

Herausforderungen bei der Systems-Engineering-basierten Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen in der Automobilentwicklung

Alexander Kubin, M.Sc.

Marc Etri, M.Sc.

Katharina Duehr, M.Sc.

Dr.-Ing. Simon Rapp

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

IPEK – Institut für Produktentwicklung, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Kaiserstr. 10, 76131 Karlsruhe

Tel. +49 (0) 721 / 608-42371 | -47725 | -43953 | -47185 | -42371

Fax. +49 (0) 721 / 608-46051

E-Mail: Alexander.Kubin@partner.kit.edu

{Marc.Etri/Katharina.Duehr/Simon.Rapp/Albert.Albers}@kit.edu

Alexej Eckhardt, B.Sc.

Daniela Kattwinkel, M.Sc., M.Sc.

Prof. Dr.-Ing. Beate Bender

LPE – Lehrstuhl für Produktentwicklung, Ruhr-Universität Bochum (RUB)

Universitätsstraße 150, 44801 Bochum

Tel. +49 (0) 234 / 32-24133 | -22636

Fax. +49 (0) 234 / 32-14159

E-Mail: Alexej.Eckhardt@rub.de

{Kattwinkel/Bender}@lpe.ruhr-uni-bochum.de

Zusammenfassung

Steigende Anforderungen von Kunden, Anwendern und Anbietern an die Individualisierung von Produkten und neue Technologien führen zu einer zunehmend komplexeren Produktentwicklung in der Automobilindustrie.

Um auf den Markt reagieren zu können ist die durchgängige Orientierung an den Stakeholder-Wünschen, den Bedarfen, essenziell. Durch eine nachvollziehbare Definition der Anforderungen anhand der Bedarfe kann dabei dem Risiko begegnet werden, an den Bedarfen vorbei zu entwickeln. Zur interdisziplinären Umsetzung dieser Durchgängigkeit im oben genannten Umfeld eignet sich SE – Systems Engineering. Im SE fehlt es jedoch an automobilspezifischen Vorgehensweisen zur nachvollziehbaren Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen. Aus diesem Grund bedarf es einer methodischen Unterstützung, die insbesondere vor dem Leitbild des Advanced Systems Engineerings umgesetzt werden muss.

Das Ziel dieses Beitrages ist daher die Analyse von Herausforderungen bei der SE-basierten Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen und eine darauf aufbauende Identifikation von Erfolgskriterien für die Umsetzung einer methodischen Unterstützung. Zu diesem Zweck werden durch eine teilnehmende Beobachtung im Anforderungsmanagement eines Automobilherstellers sowie durch Experteninterviews die Herausforderungen abgeleitet. Um diese zukünftig adressieren zu können, werden anschließend mittels einer Delphi-Studie Erfolgskriterien für die methodische Unterstützung identifiziert und in ihrer Relevanz durch Experten eines Automobilherstellers bewertet.

Zusammenfassend zeigt sich, dass eine solche Methodik das SE-basierte Bedarfs- und Anforderungsverständnis generationsübergreifend modellieren und konkrete Vorgehensweisen für das Zusammenspiel von Bedarfen und Anforderungen beschreiben muss. Gleichzeitig muss die Wiederverwendung von bestehenden Anforderungen über die Entwicklung mehrerer Produktgenerationen auf Grundlage des Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung ermöglicht werden.

Schlüsselworte

Systems Engineering, Advanced Systems Engineering, PGE – Produktgenerationsentwicklung, Bedarfe, Anforderungen, Herausforderungen, Erfolgskriterien, Delphi-Studie, Automobilentwicklung

Challenges in Systems Engineering-based Definition of Requirements based on Stakeholder Needs in Automotive Development

Abstract

Increasing requirements of customers, users and providers for more individual products and new technologies are leading to increasingly complex engineering in the automotive industry.

In order to be able to react to the market, it is essential to be continuously oriented towards the stakeholder needs. A comprehensible definition of the requirements based on the stakeholder needs can counteract the risk of not developing in line with the stakeholder needs. SE – Systems Engineering is suitable for the interdisciplinary implementation of this continuous orientation in the above-mentioned environment. However, SE lacks automotive-specific approaches for the comprehensible definition of requirements based on stakeholder needs. For this reason, methodological support is required, which must be implemented in particular in accordance with the guiding principle of Advanced Systems Engineering.

Therefore, the goal of this contribution is to analyze the challenges in the SE-based definition of requirements based on stakeholder needs and, building on this, to identify success criteria for the implementation of methodological support. For this purpose, the first step is to derive the challenges through participatory observation in the requirements management of an automotive manufacturer as well as expert interviews. In order to be able to address these challenges in the future, the second step is to use a Delphi study to identify success criteria for methodological support and to evaluate their relevance by experts from an automotive manufacturer.

In summary, it can be seen that such a methodology must model the SE-based understanding of stakeholder needs and requirements in across product generations and describe specific approaches for the interplay of stakeholder needs and requirements. At the same time, the reuse of existing requirements must be enabled over the development of multiple product generations based on the PGE – Product Generation Engineering model.

Keywords

Systems Engineering, Advanced Systems Engineering, PGE – Product Generation Engineering, Stakeholder Needs, Requirements, Challenges, Success Criteria, Delphi Study, Automotive Development

1 Motivation

Megatrends wie Digitalisierung, Globalisierung und Nachhaltigkeit eröffnen erhebliche Erfolgspotenziale im zukünftigen Engineering [DAR+21]. Die Automobilindustrie stellt hierbei keine Ausnahme dar, insbesondere durch die Berücksichtigung der zunehmenden Wünsche von Kunden, Anwendern und Anbietern, u.a. an individuelle, autonome und elektrifizierte Fahrzeuge, können neue Wachstumsmärkte erschlossen werden [KTW+17].

Die Definition eines *Produktprofils*, welches die Bedarfssituation beschreibt, sowie die durchgängige Orientierung an den Stakeholder-Wünschen, den *Bedarfen*, wird somit zum zentralen Erfolgsfaktor. Dabei ist eine nachvollziehbare Definition der *technischen Anforderungen* anhand der Bedarfe essenziell. So wird eine Begründung der Anforderungen realisiert, wodurch dem Risiko begegnet wird, an den Bedarfen vorbei zu entwickeln [Rup14]. Gleichzeitig muss aufgrund der steigenden Komplexität der Marktleistungen der Einsatz neuer Schlüsseltechnologien sowie die Eingliederung der Produkte in das Mobilitätsökosystem im Sinne eines *System of Systems* betrachtet werden. Die Fahrzeuge avancieren infolgedessen zu *Advanced Systems*, deren Entwicklung mit einer erhöhten Komplexität verbunden ist [DAR+21].

Um diese Komplexität zu adressieren, müssen Methoden des *Systems Engineerings* zur Umsetzung einer durchgängigen Bedarfsorientierung genutzt werden [DAR+21]. Gleichzeitig müssen weitere Potenziale in der zukünftigen Produktentwicklung durch die Verknüpfung von Systems Engineering mit Ansätzen des *Advanced Engineerings* ausgeschöpft werden [DAR+21].

Aus diesem Grund ist zu untersuchen, welche Herausforderungen sich bei der Systems-Engineering-basierten Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen in der Automobilentwicklung ergeben. Darauf aufbauend müssen Erfolgskriterien identifiziert werden, die bei der Umsetzung einer methodischen Unterstützung gemäß dem Leitbild des *Advanced Systems Engineerings* zu beachten sind.

