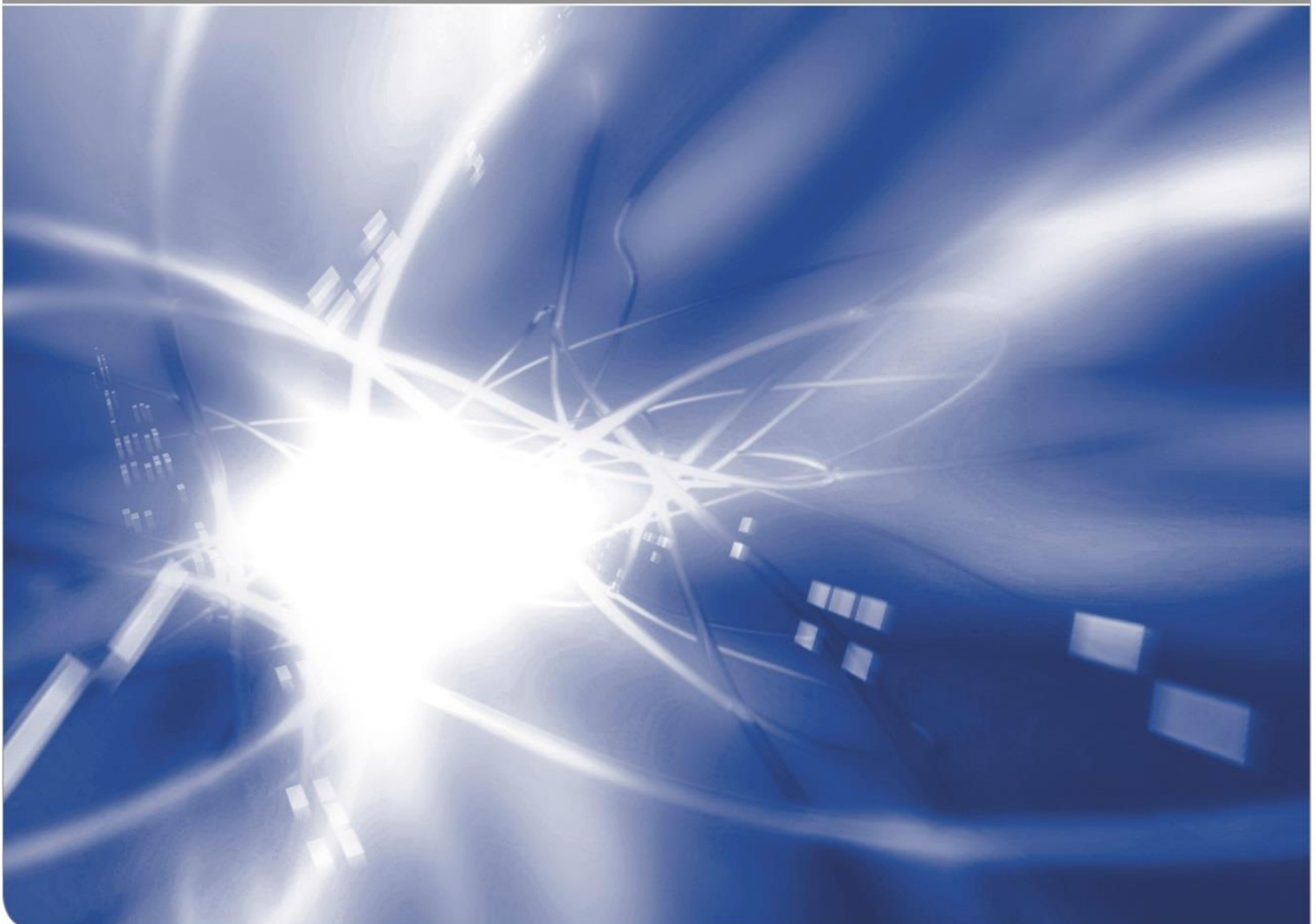


# **Das Referenzsystem im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung: Vorschlag einer generalisierten Beschreibung von Referenzprodukten und ihrer Wechselbeziehungen**

von Albers, A., Rapp, S., Spadinger, M., Richter, T., Birk, C.,  
Marthaler, M., Heimicke, J., Kurtz, V., Wessels, H.

KIT SCIENTIFIC WORKING PAPERS 96



**Parallelveröffentlichung:**

Albers, A., Rapp, S., Spadinger, M., Richter, T., Birk, C., Marthaler, M., Heimicke, J., Kurtz, V., Wessels, H. (2019), "The Reference System in the Model of PGE: Proposing a Generalized Description of Reference Products and their Interrelations", *International Conference on Engineering Design ICED 2019* (eingereicht).

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

**Impressum**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
[www.kit.edu](http://www.kit.edu)



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

2019

ISSN: 2194-1629

## **1 MOTIVATION**

Erst vor kurzem wurde die Entwicklung eines neuen Displays durch Samsung bekannt (Jwa, 2018). Damit sollen kommende Smartphone-Produktgenerationen deutlich robustere, nicht zuletzt bruchsicere Bildschirme erhalten. Doch nicht nur in Smartphones wird ein Einsatz der neuen Technik erwartet. Auch in Automobilen oder bei Geräten, die im Outdoor-Bereich betrieben werden, könnten die neuen Displays Verwendung finden. Eine solche Verwendung muss zum Beispiel durch den Automobilhersteller gegebenenfalls geplant werden, bevor die entsprechenden Smartphone-Produktgenerationen auf dem Markt erhältlich sind. Das Ziel von Entwicklungsaktivitäten wird in diesem Fall u.a. die Integration der neuen Displays mit den weiteren Fahrzeugteilsystemen sein.

Das Beispiel zeigt so zum einen, wie technische Systeme auch über Branchen hinweg die Produktgenerationsentwicklung beeinflussen können. Zum anderen wird deutlich, dass nicht nur Produkte, die bereits im Markt erhältlich sind, für die Planung eigener Produktgenerationen von Bedeutung sind, sondern prinzipiell existierende technische Systeme. Darüber hinaus kann man erkennen, dass nicht notwendiger Weise auf vollständige Produkte - in diesem Beispiel das Smartphone - Bezug genommen wird, sondern unter Umständen nur auf ausgewählte Teilsysteme, hier das Display. Weiterhin deutet sich hier bereits an, dass die Beziehungen, gerade auch zwischen Teilsystemen unterschiedlicher Herkunft, ein Ausgangspunkt von Entwicklungsaktivitäten sein können, wenn diese Teilsysteme zusammen als Grundlage für die Entwicklung einer neuen Produktgeneration verwendet werden.

Zur erfolgreichen Durchführung derartiger Entwicklungsaktivitäten zielen passende Methoden und Prozesse auf eine Unterstützung von Entwicklern ab. Die Erforschung und Entwicklung solcher Methoden und Prozesse benötigt als Basis ein Beschreibungsmodell, das die zu Grunde liegende Phänomene treffend beschreibt. Um die oben angeführten Phänomene treffend zu beschreiben und so der Methodenforschung zugänglich zu machen, wird im vorliegenden Beitrag das "Referenzsystem" als Ergänzung des Modells der PGE - Produktgenerationsentwicklung vorgeschlagen.

## **2 STAND DER FORSCHUNG**

### **2.1 Wiederverwendung von Wissen in der Produktentwicklung**

Produktinnovation sind immer auch ein Mix aus erfolgreichen „alten“ Designs und neuen (Sivaloganathan und Shahin, 1999; Wyatt et al., 2009). Schätzungen zufolge müsste lediglich 20% der Komponenten neu entwickelt werden und 40% übernommen werden (Iyer et al., 2005). Quellen, auf welche der Entwickler dabei bislang zurückgreift, sind seine eigenen Erfahrungen oder ihm bekannte Projekte (Ahmed et al., 2003). Der Großteil der Ingenieurstätigkeit liegt nach Cross (2007) in der Änderung und Modifikation von bestehenden Produkten.

