhen die Praktiken des *Systems Engineering* in erster Linie auf Erfahrung – Versuch und Irrtum (Beihoff et al. 2014). Im Laufe der Zeit wurden *Heuristiken* entwickelt, um komplexe Probleme systematisch anzugehen und Produkte und deren Wechselwirkungen ganzheitlich zu betrachten. Eine Fragebogenstudie zu den Herausforderungen im Zeitalter der Digitalisierung konnte darüber hinaus den hohen praktischen Bedarf an *Funktionsorientierung in Produktentwicklungsprozessen* identifizieren (Albers et al. 2018). Der Entwicklungsansatz der *modellbasierten Systementwicklung* (MBSE, engl. Model-Based Systems Engineering) integriert Prozesse und Methoden des Systems Engineerings mit dem Potenzial einer verbesserten Beherrschung von Komplexität im Entwicklungsprozess durch die Verwendung eines *zentralen, visualisierten Modells* für die Produktspezifikation (D'Ambrosio und Soremekun 2017). Das interdisziplinäre Modell kann hierbei von den unterschiedlichen Stakeholdern genutzt sowie bearbeitet werden und erhöht die Systemqualität durch eine Erweiterung des Wissensmanagements (Walden et al. 2017).

2.2 Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung

Das *Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung* nach Albers et al. (2015) beschreibt Produktentwicklung auf Basis der prinzipiellen Annahme einer gezielten Verwendung bereits existierender *Referenzsystem-Elemente* (RSE) als Grundlage für die Entwicklung eines neuen Produkts. Ausgehend vom sogenannten *Referenzsystem* (Albers et al. 2019) können die RSE durch die drei *Variationsarten* der *Prinzip-, Ausprägungs- und Übernahmevariation* in ein neues Entwicklungsprojekt systematisch überführt werden (Albers et al. 2020c). Die Annahme der Existenz eines Referenzsystems basiert dabei auf Beobachtungen aus praktischen Entwicklungsprojekten. Produktentwickler*innen streben grundsätzlich, unter Sicherstellung ausreichender Innovationskraft, einen geringen Neuentwicklungsanteil an, um Aufwände und Risiken in Folge unbekannter Wechselwirkungen zu reduzieren (Ehrlenspiel und Meerkamm 2013). In einem generischen *Referenz-Produktmodell* strukturieren Albers et al. (2020b) technische Produkte nach den drei *Systemsichten Eigenschaften, Funktionen* und *physischen Elementen* entlang verschiedener *Systemebenen* (Supersystem(e), Gesamtsystem, Subsystem(e)). In diesem Zusammenhang wird eine *Produktfunktion* im Modell der PGE definiert als eine *Funktion* eines technischen Systems, anhand der sich eine *lösungsoffene Wirkbeziehung des Gesamtproduktes* zwischen einer Menge von *initiierenden Ereignissen* und *resultierenden Ergebnissen* sowie den (inhärenten) *Zuständen* aus u.a. Kunden-, Anwender- und/oder Anbietersicht in einem *definierten Kontext* beschreiben lässt (Albers et al. 2020a).

2.3 Produktspezifikation in der Frühen Phase der Produktentwicklung

Der *Produktspezifikation* wird eine zentrale Rolle im Entwicklungsprozess zuteil. Die *formale Beschreibung des Produkts* (Lindemann 2009) in einer Spezifikation dient der Definition *wesentlicher Anforderungen hinsichtlich der technischen Umsetzung* (Albers et al. 2018). Die Produktspezifikation ist Bestandteil des *Zielsystems* einer Produktgeneration und enthält u.a. eingesetzte Technologien, Funktionen sowie Übernahme- und Neuentwicklungsanteile der entsprechenden Systemelemente (Albers et al. 2017). Die Spezifikation stellt somit die Dokumentation relevanter Ziele dar, auf der die weitere Entwicklungsarbeit basiert. Infolgedessen wird zum Abschluss der *Frühen Phase im Modell der PGE* eine valide Bewertung des zu entwickelnden technischen Produkts hinsichtlich der *relevanten Parameter* (z.B. Herstellbarkeit, notwendige Ressourcen) sowie des *technischen* und *wirtschaftlichen Risikos* ermöglicht. Gleichmaßen dient die Produktspezifikation in der industriellen Praxis oftmals der Kommunikation und Verhandlung zwischen *Auftraggeber* und (externem) *Auftragnehmer* (Lindemann 2009; Nellore und Söderquist 2000). Die Spezifikation wird im weiteren Verlauf des Produktentwicklungsprozesses als offenes Medium kontinuierlich angepasst und erweitert (Darlington und Culley 2002). Neben der *Spezifikation i.S.v. Artefakt* bezeichnet das *Spezifizieren* im Rahmen des Prozesses der Entstehung zudem eine *Aktivität* (Nellore und Söderquist 2000).

2.4 Fazit: Forschungsbedarf der vorliegenden Arbeit

Die Betrachtung von *Produktfunktionen* in den Aktivitäten der Spezifikation bieten die Chance, einerseits die Stakeholdersicht in der Frühen Phase zu stärken und dies andererseits mit Methoden zur Unterstützung der Produktentwickler*innen zu verknüpfen. Hierbei sollte ein *Produktportfolio-übergreifender Fokus* gesetzt werden, um *Synergiepotentiale* zu heben und Aufwand, Kosten und Zeit zu sparen. Die logische Konsequenz daraus ist der Bedarf an *prozessualer Entwicklungsunterstützung* beim *Spezifizieren solcher Funktionen*, die – analog der Baukastenentwicklung physischer Elemente – in mehreren Produktgenerationen verschiedener Produktlinien im Portfolio eingesetzt werden sollen.