2 Stand der Forschung

2.1 PGE – Produktgenerationsentwicklung

Das *Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung* nach ALBERS stellt ein grundlegendes Beschreibungsmodell zur Entwicklung neuer Produkte dar und zielt darauf ab, jede Form der Produktentwicklung zu beschreiben. So ermöglicht das Modell, gezielt Herausforderungen der Produktentwicklung durch methodische Unterstützung zu adressieren. Dem Modell der PGE liegen dabei zwei grundlegende Annahmen zugrunde [ABW15].

Die erste Annahme ist, dass die Entwicklung neuer Produkte immer auf einem *Referenzsystem* basiert, welches große Bereiche der grundsätzlichen Gestalt und Struktur vorgibt. Das Referenzsystem setzt sich aus Referenzen (bspw. Vorgängergenerationen oder Wettbewerbsprodukte) zusammen und berücksichtigt dabei insbesondere die Wechselwirkungen zwischen den vorhandenen Elementen [ARS+19].

Die zweite Annahme besagt, dass die Entwicklung von Subsystemen einer neuen Produktgeneration durch die Variation bestehender Referenzsystemelemente in drei möglichen Arten erfolgt [ABW15]. Die *Übernahmevariation* (ÜV) beschreibt Subsysteme, welche ausschließlich unter Anpassung der Schnittstellen in die Produktgeneration übernommen werden. Die Veränderung von Form und Aussehen unter Beibehaltung der Lösungsprinzipien wird durch die *Gestaltvariation* (GV) beschrieben. Der Gedanke der Gestaltvariation kann zur *Ausprägungsva-riation* (AV) erweitert werden, um die Elemente in einem Systemkontext zu erfassen [ARF+20]. Die *Prinzipvariation* (PV) beschreibt den Fall, wenn das Grundprinzip des Referenzsystemelementes angepasst oder in einen anderen Kontext für die neue Produktgeneration übertragen wird.

Die PGE ermöglicht somit die Planung und Beschreibung einer Produktentwicklungsaufgabe. Dabei fokussiert die PGE eine Ausrichtung an einem Produktprofil, um die aus den Bedarfen resultierenden Differenzierungsmerkmale der aktuellen Produktgeneration zu berücksichtigen [AJB+18]. Eine systematische Anwendung von Referenzen gemäß der PGE bietet dabei nicht nur Vorteile hinsichtlich der Risikominimierung im Entwicklungsprozess, sondern schöpft auch Effizienzpotenziale aus [ARB+17].

2.2 Systems Engineering

Systems Engineering ist ein interdisziplinärer Ansatz, der die Gesamtheit der Entwicklungsaktivitäten über den Produktentstehungsprozess betrachtet und somit schrittweise sicherstellt, dass die Stakeholder-Wünsche über den gesamten Lebenszyklus des Produkts zufriedengestellt werden [WS14]. Hierfür fokussiert sich Systems Engineering auf ein ganzheitliches und zusammenwirkendes Verständnis der sogenannten Bedarfe (engl.: Stakeholder-Needs), welche die Wünsche der Kunden, Anwender und Anbieter sowie den zugrundeliegenden Nutzen beschreiben. Basierend auf den Bedarfen werden technische Anforderungen definiert, Lösungsmöglichkeiten identifiziert und eine konkrete Umsetzung entwickelt [WRF+15]. Hierbei strebt Systems Engineering eine eindeutige und hierarchische Systemstruktur an, die entlang von *logischen Systemebenen* das Gesamtsystem in Systeme und Subsysteme zerlegt [WRF+15].

Zur Definition von technischen Anforderungen anhand von Bedarfen beschreibt Systems Engineering im Rahmen der „Technischen Prozesse“ die Teilprozesse „Stakeholder-Needs and Requirements Definition“ und „System Requirements Definition“ [WRF+15]. Ausgangspunkt sind dabei erhobene Stakeholder-Bedarfe, das Ergebnis sind technische Anforderungen. Um die Bedarfe zu erheben, existieren dabei verschiedene methodische Ansätze, wie zum Beispiel die *Persona-Methode*, *Customer Journeys*, *User Stories*, *Use Cases* oder *Szenariotechniken* [HHH+18, FK18, GI18, ISO18]. Die aus den Bedarfen resultierenden technischen Anforderungen werden anschließend entlang der logischen Systemebenen *spezifiziert* [AHH+18].

Im Rahmen dieser Teilprozesse werden zunächst die erhobenen Bedarfe in sogenannte *Stakeholder-Anforderungen* transferiert. Diese stellen eine Konkretisierung der Bedarfe dar und müssen unter anderem die Projekttrandbedingungen berücksichtigen. Die Stakeholder-Anforderungen werden anschließend in technische System-Anforderungen an das Produkt

überführt, welche insbesondere *Qualitätskriterien* wie bspw. Zielkonfliktfreiheit, Realisierbarkeit, und Verifizierbarkeit erfüllen müssen [WRF+15]. Zudem muss die Traceability der Anforderungen zu dem zugrundeliegenden Bedarf sichergestellt werden [CCD16]. Der Fokus der Überführung von Bedarfen in technische Anforderungen liegt dabei auf der „*Frühen Phase*“ der Produktgeneration G_{n+1} [Mus11]. Zu diesem Zweck stellt Systems Engineering Vorgehensweisen und Methoden bereit, die dabei so abstrakt formuliert sind, dass sie auf verschiedene Anwendungsbereiche transferiert werden können [BG21]. Gleichzeitig gibt es für die konkrete Anwendung im automobilen Umfeld wenig Handlungsvorgaben, sodass eine konkrete Ausgestaltung der Vorgehensweisen erforderlich ist [GCW+13]. Diese sind insbesondere in der automobilen Produktentwicklung erforderlich, da Gleichteil- und Plattformstrategien einen stark evolutionär ausgerichteten Prozess implizieren, weswegen das Zusammenspiel mit der „Top-Down“ Systems Engineering Methodik unterstützt werden muss [MW13]. Anderenfalls kann es in der Praxis zu einer gegenüber der Forschung abweichenden Anwendung der Ansätze des Systems Engineerings kommen, woraus konzeptionelle und anwendungstechnische Widersprüche entstehen können [Sal21].

2.3 Advanced Systems Engineering

Systems Engineering ist ein etablierter Standard in der Luft- und Raumfahrtindustrie, um bereits im ersten Versuch ein erfolgreiches Produkt zu realisieren [GCW+13]. Bedingt durch die digitale Transformation der Automobilindustrie und die damit verbundene Weiterentwicklung von Fahrassistenzsystemen, die Elektrifizierung und Digitalisierung des Fahrzeugs sowie die Berücksichtigung des Ökosystems steigt die Komplexität der Fahrzeugentwicklung [Win21, KTW+17, MMK+13]. Eine zunehmende Individualisierung, kürzere Produktlebenszyklen und ein steigender Preisdruck fachen dies noch weiter an [Web05]. Infolgedessen wird Systems Engineering auch in der Automobilindustrie ein großes Potenzial zugeschrieben. Hürden wie beispielsweise ein hoher Einführungsaufwand und eine fehlende Adaptierbarkeit der Methoden resultieren jedoch in einer mangelnden individuellen und organisatorischen Akzeptanz, wodurch die Anwendung behindert wird [GCW+13]. Aus diesem Grund ist eine Weiterentwicklung der Ansätze des Systems Engineerings hin zum Advanced Systems Engineering erforderlich [GAC+13].