Insbesondere wenn es sich um eine komplexe Aufgabenstellung handelt, versucht der Ingenieur aus den Erfahrungen von vergangenen Projekten zu profitieren (Shahin et al., 1999). Methodische Unterstützung zur Wiederverwendung liefert unter anderem der Ansatz des Case Based Reasoning (Maher und Garza, 1997). Für eine Problemstellung wird nach Referenzen gesucht, welche eine ähnliche Problemstellung lösen und so dem Entwickler Anreize geben soll. Auf eine ähnliche Weise ermöglicht die C-K Theory die kreative Lösungsfindung (Hatchuel et al., 2004). Durch die Methode wird eine komplexe Problemstellung zunächst in seine Attribute zerlegt, zu welchen Analogien aus der Erfahrung / dem Wissen (Knowledge Space - K) des Entwicklers gesucht werden. Diese Analogien werden zu Lösungen / Konzepten (Concept Space - C) zusammengefügt, welche wiederum Analogien beim Entwickler hervorrufen.

Nach dem Design Prototypes Schema von Gero (1990) entstehen Prototypen auf Basis von bisherigen Designs (Eckert et al. 2004, Sivaloganathan und Shahin, 1999; Corso et al., 1999; Alblas und Jayaram, 2015). Gero merkt hierzu noch an, dass dabei der Kontext in dem sich der Entwickler bewegt zu beachten ist, ob man das neue Design, und im speziellen kreative Designs als eine Variation von bereits bekannten Lösungen beschreiben kann (Wouters und Kressens-van Drongelen, 2004).

Design Reuse hat zum Ziel, erfolgreiche Lösungen aus der Vergangenheit wiederzuverwenden, um Kosten zu senken und die Flexibilität in der Entwicklung zu erhöhen (Duffy et al., 1995). Die

Wiederverwendung kann dabei auf unterschiedlichen Ebenen passieren – Lösungs-, Design- oder physikalische Ebene (Shahin et al., 1999).

Die größten Herausforderungen in diesem Themenbereich liegen in der Bereitstellung der benötigten Informationen. Hauptaufgaben sind dabei das darstellen, erfassen, organisieren und Abrufen von Designinformationen (Iyer et al., 2005; Shahin et al., 1999; Sivaloganathan und Shahin.1999).

“Design reuse Systems” befassen sich Grundlegend mit den Methoden wie Informationen zu vergangenen Designs gespeichert, wieder abgerufen und genutzt werden können. Demnach sollte das System eine Funktionsbeschreibung des Konzepts, einen Funktionsbaum, eine Bauteilstruktur sowie Informationen zum Design (Zeichnung, CAD-Modelle, etc.) enthalten, siehe auch Design Function Deployment. Diese Informationen lassen sich auf unterschiedlichen Systemebenen des Design Reuse Systems wiederfinden (Shahin et al., 1999).

Duffy et al. beschreibt einen Prozess zur Wiederverwendung. Dieser basiert auf sechs sogenannten Wissensquellen, welche die Herkunft des Wissens beschrieben. Das Prozessmodell beschreibt die Abstraktion von Wissens einer Wissensquelle und dessen Überführung in ein neues Design (Duffy et al., 1998).

Engineering Change (EC) wiederum beschreibt die Tatsache das ein Großteil der Ingenieurstätigkeit in der Modifikation von bestehenden Produkten an neue Randbedingungen oder Aufgrund von Fehlern besteht - es wird zwischen internen und externen Änderungsursachen unterschieden (Martin und Ishii, 2002; Hatchuel et al., 2004, Eisa et al., 2018). EC werden häufig in unterschiedliche Kategorien eingeteilt. Eine häufige zitierte Einteilung ist die nach Eckert (Jarratt et al., 2002). Langer (2012) unterscheidet wiederum nur zwischen EC und kritischen EC.

Diese Beobachtungen führen dazu, dass Produktentwicklungen unter anderem als evolutionär, in Anlehnung an biologische Prozesse, beschrieben werden (Hubka und Ernst Eder, 1992). Mozgova überführt diese Beschreibung in ein Modell der technischen Vererbung. Das Modell beschreibt die Entwicklung auf Basis von drei Mechanismen - Mutation, Selektion und technische Vererbung.

Ausgangsbasis für die nächste Generation stellt somit die Analyse der Informationen und des Wissens welches in der Vorgängergeneration generiert wurde dar. Dabei spielt nicht unbedingt nur die direkte Vorgängergeneration eine Rolle. (Mozgova et al., 2015)

Neben dem aktuelle zur Verfügung stehenden Wissen ist dabei auch die Vorausschau zukünftiger Entwicklungen notwendig. Hierzu findet zunehmend der integrierte Einsatz von Methoden der Produktentwicklung sowie der strategischen Produktplanung Einsatz (Gausemeier und Plass, 2015). Nach Fink und Siebe werden mit zunehmendem Zeithorizont für langfristige Planungshorizonte neben Trends vor allem Technologie- und Marktumfeldszenarien herangezogen (Fink und Siebe, 2016).

Zum einen wird damit das Ziel verfolgt Entscheidungen unter Unsicherheit und der damit einhergehenden Chancen und Risiken zu ermöglichen, zum anderen die Kreativität in der Frühen Phase der PGE-Produktgenerationsentwicklung auf Suchfelder besonders hohen Potentials zu fokussieren (Albers et al., 2017, Marthaler et al., 2019a). Albers et al. schlagen in einer ersten explorativen Studie ein Vorgehensmodell vor, das die Erkenntnisse der abgeleiteten Szenarien in kurzfristige, mittelfristige und langfristige Handlungsempfehlungen der PGE überführt (Albers et al., 2018). Daneben zeigen Schuh et. al eine quantitative Vorgehensweise auf, um Produktarchitekturen zukunftsrobust zu planen und zu entwickeln (Schuh et al., 2012). Bauer (2016) erläutert darüber hinaus einen weiteren Ansatz zur Planung und Entwicklung änderungsrobuster Plattformarchitekturen.

## **2.2 PGE - Produktgenerationsentwicklung**

Das Modell der PGE - Produktgenerationsentwicklung nach ALBERS beschreibt grundlegende Beobachtungen der Entwicklung neuer technischer Produkte. Zweck des Modells ist es, so jede Form der Produktentwicklung beschreiben und die Erforschung und Entwicklung von Methoden zu ermöglichen, die auf jedes Entwicklungsprojekt übertragbar sind. Das PGE-Modell beruht auf zwei Grundhypothesen (Albers, Bursac und Wintergerst 2015).

Jede Produktentwicklung basiert demnach auf bereits existierenden Teilsystem-Lösungen oder Konzepten, z.B. von Vorgängerproduktgenerationen, Wettbewerbsprodukten, aus anderen Gebieten oder auch der Forschung. Deren Struktur und Teilsysteme werden in der Entwicklung eines neuen technischen Produkts entweder übernommen oder dienen als Ausgangspunkt für die Neuentwicklung

von Teilsystemen. Die Entwicklung jedes neuen technischen Produkts wird daher als die Entwicklung einer neuen Produktgeneration verstanden, gerade auch die Entwicklung der ersten Generation eines bestimmten Produkts. Referenzprodukte können direkte Vorgängergenerationen sein, aber z.B. auch Wettbewerbsprodukte, Produkte aus anderen Branchen oder Systeme aus Vorentwicklungsprojekten oder universitärer Forschung.

Die Entwicklung der Teilsysteme einer neuen Produktgeneration erfolgt ausschließlich durch drei Arten von Variationen: Bei der Übernahmevariation eines Teilsystems (ÜV) wird das Teilsystem aus einem Referenzprodukt übernommen und allenfalls an den Schnittstellen im Zuge der Systemintegration angepasst. Bei Gestalt- und Prinzipvariation eines Teilsystems der neuen Produktgeneration (GV, PV) wird dieses Teilsystem ausgehend von einem ausgewählten Teilsystem eines Referenzprodukts neu entwickelt, beginnend mit einer Variation der Gestalt bzw. des Prinzips. Der Variationsanteil einer bestimmten Variation ist das Verhältnis der Anzahl an Teilsystemen, die durch diese Variationsart entwickelt werden zur Gesamtanzahl an Teilsystemen der neuen Produktgeneration. Gestalt- und Prinzipvariation bilden zusammen den Neuentwicklungsanteil in der Entwicklung einer neuen Produktgeneration.