3 Forschungsprofil

Die Forschungsarbeit untersucht das übergreifende Spezifizieren aus Funktionssicht in zunehmend diversifizierten Produktportfolios. Der Untersuchungsgegenstand ist insbesondere die automobile

Produktentwicklung eines Original Equipment Manufacturer (OEM). Ziel ist es, den/die Produktentwickler*in beim Produktportfolio-übergreifenden Spezifizieren von Produktfunktionen methodisch und prozessual in der Produktspezifikation effektiv zu unterstützen. Angesichts der Operationalisierung der Zielsetzung sollen folgende Forschungsfragen (FF) das Vorgehen strukturieren:

- FF1** *Wie und wann werden Produktfunktionen aktuell für einen übergreifenden Einsatz in unterschiedlichen Fahrzeugen des Produktportfolios eines OEM spezifiziert?*
- FF2** *Wie lässt sich ein Vorgehen zum Spezifizieren aus Funktionssicht deduzieren und methodisch für den/die Produktentwickler*in unterstützen?*
- FF3** *Wie effektiv kann der/die Produktentwickler*in einen Referenzprozess und methodische Unterstützung in der Sportwagenentwicklung anwenden?*

Die Vorgehensweise innerhalb des Forschungsprojektes wurde systematisch geplant, um belastbare Ergebnisse zu erzeugen und eine nachvollziehbare Argumentationskette aufzubauen. Grundlage bildete die *Design Research Methodology* (DRM) nach Blessing und Chakrabarti (2009). Dazu wurde zunächst eine *Deskriptive Studie I* (DS-I) zur Analyse der Herausforderungen und möglicher Lösungsansätze in der automobilen Produktentwicklung durchgeführt. Die Erkenntnisse wurden anschließend in der *Präskriptiven Studie* (PS) in Form eines Referenzprozesses und methodischer Unterstützung der Produktentwickler*in synthetisiert. Zu guter Letzt erfolgte eine Evaluation der entwickelten Systematik in der *Deskriptiven Studie II* (DS-II) anhand der Produktfunktion „*Fahrzeugaerodynamik aktiv regeln*“ in der Sportwagenentwicklung.

4 Empirische Untersuchung der Herausforderungen und Analyse möglicher Lösungsansätze der Spezifikation aus Funktionssicht (DS-I)

Zu Beginn des Forschungsprojektes wurden in der *Deskriptive Studie I* zunächst *Prozesse, Methoden* und *Artefakte* in Bezug zur funktionalen Produktspezifikation in der automobilen Produktentwicklungspraxis analysiert. Ziel der Studie war es, Schwachstellen, Herausforderungen und Verbesserungspotenziale der aktuellen Entwicklungsprozesse von Funktionen, die in mehreren Produktlinien des Portfolios eingesetzt werden sollen, einzugrenzen. Zu diesem Zweck sollte die *erste Forschungsfrage* in einer 3-jährigen teilnehmenden Beobachtung sowie Expertengesprächen bei einem deutschen, automobilen Original Equipment Manufacturer (OEM) beantwortet werden.

4.1 Analyse von Prozessen und Methoden der funktionalen Produktspezifikation in der automobilen Produktentwicklungspraxis

Schnittstellen der Entwicklung von Funktionen in der Frühen Phase sowie die existierenden Methoden und Werkzeuge, die den/die Produktentwickler*in dabei unterstützen, wurden in einem ersten Schritt in der Forschungsumgebung analysiert. Daran anknüpfend wurden die Prozesse und Meilensteine der Funktionsentwicklung in den automobilen Produktentstehungsprozess (PEP) eingeordnet. Anschließend folgte eine Erforschung zugehöriger Artefakte, die im Laufe der Spezifikation von Funktionen erzeugt werden, um ein tieferes Verständnis zu gewinnen. Diese Inhaltsanalyse in der automobilen Produktspezifikation wurde mit der Synthese der Erkenntnisse abgeschlossen.

In dieser Forschungsarbeit werden Produktfunktionen betrachtet, die nicht nur Produktgenerations-spezifisch, sondern in mehreren Produktlinien des Produktportfolios eines Anbieters eingesetzt werden sollen. Eine bedeutende Rolle hierbei spielt insbesondere die Verknüpfung zu den Eigenschaften. Der kontinuierliche Anstieg von Produktlinien, Produktvarianten sowie die steigenden Stakeholder-Anforderungen in Bezug zur Individualisierung von Fahrzeugen ist ein weiterer Komplexitätstreiber (Lindemann et al. 2006). In der Entwicklungspraxis in der Frühen Phase lässt sich die Spezifikation des initialen Zielsystems in den *Eigenschafts- und den Funktionsdefinitionsprozess* gliedern (vgl. Bild 1). In diesem Zusammenhang handelt es sich um Produktgenerations-spezifische

Prozesse, indem bspw. insbesondere Funktionen jeweils nur spezifisch für ein Fahrzeugprojekt definiert werden. Aus Eigenschaftssicht erfolgt eine Definition jedoch teilweise auf Grundlage des strategischen Produktportfolios. Im Kontrast zur Baukastenentwicklung existiert bisher kein systematisches Vorgehen zur Produktportfolio-übergreifenden Entwicklung von Produktfunktionen.