Advanced Systems Engineering dient als Leitbild für die Entwicklung innovativer Produkte durch die drei Handlungsfelder Advanced Systems, Systems Engineering und Advanced Engineering und beschreibt dadurch ergänzende Hinweise und Erfolgskriterien für die Umsetzung von Methoden des Systems Engineerings [DAR+21]. Beispiele für ergänzende Hinweise und Erfolgskriterien sind die Realisierung einer zunehmenden *Agilität*, wodurch insbesondere die Kommunikation und Kooperation gefördert werden sollen, und eine aktive Gestaltung der Entwicklungsprozesse mit dem Menschen im Mittelpunkt [DAR+21]. Hierbei erkennt Advanced Systems Engineering den Menschen als integralen Bestandteil des sozio-technischen Systems an. Aus diesem Grund verfolgt der Ansatz eine konsequente *Menschzentrierung*, um dadurch insbesondere die Akzeptanz und Skalierbarkeit einer Methode in der Praxis der Produktentwicklung zu gewährleisten [AL12].

3 Forschungsmethodik

3.1 Forschungsziel und Forschungsfragen

Abgeleitet aus dem Stand der Forschung ist zu erkennen, dass Systems Engineering im Rahmen der „Technischen Prozesse“ Vorgehensweisen für die Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen beschreibt, bei denen es jedoch an konkreten automobilspezifischen Handlungsvorgaben mangelt. Um eine Begründung der Anforderungen zu realisieren, muss die nachvollziehbare Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen in der automobilen Produktentwicklung dementsprechend methodisch unterstützt werden.

Das *Forschungsziel* des Beitrags ist daher die Analyse von Herausforderungen bei der Systems-Engineering-basierten Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen in der Automobilindustrie. Um diese Herausforderungen zukünftig adressieren zu können, werden in einem zweiten Schritt Erfolgskriterien für eine methodische Unterstützung identifiziert und in ihrer Relevanz durch Experten eines Automobilherstellers bewertet.

Hierfür werden in dem Beitrag die folgenden *Forschungsfragen* beantwortet:

- Welche **Herausforderungen** bestehen bei der **Systems-Engineering-basierten Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen** in der Automobilindustrie?
- Was sind **Erfolgskriterien** für eine methodische Unterstützung zur **nachvollziehbaren Systems-Engineering-basierten Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen** in der Automobilentwicklung und wie werden diese **priorisiert**?

3.2 Forschungsvorgehen

Abbildung 1 zeigt das Forschungsvorgehen zur Beantwortung der Forschungsfragen. Aufbauend auf einer sechsmonatigen teilnehmenden Beobachtung im Anforderungsmanagement eines Automobilherstellers wurden sieben semistrukturierte Experteninterviews geführt, um Herausforderungen bei der Systems-Engineering-basierten Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen zu identifizieren. Die Experten sind in unterschiedlichen Positionen im Produkt- und Projektmanagement des Automobilherstellers tätig und im Rahmen ihrer Tätigkeiten in die Anforderungsdefinition anhand von Bedarfen involviert. Alle Experten arbeiten seit mindestens vier Jahren bei dem Automobilhersteller.

Zur Ableitung von Erfolgskriterien für eine methodische Unterstützung zur nachvollziehbaren Systems-Engineering-basierten Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen wurde aufbauend auf den identifizierten Herausforderungen eine zweistufige Delphi-Studie vom Typ I – Ideenaggregation durchgeführt [Häd14]. Hierbei verfolgt die erste Phase der Studie die qualitative Erhebung von Ideen einer ausgewählten Expertengruppe, worauf im Anschluss in der zweiten Phase eine quantitative Relevanzbewertung der Ergebnisse der ersten Phase erfolgt.

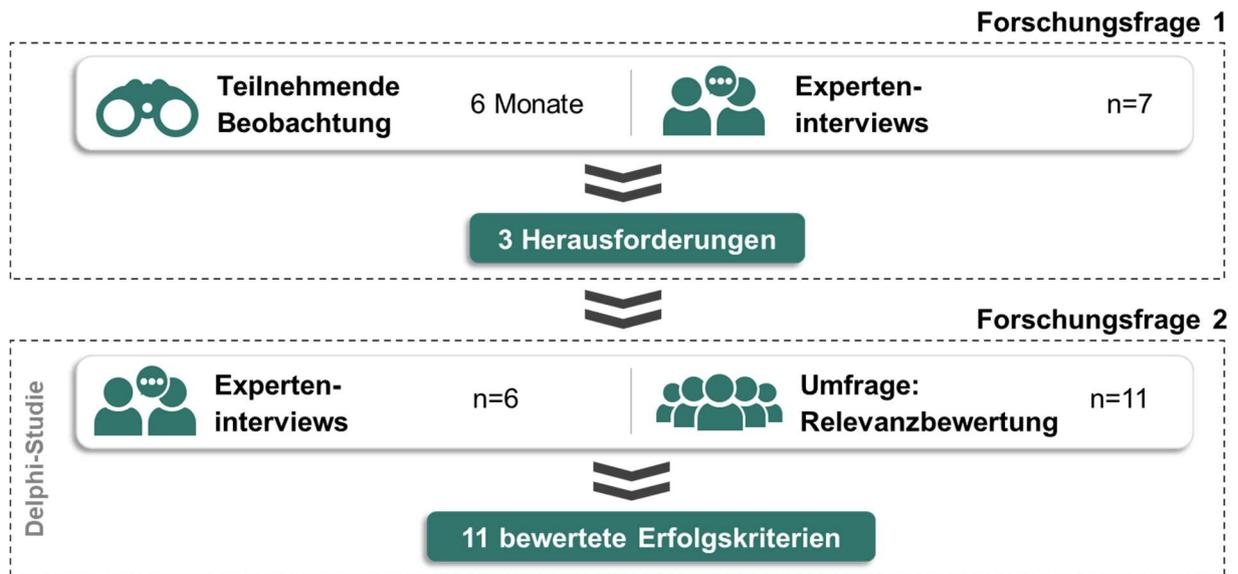


Abbildung 1: Forschungsvorgehen zur Identifikation der Herausforderungen und Erfolgskriterien

Für die rein qualitative Ideenaggregation in der ersten Phase wurde eine Gruppe mit sechs Experten aus der automobilen Produktentwicklung mit Expertise in der Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen gewählt. Alle Experten sind seit mindestens drei Jahren in der automobilen Produktentwicklung tätig, wobei einige der Experten bereits bei der Identifikation der Herausforderungen befragt wurden und andere neu hinzugekommen sind. Hierbei sind alle Experten innerhalb desselben Automobilherstellers angestellt. Der Fokus bei der Auswahl der Experten lag auf einer fachlich stark interdisziplinären Prägung der Expertengruppe, mit dem Ziel einer möglichst facettenreichen Ideenaggregation durch die Experten [Häd14]. Hierzu wurden die folgenden sieben Kriterien basierend auf dem Forschungsgegenstand abgeleitet, die das Experten-Panel erfüllen sollte. Diese wurden durch die Eigenzuordnung der Experten in Summe abgedeckt.

- Expertise in der Identifikation und Einsteuerung von Stakeholder-Bedarfen
- Expertise in der kundenorientierten strategischen Produktdefinition
- Erfahrung in der Anforderungsdefinition
- Erfahrung in dem Anforderungsmanagement
- Erfahrungen in der bereichsübergreifenden Schnittstellenabstimmung
- Branchenweite Expertise im Anforderungsmanagement
- Theoretisches wissenschaftlich fundiertes Wissen zum Fachgebiet

Das Erhebungsformat basierte auf 60- bis 75-minütigen semi-strukturierten Interviews mit den einzelnen Experten. Die Interviews wurden anhand der identifizierten Herausforderungen strukturiert, um eine eindeutige Zuweisung der Aussagen der Experten zu den Herausforderungen zu ermöglichen. Basierend auf den Aussagen wurden Erfolgskriterien für eine methodische Unterstützung zur nachvollziehbaren Systems-Engineering-basierten Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen extrahiert, wobei ähnliche Aussagen zusammengefasst wurden.