Die Modellierung der Prozesse und Aktivitäten zur Entwicklung einer neuen Produktgeneration wird im iPeM - integriertes Produktentstehungsmodell abgebildet. Das Modell bietet die Möglichkeit Aktivitäten wie die Planung, Modellierung und das Controlling von Entwicklungsprozessen abzubilden, welche neben der Entwicklungsgenese essentiell sind. Das iPeM beinhaltet grundlegende Aktivitäten zur Entwicklung von Produktgenerationen auf Basis welcher die individuelle Beschreibung von Produktentstehungsprozessen ermöglicht wird.

Im iPeM wird die Entwicklung verschiedener Produktgenerationen, des Validierungssystems, des Produktionssystems und der Strategie integriert modelliert, da diese Bereiche über ihre Ziel-, Objekt- und Handlungssysteme stark korrelieren. Sowohl die Variationsart als auch Charakteristika des verwendeten Referenzprodukts, z.B. dessen organisationale Herkunft, haben einen Einfluss auf Kosten und Risiken bei der Entwicklung eines Teilsystems. (Albers et al., 2016)

### **3 FORSCHUNGSBEDARF UND FORSCHUNGSMETHODE**

Aus den vorangehenden Abschnitten wird deutlich, dass es verschiedene Ansätze gibt, die beschreiben, wie die Entwicklung neuer Produkte auf Wissen aus früheren Entwicklungsaktivitäten aufbaut. Die verschiedenen Ansätze betrachten unterschiedlichen Aspekte, beispielsweise die Generierung neuer technischer Konzepte oder Änderungen in bereits bestehenden Strukturen mit einem begrenzten Neuentwicklungsanteil. Das Modell der PGE stellt eine Ontologie bereit, die auf die Beschreibung von Entwicklungsprojekten mit einer großen Spanne von Neuentwicklungsanteilen abzielt und ist daher die Grundlage des vorliegenden Beitrags. Das Modellelement "Referenzprodukt" bezieht sich dabei auf einzelne technische Systeme, die Grundlage und Ausgangspunkt sind für Aktivitäten in der Entwicklung einer neuen Produktgeneration.

Bereits das einleitende Beispiel zeigt, dass die Entwicklung einer neuen Produktgeneration auch auf mehreren Referenzprodukten fußen kann. Darüber hinaus sind mitunter nur Teilsysteme eines Referenzprodukts von Interesse und nicht das gesamte Produkt. Teilsysteme aus verschiedenen Referenzprodukten in einer neuen Produktgeneration zusammenzuführen kann beispielsweise die Überwindung anfänglicher Inkompatibilitäten erfordern. Die Wechselbeziehungen zwischen Teilsystemen aus unterschiedlichen Referenzprodukten können also ein Ausgangspunkt von Entwicklungsaktivitäten sein.

Allerdings gibt es über das "Referenzprodukt" hinaus in der Ontologie des PGE-Modells bisher kein Modellelement, das die Gesamtheit der Teilsysteme aus verschiedenen Quellen und ihre Wechselbeziehungen als Grundlage und Ausgangspunkt für Aktivitäten bei der Entwicklung einer neuen Produktgeneration geschlossen erfasst. Damit fehlt auch eine Basis zur Erforschung und Entwicklung von Methoden und Prozessen, um Entwickler in solchen Situationen zu unterstützen.

Der vorliegende Beitrag möchte diese Lücke schließen, indem ein neues Modellelement vorgeschlagen wird. Grundlage dafür sind Beobachtungen aus drei Fallstudien der Autoren. Die Analysen in den Fallstudien und die Ableitung des vorgeschlagenen Modellelements werden dabei von den folgenden Forschungsfragen geleitet:

- Welche Artefakte aus bestehenden technischen Systemen können als Grundlage und Ausgangspunkt für Entwicklungsaktivitäten in den Fallstudien beobachtet werden?

- Welche Wechselbeziehungen lassen sich zwischen diesen Artefakten beobachten?
- Wie können die verschiedenen Artefakte und ihre Wechselbeziehungen durch ein Element im Modell der PGE erfasst werden?

Die erste Fallstudie entstammt einem Unternehmen, das Maschinen zur Schaumstoffherstellung entwickelt und produziert. Die zweite Fallstudie betrachtet die Entwicklung einer neuen Werkzeugmaschinen-Produktgeneration. Als Drittes wird die Rolle existierender technischer Systeme für die Produktplanung und Vorausschau beschrieben. In allen drei Fällen haben die Autoren dieses Beitrags unmittelbaren Zugang zu den entsprechenden Projekten bzw. Aktivitäten und können daher direkt berichten. Aufbauend auf den Fallstudien wird das Modellelement des Referenzsystems vorgeschlagen.

## **4 DAS REFERENZSYSTEM IN DER PGE - PRODUKTGENERATIONSENTWICKLUNG**

### **4.1 Fallstudie: Neue Technologie zur Verarbeitung von Partikelschaumstoffen**

Gegenstand diese Fallstudie war die Einführung einer neuen Technologie zur Verarbeitung von Partikelschaumstoffen. Seit ca. 40 Jahren werden Schaumstoffmaschinen entwickelt, die mit verdichtetem, heißem Sattdampf Schaumstoffpartikel in einer Presse sintern (umgangssprachlich wird hier oft von Verschweißen gesprochen). Diese Sintertechnologie wurde kontinuierlich so weit entwickelt, dass nur noch ein geringer Leistungshub möglich war. Die Anforderungen entwickeln sich allerdings kontinuierlich weiter. Die Anforderung der Kunden, neue Materialien zu schäumen, scheiterte oft an Sicherheitsrisiken. Denn meist benötigen jene Materialien eine höhere Dampftemperatur, die nur durch höheren Prozessdruck realisiert werden kann. Dieser wiederum führt zu hochbelasteten Maschinenelementen, die sicherheitstechnisch und wirtschaftlich nicht tragbar sind. Zudem ist es nicht mehr möglich den vergleichsweise niedrigen Wirkungsgrad der Maschine unter Dampf deutlich zu erhöhen. Das liegt vor allem an thermischen Verlusten, die durch Aufheizen und Abkühlen der Werkzeugrahmen entstehen, in denen das Material gesintert wird. Der Bedarf, neue Materialien schäumen zu können, sowie die Forderung nach einem sichereren Prozess mit verbessertem Wirkungsgrad führte zu Versuchen eine neue Technologie zu entwickeln. Daher gab es einige Versuche von Unternehmen die Schaumstoffpartikel im hochfrequenten elektromagnetischen (EM) Feld zu verschweißen, die bisher jedoch nicht zur Marktreife gebracht werden konnten. Der Ursprung deren Scheiterns lag oft im fehlenden Know-How eines Maschinenbauunternehmens im Umgang mit Hochfrequenz- beziehungsweise Hochspannungstechnik, was in der untersuchten Case Study systematisch vermieden wurde. Im Folgenden wird erläutert wie es hierbei gelang einen Prozess zu entwickeln, durch welchen verschiedenste Materialien mithilfe der dielektrischen Erwärmung reproduzierbar verarbeitet werden können.