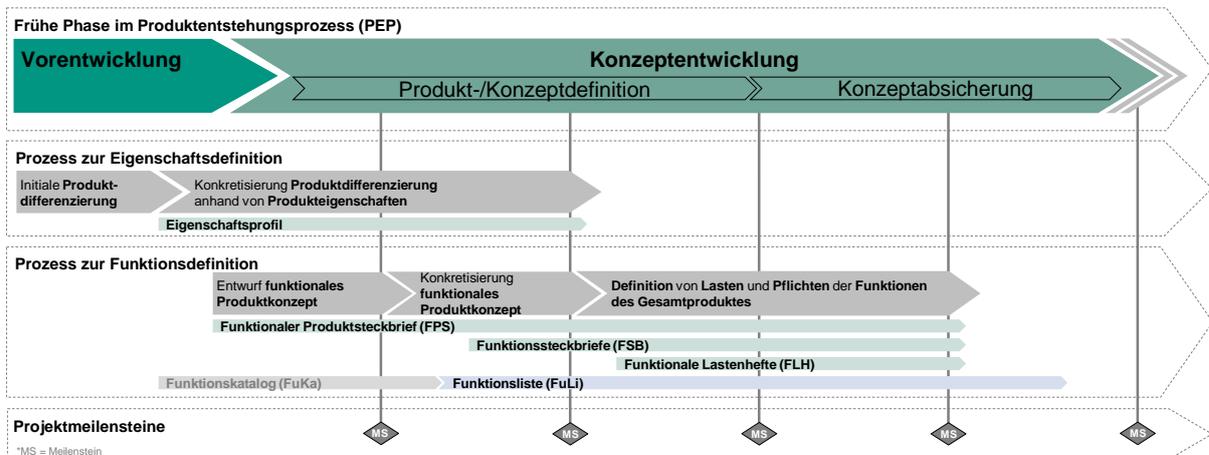


Bild 1: Einordnung der Methoden und Werkzeuge der Funktionsentwicklung in den Produktentstehungsprozess (PEP)

Der Entwicklungsprozess von Funktionen wird durch einige Methoden und Werkzeuge zumindest Produktgenerations-spezifisch unterstützt. Die im Rahmen der Methoden- und Dokumentenanalyse identifizierten Artefakte können – wie in Bild 1 abgebildet – im PEP in die Funktionsentwicklung eingeordnet werden. Insgesamt wird ersichtlich, dass die Funktions-Artefakte teilweise unvollständig und auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen vorhanden sind. Produktfunktionen, die in mehreren Produktlinien eingesetzt werden sollen, sind vor allem durch den sogenannten „Ersteinsetzer“ getrieben. Vor diesem Hintergrund kann es zu einer *unzureichenden Berücksichtigung oder Intransparenz von Anforderungen* (i.S.v. „Scheuklappen“-Sicht) weiterer Produktlinien und deren -generationen kommen. Im schlimmsten Fall führt das dazu, dass die Funktion in weiteren Produktlinien noch einmal einzeln entwickelt werden muss, da ggfs. keine Entwicklungssynergien realisiert wurden. Des Weiteren gibt es *keine strukturierte Betrachtung der Auslöser* von Produktportfolio-übergreifenden Funktionen. In dieser Betrachtung können *endogene* (bspw. Technologie, Strategie) und *exogene Faktoren* (bspw. Wettbewerb, Gesetze) differenziert werden. Zudem kann eine *Unterscheidung zwischen neuen, weiterzuentwickelnden sowie stillzulegenden Funktionen* getroffen werden. Auf dieser Basis könnte eine Abschätzung oder strategische Definition der *Übernahme- und Neuentwicklung von Funktionen* – in Analogie zu dem Verständnis der Variationsarten im Modell der PGE – Indizien für einerseits *Innovationspotenzial* und andererseits *Entwicklungsrisiko* bereits in der Frühen Phase liefern. Weiterhin existiert die Herausforderung, belastbare Aussagen über *Vollständigkeit* und *Konsistenz* zwischen „funktionalem“ Portfolio und den einzelnen Produktgenerationen zu treffen. Ebenso gilt dies gleichermaßen, um frühzeitig relevante Produktgenerationen zu einer generierten Funktionsidee zu identifizieren. Den Entscheidern fällt es daher schwer, *Funktionen objektiv zu priorisieren*, und sie fassen Entschlüsse zu neuen Funktionsideen in der Frühen Phase oftmals „aus dem Bauch heraus“. Die Entwicklung einer *systematischen Bewertung und Auswahl von Funktionsideen* in der Frühen Phase kann strukturierte Entscheidungen auf der Abstraktionsebene des Produktportfolios fördern und auf die Produktgenerations-spezifische Spezifikation funktionaler Produktkonzepte übertragen.

Die tiefgreifende Methoden- und Dokumentenanalyse konnte *verschiedene Abstraktionsgrade von Funktionen* in den unterschiedlichen Artefakten herauskristallisieren. Diese *Systemebenen*, auf denen Funktionen beobachtbar sind, werden teilweise *spezifisch für Fachbereiche* oder *externe Dienstleister* festgelegt. Durch die mitunter *singuläre Betrachtung* innerhalb der Organisationsstrukturen, sind die

Funktionssicht durch den/die Produktentwickler*in. Die Systematik muss dabei ebenso frühzeitig funktionale Weiterentwicklungen in Generationen vorausdenken und die Spezifikation von Produktfunktionen mit Realisierungsphase und ggf. der Beendigung des Funktionslebenszyklus verknüpfen.

5 Produktportfolio-übergreifendes Spezifizieren von Produktfunktionen (PS)

Mit dem Ziel, den/die Produktentwickler*in beim Produktportfolio-übergreifenden Spezifizieren von Produktfunktionen der automobilen Produktentwicklung prozessual und methodisch zu unterstützen, wird in der *Präskriptiven Studie* (PS) ein *Referenzprozess im Modell der PGE* vorgestellt. Vor diesem Hintergrund wird die *zweite Forschungsfrage* beantwortet.

5.1 Referenzprozess zum Produktportfolio-übergreifenden Spezifizieren von Produktfunktionen

In Anlehnung an die Phasen des Produktlebenszyklus und der Produktentstehung (VDI-Richtlinie 2221-1:2019-11) differenziert der Referenzprozess zum *Produktportfolio-übergreifende Spezifizieren von Produktfunktionen* die vier Phasen *Generierung und Priorisierung Funktionsidee(n)* [1], *Spezifikation Produktfunktion* [2], *Realisierung Produktfunktion* [3] und optional die *Stilllegung Produktfunktion* [4].



Bild 3: Referenzprozess zum Produktportfolio-übergreifenden Spezifizieren von Produktfunktionen im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung

Die erste Phase des Referenzprozesses „*Generierung und Priorisierung von Funktionsidee(n)*“ initiiert das Funktionsprojekt, analysiert Umfeld und Trends zur Bedarfseingrenzung und -bewertung und sucht nach alternativen Funktionsprofile zur identifizierten Bedürfnissituation. Anschließend erfolgt eine systematische Auswahl der Funktionsprofile und Bewertung der Funktionsideen anhand der Formel *Weighted Shortest Job First* (WSJF, vgl. Leffingwell (2011)) Formel über das Konsent-Prinzip. Hierbei werden *Markt- und Entwicklungspotenzial* sowie *Zeitkritikalität* (i.S.v. „*Kosten der Verzögerung*“) dem *Entwicklungsaufwand* und *-risiko* (i.S.v. „*Größe des Entwicklungsauftrags*“) gegenübergestellt. In der zweiten Phase „*Spezifikation Produktfunktion*“ wird die Produktfunktion in die funktionalen Produktkonzepte verschiedener Produktgenerationen integriert. Anknüpfend daran wird das funktionsspezifische Zielsystem definiert und die Produktfunktion modelliert bzw. in Produktgenerations-spezifische Produktmodelle überführt. Die dritte Phase „*Realisierung Produktfunktion*“ zielt auf die Markteinführung der Produktfunktion. In den festgelegten Entwicklungsgenerationen wird jeweils der Reifegrad geplant, die Entwicklungsgeneration spezifiziert und die Spezifikation bewertet. Die vierte Phase „*Stilllegung Produktfunktion*“ bezweckt die Beendigung des Lebenszyklus einer am Markt eingeführten Produktfunktion oder einer ihrer spezifischen Generationen. Diese letzte Phase lehnt sich dabei an die Aktivitäten der vorigen Phasen an (vgl. Bild 3).

5.2 Methodische Entwicklungsunterstützung beim Spezifizieren aus Funktionssicht

Die Verknüpfung zwischen der strategischen Ausrichtung bzw. des zukünftigen Produktportfolios wird über eine *Vollständigkeits- und Konsistenzanalyse* mit dem funktionalen Portfolio realisiert und in einer sogenannten *Produktfunktions-Roadmap* aggregiert und organisiert (vgl. Bild 4). Die Produktfunktions-Roadmap ist als eine Art „*funktionaler Baukasten*“ zu verstehen, in dem alle Produktfunktionen des gesamten Produktportfolios eines Anbieters zusammengeführt werden. Die in Generationen entwickelten Produktfunktionen werden in der Roadmap, nach Eigenschaften gruppiert, visualisiert. Hierzu zählen alle Produktfunktionen, die auf dem Markt eingeführt sind/ waren, sich in der Entwicklung befinden oder nur als Funktionsideen für die Zukunft geplant sind – unabhängig davon, ob diese bereits einer oder mehrerer Produktgenerationen des Produktportfolios zugeordnet wurden. Dementsprechend können Produktfunktionen oder Funktionsideen aufgrund ihres *lösungsoffenen Charakters* unabhängig von einzelnen Produktgenerationen spezifiziert werden.

Legende:

- Fkt_i Produktfunktion in der Generation $i \in \mathbb{N}$
- erforderliche Technologie
- optional umsetzbar mit Technologie
- keine Umsetzung der Produktfunktion Fkt_i
- ? Prüfauftrag zur Umsetzung der Produktfunktion Fkt_i

Produktfunktionen und Funktionsidee(n)		(Erforderliche) Technologien und Ressourcen					Konsistenz- und Vollständigkeitsanalyse								
		Antriebskonzept					Jahr								
Bezeichnung		Generation in Entwicklung (n)	VKM	PREV	BEV	Produktlinie		Produktgeneration		2017	2018	2019	2020	2021	
Produktgeneration A	Produktfunktion A	$Fkt_1 n=5$		•	○					p_1	p_2	p_3	p_4	p_1	p_5
	Produktfunktion B	$Fkt_2 n=8$	•	○	•				G_3	G_2	G_7	G_2	G_3	G_4	G_1
	Produktfunktion C	$Fkt_2 n=2$	○	•											
	Produktfunktion D	–	•	○	•										
	Bedarf einer neuer Produktfunktion				•										
[...]	[...]	[...]													
Produktgeneration B	Produktfunktion Q	$Fkt_3 n=3$	○	○	•										
	Produktfunktion R	–	•	○											
	Produktfunktion S	$Fkt_2 n=7$	•												
	Funktionsidee C	$Fkt_1 n=1$		•	○										
[...]	[...]	[...]													
[...]	[...]	[...]													

Bewertungsmaßstab

- Totale Konsistenz
- Partielle Konsistenz
- Neutral
- Partielle Inkonsistenz
- Totale Inkonsistenz

Bild 4: Produktfunktions-Roadmap als Instrument zur Konsistenz- und Vollständigkeitsanalyse

Rechts neben der *Bezeichnung einer Produktfunktion* wird, wie in Bild 4 dargestellt, die aktuelle Generation ebendieser in der Entwicklung angegeben. Darunter ist jeweils die Generation der Produktfunktion Fkt_n , die als nächstes in den Markt eingeführt wird (heutiger Zeitpunkt) zu verstehen. Ferner können bereits generierte und priorisierte Funktionsideen in der Roadmap berücksichtigt werden. Die Informationen aus einer etwaigen Technologie- und Ressourcen-Roadmap werden in den Spalten rechts davon mit der jeweiligen Produktfunktion verknüpft. In diesem Schritt kann zwischen *optional* und *erforderlichen Technologien/Ressourcen* differenziert werden. Die mitunter wichtigste Verknüpfung in der Produktfunktions-Roadmap stellt die Verbindung spezifischer Generationen der Produktfunktion mit den einzelnen *Produktgenerationen des Produktportfolios* dar. Essentiell ist, dass alle Produktgenerationen aller Produktlinien erfasst werden, die sich aktuell am Markt oder der Entwicklung befinden oder geplant sind. Zudem sollten die Produktgenerationen zeitlich nach ihrem Markteinführungszeitpunkt sortieren werden (vgl. Bild 4). Die explizite Generation der Produktfunktion, die umgesetzt wird oder werden soll, kann dementsprechend in den einzelnen Zellen, die jeweils eine Produktfunktion mit einer spezifischen Produktgeneration verknüpfen, angegeben werden. In der Entwicklungspraxis lässt sich beobachten, dass insbesondere aufgrund von Unsicherheiten in der Frühen Phase der automobilen Produktentwicklung das Produkt noch nicht vollumfänglich spezifiziert ist, weshalb die Markierung von sogenannten funktionalen „*Prüfaufträgen*“ über ein „?“ dargestellt werden kann. Die *Produktfunktions-Roadmap* kann nicht nur als *Planungs- und Steuerungswerkzeug* des *funktionalen Portfolios eines Anbieters* genutzt werden, sondern ermöglicht durch ihre Struktur die *Analyse der Vollständigkeit sowie Konsistenz zwischen Produktfunktion und Produktgeneration*. Die Einfärbung der Zelle gemäß des in Bild 4 erläuterten *Bewertungsmaßstabes* zeigt die jeweilige Konsistenz zwischen der (Generation der) Produktfunktion und Produktgeneration.

Auf Grundlage der Produktfunktions-Roadmap können anschließend gemäß dem Referenzprozess die funktionspezifischen Zielsysteme definiert werden. Ausgewählte Methoden und Werkzeuge, die den/die Produktentwickler*in unterstützen werden in der folgenden Evaluation beispielhaft erläutert.

6 Evaluation der Systematik am Beispiel von Produktfunktionen der Fahrzeugaerodynamik in der Sportwagenentwicklung (DS-II)

In der *Deskriptiven Studie II* wurde die entwickelte Systematik über eine Fallstudie in der Sportwagenentwicklung evaluiert, um die effektive Anwendbarkeit der Unterstützungswerkzeuge zu zeigen. Der Fokus wird in der vorliegenden Forschungsarbeit hierbei auf die Evaluation der zweiten Phase des Referenzprozesses (vgl. Bild 3) gelegt. In diesem Rahmen erfolgte zudem eine kritische Ergebnis- und Erkenntnisdiskussion mit dem Ziel die dritte Forschungsfrage zu beantworten.

Denkt man an einen Sportwagen, stellt man sich meist ein „windschnittig gebautes [zweisitiges] Auto mit starkem Motor“ (Dudenredaktion n.d.) in allen möglichen und unmöglichen, dynamischen Fahrzuständen vor. Die Windschlüpfrigkeit von Sportwagen hat seit dabei einen enormen Stellenwert in der Produktentwicklung, da der Luftwiderstand eines Fahrzeugs sich als den größten Verlustfaktor bei höheren Geschwindigkeiten ausmacht. Gleichmaßen können die Ausprägungen von Geradeauslauf, die Brems- und Lenkeigenschaften sowie das Kurven- und Seitenwindverhalten gerade im hohen Geschwindigkeitsbereich durch eine intelligente (adaptive) Fahrzeugaerodynamik positiv gesteuert werden. Die Produktfunktion „Fahrzeugaerodynamik aktiv regeln“ kombiniert in Sportwagen die Funktionalitäten eines ausfahrbaren Frontspoilers mit einem verstellbaren Heckflügel, um auf der Rennstrecke hohe Abtriebswerte auf der Vorder- und Hinterachse für optimale Fahrleistung und bedarfsabhängig im Alltag einen parkhaustauglichen Böschungswinkel (bzw. Bodenfreiheit) umzusetzen. (Meder et al. 2014)

In der Evaluation der Entwicklungsunterstützung der zweiten Phase des Referenzprozesses wurde folglich die Produktfunktion „Fahrzeugaerodynamik aktiv regeln“ als Anwendungsbeispiel verwendet. Die Produktfunktion wird Produktportfolio-übergreifend sowohl in einigen funktionalen Produktkonzepten als auch Produktgenerationen am Markt und in der Entwicklung des betroffenen OEMs integriert und umgesetzt. In einem ersten Schritt wurde dazu ausgehend von der Produktfunktions-Roadmap (vgl. Bild 4) das funktionspezifische Zielsystem (vgl. Subphase 2.2) über einen sogenannten *Funktionssteckbrief* (FSB, vgl. Bild 5) definiert.

Produktfunktion	Generation	Funktionsverantwortlicher	Fachbereich	$c_{w,Porsche.911.tarbo}$...	1. Markteinführung	Ausblick Stilllegung
Fahrzeugaerodynamik aktiv regeln	I	Mustermann, Max	EPA	X		09/2013	-
Funktionsbeschreibung		Funktionale Referenzsystem-Elemente		Mögliche Weiterentwicklung/Stilllegung			
Aktive Koordination der Um- und Durchströmung des Fahrzeugs zur Sicherstellung der maximalen Effizienz bzw. Performance je nach Betriebszustand mit hoher aerodynamischer Fahrstabilität. Der Fahrer kann zudem über Fahrprogramme definierte Strategien der Fahrzeugaerodynamik auswählen oder direkt bedienen.		Funktionalität der Fahrzeugaerodynamik aus dem Serienfahrzeug „Supersportwagen“ sowie weiteren Motorsport-Fahrzeugen der OEMs		* [...]			
Initiiierende Ereignisse		Resultierende Ergebnisse		Lösungsoffene Funktionsarchitektur			
<ul style="list-style-type: none"> Fahrer möchte sportliches Fahrverhalten festlegen Fahrer möchte effizientes Fahrverhalten festlegen Fahrzeug wird mit offenem Verdeck bewegt Fahrzeugverzögerung [...] 		<ul style="list-style-type: none"> Optimales Setup der Fahrzeugaerodynamik bspw. für gute Rundenzzeit auf der Rennstrecke Sportsparendes oder hochleistungsoptimiertes Fahren Kompensation der negativen, aerodynamischen Effekte durch offenes Verdeck auf Fahrstabilität Aerodynamische Unterstützung zur Erreichung eines möglichst kurzen Bremswegs 					
Anforderungen		Initiiierende/beeinflusste Eigenschaften		Lösungsspezifische Funktionsarchitektur			
<ul style="list-style-type: none"> Parkhaus-tauglicher Böschungswinkel <10° [...] 				* [...]			
Validierung der Funktion durch ...							
<ul style="list-style-type: none"> Entwicklungsgenerationen (virtuell/physisch) der Produktlinie A 							
Physische Elemente							
<ul style="list-style-type: none"> Spoilersystem (Front/Heck), Kühlflügel, Verdecksystem inkl. Windschott oder Schiebedachsystem inkl. Windabweiser, [...] UX-Relevanz: Kombiinstrument, Centerdisplay, Fahrprogrammsschalter, [...] [...] 							
Relevant für Function-on-Demand <input type="checkbox"/>		Relevant für Connect-Verbund <input type="checkbox"/>		Realisierung in E/E-Architektur A <input type="checkbox"/>		Realisierung in E/E-Architektur C <input checked="" type="checkbox"/>	
Relevant für [...] <input checked="" type="checkbox"/>				Realisierung in E/E-Architektur B <input type="checkbox"/>		Realisierung in [...] <input checked="" type="checkbox"/>	

Bild 5: Beispielhafter Funktionssteckbrief (FSB) der Produktfunktion „Fahrzeugaerodynamik aktiv regeln“

Auf Grundlage des FSB kann eine detaillierte Modellierung und schlussendlich valide Bewertung der zu entwickelnden Produktfunktion hinsichtlich der relevanten Parameter (z.B. Eigenschaftserfüllung) sowie des technischen und ökonomischen Risikos durchgeführt werden. In Zuge der Anwendung der Entwicklungsunterstützung zeigte sich darüber hinaus, dass die Festlegung eines Funktionsverantwortlichen im Sinne eines „*Single-Point-Of-Truth*“ (dt. ein einziger Punkt der Wahrheit) förderlich ist, um Klarheit über lösungsoffene und -spezifische Inhalte der Produktfunktion zu schaffen und das Verbreiten von falschem Wissen zu unterbinden. In weiteren Schritten wurde die Produktfunktion inkl. der Vernetzung und Schnittstellen zu den initiiierenden und beeinflussten Eigenschaften, den Subfunktionen sowie den notwendigen physischen Elementen funktionspezifisch in Microsoft PowerBI modelliert (vgl. Albers et al. (2020a)). Über Interviews und Expertengespräche konnte positives Feedback über den Nutzen dieser Art und Weise der funktionspezifischen Modellierung gewonnen werden. Gerade die weitere Nutzung bzw. Umsetzung in MBSE-Modellen oder der Einsatz in der Realisierungsphase (z.B. zur Validierung in der Serienentwicklung) ist ein großes Potenzial des Modells. Trotz der vergleichsweise einfachen Integration und Anwendbarkeit wurde registriert, dass der Aufwand für die initiale Erstellung wie auch Pflege/Änderungsmanagement des Modells gesteigert wurde. Durch den Produktlinien- und Produktgenerations-übergreifenden Einsatz des Modells und den damit verbundenen Nutzen (z.B. bei der Spezifikation von funktionalen Produktkonzepten und der Erprobung in der Serienentwicklung) konnte dies jedoch relativiert werden.

Zur Beschließung der initialen Evaluation der zweiten Phase des Referenzprozesses wurde am Beispiel der Produktfunktion „*Fahrzeugaerodynamik aktiv regeln*“ die methodische Modellierung (vgl. Subphase 2.3) im No Magic Cameo Systems Modeler angewendet, evaluiert und mit Experten kritisch diskutiert. Die modellierten Wirkbeziehungen und Zusammenhänge der Produktfunktion wurden anknüpfend daran in die Produktmodelle von zunächst zwei Fahrzeugprojekten in der Entwicklung des OEMs integriert. Ein beispielhafter Ausschnitt der Cameo Modellierung ist in Bild 6 dargestellt.

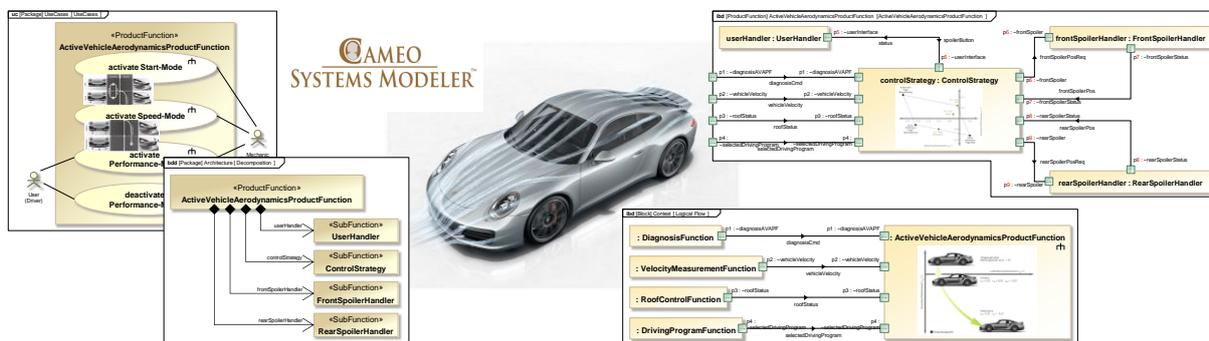


Bild 6: Beispielhafter Ausschnitt aus einem spezifizierten Produktmodell in No Magic Cameo Systems Modeler

Die existierende, funktionspezifische Modellierung wurde in ein konsistentes, interdisziplinäres SysML-Modell im Sinne des MBSE überführt. Die durchgeführte Modellierung dient dazu, die Rückverfolgbarkeit (*engl.* traceability) und Transparenz sicherzustellen. Sofern alle komplexen Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen Eigenschafts-, Funktions- und physischer Sicht abgebildet sind, können automatisiert spezifische Sichten für Produktentwickler*innen oder Anwendungsfälle auf nur einen Teil des Modells ausgeleitet werden. Diese Ausschnitte können wiederum die Grundlage für weitere Analysen, Simulationen oder Identifikation von Zielkonflikten bilden. Die Bedeutung von MBSE in automobilen Entwicklungsprozessen wurde durch die befragten Experten mehrheitlich bestätigt. Das genutzte Modellierungsframework nach Albers et al. (2021) förderte zudem das Verständnis des Modellierungsansatzes bzw. der entsprechenden Methode. Zunächst wurde die Modellierung zur retrospektiven Abbildung der Produktfunktion genutzt und als zielsicheres und effektives Entwicklungswerkzeug wahrgenommen. Großes Potenzial und Nutzen wurde laut der Experten in der Unterstützung von Entscheidungsprozessen oder externer Kommunikation beobachtet. Weiterhin ergaben sich Möglichkeiten der Nutzung modellierter

Informationen und teilautomatisiert erstellter Ausschnitte in verknüpften Methoden wie der Reifegrad- oder Risikobewertung. Die gewonnenen Erkenntnisse der Anwendung in der automobilen Produktentwicklungspraxis unterstützten die positive Bewertung der prozessualen und methodischen Unterstützung durch den entwickelten Referenzprozess im Modell der PGE.

7 Ausblick

Wenngleich eine Übertragbarkeit auf weitere automobile OEMs oder Zulieferer in einem gewissen Umfang valide erscheint, erhebt der Beitrag keinen Anspruch auf bedingungslose Repräsentativität des Produktportfolio-übergreifenden Spezifizierens von Produktfunktionen und bietet daher Potenzial weitere Forschungsprojekte anzuschließen. Aufgrund zeitlicher Limitationen erfolgte noch keine Evaluation der dritten und vierten Phase des entwickelten Referenzprozesses. Die Erkenntnisse weisen auf übergeordnete Synergiepotenziale zwischen verschiedenen OEMs der Automobilindustrie und eine Abstraktion des Spezifizierens sogenannter *funktionaler Portfolios* verschiedener Anbieter oder gar einer ganzen Domäne hin. Beispielhaft hierfür sind die aktuellen Diskussionen in Bezug auf eine OEM-übergreifende Standardisierung von bspw. einem „Parkhauspiloten“. Anschließend an die Entwicklung eines Referenzprozesses und methodischer Entwicklungsunterstützung, liegt Forschungsbedarf in einer zuträglichen Referenz-Organisationsstruktur. Dementsprechend empfiehlt sich eine gleichzeitige Betrachtung und Ergänzung organisationaler Strukturen und Arbeitskreise mit den Aufgaben und Kompetenzprofilen involvierter Produktentwickler*innen, die Handlungen des Spezifizierens von Produktfunktionen in der Organisationsstruktur ausüben.

Literaturverzeichnis

- Albers et al. 2015 ALBERS, A. ; BURSAC, N.; WINTERGERST, E.: *Produktgenerationsentwicklung: Bedeutung und Herausforderungen aus einer entwicklungsmethodischen Perspektive*. In: *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung (2015)*
- Albers et al. 2020a ALBERS, A.; FAHL, J.; HIRSCHTER, T.; HAAG, S.; HÜNEMEYER, S.; STAIGER, T.: Defining, Formulating and Modeling Product Functions in the Early Phase in the Model of PGE – Product Generation Engineering. In: *Proceedings of 6th IEEE ISSE 2020, 2020a*
- Albers et al. 2020b ALBERS, A.; HIRSCHTER, T.; FAHL, J.; WÖHRLE, G.; REINEMANN, J.; RAPP, S.: Generic reference product model for specifying complex products by the example of the automotive industry. In: *Digital Proceedings of TMCE 2020, 2020b*, S. 353–370
- Albers et al. 2018 ALBERS, A.; HEITGER, N.; HAUG, F.; FAHL, J.; HIRSCHTER, T.; BURSAC, N.: *Supporting Potential Innovation in the Early Phase of PGE – Product Generation Engineering: Structuring the Development of the Initial System of Objectives : R&D Management Conference, 2018*
- Albers et al. 2017 ALBERS, A. RAPP, S. BIRK, C.; BURSAC, N.: Die Frühe Phase der PGE – Produktgenerationsentwicklung. In: *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung 2017, 2017*
- Albers et al. 2020c ALBERS, A.; RAPP, S.; FAHL, J.; HIRSCHTER, T.; REVFI, S.; SCHULZ, M.; STÜRMLINGER, T.; SPADINGER, M.: Proposing a Generalized Description of Variations in Different Types of Systems by the Model of PGE – Product Generation Engineering. In: *Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference, 2020c*, S. 2235–2244
- Albers et al. 2019 ALBERS, A.; RAPP, S.; SPADINGER, M.; RICHTER, T.; BIRK, C.; MARTHALER, F.; HEIMICKE, J.; KURTZ, V.; WESSELS, H.: The Reference System in the Model of PGE: Proposing a Generalized Description of Reference Products and their Interrelations, Bd. 1. In: Design Society (Hrsg.): *Proceedings of the 22nd International Conference on Engineering Design (ICED19)*, 2019, S. 1693–1702

- Bei hoffet al. 2014 BEIHOFF, B.; OSTER, C.; FRIEDENTHAL, S.; PAREDIS, C.; KEMP, D.; STOEWER, H.; NICHOLS, D.; WADE, J.; INCOSE: *A World in Motion – Systems Engineering Vision 2025*. 2014
- Blessing und Chakrabarti 2009 BLESSING, L. T.M.; CHAKRABARTI, A.: *DRM, a Design Research Methodology*. London : Springer, 2009
- D'Ambrosio und Soremekun 2017 D'AMBROSIO, J.; SOREMEKUN, G.: Systems engineering challenges and MBSE opportunities for automotive system design. In: IEEE (Hrsg.): *Proceedings of IEEE International Conference on Systems, 2017*
- Darlington und Culley 2002 DARLINGTON, M. J.; CULLEY, S. J.: *Current Research in the Engineering Design Requirement*. In: *Journal of Engineering Manufacture* 216 (2002), Nr. 3, S. 375–388
- Dudenredaktion n.d. DUDENREDAKTION: *Sportwagen*. URL <https://www.duden.de/rechtschreibung-/Sportwagen>
- Ehrlenspiel 2009 EHRENSPIEL, K.: *Integrierte Produktentwicklung – Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit*. München : Carl Hanser, 2009
- Ehrlenspiel und Meerkamm 2013 EHRENSPIEL, K. ; MEERKAMM, H.: *Integrierte Produktentwicklung: Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit*. München : Hanser Verlag, 2013
- Fahl et al. 2019 FAHL, J.; HIRSCHTER, T.; KAMP, J.; ENDL, M.; ALBERS, A.: *Functional Concepts in the model of PGE - Product Generation Engineering by the Example of Automotive Product Development*. Piscataway, NJ, USA : IEEE, 2019 (ISSE Proceedings 5)
- Königs et al. 2012 KÖNIGS, S. F.; BEIER, G.; FIGGE, A.; STARK, R.: *Traceability in Systems Engineering – Review of industrial practices, state-of-the-art technologies and new research solutions*. In: *Advanced Engineering Informatics* (2012), Vol. 26, No. 4, S. 924–940
- Leffingwell 2011 LEFFINGWELL, D.: *Agile Software Requirements : Lean Requirements Practices for Teams, Programs, and the Enterprise*. Boston, MA, USA : Addison-Wesley Professional, 2011
- Lindemann et al. 2006 LINDEMANN, U.; REICHWALD, R.; ZÄH, M.: *Individualisierte Produkte – Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion*. Berlin : Springer, 2006
- Lindemann 2009 LINDEMANN, U.: *Methodische Entwicklung technischer Produkte – Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden*. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2009
- Meder et al. 2014 MEDER, J.; WIEGAND, T.; PFADENHAUER, M.: *Adaptive Aerodynamik des neuen Porsche 911 Turbo*. In: *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift* (2014), Vol. 116 Issue 2, S. 58–63
- Nellore und Söderquist 2000 NELLORE, R.; SÖDERQUIST, K.: *Strategic outsourcing through specifications*. In: *Omega* (2000), Vol. 28, Issue 5, S. 525–540
- Ponn und Lindemann 2011 PONN, J.; LINDEMANN, U.: *Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte – Systematisch von Anforderungen zu Konzepten und Gestaltlösungen*. Berlin : Springer, 2011
- VDI 2019 VDI-Richtlinie 2221-1:2019-11. 2019. *VDI 2221 Blatt 1: Entwicklung technischer Produkte und Systeme – Modell der Produktentwicklung*
- Volkswagen AG 2019 VOLKSWAGEN AG: *Start einer neuen Ära : Volkswagen auf dem 40. Wiener Motorensymposium*. URL <https://ecarandbike.com/start-einer-neuen-aera/>
- Walden et al. 2017 WALDEN, D. D.; ROEDLER, G. J.; FORSBERG, K. HAMELIN, R. D.; SHORTELL, T. M.; KAFFENBERGER, R.: *INCOSE Systems Engineering Handbuch V.4.0 : Ein Leitfaden für Systemlebenszyklus-Prozesse und -Aktivitäten*. Bremen : GfSE Verlag, 2017
- Weissler 2018 WEISSLER, Paul: *'Function on Demand' brings opportunities, security challenges*. URL <https://www.sae.org/news/2018/05/function-on-demand>