In der zweiten Phase wurde eine Relevanzbewertung der identifizierten Erfolgskriterien durchgeführt. Hierzu wurde die Expertenkonstellation aus der ersten Runde der Delphi-Studie um weitere Experten erweitert. Diese sind als operative Anwender in der Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen involviert, wodurch verstärkt die Einschätzung der tatsächlichen Anwender einer methodischen Unterstützung berücksichtigt wird. Die Bewertung der Erfolgskriterien wurde somit von insgesamt elf Experten vorgenommen. Abbildung 2 zeigt das objektive Erfahrungsniveau anhand der Berufserfahrung in Jahren sowie das Selbsteinschätzungsniveau der Expertengruppe.

Um präzise Aussagen über mögliche Relevanzunterschiede der Erfolgskriterien zu treffen, wurden die Erfolgskriterien jeder Herausforderung als Gesamtmenge auf statistisch signifikante Unterschiede untersucht. Hierzu wurde der Friedman-Test angewandt, da dieser keine Normalverteilung der Daten voraussetzt und besonders bei abhängigen, ordinalskalierten Stichproben eine aussagekräftige Teststärke vorweist. Der Friedman-Test prüft auf Basis der mittleren Ränge der Relevanzbewertungen, ob in der Bewertung der verbundenen Stichproben signifikante Unterschiede bei einem angenommenen Signifikanzniveau $\alpha_{sig.} = 0,05$ festzustellen sind. Die Nullhypothese, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den Stichproben bestehen, wird bei einer Fehlerwahrscheinlichkeit $p < \alpha_{sig}$ abgelehnt. Bei $p > \alpha_{sig}$ ist eine Ablehnung der Nullhypothese nicht möglich.

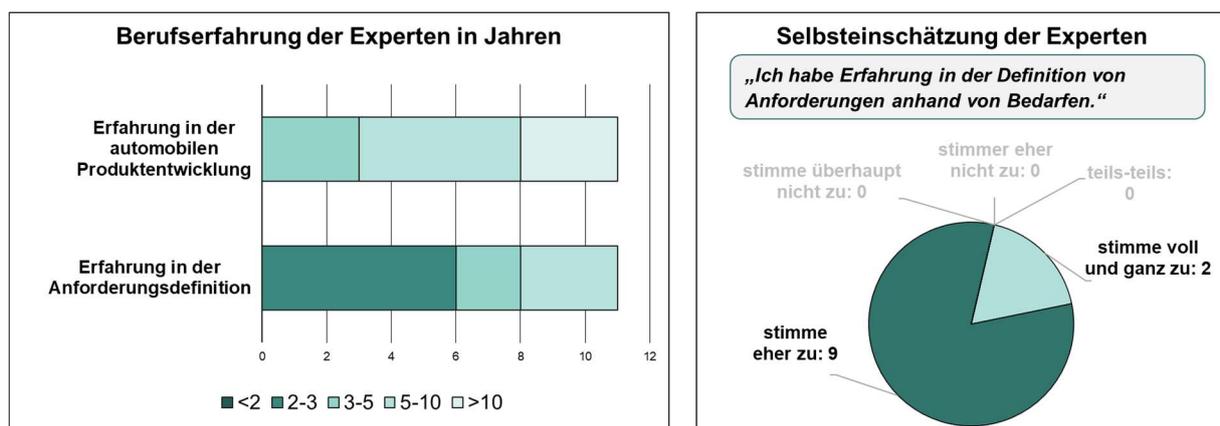


Abbildung 2: Erfahrungs- und Selbsteinschätzungsniveau der Expertengruppe ($n=11$) der zweiten Befragungsrunde der Delphi-Studie

4 Ergebnisse

4.1 Herausforderungen bei der Systems-Engineering-basierten Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen

Basierend auf dem im Rahmen der teilnehmenden Beobachtung aufgebauten Verständnis für die Systems-Engineering-basierten Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen ließen sich die Aussagen der Experteninterviews in drei Herausforderungen zusammenfassen. Die Herausforderungen werden im Folgenden anhand des Ergebnisses der Experteninterviews erläutert.

4.1.1 Herausforderung 1: (Produktgenerationsübergreifendes) Bedarfs- und Anforderungsverständnis

Die Kundenorientierung ist ein essenzieller Erfolgsfaktor in der Automobilindustrie, nur wenn das Produkt die Kundenbedarfe erfüllt, können Unternehmen Potenziale erschließen, um neue Marktanteile zu gewinnen. Aus diesem Grund ist die Orientierung an den Kunden-, Anwender- und Anbieterbedarfen ein etabliertes Konstrukt in der automobilen Produktentwicklung.

Systems Engineering beschreibt jedoch keine klare Abgrenzung des Bedarfs- und Anforderungsverständnisses, wodurch eine Unterscheidung zwischen Stakeholder-Bedarfen und technischen Anforderungen erschwert wird. Da die Bedarfserhebung und die Anforderungsdefinition in der Praxis häufig von unterschiedlichen Ressorts verantwortet werden, kann die erschwerte Unterscheidung in einer unklaren Aufgabenabgrenzung der Verantwortlichen und dadurch in einem erhöhten Kommunikations- und Abstimmungsaufwand resultieren.

Des Weiteren erfolgt die Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen häufig implizit, eine nachvollziehbare Verknüpfung der technischen Anforderungen mit den Stakeholder-Bedarfen und dem damit verbundenen Nutzen wird nur selten hergestellt. Diese Verknüpfung bietet jedoch insbesondere das Potenzial, produktgenerationsübergreifende Zusammenhänge zwischen Bedarfen und Anforderungen durchdringen zu können. Durch die Betrachtung dieser produktgenerationsübergreifenden Zusammenhänge kann der Einfluss der Variation von Bedarfen auf die Variation von Anforderungen zwischen Produktgenerationen analysiert werden.

Dementsprechend wird durch ein produktgenerationsübergreifendes Bedarfs- und Anforderungsverständnis eine systematische Variation von Bedarfen und Anforderungen unterstützt (vgl. Abbildung 3). Anschaulich wird der Mehrwert eines solchen projektübergreifenden Bedarfs- und Anforderungsverständnisses in der Automobilindustrie am Beispiel von Bedarfen, die zwischen Produktgenerationen übernommen werden. Dies ist bei identischen Stakeholdern ein häufig auftretender Fall. Eine Übernahme des Bedarfs (bspw. „wettbewerbsfähige Reichweite“) kann jedoch beispielsweise aufgrund von geänderten Projekttrandbedingungen eine projektspezifische Variation der Anforderungen (bspw. konkrete Reichweite über den WLTP-Zyklus) erfordern. Eine bewusste Variation dieser Anforderungen ermöglicht somit das Potenzial, Wissen bei der Anforderungsdefinition einer neuen Produktgeneration zu nutzen und so Risiken zu minimieren und Effizienzpotenziale auszuschöpfen.