Den Start des untersuchten Entwicklungsprojekts markierte das Patent einer außerwettbewerblichen Firma, aus dem das Funktionsprinzip - sintern von Partikelschaumstoffen durch elektromagnetischen Wellen - hervorgeht. Aufgrund von Patentverzicht konnte jenes Patent uneingeschränkt für die eigene Entwicklung genutzt werden. Für das Entwicklungsteam wurde ein Experte für Hochfrequenztechnik aus einem branchenfremden Unternehmen abgeworben, weshalb dieser kein Vorwissen zur Verarbeitung von Partikelschaumstoffen mitbrachte. Dafür kamen zwei Prozessingenieure aus dem eigenen Unternehmen hinzu, die langjährige Erfahrung in der Entwicklung der Vorgängerproduktgeneration mitbrachten. Die kognitive Distanz innerhalb des Teams erwies sich für dieses Projekt als ein positiver Faktor. Jedoch bestanden bei einigen Mitarbeitern und Führungskräften Zweifel gegenüber der Technologieentwicklung. Um diese von dem Funktionsprinzip zu überzeugen, wurden kleine Materialproben zu Demonstrationszwecken in einer Haushaltsmikrowelle gesintert. Obwohl den Entwicklern bewusst war, dass Mikrowellen aufgrund ihrer Wellenlänge nicht für das Sintern größerer Geometrien geeignet sind, waren die Tests zu oben genanntem Zweck erfolgreich.

Für die Anforderung große Formteile mit homogener Qualität herzustellen sind größere Wellenlängen als die 12,2cm der Mikrowelle nötig, um ein homogenes elektromagnetisches Feld zu erzeugen. Dies ist für kontrollierbare Ergebnisse unerlässlich. Hierbei bestehen Beschränkungen des Gesetzgebers, welche Frequenzen industriell genutzt werden dürfen. Unter Berücksichtigung des industrial scientific medical (ISM) - Bandes wurden Radiowellen mit einer Länge von 11m gewählt. Das Entwicklungsteam wusste von Anlagen, in denen durch Radiowellen PVC-Folien verschweißt werden. Diese Maschinen bestehen

aus einem Hochfrequenz(HF)-Generator, einer C-Presse, deren Pressflächen auch die zwei Elektroden für den Aufbau eines EM-Feldes darstellen und einer Leistungsanpassung, durch die die Leistung des Generators geregelt wird. Dieser Maschinenaufbau wurde für erste Tests genutzt und im Folgenden als einer von mehreren Ausgangspunkten in die eigene Entwicklung integriert. Hierfür wurde der zugehörige Hochfrequenzgenerator gekauft. Die C-Presse, sowie die Leistungsanpassung der PVC-Maschine sind für den eigenen Prozess nicht geeignet, da sich die Anforderungen an besagte Baugruppen zwischen PVC-Maschine und der Partikelschaumstoffmaschine zu stark unterscheiden. Jedoch konnten durch die Tests an der Maschine eine Wissensbasis zur Konstruktion einer eigenen Leistungsanpassung gewonnen werden. Diese wurde für den Aufbau eines eigenen Prototyps genutzt. Bei der Konstruktion des Prototyps wurde eine schnelle Inbetriebnahme und die mindestens nötige Funktionalität fokussiert. Dafür wurden unter anderem Baugruppen der Maschinen mit Dampfprozess übernommen. Mit der Inbetriebnahme des Prototyps stellten sich drei große Herausforderungen: Erstens, die Simulation der Prozess-Thermik ist schwierig, ohne Erfahrungen zu dem Verhalten von Schaumstoffpartikeln im EM-Feld. Mithilfe der „educated-guess“ Methode wurde das thermische Verhalten während dem Prozess berechnet und anhand einfacher Geometrien getestet, die im Prototyp hergestellt werden konnten. Zweitens sind für die Berechnungen der Prozessparameter dielektrische Kenngrößen der Schaumstoffpartikel und Werkzeugmaterialien nötig. Da diese in den Datenblättern der Hersteller im interessierenden Temperaturbereich nicht gelistet sind, wurde ein eigenes Labor eingerichtet, in dem die benötigten Kennwerte ermittelt werden konnten. Die dritte Herausforderung besteht in der Gestaltung von Werkzeugen und Elektroden, da diese maßgeblichen Einfluss auf die Qualität des gesinterten Teils nehmen. Dieser Einfluss resultiert aus der direkten Korrelation der Gestaltung dieser Maschinenelemente und der Homogenität des entstehenden EM-Feldes. Anpassungen von Prozessparametern und Werkzeugmaterialien, um die drei genannten Herausforderungen zu meistern, können dabei nur in separaten Schritten durchgeführt werden. Jede Anpassung hat nämlich individuelle Auswirkungen auf die Qualität des gesinterten Formteils.

Das Ziel, welches das Maschinendesign zu erfüllen hat ist, dass bisherige Kunden die neuen Maschinen ohne größere Maßnahmen bedienen können. Für dieses Ziel ist einerseits eine Gestalt denkbar, die einen niedrigen Anteil an Gestaltvariation aufweist. Andererseits bietet sich der neue Prozess auch an, ihn in eine automatisierte Fertigungsstraße einzubetten. In untenstehender Tabelle werden die genutzten Artefakte gesammelt und so ein Überblick über Elemente des Referenzsystems gegeben. Zudem werden Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Elementen aufgezeigt.

*Tabelle 1: Artefakte, Herkunft und Wechselwirkungen in der Fallstudie*

<b>Artefakt</b>	<b>Herkunft</b>	<b>Wechselwirkungen</b>
Patent	Außerwettbewerbliches Unternehmen	Beschäftigung damit zeigt Wissenslücken auf; Know-How muss integriert werden
HF-Technik	Branchenfernes Unternehmen	Konsequenz aus der Entscheidung das Projekt umzusetzen
Mikrowelle	Supermarkt	Aufzeigen des Funktionsprinzips
ISM-Band	Gesetzgeber	Gibt vor welche Frequenzen genutzt werden können
PVC-Verschweißungsmaschine	Branchenfernes Unternehmen	Enthält Teile, die für EM-Feld benötigt werden; Unterstützt das Prozessverhalten zu verstehen
Komponenten der Vorgängermaschine	Eigenes Unternehmen	Dienen als Vorschlag einer Maschinenarchitektur

## 4.2 Fallstudie: Werkzeugmaschinenentwicklung

Gegenstand einer weiteren Fallstudie ist die Generationsentwicklung einer Werkzeugmaschine zur kombinierten Stanz- und Laserbearbeitung von Blechtafeln im Einsteigersegment. Dabei stand im

initialen Zielsystem zunächst ausschließlich die Entwicklung einer neuen Stanzmaschine im Vordergrund. Diese sollte sich weitestgehend an der Architektur der Vorgängergeneration orientieren (Übernahmevariation), weiterhin mit einem sog "C-Rahmen" ausgestattet sein und ausgewählte neue Funktionalitäten integrieren. Um Herstell- und Betriebskosten zu reduzieren, war der Einsatz eines Stanzkopfs mit Elektromotor anstelle eines hydraulischen Stanzkopfes vorgesehen, der in einem separaten Vorprojekt bereits zur Serienreife entwickelt worden war. Die Werkzeugaufnahme am Stanzkopf blieb jedoch unverändert. Nachdem die Entwicklungsaktivitäten initiiert und eine erste Entwicklungsgeneration erstellt worden war, wurde das Zielsystem um eine Vertriebsseitige Anforderung bezüglich einer reduzierten Aufstellfläche erweitert, die die Weiterverfolgung des bisherigen Konzepts basierend auf einem C-Rahmen unmöglich machte. Um die Vorgaben hinsichtlich der Aufstellfläche einhalten zu können, wurde auf ein "O-Rahmen" Konzept zurückgegriffen, das in der Industrie als Standard gilt, beim Hersteller bisher jedoch noch keine Verwendung fand. Über zwei weitere Entwicklungsgenerationen hinweg wurde im Anschluss die Systemarchitektur an das neue "O-Rahmen"-Konzept angepasst, die Kompatibilität von Schnittstellen sichergestellt und die Integration des vorhandenen, elektrischen Stanzkopfes in den "O-Rahmen" evaluiert. Darüber hinaus wurde auch das bestehende Programmiersystem an die neue Architektur adaptiert. Zur selben Zeit wurde in einem weiteren separaten Vorentwicklungsprojekt ein neues Antriebskonzept zur Serienreife entwickelt, das ein positionieren der Stanzeinheit und die Auslösung eines Stanzhubes mit zwei elektrisch angetrieben Wellen - basierend auf dem Prinzip gegeneinander verschiebbarer Keile - ermöglichte und einen "O-Rahmen" erfordert. Da die zukünftige Erfolgsaussicht der Maschine mit dem neuartigen Antrieb höher bewertet wurde, als die zum damaligen Zeitpunkt aktuelle Entwicklungsgeneration mit dem vorhandenen elektrischen Stanzkopf, wurde abermals das Zielsystem angepasst und die Entwicklung mit dem neuen Antrieb fortgesetzt. Diese Entscheidung erforderte erneut umfangreiche Anpassungen an den Schnittstellen zwischen O-Rahmen, dem Antriebskonzept, den weiteren Maschinenkomponenten und des zugehörigen Programmiersystems. Kurz darauf wurde im Bereich der kombinierten Stanz-Laser-Maschinen der Entschluss gefasst, ebenfalls eine Einsteigermaschine zu entwickeln. Bis dato gab es im Portfolio des Herstellers keine solche Maschine. Im Rahmen der Konzeptentwicklung kam die Idee auf, die sich in der Entwicklung befindende "O-Rahmen" Stanzmaschine modular um notwendige Laser-Komponenten zu erweitern. Je nach Konfiguration könnte die Maschine so entweder als reine Stanzmaschine oder als eine kombinierte Stanz-Laser-Maschine ausgeliefert werden. Aufgrund der hohen Übereinstimmung der Lastenhefte und den zu erwartenden geringeren Entwicklungskosten, wurde diese Idee schlussendlich weiterverfolgt und bis zur Serienreife weiterentwickelt. Hierzu war jedoch zunächst ebenfalls ein hoher Abstimmungsaufwand notwendig, die beiden Lastenhefte zur Übereinstimmung zu bringen und die jeweiligen technischen Anforderungen zu berücksichtigen, um einen modularen Aufbau und die damit verbundene Variation der Funktion der Maschinen zu ermöglichen. Einige Teilsysteme (z.B. Laserschneideinheit, Bedienpult) konnten aus anderen Maschinen durch Übernahmevariation aus dem Portfolio des Herstellers wiederverwendet werden. Andere mussten vollständig durch Prinzip- und Gestaltvariation an die neue Architektur angepasst werden (z.B. Auflagetische, Strahlschutz).

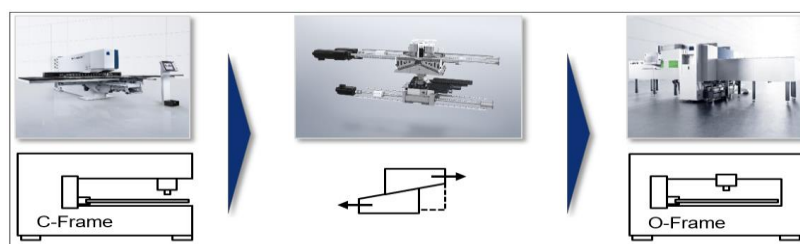


Abbildung 1: PGE von Stanzmaschinen, Rahmenkonzepte und Keilprinzip

Betrachtet man den gesamten Entwicklungszeitraum der Maschine rückblickend lässt sich feststellen, dass als Referenzprodukte für die Generationsentwicklung der neuen Maschine zunächst die Vorgängermaschine, ein elektrischer Stanzkopf und einige bereits entwickelte Funktionen zur Verfügung standen. Als Reaktion auf neu definierte Anforderungen während des Entwicklungsprozesses wurde das etablierte "C-Rahmen" Konzept durch einen "O-Rahmen" Konzept ersetzt, wobei als Vorlage ein Industriestandard zur Verfügung stand. Hinzu kam ein neuartiger Antrieb, für den als Vorbild einerseits Kugelgewindetriebe - bei Konkurrenzprodukten verwendet - und



andererseits das Prinzip gegeneinander verschiebbarer Keile zur Verfügung standen. Bei der Erweiterung um die Laseranwendung, konnten Teilsysteme aus dem bestehenden Maschinenportfolio des Herstellers genutzt und an das neue Maschinenkonzept adaptiert werden. Durch die nachträglichen Änderungen im Zielsystem der Produkte mussten wiederholt Anpassungen an der Architektur, den Schnittstellen und den zugehörigen Softwareprodukten vorgenommen werden. Durch die gezielte Übernahme von bestehenden Komponenten aus dem Portfolio des Herstellers ließen sich zwar signifikant Kosten einsparen, gleichzeitig nahmen die Abhängigkeiten zwischen den Komponenten innerhalb der Maschine aber auch innerhalb des Portfolios stark zu. Beispielsweise muss die verbaute Schneidoptik nun konzeptionell bedingt den Erschütterungen, ausgelöst durch einen Stanzhub, standhalten können. Gleichzeitig müssen die verbauten Elektromotoren höhere Anforderungen hinsichtlich der Positioniergenauigkeit und der Leistungsdaten erfüllen um die höhere Masse bewegen zu können und eine präzise Bearbeitung zu ermöglichen. Eine Übersicht über die Art der Artefakte, der Herkunft und deren Wechselwirkungen der Case Study ist im Folgenden dargestellt:

*Tabelle 2: Artefakte, Herkunft und Wechselwirkungen in der Fallstudie*

<b>Artefakt</b>	<b>Herkunft</b>	<b>Wechselwirkungen</b>
Maschinenkonzept C-Rahmen	Portfolio, Aktuelle Generation	Automatisierungslösungen
Elektrischer Stanzkopf	Vorentwicklungsprojekt	Energiebereitstellung
O-Rahmen	Industriestandard	Gesamtarchitektur Maschine Schnittstellen zu nahezu allen Maschinenkomponenten, Programmiersystem
Elektrischer Stanzkopf Prinzip verschiebbarer Keile	Vorentwicklung, bekanntes Prinzip	Architektur Maschine, O- Rahmen, Programmiersystem
"O-Rahmen Stanzmaschine"	Aktuelles Entwicklungsprojekt, noch nicht am Markt	Anforderungen von Stanz und Kombimaschinen, Schnittstellen für modularen Aufbau
Bedienpult, Schneidoptik	Übernahme aus Portfolio	Schnittstellen mit Gesamtportfolio
Auflagetische, Strahlschutz	Prinzipien aus Portfolio bekannt, Realisierung in neuer Gestalt	Wechselwirkungen zu beiden Maschinenkonzepten

### **4.3 Fallstudie 3: Rolle existierender Systeme bei der Produktplanung und Vorausschau**

Bestehende Ansätze zur Produktplanung und Vorausschau haben gemein, dass im ersten Schritt eine initiale Ist-Situation, sei es eine bestehende Produktarchitektur, oder eine vorangegangene Produktgeneration zu identifizieren und analysieren ist (Albers et al., 2018). Eine dazu durchgeführte Studie zeigt, dass die Wahl des richtigen Produktes bzw. der richtigen Architektur zur Beschreibung dieser initialen Ist-Situation einen ausschlaggebenden Einfluss auf den Erfolg der Anwendung der unterschiedlichen Ansätze besitzt: Hierbei sind sich 12 Experten aus der industriellen Praxis einig, dass es nicht ausreicht, einzig und alleine als Referenz Vorgänger spezifischer Produktgenerationen zu betrachten (Marthaler et al., 2019). Nach Einschätzung der Experten führe dies zu stark zu einer reinen, inkrementellen Fortschreibung von aktuell am Markt etablierten Produkten und Architekturen. Das Ziel basierend auf Vorausschau das Blickfeld der Entwickler zu lösen und lösungsoffen Systemlösungen zielgerichtet zu finden wird damit verfehlt.

Eine in diesem Zusammenhang durchgeführte Delphistudie mit Experten aus der industriellen Produktentwicklungspraxis sowie der Vorausschau liefert die Bedeutung von Erfolgsfaktoren, die an eine Systematik, die den Einsatz von Methoden der Vorausschau in die Produktentwicklung ermöglicht, gestellt werden. Diese unterstreicht gerade mit dem folgendem von den Experten priorisiertem Erfolgsfaktor, dass der alleinige Einsatz von aktuell am Markt erfolgreichen Produkten und Architekturen als Referenz nicht ausreicht: „Die Systematik, muss den Anker der Gegenwart lösen, und das Blickfeld der Entwickler in die Zukunft richten!“ (Marthaler et al., 2019).

Dies zeigt, dass die bloße Diskussion über heutige Lösungen nicht genügt, um kreative Lösungen zu generieren. Je stärker sich aktuelle Produkte und die Darstellungen zukünftiger Lösungen unterscheiden, desto kreativer können die Entwickler sein.

Tabelle 3: Artefakte, Herkunft und Wechselwirkungen in der Fallstudie

Artefakt	Herkunft	Wechselwirkungen
Einzelne Produkteigenschaften	(Referenz-) Produktarchitektur (IST-Zustand)	Wechselwirkungen mit anderen Produkteigenschaften
Kompetenzen von Unternehmen	Kernkompetenzanalyse	
Zukünftig relevante Produkteigenschaften	Zukunftsszenarien, Trendanalyse	Konsistenz bzw. Inkonsistenz mit anderen Zukunftsszenarien, Trends

#### 4.4 Das Referenzsystem als Grundlage jeder Produktentwicklung

Aus den Beobachtungen bei den Fallstudien heraus lässt sich zusammenfassend festhalten:

- Die Entwicklung einer neuen Produktgeneration kann auf mehreren bereits existierenden technischen Systemen basieren, mindestens jedoch einem. Dies zeigt sich sowohl im Beispiel der Schaumstoff-Fallstudie als auch im Beispiel Werkzeugmaschinen
- Dabei handelt es sich nicht ausschließlich um Produkte in dem Sinne, dass sie am Markt sind.
- Von diesen Systemen sind mitunter nur ausgewählte Teilsysteme für die Entwicklung der neuen Produktgeneration von Bedeutung. So im Fall der Werkzeugmaschine z.B. der Maschinenrahmen.
- Es können darüber hinaus weitere Objekte, die das Ergebnis von Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten sind, in die Entwicklung einer neuen Produktgeneration eingehen, zum Beispiel in unterschiedlichem Detailgrad ausgearbeitete Funktionskonzepte. Das zeigt sich im Fall der Werkzeugmaschinenentwicklung bei der Stanzkopfbetätigung durch gegenläufige Keile.
- Diese Grundlage aus bestehenden technischen Teilsystemen bzw. Objekten verschiedenen Ursprungs kann sich während des Entwicklungsprozesses ändern und insbesondere auf Grund neu gewonnener Erkenntnisse oder neu erhaltener Anforderungen erweitert werden. Ein Beispiel ist die Anforderung an den notwendigen Platzbedarf der Werkzeugmaschine
- Zwischen diesen verschiedenen technischen Teilsystemen bzw. Artefakten existierender technischer Systeme, die für die Entwicklung Grundlage und Ausgangspunkt sind, bestehen Wechselwirkungen, beispielsweise anfängliche Inkompatibilitäten oder undefinierte Schnittstellen, die es im Zuge der Entwicklung der neuen Produktgeneration zu lösen bzw. zu definieren gilt. Ein Beispiel ist die Maschine zur Schaumstoffherstellung, bei der die neue Technologie mit gewohnten Bedienprinzipien zusammengebracht werden soll.
- Unterschiedliche Teilsysteme aus bestehenden Systemen, die Grundlage und Ausgangspunkt für die Entwicklung von Struktur und Teilsystemen einer neuen Produktgeneration sind, können von unterschiedlichen Stakeholdern verantwortet werden. Hier ist zum Beispiel die Verwendung von Systemen der Hochfrequenz- bzw. Mikrowellentechnik durch den Hersteller der Schaumstoffmaschinen zu nennen. Hier zeigen sich Parallelen zum Feld des Systems-of-Systems.
- Teilsysteme und Artefakte aus bereits bestehenden Systemen können nicht nur direkt in die Entwicklung neuer Produktgenerationen eingehen, sondern auch indirekt, indem sie zum Beispiel als eine Grundlage der Strategieentwicklung dienen. Das zeigt die dritte Fallstudie.

Zur Erfassung aller Artefakte, die tatsächlich die Grundlage der Entwicklung einer neuen Produktgeneration bilden und deren Wechselbeziehungen, schlagen die Autoren vor, das Beschreibungsmodell der PGE um das Element "Referenzsystem" zu ergänzen, das wie folgt definiert ist:

**Das Referenzsystem für die Entwicklung einer neuen Produktgeneration ist ein System, dessen Elemente bereits existierenden oder bereits geplanten sozio-technischen Systemen und der zugehörigen Dokumentation entstammen und Grundlage und Ausgangspunkt der Entwicklung der neuen Produktgeneration sind.**

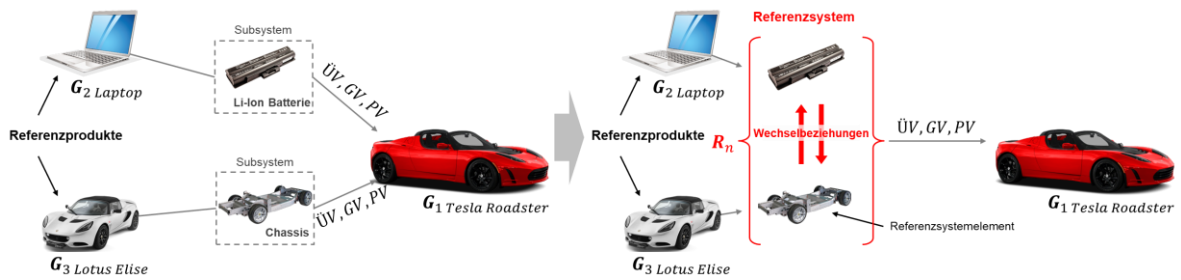


Abb. 2: Das Modell der PGE ohne und mit Referenzsystem anhand des Beispiels des Tesla Roadsters. Wechselbeziehungen zwischen Subsystemen: Das Chassis muss wegen des neuen Fahrzeugschwerpunktes angepasst werden; neue Betriebsbedingungen für die Batteriezellen durch Nutzung in einem Fahrzeug. Das Referenzsystem beinhaltet diese Elemente und ihre Wechselbeziehungen, welche die Grundlage für Entwicklungsaktivitäten in der neuen Produktgeneration sind. Die Entwicklung einer neuen Produktgeneration geschieht durch Übernahme-, Gestalt- und Prinzipvariation.

Elemente des Referenzsystems können - falls vorhanden - Teil einer Vorgängergeneration sein. Ferner können Elemente des Referenzsystems Teilsysteme von Wettbewerbsprodukten oder Teilsysteme von Systemen aus anderen Branchen sein. Letztendlich sind auch prototypische Lösungen aus der Forschung als Elemente des Referenzsystems möglich. Für die Produktionssystem- bzw. Validierungssystementwicklung gelten diese Feststellungen genauso, da es sich ebenfalls um sozio-technische Systeme handelt. Weiterhin können bereits existierende oder bereits geplante sozio-technische Systeme auch Geschäftsmodelle oder Dienstleistungen umfassen. Bereits geplante Systeme können beispielsweise in Form erster Spezifikationen bekannt sein. Zum Beispiel können nach Bekanntgabe der Planung eines neuen Fahrzeugkonzepts eines Unternehmens genannte Spezifika wie Beschleunigung oder Höchstgeschwindigkeit Wettbewerbern als Referenz für eigene künftige Fahrzeuggenerationen dienen.

Das Referenzsystem ist die Grundlage und Ausgangspunkt künftiger Entwicklungsaktivitäten. Die Elemente des Referenzsystems werden selektiv mittels des Handlungssystems der Produktgeneration  $G_i$  in das Objektsystem der Produktgeneration  $G_i$  durch die Aktivitäten Prinzip-, Gestalt- und Übernahmevariation überführt. "Grundlage" umfasst dabei auch referenzierte Systeme, die zwar zunächst untersucht, dann aber explizit ausgeschlossen wurden sowie genau diese zugehörige Begründung.

Das Referenzsystem ändert sich im Laufe des Entwicklungsprozesses kontinuierlich. Dabei handelt es sich aber nicht um einen von sich aus ablaufenden Prozess. Vielmehr muss das Referenzsystem kontinuierlich aktiv zusammengestellt, ergänzt, modifiziert und gestaltet werden.

Jede Produktgeneration hat ihr eigenes Referenzsystem. Insbesondere, wenn sich mehrere Produktgenerationen parallel in der Entwicklung befinden, müssen auch die zugehörigen Referenzsysteme parallel entwickelt werden, wie in Abbildung 3 dargestellt. Es ist dabei möglich, dass Elemente in mehr als einem Referenzsystem vorkommen.

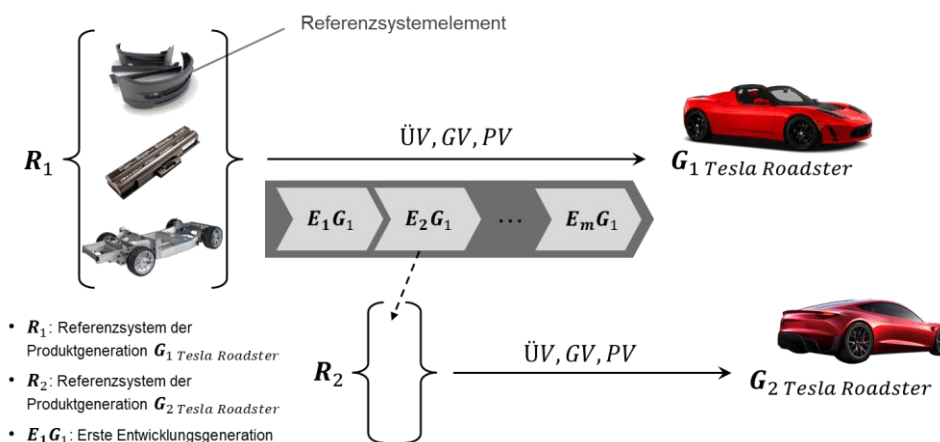


Abb. 3: Jede Produktentwicklung basiert auf genau einem Referenzsystem. Zwischen parallel entwickelten Produkten und Referenzsystemen kann es ebenfalls Wechselbeziehungen und Abhängigkeiten geben.

## 5 FAZIT

Dieser Beitrag schlägt das "Referenzsystem" als zusätzliches Element im Beschreibungsmodell der PGE vor. Diese Erweiterung wird durch die Ergebnisse der drei Fallbeispiele motiviert. Diese bilden somit den zunächst gültigen Anwendungsbereich. Die vorgeschlagene Definition des Referenzsystems enthält jedoch keine branchenspezifischen Merkmale, sodass davon ausgegangen wird, dass sie auf andere Beispiele übertragbar ist. Insbesondere ist zu erwarten, dass sich mit dem Referenzsystem solche Fallbeispiele modellieren lassen, in denen das PGE-Modell bereits erfolgreich angewandt wurde, z.B. für das Zweimassenschwungrad (Albers, Bursac und Rapp, 2016).

Die oben beschriebenen Fallstudien geben auch Einblicke in beobachtbare Zusammenhänge zwischen verschiedenen Referenzsystemelementen. Eine Systematik solcher Beziehungen lässt sich hier jedoch nicht ableiten.

Das PGE-Modell mit dem Referenzsystem beinhaltet Aspekte, die sich teilweise auch in anderen Ansätzen und Modellen wiederfinden, z.B. Lebenszyklusmodelle, Engineering Change und andere in Abschnitt 2 beschriebene. Einige von ihnen sind im PGE-Modell generischer dargestellt. Das Modell der PGE mit den Referenzsystemen zielt darauf ab, den systemischen Charakter einschließlich der Wechselwirkungen zwischen verschiedenen bestehenden Elementen zu betonen, der sich durch die beabsichtigte gemeinsame Nutzung als Grundlage für eine neue Produktgeneration ergibt.

Vergleichbare Mechanismen wie durch das Referenzsystem beschrieben, finden sich auch in der Entwicklung des Zielsystems in der Produktentwicklung wieder. Ziele werden oft nicht absolut formuliert, sondern in Bezug zu bestehenden technischen Systemen und deren (vermeintlichem) Zielsystem. Die Untersuchung solcher Phänomene ist Gegenstand künftiger Arbeiten.

## 6 AUSBLICK

Ausgehend von der Erweiterung des Modells der PGE durch das Element Referenzsystem und dessen Definition ergeben sich Forschungsfragen für anschließende Arbeiten zur Untersuchung der Identifikation von, Bedeutung von und Arbeit mit Referenzsystemelementen.

Die Identifikation potenzieller Referenzsystemelemente und deren Auswahl zur tatsächlichen Verwendung in der anschließenden Produktentwicklung stellt hierbei ein wichtiges Themengebiet dar. Hier sind z.B. Schnittstellen mit Fragestellungen der Felder Patent- und Trendanalyse zu erwarten, ebenso wie mit der Produktplanung und Zukunftsvorausschau. Dabei ist zu klären, wie das anfängliche Referenzsystem künftiger Produktgenerationen geplant werden kann und davon ausgehend fortlaufend Elemente identifiziert werden können, die dem Referenzsystem hinzugefügt werden sollten. Für diesen Prozess kann der Abgleich des Zielsystems der aktuell entwickelten Produktgeneration mit den Zielsystemen potenzieller Referenzsystemelemente wichtig sein. Es ist allerdings davon auszugehen, dass das tatsächliche Zielsystem eines möglichen Referenzsystemelements nicht immer direkt zugänglich ist, sondern aus den potenziellen Referenzsystemelementen selbst heraus aktiv rekonstruiert werden muss. Das kann insbesondere bei Referenzsystemelementen der Fall sein, deren Ursprung außerhalb des Unternehmens liegt, also beispielsweise bei Wettbewerbern oder wie im Fall des Eingangsbeispiels mit dem Display in einer anderen Branche.

Weiterhin stellt sich die Frage, wie auf der Grundlage des Referenzsystemkonzepts Zusammenhänge von Eigenschaften des Systems bzw. seiner Elemente einerseits und Größen wie Entwicklungskosten, -risiken, aber auch -chancen andererseits verstanden und modelliert werden können und inwieweit in Bezug auf diese Zusammenhänge auch präskriptive Abschätzung möglich sind. Einhergehend mit der Untersuchung dieser Problemstellungen kann die Ableitung von Entwicklungsaktivitäten auf Basis des Referenzsystems betrachtet werden.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Ahmed, S., Wallace, M., Blessing, T. (2003), "Understanding the differences between how novice and experienced designers approach design tasks", *Research in Engineering Design*, Vol. 14, No.1, pp. 1–11.
- Albers, A., Bursac, N. und Rapp, S. (2016), "PGE-Product Generation Engineering-Case Study of the Dual Mass Flywheel", In: DS 84: Proceedings of the DESIGN 2016, *14th International Design Conference*, pp. 791-800.

- Albers, A., Bursac, N. und Wintergerst, E. (2015), "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*, pp. 16-21.
- Albers, A., Dumitrescu, R., Marthaler, F., Alexander, A., Kühfuss, D., Strauch, M., Siebe, A., Bursac, N. (2018), "PGE-Produktgenerationsentwicklung und Zukunftsvorausschau: Eine systematische Betrachtung zur Ermittlung der Zusammenhänge", *14. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung (SVT)*, Berlin, Deutschland, 8-9 November 2018.
- Albers, A., Rapp, S., Birk, C. and Bursac, N. (2017), "Die Frühe Phase der PGE Produktgenerationsentwicklung", *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung*, Stuttgart, Deutschland, 28-29 Juni 2017.
- Albers, A., Reiß, N., Bursac, N. und Richter, T. (2016), "iPeM – Integrated Product Engineering Model in Context of Product Generation Engineering", *Procedia CIRP*, Vol. 50, pp. 100–105.
- Alblas, A. und Jayaram, J. (2015), "Design resilience in the fuzzy front end (FFE) context: an empirical examination", *International Journal of Production Research*, Vol. 53, No. 22, pp. 6820-6838.
- Bauer, W. (2016), *Planung und Entwicklung änderungsrobuster Plattformarchitekturen*, Technische Universität München.
- Corso, M., Muffatto, M. und Verganti, R. (1999), "Reusability and multi-product development policies: a comparison of approaches in the automotive, motorcycle and earthmoving machinery industries", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 15, No. 2, pp. 155-165.
- Cross, A. (2007), *Engineering Design Methods - Strategies for Product Design*, Wiley, Milton Keynes, UK.
- Duffy, M., Duffy, A. H.B., MacCallum, K., (1995), "A Design Reuse Model", *The Tenth International Conference on Engineering Design (ICED)*, Prag, 22-24 August, Heurista, Zürich.
- Duffy, A.H.B. und Ferns, A. F., (1998) "An analysis of design reuse benefits", *Proceedings of the 12th International Conference on Engineering Design (ICED '99)*, Design Society, pp. 799-804.
- Eckert, C., John Clarkson, P. und Zanker, W. (2004), "Change and customisation in complex engineering domains ", *Research in Engineering Design*, Vol. 15, No.1, pp. 1-21.
- Eisa, H., Garstenaue, A. Blackburn, T., (2018), "Causes of Engineering Change Propagation: An Analysis During Product Lifecycle", *Engineering Management Journal*, Vol. 30, No. 1, pp. 3-13.
- Ettlie, E., Kubarek, M. (2008), "Design Reuse in Manufacturing and Services", *Design Reuse in Manufacturing and Services*, Vol. 25, No.5, pp. 457-472.
- Fink, A., SIEBE, A. (2016), *Szenario-Management: von strategischem Vorausdenken zu zukunftsrobusten Entscheidungen*, Campus Verlag, pp. 285-286.
- Gausemeier, J., Plass, C., (2014), *Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung: Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen*, Hanser, München, Deutschland.
- Gero, J., (1990), "Design prototypes: a knowledge representation schema for design", *AI Magazine*, Vol. 11, No. 4, pp. 26-36.
- Hatchuel, A.; Le Masson, P.; Weil ,B. (2004), "C-k Theory in practice : Lessons from Industrial Applications", *DS 32: Proceedings of DESIGN 2004, the 8th International Design Conference*, Dubrovnik, Kroatien, pp. 245 - 258.
- Hubka, V., Ernst Eder, W., (1992); *Einführung in die Konstruktionswissenschaft- Übersicht, Modell, Ableitungen*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany.
- Iyer, N., Jayanti, S., Lou, K., Kalyanaraman, Y. Ramani, K. (2005), "Three-dimensional shape searching: state-of-the-art review and future trends.", *Computer-Aided Design*, Vol. 37, No. 5, pp. 509-530.
- Jarratt, T., Eckert, C., Clarkson, P. J., Schwankl, L., (2002), "Product Architecture and the Propagation of Engineernig Change", *DS 30: Proceedings of DESIGN 2002, the 7th International Design Conference*, Dubrovnik, Kroatioen, pp. 75-80.
- Jwa, (2018), *Revolution für Galaxy und iPhone: Samsung präsentiert unzerstörbares Display*. [online] ntv. Available at: <https://www.n-tv.de/technik/Samsung-praesentiert-unzerstoerbares-Display-article20546624.html> (29.11.2018).
- Langer, S., Maier, A. M., Wilberg, J., Münch, T. J., Lindemann, U., (2012), " Exploring differences between average and critical engineering changes: Survey results from Denmark", *DS 70: Proceedings of DESIGN 2012, the 12th International Design Conference*, Dubrovnik, Croatia, pp. 223-232.
- Maher, M., Silva Garza, A. (1997), "Case-Based Reasoning in Design", *IEEE Expert: Intelligent Systems and Their Applications*, Volume. 12, No. 2, pp. 34-41.
- Marthaler, F.; Heimicke, J., Bursac, N. und Albers. A. (2019a), "InnoBandit 2.0: A Systematic Approach to Scenario-Based Product Profile Generation in PGE – Product Generation Engineering", *CIRP Design 2019* (eingereicht).
- Marthaler, F., Orsolani, E., Uhlig, P., Kühfuss, D.; Siebe, A., Bursac, N., Albers, A. (2019b), "Strategische Potentialfindung zur generationsübergreifenden Produktentwicklung mit langfristigem Zeithorizont: Eine qualitative Studie im Live-Lab IP – Integrierte Produktentwicklung", *5. Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung (SSP)*, Stuttgart, Deutschland, 16 Mai 2019.

- Martin, M., Ishii, K., (2002), "Design for variety: developing standardized and modularized product platform architectures", *Research in Engineering Design*, Vol. 13, No. 4, pp. 213-235.
- Mozgova, I., Lachmayer, R., Gottwald, P., (2015), "Formulations of Paradigms on technical Inheritance", In: *Proceedings of the 20th International Conference on Engineering Design (ICED15)*, Politecnico di Milano, Italien, 27-30 Juli 2015.
- Schuh, G., Schiffer, M., Arnoscht, J. (2012), "Scenario based development of robust product architectures", *Technology Management for Emerging Technologies (PICMET)*, IEEE, pp. 2542-2549.
- Shahin T., Andrews P. und Sivaloganathan S. (1999), "A design reuse system", *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part B-journal of Engineering Manufacture*, pp. 621-627.
- Sivaloganathan S., Shahin, M. (1999), "Design reuse: An overview", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture*, pp. 641-654.
- Wouters, M. J. F. und Kressens-van Drongelen, I. C. (2004), "Improving Cross-Functional Communication About Product Architecture", *IEEE 2004 International Engineering Management Conference innovation and entrepreneurship for sustainable development*, Singapur, 18-21 Oktober 2004.
- Wyatt, David, F., Eckert, Claudia M., Clarkson, P. John (2009), "Design of product architectures in incrementally developed complex products", *DS58-4: Proceedings of ICED 09, the 17th Int. Conference on Engineering Design*, Vol. 4, Product and Systems Design, Palo Alto, USA, 24 - 27 August 2009.

## BILDQUELLEN

Abbildung 1: TRUMPF GmbH + Co. KG

Abbildungen 2 und 3:

Laptop: CC BY-NC 4.0, (2016). Laptop Free Download PNG. [Bild] Available at: <http://www.pngall.com/laptop-png/download/5419> [19.03.2019].

Laptop Batterie: Reichelt, (2019). AKKU\_51136. [Bild]: [https://cdn-reichelt.de/bilder/web/xxl\\_ws/D600/AKKU\\_51136.png](https://cdn-reichelt.de/bilder/web/xxl_ws/D600/AKKU_51136.png) [19.03.2019].

Lotus Elise: jct600, (2019). Elise. [Bild]: <https://www.jct600.co.uk/img/brands/lotus/new-cars/thumbs/elise.png> [19.03.2019].

Tesla Roadster new: katlain, (2019). Tesla Roadster. [Bild]: (<https://www.kisspng.com/png-tesla-roadster-tesla-inc-car-tesla-semi-6381320/download-png.html>) [19.03.2019].

Tesla Roadster: cars.com, (2019). [Bild]: <http://car-pictures.cars.com/images/?IMG=USC10TSC011A0101.png&WIDTH=624&HEIGHT=300&AUTOTRIM=1> [19.03.2019].

Elise Chassis: superstreetonline.com, (2019). [Bild]: [http://image.superstreetonline.com/f/31915428+w+h+q80+re0+cr1/modp\\_1002\\_03\\_o%2Blotus\\_elise\\_alterative\\_project\\_car%2Baluminum\\_chassis.jpg](http://image.superstreetonline.com/f/31915428+w+h+q80+re0+cr1/modp_1002_03_o%2Blotus_elise_alterative_project_car%2Baluminum_chassis.jpg) [19.03.2019].

KIT Scientific Working Papers  
ISSN 2194-1629

[www.kit.edu](http://www.kit.edu)