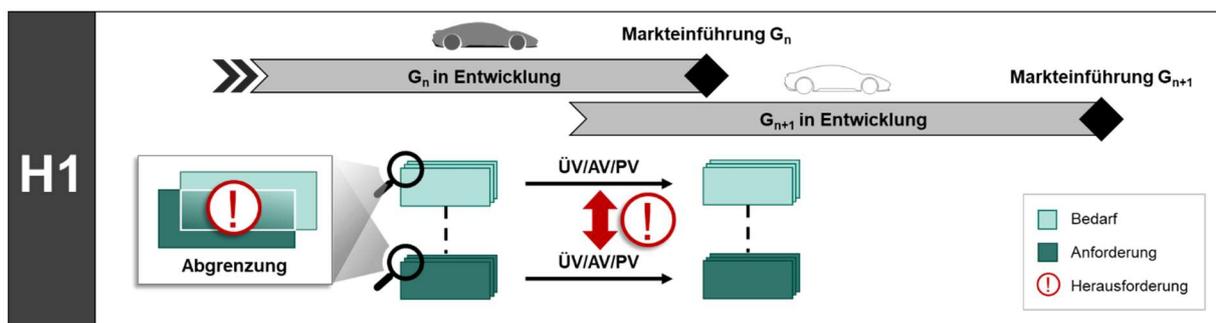


Abbildung 3: (Produktgenerationsübergreifendes) Bedarfs- und Anforderungsverständnis

4.1.2 Herausforderung 2: Systems-Engineering-basiertes Zusammenspiel von Bedarfen und Anforderungen

Die abstrakte Beschreibung der „Technischen Prozesse“ des Systems Engineerings und die damit verbundenen fehlenden, konkreten Vorgehensweisen in der Automobilindustrie können insbesondere in der „Frühen Phase“ der Produktgeneration G_{n+1} in einer fehlenden Nachvollziehbarkeit bei der Systems-Engineering-basierten Überführung von Bedarfen in Anforderungen resultieren. Dementsprechend kann es zu einer Unter- oder Übererfüllung eines Bedarfs kommen, da nicht ersichtlich ist, welche Anforderungen aus einem Bedarf abgeleitet wurden. Eine weitere Konsequenz ist, dass der Bedarf und der damit einer Anforderung zu Grunde liegende Kunden-, Anwender- oder Anbieternutzen teilweise nicht nachvollziehbar ist. Hierdurch wird eine Priorisierung der Anforderungen erschwert, wodurch sich Herausforderungen bei der Lösung von Zielkonflikten im technischen Konzept ergeben.

Neben der Systems-Engineering-basierten Überführung von Bedarfen in Anforderungen in der „Frühen Phase“ müssen über den gesamten Produktentstehungsprozess der G_{n+1} die bidirektionalen Wechselwirkungen zwischen Bedarfen und Anforderungen abgebildet werden können. Hierbei müssen zwei Fälle unterschieden werden. Es kann zu Top-Down Änderungsbegehren kommen, bei denen sich der Bedarf ändert (bspw. bedingt durch Wettbewerbsänderungen) und es müssen Bottom-Up Änderungsbegehren berücksichtigt werden, bei denen aufgrund der Änderung von Anforderungen der Bedarf angepasst werden muss (bspw. bedingt durch Architekturverfehlungen). Auch hier fehlt es an einer konkreten, automobilspezifischen Ausgestaltung der „Technischen Prozesse“ des Systems Engineerings, um die bidirektionalen Wechselwirkungen zwischen Bedarfen und Anforderungen über den gesamten Produktentstehungsprozess abbilden zu können.

Aus diesem Grund ergibt sich die Herausforderung des Systems-Engineering-basierten Zusammenspiels von Bedarfen und Anforderungen (vgl. Abbildung 4). Konkrete Vorgehensweisen sind somit essenziell, um anhand der Bedarfe (bspw. „Best in Class Fahrdynamik“) die projektspezifischen Anforderungen (bspw. 0-100 km/h Beschleunigungszeit) einer Produktgeneration nachvollziehbar zu definieren. Gleichzeitig können dadurch die bidirektionalen Wechselwirkungen berücksichtigt werden (bspw. der Einfluss einer geänderten Prognose der Beschleunigungszeiten von Wettbewerbsfahrzeugen auf den Bedarf und die daraus abgeleiteten Anforderungen).

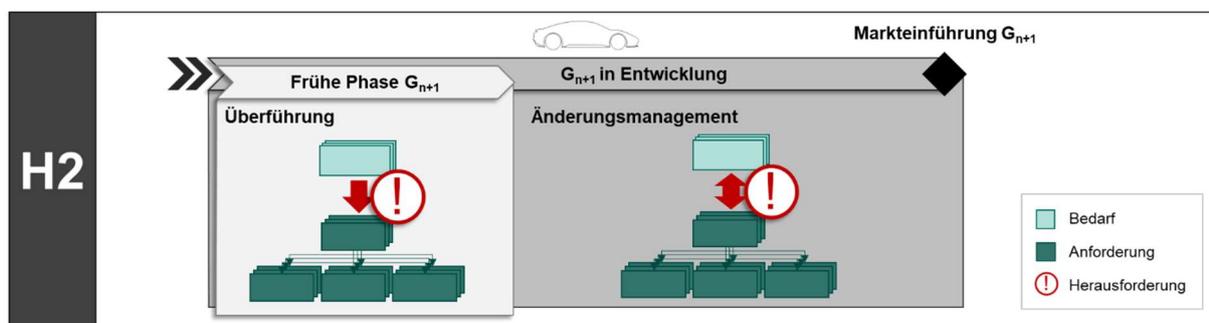


Abbildung 4: Systems-Engineering-basiertes Zusammenspiel von Bedarfen und Anforderungen

4.1.3 Herausforderung 3: Systems-Engineering-basierte Wiederverwendung von Anforderungen und den zugrundeliegenden Bedarfen

Neue Produktgenerationen werden wie im Modell der PGE beschrieben auf Basis eines Referenzsystems entwickelt. Dabei wird ein Großteil der Anforderungen aus Vorgängerprojekten übernommen, um den angestrebten Nutzen unter Berücksichtigung von Kosten-, Qualitäts- und Zeitpotenzialen zu realisieren. Dies wird insbesondere in der Automobilindustrie deutlich, da Gleichteil- und Plattformstrategien zur Nutzung von Skaleneffekten die Wiederverwendung von Anforderungen implizieren. Aus diesem Grund werden auch bei der ersten Produktgeneration G_1 einer neuen Produktlinie eines Automobilherstellers zahlreiche projektübergreifende Anforderungen übernommen. Neben den Anforderungen müssen jedoch auch deren Begründungen, das heißt die zugrundeliegenden Bedarfe übernommen werden. Die daraus resultierende nachvollziehbare Begründung unterstützt unter anderem bei der Priorisierung von Anforderungen zur Lösung von Zielkonflikten im technischen Konzept.

Anforderungen, die wiederverwendet werden, betreffen häufig Subsysteme auf tieferen logischen Systemebenen. Systems Engineering geht jedoch von einem Produktentwicklungsansatz aus, bei dem Referenzen nicht explizit im Fokus stehen. Aus diesem Grund muss bei einer Wiederverwendung von Anforderungen auf den tieferen logischen Systemebenen insbesondere das Zusammenspiel mit der „Top-Down“ Systems Engineering Methodik betrachtet werden, bei der basierend auf dem technischen Konzept eines Systems die Anforderungen der Subsysteme definiert werden.

Hierfür beschreibt Systems Engineering jedoch keine konkreten Vorgehensweisen, weswegen die Wiederverwendung von Anforderungen und den zugrundeliegenden Bedarfen nicht ausreichend systematisch unterstützt werden kann (vgl. Abbildung 5).

Daraus resultiert das Risiko, dass die Wiederverwendung falsch eingesetzt wird. Dies kann sich unter anderem in der Missachtung des technischen Konzepts zeigen, woraus Zielkonflikte resultieren können. Konkrete Vorgehensweisen ermöglichen somit insbesondere die gezielte Wiederverwendung projektübergreifender Anforderungsbündel, welche beispielsweise im Rahmen einer Plattformentwicklung entstehen. Das konsequente Zusammenspiel mit dem technischen Konzept ermöglicht dabei eine verstärkte Projektorientierung. Hierdurch können die richtigen Anforderungen unter Berücksichtigung der Differenzierungsmerkmale des Fahrzeugs in Entwicklung gezielt wiederverwendet werden.

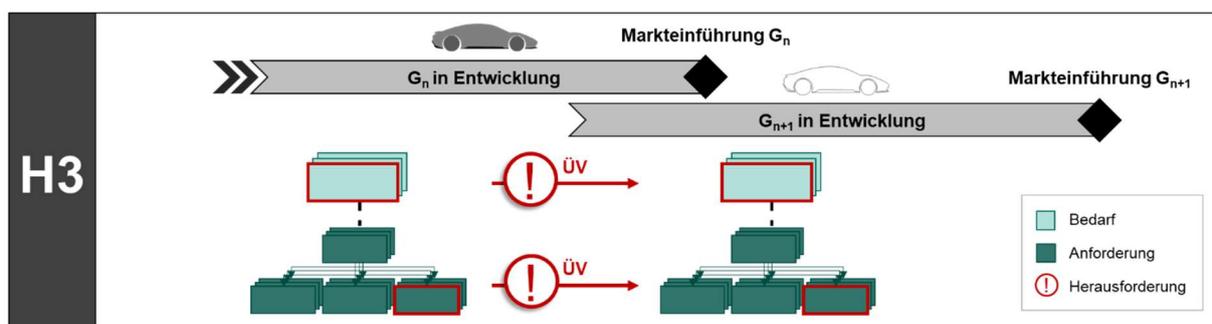


Abbildung 5: Systems-Engineering-basierte Wiederverwendung von Anforderungen und den zugrundeliegenden Bedarfen

4.2 Erfolgskriterien für die methodische Unterstützung

Um die beschriebenen Herausforderungen zukünftig adressieren zu können, wurden in der zweistufigen Delphi-Studie Erfolgskriterien für eine methodische Unterstützung identifiziert und in ihrer Relevanz bewertet. Insgesamt wurden die in Tabelle 1 dargestellten elf Erfolgskriterien abgeleitet, wobei sich die Zuordnung zu den Herausforderungen aus den Experteninterviews ergab.

Tabelle 1: Erfolgskriterien zur nachvollziehbaren Systems-Engineering-basierten Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen

Die Methode soll durch...

E1	...eine Abgrenzung von Bedarfen zu Anforderungen anhand weniger und möglichst eindeutiger Kriterien...	H1
E2	...eine Beschreibung der Zusammenhänge von Bedarfen und Anforderungen eine systematische Variation zwischen Produktgenerationen ermöglichen und damit...	
E3	...eine Integration in bereits bestehende etablierte Strukturen (bspw. Produktprofil, Produktspezifikation, Produktentstehungsprozess)...	
...das (produktgenerationsübergreifende) Bedarfs- und Anforderungsverständnis unterstützen.		

Die Methode soll durch...

E4	...eine flexible Anwendbarkeit und Anpassungsmöglichkeit...	H2
E5	...transparente und statusabhängige Vorgehensweisen zur Berücksichtigung von Änderungsbegehren über den gesamten Produktentstehungsprozess...	
E6	...transparente und statusabhängige Vorgehensweisen zur Überführung von Bedarfen in Anforderungen...	
E7	...Adaptionsmöglichkeiten an unterschiedliche Bedarfsqualitäten...	
...das Systems-Engineering-basierte Zusammenspiel von Bedarfen und Anforderungen unterstützen.		

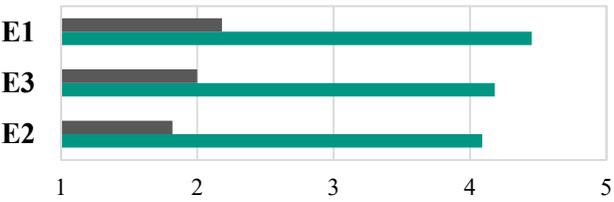
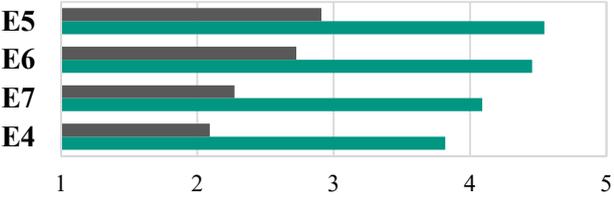
Die Methode soll durch...

E8	...eine initiale Plausibilisierung wiederzuwendender Anforderungen hinsichtlich der Aktualität und Gültigkeit im Projekt...	H3
E9	...eine Ausrichtung der Aktivitäten an den logischen Systemebenen...	
E10	...eine Berücksichtigung der Anforderungswirkketten wiederzuwendender Anforderungen...	
E11	...eine Betrachtung der wiederzuwendenden Anforderungen hinsichtlich der Konsistenz zum bestehenden technischen Konzept des (Sub-)Systems...	
...die Systems-Engineering-basierte Wiederverwendung von Anforderungen und den zugrundeliegenden Bedarfen unterstützen.		

Basierend auf der Relevanzbewertung der zweiten Phase der Delphi-Studie zeigt der Friedman-Test, dass mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit $p > 0,05$ bei jeder Gruppe (H1-H3) von Erfolgskriterien die Nullhypothese nicht abgelehnt wird. Dementsprechend kann keine Aussage zu statistisch signifikanten Unterschieden zwischen den Stichproben getroffen werden. Aufgrund dessen ist das Relevanzniveau der Erfolgskriterien in den drei Gruppen jeweils als statistisch identisch zu betrachten.

Tabelle 2 stellt das arithmetische Mittel der Relevanzbewertung und den mittleren Rang für jedes Erfolgskriterium sowie die Ergebnisse der Friedman-Tests für die einzelnen Herausforderungen dar. Die Quantifizierung der Relevanz erfolgte dabei anhand einer fünfstufigen Likert-Skala mit den Ausprägungen „absolut relevant“ (5), „eher relevant“ (4), „teils-teils“ (3), „eher nicht relevant“ (2) und „gar nicht relevant“ (1). Die Rangvergabe erfolgte ausgehend von der maximalen Relevanzbewertung absteigend.

Tabelle 2: Statistische Auswertung der Relevanzbewertung der identifizierten Erfolgskriterien

Erfolgskriterium	Teststatistik χ^2	p-Wert
H1 	1,19	0,55
H2 	4,08	0,25
H3 	4,23	0,24
 mittlerer Rang durchschnittliche Relevanzbewertung	$\alpha_{\text{sig.}} = 0,05$	

5 Zusammenfassung und Diskussion

In dem vorliegenden Beitrag werden drei Herausforderungen bei der Systems-Engineering-basierten Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen in der Automobilindustrie beschrieben: das (produktgenerationsübergreifende) Bedarfs- und Anforderungsverständnis,

das Systems-Engineering-basierte Zusammenspiel von Bedarfen und Anforderungen sowie die Systems-Engineering-basierte Wiederverwendung von Bedarfen und dazugehörigen Anforderungen.

Darauf aufbauend werden elf Erfolgskriterien zur nachvollziehbaren Systems-Engineering-basierten Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen identifiziert und in ihrer Relevanz bewertet. Da die Relevanzbewertung für alle Erfolgskriterien auf einem ähnlichen und sehr hohen Niveau lag, wird davon ausgegangen, dass alle Erfolgskriterien bei der Entwicklung einer Systems-Engineering-basierten Methodik gleichermaßen berücksichtigt werden sollten. Somit wurde die Grundlage geschaffen, um die drei Herausforderungen zukünftig mittels einer methodischen Unterstützung adressieren zu können. Da die Herausforderungen anhand einer empirischen Untersuchung bei einem Automobilhersteller identifiziert wurden, wird die besondere Relevanz dieser Herausforderungen als automobilspezifisch angenommen. Nichtsdestotrotz können sich in anderen Branchen ähnliche Problemstellungen ergeben, weswegen sich auch außerhalb der Automobilindustrie relevante Anwendungsmöglichkeiten einer methodischen Unterstützung ergeben können.

Limitierend ist zu beachten, dass die erste Phase der Delphi-Studie nur mit sechs Experten durchgeführt wurde. Bei der Auswahl der Experten wurde zwar darauf geachtet, sieben abgeleitete Kriterien der Systems-Engineering-basierten Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen abzudecken, dennoch kann nicht davon ausgegangen werden, dass jedes potenzielle Erfolgskriterium identifiziert wurde.

Das Systems Engineering bietet durch die „Technischen Prozesse“ und weitere Grundgedanken wie unter anderem die Traceability ein notwendiges Werkzeug, um die Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen zu unterstützen. Zur Sicherstellung der Nachvollziehbarkeit müssen jedoch die identifizierten Erfolgskriterien sowie weitere ergänzende Inhalte bei der Erarbeitung der methodischen Unterstützung berücksichtigt werden. So ist beispielsweise gemäß des Leitbilds Advanced Systems Engineering die Berücksichtigung menschzentrierter und agiler Arbeitsweisen essenziell, um eine erfolgreiche Anwendbarkeit der Systems-Engineering-basierten Methodik zu gewährleisten.

Darüber hinaus ist die verhältnismäßig geringe Stichprobengröße mit einer Expertenanzahl $n=11$ als mögliche Limitation der statistischen Auswertung der zweiten Phase der Delphi-Studie anzusehen. Die Fehlerwahrscheinlichkeit p kann aufgrund einer geringen Stichprobengröße tendenziell größer ausfallen und damit eine Bestätigung der Nullhypothese begünstigen. Dennoch wurden bei der Relevanzbewertung alle wesentlichen Experten der Forschungsumgebung aus dem operativen Anwendungsfeld der Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen einbezogen. Zusätzliche Bewertungen durch anwendungsfeldferne Experten würden eine inhaltliche Verzerrung der Relevanz hervorrufen, weswegen hiervon abgesehen wurde.

6 Ausblick

Die Studie bildet die Grundlage für die nachvollziehbare Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen. Die weiterführende Forschung wird sich auf eine methodische Unterstützung

fokussieren, um die Herausforderungen bei der Systems-Engineering-basierten Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen zu adressieren. Hierbei müssen insbesondere die identifizierten Erfolgskriterien berücksichtigt werden.

Um die Herausforderungen zu adressieren ist es zwingend notwendig, das Systems-Engineering-basierte Bedarfs- und Anforderungsverständnis im Modell der PGE zu modellieren. Hierfür ist zunächst eine einfach verständliche Abgrenzung von Bedarfen und Anforderungen zu erforschen. Durch die Untersuchung von produktgenerationsübergreifenden Zusammenhängen kann anschließend eine systematische Variation zwischen Produktgenerationen ermöglicht werden. Darüber hinaus liegt Potenzial in einer flexibel anwendbaren methodischen Unterstützung mit konkreten Vorgehensweisen, um das Zusammenspiel von Bedarfen und Anforderungen über den gesamten Produktentstehungsprozess zu beschreiben. Gleichzeitig muss die Systems-Engineering-basierte Wiederverwendung von Anforderungen und den zugrundeliegenden Bedarfen über die Entwicklung mehrerer Produktgenerationen auf Grundlage des Modells der PGE ermöglicht werden.

Literatur

- [ABW15] ALBERS, A.; BURSAC, N.; WINTERGERST, E.: Product Generation Development - Importance and Challenges from a Design Research Perspective: New developments in mechanics and mechanical engineering proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering (ME 2015), Vienna, Austria, March 15-17, 2015 proceedings of the International Conference on Theoretical Mechanics and Applied Mechanics (TMAM 2015) Vienna, Austria, March, 15-17, 2015. Ed.: N.E Mastorakis. s.l, S. 16–21, 2015.
- [AHH+18] 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, Milano, I, June 30 - July 4, 2018, S. 13, 2018.
- [AJB+18] Albert Albers; Jonas Heimicke; Benjamin Walter; Gustav Nils Basedow; Nicolas Reiß; Nicolas Heitger; Sascha Ott; Nikola Bursac: Product Profiles: Modelling customer benefits as a foundation to bring inventions to innovations. *Procedia CIRP* 70, S. 253–258, 2018.
- [AL12] ALBERS, A.; LOHMEYER, Q.: Advanced systems engineering - Towards a model-based and human-centered methodology: Tools and methods of competitive engineering: Proceedings of the ninth International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering (TMCE 2012), Karlsruhe, Germany, May 7-11, 2012. Ed.: I. Horváth. Delft University of Technology (TU Delft), S. 407–416, 2012.
- [ARB+17] ALBERS, A.; RAPP, S.; BIRK, C.; BURSAC, N.: Die Frühe Phase der PGE - Produktgenerationsentwicklung: 4. Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung 2017 (SSP) Produktentwicklung im disruptiven Umfeld, Stuttgart, Deutschland, 28-29 Juni 2017. Fraunhofer Verlag, 2017.
- [ARF+20] 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. Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference 1, S. 2235–2244, 2020.
- [ARS+19] 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: Proceedings of the 22nd International Conference on Engineering Design (ICED19), Delft, The Netherlands, 5-8 August 2019. Delft, S. 1693–1702, 2019.
- [BG21] BENDER, B.; GERICKE, K.: Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. Springer Berlin Heidelberg; Imprint: Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2021.
- [CCD16] CROWDER, J. A.; CARBONE, J. N.; DEMIJOHN, R.: Multidisciplinary Systems Engineering. Architecting the Design Process. Springer International Publishing, Cham, s.l., 2016.
- [DAR+21] DUMITRESCU, R.; ALBERS, A.; RIEDEL, O.; STARK, R.; GAUSEMEIER, J.: Engineering in Deutschland – Status quo in Wirtschaft und Wissenschaft, Ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering, 2021.
- [FK18] FØLSTAD, A.; KVALE, K.: Customer journeys: a systematic literature review. Journal of Service Theory and Practice 2/28, S. 196–227, 2018.
- [GAC+13] GAUSEMEIER, J.; ANACKER, H.; CZAJA, A. M.; WASSMANN, H.; DUMITRESCU, R.: Auf dem Weg zu intelligenten technischen Systemen: 9. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme. Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Paderborn, 2013.
- [GCW+13] GAUSEMEIER, J.; CZAJA, A.; WIEDERKEHR, O.; DUMITRESCU, R.; TSCHIRNER, C.; STEFFEN, D.: Studie: Systems Engineering in der industriellen Praxis: Tag des Systems Engineering. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, S. 113–122, 2013.
- [GI18] GILSON, F.; IRWIN, C.: From User Stories to Use Case Scenarios towards a Generative Approach: 2018 25th Australasian Software Engineering Conference (ASWEC), S. 61–65, 2018.
- [Häd14] HÄDER, M.: Delphi-Befragungen. Ein Arbeitsbuch. Springer VS, Wiesbaden, 2014.
- [HHH+18] HIRSCHTER, T.; HEITGER, N.; HAUG, F.; FAHL, J.; MANDEL, C.; MARTHALER, F.; WALTER, B.; Albers: Zukunftsorientierte PGE – Produktgenerationsentwicklung: Ein Ansatz zur systematischen Überführung von Szenarien in Produktprofile in der Frühen Phase der PGE: Vorausschau und Technologieplanung: 14. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung (SVT), Berlin, 8.-9. November 2018. Hrsg.: J. Gausemeier. Heinz Nixdorf Institut, S. 20, 2018.
- [ISO18] ISO/IEC/IEEE29148:2018:2018-11, Systems and software engineering - Life cycle processes - Requirements engineering. VDE-Verlag, Berlin.
- [KTW+17] KUHNERT, F.; TELANG, R.; WILSON, L.; STUERMER, C.: Five trends transforming the Automotive Industry, PricewaterhouseCoopers (PwC), 2017.
- [MMK+13] MOHR, D.; MÜLLER, N.; KRIEG, A.; GAO, P.; KAAS, H.; KRIEGER, A.; HENSLEY, R.: The road to 2020 and beyond: What’s driving the global automotive industry?, 2013.
- [Mus11] MUSCHIK, S.: Development of Systems of Objectives in Early Product Engineering. Entwicklung von Zielsystemen in der frühen Produktentstehung, 2011.

- [MW13] Maurer, M.; Winner, H. (Hrsg.): Automotive Systems Engineering. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2013.
- [Rup14] RUPP, C.: Requirements-Engineering und -Management. Aus der Praxis von klassisch bis agil. Hanser, München, 2014.
- [Sal21] SALADO, A.: A systems-theoretic articulation of stakeholder needs and system requirements. Systems Engineering, 2021.
- [Web05] WEBER, C.: WHAT IS “COMPLEXITY”?, 2005.
- [Win21] WINKELHAKE, U.: Die digitale Transformation der Automobilindustrie. Treiber - Roadmap - Praxis. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2021.
- [WRF+15] Walden, D.D.; Roedler, G.J.; Forsberg, K.; Hamelin, R.D.; Shortell, T.M. (Hrsg.): Systems engineering handbook. A guide for system life cycle processes and activities, International Council on Systems Engineering (INCOSE). Wiley, Hoboken, NJ, 2015.
- [WS14] WEILKIENS, T.; SOLEY, R. M.: Systems Engineering mit SysML/UML. Anforderungen, Analyse, Architektur. dpunkt.verl., Heidelberg, 2014.

Autoren

M.Sc. Alexander Kubin ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Forschungsgruppe Entwicklungsmethodik und -management am IPEK, KIT. Seine Forschungsarbeit konzentriert sich auf die nachvollziehbare Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen vor dem Leitbild Advanced Systems Engineering.

M.Sc. Marc Etri ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Forschungsgruppe Entwicklungsmethodik und -management am IPEK, KIT, wo er das Extended Reality Lab leitet. Seine Forschungsarbeit konzentriert sich auf die Produktvalidierung und die Strategische Vorausschau.

M.Sc. Katharina Dühr leitet die Forschungsgruppe Entwicklungsmethodik und Entwicklungsmanagement am IPEK, KIT. In der Forschungsgruppe werden Methoden zur effektiven und effizienten Produktentwicklung systemnah anhand realer Praxisbeispiele und industrienahen Projekten gestaltet. In ihrer Forschung untersucht sie Methoden der standortverteilten und interdisziplinären Zusammenarbeit im Advanced Systems Engineering.

Dr.-Ing. Simon Rapp ist Post-Doc in der Forschungsgruppe Entwicklungsmethodik und Entwicklungsmanagement am IPEK, KIT. In seiner Dissertation hat er sich mit der empirisch basierten Planung, Steuerung und methodischen Unterstützung von Variationen auf Basis eines Referenzsystems im Modell der PGE beschäftigt.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers leitet das IPEK - Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Er ist Gründungs- und Vorstandsmitglied der wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktentwicklung WiGeP und Mitglied der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech). Seit 2008 ist er Präsident des Allgemeinen Fakultätentages (AFT e. V.). Von 2012 bis 2015 war Prof. Albers Sprecher und Fachkollegiat des DFG-Fachkollegiums 402 „Mechanik und Konstruktiver Maschinenbau“. Darüber hinaus

engagiert er sich im Verein Deutscher Ingenieure (VDI) und ist in Beiräten mehrerer Unternehmen tätig. Im Jahre 2016 wurde ihm und dem IPEK-Team der Honorary Award der Schaeffler FAG Stiftung für exzellente Leistungen und Kompetenzen in Wissenschaft, Forschung und Lehre auf technisch-wissenschaftlichem Gebiet verliehen. Prof. Albers erforscht mit seinem Team Methoden zur Analyse zukünftiger Marktbedürfnisse und den Innovationsprozess neuer Produktgenerationen in den Forschungsfeldern • Antriebssysteme • Tribologische Systeme • Entwicklungs- und Innovationsmanagement • Kupplungen und Bremsen im Antriebssystem • Validierung und NVH technischer Systeme • Leichtbau • Kompetenzorientierte Lehre.

B.Sc. Alexej Eckhardt ist Masterand am Lehrstuhl für Produktentwicklung der Ruhr-Universität Bochum. Der Forschungsgegenstand seiner Masterarbeit ist die Systems-Engineering-basierte Wiederverwendung von Anforderungen und den zugrundeliegenden Bedarfen in der automobilen Produktentwicklung.

M.Sc., M.Sc. Daniela Kattwinkel arbeitete nach ihrem Studium als Vertriebskoordinatorin im Ingenieur- und Consultingbereich. Seit 2016 ist Daniela Kattwinkel am Lehrstuhl für Produktentwicklung an der Ruhr-Universität Bochum im Forschungsschwerpunkt „Methodische Produktentwicklung“ als wissenschaftliche Mitarbeiterin tätig. In ihrer Dissertation entwickelt sie eine universitäre Lehrveranstaltung im Themenfeld der umweltgerechten Produktentwicklung, die auf innovativen Lehr- und Lernformaten basiert.

Prof. Dr.-Ing. Beate Bender leitet den Lehrstuhl für Produktentwicklung seit Juli 2013 und war von April 2015 bis Mai 2019 geschäftsführende Direktorin des Instituts Produkt und Service Engineering der Ruhr-Universität Bochum. Weiterhin ist Beate Bender seit April 2015 Mitglied des Direktoriums des Instituts für Unternehmensführung (ifu) der RUB und wurde im Juli 2015 als Mitglied in den Beirat der Alwin Reemtsma-Stiftung berufen. Seit Juli 2017 ist Prof. Bender stellvertretendes Mitglied des Senats der Ruhr-Universität. Als Mitglied der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktentwicklung (WiGeP) sowie der Design Society ist sie national und international vernetzt. Seit 2018 ist sie Mitherausgeberin des Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau und seit 2020 Mitherausgeberin des internationalen Standardwerks zur Konstruktionslehre, das 1977 erstmals herausgegeben und in viele Sprachen übersetzt wurde: Pahl/Beitz Konstruktionslehre; Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung.