

Hamburger Schriftenreihe
Produktentwicklung und Konstruktionstechnik

Technische Universität Hamburg-Harburg
Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause
Denickestraße 17
21073 Hamburg

Sandra Eilmus

**Methodische Unterstützung
der Entwicklung von
Produktprogrammen mit
hoher Kommunalität**

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

Impressum

TUTECH Verlag

TUTECH INNOVATION GmbH
Harburger Schloßstr. 6-12
21079 Hamburg

Tel: +49 40 76629-0

Fax: +49 40 76629-6559

E-Mail: verlag@tutech.de

www.tutechverlag.de

Nachdruck, Vervielfältigung, Speicherung oder Übertragung in elektronische, optische, chemische oder mechanische Datenhaltungs- oder -Datenverwertungssysteme sind – auch auszugsweise – ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung von TUTECH INNOVATION GmbH verboten.

Die Verwertung von Informationen aus der Hamburger Schriftenreihe
Produktentwicklung und Konstruktionstechnik zum Zweck der gewerblichen
Informationsvermittlung ist nicht zulässig.

Alle Rechte vorbehalten.

© TUTECH INNOVATION GmbH

Hamburger Schriftenreihe Produktentwicklung und Konstruktionstechnik
ISSN 1868-6885

1. Auflage November 2016

ISBN 978-3-946094-11-1

Methodische Unterstützung der Entwicklung von Produktprogrammen mit hoher Kommunalität

Dem Promotionsausschuss der
Technischen Universität Hamburg-Harburg

zur Erlangung des akademischen
Grades Doktor-Ingenieurin (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von
Sandra Eilmus

aus Celle

2016

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause
 2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Christian Weber
- Tag der mündlichen Prüfung: 07. Juli 2016

Vorwort

Diese Dissertation ist Resultat meiner Tätigkeit als Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik (PKT) der Technischen Universität Hamburg-Harburg. Auf diesem Weg wurde ich beruflich wie privat auf vielfache Weise inspiriert und unterstützt, wofür ich mich von Herzen bedanken möchte.

Besonders zu nennen ist an vorderster Stelle mein Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause. Seine tiefgehende, konstruktive und auch kritische Auseinandersetzung mit dieser Dissertation und die vertrauensvolle Zusammenarbeit haben sehr zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Prof. Dr.-Ing. Christian Weber danke ich herzlich für die Übernahme des Zweitgutachtens sowie Prof. Dr. Dr. h. c. Wolfgang Kersten für den Prüfungsvorsitz.

Für den Praxisbezug dieser Arbeit war meine Zusammenarbeit mit der Jungheinrich AG von zentraler Bedeutung. Hier möchte ich Peter Dibbern und Dr. Frank Mänken für das entgegengebrachte Vertrauen danken. Besonderer Dank gilt Dr. Julia Lechnitz, die als Projektleiterin mit ihrem Engagement und ihrem Standing im Unternehmen den engen Industriebezug erst ermöglicht hat. Weiterhin bedanke ich mich bei den Entwicklungsleitern diverser Standorte der Jungheinrich AG, die sich auf die Forschungsarbeit mit großem Interesse und nicht ohne eigenen Aufwand eingelassen haben. Olga Sankowski und Malte Jäger danke ich für ihren großartigen Beitrag im Rahmen studentischer Tätigkeiten sowie meinem Kollegen Sebastian Ripperda für die Zusammenarbeit am Thema der Komplexitätskosten.

Einen methodischen Ansatz zu entwickeln, der auf ein ganzes Produktprogramm angewendet werden kann, ist eine Mammutaufgabe, die nur zu bewältigen war, weil ich auf die Methodenbausteine meiner Kollegen Dr. Christoph Blees, Dr. Thomas Kipp, und Dr. Henry Jonas aufsetzen konnte. Auch die fachlichen Diskussionen mit Dr. Max Brosch, Dr. Thomas Gumpinger und Dr. Niklas Halfmann haben maßgeblich zur inhaltlichen Schärfung beigetragen. Dieser Dank gilt in gleicher Form dem gesamten Modularisierungsteam. Den Kolleginnen und Kollegen des PKT und den von mir betreuten Studierenden möchte ich herzlich für schöne und erfüllende Jahre danken.

Für konkrete Hilfe in redaktionellen Fragen bedanke ich mich bei Dr. Thomas Gumpinger, Julia Hanß, Juliane Hartung und Wolfgang Szech.

Mit tiefster Dankbarkeit blicke ich zu guter Letzt auf die Unterstützung, Geduld und Ermutigung durch meine Familie und meine Freunde, die mir viel Kraft und Durchhaltevermögen in dieser bereichernden und fordernden Zeit geschenkt haben.

Sandra Eilmus

Summary

Megatrends of globalisation and individualisation characterize global markets. Hence, varying individual customer needs need to be satisfied and products need to be compliant with country-specific conditions while maintaining marketable prices. Offering a broad variety of products cost-efficiently, becomes a crucial success-factor. Yet, a broad variety of products leads to more complexity, causing more costs. These complexity costs incur for instance because of higher storage expenses, excessive logistics and smaller lot sizes. By developing modular product families, product variants can be configured from a small number of modules in order to reduce complexity. The modular design enables the use of common components in several product variants, so called commonality. In recent decades, several approaches have been developed to increase the commonality of product families, among others the Integrated PKT-Approach for Developing Modular Product Families. Still, additional potential can be exploited by using common modules even across product families. As there are no sufficient methods for a product program wide approach yet, the aim of this contribution is to develop methodical support for the development of common product programs.

This method includes the Carryover Chart (CoC), a newly developed visualisation of product programs regarding their carryover modules. At first potential carryover candidates are identified using the CoC. Analysing this potential as well as the actual needs for more commonality or more differentiation, a product program specific product structure strategy is developed. In accordance with this strategy the carryover candidates are developed as modules with common use across product families. This phase includes design for variety in order to achieve higher component commonality. The effect of higher component and module commonality on the product life phases is evaluated and optimized. These steps are supported by partly existing and adapted method units of the Integrated PKT-Approach. Resulting concepts are compared in a newly developed breakeven analysis in order to understand the effect on production and complexity cost.

Applying the method on a product program of fork lift trucks and the design of base frames it is successfully evaluated.

The Integrated PKT-Approach for Developing Modular Product families is extended by the new method to the Integrated PKT-Approach for Developing Modular Product Programs.

Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation	1
1.2	Zielsetzung der Arbeit.....	2
1.3	Aufbau der Arbeit	4
2	Grundlagen.....	7
2.1	Grundlegende Begriffe des Variantenmanagements	7
2.2	Begriffe der modularen Produktstrukturierung	11
2.3	Produktstrukturstrategien.....	19
3	Stand der Wissenschaft	25
3.1	Methoden des Integrierten PKT-Ansatzes zur Entwicklung modularer Produktfamilien.....	25
3.2	Methoden der modularen Produktentwicklung.....	32
3.3	Ansätze aus dem Variantenmanagement.....	46
3.4	Ansätze der Produktprogrammentwicklung.....	48
3.5	Einordnung der relevanten methodischen Ansätze aus der Fachliteratur	50
4	Deskriptive Studie zur Vorbereitung der Methodenentwicklung	53
4.1	Durchführung der deskriptiven Studie	53
4.2	Erkenntnisse zur Weiterentwicklung der angewendeten Methoden.....	55
4.3	Erkenntnisse zum Potenzial produktfamilienübergreifender Methodenanwendung.....	55
4.4	Erkenntnisse zur Entwicklung kommunaler Produktprogramme	56
4.5	Bewertung bestehender methodischer Ansätze aus der Fachliteratur	61
4.6	Resultierender Forschungsbedarf	66
5	Methode der Entwicklung kommunaler Produktprogramme	69
5.1	Vorgehen zur Entwicklung modularer Produktprogramme	69

5.2	Visualisierung von Produktprogrammen im Carryover Chart CoC.....	72
5.3	Analyse des Carryover-Potenzials im CoC.....	77
5.4	Entwicklung einer Produktstrukturstrategie.....	83
5.5	Entwicklung kommunaler Modulkonzepte.....	87
5.6	Einordnung der entwickelten Visualisierungen in das methodische Vorgehen	105
6	Validierung an einem Fallbeispiel	109
6.1	Planung der Validierung.....	109
6.2	Durchführung der Validierung	112
6.3	Überprüfung der messbaren Kriterien anhand der Daten der Fallstudie	132
6.4	Zusammenfassung und Diskussion der Validierung.....	134
7	Integrierter PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktprogramme	137
7.1	Grundlegende Beschreibung	137
7.2	Entwicklung modularer Produktprogramme im Rahmen einer Plattformstrategie	140
7.3	Entwicklung modularer Produktprogramme im Rahmen einer Baukastenstrategie	142
8	Zusammenfassung und Ausblick	145
	Anhang.....	147
	Literatur	161

Verzeichnis der Abkürzungen

ATO	Assemble-to-Order
CAP	Carryover Assignment Plan
CDI	Commonality and Diversity Index
CMC	Comprehensive Metric for Commonality
CD	Carryover Delta
CoC	Carryover Chart
CP	Carryover-Potenzial
CPC	Commonality Process Chart
CS	Product Family Crossing Share
CTO	Configure-to-Order
DRM	Design Research Methodology
DSM	Design Structure Matrix
ETO	Engineer-to-Order
FSD	Fahrerschutzdach
GK	Gesamtkosten
GVI	Generational Variety Index
HK	Herstellkosten
KK	Komplexitätskosten
MDM	Multiple Domain Matrix
MIG	Module Interface Graph
MPC	Module Process Chart
MTO	Make-to-Order
O	Optionale Module
PCI	Product Line Commonality Index
PDM	Produktdatenmanagement

PDS	Platform Definition Sheet
PFPF	Product Family Penalty Function
PKT	Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik
PMPF	Product Family Master Plan
PSC	Produktstrukturstrategie-Chart
S	Standard-Module
TCCI	Total Constant Commonality Index
TOV	Vielfaltsbaum – Tree of Variety
TUHH	Technische Universität Hamburg-Harburg
V	Variante Module
VAM	Variety Allocation Model

Verzeichnis der Formelzeichen

d	Anzahl aller Komponenten im TCCI
f_{1-3}	Faktoren für Material, Form und Größe (f_1), in Werkstoff und Herstellung (f_2) und Montage (f_3) im PCI
F_{pf}	Anzahl produktfamilienübergreifender Farbcodes im CAP des Integrierten PKT-Ansatzes
F_{ges}	Anzahl aller Farbcodes im CAP des Integrierten PKT-Ansatzes
i	Laufende Nummer der Komponenten im PCI
j	Laufende Nummer jeder Komponente im TCCI
K	Anzahl Komponenten insgesamt im Integrierten PKT-Ansatz
N	Anzahl Produktvarianten im PCI
N	Anzahl von unterschiedlichen Komponenten nach vollständiger Ausschöpfung des identifizierten Carryover-Potenzials im CAP des Integrierten PKT-Ansatzes
n_i	Anzahl der Varianten der Komponente i im PCI
P	Komponenten, die nicht primär zur Differenzierung der Produktvarianten beitragen im PCI
S	Anzahl von Standardkomponenten im Integrierten PKT-Ansatz
V	Anzahl varianter Komponenten im Integrierten PKT-Ansatz
φ	Anzahl der Varianten, in denen die jeweilige Komponente j verbaut ist, im TCCI

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Die Megatrends der Globalisierung und Individualisierung prägen die Märkte zunehmend. Produkte auf einem globalen Markt anzubieten bedeutet, unterschiedliche Kunden mit individuellen Ansprüchen anzusprechen und dabei zusätzlich eine Vielzahl von länderspezifischen Randbedingungen zu berücksichtigen. Dabei ist die Marktfähigkeit gegen globale Wettbewerber zu behaupten. Erfolg in diesem Wettbewerbsumfeld haben Unternehmen, die variantenreiche Produkte kostengünstig anbieten können. Das richtige Maß zwischen der Erfüllung individueller Kundenbedürfnisse und dem Angebot zu global marktfähigen Preisen entscheidet. Hierbei kommt erschwerend hinzu, dass viele verschiedene Produktvarianten zusätzliche Kosten, sogenannte Komplexitätskosten, im Unternehmen verursachen. Diese resultieren beispielsweise aus zusätzlicher Lagerhaltung und größerem Aufwand in Absicherung und Test, umfangreicher Logistik und geringen Losgrößen. Modulare Produktstrukturen bieten für diese Herausforderung eine Lösung, da sie es ermöglichen, aus einer geringen Anzahl von Modulen die geforderten Marktvarianten zu konfigurieren. So wird der Gleichteileanteil erhöht. Dies senkt die Komplexität, da die Losgrößen erhöht werden und sich die Logistikaufwände und Lagerbestände sowie Aktivitäten in Entwicklung und Absicherung auf den definierten Satz an Modulen beschränken.

In der Wissenschaft sind in den letzten Jahrzehnten diverse Ansätze entwickelt worden, die die Entwicklung modularer Produktstrukturen unterstützen. Der Trend spiegelt sich in den Entwicklungstätigkeiten zahlreicher Unternehmen wieder, die Modul-, Plattform- und Gleichteilestrategien verfolgen. Beginnend mit methodischen Ansätzen, die zum Teil nur einzelne Produkte abbilden, wurden zunehmend ganze Produktfamilien betrachtet, um die Produktvarianten einer Produktfamilie auf Basis gemeinsamer Module konfigurieren zu können. Diese gemeinsame Nutzung von Gleichteilen durch verschiedene Produktvarianten wird Kommunalität genannt.

Wenn auch über die Grenzen von Produktfamilien hinaus gemeinsame Module im ganzen Produktprogramm verwendet werden, kann weiteres Potenzial zur Erhöhung der Kommunalität genutzt werden. So vielversprechend das in der produktprogrammweiten Betrachtung liegende Potenzial für Kommunalität ist, so schwierig gestaltet sich die Aufgabe, dieses zu identifizieren und auszuschöpfen.

Die Entwicklung kommunaler Produktprogramme ist wissenschaftlich bisher nicht so tiefgehend erschlossen wie andere Bereiche des Variantenmanagements. Organisatorische Strukturen von Unternehmen lehnen sich häufig an die Produktfamilienstruktur an. Dies erschwert die produktfamilienübergreifende, produktprogrammweite Entwicklung kommunaler Module und erfordert daher umso mehr eine neue strukturierte Methode.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Zielsetzung dieser Arbeit ist es, die Erhöhung der produktfamilienübergreifenden Kommunalität in einem Produktprogramm durch eine entsprechende Methode zu erreichen. Neben der durch andere methodische Ansätze gebotenen Unterstützung der produktfamilieninternen Kommunalität soll dadurch ein Beitrag zur Erhöhung der Kommunalität eines gesamten Produktprogrammes geleistet werden. Die daraus resultierende Reduzierung der Komplexität ermöglicht eine Reduktion der Gesamtkosten, unter Beibehaltung der benötigten Produktvarianten. Eine wichtige Randbedingung bei der Entwicklung kommunaler Produktprogramme ist, dass die Maßnahmen möglichst zu keiner Steigerung der Herstellkosten führen, da diese eine maßgebliche Zielgröße eines Unternehmens sind. Diese Zielsetzung ist in Bild 1-1 in Form eines Impact Models nach BLESSING UND CHAKRABARTI [Ble09] dargestellt.

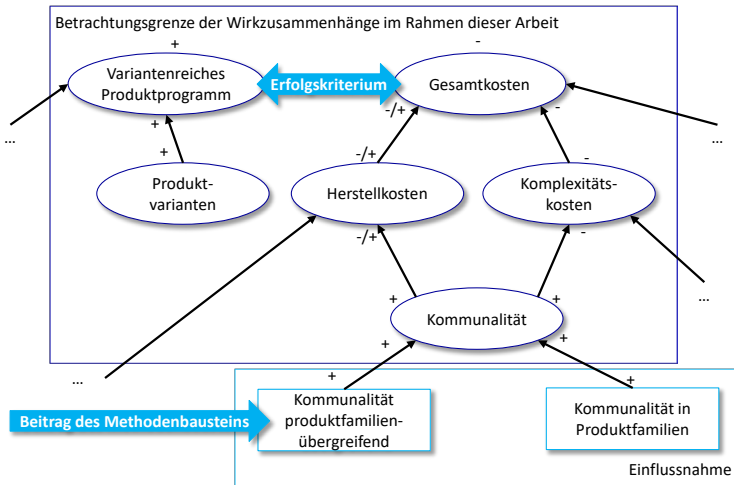


Bild 1-1: Zielsetzung der Arbeit im Impact Model nach BLESSING UND CHAKRABARTI [Ble09]

Die Pfeile verbinden die einflussnehmenden Faktoren mit den zu beeinflussenden Faktoren. Die Zeichen - und + indizieren eine Senkung oder Steigerung dieser Faktoren. Als Erfolgskriterium eines Produktprogramms wird angenommen, dass ein variantenreiches Produktprogramm zu möglichst niedrigen Gesamtkosten ermöglicht wird. Die Gesamtkosten werden im Rahmen dieser Arbeit untergliedert in Herstellkosten und Komplexitätskosten. Weitere Faktoren, die die Gesamtkosten zusätzlich beeinflussen, werden im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet. Um die Gesamtkosten zu senken, sollen die Komplexitätskosten gesenkt werden, indem die Kommunalität erhöht wird. Eine Erhöhung der Kommunalität muss nicht zwangsläufig zu einer Senkung der Herstellkosten führen. Um gleiche Module in unterschiedlichen Produktvarianten und -familien einsetzen zu können, müssen sie zum Teil überdimensioniert werden, was die Herstellkosten steigern kann. Ziel ist es, die Gesamtkosten zu senken, vorzugsweise bei gleich bleibenden oder geringeren Herstellkosten. Es ist für die Zielsetzung dieser Arbeit wichtig, nicht nur durch Kommunalität die Gesamtkosten zu senken, sondern auch aufzuzeigen, welche Wirkung kommunale Konzepte auf die Herstellkosten haben.

Methodische Grundlage dieser Arbeit ist der *Integrierte PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien (Integrierter PKT-Ansatz)*. Er wurde am *Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik (PKT) der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH)* mit diversen Methodenbausteinen entwickelt [Kra14]. Die im Rahmen dieser Arbeit zu entwickelnde methodische Unterstützung soll auf diesen Ansatz zielführend aufbauen und ihn um Elemente erweitern, die für die Entwicklung kommunaler Produktprogramme notwendig sind.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die oben genannte Zielsetzung wird in dieser Dissertation wie in Bild 1-2 dargestellt bearbeitet. Die Arbeit orientiert sich an dem methodischen Vorgehen zur Entwicklung von Produktentwicklungsmethoden *Design Research Methodology (DRM)* nach BLESSING UND CHAKRABARTI [Ble09]. Hier werden nach der Klärung der Forschungsaufgabe weitere Erkenntnisse durch eine deskriptive Studie I gewonnen. Darauf aufbauend wird im Rahmen der präskriptiven Studie eine Methode entwickelt, die der in der deskriptiven Studie I spezifizierten Anforderungen entspricht. Abschließend erfolgt in einer deskriptiven Studie II die Validierung der neuen Methode.

Diesem Vorgehen entsprechend wird im Anschluss an dieses Kapitel die Forschungsaufgabe in drei Schritten gegliedert. Zuerst werden Grundlagen (Kapitel 2) beschrieben. Dann wird der Stand der Wissenschaft aufgeführt (Kapitel 1). Hier wird vorerst qualitativ eingeordnet, inwiefern bestehende Literatur zur Bearbeitung der Forschungsaufgabe beitragen kann.

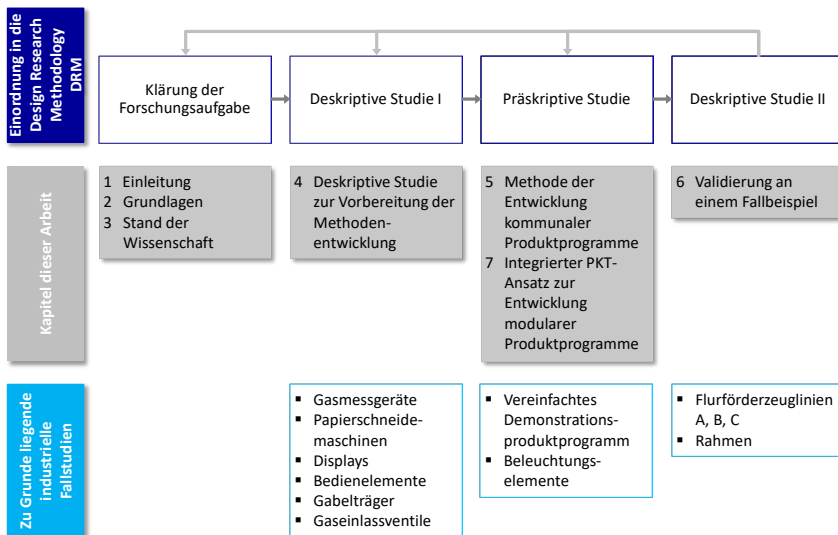


Bild 1-2: Einordnung der Arbeit in das Vorgehen nach BLESSING UND CHAKRABARTI [Ble09]

Im Rahmen der deskriptiven Studie I wird die Methodenentwicklung vorbereitet, indem durch industrielle Fallstudien neue Erkenntnisse gewonnen werden, um den Forschungsbedarf zu spezifizieren (Kapitel 1). Die Fallstudien der deskriptiven Studie werden an Produktfamilien von Gasmessgeräten, Papierschneidemaschinen, Displays, Bedienelemen-

ten, Gabelträgern und Gaseinlassventilen durchgeführt. Auf Basis der Erkenntnisse erfolgen eine detaillierte Beschreibung der Forschungsaufgabe und eine präzisierte Einordnung des Stands der Wissenschaft.

In der präskriptiven Studie wird anhand eines vereinfachten Demonstrationsproduktprogramms und den dort verbauten Beleuchtungselementen die Methode zur Entwicklung kommunaler Produktprogramme vorgestellt (Kapitel 1). Diese wird anschließend anhand eines Produktprogramms von drei Flurförderzeuglinien und der Rahmenbaugruppe dieser Flurförderzeuge im Speziellen evaluiert (Kapitel 1). Als zweiter Teil der präskriptiven Studie wird dann die neue Methode in den übergeordneten Integrierten PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktprogramme integriert (Kapitel 1), bevor die Ergebnisse zusammengefasst und ein Ausblick gegeben werden (Kapitel 8).

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die in der Arbeit verwendeten grundlegenden Fachbegriffe definiert und erläutert. Zuerst werden allgemeine, relevante Begriffe des Variantenmanagements aufgeführt. Dann werden Begriffe, die die modulare Produktstrukturierung betreffen, erörtert und im Anschluss wesentliche Produktstrukturstrategien aufgeführt.

2.1 Grundlegende Begriffe des Variantenmanagements

Wesentliche Begriffe des Variantenmanagements werden im Folgenden erläutert.

Interne und externe Varianz

Die *externe Varianz* beschreibt die für den Kunden erkenn- und nutzbare Vielfalt von Produktvarianten, die zur Erfüllung von Kundenwünschen und somit zum Produktnutzen beiträgt. Die *interne Varianz* beschreibt die im Rahmen der Auftragsabwicklung auftretende Vielfalt von Baugruppen und Bauteilen sowie Produkten und Prozessen [Fra02].

Variante und Version

Varianten sind technische Systeme gleichen Zwecks, die sich in mindestens einer Beziehung oder einem Merkmal unterscheiden [Fra02]. Der Begriff Variante ist deutlich vom Begriff Version abzugrenzen. Eine *Version* ist nach SCHICHEL ein genau definierter Stand eines Objekts im Rahmen seines Lebenszyklus. Eine Version hat ihre Entstehung zu einem definierten Zeitpunkt und ist in einer zeitlichen Abfolge mit Vorgänger und Nachfolger verknüpft [Sch02].

Merkmal und Eigenschaft

Produkte können nach WEBER durch Eigenschaften und Merkmale beschrieben werden [Web08]: *Merkmale* beschreiben die Struktur und Gestalt eines Produktes, wie zum Beispiel seine Formen, Dimensionen, Materialien oder Oberflächen. Diese werden direkt durch die Produktentwicklung bestimmt. *Eigenschaften* beschreiben das Verhalten eines

Produkts, wie zum Beispiel seine Funktion, sein Gewicht, seine Zuverlässigkeit oder seine Montierbarkeit. In der Produktentwicklung werden Merkmale mit dem Ziel bestimmt, zu den gewünschten Eigenschaften zu führen. Dazu im Unterschied steht die Definition nach EHRENSPIEL, nach der Eigenschaften alle Beobachtungen, Messergebnisse und Aussagen über ein Produkt beschreiben. Merkmale sind besonders hervorzuhebende Eigenschaften und werden unterschieden in Beschaffenheits-, Funktions- und Relationsmerkmale [Ehr13].

Für die Entwicklung varianter Produkte eignet sich die Definition nach WEBER besonders gut, da die Eigenschaften die externe Vielfalt repräsentieren und die Merkmale die interne Vielfalt kennzeichnen. Hier gelten die Eigenschaften, die aus Kundensicht die Varianten unterscheiden, als *kundenrelevante differenzierende Eigenschaften*. Die technischen Merkmale, durch die diese Vielfalt technisch verwirklicht wird, werden als *variante technische Merkmale* bezeichnet. In einigen Fällen werden die kundenrelevanten differenzierenden Eigenschaften direkt als technische Merkmale ausgedrückt wie zum Beispiel die Breite eines Flurförderzeugs (technisches Merkmal), das für Kunden wegen der resultierenden Wendigkeit (Eigenschaft) gewählt wird, aber branchenüblich konkret als Breite angegeben wird.

Produktlebensphasen

Die *Produktlebensphasen* Entwicklung, Einkauf, Produktion, Vertrieb, After-Sales und Recycling/Entsorgung beschreiben generisch die Phasen, die jedes Produkt der Reihe nach durchläuft, und können unternehmensspezifisch angepasst werden [Ble11] (Bild 2-1).

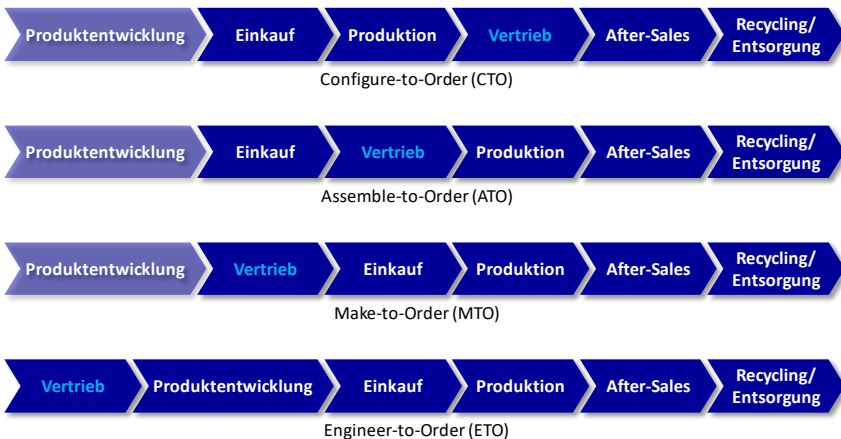


Bild 2-1: Produktlebensphasen und ihre Anordnung im Rahmen möglicher Strategien der Supply Chain

Bei einer *Engineer-to-order-Strategie (ETO)* steht der Vertrieb vorn. Erst nach eingehender Kundenanfrage beginnt die Produktentwicklung. Für ein Unternehmen mit einer *Make-to-Order-Strategie (MTO)* ist die Lebensphase Vertrieb vor Einkauf und Produktion einzuordnen, während bei einer *Assemble-to-order-Strategie (ATO)* der Vertrieb zwischen Einkauf und Produktion stattfindet. Eine *Configure-to-order-Strategie (CTO)* beschreibt den Vertrieb vorbereiteter Produktvarianten, die kundenindividuell konfiguriert werden. Bei der Modulbildung spielen die Produktlebensphasen eine wichtige Rolle, da die modulare Struktur auf die Anforderungen der Produktlebensphasen abgestimmt werden muss.

Hierarchischer Aufbau und Betrachtungsrahmen des Produktprogramms

Die Struktur eines Produktprogramms definiert JONAS auf Basis einer ausführlichen Literaturrecherche [Ble11, Ere96, Göp98, Hof01, Kom98, Run07, Rup88, Sek05] wie in Bild 2-2 dargestellt [Jon13].

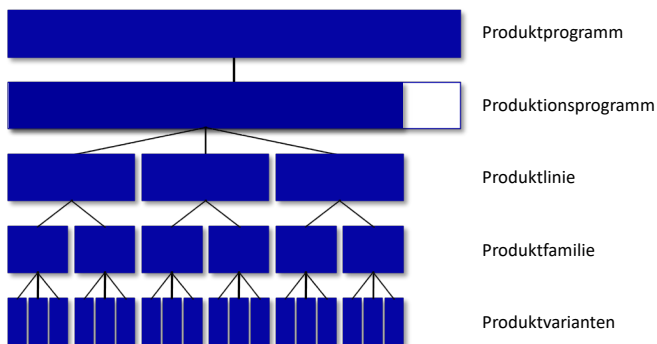


Bild 2-2: Produktprogrammstruktur [Jon13]

Das *Produktprogramm* beschreibt die Gesamtheit aller Produkte, die ein Unternehmen anbietet. Im *Produktionsprogramm* befinden sich alle Produkte, die das Unternehmen selbst herstellt. Handelswaren oder Dienstleistungen sind somit Teil des Produktprogramms nicht aber des Produktionsprogramms. In *Produktlinien* sind Produkte zusammengefasst, die durch Gemeinsamkeiten in Marktsegmenten, Produktionsverfahren oder Funktionsprinzipien eine gemeinsame Planung erfordern. *Produktfamilien* bezeichnen Produkte, die gemeinsame Funktionen, Komponenten und Schnittstellen teilen. Während eine Produktfamilie physische Gemeinsamkeiten aufweist, wird eine Produktlinie im Rahmen von zum Beispiel Produkt- oder Produktionsplanung als Gesamtheit betrachtet.

Neben dieser wissenschaftlichen Produktprogrammstruktur bestehen in der Industrie zum Teil eigene unternehmens- oder branchenspezifische Strukturierungsebenen, wie

zum Beispiel Baureihen oder Produkttypen. Je nach unternehmensspezifischer Verwendungsweise stehen diese als Synonym für die Strukturierungsebenen Produktlinie oder Produktfamilie oder sie bilden eine weitere dazwischen angeordnete oder tiefergehende Aufgliederung.

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Begriff *übergreifend* genutzt, wenn über Grenzen der Produktfamilien und -linien hinaus alle relevanten Teile des Produktprogramms einbezogen werden. Eine übergreifende Betrachtung muss daher nicht zwingend alle Elemente des Produktprogramms beinhalten, aber alle für die spezifische Fragestellung relevanten Teile des Produktprogramms ungeachtet struktureller Grenzen. In Bild 2-3 sind mögliche übergreifende Umfänge auf mehreren Ebenen dargestellt. Diese können mehrere Produktfamilien oder Produktlinien oder nur Teilmengen dieser beinhalten.

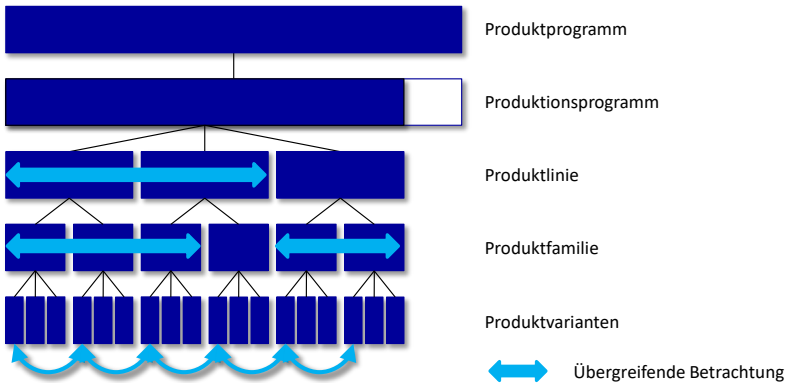


Bild 2-3: Mögliche übergreifende Betrachtungsumfänge

Komplexität

Komplexität beschreibt nach BROSCHE die Anzahl, Vielfalt und Veränderlichkeit von Elementen und Beziehungen. Sie kann objektiv über zählbare Elemente und Beziehungen beschrieben oder subjektiv wahrgenommen werden. Sie ist abhängig von der Gliederungstiefe der Betrachtung und von ihrer betriebswirtschaftlichen Wirkung, da sie zu erhöhtem Aufwand, erhöhtem Ressourcenbedarf und erhöhtem Informationsbedarf in einem Unternehmen führt [Bro14].

Bezogen auf die oben erläuterten Begriffe kann Komplexität über verschiedene Elemente beschrieben werden, wie beispielsweise über die Anzahl von Versionen und Varianten, die Anzahl und Interaktionen der Merkmale interner Vielfalt untereinander oder mit den Eigenschaften externer Vielfalt. Sie hängt sowohl von der Betrachtungstiefe in der hierarchischen Produktprogrammstruktur ab als auch von dem Aufwand, den sie in den Produktlebensphasen verursacht.

Der Aufwand, der durch Komplexität in einem Unternehmen entsteht, wird in Form von *Komplexitätskosten* monetär beschrieben. Den maßgeblichen Einfluss der Variantenvielfalt auf die Komplexitätskosten wurde durch Kersten et al. untersucht und nachgewiesen [Ker14].

2.2 Begriffe der modularen Produktstrukturierung

Durch modulare Produktstrukturierung wird Varianz und resultierende Komplexität vermieden oder reduziert, indem die gemeinsame Verwendung von Modulen, sogenannte Kommunalität, ermöglicht wird. Diese und weitere Begriffe der modularen Produktstrukturierung werden folgend erläutert.

Produktfamilienstruktur und -architektur

Unter der *Produktstruktur* versteht SCHUH „die strukturierte Zusammensetzung des Produktes aus seinen Komponenten. Baugruppen und Einzelteile führen dabei zu Strukturstufen, indem sie Komponenten auf tieferer Ebene in der Produktstruktur zusammenfassen“ [Sch05]. In diesem Sinn kann die Produktstruktur als hierarchischer Aufbau eines Produktes verstanden werden.

Die *Produktarchitektur* beschreibt nach Ulrich „die Anordnung der funktionalen Elemente; die Zuordnung von funktionalen Elementen zu physikalischen Komponenten; die Spezifikation der Schnittstellen zwischen interagierenden physikalischen Komponenten“ [Ulr95]. Somit bezeichnet die Produktarchitektur den Zusammenhang aus Produktstruktur und Funktionsstruktur eines Produktes. Diesen Zusammenhang hat BLEES gemäß Bild 2-4 dargestellt [Ble11]. Dieses Verständnis baut auf dem von GÖPFERT [Göp98] auf, das auch von PAHL UND BEITZ [Pah07] in ähnlicher Form dargestellt wird.

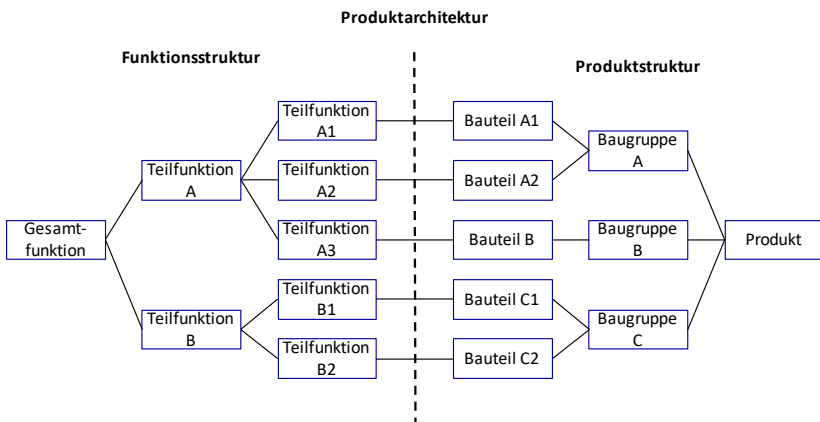


Bild 2-4: Schematische Darstellung der Produktarchitektur [Ble11, Göp98, Pah07]

MARTIN UND ISHII sprechen zusätzlich von einer *Produktfamilienarchitektur*. Diese impliziert, dass die unterschiedlichen Produkte die gleiche Anordnung von Elementen, den gleichen Zusammenhang von Funktions- und Produktstruktur sowie gleiche Schnittstellen haben [Mar02].

Komponente

Produkte werden gemäß ihrer Produktstruktur aufgegliedert. Gängige Bezeichnungen der Elemente auf unterschiedlichen Gliederungsebenen sind beispielsweise Bauteil und Baugruppe [Pah07]. In der industriellen Praxis sowie zum Teil in der Fachliteratur, zum Beispiel FELLINI ET AL. [Fel04], werden Komponenten häufig auf eine dieser Gliederungsebenen eingeordnet und gehört somit in die Reihe dieser Begriffe.

Eine andere Möglichkeit, den Begriff *Komponente* zu definieren, ist, eine Komponente als die kleinste im spezifischen Zusammenhang betrachtete Einheit zu verstehen. Diese Definition des Begriffs Komponente hat für die Entwicklung kommunaler Produktprogramme große Vorteile. Bei der Betrachtung eines ganzen Produktprogramms sind Analysen und Darstellungen auf Bauteilebene nicht in allen Fällen zielführend. Die Struktur der Produktfamilien wird für diese übergreifenden Betrachtungen häufig nicht bis auf diese Ebenen aufgeschlüsselt, um eine übersichtliche Datenmenge zu erhalten. Je nach Betrachtungstiefe der methodischen Schritte in der Produktstruktur bezeichnet hier der Begriff Komponente die spezifisch gewählte Ebene kleinster Elemente (Bild 2-5).

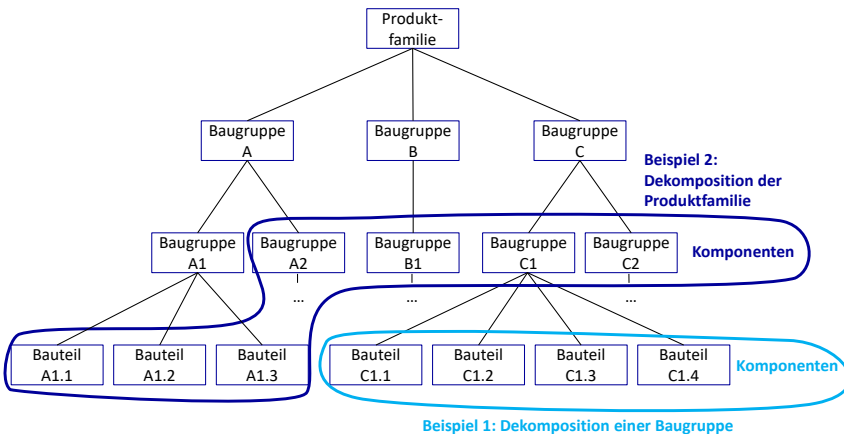


Bild 2-5: Beispiele verschiedener Betrachtungsebenen und entsprechender Zuordnung des Begriffs Komponente

Eine Komponente kann in einer spezifischen Betrachtung ein Bauteil sein (Bild 2-5, Beispiel 1) oder in einer anderen eine ganze Baugruppe umfassen (Bild 2-5, Baugruppen A1,

A2, B1, C1, C2) oder sogar Mischformen einnehmen (Bild 2-5, Beispiel 2 Bauteile A1.1-A1.3 im Vergleich zu A2 bis C2), um spezifisch eine möglichst zielführende Dekompositionsebene zu erlangen.

Modularität, Modul und Modularisierung

Modularität ist eine graduelle Eigenschaft [Bal00], die von SALVADOR in einer umfangreichen Literaturrecherche interdisziplinär untersucht wurde [Sal07]. Auf Basis dieser Recherche lässt sich Modularität durch fünf charakteristische Eigenschaften beschreiben (Bild 2-6):

- **Kommunalität:** Mehrfachverwendung von Modulen
- **Kombinierbarkeit:** Konfiguration von Produktvarianten durch Tauschen einzelner Module
- **Funktionsbindung:** eindeutige Zuordnung von Funktionen zu Modulen
- **Schnittstellenstandardisierung:** Verwendung gleicher Verbindungselemente
- **Entkopplung:** Geringe Interaktion zwischen Modulen und ausgeprägte Interaktion innerhalb der Module

Diese Eigenschaften sind ebenfalls graduell und interagieren miteinander.

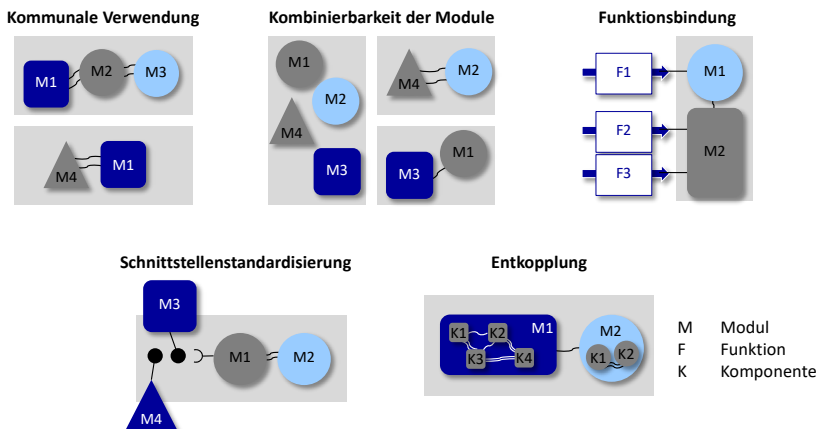


Bild 2-6: Charakteristische Eigenschaften der Modularität nach BLEES und SALVADOR [Ble11, Sal07]

Modularität ermöglicht diverse Vorteile im Unternehmen, die in Bild 2-7 zusammenfassend dargestellt sind [Kra11b]. Für die Zielsetzung dieser Arbeit sind einige dieser Vorteile besonders relevant, so zum Beispiel in der Lebensphase Produktentwicklung die

Wiederverwendung entwickelter Module in unterschiedlichen Produktfamilien oder -generationen. Für die Produktion bedeutet diese Wiederverwendung, dass Skaleneffekte, wie zum Beispiel Verringerung der Rüstkosten, in höherem Maß genutzt werden können. Im Recycling erlaubt die Modularität eine Wiederverwendung von Modulen aus einem alten Produkt in einem neuen.

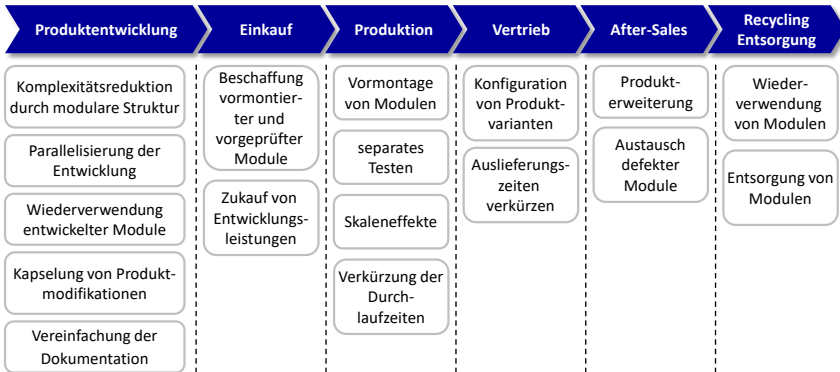


Bild 2-7: Mögliche Vorteile der Modularität [Kra11b]

Einen objektiv optimalen Grad der Modularität gibt es nicht. Viel mehr bilden unternehmensspezifische Prioritäten bezüglich dieser Vorteile sowie Unternehmenskontext, -prozesse und -strategien die Rahmenbedingungen, für die ein individuell zielführender Grad an Modularität abgeleitet werden muss. Dieser setzt sich aus den für diese Rahmenbedingungen zielführenden Ausprägungen der fünf modularen Eigenschaften zusammen.

Ein *Modul* beschreibt eine Einheit aus gezielt zusammengefassten Komponenten [Jia00a], [Bal00]. In der Produktstruktur werden Module eine Ebene über der Komponentenebene gebildet. Eine weitere Zusammenführung dieser Module führt zu Modulen auf höheren Ebenen der Produktstruktur. Der Prozess des gezielten Zusammenführens von Komponenten zu Modulen wird als *Modularisierung* bezeichnet.

Wie die Modularisierung zu einer neuen Produktstruktur führt, wird schematisch in Bild 2-8 an den Komponenten des Beispiels 2 aus Bild 2-5 dargestellt. Durch die Dekomposition in Komponenten gemäß Bild 2-5 ist die bestehende Produktstruktur aufgelöst. Durch die Modularisierung wird eine neue Produktstruktur mit dem Ziel erzeugt, angestrebte Vorteile der Modularität (Bild 2-7) zu realisieren. Auch bei der Definition des Begriffs Modul wird wie beim Begriff Komponenten auf eine feste Einordnung in die Produktstruktur verzichtet, da die Modularisierung wie in Beispiel 1 aus Bild 2-5 auch auf Teilbereiche konzentriert sein kann. Diese Modulbildung in Teilbereichen des Produkts nennen KOHLHASE UND BIRKHOFER *lokale modulare Systeme* [Koh96].

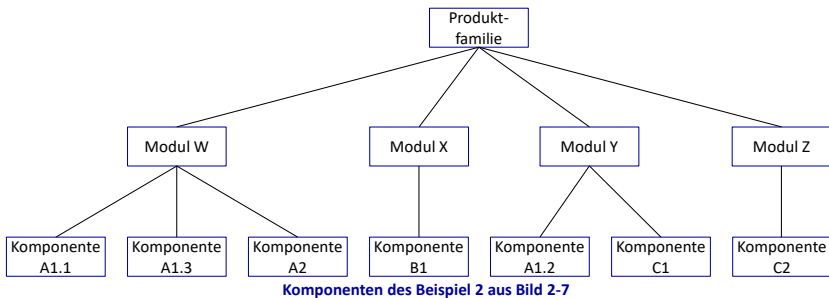


Bild 2-8: Module

Kommunalität

In der Fachliteratur wird *Kommunalität* häufig mit der gemeinsamen Verwendung von Komponenten zwischen Produktvarianten gleichgesetzt [Rob98, Tho00, Fel06, Ble07, Ali09]. Diese gemeinsame Verwendung ermöglicht diverse Vorteile in verschiedenen Produktlebensphasen, die in Bild 2-9 angelehnt an die ausführlichen Aufstellungen von BLECKER UND ABDELKAFI [Ble07], HEINA [Hei99] und WILDEMANN [Wil08] dargestellt sind. So führt Kommunalität in der Produktentwicklung zu reduziertem Aufwand in der Absicherung und Sachnummernverwaltung. Neue Produktvarianten müssen nicht einzeln entwickelt werden, sondern werden aus bestehenden Modulen konfiguriert. Im Einkauf können höhere Auftragsvolumen erreicht werden, was zur Senkung der Stückpreise beiträgt. Insgesamt werden die Prozesse im Einkauf durch die reduzierte Anzahl unterschiedlicher Sachnummern gesenkt. In der Produktion können Skaleneffekte, wie die Verringerung der Rüstkosten, geringere Werkzeugkosten und Lernkurveneffekte genutzt werden. Außerdem sinkt das Anlaufisiko, wenn neue Produktvarianten zum Teil aus Modulen bestehen, die schon in bereits angelaufenen Produktvarianten verbaut sind. Im Vertrieb werden durch Kommunalität die Nachfrageplanung sowie die Preispositionierung für neue Produktvarianten erleichtert. Im After-Sales müssen weniger unterschiedliche Serviceteile vorgehalten werden und Servicetechniker auf weniger verschiedene Vorgehensweisen trainiert werden. Im Recycling kann Kommunalität eine Nutzung von Modulen über das einzelne Produktleben hinaus ermöglichen.

Dieses Verständnis von Kommunalität als reine Komponentenwiederverwendung wird von JIAO UND TSENG erweitert (Bild 2-10). Sie unterscheiden die funktionale Kommunalität, die die Ähnlichkeit der Anforderungen aus Kundensicht und ihre technische Umsetzung bezüglich gemeinsamer Lösungsprinzipien beschreibt, von der rein physischen Komponentenkommunalität [Jia00a].

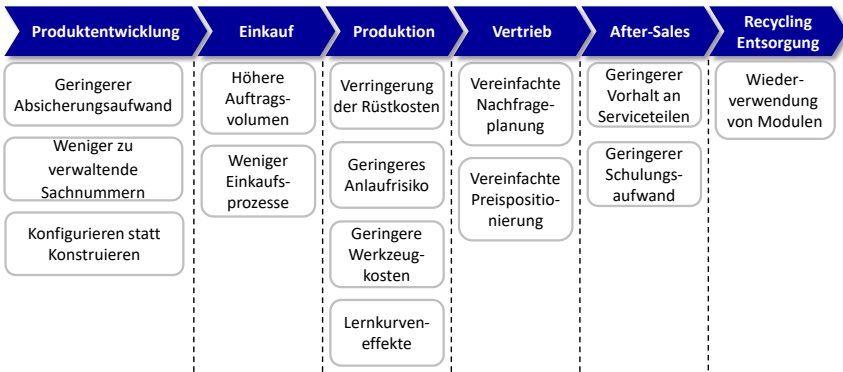


Bild 2-9: Mögliche Vorteile der Kommunalität

HÖLTÄ-OTTO versteht Kommunalität als Ähnlichkeit der Ein- und Ausgangsgrößen von Komponenten und Modulen oder Funktionen [Höl03], was mit der technischen Kommunalität von JIAO UND TSENG korrespondiert. Auch DELLANOI beschreibt ein differenziertes Verständnis von Kommunalität [Del06]. Seine Begriffe Komponenten- und Lösungskommunalität korrespondieren mit der technischen Kommunalität von JIAO UND TSENG. Zusätzlich betrachtet er Strukturkommunalität, die die Ähnlichkeit der Produktstrukturen beschreibt, und Prozesskommunalität als die gemeinsame Nutzung gleicher Prozesse.

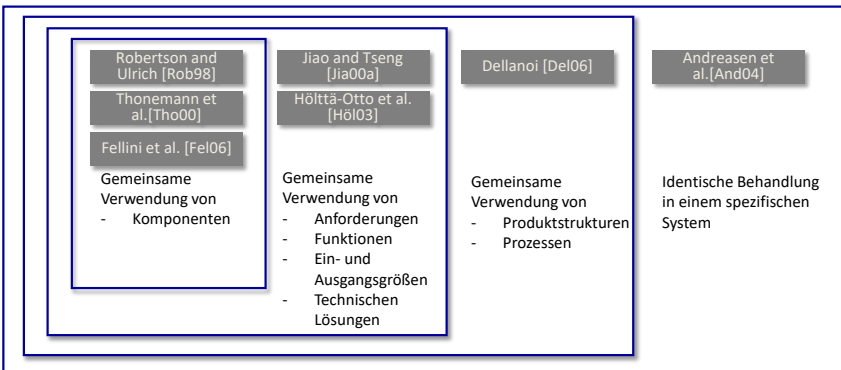


Bild 2-10: Definitionen von Kommunalität und ihre betrachteten Aspekte

Statt die Arten der Kommunalität zu klassifizieren, schlägt ANDREASEN eine generische Sichtweise vor [And04]. Hier zeigen Komponenten Kommunalität, wenn sie aus Sicht eines spezifischen Systems (zum Beispiel Produktion oder Service) identisch sind. Diese Sichtweise sowie die von DELLANOI UND JIAO UND TSENG erlauben es, Kommunalität als graduelle Eigenschaft zu sehen, die auch physisch varianten Komponenten und Modulen eigen sein kann. Diese Sichtweise weist auf die Möglichkeit hin, einzelne Vorteile der

Kommunalität nutzbar zu machen, auch wenn aufgrund breiter externer Vielfalt oder starker technisch-funktionaler Kopplungen keine physische Komponentenkommunalität erzielt werden kann. Aus diesem Grund wird für den Verlauf dieser Arbeit folgende Definition des Begriffes Kommunalität abgeleitet:

Kommunalität ist die graduelle und relative Eigenschaft varianter Produkte, die bewirkt, dass die Varianz der Produkte zu möglichst geringer Komplexität im Unternehmen führt.

Modularität und Kommunalität als sich bedingende Eigenschaften

In der Fachliteratur werden Modularität und Kommunalität häufig getrennt voneinander in unterschiedlichen Beiträgen genannt [Fix07]. Dennoch hängen sie miteinander zusammen, was im Folgenden näher beschrieben werden soll.

JIAO UND TSENG verstehen Modularität als eine Eigenschaft, die die Beziehungen innerhalb eines Produkts betrifft. Komponenten werden hierarchisch zu Modulen zusammengefügt und Module zueinander entkoppelt. Kommunalität hingegen ist eine Eigenschaft, die sich auf den Kontext von mehreren Produktvarianten bezieht, da sie zwischen Produktvarianten wiederverwendete Module in Beziehung zueinander stellt. Modularität beschreibt die Interaktion von unterschiedlichen Modultypen, Kommunalität die Ähnlichkeit der Varianten eines Modultyps [Jia00a].

Auch aus den oben aufgeführten Definitionen geht hervor, dass Modularität und Kommunalität interagieren. Einerseits kann Modularität als Eigenschaft verstanden werden, die Kommunalität ermöglicht. Werden in einer Produktfamilie die Kombinierbarkeit, Funktionsbindung, Schnittstellenstandardisierung und Entkopplung von Modulen ausgeprägt, so werden Komponenten- oder Prozesskommunalität ermöglicht. Andererseits ist die Komponentenkommunalität neben den zuvor genannten Eigenschaften auch als Maß der Modularität zu verstehen.

Aus den in Bild 2-7 dargestellten Vorteilen der Modularität geht hervor, dass die Wiederverwendung von Modulen und die daraus induzierten Effekte wie Skaleneffekte mögliche Ziele einer modularen Strategie sind. Erfahrungen aus Projekten und Workshops des Instituts PKT mit Industrieunternehmen zeigen, dass für viele Unternehmen eine angestrebte Reduktion von interner Komponentenvarianz der ausschlaggebende Treiber für die Umsetzung einer modularen Produktstrukturstrategie ist.

Gleich- und Wiederholteile, Standardisierung und Carryover

Für Elemente, die einer kommunalen Verwendung unterliegen, gibt es in der Fachliteratur verschiedene Begriffe. So werden bei EHRENSPIEL *Gleichteile* als Teile definiert, die im gleichen Produkt wiederverwendet werden, und *Wiederholteile* als Teile, die in unterschiedlichen Produkten wiederverwendet werden [Ehr13]. Eine andere Definition ist in

der Automobilindustrie, welche den Begriff in der industriellen Praxis stark geprägt hat, entstanden. Hier sind *Gleichteile* als gemeinsam eingesetzte Teile über Baureihen, Fahrzeugklassen und sogar Marken zu verstehen [Roß08]. JESCHKE verwendet den Begriff *Standardisierung* für die Verwendung gemeinsamer Komponenten [Jes97]. Auch dieser Begriff wird häufig in der industriellen Praxis verwendet. Die Begriffe Gleichteile, Wiederholteile und Standardisierung beschreiben alle die kommunale Verwendung, sind aber hinsichtlich ihres Bezugsrahmens und der Elemente, die sie beschreiben, nicht eindeutig (Tabelle 2-1).

Tabelle 2-1: Einordnung verschiedener Begriffe, die die kommunale Verwendung von Elementen beschreiben

		Bezugsrahmen				Elemente		
		Bezieht sich auf Kommunalität				Beschreibt die Kommunalität von		
		innerhalb eines Produkts	zwischen Produktvarianten	zwischen Produktgenerationen	unternehmens- oder branchenweit	Bauteilen	Komponenten und Modulen	Verfahren und Prozesse
Fachliteratur	Gleichteile [Ehr13, Roß08]	x	x			x		
	Wiederholteile [Ehr13]		x			x		
	Standardisierung [Jes97, Ulr95, Ble07]		x		x	x	x	
Diese Arbeit	Carryover		x			x		
	Internes Carryover	x				x		
	Generationales Carryover			x		x		

Beim Begriff Gleichteile besteht zum einen ein Widerspruch in verschiedenen Quellen, ob die Verwendung sich ausschließlich auf ein Produkt [Ehr13] oder verschiedene Produktvarianten [Roß08] bezieht. Der Begriff Wiederholteile nach EHRENSPIEL ist außerdem ein Synonym des Begriffs Gleichteile, wie er bei ROß verwendet wird [Roß08]. Beide Begriffe implizieren, dass es sich vorwiegend um Kommunalität von Bauteilen und nicht von größeren Elementen handelt. Der Begriff Standardisierung verweist auf die Kommunalität von Bauteilen, Komponenten und Modulen sowie Verfahren und Prozessen zwischen Produktvarianten. Allerdings wird er häufig für die langfristige Schaffung von unternehmens- und branchenweiten Standards verwendet, so dass seine Nutzung im Bereich der Entwicklung kommunaler Produkte missverständlich sein kann [Ble07]. Hinzu kommt, dass im Rahmen des Integrierten PKT-Ansatzes die Bezeichnung *standard* für Elemente verwendet wird, die in allen Produktvarianten in nur einer Ausführung vorkommen. Dies ist die stärkste Form der kommunalen Verwendung. Kommunale Verwendung kann allerdings auch bedeuten, dass gemeinsame Elemente lediglich über einen

Teil der Produktvarianten genutzt werden. Diese Bedeutung wird durch den Begriff Standardisierung im bisherigen Gebrauch des Begriffes im Rahmen des Integrierten PKT-Ansatzes nicht verwendet.

Zusammenfassend sind bestehende Begriffe für Elemente, die der kommunalen Verwendung unterliegen, bisher nicht eindeutig und umfassend bezüglich ihres Bezugsrahmens oder bezüglich der Art der Elemente. Hier ist es besonders wichtig, dass Komponenten und Module als kommunale Elemente bezeichnet werden können, da Bezeichnungen auf Bauteilebene das Potenzial der Kommunalität auf sehr feingranulare Elemente beschränken ohne verschiedene Betrachtungstiefen zu ermöglichen.

Um eindeutige und umfassende Begriffe für kommunal verwendete Elemente zu ermöglichen, wird hier der Begriff Carryover (Übernahme) eingeführt, wie er bereits von JONAS zielführend verwendet wurde, ohne jedoch umfassend definiert zu werden [Jon13].

Carryover bezeichnet die kommunale Verwendung von Komponenten (Carryover-Komponente) und Modulen (Carryover-Modul) in unterschiedlichen Produktvarianten.

Weitere Formen der kommunalen Verwendung sind davon abzugrenzen und gesondert zu bezeichnen. So beschreibt *internes Carryover* die kommunale Verwendung innerhalb eines Produkts und *generationales Carryover* die kommunale Verwendung zwischen Produktgenerationen. Dieser Begriff ist von dem englischen Begriff *Generational Variety* abgeleitet, der von MARTIN UND ISHI verwendet wurde [Mar02]. Sie sind analog zu den Begriffen der Fachliteratur in Tabelle 2-1 eingeordnet.

2.3 Produktstrukturstrategien

Eine *Produktstrukturstrategie* beschreibt das produktprogrammweite Vorgehen eines Unternehmens, durch eine gezielte Gestaltung von Produktstrukturen spezifische strategisch gewollte Vorteile im Umgang mit interner Vielfalt zu erzielen. In der Literatur lassen sich drei Formen von Produktstrukturstrategien finden, die Plattform, die modulare Produktfamilie und der gleichteileorientierte Baukasten. Diese werden im Folgenden vorgestellt.

Plattform

Eine weit verbreitete Strategie, interne Varianz zu reduzieren, ist es, *Plattformen* über Teile des Produktprogramms, wie Produktfamilien oder Produktlinien, zu entwickeln und einzusetzen. Eine Plattform wird von ROBERTSON UND ULRICH als eine Sammlung von Werten bezeichnet, die von einem Umfang verschiedener Produkte geteilt wird. Diese Werte können Komponenten, Prozesse, Wissen, Personen und Beziehungen sein [Rob98]. Diese Definition wird von KRISTJANSSON erweitert. Er definiert diese geteilten Werte als

Ansammlung von Kernwerten, die wiederverwendet werden, um einen Wettbewerbsvorteil zu erreichen [Kri05]. Nach MÜLLER ist es das Ziel einer Plattform, genau diesen wiederverwendeten Kern zu bündeln [Mül00]. In diesem Sinn versteht SCHUH eine Plattform als Weiterentwicklung einer modularen Entwicklung, bei der in Anlehnung an MEYER UND LEHNERD vor allem einheitliche Komponenten, Schnittstellen und Funktionen zusammengefasst sind [Sch05], [Mey97].

In einer umfassenden Literaturübersicht unterteilen PIRMORADI UND WANG Plattformen in skalierbare, modulare und generelle Plattformen. Skalierbare Plattformen werden durch Veränderung skalierbarer Parameter erzeugt, modulare Plattformen durch Konfiguration und generelle Plattformen durch Übernahme des Produktlebenszyklus in die nächste Generation [Pir11]. Diese Unterteilung zeigt, dass nicht in allen Fällen der Begriff Plattform tatsächlich die gemeinsame Nutzung von gleichen Komponenten und Modulen beschreiben muss, sondern zum Teil auch die gemeinsame Nutzung von Entwicklungsparametern oder Prozessen des Produktlebenszyklus darunter verstanden wird. Eine gemeinsame Nutzung ist dennoch Basis jeder Plattform, sei es nun Kommunalität von Lösungen, Prozessen oder Komponenten.

Ein Aspekt, der in der Literatur wenig diskutiert wird, ist, dass eine Plattform vor allem ein Beschreibungsmodell ist, das genau die gebündelten und kommunalen Werte der Plattform dokumentiert und darstellt. Eine Möglichkeit, diese Beschreibung zu gestalten, schlagen ANDREASEN ET AL. vor [And04].

Führt man die verschiedenen Aspekte der aufgeführten Autoren zusammen, so kann man folgende Definition für den Begriff Plattform ableiten.

Eine Plattform ist eine für einen Teil eines Produktprogramms, wie beispielsweise eine Produktfamilie oder -linie, gültige Beschreibung. In dieser Beschreibung werden die Werte gebündelt aufgeführt, die für alle Produktvarianten kommunal verwendet werden, um Vorteile im Umgang mit interner Vielfalt zu erzielen. Diese Werte können Komponenten, Prozesse, Wissen, Personen und Beziehungen sein.

Viele mit einer Plattformstrategie assoziierten Vorteile, wie

- Rollout-Straffung,
- Fertigung in einer Produktionslinie,
- Flexibilität des Fertigungsprozesses,
- reduzierte Entwicklungszeit,
- verbesserte Möglichkeit Produkte anzupassen oder
- Lernkurveneffekte zwischen den Produktvarianten und ein

- reduzierter Test- und Zertifizierungsaufwand

stellen sich allerdings nur ein, wenn die Bündelung gemeinsam genutzter Werte sehr konsequent verfolgt wird und vor allem das physische Produkt betrifft. Für den weiteren Verlauf diese Arbeit wird daher die Definition stärker spezifiziert:

Eine Produktplattform ist eine für eine Produktfamilie gültige Beschreibung. In dieser Beschreibung werden diejenigen Komponenten, Module und Schnittstellen gebündelt aufgeführt, die für alle Produktvarianten kommunal verwendet werden, um interne Produktvielfalt zu vermeiden.

Eine Plattform bildet demnach den gemeinsamen Standardumfang ab, den sich alle Produktvarianten teilen. Sie kann so als Spezialfall der Modularität verstanden werden, in dem alle Produktvarianten ein gemeinsames zentrales Standardmodul, die Plattform, haben.

Modulare Produktfamilien

Der Begriff der *modularen Produktfamilie* ist in der Fachliteratur weniger ausführlich definiert worden als der Begriff der Plattform. Er wurde unter anderem durch BLEES im Rahmen der Entwicklung des Integrierten PKT-Ansatzes basierend auf der Definition einer Produktfamilie als diejenigen Produkte, die gemeinsame Funktionen, Komponenten und Schnittstellen teilen, und der Definition der Modularität weiter oben in diesem Kapitel definiert [Ble11].

„Eine Produktfamilie ist modular strukturiert, wenn sie aus Modulen mit definierten Schnittstellen aufgebaut ist, deren innere technisch-funktionale und produktstrategische Beziehungen stärker ausgeprägt sind als die Beziehungen untereinander. Innerhalb der Produktfamilie können Produktvarianten durch die Kombination von Modulen konfiguriert werden.“ [Ble11]

Eine modulare Produktfamilie greift auf gemeinsame Module zurück, Produktvarianten werden durch Konfiguration erzeugt. Im Gegensatz zur Plattformstrategie besteht allerdings nicht zwingend ein gemeinsam genutzter gebündelter Kern an Modulen, Komponenten und Schnittstellen.

Gleichteileorientierte Modulbaukästen

Der Begriff *Baukasten* wird im deutschen Sprachraum oft im Zusammenhang von Gleichteilestrategien genannt und wird deshalb in dieser Arbeit auch besonders in diesem Kontext definiert. Baukästen sind nach RENNER aufbauend auf JESCHKE wie folgt definiert:

„Baukästen sind Komponenten, Baugruppen oder Systeme, die durch ihre spezielle Konzeption einen übergreifenden Einsatz bei gleichzeitig individueller Differenzierung ermöglichen. Ihre Zielsetzung ist eine optimierte Betriebswirtschaft und die Unterstützung einer schnellen, ressourcenschonenden Umsetzung von Produkten“. [Ren07, Jes97].

Diese Definition legt sich nicht darauf fest, welche Elemente (Komponenten, Baugruppen oder Systeme) Teil eines Baukastens sind. Da eine kommunale Verwendung oft nur möglich ist, wenn die Komponenten modulare Eigenschaften, wie Funktionsbindung, Entkopplung oder Schnittstellenstandardisierung, haben, wird im Rahmen dieser Arbeit von der kommunalen Verwendung von Carryover-Modulen statt von Gleichteilen gesprochen.

Sowohl Gleichteilestrategien als auch Baukästen sind auf eine breite Verwendung im Produktprogramm ausgerichtet, sie gelten übergreifend.

Ein gleichteileorientierter Modulbaukasten ist eine Sammlung von Modulen, die über mehrere Produktfamilien kommunal verwendet werden. Die Module werden aus einem gemeinsamen Komponentensatz konfiguriert.

Module, die für einen derart übergreifenden Einsatz entwickelt werden, umfassen oft nur einzelne wenige Funktionen, um so möglichst breiten Einsatz zu finden. Sie sind somit in der Regel kleiner als Module innerhalb von plattformorientierten oder modularen Produktfamilien.

Einordnung von Produktstrukturstrategien

Die drei vorgestellten Produktstrukturstrategien können entlang eines Spektrums eingeordnet werden. Dieses Spektrum ist im *Produktstrukturstrategie-Chart (PSC)* schematisch dargestellt (Bild 2-11), das im Rahmen dieser Arbeit entwickelt wurde.

Eine Plattform (Bild 2-11, links) zielt auf größtmögliche Vorteile innerhalb der Produktfamilien ab. Standardumfänge werden gebündelt und bilden eine Plattform. Wie in der Darstellung an den schematisch abgebildeten Produktvarianten der Produktfamilien A und B zu sehen ist, werden Produktvarianten durch einzelne variante und optionale produktfamilieninterne Module erzeugt. Die Plattform erreicht dadurch Stückzahleffekte nur im Rahmen der in der Produktfamilie erreichbaren Stückzahlen. Durch die geringe Varianz der Anforderungen und Kopplungen der Module oder der Plattform zu anderen Modulen können oftmals sehr große zusammenhängende Module gebildet werden. Diese können optimal an die Anforderungen der Produktfamilie angepasst werden. Diese Eigenschaften der Plattformstrategie ermöglichen eine effiziente Variantenableitung innerhalb der Produktfamilie und eine schlanke Produktion, besonders wenn jede Produktfamilie auf einer eigenen Produktionslinie gefertigt wird.

Der Modulbaukasten ist eine Produktstrukturstrategie (Bild 2-11, rechts), die möglichst hohe Stückzahleffekte zum Ziel hat. Dazu wird nach größtmöglichem Carryover-Potenzial im gesamten Produktprogramm gesucht, so dass Kommunalität sowohl produktfamilienintern als auch übergreifend erzeugt wird. Um dies zu ermöglichen, müssen die Carryover-Module in der Regel recht klein gestaltet werden. Diverse zu beachtende Anforderungen und technische Kopplungen durch den Einsatz in verschiedensten Produktvarianten verhindern es, große Module weitreichend übernehmen zu können. Diese gleichteileorientierte Strategie ermöglicht hohe Stückzahleffekte und eine recht freie Kombinerbarkeit, so dass sie sich auch für offene Produktfamilien, deren Varianten nicht gleich zu Beginn der Entwicklung bekannt sind, eignet. Um einen möglichst hohen Anteil kommunal verwendeter Module zu erzeugen, müssen diese allerdings oftmals überdimensioniert werden. Die geringe Modulgröße führt weiterhin zu vielen Schnittstellen.

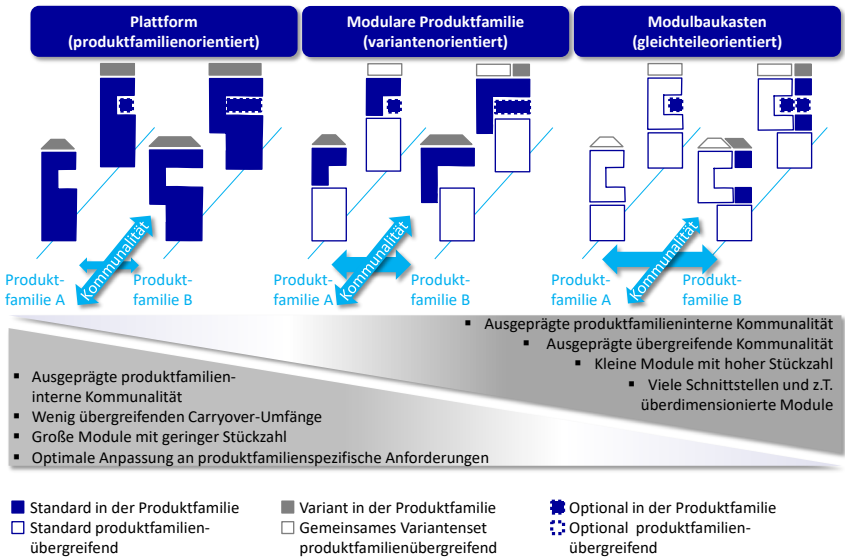


Bild 2-11: Schematische Darstellung und Einordnung der Produktstrukturstrategien im Produktstrukturstrategie-Chart (PSC) nach [Eil11]

In der Mitte zwischen diesen beiden Strategien siedelt sich die Strategie der *Modularen Produktfamilie* an (Bild 2-11, Mitte). Ihr Ziel ist eine optimale Erzeugung der Produktvarianten mit möglichst wenigen Modulen innerhalb der einzelnen Produktfamilien. So werden Carryover-Umfänge und entsprechende Modulgrößen so gewählt, dass die Variantenerzeugung und die Handhabung der Module in produktfamilispezifischen Prozessen besonders aufwandsarm sind. Auf diese Weise kann ein unternehmensspezifisch bedarfsgerechtes Maß gewählt werden, das die in den grauen Balken dargestellten Eigenschaften der Produktstrukturstrategien kombiniert (Bild 2-11, unten).

In der Unternehmenspraxis finden sich selten Reinformen der Plattform- oder Modulbaukastenstrategie sondern häufig Mischformen. Die modulare Produktfamilie kann dabei eher nah an einer Plattformstrategie oder eher an einem Modulbaukasten ausgerichtet sein – je nach angestrebten Vorteilen. Die beiden äußeren Strategien stellen in diesem Sinn eher idealisierte Extreme dar. Für die Wahl einer Produktstrukturstrategie gilt es, unternehmensspezifisch die richtige Positionierung im Spektrum zwischen produktfamilienorientierter Plattform und gleichteileorientiertem Modulbaukasten zu finden.

Prozessbasierte Strategien

Produktbasierte Strategien, wie die drei oben vorgestellten, hängen stark mit *prozessbasierten Strategien* zusammen. Unter den prozessbasierten Strategien sind besonders Prozesskommunalität und Postponement als Strategien der Variantenbeherrschung zu nennen. *Prozesskommunalität* beschreibt die Nutzung gleicher Prozesse durch unterschiedliche Produktvarianten. *Postponement* beschreibt die Verlagerung des Variantenbildungspunktes zu einem möglichst späten Zeitpunkt in der Prozesskette. Beide Strategien werden besonders durch modulare, kommunale Produkte ermöglicht und bieten zahlreiche Vorteile in der Beherrschung variantenreicher Produkte [Kip12]. Auf diese Weise bedingen sich produkt- und prozessbasierte Strategien gegenseitig. Produktbasierte Strategien sind auf angestrebte prozessbasierte Strategien auszurichten und ermöglichen diese erst. Für montagegerechte Produktstrukturen sind beispielsweise die geplanten Montageprozesse zu betrachten [Hal14].

3 Stand der Wissenschaft

Im Stand der Wissenschaft werden für die Fragestellungen dieser Arbeit relevante methodische Ansätze aus der Fachliteratur vorgestellt und anschließend den Themenbereichen Visualisierung, Produktstrukturstrategien und Entwicklung von Carryover-Komponenten und -Modulen zugeordnet. Die Beiträge werden untergliedert in Methoden des Integrierten PKT-Ansatzes (Kapitel 3.1), weitere Methoden der modularen Produktentwicklung (Kapitel 3.2), Ansätze aus dem Variantenmanagement (Kapitel 3.3) und aus der Produktprogrammentwicklung (Kapitel 3.4).

3.1 Methoden des Integrierten PKT-Ansatzes zur Entwicklung modularer Produktfamilien

Der Integrierte PKT-Ansatz wurde am PKT der TUHH entwickelt [Kra14]. Er ist die methodische Grundlage, auf die diese Arbeit aufbaut. Im Folgenden werden zuerst der übergeordnete Ansatz und dann einzelne für diese Arbeit relevante Methodenbausteine vorgestellt.

Integrierter PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien

Ein vorgegebenes Variantenspektrum auf Basis geringer interner Vielfalt anzubieten, ist die Zielsetzung des Integrierten PKT-Ansatzes. Verschiedene Methodenbausteine auf Produkt- [Kra14, Kra11a] und Prozessebene [Hal14, Bro14] sowie für leichtbaurelevante Produktfamilien [Gum15, Plau15] wurden entwickelt, um umfassende Unterstützung für die einzelnen Teilaspekte der Varianzreduzierung anzubieten (Bild 3-1). Diese Methodenbausteine können miteinander kombiniert werden, um verschiedensten unternehmensseitigen Herausforderungen entsprechen zu können. Hier hat sich bisher die Verbindung der Methodenbausteine *Variantengerechte Produktgestaltung* und *Lebensphasen-Modularisierung* besonders etabliert [Ble10, Kip10, Kra12].

Neben dieser Kombinierbarkeit der Methodenbausteine charakterisiert ein workshop-basiertes Vorgehen den Integrierten PKT-Ansatz. Dieses ermöglicht die Integration von Experten aus Unternehmen, so dass diese einerseits ihre fachspezifische Kompetenz einbringen und andererseits die variantenorientierte Sichtweise kennenlernen können. Um

diese Integration zu unterstützen, arbeiten die Methodenbausteine des Integrierten PKT-Ansatzes mit produktnahen Visualisierungen, die die Lösungs- und Entscheidungsfindung im Team graphisch unterstützen. Um das Problem der internen Vielfalt möglichst ursächlich zu bearbeiten, ist das Ziel, interne Vielfalt frühzeitig durch die variantengerechte Gestaltung der Produktfamilie zu vermeiden. Dies beinhaltet gezielte konstruktive Maßnahmen an den Produktkomponenten, die aus der Anwendung der Methodenbausteine resultieren. Bisherige Methodenbausteine auf der Produktseite unterstützen die *Produktprogrammplanung* [Jon13], die *Varietengerechte Produktgestaltung* [Kip12] und die *Lebensphasen-Modularisierung* [Ble11] und werden folgend vorgestellt.

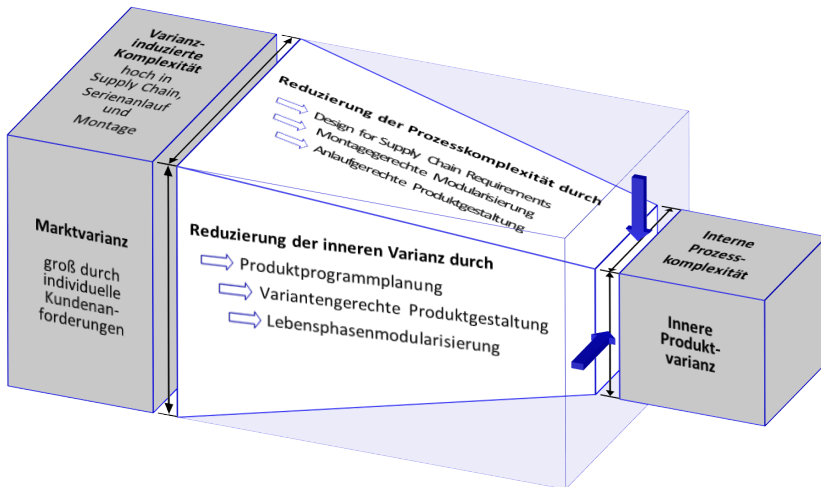


Bild 3-1: Integrierter PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien [Kra11b]

Strategische Planung modularer Produktprogramme nach JONAS

Die Strategische Planung modularer Produktprogramme (Produktprogrammplanung) bildet einen Methodenbaustein des Integrierten PKT-Ansatzes [Jon13, Jon12]. Ziel ist die strukturelle Planung des Produktprogramms. Hierzu wird in zwei Phasen vorgegangen. In der ersten Phase wird die strukturelle Zusammensetzung des zukünftigen Produktprogramms geplant und visualisiert. In der zweiten Phase werden Komponenten, die sich zur gemeinsamen Verwendung über verschiedene Produktfamilien empfehlen, identifiziert. Dies geschieht durch eine Analyse der Merkmale, die die Varianz der Komponenten maßgeblich beeinflussen, im *Invertierten Vielfaltsbaum* (Bild 3-2). Sind diese Merkmale gleich für verschiedene Komponentenvarianten, ist zukünftig eine Übernahme dieser Komponenten anzustreben, wie in Bild 3-2 durch gleiche Farben für Komponenten mit

gleichen Merkmalen markiert ist. Unterschieden wird hier in primäre Merkmale, die zwingend gleich sein müssen für eine potenzielle Übernahme, und sekundäre Merkmale, die für die Übernahme konstruktiv angepasst werden können.

Produkte	Komponenten	Primäre Merkmale				Sekundäre Merkmale		Nr	Bestehende Übernahme- komponenten	Potenzielle Übernahme- komponenten
		Leiterplatten	Gehäuse	Display	Mechanik	Sicherheitszertifikat	Größe			
Neu 1, (F) Low-End	Gehäuse (LE)		Flachwasser			bis 1m	minimiert	1		1, 14
	Sensor				Standard-sensor			2		2, 5
	Hauptleiterplatte (LE)	Basis-Features				Nicht erf.		3		3, 6, 38
(F) Basis	Gehäuse (F)		Flachwasser			bis 1m	standard	4	4, 8, 15, 22	
	Sensor				Standard-sensor			5	5, 9, 16, 23, 37, 41	2, 5
	Hauptleiterplatte (F-B)	Basis-Features				Beschichtet		6		3, 6, 38
	Display (F-B)			LCD			2-Zellen	7		7, 11

Bild 3-2: Invertierter Vielfaltsbaum nach JONAS [Jon13]

Zur Visualisierung von Übernahmepotenzial wird der *Carryover Assignment Plan (CAP)* verwendet (Bild 3-3). Hier sieht man am Beispiel des *Mainboards*, dass bisher nicht übergreifend verwendete Module durch Farbcodes als Übernahmekandidaten markiert werden. Das *Mainboard* der Varianten 1.2 und 2.2 soll zukünftig sowohl in Produkt 1.2 als auch in Produkt 2.2 verwendet werden. Das Übernahmepotenzial wird quantifiziert, indem das *Carryover-Potenzial (CP)* bestimmt wird.

$$CP = \frac{V-N}{V} [\cdot 100\%] \tag{1}$$

- V Anzahl von unterschiedlichen Komponenten im analysierten Produktprogramm
- N Anzahl von unterschiedlichen Komponenten nach vollständiger Ausschöpfung des identifizierten Carryover-Potenzials

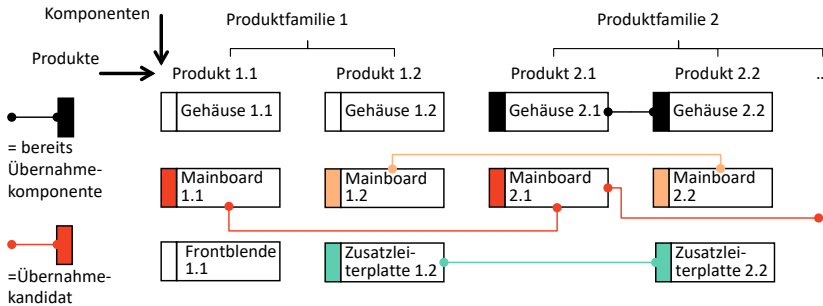


Bild 3-3: Carryover Assignment Plan (CAP) zur Visualisierung von Übernahmekandidaten im Produktprogramm nach JONAS [Jon13]

Weiterhin wird mit dem Product Family Crossing Share (CS) der Anteil des übergreifenden Carryover-Potenzials bestimmt.

$$CS = \frac{F_{pf}}{F_{ges}} \cdot 100\% \quad (2)$$

F_{pf} Anzahl produktfamilienübergreifender Farbcodes im CAP

F_{ges} Anzahl aller Farbcodes im CAP

Das methodische Vorgehen zur Ermittlung von Übernahmepotenzial wurde gezielt als Vorbereitung der Entwicklung kommunaler Produktprogramme entwickelt und bietet dadurch eine adäquate Unterstützung für Teilaspekte der Auswahl einer Produktstrukturstrategie [Kra13a].

Variantengerechte Produktgestaltung nach KIPP

Die Variantengerechte Produktgestaltung nach KIPP bildet einen Methodenbaustein des Integrierten PKT-Ansatzes, der es ermöglicht, die interne Vielfalt des Komponentensatzes einer Produktfamilie zu reduzieren [Kip12]. Hierzu werden die Komponenten einer Produktfamilie anhand des *Variety Allocation Models (VAM)* dargestellt und dem Ideal einer variantengerechten Produktstruktur angeglichen. Dieses Idealbild besteht aus den Kriterien Differenzierung in Standard- und Variantenkomponenten, Reduzierung zum Träger einer kundenrelevanten Eigenschaft, Eins-zu-eins-Zuordnung von Unterscheidungsmerkmalen zu Variantenkomponenten und Entkopplung der Variantenkomponenten. Im VAM wird zuerst die Ausgangssituation mit den relevanten Eigenschaften aus Kundensicht auf der obersten ersten Ebene eingetragen. Diese werden zuvor durch Erstellung eines *Vielfaltsbaums (TOV)* analysiert (Bild 3-4).

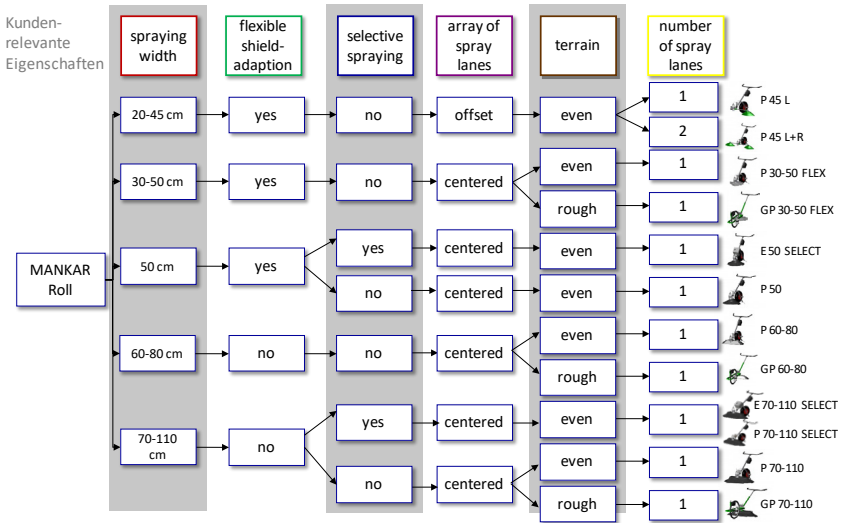


Bild 3-4: Beispiel eines Vielfaltsbaums zur Darstellung der kundenrelevanten Eigenschaften und ihrer Ausprägungen nach KIPP [Kip12]

Kundenrelevante Eigenschaften wie beispielsweise die Sprühbreite (*Spraying Width*) werden in ihren Ausprägungen (*20-45 cm*, *30-50 cm* etc.) aufgeführt. Durch ihre Kombination werden die angebotenen Produktvarianten beschrieben. Somit ist der Vielfaltsbaum eine Visualisierung der externen Vielfalt.

Danach werden die varianten Komponenten auf der untersten vierten Ebene eingetragen (Bild 3-5). In die zweite Ebene werden die varianten Funktionen aus der Produktfamilienfunktionsstruktur eingetragen, in die dritte Ebene die Wirkprinzipien, die diese Funktionen erfüllen. Verbindungslinien stellen dar, wie ein varianten Kundenwunsch in der ersten Ebene variante Funktionen, variante Wirkprinzipien und variante Komponenten verursacht. Auf Basis dieser Analyse werden dann konstruktive Lösungen auf Ebene der Komponenten, Wirkprinzipien oder Funktionen entwickelt, die die Produktfamilie dem Idealbild annähern (Bild 3-5, rechts). Am Beispiel der kundenrelevanten Eigenschaft *Selective Spraying* sieht man, wie diese Eigenschaft viele Funktionen, Wirkprinzipien und Komponenten beeinflusst, die ihrerseits auch von den Eigenschaften *Spraying Width* und *Number of Spray Lanes* beeinflusst werden (Bild 3-5, links). Durch neue konstruktive Lösungen sind die Produkteigenschaften und Komponenten im Sinn einer 1-zu-n-Zuordnung entkoppelt worden (Bild 3-5, rechts). Im Fall des *Selective Spraying* wird die Eigenschaft variantengerecht nicht wie bisher durch ein Magnetventil sondern durch eine Magnetkupplung ermöglicht.

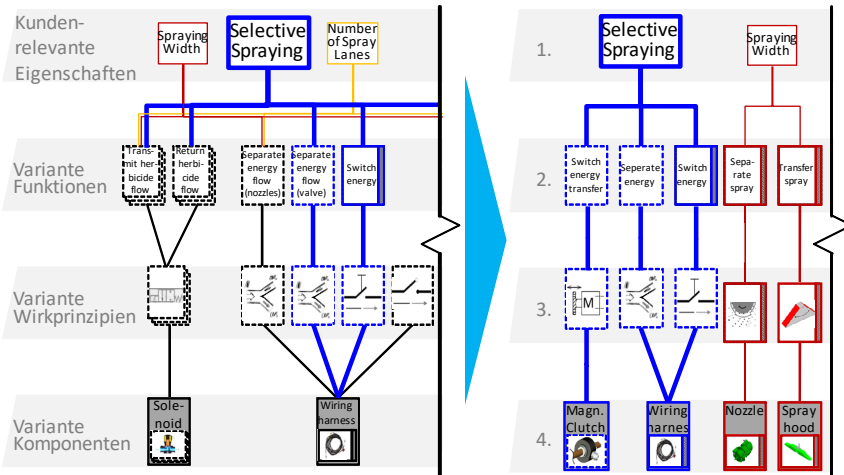


Bild 3-5: Beispiel eines Variety Allocation Models (VAM) nach KIPP [Kip12] mit der Ausgangssituation (links) und den variantengerecht gestalteten Komponenten (rechts)

Dieser Methodenbaustein bezieht sich auf die Entwicklung modularer Produktfamilien. Da er konstruktive Ansätze zur Reduktion der Komponentenvarianz anbietet, ist er für die Entwicklung kommunaler übergreifender Module relevant. Inwiefern er auch übergreifend anwendbar ist, wird im Rahmen der deskriptiven Studie I dieser Arbeit weitergehend ermittelt.

Entwicklung modularer Produktfamilien nach BLEES

Die Entwicklung modularer Produktfamilien nach BLEES beschreibt ein Vorgehen, modulare Strukturen auf die Produktlebensphasen auszurichten, die sogenannte Lebensphasen-Modularisierung [Ble11]. Begleitend zu diesem Vorgehen wird mit dem *Module Interface Graph (MIG)* eine Visualisierung genutzt, in der die Anordnung, grobe Form und Varianz der Komponenten der Produktfamilie sowie ihre Schnittstellen dargestellt werden (Bild 3-6).

Nach der Gestaltung eines variantengerechten Komponentensatzes, wie durch KIPP beschrieben, sind die Komponenten aus Sicht der Konfiguration so weit entkoppelt, dass eine weitere Modularisierung einfacher möglich ist [Kip12]. Ziel der Lebensphasen-Modularisierung ist es, die Anforderungen aller Lebensphasen der Produktfamilie zu berücksichtigen. Dazu werden für jede Lebensphase die produktstrategischen Modultreiber aufgenommen. Modultreiber sind nach ERIXON Gründe, warum eine oder mehrere Kom-

ponenten ein Modul bilden sollten [Eri98]. Ein Beispiel für einen Modultreiber der Lebensphase Herstellung ist separates Testen. Für die Lebensphasen-Modularisierung werden zusätzlich zu den Modultreibern ihre Ausprägungen, zum Beispiel Polungstest oder Funktionstest, aufgenommen. In einem Netzplan werden die Komponenten, die von der Modultreiberausprägung betroffen sind, mit ihr verbunden und die Module der Lebensphase entsprechend gebildet.

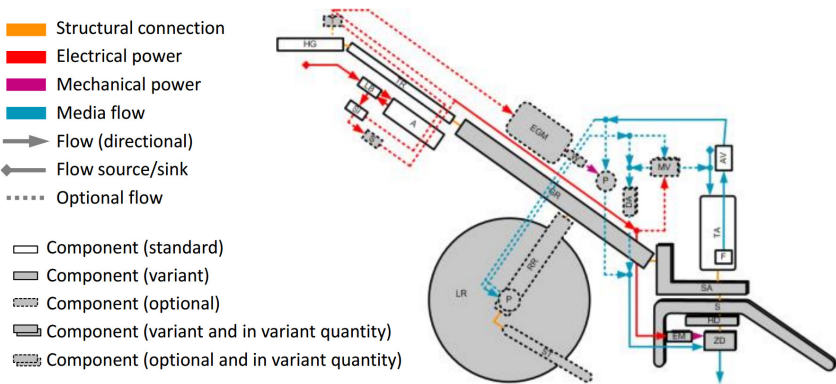


Bild 3-6: Beispiel eines Module Interface Graphs (MIG) nach BLEES [Ble11] in Weiterentwicklung nach KRAUSE ET AL. [Geb14]

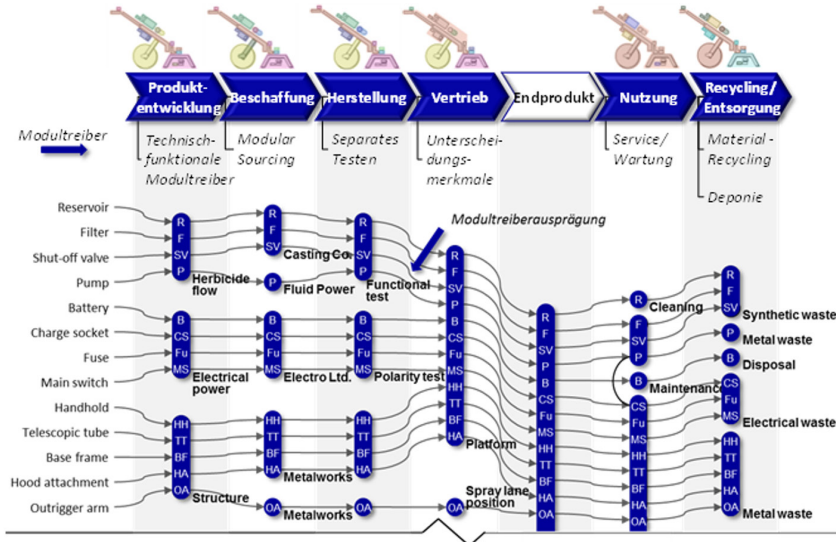


Bild 3-7: Beispiel eines Module Process Charts (MPC) nach BLEES [Ble11]

Die Lebensphase Produktentwicklung hat neben ihren produktstrategischen Modultreibern auch die technisch-funktional sinnvolle Modularisierung zu berücksichtigen. Hierzu wird die Modularisierung nach den Heuristiken von STONE empfohlen, deren Ergebnisse in den Netzplan der Lebensphase Entwicklung eingehen [Sto97]. Die angestrebten Modularisierungen aller Lebensphasen werden im *Module Process Chart (MPC)* zusammengeführt und harmonisiert (Bild 3-7). Hierbei müssen nicht alle Lebensphasen mit der gleichen Modularisierung arbeiten, sie müssen nur untereinander verträglich sein.

Beurteilung bestehender Methodenbausteine des Integrierten PKT-Ansatzes hinsichtlich der Entwicklung kommunaler Produktprogramme

Die Produktprogrammplanung zielt darauf ab, die modulare Ausrichtung gesamtheitlich zu planen und das Produktprogramm entsprechend in seinen Produktlinien und -familien zu strukturieren sowie Carryover-Potenzial aufzuzeigen. Die Variantengerechte Produktgestaltung und die Lebensphasen-Modularisierung unterstützen die Entwicklung modularer Produktfamilien. Auf diese Weise ermöglichen diese beiden Methodenbausteine die Umsetzung der Produktprogrammplanung innerhalb der Produktfamilien. Obwohl im Rahmen der Produktprogrammplanung auch Empfehlungen für die produktfamilienübergreifende Umsetzung abgeleitet werden, besteht derzeit kein Methodenbaustein, der die produktfamilienübergreifende Entwicklung unterstützt. Diese Lücke ist mit dem neuen Methodenbaustein zur Entwicklung kommunaler Produktprogramme zu schließen, so dass der Integrierte PKT-Ansatz künftig nicht nur die Entwicklung modularer Produktfamilien sondern die Entwicklung modularer Produktprogramme unterstützt.

3.2 Methoden der modularen Produktentwicklung

Beiträge aus der Fachliteratur zur *modularen Produktentwicklung* [Kra13b, Sim06] sind für die Entwicklung kommunaler Produktprogramme interessant, wenn sie einen Beitrag

1. zu der Visualisierung von Produktprogrammen,
2. zu Produktstrukturstrategien oder
3. zu der Entwicklung von Carryover-Komponenten und -Modulen leisten.

Die hier aufgeführten Vorstellungen bestehender Ansätze konzentrieren sich besonders auf diesen Beitrag. Sie können in der Zusammenfassung daher ein anderes Gewicht einnehmen als sie es in der analysierten Literatur selbst tun. Die Zusammenfassungen sind so strukturiert, dass zuerst die relevanten Grundgedanken der vorgestellten Ansätze erläutert werden und im Anschluss, inwiefern die Ansätze zu den oben genannten Punkten 1-3 beitragen.

Grundlagen der Produktfamilienarchitektur nach JIAO UND TSENG

JIAO UND TSENG bieten ein grundlegendes Modell einer Produktfamilienarchitektur, indem sie drei Sichtweisen eröffnen [Jia00a, Jia00b]:

1. die funktionale Sicht, in der funktionale Features aus Kundensicht dargestellt werden,
2. die technische Sicht, die das Verhalten eines Produkts durch technische Parameter beschreibt,
3. und die strukturelle Sicht, unter der sie die physischen Komponenten und Baugruppen verstehen.

Im Kontext dieser drei Sichten führen JIAO UND TSENG die Begriffe Modularität und Kommunalität zusammen (Bild 3-8). Modularität beschreibt die Produktarchitektur, also die Funktions- und Baustruktur.

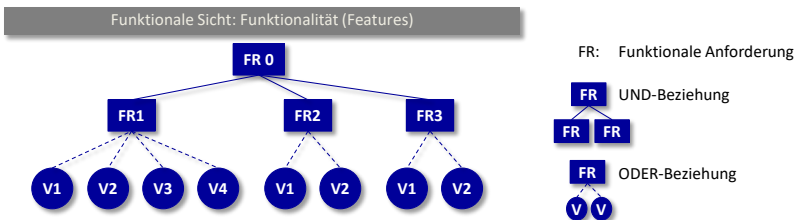
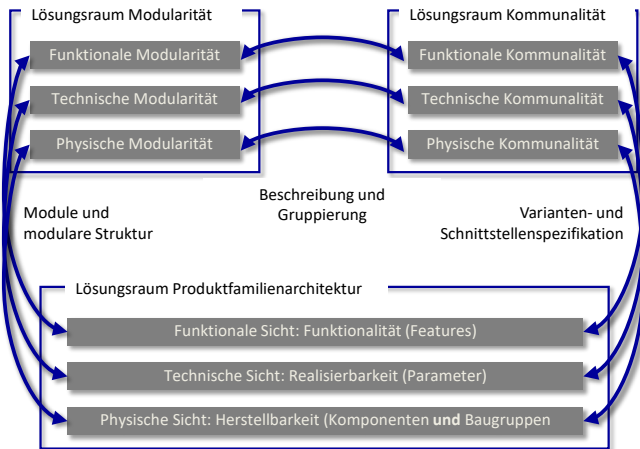


Bild 3-8: Modell des Lösungsraums nach JIAO [Jia00a] (oben) und Visualisierung im And/Or-Tree am Beispiel der funktionalen Sicht [Jia00b] (unten)

Durch die gezielte Gestaltung der Kommunalität entstehen gemeinsame und unterschiedliche Module der Produktvarianten, so dass die Produktfamilie konfiguriert wird. Beide Eigenschaften, Modularität und Kommunalität, müssen aus funktionaler, technischer und physischer Sicht betrachtet und abgestimmt werden. Auf Basis dieses Modells sind vier Elemente notwendig, um die Produktfamilienarchitektur zu entwickeln. Die Produktliniensystematik beschreibt das, was einer Produktlinie gemein ist, und das, was ihre Varianten untereinander unterscheidet. Sie hilft Produktlinien und -familien abzugrenzen und sorgt, dargestellt in der Sicht der funktionalen Features, für Transparenz gegenüber Kunden. Die Bausteine (Module) bilden aus technischer und physischer Sicht die Grundlagen der Konfiguration. Konfigurationsregeln sind Elemente, die die Entstehung einzelner Produktvarianten unter Zusammenführung der physischen, technischen und funktionalen Sicht beschreiben. Das vierte Element ist eine Kostenbetrachtung der einzelnen Produktvarianten.

Diese Grundlagen von JIAO UND TSENG sind relevant für die Entwicklung einer Visualisierung von Produktprogrammen, da sie übergeordnet darstellen und einordnen, welche Sichtweisen möglich und für welche Elemente der Produktarchitekturentwicklung sie relevant sind. Zudem sind die vier Elemente Produktliniensystematik, Module, Konfigurationsregeln und Kostenbetrachtung relevante Aspekte für das Vorgehen bei der Umsetzung einer Produktstrukturstrategie.

Product Variety Optimization nach FUJITA

FUJITA unterteilt das Problem der Varianzoptimierung von Produktvarianten in drei Kategorien [Fuj06]:

1. Optimierung der Module durch Anpassung ihrer Gestaltungsmerkmale, wenn ihre Konfiguration bekannt ist.
2. Optimierung der Modulkonfiguration, wenn ihre Gestaltungsmerkmale definiert sind.
3. Simultane Optimierung von Gestaltungsmerkmalen und Kombinatorik der Module.

Für diese drei Kategorien stellt er mathematische Optimierungsmodelle auf, die auf eine bezüglich der Wirkung von stückzahlbezogenen und sachnummernbezogenen Kosten optimale Modulvarianz und -konfiguration führen. Das in der Methode verwendete Produktfamilienmodell arbeitet mit sogenannten *Module Slots*, die als generische Plätze in der Produktstruktur verstanden werden können, in die jeweils unterschiedliche Varianten dieser Module zur Erzeugung der Produktvarianten eingesetzt werden (Bild 3-9).

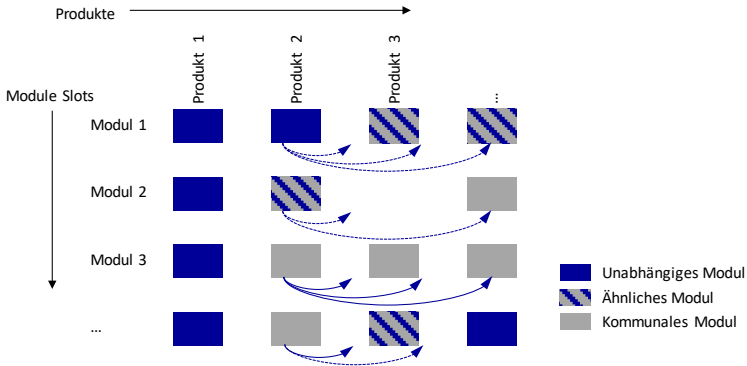


Bild 3-9: Unabhängige, ähnliche und kommunale Module [Fuj06]

Diese Module können unterteilt sein in völlig unabhängige Module (keine Kommunalität), ähnliche Module (teilweise Kommunalität) und kommunale Module (vollständige Kommunalität).

Dieses Vorgehen, Modulen einen generischen Platz unabhängig ihrer Varianten in einer Darstellung zu geben, ist relevant für die Visualisierung von Produktprogrammen, da so unterschiedliche Produktvarianten vergleichend nebeneinander aufgeführt werden können. Der Gedanke der Bewertung von verschiedenen Übernahmekonzepten anhand der stückzahlbezogenen und sachnummernbezogenen Kosten ist für die Entwicklung übergreifender Modulkonzepte wichtig.

Der Product Family Master Plan (PMPF) nach HARLOU ET AL.

Zur Visualisierung von Produktfamilien schlugen HARLOU und HAUG ET AL. den *Product Family Master Plan (PMPF)* vor, in dem die Zusammensetzung von Produktfamilien aus Komponenten dargestellt werden kann [Har06, Hau13]. Die grundlegende Systematik der Visualisierung lehnt sich an ANDREASEN ET. AL AN [And04]. Hier werden verschiedene Beziehungstypen definiert. Teil_von-Relationen beschreiben die Zerlegung in Komponenten, In_der_Art_von-Relationen beschreiben die Ausprägungen der Varianten, funktionale Beziehungen beschreiben die technische Interaktion, und modulare Beziehungen fassen Komponenten zu Modulen zusammen (Bild 3-10).

Zahlen in eckigen Klammern indizieren, in welcher Anzahl eine Komponente, auch in verschiedenen Ausprägungen, verbaut wird. Beispielsweise wäre für eine Familie von Autos die Komponente Rad mit [4] gekennzeichnet. Diese Art von Baumstruktur kann aus Kundensicht, aus Sicht des Ingenieurs und aus Teilesicht dargestellt werden.

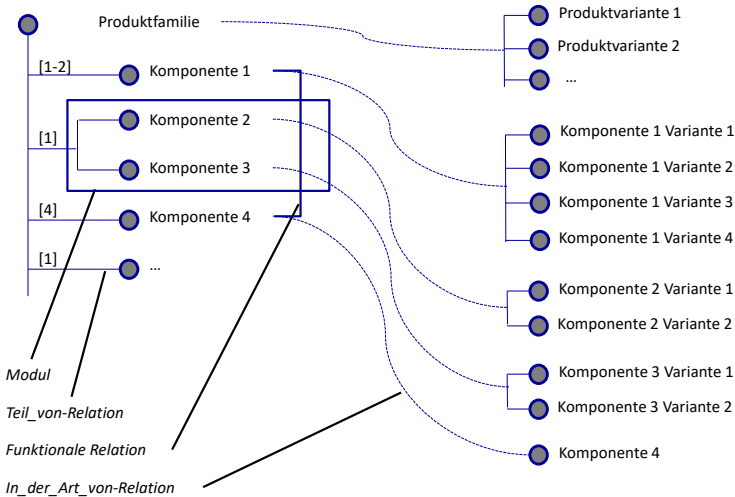


Bild 3-10: Product Family Master Plan (PMPF) nach HARLOU [Har06] mit Relationen nach ANDREASEN et al. [And04]

Obwohl ANDREASEN ET AL. wichtige Grundlagen bezüglich des Kommunalitätsbegriffs (. Kapitel 2.2) gelegt haben, zeigen sie nicht auf, wie diese Visualisierung zur Entwicklung von Carryover-Umfängen genutzt werden kann. Der PMPF ist dennoch eine detaillierte und flexible Darstellungsform für Produktfamilien, aus der grundlegende Gedanken für die Visualisierung von Produktprogrammen abgeleitet werden können.

Zusätzlich zur Visualisierung wird aufbauend auf diesen Ansatz Forschung zu Komplexitätskostenrechnungen betrieben. Diese ermöglicht allerdings nicht die Bewertung von Carryover-Konzepten [Lin12].

Plattformstrategien nach MEYER UND LEHNERD

MEYER UND LEHNERD beschreiben in *The Power of Product Platforms* Grundlagen der Plattformstrategie [Mey97]. Zum einen wird das Model des *Power Towers* zur Beschreibung von Plattformen dargestellt. Hier werden Elemente der Kategorien Kundenanforderungen, Produkttechnologien, Produktionsprozesse und organisatorische Fähigkeiten definiert, die in einer Plattform gemeinsam verwendet werden sollen. Diese Plattform kann dann über verschiedene Preis- und Leistungsstufen und Marktsegmente gemeinsam verwendet werden. Zusätzlich zu diesem Model wird eine Kategorisierung von Plattformstrategien vorgeschlagen. *Nischenspezifische Plattformen* werden nur innerhalb eines Marktsegments und einer Preis- und Leistungsstufe verwendet. *Horizontaler Plattformeinsatz* beschreibt die Nutzung einer Plattform über mehrere Marktsegmente innerhalb

einer Preis- und Leistungsstufe. *Vertikaler Plattformeinsatz* beschreibt hingegen den Einsatz einer Plattform über verschiedene Preis- und Leistungsstufen innerhalb eines Segments. Die *Brückenkopfstrategie* beschreibt den kombinierten Plattformeinsatz über verschiedene Preis- und Leistungsstufen und Marktsegmente. Zur Definition der Plattformstrategie wird ein Prozess in fünf Schritten vorgeschlagen. Zuerst sind heutige und zukünftige Marktsegmente und Preis- und Leistungsstufen zu definieren. Anhand des dadurch aufgespannten Gitters, des *Market Segmentation Grid*, werden weitere Wachstumsgebiete der Zukunft bestimmt (Bild 3-11). Die derzeit bestehenden Plattformen werden in das Gitter eingetragen. Zusätzlich werden die Plattformen des Wettbewerbs analysiert. Schließlich kann die eigene Plattformstrategie definiert werden.

Dieser Ansatz kann zur Auswahl von Produktstrukturstrategien beitragen. Zum einen erfolgt dies, indem mögliche Kommunalität in den Bereichen Kundenanforderungen, Produkttechnologien, Produktionsprozesse und organisatorische Fähigkeiten identifiziert wird. Zum anderen bietet das Market Segmentation Grid für die Frage, über welche Teile des Produktprogramms Plattformen zu übernehmen sind, eine gute Einordnung. Zur Visualisierung von Produktprogrammen sowie zur Entwicklung konkreter Übernahmemodule trägt dieser Ansatz jedoch nicht bei.

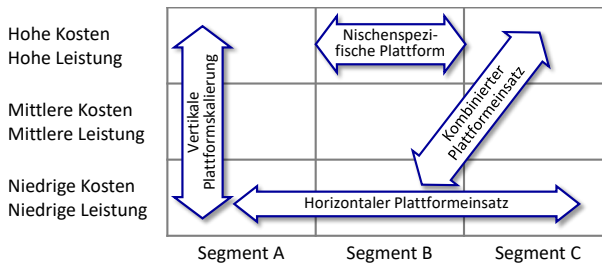


Bild 3-11: Plattformstrategien im Market Segmentation Grid nach Meyer und Lehnerd [Mey97]

Integrated Approach to Product Family Design nach SIMPSON ET AL.

SIMPSON ET AL. schlagen mit dem *Integrated Approach to Product Family Design* ein übergeordnetes Vorgehen zur Entwicklung von Produktfamilien vor, das angelehnt an das *Product Platform Framework* nach ROBERTSON UND ULRICH [Rob98] eine Abstimmung von Produktplan, Differenzierungsplan und Kommunalitätsplan vorsieht [Sim12], [Ali10]. Dieses übergeordnete Rahmenwerk wird mit Methoden anderer Autoren, Weiterentwicklungen dieser und eigenen vorab veröffentlichten Methoden ausgefüllt (Bild 3-12). Zur Erstellung des Produktplans empfiehlt er das Market Segmentation Grid nach MEYER UND LEHNERD [Mey97] (Bild 3-11).

Im Differenzierungsplan wird anhand des *Generational Variety Index (GVI)* nach MARTIN UND ISHII [Mar02] aufgezeigt, welche Komponenten bei einer Änderung der Kundenanforderungen von Änderungen betroffen sein werden. Diese Analyse wird durch eine *Design Structure Matrix (DSM)* unterstützt, in der mit Werten von 0-9 hinterlegt wird, wie stark sich eine Änderung der Kundenanforderungen auf eine Komponente auswirkt [Pim94]. Die Summe der Werte ergibt den GVI einer jeden Komponente. Je niedriger der GVI, desto stärker empfehlen sich Komponenten als Plattformkomponente. Je höher der GVI, desto stärker sind die Komponenten flexibel einzubetten.

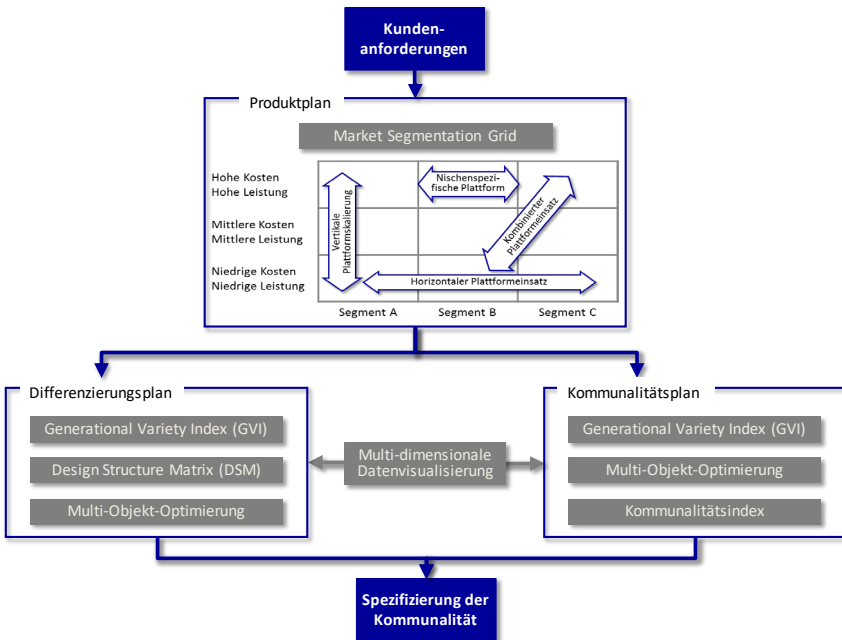


Bild 3-12: Vorgehen des Integrated Approach to Product Family Design nach SIMPSON ET AL. [Sim12]

Mathematische Algorithmen, die eine Optimierung bezüglich mehrerer Zielgrößen ermöglichen, sogenannte Multi-Objekt-Optimierung, werden danach herangezogen, um die optimalen Parameter sowohl für die Plattformkomponenten als auch für variante Komponenten zu definieren. Hier wird die Kommunalität bezüglich der in den Nischen des Market Segmentation Grid geforderten Kundenanforderungen optimiert. Zu dieser Optimierung können diverse Kommunalitätsindizes genutzt werden. SIMPSON ET AL. empfehlen die *Product Family Penalty Function (PFPF)*, deren Optimierung sich nicht auf ganze Komponenten sondern auf einzelne Gestaltparameter bezieht [Mes04]. Mit der

PFPF wird über alle Produktvarianten kumuliert, wie stark die einzelnen Produktvarianten mit ihren Gestaltparametern vom Mittelwert der Gestaltparameter aller Produktvarianten abweichen. Je niedriger PFPF desto höher ist die Kommunalität.

Die Ergebnisse können in multidimensionalen Datenvisualisierungen dargestellt werden, in denen für verschiedene Produktfamilienkonzepte PFPF, GVI und die technische Leistungsfähigkeit gegenübergestellt werden.

Obwohl SIMPSON ET AL. dieses Vorgehen nur für die Anwendung auf Produktfamilien empfehlen und eine Anwendung des GVI besonders für offene, skalierbare Produktfamilien zweckmäßig ist, bietet sein Ansatz ebenfalls mögliche Antworten für die Entwicklung übergreifender kommunaler Module. Zur optimalen Ausprägung der Komponentenvarianz ist der grundlegende Gedanke, sowohl Bedarfe zur Differenzierung als auch zur Kommunalität aufzunehmen und miteinander zu optimieren, zielführend. Hier schlagen SIMPSON ET. AL eine technisch-funktionale und parameterbasierte Optimierung vor, die jedoch produktstrategische Randbedingungen, zum Beispiel in den Einkaufs- und Fertigungsmöglichkeiten des betroffenen Unternehmens, außer Acht lässt. Sie ist besonders für Fälle bestimmt, in der sich die varianten Eigenschaften direkt auf diskrete Merkmale auswirken.

Funktionsorientierte Baukastenentwicklung nach RENNER

RENNER schlägt ein Vorgehen zur Entwicklung funktionsorientierter Baukästen in Anlehnung an den Vorgehenszyklus nach EHRENSPIEL vor [Ren07, Ehr13]. Für die übergeordneten Phasen der Analyse, Szenarioerstellung / Synthese und Lösungsauswahl werden eine Toolbox zur situativen Unterstützung sowie ein Leitfaden für die baukastengerechte Entwicklung und Gestaltung bereitgestellt. Die Methoden sind der Anwendung in der Automobilindustrie angepasst. Neben einer Definition des Begriffs Baukasten bietet die Arbeit auch Vorschläge für Visualisierungen von Baukastenszenarien. Bild 3-13 zeigt die Darstellung beispielhafter Baukastenszenarien. Die automobilspezifische Darstellung nach RENNER ist hier branchenunabhängig dargestellt. Die Szenarien werden auf Basis einer Tabelle hergeleitet, in der gemeinsame Funktionen der varianten Module betrachtet werden.

So ermöglicht die Methode nicht nur die Visualisierung sondern auch die Identifikation von Übernahmepotenzial für einzelne Module. Dies wird allerdings nicht in verschiedene Produktstrukturstrategien unterteilt und auf das gesamte Produkt bezogen. Es werden nur Ausschnitte des Produkts behandelt.

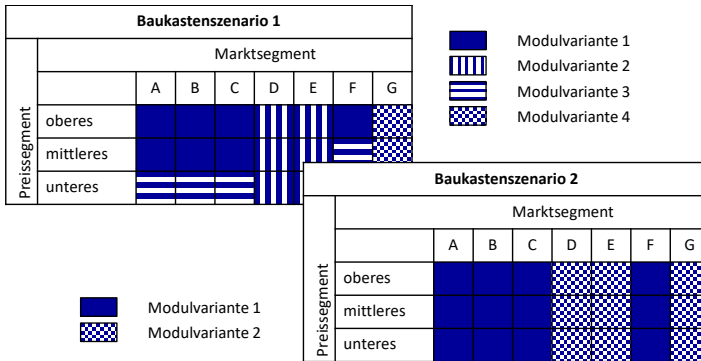


Bild 3-13: Branchenunabhängige Darstellung beispielhafter Baukastenszenarien [Ren07]

Produktfamilien- und Plattformportfolioanalyse nach DE WECK ET AL.

Ein Vorgehen zur Wahl von Produktstrukturstrategien auf Basis mathematischer Optimierung stellen DE WECK ET AL. vor [Wec03]. Auch dieses Vorgehen basiert auf dem Market Segmentation Grid nach MEYER UND LEHNERD (Bild 3-11) [Mey97]. Durch die Definition von Design- und Zielvektoren für Produktfamilien und -varianten wird der Lösungsraum beschrieben. Diese werden gemessen an Absatz- und Leistungsdaten des Marktführers der Segmente optimiert. Verschiedene daraus entstehende Alternativen für Einsatzbreite und Anzahlen der Plattformen werden nach Kosten bewertet (Bild 3-14). Auf diese Weise beschreibt das Vorgehen eine marktorientierte Vorgehensweise, um Produktfamilien und Plattformen im Rahmen der Produktprogrammplanung zu definieren.

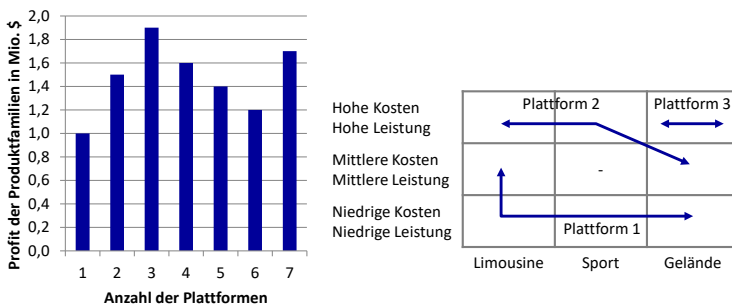


Bild 3-14: Mögliche Ergebnisse der Produktfamilien- und Plattformportfolioanalyse nach DE WECK ET AL. [Wec03]

Zur Entwicklung von Produktprogrammen trägt das Vorgehen dahingehend bei, dass Vorgehensweisen zur Definition der Einsatzbreite von Carryover-Umfängen vorgeschlagen werden, die nicht zwingend auf Plattformstrategien begrenzt sind. Besonders der Grundgedanke, die Einsatzbreite von Carryover-Umfängen anhand der durch den Markt

geforderten Leistungsfähigkeit und den Kosten zu bewerten, kann auf die Entwicklung übergreifender kommunaler Module übertragen werden.

Kommunalitätsindizes verschiedener Autoren

Kommunalitätsindizes sind Kennzahlen, die die Kommunalität von Produkten oder Modulen beschreiben. Dies wird zum einen dazu genutzt, Kommunalität zu bewerten. Zum anderen werden auch neue Lösungen entwickelt, indem diese Indizes als Zielgrößen einer algorithmischen Optimierung verwendet werden.

Kennzahlen zur Bewertung und Optimierung der Kommunalität wurden von diversen Autoren veröffentlicht. Im Folgenden werden häufig verwendete Kommunalitätsindizes vorgestellt. Die Literaturanalyse, auf der diese Auswahl beruht, ist im Anhang A zusammenfassend dargestellt (Tabelle A-1). Die Kommunalitätsindizes lassen sich unterteilen in Ansätze, die die Komponentenverwendung analysieren (zum Beispiel [Col81], [Wac86]), die Prozesse, Kosten und Stückzahlen integrieren (zum Beispiel [Kot00], [The07]) und solche, die die externe Vielfalt einbeziehen (zum Beispiel [Ali09]). Die genannten Beispiele aus der Fachliteratur werden folgend erläutert.

Der *Total Constant Commonality Index (TCCI)* nach WACKER UND TREVELEN [Wac86] stellt die Verwendung von Komponenten in Varianten einer Produktfamilie und die Anzahl der Komponenten einer Produktfamilie ins Verhältnis.

$$TCCI = 1 - \frac{d-1}{\sum_{j=1}^d \varphi - 1} \quad (3)$$

d Anzahl aller Komponenten

j laufende Nummer jeder Komponente

φ Anzahl der Varianten, in denen die jeweilige Komponente j verbaut ist

Der *Product Line Commonality Index (PCI)* nach KOTA ET. AL. [Kot00] gibt an, in welchem Ausmaß nicht zur Produktdifferenzierung beitragende Komponenten gleiche geometrische und stoffliche Merkmale aufweisen und gleiche Prozesse teilen.

$$PCI = \frac{\sum_{i=1}^P n_i \cdot f_{1i} \cdot f_{2i} \cdot f_{3i} - \sum_{i=1}^P \frac{1}{n_i^2}}{P \cdot N - \sum_{i=1}^P \frac{1}{n_i^2}} \quad (4)$$

P Komponenten, die nicht primär zur Differenzierung der Produktvarianten beitragen

f1-3	Faktoren für Material, Form und Größe (f1), in Werkstoff und Herstellung (f2) und Montage (f3)
i	laufende Nummer der Komponenten
n_i	Anzahl der Varianten der Komponente i
N	Anzahl Produktvarianten

Er betrachtet nur Komponenten, die nicht primär zur Differenzierung der Produktvarianten beitragen. Diese sollten idealer Weise identisch in Material, Form und Größe, in Werkstoff und Herstellung und in der Montage sein. Die Faktoren $f1-3$ werden berechnet, indem die Komponenten, die in den drei Bereichen identisch sind, ins Verhältnis gestellt werden zu den Komponenten, die im jeweiligen Bereich identisch sein könnten.

Der PCI zeigt vor allem Potenziale auf, die zum Beispiel durch organisatorisch getrennte Entwicklung und Produktion entstanden sind, da er voraussetzt, dass das Potenzial an Komponenten, die in den drei Bereichen identisch sein könnten, derzeit nicht genutzt wird, aber leicht ersichtlich ist.

Ein ähnliches Optimierungsziel wie der PCI hat die *Comprehensive Metric for Commonality (CMC)* von THEVENOT UND SIMPSON [The07]. Zusätzlich zu geometrischen Aspekten, kommunalen Materialien und Produktionsprozessen gehen in den CMC auch Kostenaspekte ein. Allerdings beschränkt sich die Integration von Kostenaspekten darauf, bei der Vereinheitlichung varianter Komponenten auf die kostengünstigere zu vereinheitlichen.

Ein Ansatz, der von der marktseitig geforderten Varianz ausgeht, ist der *Commonality and Diversity Index (CDI)* von ALIZON ET AL. [Ali09]. Hier werden jede Funktion und die Komponenten, die zur Erfüllung der Funktion beitragen, in ihrer Varianz untersucht. Jeder Funktion wird ein Wert ihrer Kommunalität von 0 bis 1 zugewiesen, wobei 1 bedeutet, dass die Funktion in allen Produktvarianten durch die gleichen Komponenten realisiert wird. Die marktseitige Sichtweise kann nun eingebracht werden, indem bestimmt wird, welche Varianz der Funktionen auf dem Markt bestehen soll. Die Schwäche dieses Ansatzes ist hierbei, dass davon ausgegangen wird, dass eine gewisse Marktvarianz bezüglich einer Funktion automatisch eine gewisse Komponentenvarianz mit sich zieht. Es wird also nicht nach Lösungen gesucht, wie eine variante Funktion durch eine noch geringere Komponentenvielfalt realisiert werden kann.

Kommunalitätsindizes werden genutzt, um anhand einer algorithmischen Optimierung Empfehlungen zur Erhöhung der Kommunalität zu generieren. Ein generisches Vorgehen, das die grundlegende Vorgehensweise derartiger Verfahren zusammenfasst, wie sie zum Beispiel nach THEVENOT UND SIMPSON [The07] oder SIMPSON ET AL. [Sim12] vorgeschlagen werden, ist in Bild 3-15 dargestellt.

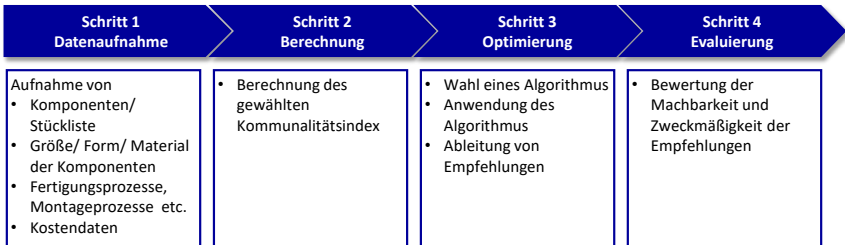


Bild 3-15: Generisches Vorgehen bei der Produktfamilienoptimierung auf Basis von Kommunalitätsindizes

Die Optimierung auf Basis von Kommunalitätsindizes kann auf analytische Weise die Entwicklung von kommunalen Modulen unterstützen, indem sie mögliche Optimierungen aufzeigt. Weiterhin können die Indizes der Bewertung verschiedener Lösungen dienen. Gerade die Optimierung setzt allerdings voraus, dass sich die Varianz der betrachteten Produktvarianten parametrisch ausdrücken lässt und diese Parameter in allen in der Optimierung ermittelten Werten ausgeführt werden können.

Strukturplanung individualisierter Produkte und Structural Complexity Management nach LINDEMANN

LINDEMANN unterscheidet variantenreiche Serienprodukte von individualisierten Produkten dadurch, dass bei individualisierten Produkten Teilbereiche kundenspezifisch gestaltet werden [Lin06]. Die Vielfalt aller dieser kundenindividuellen Lösungen in der Entwicklung zu antizipieren, ist oftmals nicht möglich, so dass die Strategie verfolgt wird, diese individualisierbaren Teilbereiche möglichst stark von standardisierten oder konfigurierbaren Teilbereichen des Produktes zu entkoppeln. Zu diesem Zweck wird eine Vorgehensweise der Strukturplanung vorgeschlagen, in der mit Hilfe einer Matrix- oder Graphendarstellung angelehnt an die DSM nach PIMMLER, EPPINGER UND BROWNING Kopplungen dargestellt und analysiert werden können [Pim94, Epp12] (Bild 3-16). So können Individualisierungsbereiche gezielt entkoppelt und ihr Adaptionaufwand überprüft werden.

Dieses Vorgehen wird durch das *Structural Complexity Management* erweitert [Lin09]. Hier wird vorgeschlagen, Kopplungen in verschiedenen Domänen, wie Komponenten, Personen und Dokumenten, anhand einer *Multiple Domain Matrix (MDM)* aufzunehmen, um eine Produktstrukturierung an weiteren Faktoren zusätzlich zu technischen Kopplungen ausrichten zu können, beispielsweise an organisatorischen Kopplungen.

Für das Produktstrukturmanagement wurde zusätzlich ein Referenzmodell durch KISSEL ET AL. vorgeschlagen, das vor allem übergeordnete Prozesse auf den Ebenen Merkmale, Produktstruktur und Lösungselemente definiert [Kis12].

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
A		1																								
B	1		1			1																				
C		1																								
D																										
E																										
F		1		1	1		1																			
G						1		1			1															
H							1		1																	
I								1		1																
J									1																	
K							1				1	1														
L											1	1														
M											1	1		1	1	1										
N												1		1	1											
O												1	1	1		1										
P												1	1	1		1										
Q																1	1	1								
R																1										
S																	1									
T																		1								
U																			1							
V																					1					
W																										
X																										
Y																										
Z																										

Bild 3-16: Beispielhafte DSM mit Cluster von Kopplungen der Strukturelemente A-Z [Lin06]

Obwohl die Darstellung eines variantenreichen Produktprogramms und die Entwicklung kommunaler Produkte nicht im Fokus dieser Methode stehen, leistet sie einen Beitrag, Anforderungen an die modulare Struktur zu ermitteln, welche in die Definition einer geeigneten Produktstrukturstrategie einfließen.

Modular Product Platform Design nach HÖLTTÄ-OTTO

Um die Entwicklung modularer Plattformen zu unterstützen, schlägt HÖLTTÄ-OTTO drei methodische Bausteine zur Ergänzung des Stands der Technik vor [Höl05c]. Mit diesen Bausteinen werden besonders zwei Aspekte bearbeitet. Zum einen soll die Auswahl von Modulgrenzen besser unterstützt und zum anderen die Betrachtung varianter Produkte einbezogen werden.

Der Methodenbaustein *Flexible Interface Design* unterstützt nach Anwendung einer technisch-funktionalen Modularisierungsmethode die Wahl der Modulgrenzen, indem der Änderungsaufwand für verschiedene Schnittstellen abgeschätzt wird. Ziel ist es, Modulgrenzen zu wählen, deren Schnittstellen auf diese Weise besonders robust gegen Änderungen sind [Höl05b].

Der Methodenbaustein *Identifying Common Modules* basiert auf der Annahme, dass Kommunalität nicht absolut im Sinne gleicher Komponenten und nicht gleicher Komponenten zu verstehen ist, sondern graduell [Höl03]. Die Ein- und Ausgangsgrößen von Komponenten und Modulen auf verschiedenen Ebenen der Produkthierarchie werden

spezifiziert und quantifiziert. Eine Kennzahl beschreibt dann, wie sehr sich in Summe aller Ein- und Ausgänge die Komponenten und Module unterscheiden. Diese Werte werden in eine Matrix eingetragen. Niedrige Werte markieren Kandidaten für kommunale Module, die in einem Dendrogramm dargestellt werden können (Bild 3-17). Dieser Methodenbaustein bietet die Möglichkeit Carryover-Potenzial zu identifizieren und Übernahme Konzepte abzuleiten. Allerdings stellt die Summenbildung über alle Arten von Ein- und Ausgängen eine scheinbar größere Kommunalität dar, als exakt besteht.

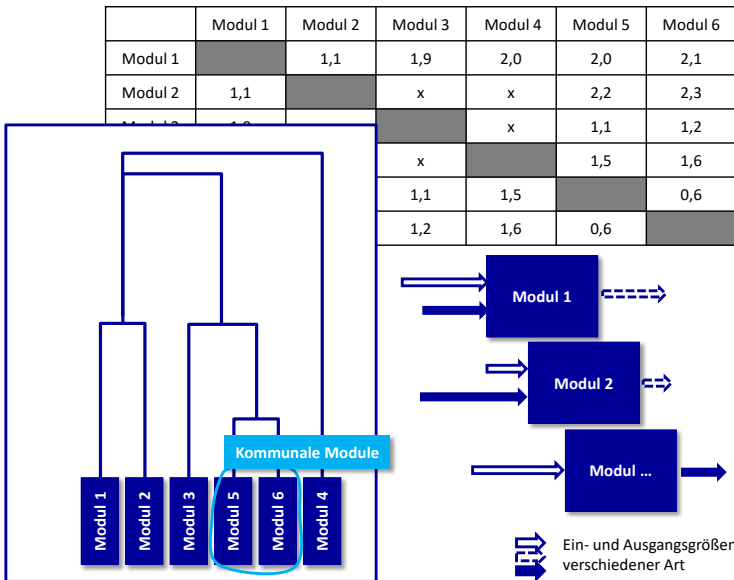


Bild 3-17: Distanzmatrix und abgeleitetes Diagramm zur Darstellung der kumulierten Distanz der Ein- und Ausgangsgrößen von Modulen nach Hölttä-Otto [Hö103]

Der Methodenbaustein *Evaluating Platform Architectures* ermöglicht eine kombinierte technisch-funktionale und produktstrategische Bewertung von Plattformkonzepten anhand von 19 Kennzahlen in den Kategorien Portfolio-Kundenzufriedenheit, Produktvarianz, After Sales, organisatorische Anpassung, Nachrüstflexibilität und Entwicklungskomplexität [Hö105a]. Die Kennzahlen werden auf Punktwerte von 1-10 normiert und werden bei Bedarf auch mit Gewichtungen zu einer übergeordneten Kennzahl zusammengefasst.

Für die Entwicklung kommunaler Produktprogramme bietet der Baustein *Evaluating Platform Architectures* Grundlagen für die Evaluierung von kommunalen Modulkonzepten.

Variantenoptimierende Produktgestaltung nach FIRCHAU

Ein Vorgehen zur Entwicklung varianter Produkte angelehnt an die VDI2221 stellt FIRCHAU [VDI93, Fir03] vor. Dieses ist mit einer Sammlung verschiedener Methoden hinterlegt. Das Vorgehen soll sowohl die Entwicklung von Produktfamilien als auch die Entwicklung von Produktprogrammen unterstützen. Allerdings wird hier von einer gleichzeitigen Neuentwicklung eines gesamten Produktprogramms ausgegangen, was als unrealistisch eingeschätzt werden kann.

Strukturieren und Beurteilen von Baukastensystemen nach KOHLHASE

Zum Strukturieren und Beurteilen von Baukästen schlägt KOHLHASE ein rechnergestütztes Vorgehen vor, das er mit verschiedenen Methoden unter anderem zur Kostenbewertung hinterlegt [Koh97]. Das Vorgehen besteht in einer ersten Phase aus drei iterativ zu bearbeitenden Schritten: der Analyse der Beziehungen zwischen den Baukastenelementen, der Planung des Baukastens und dem Planen und Konzipieren einzelner Bausteine. Interessant für die Umsetzung einer Produktstrukturstrategie in einem Produktprogramm ist sein übergeordnetes Vorgehen, nach dem Planen eines Baukastensystems die Struktur zu entwickeln und die Bausteine zu konzipieren. Allerdings ist dieses Vorgehen sehr grob beschrieben.

3.3 Ansätze aus dem Variantenmanagement

Das *Variantenmanagement* beschäftigt sich damit, Produktvielfalt in den Prozessen zu beherrschen. In einigen Literaturquellen des Variantenmanagements werden Produktstrukturstrategien behandelt. Relevante Beiträge sind im Folgenden zusammengefasst.

Produktkomplexität managen nach SCHUH

Einen umfassenden Methodenbaukasten sowie Definitionen und ganzheitliche Zusammenhänge zum Komplexitätsmanagement zeigt SCHUH auf [Sch05]. Zur Produktstrukturierung werden allgemeine Strategien beschrieben und nach Bild 3-18 eingeordnet.

Die Einordnung besagt, dass bei höherem gewünschten Modularisierungsgrad von einer Strategie mit einem Basisprodukt (Plattform oder Basismodule) abzurücken und eine Strategie auf Basis einer frei kombinierbaren Konfiguration (generische oder freie Modularisierung) anzustreben ist. Schuh ordnet die Plattformstrategie als eine übergreifende Strategie ein. Die Möglichkeit der übergreifenden Modularisierung nimmt mit Individualisierungsgrad der Modulstufen ab.

Zur Umsetzung im Produktprogramm schlägt SCHUH ein matrixbasiertes übergeordnetes Vorgehen der Plattformgestaltung vor (Bild 3-19). Obwohl das Vorgehen eine Analyse

der im Rahmen des gewählten Plattformkonzepts möglichen Komponentenkommunalität vorsieht, wird die gezielte Identifikation und Entwicklung übergreifender Module nicht erläutert.

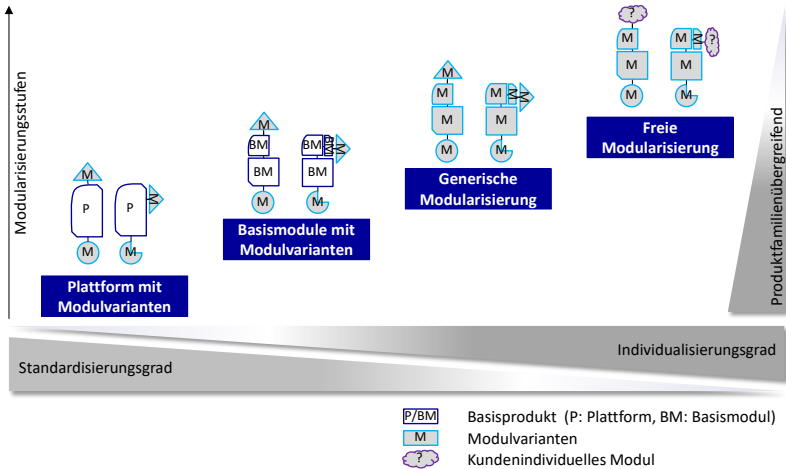


Bild 3-18: Stufen der Modularisierung nach SCHUH [Sch05]

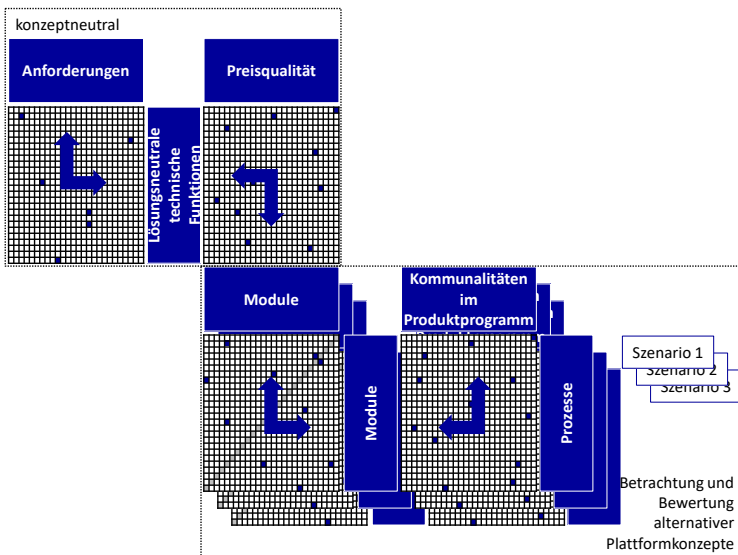


Bild 3-19: Vorgehensweise zur Umsetzung einer Plattformstrategie im Produktprogramm nach SCHUH [Sch05]

Produktordnungssysteme nach WILDEMANN

Unter dem Begriff *Produktordnungssysteme* fasst WILDEMANN Vorgehensweisen zusammen, Varianz im Unternehmen methodisch zu reduzieren [Wil08]. Neben Portfolio- und Projektmanagementmethoden stellt er auch bekannte Produktstrukturierungsmethoden in seinem Leitfaden vor. Er unterscheidet im Bereich der Produktstrukturstrategien zwischen den Spaltungsstrategien der Systeme und Module und den Bündelungsstrategien der Plattformen und Gleichteile. Während Plattformstrategien gemeinsam verwendete Elemente verschiedener Varianten bündeln, haben Gleichteilestrategien Prozesse, die durch die Gleichteileverwendung vereinheitlicht werden, als Gemeinsamkeit. Der Baukasten bezeichnet die Variantenbildung durch Kombinatorik. Die Strategien können miteinander kombiniert werden, um unternehmensspezifische Potenziale bestmöglich erschließen zu können (Bild 3-20).

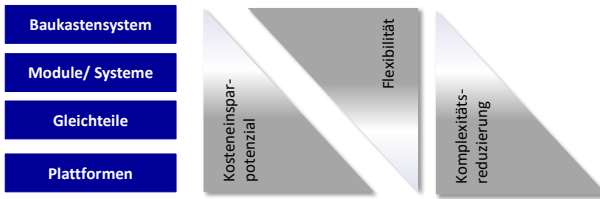


Bild 3-20: Produktstrukturstrategien nach WILDEMANN [Wil08]

Gezielte Schritte zur Auswahl der firmenspezifisch geeigneten Produktstrukturstrategie bietet der Leitfaden nicht, aber Anhaltspunkte können aus der Aufstellung ihrer primären Vorteile abgelesen werden.

3.4 Ansätze der Produktprogrammentwicklung

Nur wenige Ansätze zur Entwicklung von Produktprogrammen mit dem Ziel, Varianz zu reduzieren, sind bisher veröffentlicht worden. Die folgend zusammengefassten Beiträge behandeln vorwiegend Aspekte von Produktstrukturstrategien und der Entwicklung von Carryover-Komponenten und -Modulen.

The Corporate Platform nach JENSEN UND HILDRE

Grundlagen für die Entwicklung produktübergreifend einsetzbarer Module legen JENSEN UND HILDRE [JEN06]. Ihr Modell einer *Corporate Platform* skizziert abstrakt Zusammenhänge zwischen Markt, Produktplattform und Produktionslinien. Ziel ist es, die vom Markt geforderte Differenzierung auf Basis von Produktplattformen effizient abzuleiten und dadurch kommunale und flexible Produktionsprozesse zu ermöglichen. Zu diesem Zweck wird ein einzelnes Modul betrachtet und in verschiedene marktgeforderte Ausprägungen unterteilt. Module, die die gleichen oder ähnliche Ausprägungen erfordern, werden kommunal gestaltet und auf der gleichen Produktionslinie gefertigt (Bild 3-21).

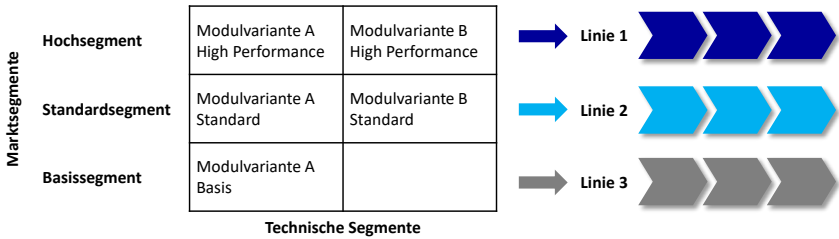


Bild 3-21: Ableitung der Modulvarianten aus Segmenten und Bündelung in Produktionslinien nach Jensen und Hildre [Jen06]

JENSEN UND HILDRE bieten keine methodische Betrachtung des gesamten Produktprogramms. Ihre beispielhafte Gestaltung von Modulen für den produktübergreifenden Einsatz und ihre erfolgreichen Ergebnisse im Rahmen der präsentierten Fallstudie zeigen jedoch, dass die Betrachtung einzelner Module unter Einbeziehung der Prozesse ein ziel-führender Weg ist.

Produktprogrammentwicklung nach BLANKENBURG

Einen in der Industrie entwickelten Ansatz zur Produktprogrammentwicklung schlägt BLANKENBURG vor [Bla97]. Kern des Ansatzes ist eine Matrix, die einen Überblick über die Funktionen, die durch die Produkte im Produktprogramm abgebildet werden, sowie über die verschiedenen Technologien, durch die diese erfüllt werden, gibt. Diese Matrix unterstützt die Identifikation von Potenzial für Kommunalität.

In einer weiteren Veröffentlichung stellt BLANKENBURG in einem breiteren Kontext dar, wie Produktprogramme im Simultaneous Engineering effizient entwickelt werden können [Bla99]. Sein Vorgehen beinhaltet die vier Schritte Spezifikation der richtigen Varianz, Entwurfsvariation, Nutzen von Kommunalitätsvorteilen und Entwicklung der Kommunalität (Bild 3-22). Für das Nutzen der Kommunalitätsvorteile empfiehlt BLANKENBURG eine Betrachtung der einzelnen Produktlebensphasen.

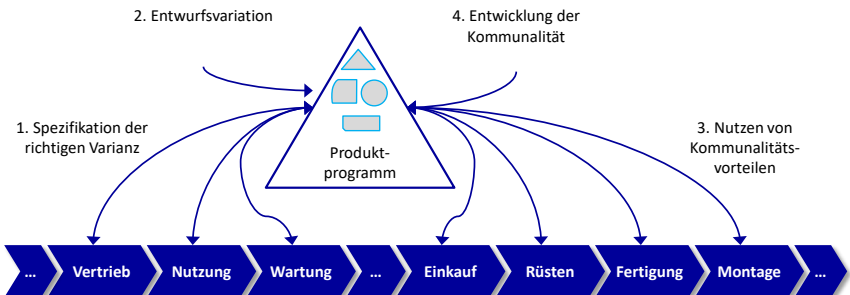


Bild 3-22: Vorgehen zur Produktprogrammentwicklung im Simultaneous Engineering [Bla99]

Dieser Gedanke, Kommunalität anhand der angestrebten Vorteile in den Produktlebensphasen auszuprägen, ist wichtig für die Entwicklung übergreifender Module.

Redesign von Produktprogrammen nach REITAN ET AL.

Ein sechsstufiges Vorgehen zur Entwicklung bzw. Neugestaltung von Produktprogrammen schlagen REITAN et al. vor [Rei02]. Im ersten Schritt *Beobachtung* wird das bestehende Produktprogramm auf den drei Ebenen Produkt, interne Faktoren und externe Faktoren beschrieben. Diese werden im zweiten Schritt *Analyse* tiefergehender untersucht. Im Schritt *Relation* werden die Zusammenhänge der Elemente auf den drei Ebenen dargestellt. Im Schritt *Restriktion* werden zeitliche und strategische Anforderungen aufgenommen. Neue Konzepte, die diese Restriktionen erfüllen, sind im nächsten Schritt *Generieren* zu erzeugen und im Schritt *Evaluation* zu bewerten. Verschiedene Methoden anderer Autoren werden diesen Schritten zugeordnet. Diese sind zum Teil Methoden der Produktfamilienentwicklung. Inwiefern diese Methoden geeignet sind, ganze Produktprogramme zu betrachten, wird nicht thematisiert. Das Vorgehen ist so abstrakt beschrieben, dass spezifische Herausforderungen, die aus der hohen Zahl zu betrachtender Varianten und Komponenten eines Produktprogramms entstehen, nicht thematisiert werden.

3.5 Einordnung der relevanten methodischen Ansätze aus der Fachliteratur

Die im vorherigen Abschnitt vorgestellten Ansätze aus der Fachliteratur werden vorläufig eingeordnet, in welchem Bereich sie einen relevanten Beitrag zur Zielsetzung dieser Arbeit beitragen können. Das Ergebnis ist in Tabelle 3-1 dargestellt.

Ansätze, die gezielt auf Produktprogramme fokussieren, decken nicht alle drei Teilbereiche ab und beschreiben keine detaillierte Methode sondern sehr übergeordnete Vorgehensweisen. Ansätze des Variantenmanagements tragen nur im Teilbereich der Produktstrukturstrategien bei. Methoden der modularen Produktentwicklung wurden für Produktfamilien konzipiert. Um ihre Anwendbarkeit bei der Entwicklung kommunaler Produktprogramme bewerten zu können, ist zu ermitteln, was die Bearbeitung ganzer Produktprogramme von der Bearbeitung von Produktfamilien unterscheidet. Dies gilt auch für die Variantengerechte Produktgestaltung und die Lebensphasen-Modularisierung des Integrierten PKT-Ansatzes. Die Produktprogrammplanung des Integrierten PKT-Ansatzes behandelt die Visualisierung von Produktprogrammen, jedoch mit dem Ziel der Planung und nicht der konkreten Entwicklung. Um tiefergehend bewerten zu können, wie zielführend die Ansätze der Autoren für einzelne Fragestellungen dieser Arbeit sind, muss zuvor die im Rahmen der Zielsetzung dieser Arbeit zu entwickelnde Methode genauer beschrieben werden. Dies wird durch eine deskriptive Studie im folgenden Kapitel erreicht.

Tabelle 3-1: Erste Einordnung der methodischen Ansätze aus der Fachliteratur

		Behandelter Bereich		
		Visualisierung von Produktprogrammen	Produktstrukturstrategien für Produktprogramme	Methodische Entwicklung von Carryover-Komponenten und -Modulen
Integrierter PKT-Ansatz	Strategische Planung modularer Produktprogramme nach Jonas [Jon13]	x	x	
	Variantengerechte Produktgestaltung nach Kipp [Kip12]			x
	Entwicklung modularer Produktfamilien nach Blees [Ble11]			x
Modulare Produktentwicklung	Grundlagen der Produktfamilienarchitektur nach Jiao und Tseng [Jia00a], [Jia00b]	x	x	
	Product Variety Optimaziation nach Fujita [Fuj06]	x		x
	Der Product Family Master Plan PMPF nach Harlou et al. [Har06], [Hau13], [And04]	x		
	Power Tower nach Meyer and Lehnerd [Mey97]		x	
	Integrated Approach to Product Family Design nach Simpson et al. [Sim12], [Ali10]		x	
	Funktionsorientierte Baukastenentwicklung nach Renner [Ren07]	x		x
	Produktfamilien- und Plattformportfolioanalyse nach de Weck et al. [Wec03]		x	x
	Indizes zur Bewertung der Kommunalität verschiedener Autoren		x	x
	Strukturplanung individualisierter Produkte und Structural Complexity Management nach Lindemann et al. [Lin06, Lin09]		x	
	Modular Product Platform Design nach Hölttä-Otto [Höl03], [Höl04], [Höl05]			x
	Variantenoptimierende Produktgestaltung nach Firchau [Fir03]		x	
Variantenmanagement	Strukturieren und Beurteilen von Baukastensystemen nach Kohlhase [Koh96]		x	
	Produktkomplexität managen nach Schuh [Sch05]		x	
Produktprogramm-entwicklung	Produktordnungssysteme nach Wildemann [Wil09]		x	
	The Corporate Platform nach Jensen und Hildre [Jen06]			x
	Produktprogrammentwicklung nach Blankenburg [Bla97], [Bla99]		x	x
	Redesign von Produktprogrammen nach Reitan et al. [Rei02]		x	

x Quelle behandelt den Bereich und ist darauf zu prüfen, welche Relevanz sie für die Entwicklung kommunaler Produktprogramme hat

4 Deskriptive Studie zur Vorbereitung der Methodenentwicklung

Um die bei der Entwicklung kommunaler Produktprogramme zu entwickelnden Methode beschreiben zu können, wird eine deskriptive Studie durchgeführt. Die Erkenntnisse dieser Studie werden mit den Ergebnissen der Literaturrecherche zusammengeführt, um die Forschungslücke aufzuzeigen.








4.1 Durchführung der deskriptiven Studie

Die deskriptive Studie beinhaltet neun industrielle Fallstudien, in denen die bestehenden Methodenbausteine des Integrierten PKT-Ansatzes Variantengerechte Produktgestaltung und Lebensphasen-Modularisierung angewendet werden. Mit der Analyse dieser Fallstudien sollen zwei aufeinander aufbauende Zielsetzungen verfolgt werden:

- *Vorbereitende, allgemeine, ausführliche Evaluierung und Weiterentwicklung:* Die Methodenbausteine Variantengerechte Produktgestaltung und Lebensphasen-Modularisierung wurden in voran gegangenen Arbeiten erfolgreich initial evaluiert. Eine ausführliche Evaluierung im Rahmen dieser deskriptiven Studie bezüglich der Anwendbarkeit, Zweckmäßigkeit und Benutzerfreundlichkeit dient der Weiterentwicklung dieser Methoden allgemein, um ihre durchgängige Anwendung auf Produktfamilien unterschiedlicher Randbedingungen zu verbessern und eine Grundlage für die Entwicklung darauf aufbauender Methoden zu schaffen.
- *Potenzial und Bedarf für die Entwicklung kommunaler Produktprogramme:* Indem diese ausführlich evaluierten und weiter entwickelten Methodenbausteine auf Fallstudien, deren Fokus über eine Produktfamilie hinaus geht, angewendet werden, sollen Erkenntnisse darüber gewonnen werden, was die produktfamilienübergreifende Anwendung von der Anwendung auf Produktfamilien unterscheidet, sowie welches Potenzial und welcher Bedarf daraus entstehen.

Die Erkenntnisse der initialen Evaluation, dass sowohl die Methodenbausteine Variantengerechte Produktgestaltung und Lebensphasen-Modularisierung als auch ihre Zusammenführung im Integrierten PKT-Ansatz ihren Zweck erfüllen, auf die gewählten Fallstudien anwendbar sind und hinreichende Benutzerfreundlichkeit aufweisen, gelten als Ausgangspunkt der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Evaluation [Kip12, Ble11]. Inhalt dieser Evaluationsphase 1 waren Projekte zur Entwicklung modularer Familien von *Herbizidsprühgeräten* und *Tauchpumpen*. Die Evaluationsphasen 2 im Rahmen dieser Arbeit hat zum Ziel, Grenzen in der Anwendbarkeit bezüglich der Produktkomplexität, der Breite des betrachteten Variantenspektrums und des Produktneuheitsgrads zu ermitteln (Tabelle 4-1). Dazu werden Projekte zur Entwicklung modularer *Flurförderzeuge*, *Gasmessgeräte* und *Papierschnidemaschinen* analysiert. Die Projekte der Evaluationsphase 2 beinhalten technisch wesentlich komplexere Produktfamilien, Produktfamilien oder -linien mit einem wesentlich breiteren Variantenspektrum und Produktfamilien, die Neuentwicklungen beinhalten, um zu validieren, inwiefern die Methoden auch unter diesen Randbedingungen anwendbar sind.

Tabelle 4-1: Gliederung der deskriptiven Studie des Integrierten PKT-Ansatzes [Eil12a]

Evaluationsphase 1 (initiale Evaluation)				
Projekte		Fokus auf die initiale Evaluation von		
		Einzelne Methodenbausteine	Zusammenführung der Methodenbausteine	
1	Herbizidsprühgeräte [Ble11], [Kip12]	x		
2	Tauchpumpen [Ble11], [Kip12]	x	x	
Evaluationsphase 2 (Evaluation der Randbedingungen für die Anwendbarkeit)				
Projekte		Fokus auf Anwendbarkeit bzgl.		
		Neuheitsgrad	Produktkomplexität	Variantenspektrum
3	Flurförderzeuge 		x	x
4	Gasmessgeräte 	x		
5	Papierschnidemaschinen 	x	x	x
Evaluationsphase 3 (Evaluation für die produktfamilienübergreifende Anwendung)				
Projekte		Fokus Potenzial und Bedarf der produktfamilienübergreifenden Anwendung		
		Einzelne Baugruppen innerhalb eines größeren Produkts	Produktfamilienübergreifend	
6	Displays 	x	x	
7	Bedienelemente 	x	x	
8	Gabelträger 	x	x	
9	Gaseinlassventile 		x	

Die Projekte für die Evaluationsphase 3 werden basierend die Erkenntnisse aus Evaluationsphase 2 so gestaltet, dass eine hinreichende Anwendbarkeit bezüglich dieser drei Randbedingungen gegeben ist. Ein Betrachtungsrahmen über das Variantenspektrum von mehr als einer Produktfamilie kann beibehalten werden. Ziel dieser dritten Evaluationsphase ist es, für diese Anwendungsfälle Erkenntnisse zu Potenzial und Bedarf einer übergreifenden Anwendung über mehrere Produktfamilien hinaus zu gewinnen. Dazu dienen die Fallstudien *Displays*, *Bedienelemente*, *Gabelträger* und *Gaseinlassventile*.

4.2 Erkenntnisse zur Weiterentwicklung der angewendeten Methoden

Aus der Evaluation gehen einige Ansätze zur Verbesserung der angewendeten Methodenbausteine hervor. Diese werden auf in dieser Arbeit verwendete Methodenbausteine angewendet und in Anhang B näher erläutert. Sie beinhalten

1. eine durchgängige Symbolik für die Visualisierungen MIG, MPC und VAM,
2. die zusammenfassende Darstellung von frei konfigurierbaren Elementen zur übersichtlichen Darstellung vieler Produktvarianten im Vielfaltsbaum
3. eine Ebene der technischen Merkmale im VAM alternativ zu den Ebenen der Funktionen und Wirkprinzipien [Eil12a, Geb12].

4.3 Erkenntnisse zum Potenzial produktfamilienübergreifender Methodenanwendung

Zur Evaluation des Potenzials werden die in Evaluationsphase 1 und 2 entwickelten *Standardkennzahlen* zum Integrierten PKT-Ansatz aufgenommen [Kip12, Eil12a]:

- K Anzahl Komponenten insgesamt
- V Anzahl varianter Komponenten
- S Anzahl von Standardkomponenten

Von einer Nutzung von Kommunalitätsindizes wird abgesehen, da ihre Erfassung aufwändiger ist und ihre Aussagekraft gemäß einer im Anhang A zusammengefassten vergleichenden Studie für den Zweck einer einfachen Bewertung nicht größer ist als die der hier aufgeführten Standardkennzahlen. Die ermittelten Standardkennzahlen der einzelnen Fallstudienprojekte sind in Tabelle 4-2 aufgeführt.

Projekte der produktfamilienübergreifenden Modularisierung zeigen eine deutliche Reduktion der Komponenten allgemein von über 60% (vorher 65, nachher 24), eine maßgebliche Reduktion der varianter Komponenten sowie eine Erhöhung der Standardkomponenten (Bild 4-1). Dies zeigt, dass für die Anwendung der Variantengerechten Produktgestaltung grundsätzlich, aber auch speziell für ihre Anwendung auf einzelne Baugruppen innerhalb eines größeren Produkts sowie die produktübergreifende Anwendung Potenzial besteht [Eil12b]. Dennoch sind bei der Methodenanwendung auf diese beiden letzteren Fälle relevante Bedarfe für die Entwicklung kommunaler Produktprogramme identifiziert worden, die folgend dargelegt werden.

Tabelle 4-2: Standardkennzahlen zur Evaluation der Zweckmäßigkeit

Evaluationsphase 3 (Evaluation für die produktfamilienübergreifende Anwendung)									
Projekte	Einzelne Baugruppen innerhalb eines größeren Produkts	Produkte über mehrere Produktfamilien	Anzahl der Komponenten (K)		Anzahl varianter Komponenten (V)		Anzahl von Standardkomponenten (S)		
			vorher	nachher	vorher	nachher	vorher	nachher	
6	Anzeigegeräte	x	x	83	17	82	12	1	5
7	Bedienelemente	x	x	73	28	71	13	2	15
8	Gabelträger	x	x	49	28	43	19	6	9
9	Gaseinlassventile		x	53	22	47	9	6	13

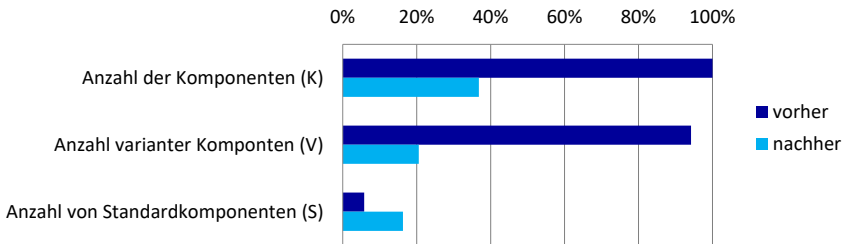


Bild 4-1: Varianzreduktion bei der Anwendung auf Produkte über mehrere Produktfamilien

4.4 Erkenntnisse zur Entwicklung kommunaler Produktprogramme

Bei der Durchführung der in Tabelle 4-1 und Tabelle 4-2 aufgeführten Fallstudien 6-9 mit produktfamilienübergreifender Anwendung werden Bedarfe für die Entwicklung kommunaler Produktprogramme identifiziert, die durch die Anwendung der Variantengerechten Produktgestaltung und Lebensphasen-Modularisierung nicht abgedeckt werden. Diese werden im Folgenden aufgeführt.

Visualisierung eines Produktprogramms hinsichtlich der Kommunalität

Um die Entwicklung kommunaler Produktprogramme zu unterstützen, bedarf es einer Visualisierung des Produktprogramms oder Ausschnitten davon. Diese Visualisierung muss folgende Elemente darstellen können:

1. Carryover: gemeinsame Verwendungen eines Moduls über mehrere Produktfamilien und Produktlinien.
2. Carryover-Potenzial: die Möglichkeit, Module über mehrere Produktfamilien und Produktlinien verwenden zu können.

3. Bestehende modulare Strukturen: die Kopplung von Komponenten zueinander als Module.
4. Produktprogramm (-ausschnitte), Produktlinien und Produktfamilien: die zusammenfassende Darstellung gruppiertes Produktvarianten, auch in unternehmensspezifische Gruppierungen wie zum Beispiel Baureihen.

Beschreibung und Auswahl einer Produktstrukturstrategie

Wird ein Modul, wie zum Beispiel Displays oder Gabelträger, ausgewählt und für den produktfamilienübergreifenden Einsatz gestaltet, muss entschieden werden, in welchen Produktvarianten dieses Modul eingesetzt werden soll, und welche Produktvarianten stattdessen aufgrund gesonderter Anforderungen ein individuelles Modul für den gleichen Zweck nutzen sollen. Auch unterschiedliche Modulgrenzen in verschiedenen Produktfamilien führen zu der Frage, inwiefern diese aufgelöst oder akzeptiert werden sollen, und ob es nicht einfacher ist, die Module für den produktfamilieninternen Einsatz neu zu entwickeln. Um diese Fragen zu klären, bedarf es für jedes Produktprogramm einer spezifischen strategischen Vorgabe, an welchen Leitlinien sich die Produktstrukturierung orientiert. Deshalb muss die Beschreibung und Auswahl einer Produktstrukturstrategie methodisch unterstützt werden durch

1. Methodisches Ableiten von Strategien, die angeben, über welche Produktfamilien Carryover-Potenzial für die Verwendung einzelner Module besteht und wie dieses genutzt werden soll
2. Methodische Beschreibung resultierender Anforderungen an die Granularität der modularen Struktur in den Produktfamilien
3. Methodisches Vorgehen zur Abstimmung produktfamilieninterner und -übergreifender Entwicklungsaktivitäten.

Methodische Entwicklung übergreifender Module

In den Fallstudien Displays, Bedienelemente und Gabelträger hat sich gezeigt, dass zusätzlich zur Anwendung bestehender Methoden Bedarf für weitere methodische Unterstützung besteht [Eil11, Eil12a, Eil 12b]. Folgend werden erst im Rahmen der deskriptiven Studie ermittelte Lösungen erläutert und dann resultierende Anforderungen an die neue Methode beschrieben.

Die Aufgabe, übergreifende Module zu entwickeln, wird durch zwei Faktoren geprägt. *Modulvarianz in den Produktfamilien* wird dadurch hervorgerufen, dass übergreifende Module oftmals schon in den Produktfamilien selbst in mehreren Varianten vorkommen. So werden zum Beispiel vier verschiedene Displayvarianten in einer Produktfamilie von

Flurförderzeugen verwendet und zwei andere Displayvarianten in einer anderen. Dies ist in Tabelle 4-3 schematisch dargestellt.

Tabelle 4-3: Modulvarianz in den Produktfamilien am Beispiel des Displays

	Produktfamilie 1	Produktfamilie 2	Produktfamilie 3
Display Variante 1	x		
Display Variante 2	x		
Display Variante 3		x	
Display Variante 4		x	
Display Variante 5		x	
Display Variante 6		x	
Display Variante 7			x
Display Variante 8			x

Modulvarianz durch gekoppelte Eigenschaften entsteht dadurch, dass eine Übernahme in eine andere Produktfamilie in vielen Fällen weitere Variantentreiber bedeutet. Dies liegt daran, dass die Module nicht vollständig entkoppelt zu den anderen Modulen in den verschiedenen Produktfamilien sind. Da diese gekoppelten Module über die verschiedenen Produktfamilien variant sind, beeinflussen sie auch die Varianz der übergreifend eingesetzten Module. Ein Beispiel am Modul Display ist in Bild 4-2 gegeben.

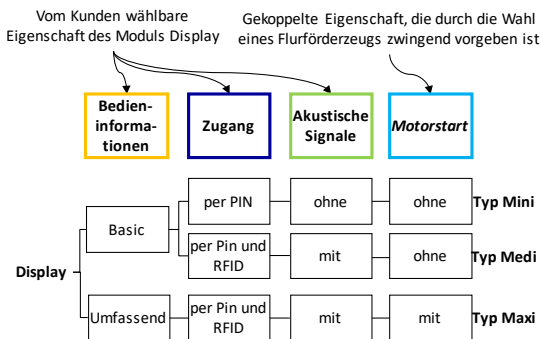


Bild 4-2: Zusätzliche Varianz durch gekoppelte Eigenschaften (hier: Motorstart eines Displays) [Eil11]

Hier kann der Kunde bei der Wahl eines Displays unter anderem wählen, ob er den Zugang zum Fahrzeug durch Eintippen eines PIN in das Display oder durch Vorhalten einer RFID-Karte an das Display ermöglichen möchte. Zusätzliche Varianz entsteht dadurch, dass Displays, die in einem Dieselgerät verbaut werden, immer eine Funktion zum Starten des Motors benötigen, die Displays in Elektrogeräten nicht benötigen. Es besteht eine funktionale Kopplung zum Modul Antriebseinheit. Soll nun ein Display sowohl für den Einsatz in Produktfamilien mit Elektroantrieb als auch für solche mit Dieselantrieb

entwickelt werden, müssen diese gekoppelten Eigenschaften, die sich für das Display aus den unterschiedlichen Antriebskonzepten ergeben, zusätzlich betrachtet werden.

Diese zwei Faktoren der Modulvarianz in den Produktfamilien und der Varianz durch gekoppelte Eigenschaften führen bei der Entwicklung übergreifender Module im Vergleich zu produktfamilienintern eingesetzten Modulen zu einer sehr hohen Varianz, die berücksichtigt werden muss. So ist es selten möglich, alle Produktfamilien mit exakt dem gleichen Modul auszustatten, es müssen stattdessen verschiedene Modulvarianten entwickelt werden. In diesem Kontext werden in den Projekten der deskriptiven Studie drei Möglichkeiten identifiziert, dennoch Varianz im Produktprogramm zu reduzieren:

1. *Kommunale Verwendung der Module*

Statt für verschiedene Produktvarianten jeweils eigene Modulvarianten zu entwickeln, sind Modulvarianten mit ähnlichen Anforderungen in verschiedenen Produktfamilien zusammenzufassen (Bild 4-3 oben). Am Beispiel des Displays bedeutet das, nicht mehrere unterschiedliche Displayvarianten für jede Produktfamilie einzeln zu entwickeln, sondern eine Displayfamilie, deren Varianten jeweils in mehreren Produktvarianten zum Einsatz kommen. Dabei müssen gekoppelte Eigenschaften konstruktiv berücksichtigt werden.

2. *Kommunale Verwendung der Komponenten, aus denen die Module bestehen*

Modulvarianten sind aus variantengerecht gestalteten Komponenten eines gemeinsamen Baukastens zu konfigurieren (Bild 4-3 Mitte). Beim Display werden beispielsweise die gleichen Tastenfelder zwischen Variante 1 und Variante 2 eingesetzt sowie die gleichen Gehäuseschalen für Variante 2 und 3.

3. *Kommunalität in den Lebensphasen*

Modulvarianten sind so zu gestalten, dass sie geringen varianzinduzierten Aufwand in den Produktlebensphasen hervorrufen (Bild 4-3 unten). Um Kommunalität in den Prozessen der Produktlebensphasen zu erzielen, gibt es neben der Prozesskommunalität, die trotz unterschiedlicher Modulvarianten gleiche Prozesse für die Module ermöglicht, die Strategie des Postponement. Beim Postponement werden Variantenbildungspunkte möglichst weit nach hinten geschoben, was auch zu weniger varianzinduziertem Aufwand und somit zu mehr Kommunalität in den Lebensphasen führt. Um die Displays im Postponement-Prozess zu fertigen, werden die varianten Anteile wie die Tastenfelder erst zum Schluss als einzelne Module hinzugefügt. Im kommunalen Prozess gilt es, die Schnittstellen und Abmaße so zu gestalten, dass gleiche Werkzeuge für unterschiedliche Varianten benutzt werden können und gleiche Taktzeiten möglich sind.

Mit der zu entwickelnden Methode ist die strukturierte Nutzung und Abwägung dieser drei Möglichkeiten zu unterstützen. Dazu bedarf es einer

- a. Visualisierung der kommunalen Verwendung,
- b. Methodischen Entwicklung von Modulbaukästen zur Konfiguration verschiedener Modulvarianten aus einem gemeinsamen Komponentensatz,
- c. Visualisierung der Modulvarianz und ihrer Wirkung in den Produktlebensphasen sowie
- d. Bewertung verschiedener Szenarien der kommunalen Verwendung, von Modulbaukastenkonzepten und kommunalen Konzepten für die Lebensphasen.

Kommunale Verwendung von Modulen

	Produktfamilie1	Produktfamilie2	Produktfamilie3
Display Variante 1	x		
Display Variante 2	x		
Display Variante 3		x	
Display Variante 4		x	
Display Variante 5		x	
Display Variante 6		x	
Display Variante 7			x
Display Variante 8			x



	Produktfamilie1	Produktfamilie2	Produktfamilie3
Display Variante 1	x	x	
Display Variante 2	x	x	
Display Variante 3		x	x
Display Variante 4		x	x

Kommunale Verwendung der Komponenten, aus denen die Module bestehen

Modularer Baukasten der Display	Display Variante 1	Display Variante 2	Display Variante 3
RFID-Reader	x	x	
Tastensfeld Variante 1	x	x	
Tastensfeld Variante 2			x
Gehäuseschale Variante 1	x		
Gehäuseschale Variante 2		x	x
Summer		x	x
...			

Kommunalität in den Lebensphasen

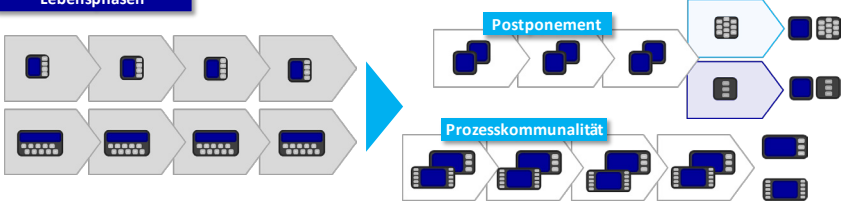


Bild 4-3: Drei Möglichkeiten, Varianz im Produktprogramm bei der Modulgestaltung zu reduzieren

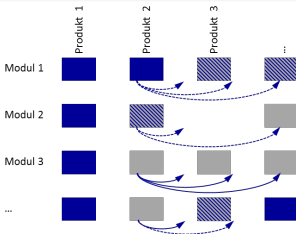
4.5 Bewertung bestehender methodischer Ansätze aus der Fachliteratur

Inwiefern den im vorangehenden Kapitel identifizierten Bedarfen bereits durch Methoden aus der Fachliteratur entsprochen wird, wird im Folgenden anhand der in Kapitel 1 erläuterten und eingeordneten Methoden untersucht.

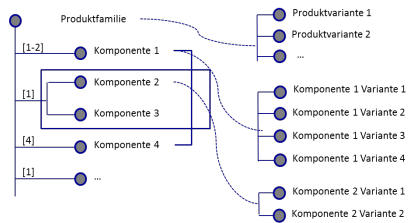
Visualisierung von Produktprogrammen in der Fachliteratur

Die untersuchten Visualisierungen von Produktprogrammen aus der Fachliteratur unterscheiden sich in ihren Schwerpunkten (Bild 4-4). FUJITA, RENNER und JONAS visualisieren schwerpunktmäßig, welche Komponenten in welchen Produktvarianten verwendet werden [Fuj06, Ren07, Jon13]. JIAO UND TSENG sowie HARLOU ET. AL stellen deutlicher die modularen Strukturen der verschiedenen Produktvarianten dar [Jia00a, Jia00b, Har06, Hau13, And04]. JONAS empfiehlt für diesen Zweck eine zusätzliche Visualisierung im MIG.

Design Deployment nach FUJITA [Fuj06]



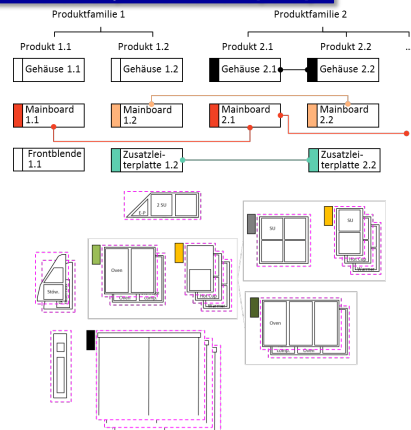
Product Family Master Plan PMPF nach HARLOU ET AL. [Hau13], [Har06], [And04]



Baukastenszenarien nach RENNER [Ren07]

		Baukastenszenario 1							
		Marktsegment							
Preissegment		A	B	C	D	E	F	G	
	oberes								
	mittleres								
	unteres								

Carryover Assignment Plan CAP und Module Interface Graph MIG nach JONAS [Jon13]



AND/OR-Tree nach JIAO UND TSENG [Jia00a], [Jia00b]

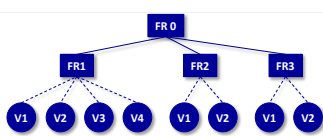


Bild 4-4: Untersuchte Visualisierungen von Produktprogrammen aus der Fachliteratur

Produktprogramme oder deren Ausschnitte in Produktlinien und -familien zu untergliedern, ermöglichen HARLOU ET AL. und JIAO UND TSENG. RENNER gruppiert Produktvarianten nach Segmenten jedoch nicht in Produktfamilien oder Produktlinien. Eine gleichzeitige Visualisierung von Carryover, Carryover-Potenzial, bestehenden modularen Strukturen und der Gliederung des Produktprogramms bietet keiner der Ansätze (Tabelle 4-4).

Tabelle 4-4: Einordnung der Beiträge aus der Fachliteratur bzgl. ihrer Unterstützung der Visualisierung von Produktprogrammen

	Visualisierung von			
	Carryover	Carryover-Potenzial	bestehenden modulare Strukturen	Produktprogramm (=ausschnitte), Produktlinien und -familien
Strategische Planung modularer Produktprogramme nach Jonas [Jon13]	●	●	◐	○
Funktionsorientierte Baukastenentwicklung nach Renner [Ren07]	●	●	○	◐
Grundlagen der Produktfamilienarchitektur nach Jiao und Tseng [Jia00a], [Jia00b]	◐	○	●	●
Der Product Family Master Plan PMPF nach Harlou et al. [Har06], [Hau13], [And04]	◐	○	●	●
Product Variety Optimaziation nach Fujita [Fuj06]	●	◐	○	○

● erfüllt ◐ zum Teil erfüllt ○ nicht erfüllt

Auswahl und Umsetzung einer Produktstrukturstrategie in der Fachliteratur

Methoden, die die Ableitung einer Strategie für die Verwendung einzelner Module unterstützen, gehen so vor, dass anhand von Gemeinsamkeiten der Produktvarianten Entscheidungen für die Breite ihrer Verwendung im Produktprogramm getroffen werden [Mey97, Sim12, Wec03, Ren07, Jen06, Bla97, Jon13]. Eine Unterscheidung in produktfamilieninterne und -übergreifende Verwendung wird dabei nur durch einzelne Autoren und wenig detailliert vollzogen [Mey97, Sim12, Ren07]. Eine detaillierte Zuordnung der Verwendung von Modulen bietet hier als einziger JONAS [Jon13].

Unter den Methoden, die die Anforderungen an die modulare Struktur berücksichtigen, widmen sich besonders Jonas und Lindemann dieser Frage sehr konkret auf spezifische Baugruppen bezogen, leiten aber keine Implikationen ab, ob eine Plattform-, modulare Produktfamilien-, oder Gleichteilestrategie zu wählen ist [Jon13, Lin06]. Bei JONAS werden die modularen Strukturen der Produktfamilien eines Produktprogramms den definierten Übernahmekandidaten angepasst. Auch Lindemann schlägt eine Definition verschiedener modularer Bereiche je nach Individualisierungsgrad der Module vor.

Implikationen für eine übergeordnete Produktstrukturstrategie geben SCHUH und WILDEMANN [Sch05, Wil08]. Diese decken sich jedoch nicht mit den Erkenntnissen der deskriptiven Studie (Bild 4-5). Der durch SCHUH dargestellte Zusammenhang, dass Plattformen produktfamilienübergreifend einsetzbar sind, hat sich in den Fallstudien der deskriptiven Studie nicht bestätigen lassen (Bild 3-18). Viel mehr hat sich gezeigt, dass das konstruktive Zusammenfassen zu einer großen Plattform die gekoppelten Eigenschaften verstärkt und so die Möglichkeiten eines übergreifenden Einsatzes stark schmälert.

Die durch WILDEMANN dargestellten Zusammenhänge decken sich mit den Erfahrungen der deskriptiven Studie insoweit nicht, dass nach WILDEMANN eine Modulstrategie mehr Flexibilität bietet als eine Gleichteilestrategie (Bild 3-20). Da die kommunalen Elemente einer Gleichteilestrategie in der Regel kleiner sind als die einer Modulstrategie, konnte dieser Zusammenhang durch die deskriptive Studie nicht bestätigt werden.

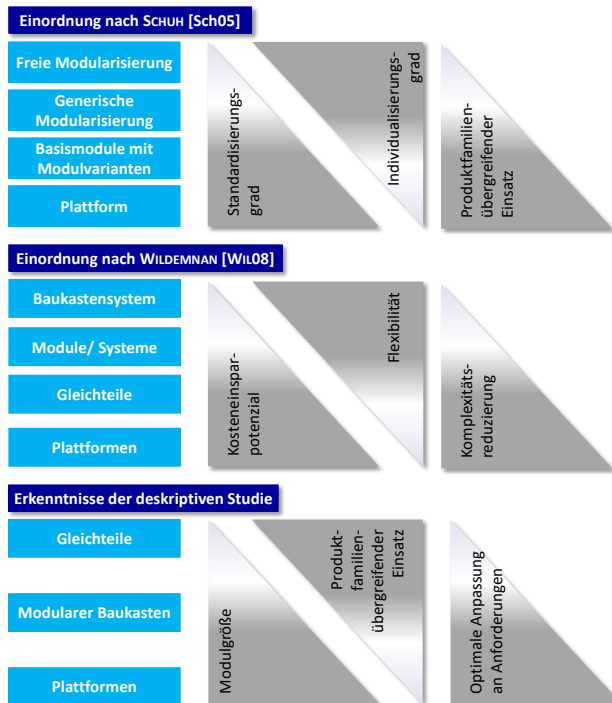


Bild 4-5: Gegenüberstellung der Einordnung von Produktstrukturstrategien aus der Fachliteratur mit den Erkenntnissen der deskriptiven Studie

Vorgehensweisen, wie Entwicklungsaktivitäten produktfamilieninterner und -übergreifender Module abgestimmt werden können, sind sehr allgemein gehalten [Koh97,

Jia00b, Rei02]. Ein etwas detaillierteres Vorgehen bietet FIRCHAU mit den Schritten Produktprogrammanalyse, Definieren der Produktstruktur, Erarbeiten eines Baukastenproduktprogramms, Variantenreduzierung, Festlegung der Varianz der Module, Bewertung und Standardisierung von Ausrüstung [Fir03]. Dies bezieht sich allerdings auf die komplette Neuentwicklung eines Produktprogramms und nicht seine Überarbeitung zur Variantenreduktion. Eine vollständige methodische Unterstützung der Auswahl und Umsetzung einer Produktstrukturstrategie bietet keiner der Ansätze im Rahmen der identifizierten Anforderungen (Tabelle 4-5).

Tabelle 4-5: Einordnung der Beiträge aus der Fachliteratur bzgl. ihrer Unterstützung der Auswahl und Umsetzung einer Produktstrukturstrategie

	Auswahl und Umsetzung einer Produktstrukturstrategie		
	Strategien für die Verwendung einzelner Module durch Identifikation von Carryoverpotenzial	Anforderungen an die Granularität der modularen Struktur in den Produktfamilien	methodisches Vorgehen zur Abstimmung produktfamilien interner und -übergreifender Entwicklungsaktivitäten
Strategische Planung modularer Produktprogramme nach Jonas [Jon13]	●	◐	○
Power Tower nach Meyer and Lehnerd [Mey97]	●	○	○
Produktfamilien- und Plattformportfolioanalyse nach de Weck et al. [Wec03]	◐	◐	○
Strukturplanung individualisierter Produkte und Structural Complexity Management nach Lindemann et al. [Lin06, Lin09]	○	◐	○
Funktionsorientierte Baukastenentwicklung nach Renner [Ren07]	◐	○	○
Integrated Approach to Product Family Design nach Simpson et al. [Sim12], [Ali10]	◐	○	○
Strukturieren und Beurteilen von Baukastensystemen nach Kohlhasse [Koh96]	○	○	◐
Produktkomplexität managen nach Schuh [Sch05]	○	◐	○
Produktordnungssysteme nach Wildemann [Wil09]	○	◐	○
Variantenoptimierende Produktgestaltung nach Firchau [Fir03]	○	○	◐
Grundlagen der Produktfamilienarchitektur nach Jiao und Tseng [Jia00]	○	○	◐
Produktprogrammentwicklung nach Blankenburg [Bla97], [Bla99]	◐	○	○
Redesign von Produktprogrammen nach Reitan et al. [Rei02]	○	○	◐
Indizes zur Bewertung der Kommunalität verschiedener Autoren	◐	○	○

● erfüllt ◐ zum Teil erfüllt ○ nicht erfüllt

Methodische Entwicklung übergreifender Module in der Fachliteratur

Die methodische Entwicklung übergreifender Module wird von den untersuchten Ansätzen aus der Fachliteratur nur zum Teil unterstützt. Für die methodische Entwicklung von

Modulbaukästen für übergreifend eingesetzte Module bieten besonders RENNER und KIPP Ansätze, die für die Aufgabe genutzt werden können [Kip12, Ren07]. Beide orientieren sich an der Richtlinie VDI 2221 mit den Beschreibungsebenen der Funktionen, Wirkprinzipien und Komponenten [VDI93]. Während RENNER gezielt die Komponentenbaukästen von übergreifenden Modulen betrachtet, ist die Variantengerechte Produktgestaltung nach KIPP auf Produktfamilien ausgerichtet. Ihr sehr detailliertes, nachvollziehbares Vorgehen führt auch bei übergreifenden Modulen zu sehr konkreten konstruktiven Maßnahmen, die die Komponentenzahl maßgeblich reduzieren, wie in der in Kapitel 4.3 beschriebenen deskriptiven Studie nachgewiesen werden konnte. Weitere in der Fachliteratur vertretene Ansätze integrieren eine oft rechnerunterstützte Optimierung der Kommunalität zum Beispiel durch Parametervariation in ihr Vorgehen, um aus einem möglichst kleinen Komponentensatz Modulvarianten, Plattformen oder Produktvarianten zu konfigurieren [Wec03, Fuj06, HöI05c, Wac86, Kot00, Ali09, The07, Sim12]. Dies ist nur zielführend für Module, deren Varianz tatsächlich nur einzelne technische Parameter bestimmen, also als eine Modulbaureihe zu verstehen sind. Module, die sich zum Beispiel durch Gestaltungsmerkmale wie Farben oder zusätzliche Kundenfunktionen unterscheiden, können damit unzureichend entwickelt werden. In den Fallstudien der deskriptiven Studie beinhalten alle betrachteten übergreifenden Module solche Gestaltungsmerkmale und Kundenfunktionen.

Wie die Modulvarianz in den Produktlebensphasen variante Prozesse hervorruft, betrachten die untersuchten Ansätze nur partiell. JENSEN UND HILDRE raten, ähnliche oder gleiche Modulvarianten auf einer Linie zu produzieren [Jen06]. BLANKENBURG gibt übergeordnete Richtlinien, die auf Potenzial zur Aufwandsreduzierung durch Kommunalität führen können [Bla99]. Der Kommunalitätsindex nach KOTA ET AL. hilft, die resultierende Prozessvarianz in die Optimierung und Bewertung zu integrieren [Kot00]. BLEES bietet mit dem *Module Process Chart (MPC)* eine gute Übersicht über die modulare Struktur in den Produktlebensphasen (Bild 3-7) [Ble11]. Die Anzahl der zu handhabenden Modulvarianten sind allerdings bisher nicht erkennbar.

Zur Bewertung bietet KIPP einfach zu ermittelnde Kennzahlen, die die benötigte Komponentenvarianz darstellen [Kip12]. Im Rahmen der deskriptiven Studie dieser Arbeit wurden diese Standardkennzahlen diskutiert und weiterentwickelt (Kapitel 4.3) sowie mit der Aussagekraft von Kommunalitätsindizes verglichen (Kapitel 4.3, Anhang A). Die Ergebnisse zeigen, dass die Standardkennzahlen die gleiche Aussagekraft wie die aufwändiger ermittelten Kommunalitätsindizes haben und so für die Bewertung der Komponentenvarianz hinzugezogen werden können.

Kostenorientierte Ansätze bieten DE WECK ET AL. und FUJITA [Wec03, Fuj06]. Hier ist das Problem die Verfügbarkeit relevanter Kostendaten schon beim Erstellen eines Modul-

konzepts. Außerdem ist nicht klar, wie alle relevanten Kostenpunkte in den Produktlebensphasen so früh in der Entwicklung abgeschätzt werden können. Diese Abschätzung der entstehenden Kostenpunkte unterstützen RENNER und HÖLTTÄ- OTTO generisch mit Checklisten in Form eines Businessplans bzw. einer Scorecard [Ren07, Höl05c]. Wie hier jedoch die Bewertungskriterien zu quantifizieren sind, wird nicht aufgeführt.

Obwohl Teilaspekte der methodischen Entwicklung übergreifender Module durch bestehende Ansätze bearbeitet werden, liegt kein gesamtheitlicher Ansatz zu Bearbeitung dieses Teilaspekts der Entwicklung kommunaler Produktprogramme vor (Tabelle 4-6).

Tabelle 4-6: Einordnung der Beiträge aus der Fachliteratur bzgl. ihrer Unterstützung der Entwicklung übergreifender Module

	Entwicklung übergreifender Module		
	Methodische Entwicklung von Modulkästen	Visualisierung der Modularität und ihrer Wirkung in den Produktlebensphasen	Bewertung verschiedener Übernahmekonzepte
Variantengerechte Produktgestaltung nach Kipp [Kip12]	●	○	◐
Indizes zur Bewertung der Kommunalität verschiedener Autoren	◐	◐	◐
Funktionsorientierte Baukastenentwicklung nach Renner [Ren07]	●	○	◐
Produktfamilien- und Plattformportfolioanalyse nach de Weck et al. [Wec03]	◐	○	◐
Product Variety Optimaziation nach Fujita [Fuj06]	◐	○	◐
Modular Product Platform Design nach Hölttä-Otto [Höl03], [Höl04], [Höl05]	◐	○	◐
Entwicklung modularer Produktfamilien nach Blees [Ble11]	○	◐	○
Produktprogrammentwicklung nach Blankenburg [Bla97, Bla99]	○	◐	○
The Corporate Platform nach Jensen und Hildre [Jen06]	○	◐	○

● erfüllt ◐ zum Teil erfüllt ○ nicht erfüllt

4.6 Resultierender Forschungsbedarf

In den vorangegangenen Abschnitten wird anhand der deskriptiven Studie abgeleitet und erläutert, welche Elemente für eine Methode zur Entwicklung kommunaler Produktprogramme notwendig sind, und wie dieser Bedarf durch die Fachliteratur abgedeckt wird. Der resultierende Forschungsbedarf wird zusammenfassend in Tabelle 4-7 beschrieben. Hierzu wird als Symbol ein leerer Kasten verwendet für Elemente, die nicht

ausreichend in der Fachliteratur behandelt und daher im Rahmen dieser Arbeit neu entwickelt werden. Ein horizontaler Pfeil symbolisiert Elemente, die in der Fachliteratur bereits bestehen und übernommen werden können. Mit einem Pfeil nach rechts oben werden Forschungslücken beschrieben, die durch die gezielte Weiterentwicklung bestehender Methoden aus der Fachliteratur geschlossen werden können.

Für die Entwicklung kommunaler Produktprogramme besteht in der Fachliteratur kein methodisches Vorgehen, das die beschriebenen Elemente beinhaltet. Daher ist im Rahmen dieser Arbeit ein derartiges Vorgehen zu entwickeln. Im Teilbereich der Visualisierung von Produktprogrammen erfüllt keine Visualisierung alle identifizierten Kriterien, so dass eine neue Produktprogramm-Visualisierung zu entwickeln ist. Bei der Auswahl und Umsetzung einer Produktstrukturstrategie wird zumindest der Aspekt der Strategien für die Verwendung einzelner Module durch Identifikation von Carryover-Potenzial durch bestehende Beiträge abgedeckt [Mey97, Jon13]. Daher wird für diesen Teilaspekt auf einen dieser Ansätze zurückgegriffen. Mit dem Ziel, eine möglichst benutzerfreundliche Integration des Methodenbausteins Entwicklung kommunaler Produktprogramme in den Integrierten PKT-Ansatz zu ermöglichen, wird hierzu der Ansatz von JONAS ausgewählt. Für die anderen Aspekte in diesem Teilbereich ist methodische Unterstützung neu zu entwickeln. Die Erarbeitung übergreifender Module wird in der Entwicklung von Modulbaukästen durch die Variantengerechte Produktgestaltung hinreichend unterstützt, wie in Kapitel 4.2 beschrieben [Kip12]. Zur verbesserten Benutzerfreundlichkeit werden die im Rahmen der deskriptiven Studie und nach GEBHARDT entwickelten Weiterentwicklungen übernommen [Eil12a, Geb12]. Um die Modulvarianz in den Produktlebensphasen zu visualisieren, wird das Module Process Chart (MPC) [Ble11] entsprechend der Weiterentwicklung aus Kapitel 5.2 übernommen und so weiter entwickelt, dass die Wirkung der Varianz auf die Lebensphasen erkennbar ist. Die Bewertung verschiedener Übernahmekonzepte wird in der Fachliteratur entweder ohne eine Kostenbewertung durchgeführt oder durch sehr generische Quantifizierungen. Daher soll im Rahmen dieser Arbeit auch eine methodische Bewertung von Carryover-Konzepten entwickelt werden.

Tabelle 4-7: Forschungsbedarf

Für die Entwicklung kommunaler Produktprogramme notwendige methodische Elemente		Lücke	Maßnahmen
Methodisches Vorgehen / Vorgehensbeschreibung		<input type="checkbox"/>	• Neuentwicklung
Visualisierung	Carryover	<input type="checkbox"/>	• Neuentwicklung, um alle Teilaspekte in einer einzigen Visualisierung darstellen zu können
	Carryover-Potenzial		
	Bestehenden modulare Strukturen		
	Produktprogramm (-ausschnitte), Produktlinien und -familien		
Auswahl und Umsetzung einer Produktstrukturstrategie	Strategien für die Verwendung einzelner Module durch Identifikation von Carryover-Potenzial	→	• Übernahme aus der Strategischen Planung modularer Produktprogramme nach JONAS [Jon13]
	Anforderungen an die Granularität der modularen Struktur in den Produktfamilien	<input type="checkbox"/>	• Neuentwicklung, da keine adäquaten Ansätze vorhanden
	Methodisches Vorgehen zur Abstimmung produktfamilieninterner und -übergreifender Entwicklungsaktivitäten	<input type="checkbox"/>	• Neuentwicklung, da keine adäquaten Ansätze vorhanden
Entwicklung übergreifender Module	Methodische Entwicklung von Modulbaukästen	→	• Übernahme aus der variantengerechten Produktgestaltung nach KIPP [Kip12] • Integration der Weiterentwicklung aus Kapitel 4.2
	Visualisierung der Modulvarianz und ihrer Wirkung in den Produktlebensphasen	↗	• Übernahme aus der Entwicklung modularer Produktfamilien nach BLEES [Ble11] • Integration der Weiterentwicklung aus Kapitel 4.2 • Zusätzliche Weiterentwicklung, um die Wirkung der Modulvarianz in den Produktlebensphasen zu visualisieren
	Bewertung verschiedener Übernahmekonzepte	<input type="checkbox"/>	• Neuentwicklung, um Kostenbewertung in der Konzeptphase zu unterstützen

Symbole zur Lücke

- Offene Forschungslücke, die durch die Entwicklung neuer methodischer Unterstützung im Rahmen dieser Arbeit geschlossen wird
- ↗ Offene Forschungslücke, die durch die Weiterentwicklung bestehender methodischer Unterstützung geschlossen wird
- Bestehende methodische Unterstützung, die übernommen wird

5 Methode der Entwicklung kommunaler Produktprogramme

Ziel der Entwicklung kommunaler Produktprogramme ist es, ein unternehmensspezifisch möglichst vorteilhaftes, bedarfsgerechtes Maß zwischen externer Produktvarianz und interner Kommunalität im Produktprogramm zu ermöglichen. Dies trägt zur Marktfähigkeit des Unternehmens bei, indem teils konträren Marktanforderungen nach varianten Produkten zu marktfähigen Preisen in einem höheren Maß entsprochen werden kann. Hierbei ist die Entwicklung kommunaler Produktprogramme eine Maßnahme, die diesem Ziel dient. Ihr Fokus sind übergreifende, produktprogrammweite Potenziale, Varianz zu reduzieren. Sie ist als Ergänzung zu produktfamilieninternen Maßnahmen zur Reduktion interner Vielfalt zu verstehen.

Aufbauend auf die im vorigen Kapitel in der deskriptiven Studie gewonnenen Erkenntnisse, wird die im Folgenden beschriebene Methode im Rahmen der präskriptiven Studie vorgestellt. Folgend wird das Vorgehen der Methode beschrieben. Die einzelnen Methodenschritte werden anhand eines vereinfachten Beispiels erläutert.

5.1 Vorgehen zur Entwicklung modularer Produktprogramme

Das Vorgehen zur Entwicklung kommunaler Produktprogramme ist in Bild 5-1 dargestellt. Die Entwicklung kommunaler Produktprogramme zielt darauf ab, zusätzlich zur Reduktion der Vielfalt durch die Entwicklung modularer Produktfamilien noch weiter die Vielfalt durch eine produktprogrammweite Betrachtung zu reduzieren. Sie ist eine umfassende, langfristige Aufgabe, die darauf aufbaut, dass in den Produktfamilien erste Schritte der Modularisierung zur Reduktion der Vielfalt durchgeführt wurden oder parallel durchgeführt werden. Daher baut die Entwicklung kommunaler Produktprogramme auf die in den Produktfamilien entwickelten modularen Strukturen auf. Änderungen dieser modularen Strukturen, die durch die Entwicklung kommunaler Produktprogramme abgeleitet werden, werden während des gesamten Vorgehens mit der Entwicklung modularer Produktfamilien abgestimmt.

Zuerst ist das Produktprogramm zu visualisieren. Hier wird ein Überblick gegeben, aus welchen Modulen die Produktfamilien und -linien derzeit aufgebaut sind, und wie diese Module übergreifend und innerhalb der Produktfamilien und -linien kommunal verwendet werden. Als methodische Unterstützung für diesen ersten Schritt dient das neu entwickelte *Carryover Chart (CoC)*, das in Kapitel 5.2 vorgestellt wird.

Diese Visualisierung ist Ausgangspunkt für die Analyse von Carryover-Potenzial zur Erhöhung der Kommunalität, das aus der Produktprogrammplanung nach JONAS als CP bekannt ist [Jon13]. Um dieses Potenzial methodisch zu ermitteln, wird der Invertierte Vielfaltsbaum auf das CoC angewendet (Kapitel 5.3).

Um eine spezifische Produktstrukturstrategie für das Produktprogramm zu entwickeln, wird das Carryover-Potenzial im neu entwickelten PS und in Kapitel 2.3 vorgestellten PSC ausgewertet. Je nachdem, wieviel Potential innerhalb der Produktfamilien und produktfamilienübergreifend besteht, ist die individuelle Produktstrukturstrategie zu entwickeln. Dabei ist zu beachten, welcher Bedarf zur Erhöhung der Kommunalität in den einzelnen Produktlebensphasen besteht. Dies ermöglicht eine Abfrage der Produktlebensphasen im *Zugkräftediagramm*, welches ebenfalls im Rahmen dieser Arbeit entwickelt wird. Diese Schritte zur Entwicklung der Produktstrukturstrategie werden in Kapitel 5.4 erläutert.

Um die Produktstrukturstrategie im Produktprogramm umzusetzen, ist das Carryover-Potenzial auszunutzen. Dazu werden Module mit bisher nicht genutztem Carryover-Potenzial als übergreifende Module entwickelt. Die methodischen Schritte, die diese Entwicklung kommunaler Modulkonzepte unterstützen, sind in Kapitel 5.5 beschrieben. Zuerst werden eine Ist-Analyse der internen Vielfalt des betrachteten Moduls durchgeführt sowie die Einflüsse externer Vielfalt untersucht. Dazu werden externe und interne Vielfalt aufgenommen, wie es als Schritt aus dem Integrierten PKT-Ansatz bekannt ist [Kip10]. Durch das CoC wird die Ist-Analyse um die produktfamilienübergreifende Sichtweise erweitert. Danach wird die Variantengerechte Produktgestaltung nach KIPP [Kip12] im VAM durchgeführt, so dass die Varianten des Moduls aus einem gemeinsamen Baukasten konfiguriert werden können. Im Anschluss wird die Lebensphasen-Modularisierung nach BLEES [Ble11] im MPC durchgeführt und um die Betrachtung der Kommunalität in den Produktlebensphasen erweitert, so dass das MPC zum *Commonality Process Chart (CPC)* erweitert wird. So können zusätzlich die Vorteile der Prozesskommunalität in der Modulgestaltung berücksichtigt werden. Welche Konzepte des neu gestalteten kommunalen Moduls dem Unternehmensbedarf entsprechen und die gewünschten Kostenvorteile bieten, wird anschließend durch die Bewertung bedarfsgerechter kommunaler Konzepte ermittelt. Die dafür entwickelte *Lebensphasen-Wertigkeit* und *Breakeven-Analyse* werden in Kapitel 5.5 beschrieben.

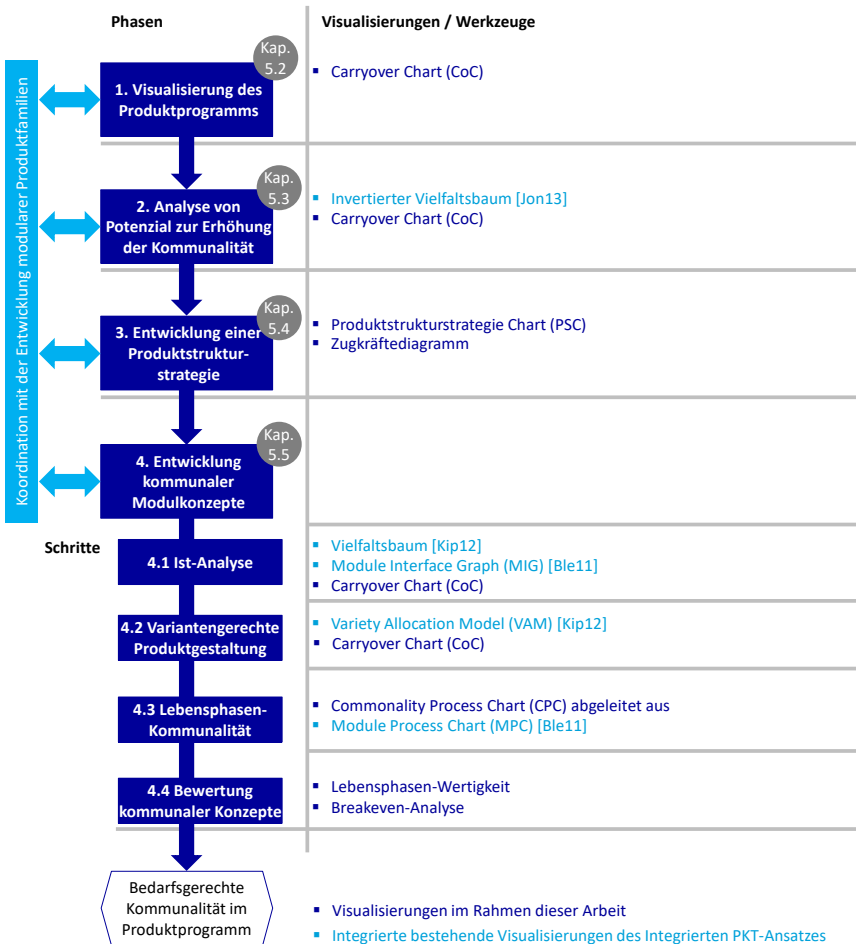


Bild 5-1: Methodisches Vorgehen bei der Entwicklung kommunaler Produktprogramme

Das Demonstrationsbeispiel, an dem die Methodenanwendung veranschaulicht wird, ist an eine Fallstudie aus einem Produktprogramm Ausschnitt eines produzierenden Unternehmens angelehnt. Es wird vereinfacht und verändert dargestellt, um als überschaubares Erklärungsbeispiel zu dienen. Das Produktprogramm A besteht aus drei Produktlinien, die jeweils verschiedene Produktfamilien beinhalten (Bild 5-2).

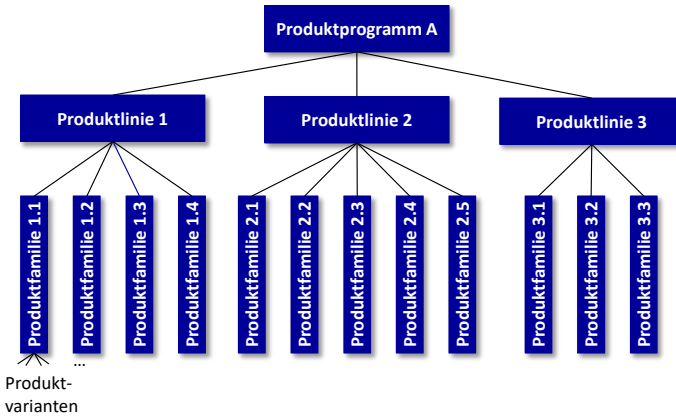


Bild 5-2: Betrachteter Umfang des Demonstrationsbeispiels

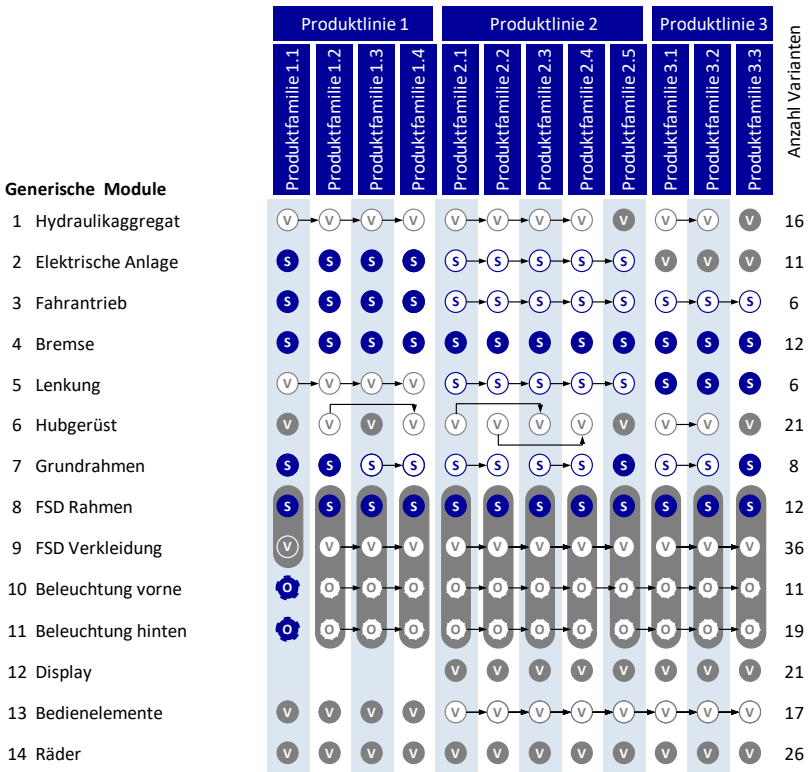
5.2 Visualisierung von Produktprogrammen im Carryover Chart CoC

Im Carryover Chart (CoC) werden bestehende Carryover-Module, bestehende modulare Strukturen und die Gliederung des Produktprogramms abgebildet. Weiterhin soll möglicher Bedarf, weitere Module kommunal zu verwenden, abgelesen werden. Wie anschließend aus diesem Bedarf konkretes Carryover-Potenzial abgeleitet und dargestellt wird, wird nach der Vorstellung des CoC in diesem Kapitel folgend in Kapitel 5.3 beschrieben.

Visualisierung des Produktprogramms im CoC

Das CoC ermöglicht die Zusammenfassung eines ganzen Produktprogramms in einer übersichtlichen Darstellung (Bild 5-3). Dazu ist spaltenweise die Gliederung des Produktprogramms analog zu Bild 5-2 aufgeführt. Zeilenweise werden die generischen Module, aus denen die Produktfamilien bestehen, aufgeführt. Diese modulare Struktur ist durch die in den Produktfamilien entwickelte modulare Struktur bereits gegeben. Innerhalb dieser Matrix werden durch runde Symbole die konkreten Module der einzelnen Produktlinien und -familien, ihre Vielfalt und ihre Verwendung aufgeführt. Dazu wird die in Kapitel 4.2 erwähnte und in Anhang B abgebildete vereinheitlichte Symbolik des Integrierten PKT-Ansatzes verwendet und auf die Produktprogrammperspektive erweitert. Hierbei bezieht sich die Einordnung in V, O und S auf die Varianz innerhalb der Spalte, also innerhalb der Produktfamilie. Dadurch wird ermöglicht, in einer Spalte nicht nur eine Produktvariante abzubilden, sondern alle Produktvarianten einer Produktfamilie.

- V Variante Module, das heißt Module in mehreren Ausprägungen (grau)
- O Optionale Module (gestrichelt)
- S Module in einer Ausprägung innerhalb einer Produktfamilie (blau)



222

FSD: Fahrerschutzdach

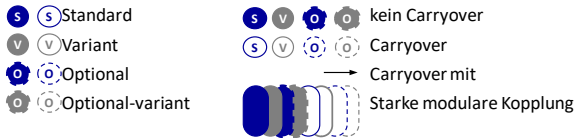


Bild 5-3: Carryover Chart

Module ohne produktfamilienübergreifende Verwendung werden mit den Farben Grau und Blau gefüllt. Carryover-Module werden dargestellt, indem das runde Symbol in weiß ausgefüllt und mit der entsprechenden Farbe Grau oder Blau umrandet wird. Pfeile indizieren hierbei, zwischen welchen Produktlinien und -familien die Module gemeinsam genutzt werden. Zusätzlich wird durch die Anzahl der Varianten in der rechten Spalte angegeben, in wie viel verschiedenen Varianten ein generisches Modul ausgeprägt ist.

Die *elektrische Anlage* ist beispielsweise in allen Produktfamilien der Produktlinien 1 und 2 standardmäßig (S) verwendet (Bild 5-4). Das heißt, die elektrische Anlage kommt in den Produktvarianten jeder Produktfamilie 1.1 bis 2.5 in jeweils nur einer Ausprägung vor. In Produktlinie 1 wird für die Produktvarianten jeder Produktfamilie jeweils eine eigene elektrische Anlage verwendet. Für alle Produktfamilien 2.1 bis 2.5 der Produktlinie 2 wird die gleiche elektrische Anlage als Carryover-Modul kommunal verwendet. So werden vier verschiedene elektrische Anlagen in Produktlinie 1 und jeweils eine in der Produktlinie 2 verwendet. In der Produktlinie 3 werden in jeder Produktfamilie eigene elektrische Anlagen verwendet. Dass in Produktlinie 3 in jeder Produktfamilie jeweils verschiedene Varianten der elektrischen Anlage vorliegen, wird durch V symbolisiert. Die Zusammenfassung der varianten Module durch V gibt keinen Aufschluss darüber, wie viele variante Module in Produktlinie 3 vorliegen. Diese Information wird daher in die Anzahl der Varianten zusammenfassend integriert: vier verschiedene Standardmodule in Produktlinie 1, ein gemeinsames Carryover-Standardmodul in Produktlinie 2 und drei verschiedene Module in je zwei Varianten in Produktlinie 3. Das ergibt elf verschiedene Module der elektrischen Anlage, die derzeit im Produktprogramm verwendet werden.

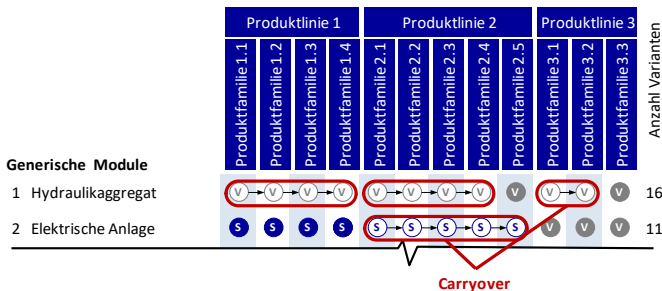


Bild 5-4: Carryover-Umfänge

Am *Hydraulikaggregat* erkennt man, dass in der Produktlinie 1 die gleichen varianten Hydraulikaggregate in allen Produktfamilien 1-4 verwendet werden (Bild 5-4). Gleiches gilt für die Produktfamilien 2.1 bis 2.4 und 3.1 bis 3.2. Die Produktvarianten der Familien 2.5 und 3.3 werden mit jeweils eigenen Hydraulikaggregatvarianten ausgestattet, die bisher nicht als Carryover-Module in anderen Typen oder Produktfamilien verwendet werden. Hier gibt die Anzahl der Varianten Aufschluss darüber, dass insgesamt 16 verschiedene Varianten des Hydraulikaggregats im Produktprogramm vorliegen. Wie viele Varianten genau auf welche Produktfamilien entfallen, wird aus Gründen der Übersicht nicht indiziert.

Durch ovale senkrechte Verbindungen können größere Module dargestellt werden. Dies ist entweder notwendig, wenn unterschiedliche Modulstrukturen in den Produktfamilien vorliegen, oder wenn im Verlauf der Produktlebensphasen relevante übergeordnete

Module geschaffen werden und diese starke modulare Kopplung visualisiert werden soll. In Bild 5-3 sieht man, dass die Module 8 bis 11 derzeit in den Produktfamilien 1.2 bis 3.3 stark modular gekoppelt sind. Der Rahmen des Fahrerschutzdachs (FSD) wird bei einem Lieferanten mit der Verkleidung und den Beleuchtungen vorne und hinten zu einem übergeordneten Modul zusammengefügt, das über alle Produktfamilien sehr variant ist.

Das CoC ermöglicht durch die Gliederung von Produktfamilien in Spalten und durch Symbole zur Visualisierung der Module in Zeilen die zusammenfassende Sicht auf die betrachteten Produktfamilien eines Produktprogramms in einer kompakten Darstellung. Es gibt Aufschluss darüber, aus welchen Modulen Produktfamilien bestehen, und inwiefern diese im Produktprogramm kommunal oder nicht kommunal verwendet werden. Im Demonstrationsbeispiel werden mehrere Tausend Produktvarianten übersichtlich im CoC dargestellt (Bild 5-3). Wie im CoC möglicher Bedarf zur Entwicklung weiterer Carryover-Module abzulesen ist, wird folgend erläutert.

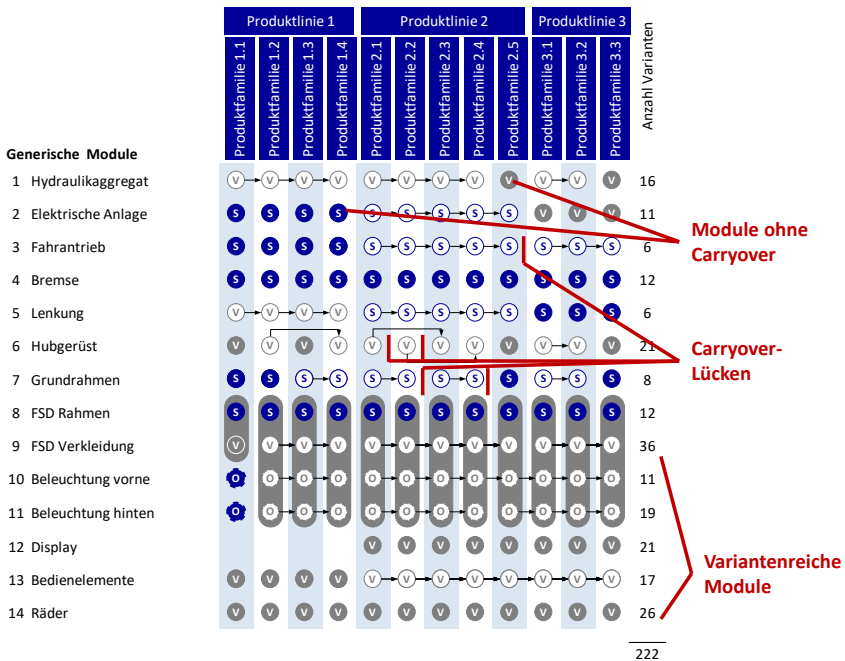
Visualisierung von Carryover-Bedarf im CoC

Im CoC kann Optimierungsbedarf der Kommunalität direkt abgelesen werden, indem Module, die nicht kommunal im Produktprogramm verwendet werden (Module ohne Carryover), Carryover-Lücken und variantenreiche Module identifiziert werden. Inwiefern dort, wo Bedarf besteht, tatsächlich Potenzial zur Optimierung ist, wird in einem nächsten Schritt methodisch analysiert, der in Kapitel 5.2 vorgestellt wird.

Module ohne Carryover, die keine weitere Verwendung über die Produktfamilie hinaus aufweisen, werden im CoC dadurch erkenntlich, dass sie farblich ausgefüllt sind. Beispiele dafür sieht man unter anderen beim *Hydraulikaggregat* (Bild 5-5, Zeile 1). Hier werden die Varianten des Hydraulikaggregats der Produktfamilien 2.5 und 3.3 in keiner weiteren Produktfamilie verwendet. Diese Hydraulikaggregate sollen in die Übernahme integriert werden. Die *Bremse* ist ein Beispiel für ein Modul, das keinerlei Carryover im Produktprogramm aufweist (Bild 5-5, Zeile 4). Jede Produktfamilie nutzt ihre eigene Bremse. Um die Kommunalität zu erhöhen, ist zu prüfen, inwiefern Potenzial für eine gemeinsame Nutzung von Carryover-Modulen besteht.

Carryover-Lücken bestehen dort, wo Carryover-Module nicht produktprogrammweit eingesetzt werden. Dies wird erkenntlich durch fehlende Pfeile zu den im CoC benachbarten Modulen. Ein Beispiel hierfür ist das *Hubgerüst* (Bild 5-5, Zeile 6). Produktfamilien 2.1 und 2.3 verwenden gleiche Hubgerüstvarianten. Die Produktfamilien 2.2 und 2.4 verwenden auch gemeinsame Hubgerüstvarianten, diese werden allerdings nicht von 2.1 und 2.3 übernommen. Um hier die Kommunalität zu erhöhen, ist das Potenzial für gemeinsame Hubgerüstvarianten für alle vier Produktfamilien zu prüfen. Auch beim *Grundrahmen* bestehen mehrere Carryover-Lücken (Bild 5-5, Zeile 7). Eine Carryover-Lücke ist beispielsweise zwischen der Produktfamilie 2.2 und 2.3 ersichtlich.

Sehr variantenreiche Module werden anhand der Variantenzahl am Ende der Zeile identifiziert. Die höchste Variantenzahl hat die *FSD Verkleidung* (Bild 5-5, Zeile 9). Produktfamilie 1.1 nutzt für die Verkleidung ein Modul ohne Carryover. Die anderen Produktfamilien nutzen Carryover-Umfänge innerhalb der Produktlinien mit Carryover-Lücken zwischen den Produktlinien. Um die sehr hohe Zahl varianter Module zu senken, ist das Potenzial zu prüfen, inwiefern die Carryover-Lücken geschlossen werden können und inwiefern die Produktfamilie 1.1 mit gemeinsamen Verkleidungen der Produktlinie 1 ausgestattet werden kann.



FSD: Fahrerschutzdach

S S Standard
V V Variant
O O Optional
O O Optional-variant
S V O kein Carryover
S V O Carryover
S V O → Carryover mit
S V O Starke modulare Kopplung

Bild 5-5: Identifikation von Bedarf zur Optimierung der Kommunalität im CoC

Auch für übergeordnete Module, wie sie für die Module des *FSD* bestehen, können Aussagen über die kommunale Verwendung abgelesen werden (Bild 5-5, Zeile 8-11). Für die Produktfamilien 1.2 bis 3.3 bestehen Carryover-Module *FSD Verkleidung* (Bild 5-5, Zeile 9), sowie *Beleuchtung vorne und hinten* (Bild 5-5, Zeile 10-11). Dadurch, dass für den *FSD*

Rahmen keinerlei Übernahme besteht, unterscheiden sich die übergeordneten FSD-Module und können nicht über die Produktfamilien hinaus als großes Modul kommunal verwendet werden, obwohl sie aus mehreren gemeinsam verwendeten Modulen bestehen.

Die aufgeführten Beispiele zeigen, wie im CoC Bedarf zur Optimierung der Kommunalität analysiert wird. Inwiefern es möglich ist, entsprechend diesem Bedarf Carryover-Module zu entwickeln, wird durch eine Analyse des Carryover-Potenzials im CoC untersucht.

5.3 Analyse des Carryover-Potenzials im CoC

Ein Vorgehen, Carryover-Potenzial zu analysieren, schlägt JONAS mit der Konzipierung von Übernahmekandidaten vor [Jon13] (Kapitel 3.1). Die anhand der Analyse *im Invertierten Vielfaltsbaum* (Bild 3-2,) identifizierten Carryover-Kandidaten werden nach JONAS im CAP (Bild 3-3) eingetragen. Für variantenreiche Produktprogramme, die aus mehr als Tausend Varianten bestehen, ist der CAP allerdings nicht zweckmäßig. Im CAP wird in jeder Spalte eine Produktvariante aufgeführt, was für derartig umfangreiche Produktprogramme zu feingliedrig wird. Ein wichtiges Ziel bei der Entwicklung des CoC ist es, diese variantenreichen Produktprogramme zusammenfassend abzubilden. Aus diesem Grund wird für die Analyse des Carryover-Potenzials der invertierte Vielfaltsbaum nach JONAS mit dem in dieser Arbeit entwickelten CoC verknüpft.

Am Anfang der Analyse steht der Invertierte Vielfaltsbaum in Form einer Liste der Module je Produktvariante. Da auch das aufgrund der hohen Variantenzahl nicht möglich ist, wird diese Liste auf Ebene der Produktfamilien angefertigt. Sie wird spaltenweise mit primären Merkmalen befüllt (Tabelle 5-1), die aus technischen Gründen eine notwendige Differenzierung der Module über die Produktfamilien zwingend erfordern. Diese primären Merkmale werden klassifiziert, im Demonstrationsbeispiel in die Klassen Hubkonzept, Fahr-/ Bedienkonzept und Energie, und für jedes Modul in jeder Produktfamilie mit einer eindeutigen Identifikation versehen, zum Beispiel Nennlast bis zu 2t oder Betriebsspannung 24V. Weiterhin wird die Tabelle mit sekundären Merkmalen befüllt, die derzeit zur Varianz der Module beitragen, aber gegebenenfalls durch konstruktive Änderungen harmonisiert werden können. Das sind beispielsweise geometrische Unterschiede, die vor allem durch eine separate Entwicklung in den unterschiedlichen Produktfamilien entstanden sind und nicht durch technische Notwendigkeit. Einige Module unterscheiden sich nur in sekundären, nicht aber primären Eigenschaften. Der so entstandene Invertierte Vielfaltsbaum wird analysiert (Tabelle 5-1). Hierzu werden die generischen Module einzeln betrachtet und alle ihre Varianten, die gleiche primäre Merkmale aufweisen, als Carryover-Kandidaten mit gleichem Farbcode versehen.

Tabelle 5-1: Invertierter Vielfaltsbaum nach JONAS [Jon13]

Generische Module	Klassifikation				
	Hubkonzept	Primäre Merkmale			Sekundäre Merkmale
		Fahr-/Bedienkonzept	Energie	Geometrie/ Gestalt- ausführungen	...
1 Hydraulikaggregat	Nennlast bis 2t				
2 Elektrische Anlage		mittlere Umschlagleistung	Betr.-Spannung 24V	Steckplätze 1.1-1.4	
3 Fahrtrieb		mittlere Umschlagleistung	Betr.-Spannung 24V	Div. Hersteller 1.2-1.4	
...					
11 Beleuchtung hinten		Arbeits- und Verkehrsleuchten		Basisbeleuchtung 1.1	
12 Display		Anzeige und Tasten		LED-Display	
13 Bedienelemente		Bedienung über Armhebel		zusätzl. Funktionen	
14 Räder		mittlere bis hohe Umschlagleistung			
...					
1 Hydraulikaggregat	Nennlast bis 3t				
2 Elektrische Anlage		hohe Umschlagleistung	Betr.-Spannung 48V	Steckplätze 2.1-2.5	
3 Fahrtrieb		hohe Umschlagleistung	Betr.-Spannung 48V		
...					
11 Beleuchtung hinten		Arbeits- und Verkehrsleuchten			
12 Display		Anzeige und Tasten		Digitaldisplay	
13 Bedienelemente		Bedienung über Armhebel			
14 Räder		mittlere bis hohe Umschlagleistung		variierende Durchmesser	
...					
1 Hydraulikaggregat	Nennlast bis 5t				
2 Elektrische Anlage		sehr hohe Umschlagleistung	Betr.-Spannung 48V	Steckplätze 3.1-3.3	
3 Fahrtrieb		sehr hohe Umschlagleistung	Betr.-Spannung 48V		
...					
11 Beleuchtung hinten		Arbeits- und Verkehrsleuchten			
12 Display		Anzeige und Tasten		LCD-Display	
13 Bedienelemente		Bedienung über Armhebel			
14 Räder		mittlere bis hohe Umschlagleistung		variierende Durchmesser	



Carryover-Potenzial aufgrund gleicher primärer Merkmale

Am Beispiel des *Fahrtriebs* wird deutlich, dass unterschiedliche primäre Merkmale im Fahr- und Bedienkonzept kein Carryover über die drei Produktlinien ermöglichen (Tabelle 5-1, Modul 3). Während die Produktlinie 1 auf eine *mittlere Umschlagleistung* ausgelegt ist, ermöglichen die Produkte der Produktlinien 3 und 4 *hohe und sehr hohe Umschlagleistungen*. Auch unterschiedliche *Betriebsspannungen* (24V und 48V) verhindern gemeinsam genutzte Fahrtriebe. In der Produktlinie 1 unterscheiden sich die Fahrtriebe der Produktfamilien zusätzlich in einem sekundären Merkmal. Die verschiedenen Produktfamilien werden mit Modellen unterschiedlicher *Hersteller* ausgestattet. Dies ist ein sekundäres Merkmal, da es keiner zwingenden technischen Notwendigkeit unterliegt, so dass hier das Potential besteht, innerhalb der Produktlinie 1 eine gemeinsame Fahrtriebsvariante zu verwenden. Ein anderes Beispiel bildet die *Beleuchtung hinten* (Modul 11, Tabelle 5-1). Sie ist eine variantes Modul, wie dem CoC zu entnehmen ist (Bild 5-3, Modul 11). Primäres Merkmal ist, dass in allen drei Produktlinien Pakete für *Arbeits- und Verkehrsleuchten* angeboten werden. In der Produktfamilie 1.1 wird abweichend eine kostengünstigere aber technisch nicht zwingend zu differenzierende *Basisbeleuchtung* angeboten. Ein weiteres sekundäres Merkmal sind unterschiedliche Versorgungsspannungen von 24V und 48V. Diese gelten für die Beleuchtung hinten als sekundäres

Merkmal, da hier eine Spannungswandlung technisch möglich ist. Das auf diese Weise ermittelte Carryover-Potenzial, unter anderen Beleuchtungen, Displays, Bedienelemente und Räder kommunal zu gestalten, wird zur Visualisierung im Produktprogramm in das CoC eingetragen (Bild 5-6). Hierfür werden Linien in der Farbe des im invertierten Vielfaltsbaums verwendeten Farbcodes gezogen.

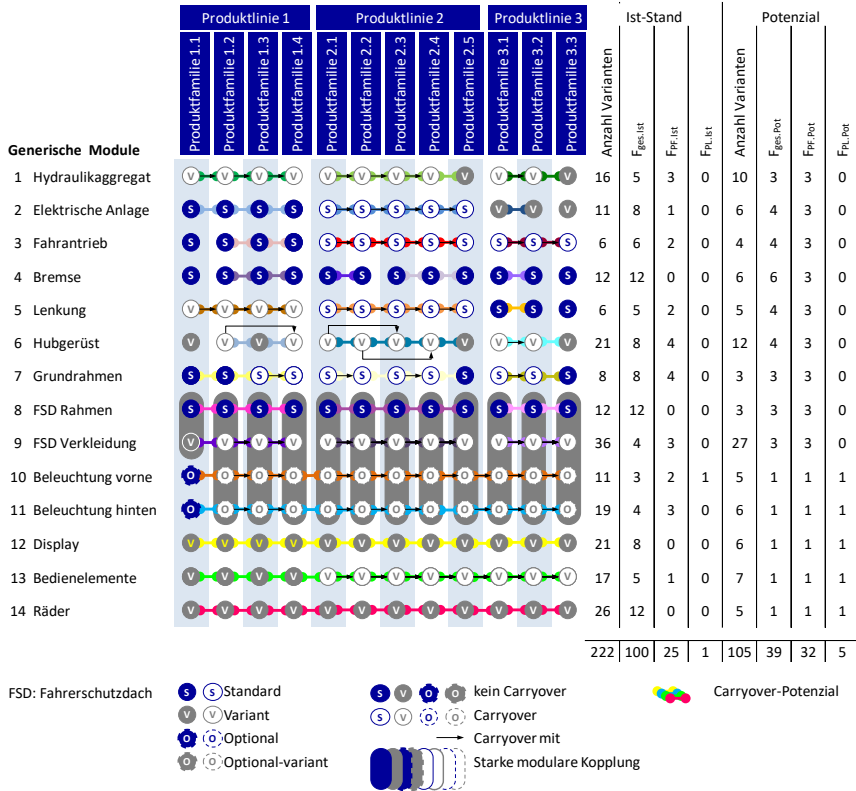


Bild 5-6: CoC mit Carryover-Potenzial und Werten zur Berechnung der Kennzahlen

Zur Bewertung der Potenzialanalyse werden die Kennzahlen *Product Family Crossing Share (CS)* nach JONAS [Jon13] und das neu entwickelte *Carryover Delta (CD)* genutzt. CS gibt an, wie hoch der Anteil produktfamilienübergreifender Carryover-Umfänge gegenüber produktfamilieninternen ist.

$$CS = \frac{F_{PP}}{F_{ges}} [\cdot 100\%] \quad [\text{Jon13}] \quad (5)$$

- F_{PF} Anzahl produktfamilienübergreifender Farbcodes im CAP (entspricht der Anzahl aller Carryover-Module)
- F_{ges} Anzahl aller Farbcodes CAP (entspricht der Anzahl aller Module, das heißt Carryover-Module und Module ohne Carryover)

Im Gegensatz zu der Darstellung nach JONAS im CAP sind im CoC Produktfamilien in einer Spalte zusammengefasst. Daher müssen die Bedeutungen von F_{PF} und F_{ges} an die Darstellung im CoC angepasst werden. Hier markiert ein Symbol mit Pfeil zu weiteren Symbolen ein bestehendes Carryover-Modul ($F_{PF,ist}$). Eine farbige Verbindung markiert ein potentielles Carryover-Modul ($F_{PF,pot}$). F_{ges} wird im CoC durch die zusammenfassende Darstellung nicht wie im CAP allein durch die Anzahl der Farbcodes bestimmt, sondern durch Summieren der Anzahl von Carryover-Modulen (Farbcodes) mit der Anzahl nicht verbundener Module. Zusätzlich zu dem produktfamilienübergreifenden Crossing Share kann auch der Crossing Share über Produktlinien hinweg bestimmt werden, so dass in CS_{PF} und CS_{PL} unterschieden wird. Dabei wird das entsprechende F_{PL} durch Farbcodes markiert, die über Grenzen der Produktlinien hinweg auftreten. Dies ist beispielhaft am Modul *Hydraulikaggregat* in Bild 5-7 dargestellt.

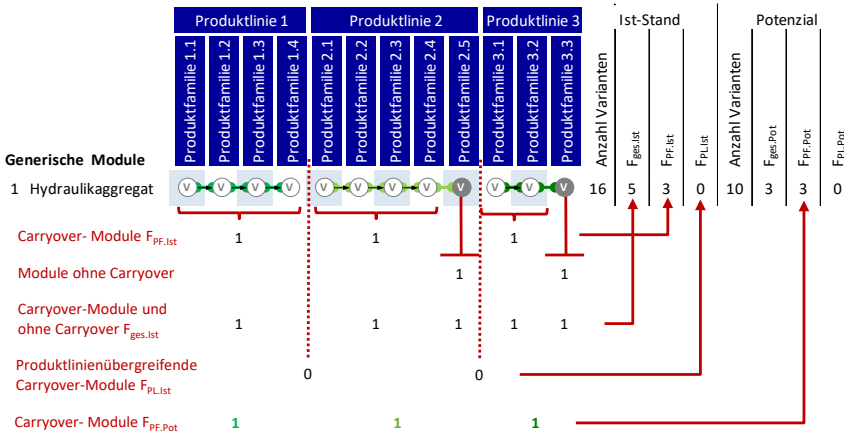


Bild 5-7: Ermittlung der Kennzahlen

Für den Ist-Stand werden durch Pfeile verbundene Carryover-Module gezählt. Diese bestehen zwischen Produktfamilien 1.1 bis 1.4 sowie zwischen Produktfamilien 2.1 bis 2.4 und Produktfamilien 3.1 bis 3.2, so dass $F_{PF,ist}$ den Wert 3 einnimmt. Produktfamilien 2.5 und 3.3 haben Module ohne Carryover. Insgesamt ergibt sich daraus für $F_{ges,ist}$ der Wert 5. Produktlinienübergreifende Carryover-Module bestehen nicht, da keine Pfeile über die Grenzen zwischen den Produktlinien führen.

Carryover-Potenzial wird durch Farbcodes markiert. Drei verschiedene Farbcodes bedeuten $F_{PF,Pot}=3$. Da hier keine Module ohne Carryover mehr bestehen, folgt auch $F_{ges,Pot}=3$. Da keine Farbcodes über die Produktlinien hinweg führen, ist $F_{PL,Pot}=0$. Auf diese Weise werden die Kennzahlen für alle Zeilen bestimmt, wie es in Bild 5-6 rechts dargestellt ist. Die jeweilige Summe unten in der Darstellung wird in die Formel für den Product Family Crossing Share (CS_{PF}) und den Product Line Crossing Share (CS_{PL}) eingetragen:

$$CS_{PF,Ist} = \frac{F_{PF,Ist}}{F_{ges,Ist}} [\cdot 100\%] = \frac{25}{100} [\cdot 100\%] = 25\% \quad (6)$$

$$CS_{PL,Ist} = \frac{F_{PL,Ist}}{F_{ges,Ist}} [\cdot 100\%] = \frac{1}{100} [\cdot 100\%] = 1\% \quad (7)$$

F_{PF} Carryover-Module

F_{PL} Produktlinienübergreifende Carryover-Module

F_{ges} Carryover-Module und Module ohne Carryover

Das in der Analyse ermittelte Potenzial übergreifender Carryover-Umfänge beträgt

$$CS_{PF,Pot} = \frac{F_{PF,Pot}}{F_{ges,Pot}} [\cdot 100\%] = \frac{32}{39} [\cdot 100\%] = 82\% \quad (8)$$

$$CS_{PL,Ist} = \frac{F_{PL,Ist}}{F_{ges,Ist}} [\cdot 100\%] = \frac{5}{39} [\cdot 100\%] = 13\% \quad (9)$$

Um das Carryover-Potenzial im Vergleich zu der im bestehenden Produktprogramm bereits realisierten Kommunalität auszudrücken, wird *Carryover-Delta (CD)* eingeführt.

$$CD = \left[1 - \frac{F_{ges,Pot}}{F_{ges,Ist}}\right] \cdot 100\% = \left[1 - \frac{39}{100}\right] \cdot 100\% = 61\% \quad (10)$$

Die Kennzahlen besagen, dass im betrachteten Produktprogramm bisher 25% der Module in mehr als einer Produktfamilie eingesetzt werden und nur 1% in mehr als einer Produktlinie. Möglich wäre es, 82% der Module in Carryover-Umfänge zu integrieren. Davon könnten 13% auch produktlinienübergreifend verwendet werden. Das würde zu einer Verbesserung der gemeinsamen Modulverwendung um 61% führen.

Weiterer Einsatz des CoC

Das CoC wird zur Visualisierung des Produktprogramms genutzt sowie zur Darstellung des Carryover-Potenzials. Wie dieses Potenzial umgesetzt werden kann, wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit erläutert. Dabei dient das CoC immer als aktuelle Darstellung des Produktprogramms, die regelmäßig aktualisiert wird (Bild 5-8).

Wird Carryover-Potenzial realisiert, werden die Farbcodes mit der Umsetzung durch schwarze Pfeile ersetzt.

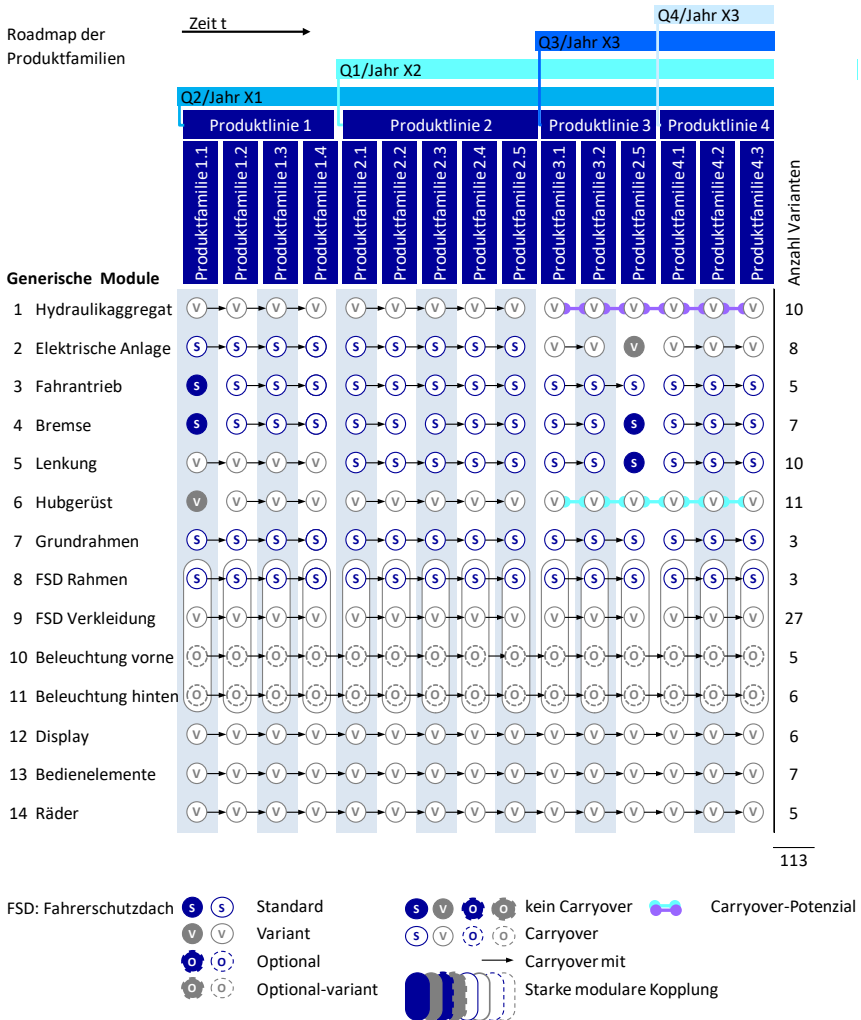


Bild 5-8: CoC mit umgesetztem Carryover-Potenzial und neuer Produktlinie

Produktprogramme entwickeln sich kontinuierlich weiter, indem beispielsweise neue Produktfamilien hinzukommen oder ältere Produktfamilien herausgenommen werden. Um das aktuelle Produktprogramm im CoC abzubilden und neue Produktfamilien gleich bei der Entwicklung in die Carryover-Strategie zu integrieren, werden im CoC die Produktlinien und -familien möglichst chronologisch von links nach rechts eingetragen.

Bild 5-8 zeigt, wie das CoC des Beispielerzeugnisprogramms zukünftig aussehen könnte. Die in Bild 5-6 als Potenzial dargestellten Umfänge sind als umgesetzt eingezeichnet. Eine neue Produktlinie 4 ist hinzugefügt. Für die neue Produktlinie 4 werden produktlinienintern die gleichen Module kommunal verwendet, die auch in den Produktlinien 1-3 Carryover-Module sind. Auch die produktlinienübergreifenden Carryover-Module werden auf die Produktlinie 4 ausgeweitet. Zusätzlich zu dieser konsequenten Fortsetzung der bisherigen Entwicklung kommunaler Module wird Potenzial gesehen, auch das *Hydraulikaggregat* und das *Hubgerüst* erstmalig produktlinienübergreifend zu verwenden. Daher sind diese beiden Module mit Farbcodes markiert.

5.4 Entwicklung einer Produktstrukturstrategie

Die vorangegangene Potenzialanalyse ist Ausgangspunkt für die Entwicklung einer produktprogrammspezifischen Produktstrukturstrategie (Bild 5-9).

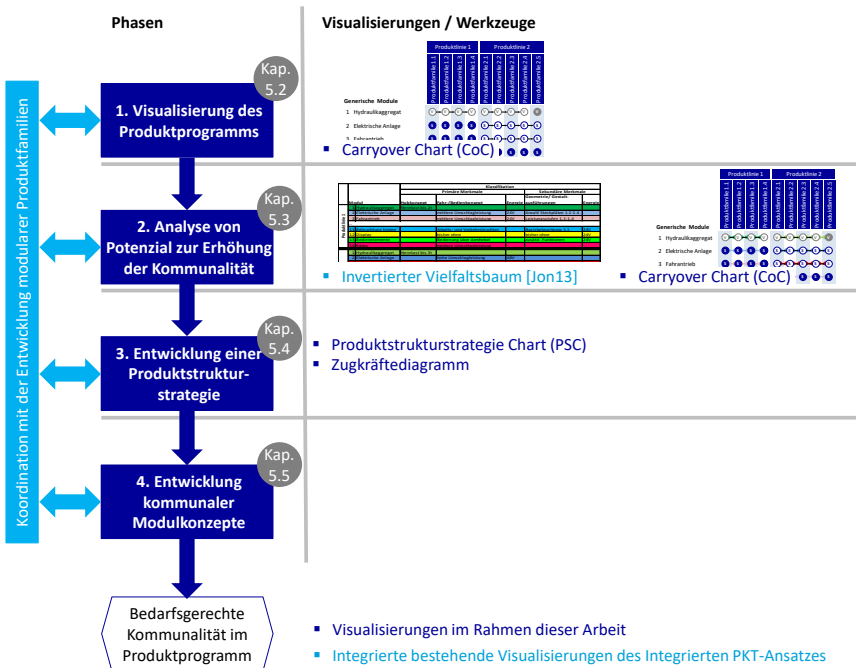


Bild 5-9: Bisherige Ergebnisse des methodischen Vorgehens

Ziel der Entwicklung einer Produktstrukturstrategie ist es, einen unternehmensspezifischen Rahmen für die Entwicklung des Produktprogramms zu schaffen, in dem Zielsetzung für entsprechende Maßnahmen definiert und kommuniziert wird.

Die Produktstrukturstrategie eines Unternehmens gibt an, durch welche Strategie modularer und kommunaler Gestaltung eine Varianzreduktion erzielt werden soll. Es ist wichtig, diese zu kommunizieren, um die Aktivitäten zur Varianzreduktion produktprogrammweit aufeinander abzustimmen.

Die Ableitung einer Produktstrukturstrategie ist an zwei unternehmensspezifischen Gegebenheiten auszurichten: an dem vorliegenden Potenzial, Kommunalität zu nutzen, und an den strategischen Bedarfen des Unternehmens. Im ersten Schritt wird das Carryover-Potenzial des Produktprogrammes dem Produktstrukturstrategie-Chart zugeordnet. Die Eigenschaften, Grenzen und Möglichkeiten der resultierenden Produktstrukturstrategie für das Unternehmen sind dann mit den Unternehmenszielen zu vergleichen. Dies muss in Abstimmung mit der Unternehmensführung geschehen und kann in Workshops, in denen diese Bedarfe systematisch abgefragt werden, methodisch vorbereitet werden.

Auswahl einer Produktstrukturstrategie nach Carryover-Potenzial

In der in Kapitel 5.35.2 beschriebenen Potenzialanalyse wird ausgewertet, wieviel Carryover-Potenzial produktfamilienübergreifend schon ausgeschöpft wird und wieviel insgesamt besteht. Nach diesem Potenzial wird eine Produktstrukturstrategie ausgewählt.

Dazu wird ermittelt, wie sich das analysierte Produktprogramm mit dem bestehenden Carryover-Potenzial in das Produktstrukturstrategie-Chart einordnen lässt. Das Chart wird daher um eine Einordnungsskala erweitert, die in dem dargestellten Bild 5-10 rot dargestellt ist. Besteht ein großes bisher nicht geschöpftes übergreifendes Potenzial, so ist eine Ausrichtung am Modulbaukasten zu empfehlen. Besteht kein oder wenig übergreifendes Potenzial, so ist eine Ausrichtung in Richtung Plattformstrategie zu bevorzugen. Wird das bestehende Potenzial aktuell sehr gut genutzt, so ist keine Änderung der Produktstrukturstrategie zu wählen.

Anhand der Kennzahlen aus Kapitel 5.3 können diese Empfehlungen wie folgt spezifiziert und in die in Bild 5-11 dargestellte Skala eingeordnet werden. In dem dargestellten Beispiel ist der Fall 1 der folgenden möglichen Fälle mit den entsprechenden Handlungsempfehlungen abgebildet.

1. $CS_{\text{Ist}} < CS_{\text{Pot}}$ und $10\% < CS_{\text{Pot}} < 90\%$
 - ➔ stärkeres Nutzen übergreifender Kommunalität im Rahmen einer Strategie modularer Produktfamilien
2. $CS_{\text{Ist}} < CS_{\text{Pot}}$ und $CS_{\text{Pot}} < 10\%$
 - ➔ Ausprägung einer Plattformstrategie und Nutzen vereinzelter übergreifender Kommunalität

3. $CS_{Ist} < CS_{Pot}$ und $CS_{Pot} > 90\%$
 - Ausprägung einer modularen Baukastenstrategie
4. $CS_{Ist} \approx CS_{Pot}$
 - kein Handlungsbedarf

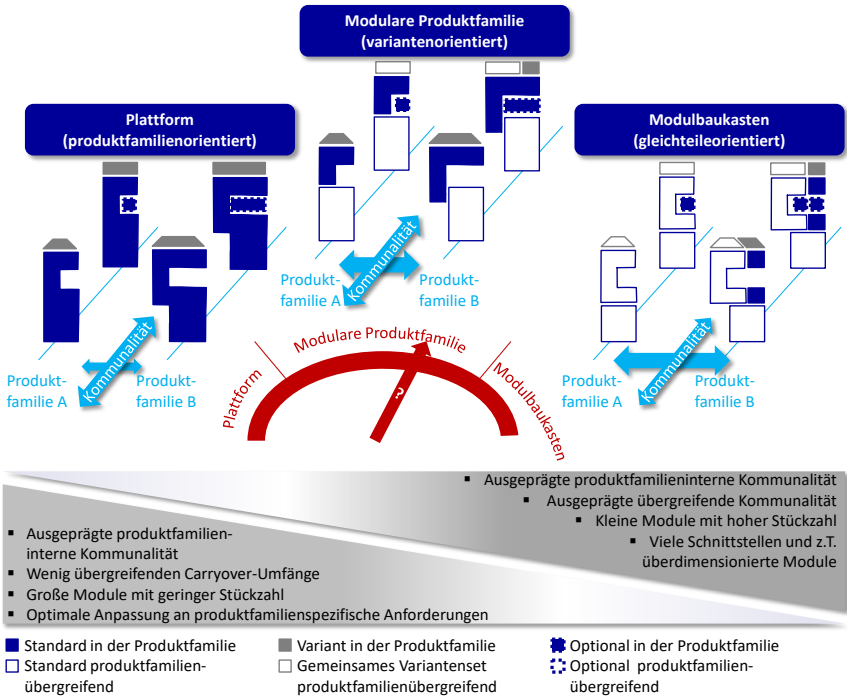


Bild 5-10: Produktstrukturstrategie-Chart (PSC) erweitert um eine Einordnungsskala

Für das Demonstrationsbeispiel des Produktprogramms A wird das Produktstrukturstrategie Chart analog dargestellt (Bild 5-12). An Stelle der schematischen Abbildung von Produktvarianten in Bild 5-10 wird die Gliederung des Produktprogramms abgebildet.

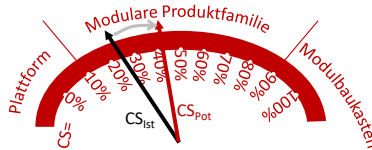


Bild 5-11: Einordnungsskala des PSC

Die Werte $CS_{PF, Ist} = 25\%$ und $CS_{PF, Pot} = 82\%$ werden eingetragen. Somit besagt das PSC, dass das derzeit nicht genutzte Carryover-Potenzial ausgeschöpft werden kann, indem die modularen Produktfamilien eine stärkere produktfamilienübergreifende, gleichteileorientierte Ausrichtung bekommen.

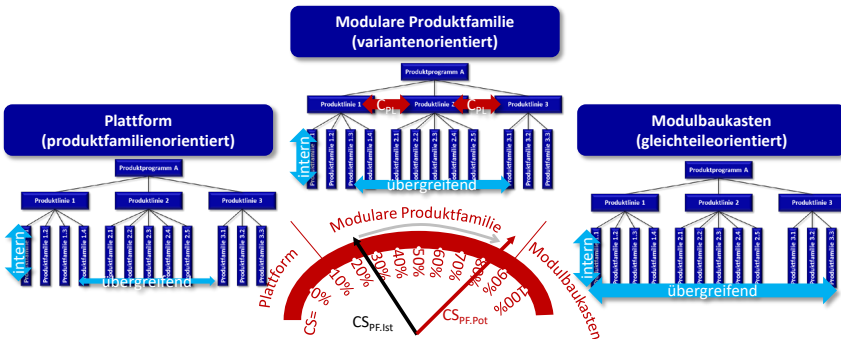


Bild 5-12: PSC für das Demonstrationsbeispiel des Produktprogramms A

Die Kennzahlen $CS_{PL, Ist} = 1\%$ und $CS_{PL, Pot} = 13\%$ zeigen, dass im Rahmen dieser Produktstrukturstrategie auch über Produktlinien hinweg ein Carryover-Potenzial stärker als bisher zu nutzen ist.

Abgleich der gewählten Produktstrukturstrategie mit dem unternehmensspezifischen Bedarf

Die oben beschriebene Einordnung in das PSC zeigt vor allem auf, welches Potenzial im Produktprogramm besteht, die Kommunalität übergreifend zu erhöhen. Inwieweit diese Erhöhung mit Unternehmenszielen und -bedarf übereinstimmt, ist zusätzlich zu berücksichtigen. Auch für die folgenden Entwicklungstätigkeiten ist vorzugeben, woran sich bei der Ausprägung von Kommunalität orientiert werden soll. Zu stark ausgeprägte Kommunalität kann zu hohen Kosten durch Überdimensionierung, Verlust der externen Differenzierung aus Kundensicht oder Einschränkungen in der optimalen Funktionserfüllung führen. Zu gering ausgeprägte Kommunalität, das heißt eine hohe interne Differenzierung, ruft hingegen beispielsweise hohe Lagerbestände, variante Produktionsprozesse und einen großen Aufwand in der technischen Absicherung hervor. Für jedes Produktprogramm gilt es, das eigene unternehmensspezifisch bedarfsgerechte Maß zwischen Kommunalität und Differenzierung auszuprägen. Die oben gezeigte Einordnung im PSC (Bild 5-11) ist hier nur ein Maß des bestehenden Potenzials, das nun mit dem bestehenden Unternehmensbedarf abzugleichen ist, um so die Produktstrukturstrategie für die Umsetzung zu schärfen.

Für die Bedarfsanalyse wird zur Darstellung des Zielkonflikts zwischen übergreifender Kommunalität und Differenzierung das Zugkräftediagramm genutzt (Bild 5-13). In einem Unternehmen bestehen diverse Gründe, die produktfamilienübergreifende Kommunalität stärker auszuprägen oder eine größere Differenzierung über die Produktfamilien eines Produktprogramms zuzulassen. Diese Gründe resultieren aus verschiedenen unternehmensinternen Zielen, denen die Rollen, die ihre Interessen vertreten, dienen. Gilt es eine Produktstruktur zu definieren, die vorgibt, in welchem Maß Produktvarianten und -familien gemeinsame Module oder jeweils einzelne verwenden sollen, so sind diese Ziele zu berücksichtigen. Wird eine Strategie gefunden, die möglichst vielen dieser Ziele entspricht, ist das die Lösung, die dem unternehmensspezifischen Bedarf am meistens entspricht und so die meisten Vorteile bietet.

Zur Erstellung des Zugkräftediagramms werden Abfragen mit den Vertretern der Rollen sowie übergeordneten Führungskräften durchgeführt. Dieses Vorgehen zur Analyse des unternehmensspezifischen Bedarfs ist ein subjektives, workshoporientiertes Verfahren, durch das Expertenwissen externalisiert und so zur Entscheidungsfindung genutzt wird. Dieses Vorgehen basiert auf der Annahme, dass Experten sich an den Zielen ausrichten, die durch die Unternehmensführung kommuniziert sind, und ihr Erfahrungswissen die Ausrichtung an diesen Zielen aussagekräftig widerspiegelt. Es ergänzt das PSC durch Ziele, die mit der Produktstrukturstrategie erreicht werden sollen. Das in Bild 5-13 dargestellte Zugkräftediagramm wird für das Demonstrationsbeispiel des Produktprogramms A erstellt. Hier zeigt sich, dass diverse Zielsetzungen für die Umsetzung des ermittelten Carryover-Potenzials sprechen.

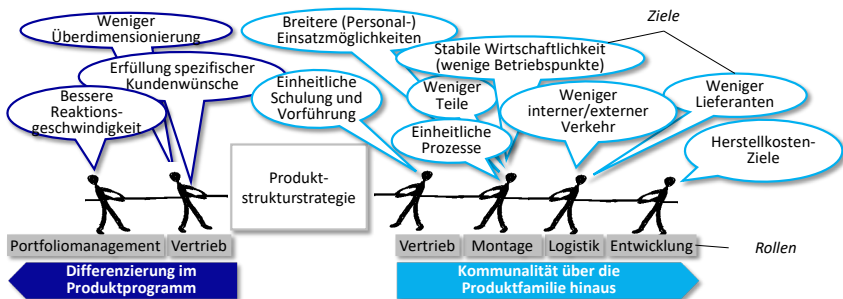


Bild 5-13: Zugkräftediagramm nach [Eil11]

5.5 Entwicklung kommunaler Modulkonzepte

In den folgenden methodischen Schritten gilt es, das identifizierte Carryover-Potenzial im Rahmen der Produktstrukturstrategie und unter Beachtung der Ziele umzusetzen (Bild 5-14).

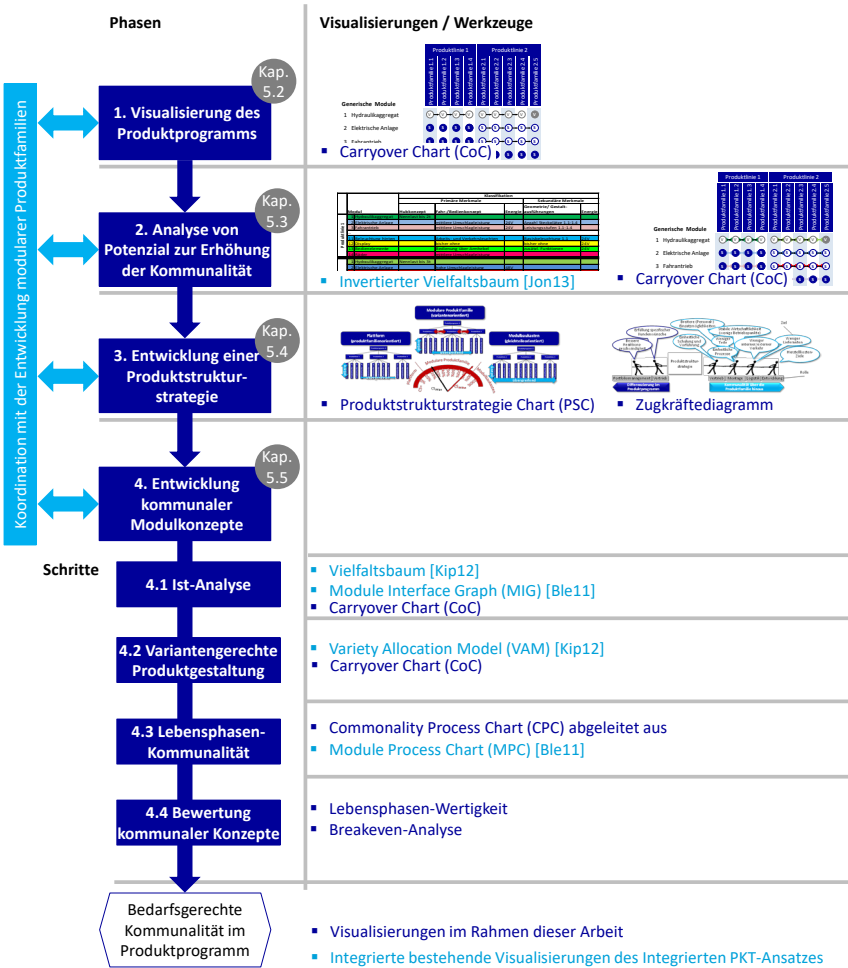


Bild 5-14: Bisherige Ergebnisse und nächste Schritte des methodischen Vorgehens

Die identifizierten, im CoC farbig markierten Carryover-Kandidaten (Bild 5-6) sind als übergreifende Carryover-Module zu gestalten, um die Kommunalität im Produktprogramm zu erhöhen. Dazu wurden in der deskriptiven Studie drei Möglichkeiten identifiziert, Kommunalität zu erhöhen:

1. Kommunale Verwendung der Module
2. Kommunale Verwendung der Komponenten, aus denen die Module bestehen

3. Kommunalität in den Lebensphasen

Um das zu erreichen, wird eine auf die Produktprogrammseite erweiterte Ist-Analyse durchgeführt, die Variantengerechte Produktgestaltung [Kip12] in das Vorgehen integriert und die Lebensphasen-Modularisierung [Ble11] so weiterentwickelt, dass die Kommunalität über die Lebensphasen visualisiert und erhöht wird.

Es gilt, die Kommunalität so auszuprägen, wie sie für das spezifische Unternehmen die angestrebten Ziele bringt, die im Zugkräftediagramm (Bild 5-13) aufgenommen wurden. Daher werden die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Schritte der Lebensphasen-Wertigkeit und der Breakeven-Analyse zur Bewertung kommunaler Modulkonzepte angewendet.

Zur Demonstration des Vorgehens wird das Modul 11 *Beleuchtung hinten* (Bild 5-6) genutzt. Anhand dieses Beispiels wird gezeigt, wie bestehende Schritte aus Methoden anderer Autoren zum Teil weiterentwickelt und mit den im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Methoden in das Vorgehen integriert werden.

Ist-Analyse

Den ersten Schritt zur Entwicklung kommunaler Modulkonzepte stellt die Ist-Analyse dar. Dazu werden der Vielfaltsbaum und der MIG von der Entwicklung modularer Produktfamilien übernommen (vgl. Kapitel 3.1 und 4.2) [Kip12, Ble11]. Zusätzlich wird ein CoC über die Komponenten des Moduls erstellt, um die derzeitige Verwendung in den Schritt der Ist-Analyse zu integrieren.

Der Vielfaltsbaum wird in der Entwicklung modularer Produktfamilien für ganze Produkte aufgestellt. Für die Entwicklung kommunaler Modulkonzepte wird der Vielfaltsbaum für einzelne Module in ihren verschiedenen Varianten, in denen sie im Produktprogramm vorkommen, erstellt (Bild 5-15). Er zeigt auf, welche kundenrelevanten Eigenschaften (externe Vielfalt) es sind, die derzeit die interne Vielfalt des Moduls beeinflussen. Betrachtet man nur ein Modul eines größeren Produkts, das in vielen verschiedenen Varianten des Produkts zum Einsatz kommt, so ist seine Varianz nicht nur durch Eigenschaften beeinflusst, die direkt einen Kundenwunsch mit diesem Modul verknüpfen. Die Varianz wird auch durch Kopplungen mit anderen varianten Modulen in den verschiedenen Produktvarianten beeinflusst, sogenannte gekoppelte Eigenschaften (Kapitel 4.4). Um sie von den kundenrelevanten Eigenschaften zu unterscheiden, wird hier eingeführt, gekoppelte Eigenschaften im Vielfaltsbaum kursiv zu beschriften. Am Beispiel der *Beleuchtung* sieht es so aus, dass *Warnleuchte* und *Rückleuchten* direkte Kundenwünsche widerspiegeln. Die Varianz der *Bügel* wird zusätzlich durch entsprechende *Anschlussgeometrien* indirekt hervorgerufen. Die Anschlussgeometrien werden bestimmt durch *Umgebungsbedingungen* und *Nennlast*, da diese die Breite des Fahrerschutzdachs vorgeben, an das der *Bügel* montiert wird. Weiterhin wird für die Produktfamilie 1.1 bisher

nur eine Variante optional angeboten, die sich von den anderen der Produktlinie 1 ohne erkennbaren Kundennutzen unterscheidet. Daraus ergeben sich 19 verschiedene Varianten der Beleuchtung.

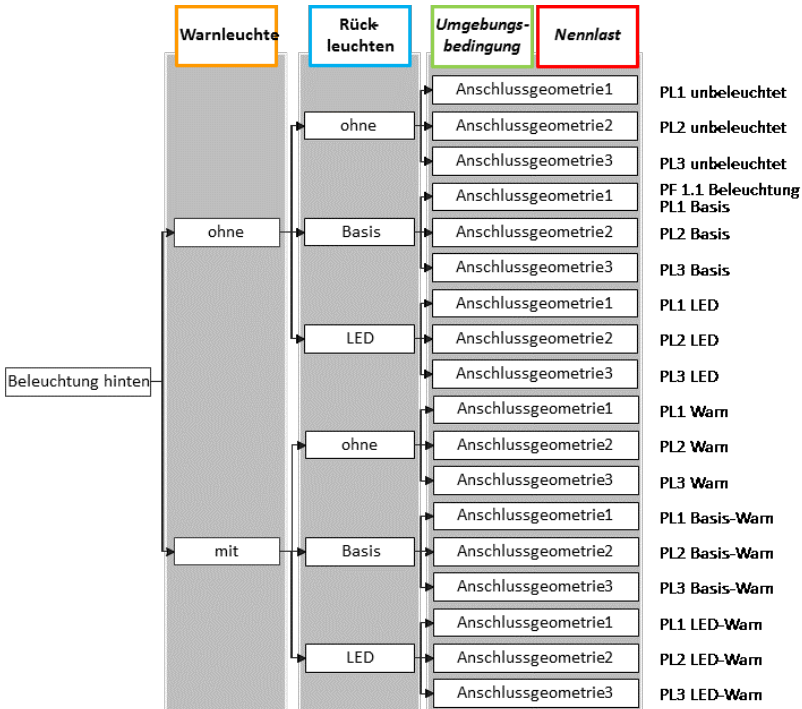


Bild 5-15: Vielfaltsbaum des Beispiels Beleuchtung hinten [Eil13b]

Um eine Übersicht über die grobe Form und Anordnung der Komponenten des Moduls, ihre Schnittstellen und ihre Varianz zu erhalten, wird der MIG erstellt (Bild 5-16).

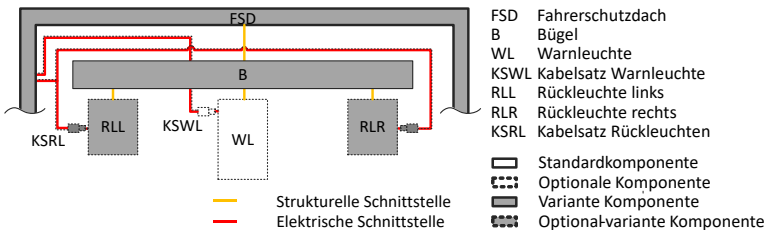


Bild 5-16: MIG der Beleuchtung hinten [Eil13b]

Da der *Bügel* eng mit dem Stahlrahmen des *Fahrerschutzdachs (FSD)* gekoppelt ist, wird auch diese Schnittstelle abgebildet. An den *Bügel* werden optional-variant *Rückleuchten* montiert. Optional-standard wird eine *Warnleuchte* verbaut. Die Leuchten werden mit *Kabelsätzen* verbunden, die am FSD geführt werden.

Zusätzlich zu den bestehenden Visualisierungen der Ist-Analyse wird das CoC eingeführt, um die derzeitige Verwendung der Komponenten des Moduls zu untersuchen. Am Beispiel der Beleuchtung sieht man die Komponentenverwendung in Bild 5-17. Zusätzlich ist der Optimierungsbedarf rot markiert.

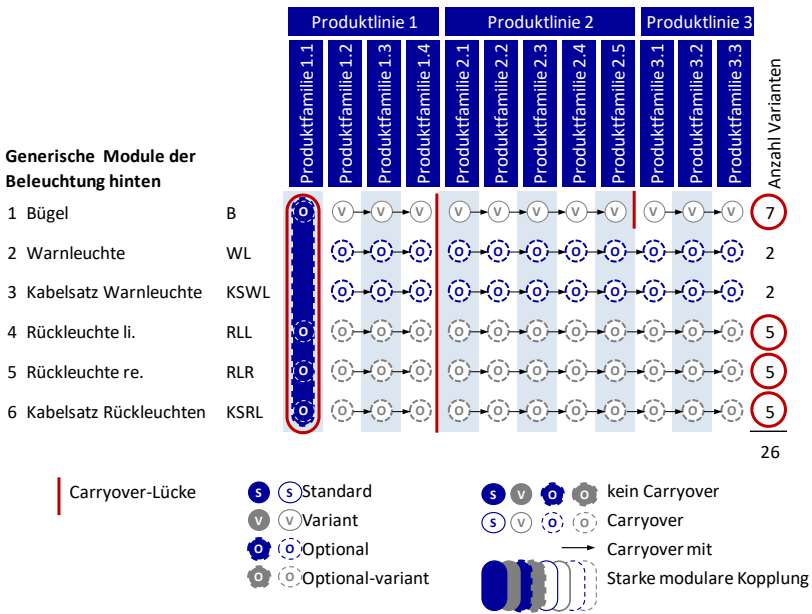


Bild 5-17: CoC der Beleuchtung hinten

Die Beleuchtung der Produktfamilie 1.1 ist ein stark integral gestaltetes Modul ohne Carryover. Zwischen den Produktlinien 1 und 2 sowie 2 und 3 bestehen Carryover-Lücken. Zusätzlich ist eine mögliche Reduktion der Modulvarianten bei einigen Modulen zu prüfen.

Variantengerechte Produktgestaltung

Um den analysierten Bedarf zu bearbeiten, werden in der Variantengerechten Produktgestaltung die kundenrelevanten Eigenschaften und Komponenten in das VAM eingetragen, in Bezug gesetzt und technische Lösungen ermittelt, die die Ist-Situation dem Idealbild einer 1:1-Zuordnung annähern (Bild 5-18) (Kapitel 3.1 und 4.2). Diese werden in das

CoC mit farbigen Pfeilen eingetragen, um darzustellen, inwiefern die aus dem VAM abgeleiteten Lösungen zur Steigerung der Kommunalität beitragen (Bild 5-19).

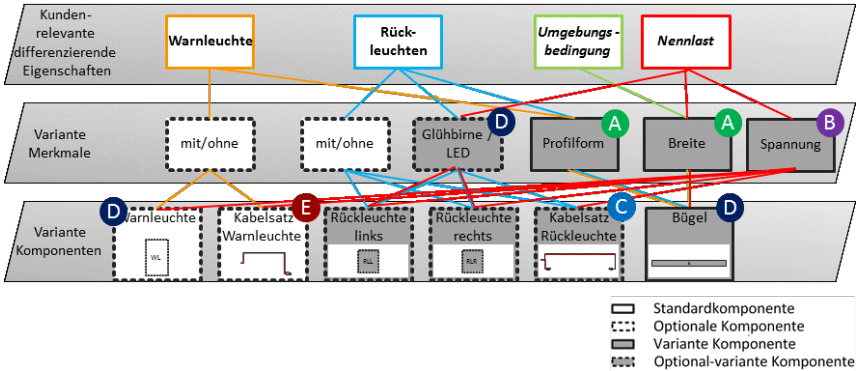


Bild 5-18: VAM der Beleuchtung hinten

Die möglichen konstruktiven Lösungen sind:

- A. Angleichung der *Bügel* in Profilform und Breite. Dies führt im CoC zu einem Standard-Bügel, der über alle Produktlinien eingesetzt wird. Es ermöglicht weiterhin, die *Leuchten* und *Kabelsätze* für Produktfamilie 1.1 in die Carryover-Umfänge zu integrieren. Die Anzahl der Bügelvarianten wird von 7 auf 1 reduziert, die Anzahl der Rückleuchtenvarianten links und rechts von 5 auf 4.
- B. Umwandlung der *Spannung* auf einheitliche 24V. Dies bewirkt im CoC, dass die Carryover-Lücken zwischen Produktlinie 1 zur Produktlinie 2 geschlossen wird und dabei die Anzahl der Varianten von *Warnleuchte*, *Rückleuchten links und rechts* und den *Kabelsätzen* jeweils halbiert wird.
- C. Reduzierung des *Kabelsatzes Rückleuchte* auf eine optionale Variante. Beide Rückleuchtenvarianten werden mithilfe eines Adapters mit dem gleichen Kabelsatz verbunden. Die Anzahl der Varianten des Kabelsatzes Rückleuchte wird dadurch im CoC von zwei auf eine reduziert.
- D. Überdimensionierung der *Rückleuchten* auf LED und der *Warnleuchten* auf standardmäßige Ausstattung und Zusammenfassung mit dem Bügel zu einem integralen Leuchtmodul. Dadurch werden vier Module im CoC zu einem größeren zusammengefasst und als solches kommunal über alle Produktfamilien verwendet.
- E. Zusammenfassung und Überdimensionierung beider *Kabelsätze Warnleuchte und Rückleuchten* zu einem Standard-Kabelsatz, der über alle Produktlinien

verwendet wird. Dies bedeutet im CoC, dass die Kabelsätze zu einem verbunden werden.

Mit diesen Maßnahmen können die in Bild 5-17 dargestellten Carryover-Lücken geschlossen werden. Da es Ziel ist, einen für den spezifischen Kontext möglichst bedarfsgerechten Grad an Kommunalität zu erreichen, werden unterschiedliche Konzepte entwickelt, die diese Maßnahmen in verschiedenen Kombinationen ermöglichen und so Konzeptalternativen mit unterschiedlichem Kommunalitätsgrad bieten.

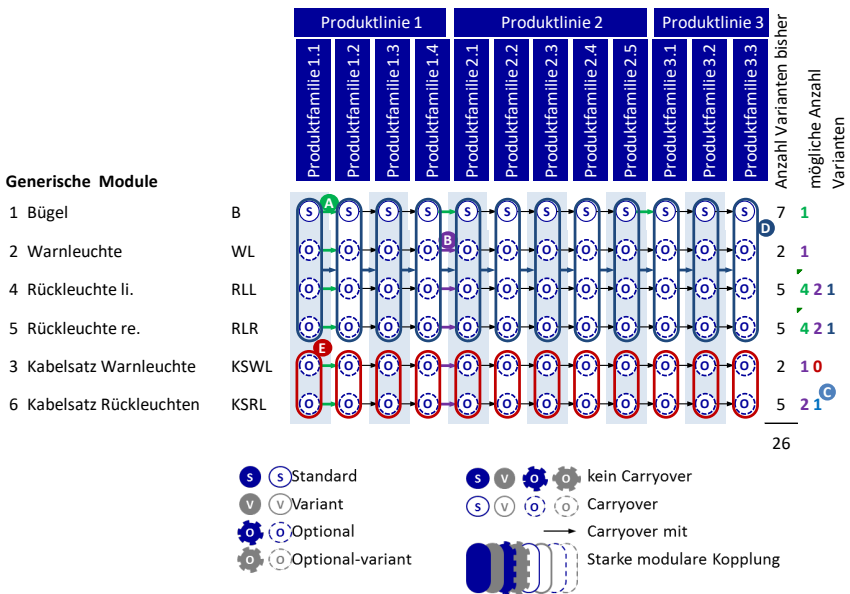


Bild 5-19: CoC mit möglichen konstruktiven Lösungen der variantengerechten Produktgestaltung

Die Konzeptalternativen werden im MIG visualisiert. Auch hier wird angegeben, welche konstruktiven Lösungen A-E berücksichtigt wurden (Bild 5-20). In Konzept 1 werden die Bügel kommunal verwendet und eine kommunale Gestaltung der Kabelsätze durch Adapter ermöglicht. Es wird durch einzelne einfache Änderungen eine erste Verbesserung erzielt. In Konzept 2 wird ein Standardkabelsatz bis zum standardisierten Bügel vorgesehen, so dass zwischen Fahrerschutzdach und Bügel eine kommunale Schnittstelle liegt und die Varianz nur durch verschiedene Leuchten auf dem Bügel ausgeprägt wird. Konzept 3 sieht vor, ein komplettes kommunales überdimensioniertes Leuchtmodul einzusetzen, das alle möglichen Funktionalitäten integriert, und ist somit das Konzept mit der größten Änderung verglichen zum Ist-Stand.

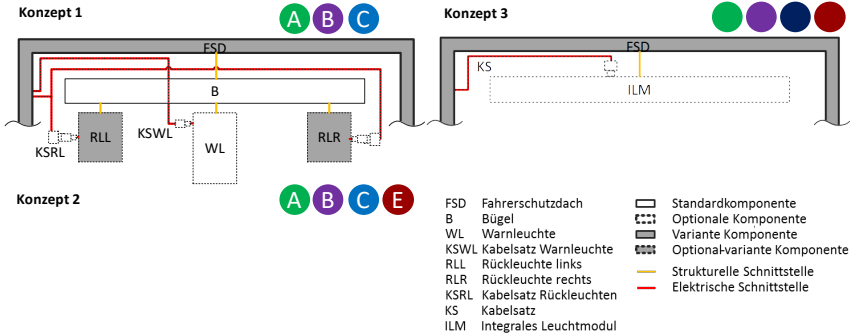


Bild 5-20: MIG mit variantengerechten Konzepten zur Erhöhung der Kommunalität [Eil13b]

Bewertet man die Konzepte nach den Kennzahlen des Integrierten PKT-Ansatzes, so ergeben sich die in Bild 5-21 dargestellten Verbesserungen.

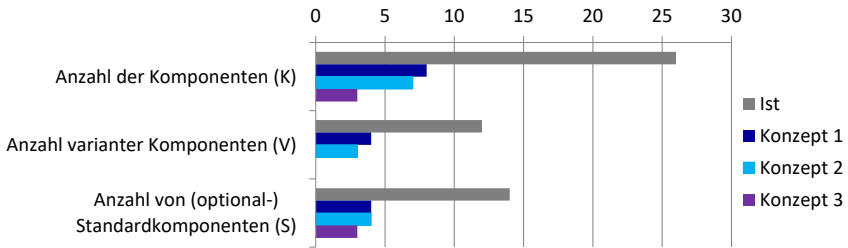


Bild 5-21: Kennzahlen der drei Konzepte im Vergleich

Alle drei Konzepte weisen weniger Komponenten insgesamt sowie weniger variante Komponenten und mehr Standardkomponenten beziehungsweise optionale Standardkomponenten auf. Welches im spezifischen Kontext den bedarfsgerechten Grad der Kommunalität darstellt, ist zu untersuchen. Bevor eine Konzeptauswahl getroffen wird, ist daher der Aufwand, den die Varianz in den Produktlebensphasen verursacht, zu betrachten und zu optimieren. Danach wird eine Bewertung anhand der relevanten Zugkräfte der Lebensphasen durchgeführt.

Lebensphasen-Modularisierung und -Kommunalität

Um den varianzinduzierten Aufwand in den Produktlebensphasen zu analysieren, wird das MPC nach BLEES genutzt und weiterentwickelt [Ble11] (Kapitel 3.1 und 4.2). Das MPC unterstützt es bisher nicht, den Einfluss der Variantenvielfalt in den Produktlebensphasen sichtbar zu analysieren. Um dies zu ermöglichen, wird das MPC um die Elemente

- Anwendung der in dieser Arbeit entwickelten, durchgängigen Symbolik für den integrierten PKT-Ansatz (Anhang B),
- Anzahl der Varianten als Zahl oben rechts für jedes Modul,
- Schattierung der Module nach Anzahl der Varianten und
- Zusammenfassung der Summe aller Module je Lebensphase und der wahrgenommenen Anzahl der Module erweitert.

Das MPC wird auf diese Weise ergänzt um Informationen zur Varianz und Kommunalität und wird in dieser modifizierten Form *Commonality Process Chart (CPC)* genannt. Das CPC ist anhand der Ist-Situation des Beispiels *Beleuchtung hinten* in Bild 5-22 aufgeführt. Die im Vergleich zum MPC neuen Elemente sind hellblau markiert.

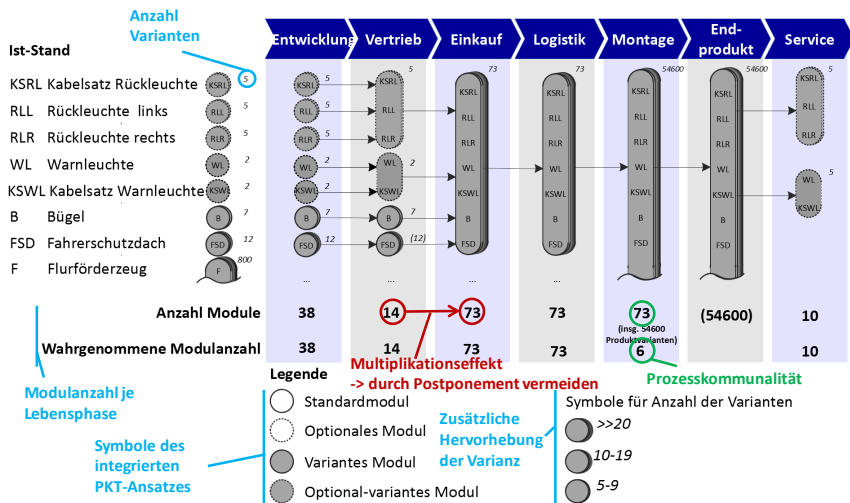


Bild 5-22: CPC am Beispiel der Beleuchtung hinten [Eil13b]

Unternehmensspezifisch werden die Produktlebensphasen aufgenommen, die die *Beleuchtung hinten* durchläuft. Es wird aufgeführt, in welcher modularen Struktur die Beleuchtung derzeit in den Produktlebensphasen gehandhabt wird (Bild 5-22). Modular verknüpft sind Komponenten in einer Produktlebensphase, wenn sie deren Prozessschritte gemeinsam durchlaufen, zum Beispiel im *Einkauf* in einem Vorgang bestellt werden, oder gar starke Kopplungen aufweisen, wie zum Beispiel Komponenten einer gleichen Schweißbaugruppe. Durch die Zahlen an den Modulen sowie ihre Schattierung wird dargestellt, in welcher Vielfalt die einzelnen Module vorliegen. Werden variante Module einer Lebensphase in der nächsten Lebensphase zu einem Modul zusammengefügt, so können Multiplikationseffekte entstehen. Die 38 Module der *Entwicklung* werden im

Vertrieb zu 14 Modulen zusammengefasst, da beispielsweise die *Warnleuchte* immer nur mit dem zugehörigen *Kabelsatz* vertrieben wird. Durch die Kombination variantenreicher Fahrerschutzdächer mit den Varianten der Beleuchtung entsteht im *Einkauf* eine Varianz, die nur noch durch sequentielle Logistikprozesse gehandhabt werden kann. Dadurch wird hoher Aufwand verursacht, und es entsteht eine hohe Anfälligkeit für Störungen im Prozess, zum Beispiel bei Lieferschwierigkeiten oder Mängeln. In der *Montage* werden die Fahrerschutzdach-Beleuchtungsmodule an das Gesamtprodukt Flurförderzeug montiert, das auch in hohen Variantenzahlen vorliegt. Da die Schnittstellen allerdings standardisiert sind und nur um die zu verknüpfenden Kabel variieren, ist die wahrgenommene Varianz in der Montage wesentlich geringer als in den vorhergegangenen Lebensphasen. Dies ist ein Beispiel für Prozesskommunalität trotz hoher Modulvarianz, die durch eine geringere Anzahl wahrgenommener Module als tatsächlich vorliegende Module aus dem CPC hervor geht. Die so entstandene Varianz an Flurförderzeugen führt zu individuellen Produktvarianten, die einem breiten Kundenspektrum angeboten werden. Die Servicemodule beschreiben Nachrüstooptionen, die der Kunde während der Nutzung vornehmen lassen kann. Beide Leuchtmitteloptionen des Vertriebs können auch durch den Service nachgerüstet werden.

Im Vergleich zum MPC zeigt das CPC zusätzlich, wie die Vielfalt sich über die Lebensphasen auswirkt (Bild 5-23). Es zeigt Multiplikationseffekte durch vorzeitige Modulbildung auf, indem die Variantenzahlen mit der Modulgröße zunehmen (Bild 5-22, rot), und die Prozesskommunalität durch eine niedrige wahrgenommene Modulanzahl (Bild 5-22, grün). Hier kann auch direkt Potenzial für neue Konzepte abgeleitet werden. Für die modulare Struktur der drei in der variantengerechten Produktgestaltung entwickelten kommunalen Konzepte ist es das Ziel, die frühe Variantenbildung durch Postponement (Kapitel 2.3) zu vermeiden. Durch Prozesskommunalität (Kapitel 2.3) ist die wahrgenommene Modulanzahl weiter zu reduzieren.

Module Process Chart (MPC) [Ble11] (siehe Bild 3-7)	Commonality Process Chart (CPC) (siehe Bild 5-24)
<ul style="list-style-type: none"> • Modulare Struktur in den Lebensphasen 	<ul style="list-style-type: none"> • Modulare Struktur in den Lebensphasen + Anzahl der einzelnen Modulvarianten + Anzahl der Module je Lebensphase + Wahrgenommene Anzahl der Module je Lebensphase Zusätzliche Visualisierung von <ul style="list-style-type: none"> ✓ Multiplikationseffekten und Potenzial für Postponement ✓ Prozesskommunalität

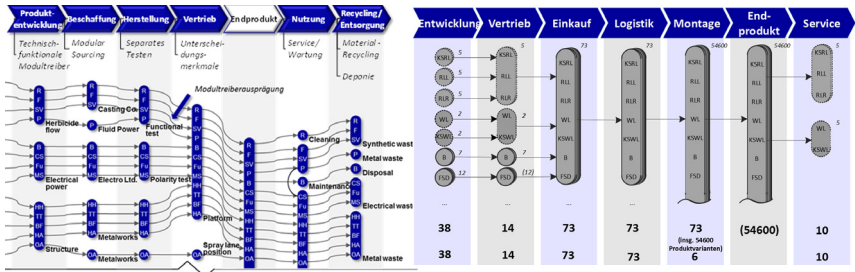


Bild 5-23: Zusätzliche Elemente des CPC (rechts) im Vergleich zum MPC (links)

Die resultierenden CPC für jedes Konzept sind in Bild 5-24 dargestellt. Postponement wird für die Konzepte 1 und 2 ermöglicht, indem eine *Vormontage* in den Prozess eingeführt wird, in der die Beleuchtung unabhängig vom Fahrerschutzdach montiert wird. Die Prozesskommunalität kann durch weitere Schnittstellenstandardisierung für die *Montage* weiter ausgebaut werden. Konzept 3 ermöglicht kommunale Prozesse durch ein standardisiertes *Integrales Leuchtmodul*.

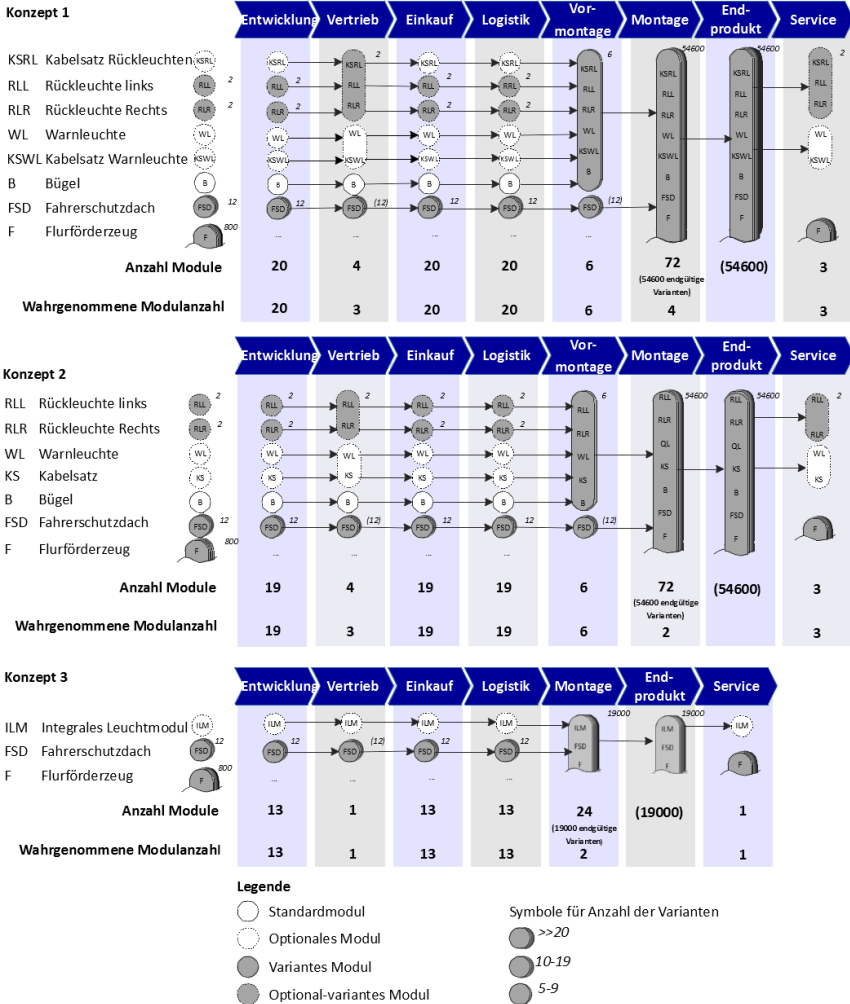


Bild 5-24: CPC der Konzepte 1-3 [Eil13b]

Bewertung bedarfsgerecht kommunaler Konzepte

Um sich für ein Modulkonzept entscheiden zu können, sind die Ergebnisse der Variantengerechten Produktgestaltung und der Lebensphasen-Betrachtung in ihrer Wirkung im Unternehmen zu bewerten. Dazu wird ein Vorgehen entwickelt, in dem die Wertigkeit der Konzepte aus Sicht der Lebensphasen vergleichend bewertet wird. Zusätzlich wird eine Breakeven-Analyse angewendet, um eine vergleichende monetäre Wertigkeit unter

Berücksichtigung von Komplexitätskosten zu erhalten. Beide Bewertungen zusammengeführt ermöglichen es trotz der frühen konzeptionellen Phase ein Konzept auszuwählen, das den für den Bedarf des spezifischen Unternehmens passenden Grad der Kommunalität ermöglicht.

Für die Evaluierung der Wertigkeit in den Produktlebensphasen ist zuerst ein spezifisches Zugkräftediagramm des betrachteten Moduls aus dem allgemeinen Zugkräftediagramm des Produktprogramms (Bild 5-13) abzuleiten, indem nur das betrachtete Modul betreffende Zugkräfte aufgeführt und gegebenenfalls spezifiziert werden (Bild 5-25).

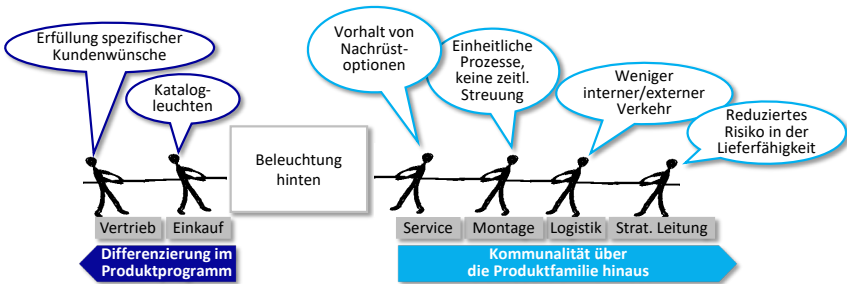


Bild 5-25: Modulspezifisches Zugkräftediagramm am Beispiel der Beleuchtung

Diese Zugkräfte sind unter *Lebensphase/Rolle* und *Ziel* in die in Tabelle 5-2 dargestellte Liste einzutragen. Sie sind mit bewertbaren Größen zu hinterlegen, wie zum Beispiel die *Anzahl in der Logistik zu handhabender Module* zur Bewertung des Verkehrsaufwandes, die dem CPC (Bild 5-24) entnommen werden. Strategische Faktoren, die keiner Produktlebensphase zugeordnet werden können, werden der Rolle *Strategische Leitung* zugeordnet.

Können keine quantitativen Bewertungsgrößen ermittelt werden, ist auf eine qualitative Bewertung der Stufung *große Vorteile*, *einzelne Vorteile*, *entspricht dem Ist-Stand*, *einzelne Nachteile* und *große Nachteile gegenüber dem Ist-Stand* zurückzugreifen. Um einen Vergleich zu ermöglichen, sind diese Bewertungen auf 100% zu normieren.

Tabelle 5-2: Vergleichende Bewertung der Wertigkeit der Konzepte in den Produktlebensphasen

Wertigkeit in den Produktlebensphasen			Absolut				Vergleichend (mit Ist-Stand=100%)			
Lebensphase/ Rolle	Ziel	Bewertbare Größe	Ist-Stand	Konzept 1	Konzept 2	Konzept 3	Ist-Stand	Konzept 1	Konzept 2	Konzept 3
Vertrieb	Erfüllung spezifischer Kundenwünsche	Durchschnittliche Anzahl an angebotenen Leuchtenvarianten je Produktfamilie	5,7	6	6	2	100%	105%	105%	35%
Einkauf	Zukaufteile aus dem Katalog	Quantitative Bewertung der Möglichkeit preisgünstige Katalogteile zu beziehen statt kostenintensive eigens spezifizierte Zukaufteile	Ist-Stand	entspricht Ist-Stand	einzelne Nachteile ggü. dem Ist-Stand	große Nachteile ggü. Ist-Stand	100%	100%	70%	30%
Service	Vorhalt von Nachrüstooptionen	Anzahl nachzurüstender Kabelsätze	3	2	3	1	100%	133%	100%	167%
Montage	Einheitliche Prozesse, keine zeitl. Streuung	Anzahl optionaler Montageumfänge in der Montage	5	0	0	1	100%	200%	200%	180%
Logistik	Weniger interner/externer Verkehr	Geringe Anzahl zu handhabender Module	73	20	19	13	100%	173%	174%	182%
Strat. Leitung	Reduziertes Risiko in der Lieferfähigkeit	Quantitativer Bewertung der Möglichkeit, alle Modulvarianten im eigenen Werk vorzuhalten	Ist-Stand	große Vorteile ggü. Ist-Stand	große Vorteile ggü. Ist-Stand	große Vorteile ggü. Ist-Stand	100%	170%	170%	170%

Dazu wird der Ist-Stand auf 100% gesetzt und je nachdem, ob niedrigere Bewertungen eine Verbesserung oder Verschlechterung bedeuten, folgende Formeln angesetzt:

$$\text{Vergleichswert}_{\text{Konzept}} = 100\% \pm 100\% \mp \text{Vergleichswert}_{\text{Konzept}} \cdot \frac{100\%}{\text{Vergleichswert}_{\text{Ist}}} \quad (11)$$

Für $\text{Vergleichswert}_{\text{Ist}} = 0$ gilt:

$$\text{Vergleichswert}_{\text{Konzept}} = 100\% \mp \text{Vergleichswert}_{\text{Konzept}} \cdot \frac{100\%}{\text{Vergleichswert}_{\text{Max}}} \quad (12)$$

wobei $\text{Vergleichswert}_{\text{Max}}$ den höchsten Wert beschreibt, der eingenommen werden kann. Für die Integration in eine Berechnungstabelle wird für die Vergleichswerte die Skala

- große Vorteile gegenüber dem Ist-Stand 170%
- einzelne Vorteile gegenüber dem Ist-Stand 130%
- keine Vorteile gegenüber dem Ist-Stand 100%

- einzelne Nachteile gegenüber dem Ist-Stand 70%
- große Nachteile gegenüber dem Ist-Stand 30%

empfohlen.

Die so erstellten, vergleichbaren Bewertungen können nun visualisiert werden (Bild 5-26). Konzept 1 weist für alle Lebensphasen gleiche oder bessere Bewertungen auf. Konzept 2 zeigt eine geringere Wertigkeit als Konzept 1 in der Lebensphase *Einkauf*. Die anderen Lebensphasen werden gleich bewertet. Gegenüber Konzept 1 und 2 zeigt Konzept 3 Nachteile in der *Logistik* und in der *Montage*. In *Einkauf* und *Vertrieb* entstehen Nachteile auch verglichen mit dem Ist-Stand. Dafür können Vorteile für den *Service* erzielt werden.

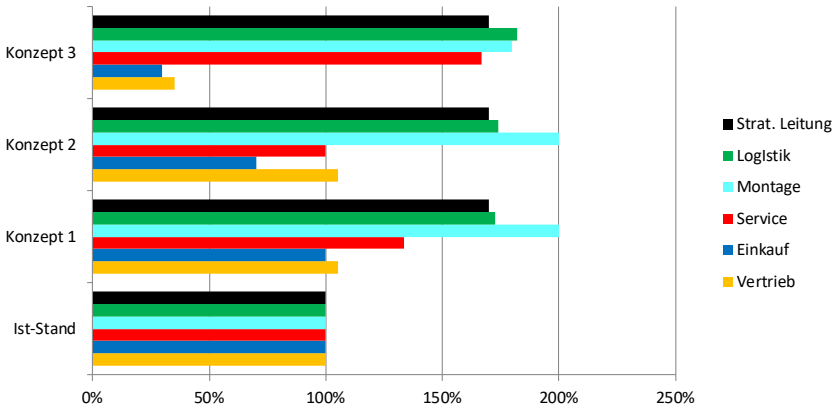


Bild 5-26: Lebensphasen-Wertigkeitsanalyse der Konzepte für die Beleuchtung hinten

Das entwickelte Vorgehen zur Bewertung bietet zwar eine Vergleichbarkeit der Konzepte untereinander, macht aber keine Angaben darüber, wie groß die zu erwartenden Vorteile monetär sind. Für die zu erwartenden Kosten wird ein vereinfachtes Modell angenommen, in dem die *Gesamtkosten (GK)* in *Herstellkosten (HK)* und *Komplexitätskosten (KK)* unterteilt werden. Komplexitätskosten fassen alle zusätzlichen, nicht wertschöpfenden Kosten zusammen, die dadurch entstehen, dass viele Produktvarianten auf dem Markt angeboten werden. Die Herstellkosten werden mit Experten auf Basis vorliegender Daten aktueller Module geschätzt. Für die Komplexitätskosten liegen in vielen Unternehmen wenige Daten zu deren Bestimmung vor. Deshalb wird eine neue Darstellung zur Bewertung von Konzepten entwickelt, die eine Konzeptauswahl unter Berücksichtigung der Komplexitätskosten, die je gehandhabter Sachnummer entstehen, ermöglicht.

Für die Durchführung der Breakeven-Analyse werden die Herstellkosten aller Konzepte abgeschätzt und für die angenommene jährliche Stückzahlverteilung aufgetragen. Mit diesen jeweiligen Startpunkten wird für den Ist-Stand sowie für die neuen Konzepte je eine Gerade erzeugt, die dadurch entsteht, dass ein ganzes Spektrum an Werten für die jährlichen sachnummerninduzierten Komplexitätskosten pro Sachnummer angenommen wird. Sachnummerninduzierte Komplexitätskosten sind alle Kosten, die nicht durch die Handhabung von Mengen entstehen, sondern durch die Handhabung unterschiedlicher Sachnummern. Diese müssen zum Beispiel im PDM-System gepflegt werden, durch die Qualität freigegeben oder im Lager vorgehalten werden. So entstehen Kosten, die nicht primär mit einer Stückzahl, sondern mit der Sachnummer zusammenhängen und so mit der Anzahl von Komponentenvarianten steigen.

Die Geradengleichung lautet

$$f(x) = HK + n \cdot x \quad (13)$$

HK Jährliche Herstellkosten

n Anzahl Sachnummern

x Durchschnittlich jährlich je Sachnummer induzierte Komplexitätskosten in €

Für die Breakeven-Analyse wird die Anzahl der Sachnummern der Bewertung der Varianzkennzahl *Anzahl der Komponenten* aus der variantengerechten Produktgestaltung entnommen (Bild 5-21). Das Ergebnis der Breakeven-Analyse ist am Beispiel der *Beleuchtung hinten* in Bild 5-27 dargestellt. Am linken Schnittpunkt der vertikalen Achse sind die Herstellkosten aller Konzepte aufgetragen. Konzept 1 weist leicht höhere Herstellkosten als der Ist-Stand auf, die Konzepte 2 und 3 werden mit eindeutig höheren Herstellkosten bewertet. Nimmt man auf der horizontalen Achse einen durchschnittlichen Wert an Kosten an, die eine Sachnummer im Jahr verursacht, so kann man an diesem Wert ablesen, wie die Gesamtkosten der Konzepte abzuschätzen sind. Am in Bild 5-27 dargestellten Beispiel der *Beleuchtung hinten* wird angenommen, dass die jährlichen sachnummerninduzierten Komplexitätskosten pro Sachnummer im Durchschnitt zwischen € 2.000-€ 3.000 liegen. In diesem Intervall ist Konzept 1 das kostengünstigste gefolgt von Konzept 2. Konzept 3 ist in diesem Intervall teurer als der Ist-Stand. Konzept 1 ist das günstigste Konzept sobald mehr als € 500 sachnummerninduzierte Komplexitätskosten pro Sachnummer angenommen werden.

Bevor Konzept 1 ausgewählt wird, ist das Ergebnis der Breakeven-Analyse mit dem Ergebnis der Lebensphasen-Wertigkeit (Bild 5-26) zu überprüfen. Hier ist zu untersuchen,

inwieweit die Wertigkeit für die Lebensphasen die Wahl eines teurer abgeschätzten Konzepts rechtfertigt. Da Konzept 2 für keine Produktlebensphase Vorteile gegenüber Konzept 1 aufweist, ist dies nicht der Fall. Konzept 3 hat große Vorteile im Service und große Nachteile in Einkauf und Vertrieb. Diese Nachteile sowie die höheren Kosten von ca. €50.000 jährlich im gewählten Bereich können den Vorteil der besseren Nachrüstbarkeit im Service in diesem Fall nicht aufwiegen, so dass Konzept 1 auszuwählen ist.

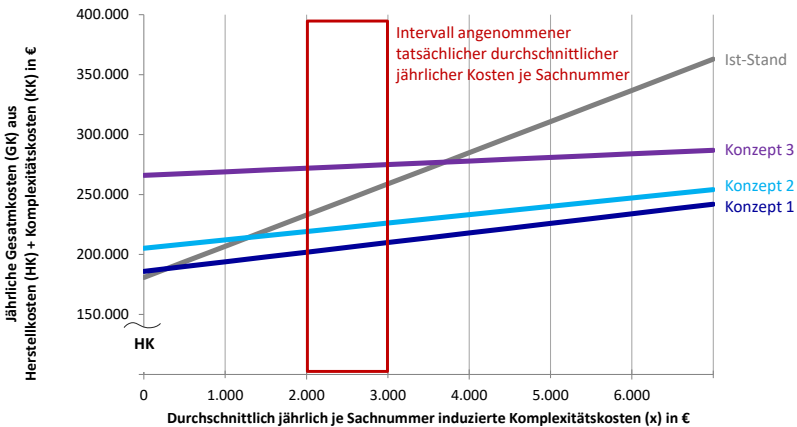


Bild 5-27: Breakeven-Analyse für die Beleuchtung hinten [Eil13a]

Diese Bewertung mit Lebensphasen-Wertigkeit und Breakeven-Analyse ist ein wichtiger Schritt, um die Kommunalität nur so weit auszuprägen, wie es für den spezifischen Kontext die erwünschten Vorteile bringt. Konzept 3 weist mit geringen Modulanzahlen im CPC (Bild 5-24) die höchste Kommunalität auf. Durch die Lebensphasen-Wertigkeit wird deutlich, dass dies allerdings nur Vorteile im Service bringt. Die Breakeven-Analyse macht deutlich, dass die hohe Kommunalität hohe Herstellkosten, die aus der Überdimensionierung resultieren, mit sich bringt. Zu erwartende Einsparungen in den Komplexitätskosten können dies nicht hinreichend kompensieren.

Rückführung der Ergebnisse in das CoC

Die Ergebnisse der Entwicklung eines kommunalen Modulkonzepts am Beispiel der Beleuchtung hinten sind in Bild 5-28 dargestellt. In Konzept 1 wurden Carryover-Lücken vollständig geschlossen (grüne Pfeile). Berechnet man die Kennzahl CS für das Modul, so erhält man entsprechend:

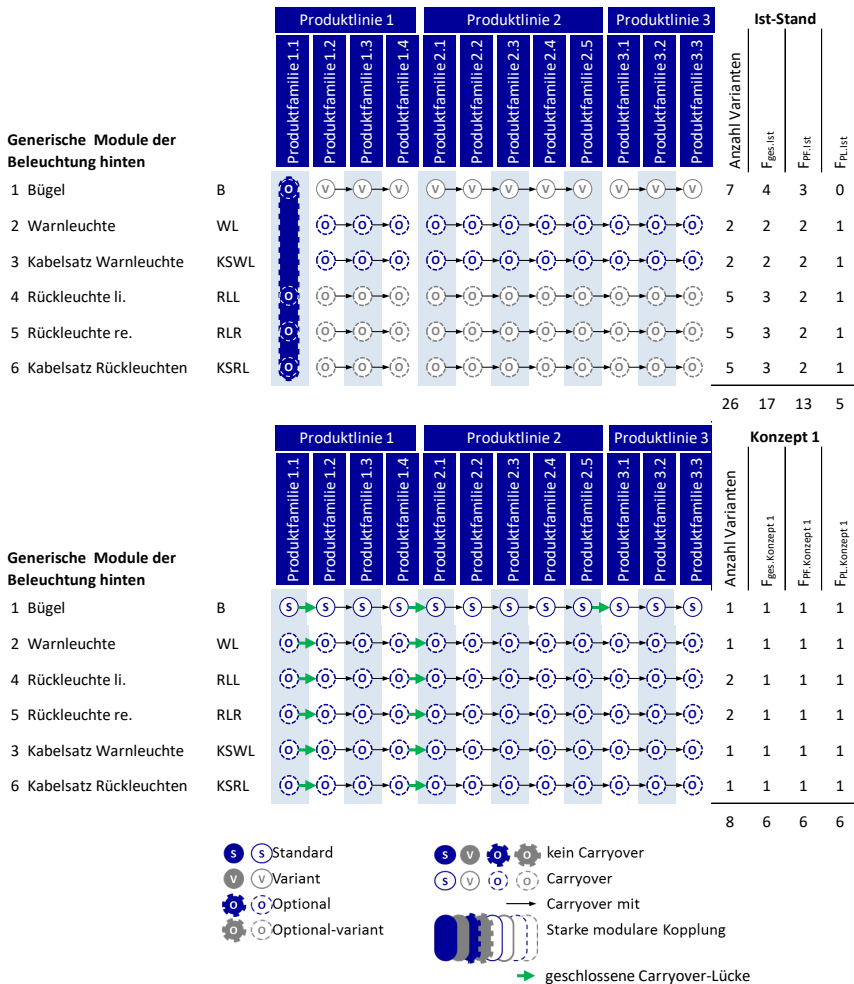
$$CS_{PF,Ist} = \frac{F_{PF,Ist}}{F_{ges,Ist}} [\cdot 100\%] = \frac{13}{27} [\cdot 100\%] = 76\% \quad (14)$$

$$CS_{PL,Ist} = \frac{F_{PL,Ist}}{F_{ges,Ist}} [\cdot 100\%] = \frac{1}{100} [\cdot 100\%] = 29\% \quad (15)$$

$$CS_{PF,Konzept1} = \frac{F_{PF,Konzept1}}{F_{ges,Konzept1}} [\cdot 100\%] = \frac{13}{27} [\cdot 100\%] = 100\% \quad (16)$$

$$CS_{PL,Konzept1} = \frac{F_{PL,Konzept1}}{F_{ges,Konzept1}} [\cdot 100\%] = \frac{1}{100} [\cdot 100\%] = 100\% \quad (17)$$

$$COD = \left[1 - \frac{F_{gesamt,Konzept1}}{F_{gesamt,Ist}}\right] \cdot 100\% = \left[1 - \frac{6}{17}\right] \cdot 100\% = 65\% \quad (18)$$



Ordnet man die Ergebnisse ins CoC des gesamten Produktprogramms ein, so ist die Beleuchtung hinten als eigenständiges Modul abzubilden, das im Rahmen der Konzepterstellung aus dem übergeordneten Modul des FSD herausgelöst ist (Bild 5-29). Außerdem ist es ein Carryover-Modul über alle Produktfamilien und -linien. Dadurch entstehen verbesserte Kennzahlen, die in die Berechnung von CS und CD für das Produktprogramm eingehen.

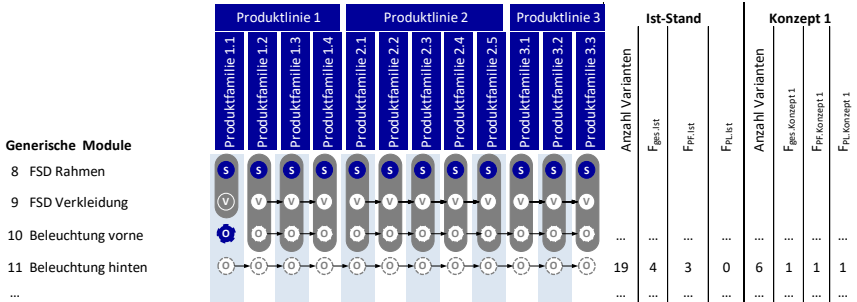


Bild 5-29: Ausschnitt des CoC des Produktprogramms mit neuem Konzept der Beleuchtung hinten

5.6 Einordnung der entwickelten Visualisierungen in das methodische Vorgehen

Das beschriebene methodische Vorgehen ist in Bild 5-30 zusammenfassend dargestellt. Zur Unterstützung des Vorgehens werden sowohl bestehende Methoden des Integrierten PKT-Ansatzes (dunkelblau) als auch im Rahmen dieser Arbeit neu entwickelte Darstellungen (hellblau) verwendet.

Das im CoC visualisierte Produktprogramm wird anhand des invertierten Vielfaltsbaums auf Carryover-Potenzial analysiert. Dieses Potenzial wird ins CoC eingetragen und durch die Kennzahlen CS [Jon13] und COP bewertet. CS gibt an, inwiefern das Carryover-Potenzial des Produktprogramms produktfamilienübergreifend ist. Diese Kennzahl wird in Phase 3 hinzugezogen, um im Spektrum zwischen produktfamilienorientierter Plattform und gleichteileorientiertem Baukasten eine dem Potenzial entsprechende Produktstrukturstrategie zu entwickeln. Diese Entwicklung wird durch das PSC und das Zugkräftediagramm unterstützt, das hilft, Expertenwissen über die spezifischen Bedarfe nach Kommunalität und Differenzierung zu externalisieren. Zur Umsetzung der gewählten Strategie sind die in Phase 2 identifizierten Carryover-Kandidaten zu kommunalen Modulen umzugestalten. Diese sollen eine höhere Verwendung zwischen den Produktfamilien, gemeinsame Verwendung gleicher Komponenten für unterschiedliche Modulvarianten und Kommunalität in den Produktlebensphasen ermöglichen. Im ersten Schritt dieser Phase 4 zur Entwicklung kommunaler Modulkonzepte werden die bestehenden Visuali-

sierungen des Integrierten PKT-Ansatzes Vielfaltsbaum und MIG zur Ist-Analyse verwendet und um das CoC ergänzt. Auch in der Variantengerechten Produktgestaltung wird das CoC verwendet und zusammen mit dem VAM genutzt, um Konzepte zu entwickeln, die die Kommunalität erhöhen. Alternativen der neu entwickelten Konzepte werden in Schritt 3 im CPC dargestellt und bezüglich ihrer Wirkung für Postponement und Prozesskommunalität optimiert.

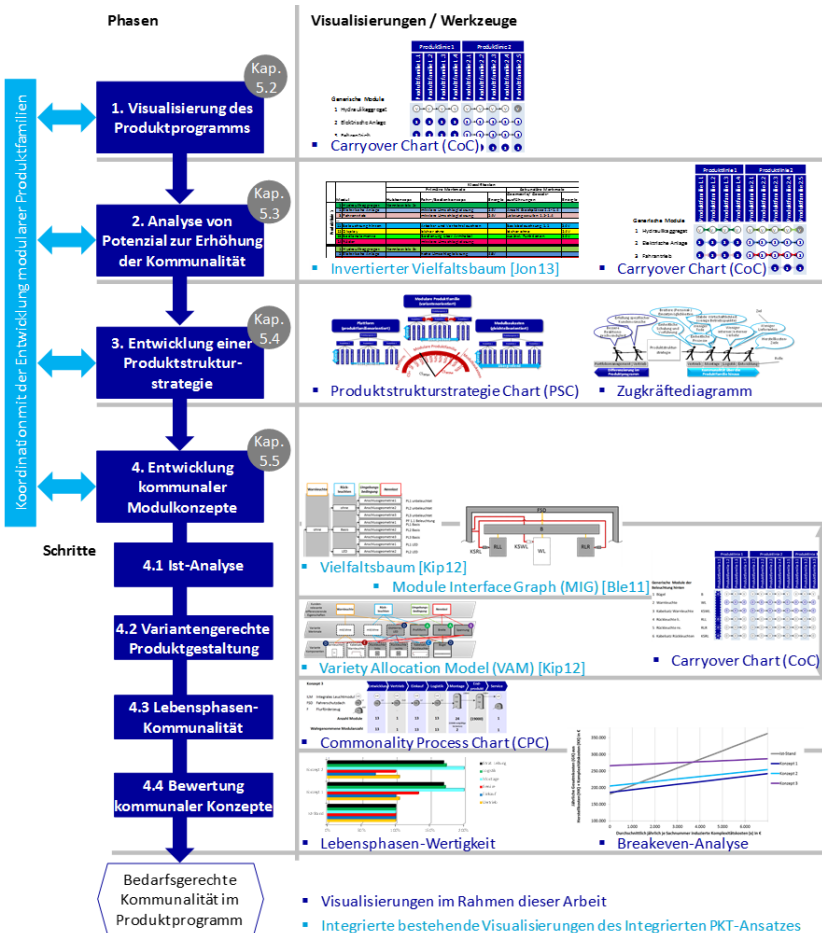


Bild 5-30: Methodisches Vorgehen und Visualisierungen für die Entwicklung kommunaler Produktprogramme

Die Bewertungsschritte Lebensphasen-Kommunalität und Breakeven-Analyse ermöglichen es in Schritt 4, das Konzept auszuwählen, das die Ziele der Kommunalität in den

Produktlebensphasen und die Kostenziele bezüglich der Herstell- und Komplexitätskosten am besten erfüllt. Die Durchführung dieser vier Phasen führt auf das bedarfsgerechte Maß an Kommunalität im Produktprogramm.

6 Validierung an einem Fallbeispiel

Im Rahmen der Validierung ist nachzuweisen, dass die entwickelte methodische Unterstützung für ihren Einsatzzweck geeignet ist. Dazu gehört, dass sie ihrer Zielsetzung entspricht und in ihrem angestrebten Anwendungsbereich anwendbar ist. BLESSING UND CHAKRABARTI empfehlen hierfür eine initiale Evaluierung, bei der die Methode durch die Person, die sie entwickelt hat, auf eine realitätsnahe Situation angewendet wird [Ble09].

Diese realitätsnahe Situation ist durch eine Fallstudie bei einem Hersteller für Flurförderzeuge gegeben. Im Folgenden wird beschrieben, wie anhand dieser Fallstudie die Validierung der Methode durchgeführt wird. Danach werden die einzelnen Teilschritte der Methode anhand des Beispiels durchgeführt. Im Anschluss werden die Ergebnisse ausgewertet.

6.1 Planung der Validierung

Im Validierungsplan werden Ziele, Faktoren und messbare Kriterien formuliert sowie die Durchführung der Fallstudie erläutert.

Ziele, Faktoren und messbare Kriterien

Zielsetzung dieser Validierung ist es, anhand des Fallbeispiels zu zeigen, dass die Methode im Rahmen ihres Anwendungsgebiets zielführend ist. Dazu schlagen BLESSING UND CHAKRABARTI vor, die Zielsetzung der Methode durch Erfolgsfaktoren und Schlüsselfaktoren zu beschreiben [Ble09].

Erfolgskriterien beschreiben das übergeordnete Ziel und geben an, welche Situation die Methode letztendlich verbessern soll. Um die Erfüllung von Erfolgskriterien bewerten zu können, müssen Erfolgsfaktoren und ihre Werte bestimmt werden. Da nicht immer ausreichend Daten zur Bestimmung der Werte aller Erfolgsfaktoren vorliegen, wird unterschieden in messbare und nicht messbare Erfolgsfaktoren. Für die Entwicklung kommunaler Produktprogramme ist das Erfolgskriterium, dass ein variantenreiches Produktprogramm zu marktfähigen Gesamtkosten angeboten werden kann, wie im Impact Model

dargestellt (Bild 6-1). Da diese Gesamtkosten im Rahmen der Fallstudie nicht erfasst werden können, sind andere im Rahmen der Fallstudie ermittelbare Faktoren heranzuziehen, die die Gesamtkosten direkt beeinflussen. Diese messbaren Erfolgsfaktoren sind Herstellkosten, Komplexitätskosten, Kommunalität und die Produktvarianten.

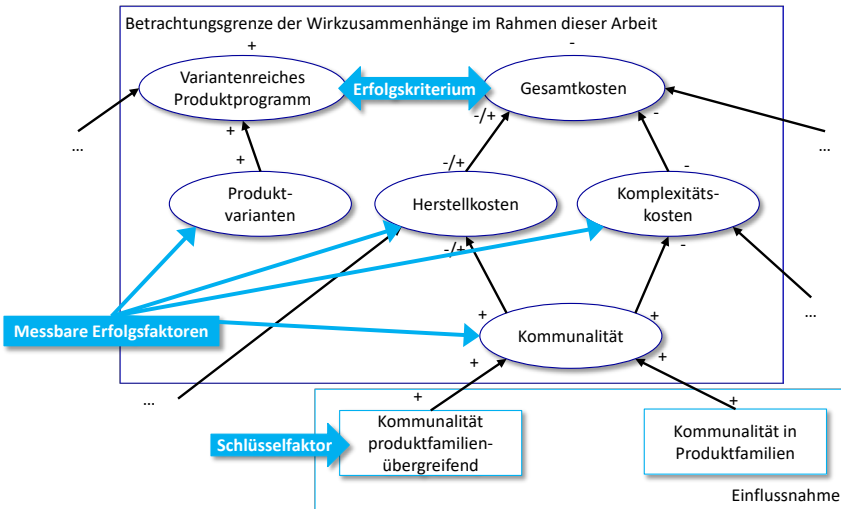


Bild 6-1: Impact Model

Schlüsselfaktoren beschreiben, welche Faktoren zweckmäßiger Weise zu verändern sind, um zu der angestrebten Erfüllung der Erfolgsfaktoren zu gelangen, und stellen so die „Stellschrauben“ dar, mit denen die Methode zum Erfolg führen soll. Als Schlüsselfaktor für diese Methode gilt die Erhöhung produktfamilienübergreifender Kommunalität, was durch bestehende Methoden bisher nicht ausreichend unterstützt wird.

Der Zusammenhang dieser Faktoren wird im Impact Model durch Pfeile dargestellt. Die Zeichen + und – symbolisieren das Ansteigen oder Sinken der Werte der Faktoren. Dadurch wird beispielsweise dargestellt, dass eine Erhöhung der Kommunalität sinkende Komplexitätskosten zur Folge hat. Bei den Herstellkosten kann erhöhte Kommunalität sowohl zu deren Senkung als auch zu deren Erhöhung beitragen. Daher ist es besonders wichtig, die Herstellkosten als messbaren Erfolgsfaktor mit einzubeziehen.

Zur Validierung der Methode ist entsprechend dem Impact Model zuerst zu ermitteln, ob die Methode den gewünschten Einfluss auf den Schlüsselfaktor hat, das heißt, ob durch die Methoden Anwendung die produktfamilienübergreifende Kommunalität erhöht wird. Ein Maß dafür ist die Kennzahl CS. Es ist zuerst zu ermitteln, ob durch die Potenzialanalyse CS erhöht werden kann. Da das allerdings nur eine Potenzialanalyse darstellt, ist während der Entwicklung kommunaler Module weiterhin zu prüfen, ob an

einzelnen Carryover-Kandidaten entsprechendes Potenzial tatsächlich umgesetzt werden konnte.

In einem nächsten Schritt ist zu ermitteln, inwieweit die Anwendung der Methode dazu führt, dass tatsächlich bei gleichbleibender externer Vielfalt eine Kostenreduktion stattfindet. Dazu wird die angebotene Anzahl an Varianten aufgenommen sowie die für die Konzepte zu erwartenden Herstellkosten. Der Verlauf der Komplexitätskosten wird durch die Lebensphasen-Wertigkeitsanalyse und die Breakeven-Analyse ermittelt. Die Kommunalität wird während der Potenzialanalyse durch die Kennzahl CD bewertet. In der konkreten Modulentwicklung wird sie durch die in Bild 5-21 dargestellten Varianzkennzahlen bewertet. Zusammenfassend sind folgende Hypothesen mit den messbaren Kriterien zu validieren.

Hypothese 1: Die Methodenanwendung führt zu einer erhöhten Kommunalität.

$$CD_{Ist} < CD_{Pot.}, K_{Ist} > K_{Konzept.final.}, V_{Ist} > V_{Konzept.final.} \text{ und } S_{Ist} < S_{Konzept.final.}$$

CD Carryover Delta

K Anzahl Komponenten insgesamt

V Anzahl varianter Komponenten

S Anzahl von Standardkomponenten

Hypothese 2: Die Methodenanwendung führt zu einer erhöhten produktfamilienübergreifenden Kommunalität.

$$CS_{Ist} < CS_{Pot.} \text{ und } CS_{Ist} < CS_{Konzept.final.}$$

CS Carryover Crossing Share

Hypothese 3: Die Methodenanwendung führt in Summe zu einer Reduktion von Herstell- und Komplexitätskosten:

$$(HK_{Konzept.final.} + KK_{Konzept.final.}) - (HK_{Ist} + KK_{Ist}) < 0$$

HK Herstellkosten

KK Komplexitätskosten

Hypothese 4: Die Methodenanwendung führt zu einer gleichbleibenden externen Vielfalt:

$$\text{Anzahl Varianten}_{Ist} = \text{Anzahl Varianten}_{Konzept.final.}$$

Durchführung, Datenerhebung und Teilnehmer

Die Validierung wird im Rahmen eines Projekts der Auftragsforschung durchgeführt. Die Datenerhebung erfolgte durch die Analyse vorliegender Daten aus dem PDM-System vor Ort sowie der Befragung der Teilnehmer in Workshops und Einzelgesprächen. In den Fällen, in denen nicht vorliegende Daten durch überschlägige Hochrechnung der vorliegenden Daten angenommen werden mussten, wurde die Bestätigung zuständiger Experten eingeholt. Aus Gründen der Geheimhaltung werden einige Daten angepasst wiedergegeben.

Teilgenommen an der Fallstudie haben Entwicklungsleiter, Experten aus Entwicklung, Produktmanagement, Logistik, Produktion, Qualität, Service und Einkauf aus den Flurförderzeuglinien sowie eine unternehmensseitige Projektmitarbeiterin und studentische Mitarbeiter.

Im Folgenden werden das Fallbeispiel vorgestellt und die Methodenschritte am Fallbeispiel durchgeführt sowie die nötigen Kennzahlen zur Prüfung der Hypothesen ermittelt.

Vorstellung des Fallbeispiels

Im Fallbeispiel werden die Daten von zwei Flurförderzeuglinien unterschiedlicher Einsatzzwecke betrachtet. Die Flurförderzeuglinien sind in Produktfamilien unterteilt. Ziel des Fallbeispiels ist es, übergreifendes Potenzial nicht nur über die Grenzen einzelner Produktfamilien, sondern auch der Produktlinien hinaus zu finden, um so Kommunalität im gesamten Produktprogramm zu erhöhen. Der hierarchische Aufbau des betrachteten Produktprogramms ist in Bild 6-2 dargestellt.

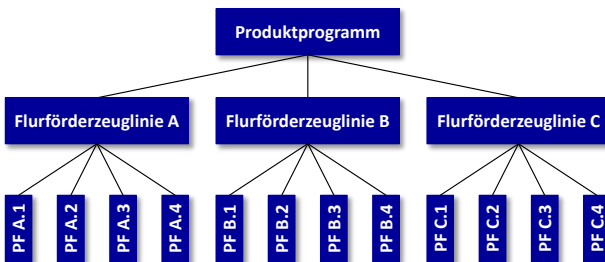


Bild 6-2: Betrachtetes Produktprogramm von Flurförderzeugen

6.2 Durchführung der Validierung

Visualisierung des Produktprogramms

Zur Visualisierung des Produktprogramms werden die Produktlinien und Produktfamilien im CoC dargestellt (Bild 6-3). Hierzu werden generische Module definiert, aus denen

jede der betrachteten Flurförderzeugvarianten konfiguriert werden kann. Den großen baulichen Unterschied der Produktlinie A zu den Produktlinien B und C erkennt man daran, dass viele Module in der Form gar nicht in der jeweils anderen Produktlinie vorkommen, so dass dort Zeilen leer bleiben. Auch in der bestehenden modularen Struktur sind Unterschiede zu erkennen. Während die Batterieabdeckung in der Flurförderzeuglinie A eine starke strukturelle Verknüpfung mit dem Fahrerschutzdach-Stahlrahmen aufweist, ist bei den Produktfamilien der Produktlinie B und zwei Produktfamilien der Produktlinie C die Batterieabdeckung strukturell stark mit dem Lastrahmen verbunden. Die zwei verbleibenden Produktfamilien der Produktlinie C haben eine Batterieabdeckung, die mit dem Grundrahmen verbunden ist.

Analyse von Potenzial zur Erhöhung der Kommunalität

In der Analyse des Carryover-Potenzials werden die Merkmale, die zur Differenzierung von Modulen führen, im Invertierten Vielfaltsbaum untersucht. Stimmen diese für unterschiedliche Modulvarianten überein oder können durch leichte Überdimensionierung überein gebracht werden, so gelten die betreffenden Modulvarianten als Kandidaten für eine gemeinsame Modulentwicklung. Die auf diese Weise neu ermittelten Carryover-Kandidaten werden mit entsprechenden Farbcodes markiert.

Am Beispiel des Grundrahmens ist das in Tabelle 6-1 dargestellt. Die primären Merkmale werden hier durch die Hubkonzepte sowie die Fahr- und Bedienkonzepte maßgeblich vorgegeben, da der Grundrahmen das Flurförderzeug in seiner Geometrie maßgeblich gestaltet. So unterscheiden sich Grundrahmen darin, dass sie darauf ausgelegt sind, für kurze Strecken keinen mitfahrenden Fahrer zu haben (*Kurzstrecke laufend*), bei mittleren Strecken die Möglichkeit zum Mitfahren zu bieten (*Mittel- bis Kurzstrecke laufend/ stehend*) oder einem dauerhaft mitfahrenden Fahrer einen Sitzplatz zu bieten. Sitzende Mitfahrt erlauben die Flurförderzeuge der Produktlinie A (Produktfamilien A.1 bis A.4). Hier ist eine Differenzierung weiterhin notwendig, da zusätzlich besonders robuste, breite Flurförderzeuge (Produktfamilie A.4) und besonders schmale, wendige Flurförderzeuge (Produktfamilie A.1) angeboten werden sollen, was durch die Geometrie des Grundrahmens ermöglicht wird. Im Bereich der Produktlinien B und C führt zusätzlich das Hubkonzept zu einer weiteren Differenzierung, da bei Hochhubfahrzeugen die Radarme am Grundrahmen angeschlossen sind, während sie bei Niederhub und Doppelstockfahrzeugen gleichzeitig zur Lastaufnahme dienen und am Lastrahmen befestigt sind. Die auf diese Weise ermittelten Carryover-Kandidaten werden entsprechend in das CoC des Produktprogramms eingetragen, wie es für den Grundrahmen in Zeile 11 in Bild 6-4 dargestellt ist.

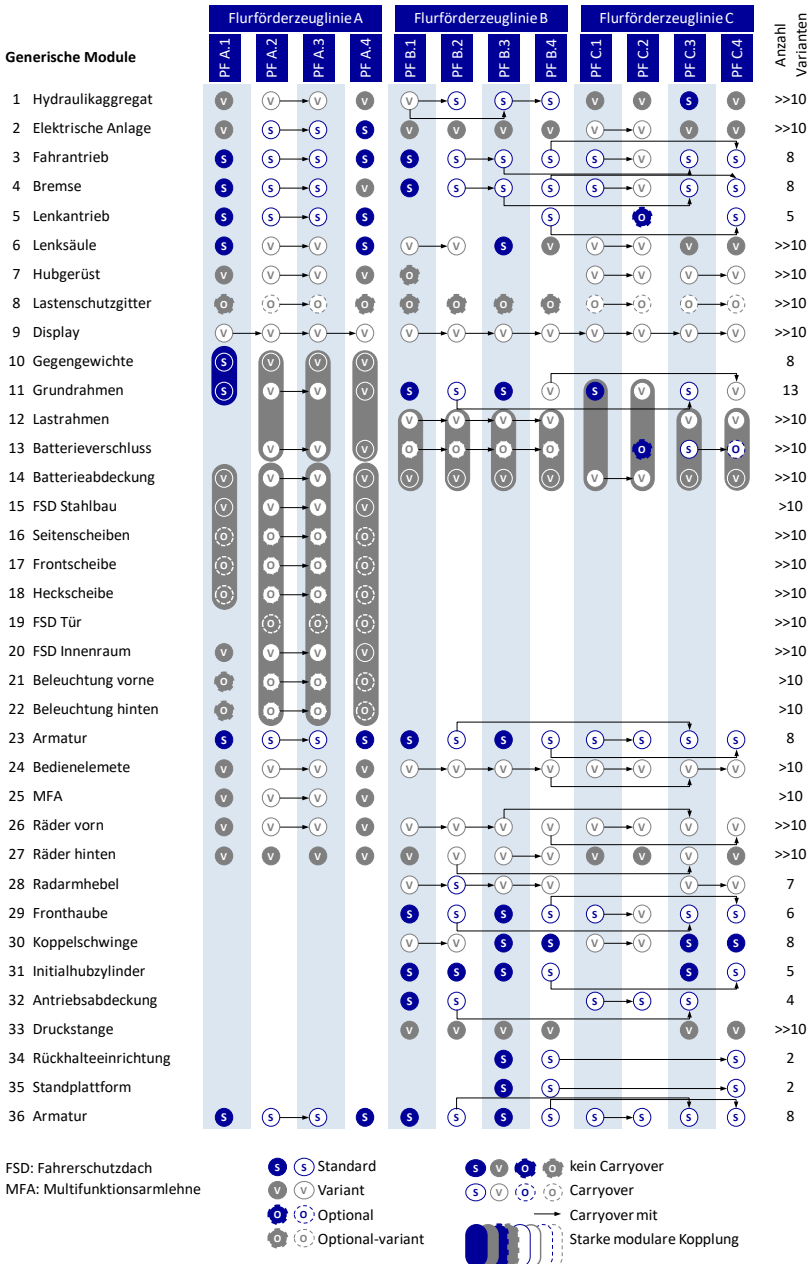


Bild 6-3: CoC des Flurförderzeugprogramms

Tabelle 6-1: Farbcodes für Carryover-Kandidaten am Beispiel des Grundrahmens

		Klassifikation		
		Primäre Merkmale		
Produktfamilie	Modul	Hubkonzept	Fahr-/Bedienkonzept	...
Produktfamilie A.1	11 Grundrahmen	Hochhub	Mittlere Umschlagleistung sitzend, schmal	
Produktfamilie A.2	11 Grundrahmen	Hochhub	Hohe Umschlagleistung sitzend	
Produktfamilie A.3	11 Grundrahmen	Hochhub	Hohe Umschlagleistung sitzend	
Produktfamilie A.4	11 Grundrahmen	Hochhub	Hohe Umschlagleistung sitzend, robust	
Produktfamilie B.1	11 Grundrahmen	Niederhub	Kurzstrecke laufend	
Produktfamilie B.2	11 Grundrahmen	Niederhub	Kurzstrecke laufend	
Produktfamilie B.3	11 Grundrahmen	Niederhub	Mittel- bis Langstrecke laufend/stehend	
Produktfamilie B.4	11 Grundrahmen	Niederhub	Mittel- bis Langstrecke laufend/stehend	
Produktfamilie C.1	11 Grundrahmen	Hochhub	Kurzstrecke laufend	
Produktfamilie C.2	11 Grundrahmen	Hochhub	Kurzstrecke laufend	
Produktfamilie C.3	11 Grundrahmen	Doppelstock	Kurzstrecke laufend	
Produktfamilie C.4	11 Grundrahmen	Doppelstock	Mittel- bis Langstrecke laufend/stehend	

Eine Zusammenfassung der auf die gemeinsamen Farbcodes führenden gemeinsamen primären Merkmale ist im Anhang C aufgeführt. Dort sind alle Übereinstimmungen, die derzeit im aktuellen Produktprogramm schon zu Carryover-Umfängen führen, grau markiert.

Die Analyseergebnisse werden anhand der Kennzahlen CS und CD bewertet. Diese werden anhand der des Bild 6-4 abgebildeten CoC mit Carryover-Potenzial ermittelt.

$$CS_{PF.Ist} = \frac{F_{PF.Ist}}{F_{gesamt.Ist}} [\cdot 100\%] = \frac{72}{190} = 38\% \quad (19)$$

$$CS_{PL.Ist} = \frac{F_{PL.Ist}}{F_{gesamt.Ist}} [\cdot 100\%] = \frac{21}{190} = 11\% \quad (20)$$

$$CS_{PF.Pot} = \frac{F_{PF.Pot}}{F_{gesamt.Pot}} [\cdot 100\%] = \frac{71}{101} = 70\% \quad (21)$$

$$CS_{PL.Pot} = \frac{F_{PL.Pot}}{F_{gesamt.Pot}} [\cdot 100\%] = \frac{30}{101} = 30\% \quad (22)$$

$$CD = 1 - \frac{F_{gesamt.Pot}}{F_{gesamt.Ist}} [\cdot 100\%] = 1 - \frac{101}{190} = 47\% \quad (23)$$

Produktfamilienübergreifende Carryover-Umfänge können von 38% auf 70% erhöht werden. Produktlinienübergreifende Carryover-Umfänge weisen ein Potenzial auf, von 11% auf 30% erhöht zu werden. Daraus ergibt sich ein Carryover-Delta von 47% zwischen dem Ist-Stand und dem potenziellen Produktprogramm.

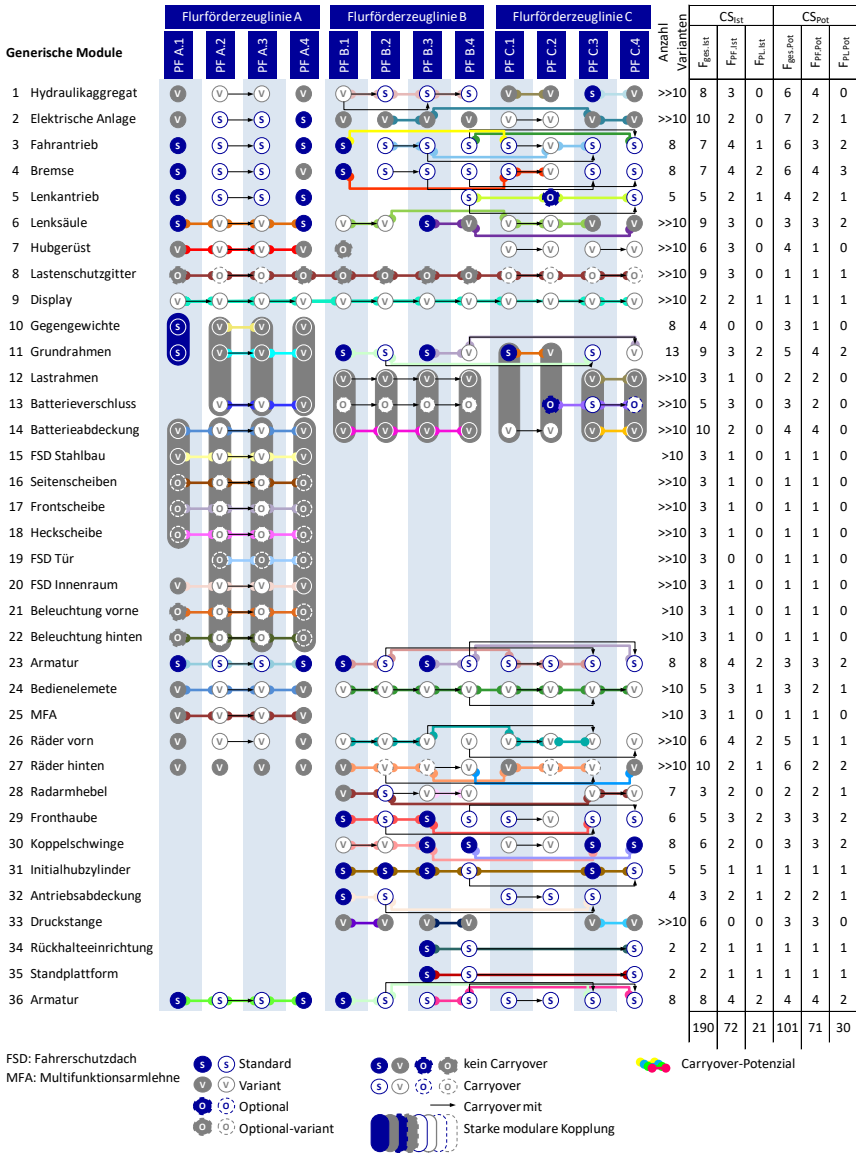


Bild 6-4: CoC des Produktprogramms mit Carryover-Potential

Entwicklung einer Produktstrukturstrategie

Die im vorigen Abschnitt ermittelte Kennzahl CS wird zur Ermittlung einer Produktstrukturstrategie genutzt. Dazu werden die Werte in das Produktstrukturstrategie Chart PSC eingetragen und abgelesen, welche Produktstrukturstrategie dem vorliegenden Potenzial entspricht (Bild 6-5).

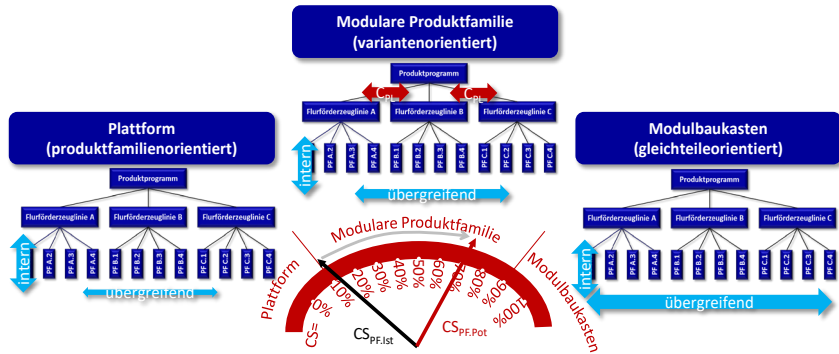


Bild 6-5: PSC des Produktprogramms

Man sieht, dass die aktuell gelebte Produktstrukturstrategie (CS_{ist}) mit einem $CS_{PF,ist}$ von 11% vorwiegend der produktfamilienorientierten Plattformstrategie entspricht. Hier werden vor allem produktfamilieninterne Potenziale genutzt und große, zusammenhängende Module angestrebt, wie sie im CoC in Bild 6-4 in den Zeilen 10-22 markiert sind. Bisher nicht genutztes Carryover-Potenzial kann sowohl innerhalb der Produktfamilien ($CS_{PF,pot}=70\%$) als auch übergreifend ($CS_{PL,pot}=30\%$) identifiziert werden. Um dieses Potenzial nutzen zu können, sind die übergreifenden Carryover-Kandidaten als gemeinsam genutzte Module im Rahmen einer Strategie modularer Produktfamilien zu entwickeln. Diese im Rahmen der Potenzialanalyse hergeleitete Empfehlung ist mit dem unternehmensspezifischen Bedarf zu vergleichen. In verschiedenen Workshops wurden hierzu in den Produktlinien A, B und C die Ziele verschiedener Rollen abgefragt (Anhang C) und in Bild 6-6 zusammengefasst. Die Abfrage zeigt, dass eine stärkere Ausprägung der Kommunalität einem großen Teil der derzeitigen produktstrategischen Bedarfe entspricht. Bei der Umsetzung dieser Kommunalität sind jedoch auch die in Richtung Differenzierung weisenden Zugkräfte zu beachten, da ein bedarfsgerechtes Carryover-Konzept der Summe aller Interessen am besten entspricht.

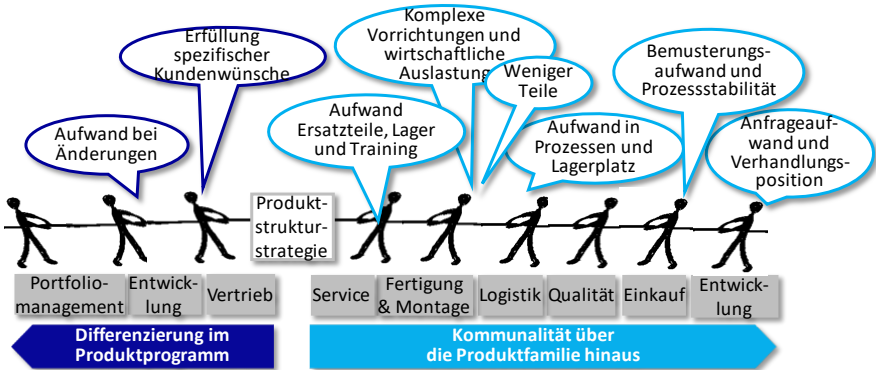


Bild 6-6: Zusammenfassung relevanter Zugkräfte

Entwicklung von übergreifenden Modulen

Zur Umsetzung der Produktstrukturstrategie gilt es nun, das definierte Carryover-Potenzial soweit zu nutzen, dass möglichst viele Interessen im Zugkräftediagramm beachtet werden. Dazu werden aus dem CoC mit Carryover-Potenzial (Bild 6-4) die Carryover-Kandidaten betrachtet und als kommunale Module neu entwickelt. In dieser Fallstudie wird für die beispielhafte Entwicklung eines übergreifenden Moduls der Grundrahmen ausgewählt. Hier besteht Carryover-Potenzial zwischen den Produktfamilien B.3, B.4 und C.4 (Bild 6-4, Zeile 11, Farbcode Flieder). Ziel der im Folgenden dargestellten Schritte ist es, dieses Potenzial bedarfsgerecht umzusetzen.

Analyse der internen Vielfalt und der Einflüsse externer Vielfalt

Die Varianz der Grundrahmen resultiert aus dem Einfluss der kundenrelevanten differenzierenden Eigenschaften Hubkonzept, Nennlast und Umschlagleistung. Während die Eigenschaften Hubkonzept und Nennlast keinen direkten Kundenwunsch am Grundrahmen widerspiegeln (Bild 6-7, kursiv), hat der Kunde an der Grundrahmenvarianz ausgelöst durch die Umschlagleistung ein direktes Interesse. Möchte er sein Flurförderzeug für Mittelstrecken einsetzen, so ist der Rahmen mit einer klappbaren Standplattform ausgestattet. Für den Langstreckeneinsatz ist eine feste Standplattform vorgesehen, für die die Seitenteile des Rahmens so lang gestaltet sind, dass sie die Seitenwände für die Plattform darstellen.

Daraus resultiert die im COC dargestellte Komponentenvielfalt (Bild 6-9). Derzeit verwenden alle drei dieser Produktfamilien B.3, B.4 und C.4 unterschiedliche Module des Grundrahmens. Die Produktfamilien B.4 und C.4 haben jeweils zwei Varianten. Sie teilen sich 15 von 21 Komponenten. Die Produktfamilie B3 verwendet nur zwei Komponenten gemeinsam mit den anderen Produktfamilien.

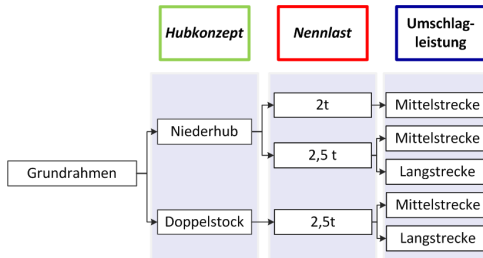
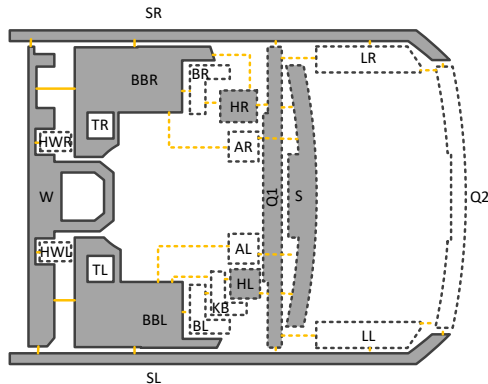


Bild 6-7: Vielfaltsbaum des Grundrahmens

Die Komponentenvielfalt mit den Schnittstellen wird im MIG visualisiert (Bild 6-8). Die Schnittstellen zwischen den Komponenten sind strukturelle Schnittstellen, da der Grundrahmen eine tragende Funktion hat.



- | | | | |
|-----|--------------------|----|------------------------------|
| AL | Aufnahme links | Q1 | Querträger 1 |
| AR | Aufnahme rechts | Q2 | Querträger 2 |
| BBL | Bodenblech links | S | Schürze |
| BBR | Bodenblech rechts | SL | Seitenteil links |
| BL | Blech links | SR | Seitenteil rechts |
| BR | Blech rechts | TL | Träger links |
| HL | Halter links | TR | Träger rechts |
| HR | Halter rechts | W | Wand |
| HWL | Halter Wand links | | |
| HWR | Halter Wand rechts | □ | Standardkomponente |
| KB | Knotenblech | ⋯ | Optionale Komponente |
| LL | Längsträger links | ■ | Variante Komponente |
| LR | Längsträger rechts | ▨ | Optional-variente Komponente |
| | | — | Strukturelle Schnittstelle |

Bild 6-8: MIG des Grundrahmens

Generische Module		B		C	Anzahl Varianten	Ist-Stand			
		PF.B.3	PF.B.4	PF.C.4		F _{ges.list}	F _{PF.list1}	F _{PL.list1}	
1	Wand	W				3	3	0	0
2	Träger links	TL		→	→	1	1	1	1
3	Träger rechts	TR		→	→	1	1	1	1
4	Schürze	S			→	2	2	1	1
5	Seitenteil links	SL			→	3	2	1	1
6	Seitenteil rechts	SR			→	3	2	1	1
7	Aufnahme rechts	AR				1	1	0	0
8	Aufnahme links	AL				1	1	0	0
9	Bodenblech links	BBL			→	3	2	1	1
10	Bodenblech rechts	BBR			→	3	2	1	1
11	Halter links	HL			→	3	2	0	0
12	Halter rechts	HR			→	2	1	1	1
13	Querträger 1	Q1			→	2	1	1	1
14	Längsträger links	LL			→	1	1	1	1
15	Längsträger rechts	LR			→	1	1	1	1
16	Knotenblech	KB			→	1	1	1	1
17	Querträger 2	Q2			→	1	1	1	1
18	Blech links	BL			→	1	1	1	1
19	Blech rechts	BR			→	1	1	1	1
20	Halter Wand links	HWL				1	1	0	0
21	Halter Wand rechts	HW R				1	1	0	0
Σ						36	29	15	15

Standard

Variant

Optional

Optional-variant

kein Carryover

Carryover

→ Carryover mit

Starke modulare Kopplung

Bild 6-9: CoC des Grundrahmens

Variantengerechte Produktgestaltung

Um einen variantengerechten Komponentensatz zu erhalten, wird der VAM des Grundrahmens aufgestellt (Bild 6-10). Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden hierfür Komponenten, die zweimal vorliegen, einmal links und einmal rechts, zusammengefasst. In der folgenden Lösungsfindung werden verschiedene Lösungen definiert:

1. Kommunale Wände: da die Prozesse der Produktfamilien B.4 und C.4 unterschiedlich sind und nicht verändert werden können, ist das nur für die Wände der Produktfamilien B.3 und B.4 möglich. Daraus resultiert eine Standardisierung der Bodenbleche links und rechts für die Produktfamilien B.3 und B.4.
2. Überdimensionierung der Halter, so dass keine Varianten mehr für Halter, die einen zusätzlichen Hydraulikzylinder tragen müssen, und Halter der Varianten ohne Hydraulikzylinder bestehen.
3. Gemeinsame Schürze und Querträger für die Produktfamilie B.3 sowie B.4 und C.4 ohne Standplattform.
4. Aufteilen der Seitenteile in Standardseitenteile und variante Verlängerungen.
5. Gleiche Maße für alle Schürzen – auch die der Varianten mit fester Plattform.
6. Gleiche Gestaltung der Bodenblechpartien aller Varianten und Einsatz standardisierter, einteiliger Halter.

Die Wirkung dieser Maßnahmen auf die kommunale Verwendung wird im CoC visualisiert. Für jede der Maßnahmen 1-6 symbolisiert eine Farbe die resultierenden Veränderungen im CoC (Bild 6-11). In verschiedenen Kombinationen werden daraus drei Konzepte hergeleitet, die in Bild 6-12 abgebildet sind. Die Konzepte beinhalten von Konzept 1 bis Konzept 3 mehr und tief greifendere Maßnahmen. In Konzept 1 werden lediglich die Wände und der Halter links für die Übernahme zwischen Produktfamilie B.4 und Produktfamilie C.4 entwickelt. Konzept 2 beinhaltet zusätzlich gemeinsame Verwendung von Seitenteilen, Querträger 1 und Schürze zwischen allen drei Produktfamilien. Dazu werden die Seitenteile aufgeteilt. In Konzept 3 wird weiterhin der gesamte Bereich um die Bodenbleche kommunal gestaltet. Der optionale Querträger 2 und die optionale Schürze werden über alle Produktfamilien zusammengefasst, so dass in Konzept 2 nur noch der Querträger 1 sowie die Verlängerungen der Seitenteile danach variieren, ob eine feste oder eine klappbare Standplattform vorgesehen werden. Diese Konzepte weisen die in Bild 6-13 dargestellten Varianzkennzahlen auf. Für alle drei Konzepte kann die Zahl der Komponenten und der varianten Komponenten maßgeblich reduziert werden. Die Zahl der Standardkomponenten wird besonders anteilig erhöht. Während im Ist-Stand nur 12 von 36 Standardkomponenten sind, so sind es 14 von 30 Komponenten in Konzept 1, 17 von 31 in Konzept 2 und 11 von 23 in Konzept 3.

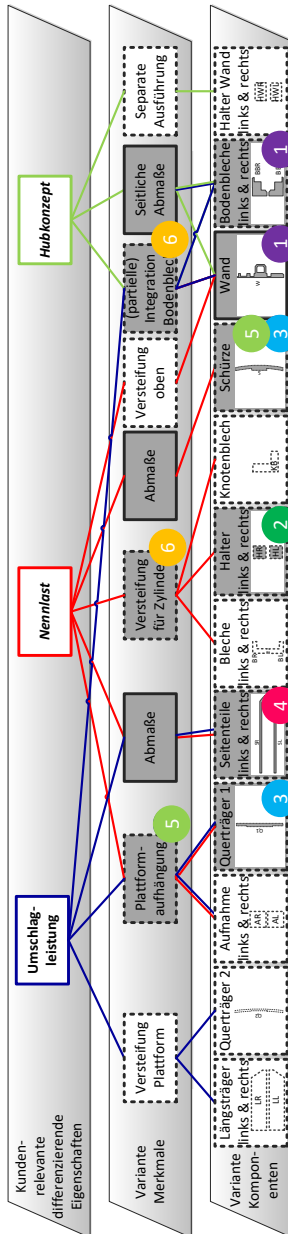


Bild 6-10: VAM des Grundrahmens

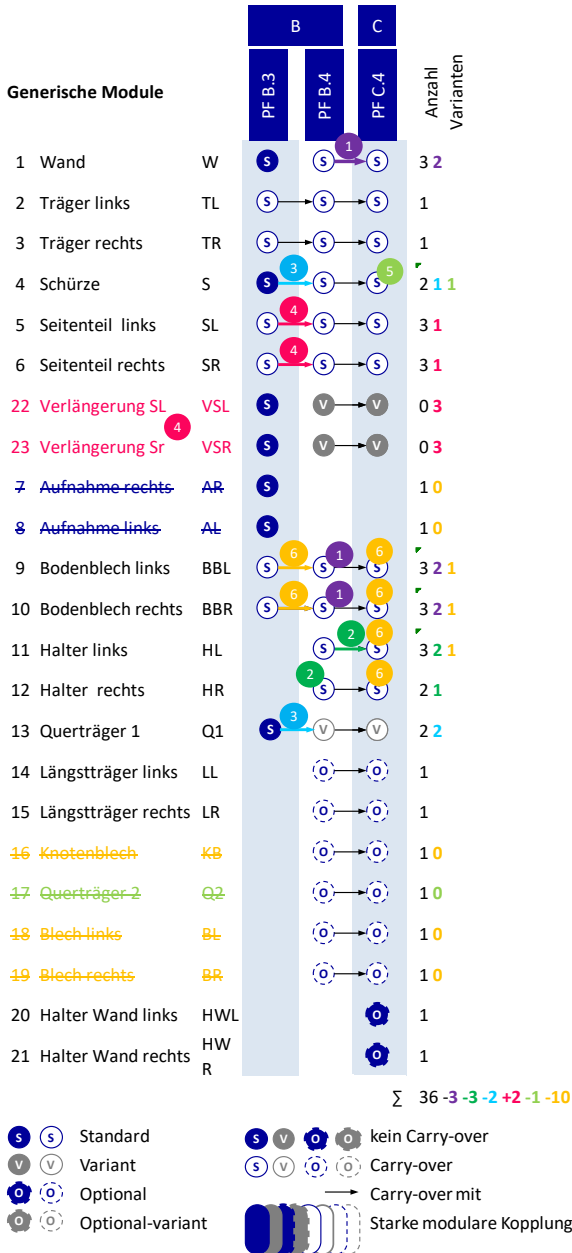


Bild 6-11: CoC mit Maßnahmen zur Steigerung der Kommunalität

Lebensphasen-Modularisierung und -kommunalität

Um die Wirkung der modularen Struktur und der Varianz in den Produktlebensphasen analysieren zu können, wird das CPC der IST-Situation aufgestellt (Bild 6-15 oben, Legende Bild 6-14). Hier sieht man, dass im Unterschied zum Beispiel der Beleuchtung in Abschnitt 5.5 die Varianz der Komponenten nicht zu einer großen Vielzahl aller möglichen Kombinationen führt, sondern zu fünf definierten Kombinationen. Die Grundrahmen werden in unterschiedlichen Werken produziert. Während des Schweißens werden die Varianten in die Produktionsreihenfolge gebracht. Unterschiedliche Schweißzeiten führen dabei dazu, dass die Varianz der Module deutliche Nachteile mit sich bringt. In den nachfolgenden Prozessen können die Grundrahmenmodule kommunal behandelt werden und werden auf drei variante Endmontagelinien verteilt.

Die Wirkung der drei entwickelten Konzepte in den Lebensphasen wird im CPC visualisiert (Bild 6-15 unten, Bild 6-16, Legende Bild 6-14). Falls absehbar ist, dass Module zwar variant sind, in einer Lebensphase aber keine varianten Prozesse hervorrufen, kann das unter „Wahrgenommene Modulanzahl“ vermerkt werden. Dies gelingt zum Beispiel bei Konzept 3, wo die Varianz tatsächlich nur auf die direkt kundenrelevante Eigenschaft Umschlagleistung reduziert wird. Hier werden je nach Kundenwunsch nach einer festen Plattform die entsprechend längeren Seitenteile, die dazugehörige Variante des Querträgers und die nur für die feste Plattform notwendigen Längsträger hinzukonfiguriert (Bild 6-16, unten). Liefert man diese als Module mit dem Querträger an, so führt die Varianz nicht mehr zu variierenden Schweißzeiten. Auf diese Weise dienen die CPCs aller Konzepte als Grundlage für ihre Bewertung.

Legende








	Standardmodul		
	Optionales Modul		>>20
	Variantes Modul		10-19
	Optional-variantes Modul		5-9

Bild 6-14: Legende des CPC (Bild 6-15, Bild 6-16)

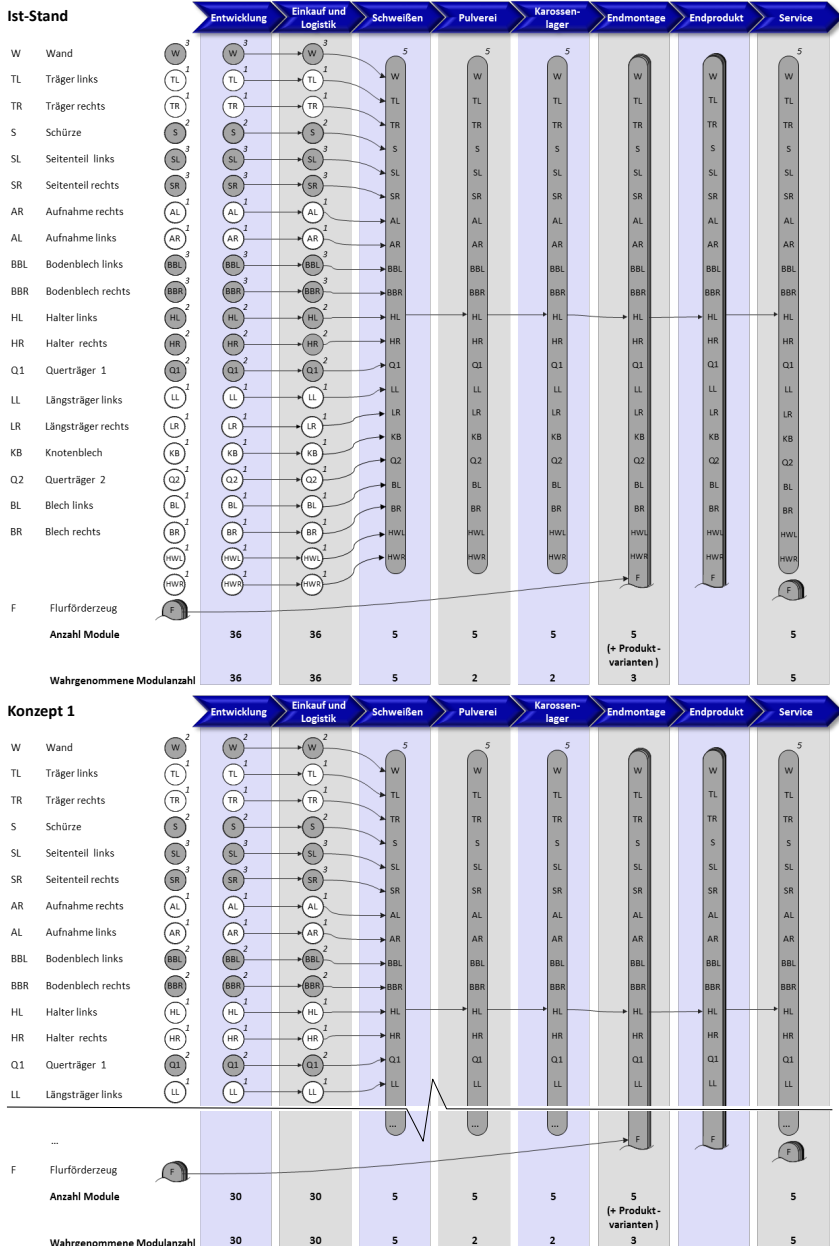


Bild 6-15: CPC des Ist-Standes und des Konzept 1

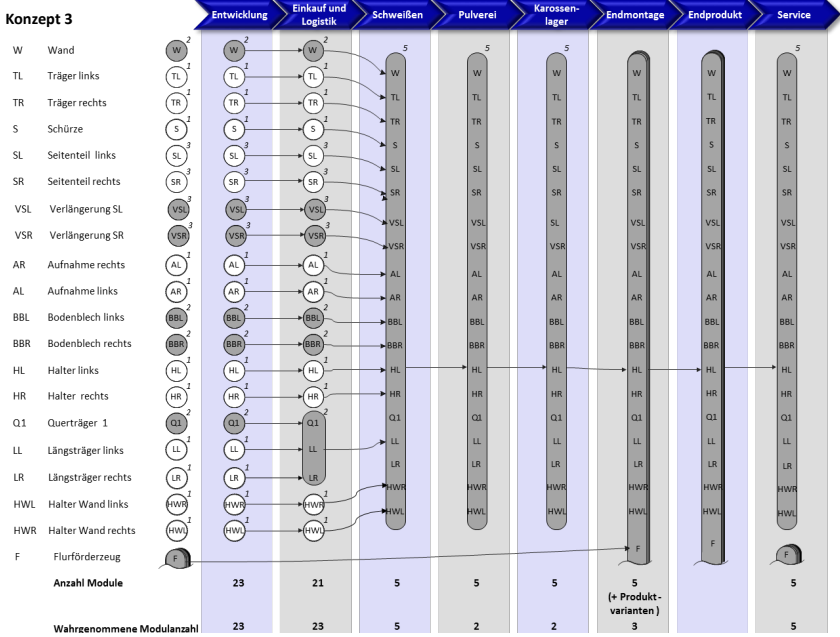
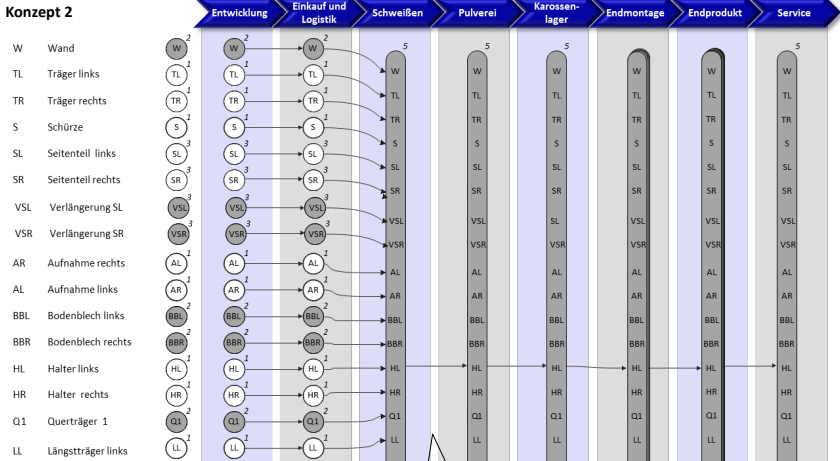


Bild 6-16: CPC des Konzept 2 und des Konzept 3

Bewertung bedarfsgerecht kommunaler Konzepte

Bewertungskriterien der drei Konzepte werden direkt aus den Abfragen der Zugkräfte abgeleitet (Anhang C). Um die Bewertung quantifizieren zu können, werden die formulierten Zugkräfte den quantifizierbaren Größen zugeordnet, die sie beeinflussen. Analog der in Kapitel 5.5 aufgeführten Formeln 11 und 12 wird die Bewertungstabelle (Tabelle 6-2) ausgefüllt. Die Ergebnisse dieser Lebensphasen-Wertigkeitsanalyse zeigen vergleichend, welchen Wert die einzelnen Konzepte für die einzelnen Lebensphasen haben (Bild 6-17).

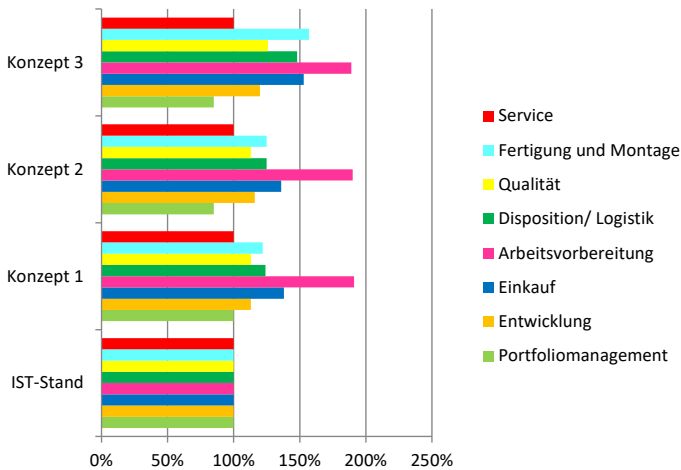


Bild 6-17: Ergebnis der Lebensphasen-Wertigkeitsanalyse für den Grundrahmen

Für alle Produktlebensphasen sind die Vorteile von Konzept 1 gleich oder in sechs Lebensphasen sogar besser als der Ist-Stand. Auch Konzept 2 zeigt in diesen Lebensphasen ähnlich große Vorteile, aber Nachteile gegenüber dem Ist-Stand und Konzept 1 im Portfoliomanagement. Diese zeigt auch Konzept 3. Allerdings sind bei Konzept 3 in vier Lebensphasen die Vorteile deutlich höher als bei den anderen Konzepten und dem Ist-Stand. Für die weitere Entscheidungsfindung wird die Breakeven-Analyse hinzugezogen (Bild 6-18).

Tabelle 6-2: Lebensphasen-Wertigkeitsanalyse der Konzepte für den Grundrahmen

Lebensphase/ Rolle	Wertigkeit in den Produktlebensphasen		Absolut			Vergleichend (mit IST-Stand=100%)			Durchschnitt je Lebensphase						
	Ziel	Bewertbare Größe	IST-Stand	Konzept 1	Konzept 2	Konzept 3	IST-Stand	Konzept 1	Konzept 2	Konzept 3	IST-Stand	Konzept 1	Konzept 2	Konzept 3	
Portfolio-management	Gewünschte Differenzierung ist gegeben	Quantitative Bewertung der vom Kunden wahrgenommenen Differenzierung	IST-Stand	keine Vorteile	keine Vorteile	keine Vorteile	100%	100%	70%	100%	100%	100%	85%	85%	
			Änderungsaufwand	keine Vorteile	keine Vorteile	keine Vorteile	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	85%	85%
Entwicklung	Produktfamilienübergreifende Preistransparenz der optionalen und varianten Module ist gegeben	Quantitative Bewertung der über die Produktfamilien möglichen ähnlichen Preisgestaltung von Optionen und Varianten	IST-Stand	keine Vorteile	keine Vorteile	keine Vorteile	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
			Änderungsaufwand	36	30	31	23	100%	83%	86%	64%				
			Dokumentationsaufwand	36	30	31	23	100%	117%	114%	136%				
Einkauf	Bündelung der Anfragen	Quantitative Bewertung der Konzeptähnlichkeit	IST-Stand	große Vorteile	große Vorteile	große Vorteile	100%	170%	170%	170%	100%	138%	136%	153%	
			Änderungsaufwand	15	9	8	6	100%	140%	147%	160%				
			Anfrageaufwand	36	30	31	21	100%	117%	114%	142%				
Arbeits-vorbereitung	Aufwand beim Erstellen der Arbeitspläne	Anzahl Varianten einer Komponente/ eines Moduls	IST-Stand	große Vorteile	große Vorteile	große Vorteile	100%	170%	170%	170%	100%	138%	136%	153%	
			Änderungsaufwand	36	30	31	21	100%	117%	114%	142%				
			Anfrageaufwand	36	30	31	21	100%	117%	114%	142%				
Disposition / Logistik	Aufwand im Abstimmungsprozess	Anzahl Sachnummern	IST-Stand	keine Vorteile	keine Vorteile	keine Vorteile	100%	100%	70%	100%	100%	100%	85%	85%	
			Änderungsaufwand	36	30	31	21	100%	117%	114%	142%				
			Anfrageaufwand	36	30	31	21	100%	117%	114%	142%				
Mitarbeiterqualifikation und Anlernen	Anzahl Varianten einer Komponente/ Moduls	Anzahl Sachnummern	IST-Stand	keine Vorteile	keine Vorteile	keine Vorteile	100%	100%	70%	100%	100%	100%	85%	85%	
			Änderungsaufwand	36	30	31	21	100%	117%	114%	142%				
			Anfrageaufwand	36	30	31	21	100%	117%	114%	142%				

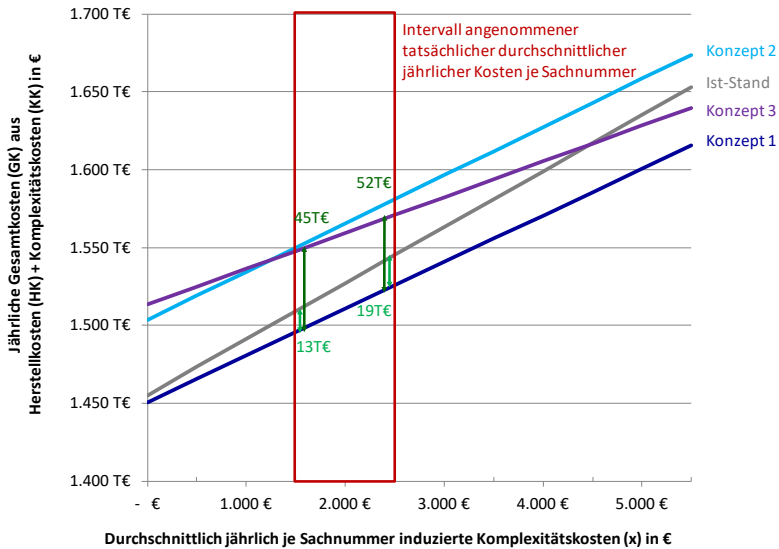


Bild 6-18: Breakeven-Analyse der Konzepte für den Grundrahmen

Die Breakeven-Analyse zeigt, dass die über Sachnummern induzierten Vorteile von Konzept 1 bei allen anzunehmenden Werten durchschnittlich jährlicher sachnummerninduzierter Komplexitätskosten zu Gesamtkosteneinsparungen führen. Angenommen wird für das betrachtete Produktprogramm nach Experteneinschätzung ein Wert von € 1.500-2.500 durchschnittlich jährlicher sachnummerninduzierter Komplexitätskosten. In diesem Bereich ermöglicht Konzept 1 eine jährliche Gesamtkosteneinsparung von rund € 13.000-19.000 zu dem Ist-Stand.

Die großen Vorteile aus der Lebensphasen-Wertigkeitsanalyse von Konzept 3 lassen sich aus der Breakeven-Analyse nicht ableiten. Dies ist damit zu begründen, dass die Vorteile von Konzept 3 in den Lebensphasen Einkauf, Qualität, Disposition/ Logistik und Fertigung und Montage mit den bewertbaren Größen *Anzahl Varianten einer Komponente/ eines Moduls* und der *wahrgenommenen Anzahl zu schweißender Varianten* assoziiert wird. Diese Größen gehen nicht in die Breakeven-Analyse ein. Für eine weitere Entscheidungsfindung sind die betroffenen Produktlebensphasen konkret nach zu erwartenden Einsparungen der als vorteilhaft bewerteten Aspekte von Konzept 3 zu befragen. Dadurch, dass eine konkrete Spanne angegeben werden kann, wie hoch die Kosteneinsparungen für diese Faktoren bei Konzept 3 sein müssen, um Vorteile gegenüber Konzept 1 zu bringen, reicht eine grobe Einschätzung durch Experten aus, ob diese Spanne über- oder unterschritten wird. Die Spanne liegt für die anzunehmende Differenz von Konzept 1 und

Konzept 3 zwischen rund € 45.000-52.000 (Bild 6-18). Eine erste Einschätzung durch Experten führt auf Basis dieser Bewertung zu einer Entscheidung für Konzept 1.

6.3 Überprüfung der messbaren Kriterien anhand der Daten der Fallstudie

Die Ergebnisse der Fallstudie werden anhand der messbaren Kriterien zur Validierung der in Abschnitt 6.1 aufgestellten Hypothesen ausgewertet.

Hypothesen 1 und 2: Kommunalität

Die ersten beiden Hypothesen validieren, dass die angestrebte Verbesserung bezüglich der Erfolgsfaktoren *Produktvarianten*, *Herstellkosten* und *Komplexitätskosten* durch die Adressierung des Schlüsselfaktors *Kommunalität* erzielt wird. Hypothese 1 bezieht sich auf Kommunalität, Hypothese 2 auf die übergreifende Kommunalität. Die Kennzahlen werden mit Hilfe der im Anhang C dargestellten CoC der Konzepte 1-3 erstellt.

Hypothese 1: Die Methodenanwendung führt zu einer erhöhten Kommunalität.

$$CD > 0, K_{Ist} > K_{Konzept.final}, V_{Ist\%} > V_{Konzept.final\%} \text{ und } S_{Ist\%} < S_{Konzept.final\%}$$

Hier ist zu beachten, dass die Größe CD darauf ausgelegt ist, Carryover-Potenzial während der Potenzialanalyse zu indizieren. Sobald konkrete Konzepte vorliegen, können die Verbesserungen wesentlich genauer mit den Varianzkennzahlen K, V und S ermittelt werden.

$$CD = 47\%$$

Dies zeigt, dass der Schritt zur Analyse von Carryover-Potenzial am Fallbeispiel auf Potenzial zur Steigerung der Kommunalität geführt hat. Dass ein Teil dieses Potenzials durch Modularisierung der Carryover-Kandidaten umgesetzt werden kann, wird konkret am Grundrahmen aufgezeigt (Bild 6-13).

$$K_{Ist} = 36$$

$$K_{Konzept.final} = 30$$

$$V_{Ist\%} = 67\%$$

$$V_{Konzept.final\%} = 53\%$$

$$S_{Ist\%} = 33\%$$

$$S_{Konzept.final\%} = 47\%$$

Es kann eine Steigerung der Kommunalität durch Reduktion der insgesamt verwendeten Komponenten, Reduktion des Anteils varianter Komponenten und Steigerung des Anteils von Standardkomponenten erzielt werden.

Hypothese 2: Die Methodenanwendung führt zu einer erhöhten produktfamilienübergreifenden Kommunalität.

$$CS_{Ist.Produktprogramm} < CS_{Pot.} \text{ und } CS_{Ist.Grundrahmen} < CS_{Konzept.final.}$$

Durch die Analyse im Produktprogramm kann folgendes Potenzial ermittelt werden:

$$CS_{\text{Ist.Produktprogramm}} = 10\% \quad CS_{\text{Pot.}} = 33\%$$

Im Rahmen der Entwicklung übergreifender Module wird für das Modul Grundrahmen ein übergreifendes modulares Konzept entwickelt. Die Kennzahl CS wird wie folgt berechnet:

$$CS_{\text{Ist.Grundrahmen}} = 52\% \quad CS_{\text{Konzept.final}} = 63\%$$

Die Hypothesen 1 und 2 werden durch das Fallbeispiel bestätigt. Die Methodenanwendung führt zu einer insgesamt erhöhten Kommunalität und unterstützt weiterhin die Ausprägung der produktfamilienübergreifende Kommunalität.

Hypothese 3: Reduktion von Herstell- und Komplexitätskosten

Ob die oben nachgewiesene Steigerung der Kommunalität auch zum angestrebten Erfolg bezüglich der Kosteneinsparungen führt, wird anhand der Validierung der Hypothese 3 ermittelt.

Hypothese3: Die Methodenanwendung führt in Summe zu einer Reduktion von Herstell- und Komplexitätskosten.

$$(HK_{\text{Konzept.final}} + KK_{\text{Konzept.final}}) - (HK_{\text{Ist}} + KK_{\text{Ist}}) < 0$$

HK = Herstellkosten

KK = Komplexitätskosten

Für das Fallbeispiel des Grundrahmens ergibt sich auf Basis einer Expertenaussage von € 1.500-2.500 durchschnittlicher jährlicher sachnummerninduzierter Komplexitätskosten pro Sachnummer folgende Differenz:

$$€ 1.500: (HK_{\text{Konzept.1}} + KK_{\text{Konzept.1}}) - (HK_{\text{Ist}} + KK_{\text{Ist}}) = € 13.000 < 0$$

$$€ 2.500: (HK_{\text{Konzept.1}} + KK_{\text{Konzept.1}}) - (HK_{\text{Ist}} + KK_{\text{Ist}}) = € 19.000 < 0$$

Jährlich können durch das neue Konzept also mindestens rund € 13.000 und maximal rund € 19.000 eingespart werden.

Dieses Ergebnis konnte für einen von 58 potenziellen neuen Carryover-Kandidaten erzielt werden, so dass eine umfassende Modularisierung aller identifizierten Carryover-Kandidaten entsprechend höhere Einsparungen erwarten lässt.

Hypothese 4: Erhalt der externen Vielfalt

Erfolgreich sind die erzielten Einsparungen nur, wenn sie nicht zu einer Reduktion der externen Vielfalt führen. Dies wird anhand von Hypothese 4 validiert.

Hypothese 4: Die Methodenanwendung führt zu einer gleichbleibenden externen Vielfalt.

$$\text{Wählbare Eigenschaften}_{\text{Ist}} = \text{Wählbare Eigenschaften}_{\text{Konzept.final}}$$

Für das Beispiel des Grundrahmens ist die einzige direkt kundenrelevante Eigenschaft die Umschlagleistung mit Mittelstrecke (klappbare Plattform) und Langstrecke (feste Plattform). Diese werden im gewählten Konzept weiter angeboten.

$$\text{Wählbare Eigenschaften}_{\text{Ist}} = 1$$

$$\text{Wählbare Eigenschaften}_{\text{Konzept.1}} = 1$$

Auch die kundenrelevante Varianz der gekoppelten Eigenschaften Nennlast und Hubkonzept wird durch das gewählte Konzept nicht verändert.

6.4 Zusammenfassung und Diskussion der Validierung

Die methodische Unterstützung der Entwicklung kommunaler Produktprogramme wurde anhand einer Fallstudie an einem relevanten Ausschnitt eines Produktprogramms von Flurförderzeugen initial validiert.

Ziel der methodischen Unterstützung ist die Entwicklung bedarfsgerechter Kommunalität im Produktprogramm. Dabei meint bedarfsgerecht, dass die Kommunalität in einem Produktprogramm soweit ausgeprägt wird, dass in Summe der Herstell- und Komplexitätskosten größtmögliche Kostenpotenziale sowie wichtige Ziele der Produktlebensphasen bei gleichbleibender externer Vielfalt erschlossen werden können.

Im Fall des betrachteten Grundrahmens führt diese Zielstellung zu einem Konzept, bei dem nicht die größtmögliche Kommunalität umgesetzt wird. Die Anzahl der Komponenten wird durch eine Reduktion von 36 auf 30 um 17% verbessert (Bild 6-19). Die Varianzkennzahl für den Anteil varianter Komponenten $V\%$ nimmt statt 67% noch 53% vom Anteil an den Gesamtkomponenten ein, was einer relativen Verbesserung von 20% entspricht. Der Anteil an Standardkomponenten $S\%$ erfährt durch eine Steigerung von 33% auf 47% eine relative Verbesserung um 40%. Die produktfamilienübergreifende Kommunalität CS wird mit einer Erhöhung von 52% auf 63% relativ um 21% verbessert. Dass die Methodenanwendung zu wesentlich höherer Kommunalität führen kann, zeigt Konzept 3 für das Grundrahmenmodul durch das zum Beispiel die Anzahl der Komponenten um 36% reduziert werden konnte.

Dennoch wurde Konzept 1 gewählt, da hier die höchsten Kostenpotenziale prognostiziert werden konnten (Bild 6-20). Das hängt besonders damit zusammen, dass die herstellkostenintensiven Komponentenvarianten des Grundrahmens geringere Stückzahlen aufweisen als die herstellkostengünstigen Komponentenvarianten, so dass Standardisie-

ungsmaßnahmen mit der entsprechenden Überdimensionierung schnell unwirtschaftlich werden. Insgesamt führt das Vorgehen dazu, dass die methodischen Schritte zur Erhöhung der Kommunalität große Verbesserungen hervorrufen können, die methodischen Schritte zur Bewertung bedarfsgerechter Kommunalität allerdings auf die im Unternehmenskontext vorteilhafteste Lösung führen.

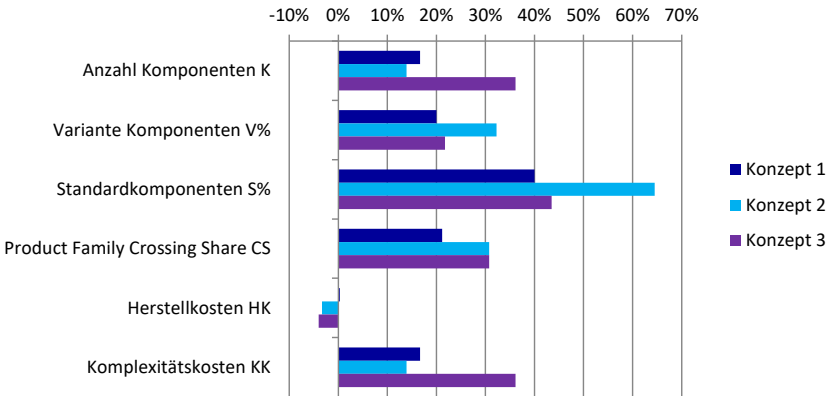


Bild 6-19: Prozentuale Verbesserungen der Kennzahlen aller erzielten Grundrahmenkonzepte gegenüber dem Ist-Stand

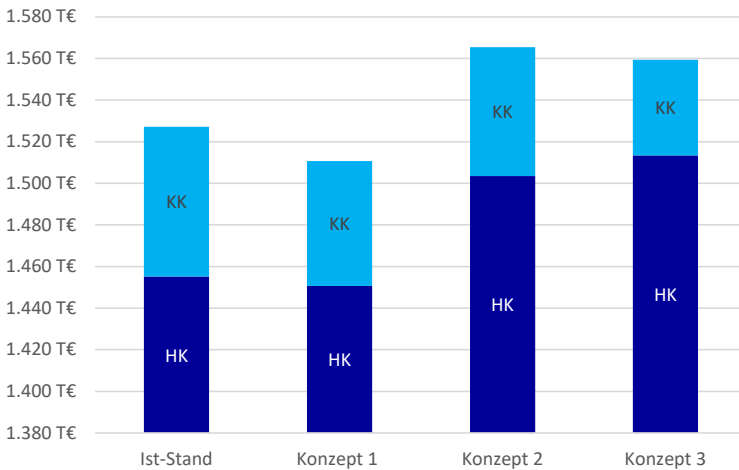


Bild 6-20: Kosteneinsparpotenziale der Konzepte 1-3 im Vergleich mit dem Ist-Stand unter der Annahme von € 2.000 durchschnittlicher jährlicher sachnummerninduzierter Komplexitätskosten pro Sachnummer

7 Integrierter PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktprogramme

Der im vorigen dargelegte und initial evaluierte Methodenbaustein hat das Ziel, die Entwicklung übergreifender Umfänge methodisch zu unterstützen. Für die weiteren Aufgaben im Produktprogramm – die Produktprogrammplanung sowie die Entwicklung modularer Produktfamilien – besteht bereits umfassende methodische Unterstützung. Um die Kommunalität in Produktprogrammen wirksam zu erhöhen, müssen allerdings Aktivitäten in allen drei Bereichen sinnvoll ineinandergreifen. Unter Einbeziehung der Entwicklung modularer Produktfamilien nach BLEES ET AL. [Ble10] und der Produktprogrammplanung nach JONAS [Jon13] wird das vorgestellte methodische Vorgehen in eine umfassende Vorgehensweise zur Planung und Entwicklung kommunaler und modularer Produktprogramme integriert. Für die Wahl von bestehenden Methoden des Integrierten PKT-Ansatzes zur Integration gibt es zwei Gründe. Zum einen ist Kombinierbarkeit und Konsistenz der in dieser Arbeit entwickelten Unterstützung mit diesen bestehenden Bausteinen im Rahmen der Zielsetzung gewünscht und anzustreben. Zum anderen zeigen die Ergebnisse der deskriptiven Studie (Kapitel 1), dass die Variantengerechte Produktgestaltung und Lebensphasen-Modularisierung sehr zweckmäßige Methodenbausteine zur Entwicklung modularer Produktfamilien sind. Da der Methodenbaustein der Produktprogrammplanung zur Entstehung dieser Arbeit zum Teil parallel entwickelt wurde, liegen für ihn keine derartig tiefgehenden Evaluierungsergebnisse vor. Allerdings wurde die parallele Entstehung genutzt, beide Methodenbausteine gezielt aufeinander abzustimmen, so dass auch dieser Methodenbaustein besonders als Basis der Entwicklung kommunaler Produktprogramme geeignet ist [Kra13a].

7.1 Grundlegende Beschreibung

Der im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Methodenbaustein zur Entwicklung kommunaler Produktprogramme ist in Bild 7-1 in den Integrierten PKT-Ansatz eingeordnet. Wie sich die Methodenbausteine zum integrierten Ansatz zur Entwicklung modularer Pro-

Produktprogramme zusammenfügen, ist in Bild 7-2 dargestellt. Da die Entwicklung von Produktfamilien und übergreifenden Modulen parallel und iterativ geschieht, sind besonders die Schnittstellen und benötigten Ergebnisse anderer Arbeitsschritte zu beachten.

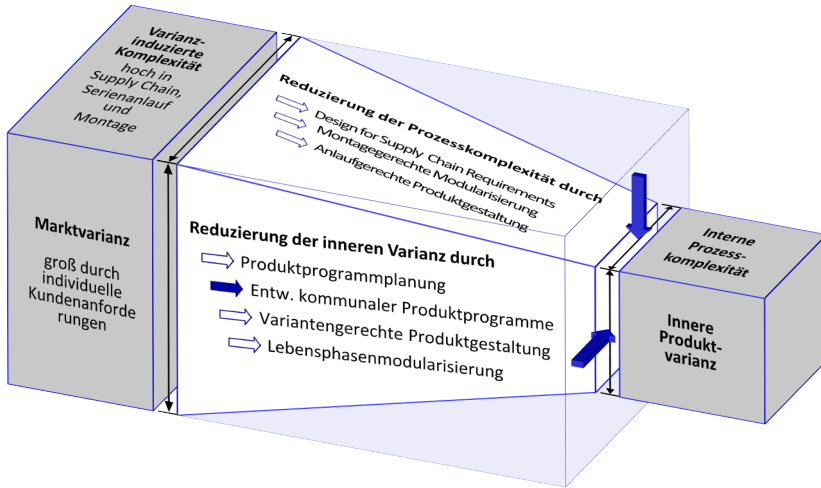


Bild 7-1: Einordnung des entwickelten Methodenbausteins in den Integrierten PKT-Ansatz

Bevor ein Produktprogramm entwickelt werden kann, ist es zu planen. Wendet man das methodische Vorgehen zur Produktprogrammplanung an, so erhält man die geplante interne und externe Vielfalt der Produktfamilien im Produktprogramm. Damit ist die strukturelle Grundlage für die Entwicklung modularer Produktfamilien geschaffen. Nun können die Methodenbausteine der Variantengerechten Produktgestaltung und der Lebensphasen-Modularisierung auf die Produktfamilien angewendet werden.

Auf Ebene der produktfamilienübergreifenden Aktivitäten ist zuerst das Produktprogramm im neu entwickelten CoC zu visualisieren. Dabei werden bereits bestehende modulare Strukturen als Input aus der Entwicklung modularer Produktfamilien eingepflegt (siehe 1 in Bild 7-2). Anhand der Konzipierung von Übernahmekandidaten nach JONAS werden Carryover-Kandidaten ermittelt und im CoC abgebildet (siehe 2 in Bild 7-2). Diese bilden wiederum einen Input für die Entwicklung modularer Produktfamilien als zu beachtender Modultreiber für Carryover-Umfänge. Mit Hilfe des ermittelten Carryover-Potenzials kann die Produktstrukturstrategie abgeleitet werden. Die konkrete Umsetzung wird im CoC dargestellt. Diese Visualisierung dient der Koordination aller Entwicklungsaktivitäten. Sie stellt dar, welche Module im Rahmen der Produktstrukturstrategie in

welchen Produktfamilien einzusetzen sind. Diese Information ist bei den produktfamilieninternen Aktivitäten zu beachten. Die Carryover-Kandidaten werden mithilfe des vorgestellten Vorgehens zu kommunalen übergreifenden Modulen entwickelt.

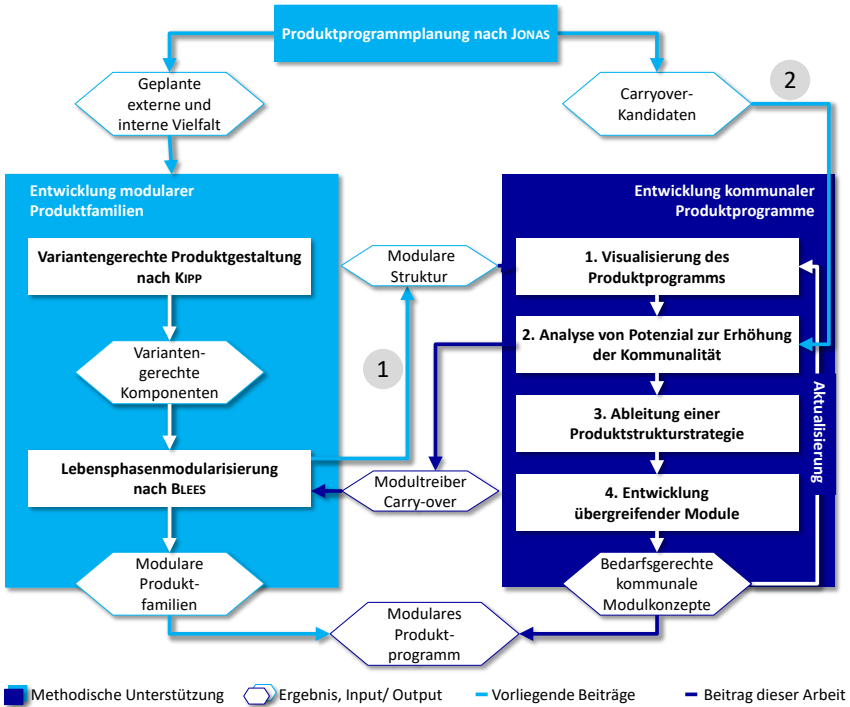


Bild 7-2: Integrierter Ansatz zur Entwicklung modularer Produktprogramme

Ergebnis aller Aktivitäten sind modular gestaltete Produktfamilien und übergreifende Module zur zusätzlichen Erhöhung der Kommunalität, so dass ein umfassend kommunales modulares Produktprogramm entsteht.

Das geschilderte Vorgehen fokussiert auf Produktstrukturstrategien, die sich im Spektrum zwischen der Plattformstrategie und der Baukastenstrategie befinden, sogenannte modulare Produktfamilien. Ist das Carryover-Potenzial sehr einseitig vor allem innerhalb von Produktfamilien ($CS \leq 10\%$) oder umgekehrt stark übergreifend ($CS \geq 90\%$), so sind die Produktstrukturstrategien der Plattform und des Baukastens zu wählen (Bild 5-10). Wie das in diesem Kapitel vorgestellte Vorgehen im Rahmen des integrierten Ansatzes zur Entwicklung modularer Produktprogramme für die Sonderfälle Plattformstrategie und Modulbaukastenstrategie zu gestalten ist, wird im folgenden Abschnitt beschrieben.

7.2 Entwicklung modularer Produktprogramme im Rahmen einer Plattformstrategie

Für den Fall, dass nur wenige Module als übergreifende Module genutzt werden können ($CS \leq 10\%$), ist eine Plattformstrategie zu wählen. Eine Plattform unterscheidet sich von der modularen Produktfamilie dadurch, dass das hohe Potenzial produktfamilieninterner Kommunalität es ermöglicht, die gemeinsam verwendeten, kommunalen Module in einem großen Plattformmodul zu bündeln. Dies ist beispielhaft in Bild 7-3 dargestellt. Hier erkennt man als Plattformen große Standardmodule, die nicht übergreifend verwendet werden. Daraus ergeben sich die plattformspezifischen Vorteile, wie die besonders effiziente Ableitung von Produktvarianten (Kapitel 2.3). Um diese Vorteile auch wirklich nutzbar zu machen, wird das Vorgehen für das Produktprogramm modifiziert (Bild 7-4).

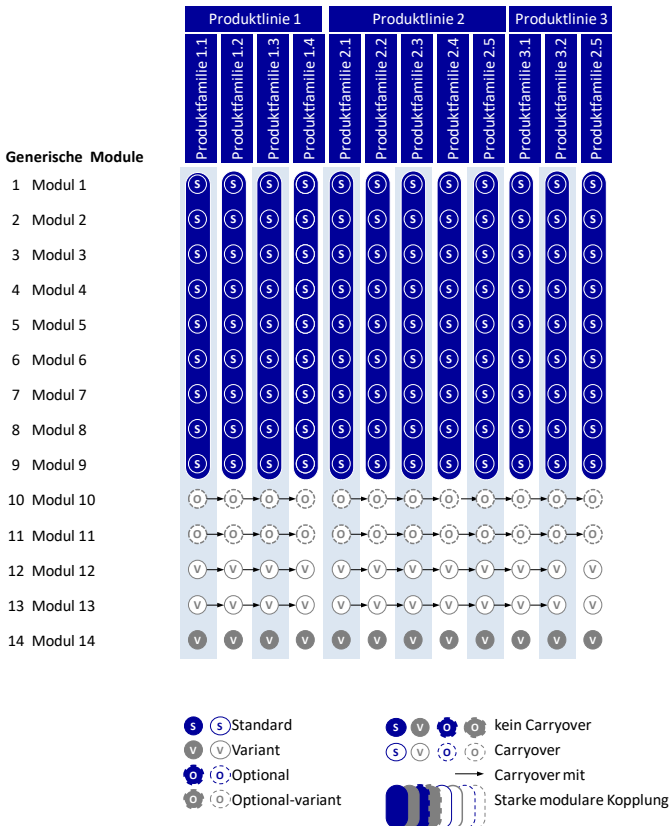


Bild 7-3: Beispielhaftes CoC einer Plattformstrategie

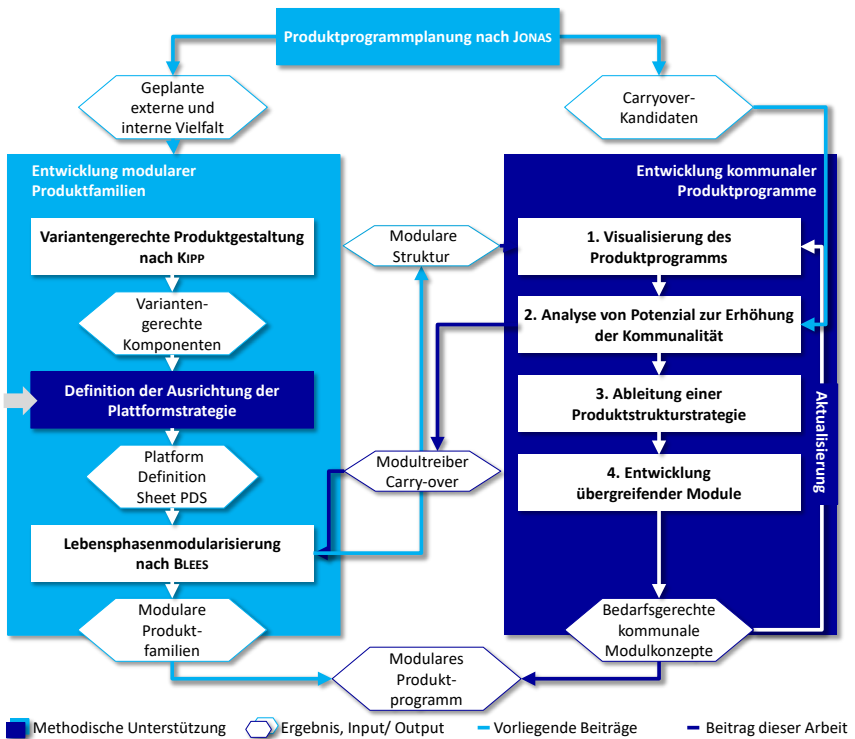


Bild 7-4: Integrierter Ansatz zur Entwicklung modularer Produktprogramme im Spezialfall der Plattformstrategie

Zum einen liegt ein deutlicher Fokus auf den produktfamilieninternen Aktivitäten. Produktfamilienübergreifende Entwicklungsaktivitäten sowie koordinative Aktivitäten bilden einen geringen Aufwand. Innerhalb der produktfamilieninternen Aktivitäten sind die besonderen Vorteile, die mit einer Plattformstrategie erreicht werden können, zu fokussieren. Sie können aus dem Zugkräftediagramm abgelesen und in das *Plattform Definition Sheet (PDS)* eingetragen werden (Bild 7-5). Das PDS dient weiterhin der Definition, welche Gemeinsamkeiten zusätzlich zu dem gemeinsamen Basismodul, der physischen Plattform, genutzt werden sollen und in welcher Form dies durch ein Modell unterstützt werden soll.

Ist die Zielsetzung der Plattformstrategie auf diese Weise konkretisiert, wird die Variantengerechte Produktgestaltung durchgeführt. Alle Komponenten, die hierbei als Standardkomponenten identifiziert werden, sind Kandidaten für die Plattform. Ihre physi-

sche Bündelung kann im MIG abgelesen und modifiziert werden. Das so definierte Basismodul wird Rahmen der Lebensphasen-Modularisierung und unter Berücksichtigung der anzustrebenden Vorteile weiter für die einzelnen Produktlebensphasen definiert.

Definition Plattform

Eine Plattform ist eine für einen Teil eines Produktprogramms, wie beispielsweise eine Produktfamilie oder -linie, gültige **Beschreibung**³. In dieser Beschreibung werden die Werte gebündelt aufgeführt, die für alle Produktvarianten **kommunal**² verwendet werden, um **Vorteile**¹ im Umgang mit interner Vielfalt zu erzielen.

¹Welche spezifischen **Vorteile** sollen mit der Plattformstrategie erzielt werden?

- Rolloutstraffung
- Fertigung in einer Produktionslinie / einem Produktionsprozess
- Flexibilität des Fertigungsprozesses
- Reduzierte Entwicklungszeit
- Verbesserter Möglichkeit Produkte anzupassen
- Lernkurveneffekte zwischen den Produktvarianten
- Reduzierter Test- und Zertifizierungsaufwand

³Durch welche Daten wird die Plattform konkret **beschrieben**?

- Übernahmeteile
- Prozessschritte
- ...

²Auf welche **kommunal** verwendeten Werte bezieht sich die Plattform ?

Produkt

- Basismodul
 - Konfigurationsmodule
 - Integralbauweise
 - Schnittstellen
 - Funktionalität
 - Technologieelemente
 - Produktarchitektonische Richtlinien
 - Gestalt(ungsrichtlinien)
 - Produktbasis
- #### Prozesse (Lebensphasen)
- Schnittstellen
 - Prozesse
 - Wissen
 - Personen und Beziehungen
 - Technologieelemente

Bild 7-5: Plattform Definition Sheet PDS [Eil12b]

7.3 Entwicklung modularer Produktprogramme im Rahmen einer Baukastenstrategie

Haben nahezu alle Baugruppen das Potenzial, als übergreifende Module eingesetzt zu werden (CS \geq 90%), so empfiehlt sich eine gleicheileorientierte Baukastenstrategie. Da diese das primäre Ziel hat, Kommunalität bestmöglich auch übergreifend auszunutzen, nimmt die Anwendung der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Schritte zur Entwicklung übergreifender Module einen großen Raum ein. Nur wenige Module werden im Rahmen produktfamilieninterner Aktivitäten entwickelt. Daher kann das in Bild 7-2 dargestellte Vorgehen für die Strategie modularer Produktfamilien ebenso für den Sonderfall der Baukastenstrategie angewendet werden. Das beispielhafte CoC einer gleicheileorientierten Baukastenstrategie ist in Bild 7-6 dargestellt. Hier sieht man, dass nur wenige Carryover-Lücken und keine übergeordneten starken modularen Kopplungen bestehen.

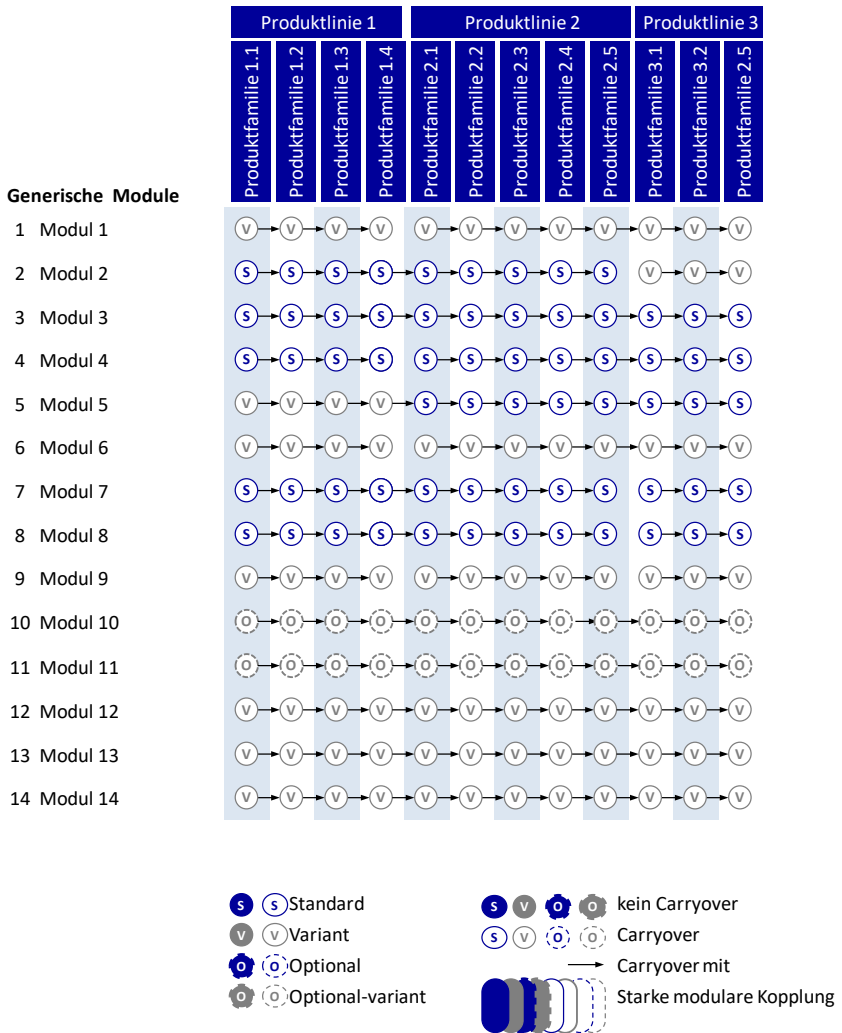


Bild 7-6: Beispielhaftes CoC einer Baukastenstrategie

8 Zusammenfassung und Ausblick

Ein variantenreiches Produktprogramm zu marktfähigen Preisen anbieten zu können, ist ein entscheidender Wettbewerbsfaktor in einem globalisierten Markt. Modulare Produktstrukturen tragen unter anderem durch die höhere Kommunalität, das heißt Carryover gleicher Module und Komponenten, Prozesse et cetera in verschiedenen Produktvarianten, dazu bei, viele Varianten zu möglichst geringen Kosten anbieten zu können. Bisherige Methoden unterstützen zu diesem Zweck die Entwicklung modularer Produktfamilien. Weiteres Potenzial zur Kommunalität liegt im Carryover über die Produktfamilien hinaus im ganzen Produktprogramm. Die produktprogrammweite Betrachtung wird durch bestehende Methoden nicht ausreichend unterstützt.

Deshalb wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Methode zur Entwicklung kommunaler Produktprogramme entwickelt. Im Carryover Chart (CoC) wird das Produktprogramm mit bestehenden Carryover-Umfängen visualisiert. Das CoC ermöglicht gezielt die Zusammenfassung vieler Produktvarianten, um ganze Produktprogramme übersichtlich darstellen zu können. Im CoC werden potenzielle Carryover-Kandidaten ermittelt und markiert. Aus diesem Potenzial sowie aus bestehendem Bedarf zu mehr Kommunalität oder mehr Differenzierung wird für jedes Produktprogramm die spezifische Produktstrukturstrategie abgeleitet. Im Produktstrukturstrategie-Chart (PSC) wird diese Strategie zwischen den Extremen der produktfamilienorientierten Plattformstrategie und der gleichteileorientierten Baukastenstrategie eingeordnet. Zwischen diesen Extremen liegt die modulare Produktfamilie, die zwar die gemeinsame Entwicklung innerhalb von Produktfamilien vorsieht, aber auch die Entwicklung übergreifender Module ermöglicht. Die Beschreibung der Produktstrukturstrategie ist wichtig für ein gemeinsames Verständnis über Ziel und Umfang angestrebter Kommunalität.

Gemäß dieser Strategie werden die Carryover-Kandidaten auf Modulebene jeweils einzeln zu übergreifend einsetzbaren Modulen entwickelt. Im Rahmen einer Ist-Analyse werden externe und interne Vielfalt des betrachteten Moduls aufgenommen und in der Variantengerechten Produktgestaltung in Beziehung gesetzt, um eine kommunale Kom-

ponentengestaltung abzuleiten. Die Wirkung der Vielfalt in den Prozessen der Produktlebensphasen wird optimiert. Zu diesen Schritten werden bestehende, zum Teil in dieser Arbeit weiterentwickelte Werkzeuge des Integrierten PKT-Ansatzes zur Entwicklung modularer Produktprogramme genutzt. Die entstehenden Carryover-Konzepte werden durch eine Breakeven-Analyse bezüglich ihrer Wirkung auf Herstell- und Komplexitätskosten analysiert und mit der Wertigkeit für die Produktlebensphasen abgewogen. Entsprechend dem zur Umsetzung ausgewählten Konzept wird das Carryover-Chart aktualisiert.

Diese Methode wurde auf einen relevanten Produktprogramm Ausschnitt von Flurförderzeugen angewendet. Durch die Erhöhung der produktfamilienübergreifenden Kommunalität von 11% können im Fallbeispiel Kosteneinsparungen erzielt werden.

Die Entwicklung kommunaler Produktprogramme muss nach ihrer ersten Durchführung in einem Produktprogramm kontinuierlich weitergeführt werden. Der integrierte PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktprogramme beschreibt hier das Zusammenspiel zwischen Produktprogrammplanung, Entwicklung modularer Produktfamilien und Entwicklung kommunaler Produktprogramme.

Die Methode zur Entwicklung kommunaler Produktprogramme wurde Rahmen dieser Arbeit initial evaluiert. Das Carryover Chart wurde als zentrale Visualisierung dieser Arbeit während ihrer Fertigstellung bereits im Rahmen der Dissertation von HALFMANN an Kettensägen [Hal14], in einem Projekt der Auftragsforschung des Instituts PKT an Verpackungsmaschinen sowie im Projekt *ModSupport - Innovative methodische Unterstützung bei der Entwicklung eines modularen Produktprogramms von Aufzügen* (durch das BMBF gefördert im Rahmen von KMU-innovativ) und in diversen studentischen Arbeiten erfolgreich angewendet. Zukünftig ist das gesamte Vorgehen an weiteren Produktprogrammen zu evaluieren.

Im Verlauf der Forschungsarbeit hat sich die Breakeven-Analyse als wichtiges neues Werkzeug herausgestellt, da hierdurch eine Abwägung von Herstell- und Komplexitätskostenpotenzialen schon bei der Bewertung von Konzepten möglich ist. Diese Betrachtung der Komplexitätskosten wird zukünftig durch weitere Forschungsaktivitäten ausgebaut [Rip13, Eil17]. Um methodische Ansätze für die praxisrelevante Anwendung zu rüsten, ist die Softwareunterstützung der Methoden eine wichtige Anforderung [Bec14]. Dazu wurden erste Forschungsarbeiten durch HACKL, GUMPINGER ET AL. geleistet [Hac13], [Hac14]. Die im Rahmen dieser Arbeit abgeleiteten Erkenntnisse, die Visualisierungen Carryover Chart und Breakeven-Analyse sowie die abgeleiteten Weiterentwicklungspotenziale bestehender Werkzeuge werden in die Entwicklung einer Unterstützungssoftware zum Integrierten PKT-Ansatz einfließen.

Anhang

A Vergleichende Studie zu Kommunalitätsindizes

Im Rahmen der Forschung zu dieser Arbeit wurde die Masterarbeit *Application of Commonality Indices and Optimization Methods to Fork Lift Truck Components* [Bezborooa, Dipankar, 2013] betreut. Diese Arbeit beinhaltet eine Literaturanalyse von Kommunalitätsindizes (Tabelle A-1) sowie eine vergleichende Studie ausgewählter Indizes anhand einer Fallstudie (Bild A-1).

Als Ergebnis der Literaturanalyse sind aus einer Recherche hervorgegangene Kommunalitätsindizes aufgeführt und beschrieben (Tabelle A-1). Mit einem roten Nein-Symbol sind solche Kommunalitätsindizes markiert, die sich nicht für die Evaluierung und Optimierung von Produktfamilien eignen. Entweder eignen sich diese nicht für Produktfamilien, weil nur einzelne Produkte der Familie betrachtet werden. Oder sie eignen sich nicht zur algorithmischen Optimierung, weil ihr Wert nach oben nicht fixiert ist.

Zusätzlich ist zugeordnet, wie häufig die Quellen von den anderen untersuchten Quellen zitiert worden sind.

Tabelle A-1: Übersicht und Beschreibung analysierter Kommunalitätsindizes

Name	Metric	Description	Main Focus	Worst Value	Best Value	Commonality Measure for	Ref.
RC	Relative Commonality	Measures component commonality on the basis of an entropy based measure.	Components	0	not fixed	The whole family	[Mos 76]
DCI	Degree of Commonality	Measures the ratio between common components and total number of components.	Components	1	not fixed	The whole family	[Col 81]
TCCI	Total Constant Commonality Index & Others	Measures the ratio between common components and total number of components. Normalized version of DCI	Components	0	1	The whole family	[Wac 86]
CI	Commonality Index	Based on the ratio between unique components and total number of components.	Components	0	1	The whole family	[Mar 96], [Mar 97]
C%	Percentage Commonality	Measures commonality based on components connections and assembly	Components, Interface, Assembly	0	100	Each product in the family	[Sid 98]
CI ^c	Component Part Commonality Index	Extension of DCI. Average usage of components is calculated based on production volume, quantity per operation and cost.	Components, Production volume, Quantity, Cost	1	not fixed	The whole family	[Jia00b]
PCI	Product Line Commonality Index	Based on the percentage of non-differentiating components that are identical. Measures and penalizes component variety that should ideally be common based on size, shape, material, manufacturing and assembly process	Components, Size, Shape, Material, Manufacturing, Assembly	0	100	The whole family	[Kot 00]
NCI	Non Commonality Index	Assess the parametric variation within a family	Design variables	1	0	Each individual products within a family	[Sim 01]
PDI	Performance Deviation Index	Assess the trade off between performance and commonality	Performance parameters. Actual compared with target	1	0	Each individual products within a family	[Sim 01]



14-20 citations by analysed references











8-14 citations by analysed references







1-8 citations by analysed references



Not applicable to commonality evaluation and optimization of product families

Name	Metric	Description	Main Focus	Worst Value	Best Value	Commonality Measure for	Ref.
GVI	Generational Variety Index	Measures amount of redesign effort required for future designs of the product	Modules, Customer requirements	0	9x (number of engineering metrics)	Each individual module or component	[Mar 02] 
CI	Coupling Index	Measures the coupling among the product modules	Modules, Interfaces	0	9 x (number of parts -1) x (number of flows)	Each individual module or component	[Mar 02] 
FSI	Functional Similarity Index	Reveals analogies at a level that is useful for concept, configuration, and embodiment design	Components, functions	0	1	Each individual products within a family	[McA 02] 
CDI	Commonality versus Diversity Index	Measures actual commonality and diversity based on what should ideally be common and different	Components, functions	0	1	Each individual products within a family	[Ali 06] 
CMC	Comprehensive Metrics for Evaluation of Commonality Index	Extension of PCI. Measures and penalizes the component variety that should ideally be common based on size, shape, material, manufacturing, assembly cost volume and allowed diversity.	Components, Size, Shape, Material, Manufacturing, Assembly	0	100	The whole family	[The 07] 
TCI	Total Commonality Index	Measures commonality based on probability of manufacture of a variation and selection of different options by customers.	Components, modules, probability of customer preference	0	not fixed 	The whole family	[Ble 07] 
C	General Commonality Metric	Measures commonality using several ratios considering cost, investment, mass, production volume.	Components, cost, production volume	0	1	The whole family	[Joh 10] 

-  14-20 citations by analysed references
-  8-14 citations by analysed references
-  1-8 citations by analysed references
-  Not applicable to commonality evaluation and optimization of product families

In der vergleichenden Fallstudie werden für das Validierungsbeispiel des Grundrahmens (Kapitel 1) mit Hilfe der in Kapitel 3.2 vorgestellten Kommunalitätsindizes optimierte Lösungen ermittelt und bewertet. Ein Vergleich der Lösungen mit verschiedenen Kommunalitätsindizes sowie der Kennzahl K (Anzahl der Komponenten insgesamt) zeigen, dass im Fall dieses Beispiels die Aussagekraft der einfachen Kennzahl K mit denen der

Kommunalitätsindizes übereinstimmt, vergleicht man die Kurvenverläufe im prozentualen Vergleich der Lösungen.

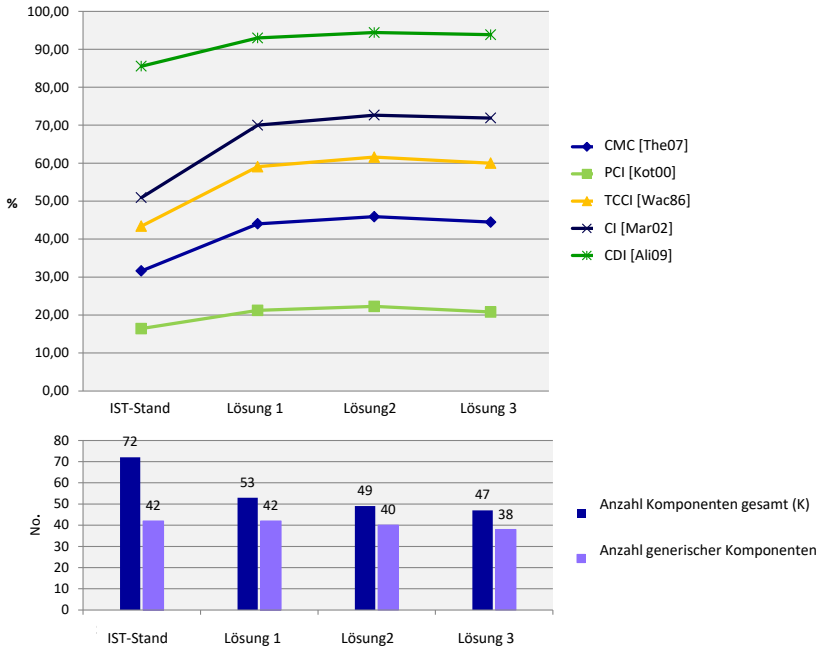


Bild A-1: Vergleich der Aussagekraft von Kommunalitätsindizes (oben) mit der der Kennzahl K (unten) am Beispiel von Optimierungslösungen des Grundrahmens

Die Erstellung des Vielfaltsbaums (Bild B-2) ist bei einer hohen Anzahl von Produktvarianten sehr aufwändig und unübersichtlich, da jede Produktvariante einen Ast bildet. Daher wird im Rahmen dieser Arbeit eine Weiterentwicklung des Vielfaltsbaums eingeführt, in der beliebig konfigurierbare optionale Eigenschaften nicht in allen Kombinationen aufgeführt werden, sondern als Auswahlliste. An einem Beispiel der deskriptiven Studie ist dies in Bild demonstriert. Links sind die kundenrelevanten Eigenschaften und Ausprägungen aufgeführt, die die drei Displaytypen bestimmen, rechts die kundenrelevanten Eigenschaften, die frei konfigurierbar sind, wie beispielsweise ein optionales mechanisches Schloss, mit dem alle drei Typen zusätzlich ausgestattet werden können. Dies ist nicht nur bei einer hohen Anzahl von Produktvarianten zweckmäßig, sondern auch wenn der auskombinierte Teil des Vielfaltsbaumes beworbene Produkttypen repräsentieren soll und der nicht auskombinierte Teil die freie Konfigurierbarkeit verdeutlichen soll.

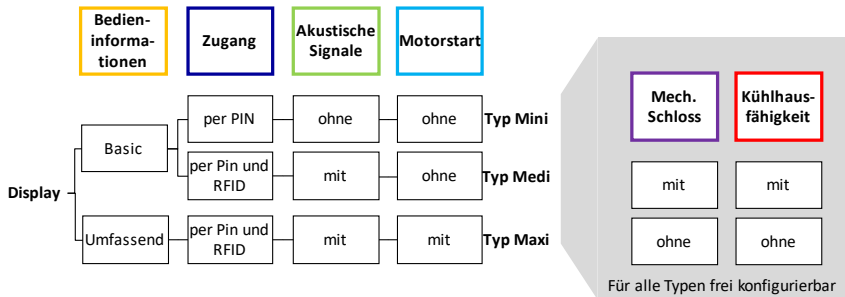


Bild B-2: Vielfaltsbaum mit neu entwickelter Erweiterung durch frei konfigurierbare Eigenschaften als Auswahlliste

Weiteres Potenzial zur Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit besteht bezüglich des Erstellungsaufwandes des VAM (Bild 3-5). Die Erfassung und Verknüpfung von Funktionen und Wirkprinzipien erzeugen einen hohen Aufwand und bilden in einigen Fällen den tatsächlichen Ursprung der Varianz wie zum Beispiel unterschiedliche Längenmaße nicht eindeutig ab. Eine Weiterentwicklung auf Basis der im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnis, bei der die Ebenen der Funktionen und Wirkprinzipien durch eine Ebene der technischen Merkmale ersetzt wird, ist entsprechend erarbeitet und veröffentlicht worden [Geb12]. Diese wird im Folgenden auch bei den in dieser Arbeit entstandenen VAM-Darstellungen berücksichtigt. Außerdem wird die in Bild dargestellte Symbolik in dieser Arbeit auf die Darstellung angewendet.

Auch das MPC (Bild B-3) wird dahingehend weiterentwickelt, dass die neue Symbolik (Bild B-1) angewendet wird. Dadurch wird sichtbar, inwiefern die einzelnen Module in den Produktlebensphasen variante, optionale oder Standardmodule sind. So sieht man

am Beispiel des Anzeigeräts, wie aus der Zusammenführung von den Standardkomponenten Transponderreader, Heizwiderstände, Summer, Uhr und Relais mit den varianten Komponenten Platine, Gehäuse, Tastaturschale und Stecker Display ein großes variantes Modul entsteht.

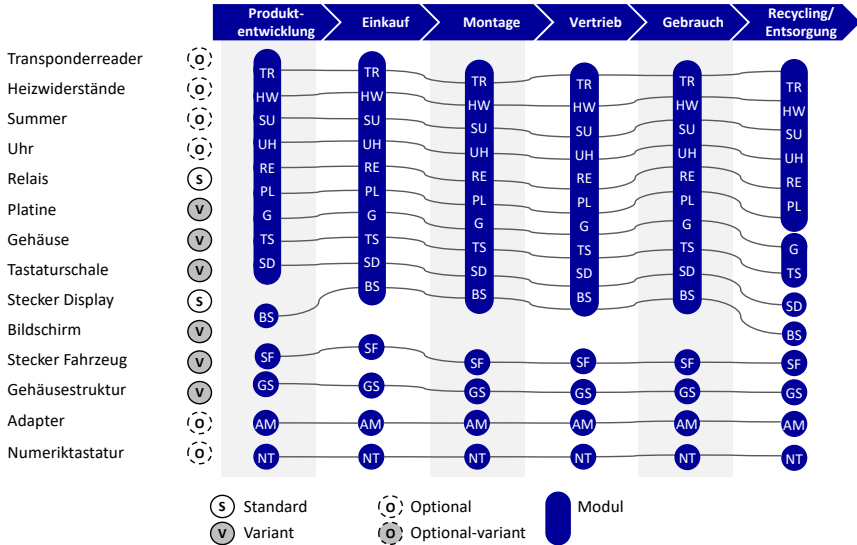


Bild B-3: MPC mit weiterentwickelter Symbolik

C Darstellungen zum Validierungsbeispiel der Flurförderzeuglinien A,B,C

Tabelle C-1: Primäre Merkmale und Eigenschaften zur Ermittlung von Carryover-Kandidaten

		Klassifikation		
		Primäre Merkmale/ Eigenschaften		
Komponente	Hubkonzept	Fahr-/Bedienkonzept	Energieversorgung	
1	Hydraulikaggregat	Hubhöhe 6500mm Nennlast 2t		
1	Hydraulikaggregat	Hubhöhe 122mm Nennlast 2,5t		
1	Hydraulikaggregat	Hubhöhe 2900mm Nennlast 1,2t		
1	Hydraulikaggregat	Hubhöhe 2500mm Nennlast 2t		
2	Elektrische Anlage	Mittlerer Einsatz		24V
2	Elektrische Anlage	Leichter-mittl. Einsatz		24V
3	Fahrtrieb			4,5kW
3	Fahrtrieb	Getriebeart S		kleine Leistung
3	Fahrtrieb	Getriebeart S		mittlere Leistung
3	Fahrtrieb	Getriebeart K		große Leistung
4	Bremse	elektrisch/mechanisch		
4	Bremse	großes Moment		
4	Bremse	kleines Moment		
5	Lenkantrieb			
6	Lenksäule	Lenkrad		
6	Lenksäule	Mitgänger		
6	Lenksäule	Mitfahrer		
7	Hubgerüst	Hubhöhe bis 6500mm		
7	Hubgerüst	Hubhöhe bis 6500mm		
7	Hubgerüst	Hubhöhe bis 2900mm		
7	Hubgerüst	Hubhöhe bis 2560mm t		
8	Lastenschutzgitter			
9	Display			
10	Gegengewicht	Nennlast 2t		
11	Grundrahmen	Hochhub	Hohe Umschlagleistung sitzend	
11	Grundrahmen	Niederhub	Kurzstrecke laufend	
11	Grundrahmen	Niederhub	Mittel- bis Langstrecke laufend/stehend	
11	Grundrahmen	Hochhub	Kurzstrecke laufend	
12	Lastrahmen	Hubhöhe 122mm		
12	Lastrahmen	Hubhöhe 2560mm		
13	Batterieanschluss	Hochhub		Batterietür
13	Batterieanschluss	Niederhub		Batteriehaube
13	Batterieanschluss	Hochhub		Batteriehaube
14	Batterieabdeckung	Hochhub		Entnahme zur Seite
14	Batterieabdeckung	Niederhub		
14	Batterieabdeckung	Niederhub		
14	Batterieabdeckung	Hochhub		
14	Batterieabdeckung	Doppelstock		
15	FSD Stahlbau			
15	FSD Stahlbau			
16	Seitenscheiben			
17	Frontscheibe			
18	Heckscheibe			
19	FSD Tür			
20	FSD Innenraum			
21	Beleuchtung vorne			
22	Beleuchtung hinten			
23	Armatur	Langstrecke sitzen		
23	Armatur	Kurzstrecke		
23	Armatur	Mittelstrecke		
24	Bedienelemente	Licht, Scheiben, Hub		
24	Bedienelemente			
24	Bedienelemente	Masthubbedienung u. Initialhubbedienung		
25	MFA	Solo/Multipilot		
26	Räder vorn	Hohe Umschlagleistung, klein		
26	Räder vorn	Mittelstrecke		
26	Räder vorn	Mittel- bis Langstrecke		
27	Räder hinten	Kurzstrecke		

		Klassifikation		
		Primäre Merkmale		
Module	Hubkonzept	Fahr-/Bedienkonzept	Energieversorgung	
27	Räder hinten		Mittel- bis Langstrecke	
28	Radarmhebel	Nennlast 2,5t	Anzahl der Lasträder: einfach	
28	Radarmhebel	Nennlast 2t	Anzahl der Lasträder: Tandem FX-Rolle	
29	Fronthaube		Fahrzeugbreite 720mm	
29	Fronthaube		Fahrzeugbreite 770mm	
30	Koppelschwinge		Fahrzeugbreite 720mm	
30	Koppelschwinge		Fahrzeugbreite 770mm	
31	Initialhubzylinder	Initialhub 122mm		
32	Antriebsabdeckung		Antriebsposition A	
32	Antriebsabdeckung		Antriebsposition B	
33	Druckstange	Gabellänge: 800-2400mm		
33	Druckstange	Gabellänge: 1000-2400mm		
33	Druckstange	Gabellänge: 1190mm		
34	Rückhalteinrichtung			
35	Standplattform		klappbar	
36	Amatur		Schnittstellen FSD-Stahlrahmen	
36	Amatur		Schnittstellen Grundrahmen 1	
36	Amatur		Schnittstellen Grundrahmen 2	
36	Amatur		Schnittstellen Grundrahmen 3	

Tabelle C-2: Zugkräfte der Produktlinien B und C

Richtung	Rolle	Ziel
Differenzierung	Arbeitsvorbereitung	Änderungsaufwand
Differenzierung	Einkauf	Änderungshäufigkeit mit Risiko und Kosten
Differenzierung	Einkauf	Preis der Transportmittel
Differenzierung	Entwicklung	Änderungszeiten, Änderungsaufwand
Differenzierung	Portfoliomanagement	Differenzierung der Baureihen
Differenzierung	Qualität	Qualitätsprobleme - Auswirkung
Kommunalität	Arbeitsvorbereitung	Aufwand beim Erstellen der Arbeitspläne
Kommunalität	Disposition / Logistik	Aufwand im Abstimmungsprozess
Kommunalität	Disposition / Logistik	Bereitstellungsaufwand
Kommunalität	Disposition / Logistik	Bestellprozesse
Kommunalität	Disposition / Logistik	Fehlergefahr
Kommunalität	Disposition / Logistik	Lagerplatzgröße
Kommunalität	Disposition / Logistik	Mitarbeiterqualifikation und Anlernen
Kommunalität	Disposition / Logistik	Rüstzeiten
Kommunalität	Disposition / Logistik	Standardgebinde
Kommunalität	Disposition / Logistik	Taktverluste
Kommunalität	Disposition / Logistik	variante Einbaulage/Anlieferlage
Kommunalität	Disposition / Logistik	Wareneingangsprozesse
Kommunalität	Einkauf	Anfrageaufwand
Kommunalität	Einkauf	Bündelung der Anfragen
Kommunalität	Einkauf	gleiche Materialien, Werkzeuge, Verfahren
Kommunalität	Einkauf	günstiger Einkauf
Kommunalität	Einkauf	Verhandlungsposition
Kommunalität	Entwicklung	Dokumentation
Kommunalität	Entwicklung	Nachweis & Test -> Alle Einsatzfälle abdecken
Kommunalität	Fertigung und Montage	Anzahl der Schweißprogramme
Kommunalität	Fertigung und Montage	Anzahl der Vorrichtungen
Kommunalität	Fertigung und Montage	Arbeitsplatzgröße
Kommunalität	Fertigung und Montage	Aufwand im Abstimmungsprozess
Kommunalität	Fertigung und Montage	Eine Grundvariante - Optionale Schweißprozesse -> Planbarkeit
Kommunalität	Fertigung und Montage	Fehlergefahr
Kommunalität	Fertigung und Montage	Fehlteile/ Produktionsflexibilität
Kommunalität	Fertigung und Montage	Gleiche Vorrichtungen: Flexibilität, Kapazitätsspitzen, Redundanz, Lernkurveneffekt, Entwicklungsaufwand
Kommunalität	Fertigung und Montage	Handlingszeit
Kommunalität	Fertigung und Montage	Mitarbeiterqualifikation und Anlernen
Kommunalität	Fertigung und Montage	Prozesskomplexität für manuelle Prozesse
Kommunalität	Fertigung und Montage	Rüstzeiten
Kommunalität	Fertigung und Montage	Schweißzeit
Kommunalität	Fertigung und Montage	Standardgebinde
Kommunalität	Fertigung und Montage	Taktverluste
Kommunalität	Fertigung und Montage	standardisierte Einbaulage/Anlieferlage
Kommunalität	Fertigung und Montage	Vorrichtungskomplexität
Kommunalität	Fertigung und Montage	Weniger Spreizung in der Schweißzeit / Alternativ gleiche Schweißnahtlängen
Kommunalität	Portfoliomanagement	Preistransparenz der Optionen
Kommunalität	Qualität	Änderungszeiten, Änderungsaufwand
Kommunalität	Qualität	Anzahl Freigaben
Kommunalität	Qualität	Aufwand Produktaudits Schweißteile
Kommunalität	Qualität	- Arbeitsstunden/Audits
Kommunalität	Qualität	Betreuung der Vorrichtungen und Werkzeuge
Kommunalität	Qualität	Bemusterungsaufwand
Kommunalität	Qualität	Fehlverbau
Kommunalität	Qualität	Stabile Prozesse (Lernkurve)
Kommunalität	Qualität	Verwechslungsgefahr, konkreter eigener Vorschlag; konsequent poka yoke
Kommunalität	Qualität	Wareneingang - Prüfpläne, Risikoanalyse
Kommunalität	Qualität	Wareneingang - Stichprobenanzahl
Kommunalität	Qualität	Zeichnungsaufwand
Kommunalität	Service	Anzahl Varianten im Lager
Kommunalität	Service	Aufwand Ersatzteilemanagement
Kommunalität	Service	Nachrüstbarkeit
Kommunalität	Service	Servicevarianten
Kommunalität	Service	Trainings- und Beschreibungsaufwand
Kommunalität	Service	Werkzeuge

Generische Module		B			C	Anzahl Varianten	Konzept 1		
		P.F.B.3	P.F.B.4	P.F.C.4	P.F.C.4		F _{ges} -Konzept 1	F _{PF} -Konzept 1	F _{PL} -Konzept 1
1	Wand	W	S	S	S	2	2	1	1
2	Träger links	TL	S	S	S	1	1	1	1
3	Träger rechts	TR	S	S	S	1	1	1	1
4	Schürze	S	S	S	S	2	2	1	1
5	Seitenteil links	SL	S	S	S	3	2	1	1
6	Seitenteil rechts	SR	S	S	S	3	2	1	1
7	Aufnahme rechts	AR	S			1	1	0	0
8	Aufnahme links	AL	S			1	1	0	0
9	Bodenblech links	BBL	S	S	S	2	2	1	1
10	Bodenblech rechts	BBR	S	S	S	2	2	1	1
11	Halter links	HL	S	S	S	1	1	1	1
12	Halter rechts	HR	S	S	S	1	1	1	1
13	Querträger 1	Q1	S	V	V	2	1	1	1
14	Längsträger links	LL	O	O	O	1	1	1	1
15	Längsträger rechts	LR	O	O	O	1	1	1	1
16	Knotenblech	KB	O	O	O	1	1	1	1
17	Querträger 2	Q2	O	O	O	1	1	1	1
18	Blech links	BL	O	O	O	1	1	1	1
19	Blech rechts	BR	O	O	O	1	1	1	1
20	Halter Wand links	HWL			O	1	1	0	0
21	Halter Wand rechts	HW R			O	1	1	0	0
Σ						30	27	17	17

Standard

Variant

Optional

Optional-variant

kein Carryover

Carryover

Carryover mit

Starke modulare Kopplung

Bild C-1: Ermittlung von CS für das Grundrahmen-Konzept 1

Generische Module			Konzept 2							
			B			C	Anzahl Varianten	F _{ges} -Konzept 2	F _{PF} -Konzept 2	F _{FL} -Konzept 2
			PF B.3	PF B.4	PF C.4					
1	Wand	W	S	S	S	2	2	1	1	
2	Träger links	TL	S → S	S	S	1	1	1	1	
3	Träger rechts	TR	S	S → S	S	1	1	1	1	
4	Schürze	S	S	S	S	1	1	1	1	
5	Seitenteil links	SL	S	S	S	1	1	1	1	
6	Seitenteil rechts	SR	S	S	S	1	1	1	1	
22	Verlängerung SL	VSL	S	V	V	3	2	1	1	
23	Verlängerung Sr	VSR	S	V	V	3	2	1	1	
7	Aufnahme rechts	AR	S			1	1	0	0	
8	Aufnahme links	AL	S			1	1	0	0	
9	Bodenblech links	BBL	S	S	S	2	2	1	1	
10	Bodenblech rechts	BBR	S	S	S	2	2	1	1	
11	Halter links	HL		S	S	1	1	1	1	
12	Halter rechts	HR		S	S	1	1	1	1	
13	Querträger 1	Q1	S	V	V	2	1	1	1	
14	Längsträger links	LL		O	O	1	1	1	1	
15	Längsträger rechts	LR		O	O	1	1	1	1	
16	Knotenblech	KB		O	O	1	1	1	1	
17	Querträger 2	Q2		O	O	1	1	1	1	
18	Blech links	BL		O	O	1	1	1	1	
19	Blech rechts	BR		O	O	1	1	1	1	
20	Halter Wand links	HWL			O	1	1	0	0	
21	Halter Wand rechts	HWR			O	1	1	0	0	
			Σ			31	28	19	19	

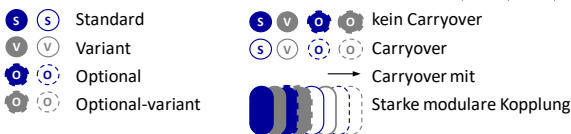


Bild C-2: von CS für das Grundrahmen-Konzept 2

Generische Module		B			C	Anzahl Varianten	Konzept 3		
		PF_B.3	PF_B.4	PF_C.4	F _{ges.konzept 3}		F _{PF.konzept 3}	F _{PL.konzept 3}	
1	Wand	W	S	S	S	2	2	1	1
2	Träger links	TL	S	S	S	1	1	1	1
3	Träger rechts	TR	S	S	S	1	1	1	1
4	Schürze	S	S	S	S	1	1	1	1
5	Seitenteil links	SL	S	S	S	1	1	1	1
6	Seitenteil rechts	SR	S	S	S	1	1	1	1
22	Verlängerung SL	VSL	S	V	V	3	2	1	1
23	Verlängerung Sr	VSR	S	V	V	3	2	1	1
7	Aufnahme rechts	AR	S			0	1	0	0
8	Aufnahme links	AL	S			0	1	0	0
9	Bodenblech links	BBL	S	S	S	1	1	1	1
10	Bodenblech rechts	BBR	S	S	S	1	1	1	1
11	Halter links	HL	S	S	S	1	1	1	1
12	Halter rechts	HR	S	S	S	1	1	1	1
13	Querträger 1	Q1	S	V	V	2	1	1	1
14	Längsträger links	LL	O	O	O	1	1	1	1
15	Längsträger rechts	LR	O	O	O	1	1	1	1
16	Knotenblech	KB	O	O	O	0	0	0	0
17	Querträger 2	Q2	O	O	O	0	0	0	0
18	Blech links	BL	O	O	O	0	0	0	0
19	Blech rechts	BR	O	O	O	0	0	0	0
20	Halter Wand links	HWL		O	O	1	1	0	0
21	Halter Wand rechts	HW R		O	O	1	1	0	0
Σ						23	22	15	15

Standard
 Variant
 Optional
 Optional-variant

kein Carryover
 Carryover
 Carryover mit
 Starke modulare Kopplung

Bild C-3: Ermittlung von CS für das Grundrahmen-Konzept 3

Literatur

- [Ali06] Alizon F.; Shooter S.B.; Simpson T.W.: „Assessing and improving commonality and diversity within a product family“, ASME International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, Pennsylvania, USA, 2006.
- [Ali09] Alizon, F.; Shooter, S. B.; Simpson, T. W.: „Assessing and improving commonality and diversity within a product family“, Research in Engineering Design, Vol. 20 (4), 2009, S. 241–253.
- [Ali10] Alizon, F.; Shooter, S. B.; Simpson, T. W.: „Recommending a platform leveraging strategy based on the homogeneous or heterogeneous nature of a product line“, Journal of Engineering Design, Vol. 21 (1), 2010, S. 93-110.
- [And04] Andreasen, M. M.; Mortensen N. H.; Harlou, U.: „Multi Product Development: New models and concepts“, Design for X. - 15. Symposium Neukirchen, Erlangen, 2004, S. 75–85.
- [Bal00] Baldwin, C. Y.; Clark, K. B.: „Design rules“, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2000.
- [Bec14] Beckmann, G.; Gebhardt, N.; Krause, D.: „Transfer of Methods For Developing Modular Product Families into Practice - An Interview Study“, 13th International Design Conference - Design 2014, Dubrovnik, 2014, S. 121 - 130.
- [Bla97] Blankenburg, D.: „Procedures of product program development“, World class design by world class methods. Proceedings of the 11th International Conference on Engineering Design in Tampere – ICED97, Tampere, 1997, pp. 111–114.
- [Bla99] Blankenburg, D.: „Support concurrent engineering through product program“, SCS European Concurrent Engineering Conference (ECEC), Erlangen, 1999, S. 19-28.

- [Ble07] Blecker, T.; Abdelkafi, N.: „The Development of a Component Commonality Metric for Mass Customization“, IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 54 (1), 2007, S. 70–85.
- [Ble09] Blessing, L. T. M.; Chakrabarti, A.: „DRM, a Design Research Methodology“, Springer London, London, 2009.
- [Ble10] Bleses, C.; Kipp, T.; Beckmann, G.; Krause, D.: „Development of Modular Product Families: Integration of Design for Variety and Modularization“, Proceedings of norddesign2010, Göteborg, 2010, S. 159–168.
- [Ble11] Bleses, C.: „Eine Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien“, Dissertation TU Hamburg-Harburg, TuTech Verlag, Hamburger Schriftenreihe Produktentwicklung und Konstruktionstechnik, Band 3, Hamburg, 2011.
- [Bro14] Brosch, M.: „Eine Methode zur Reduzierung der produktvarianteninduzierten Komplexität“, Dissertation TU Hamburg-Harburg, TuTech Verlag, Hamburger Schriftenreihe Produktentwicklung und Konstruktionstechnik, Band 7, Hamburg, 2014.
- [Col81] Collier, D. A.: „The measurement and operating benefits of component part commonality“, Decision Sciences, Vol. 12(1), 1981, S. 85–96.
- [Del06] Dellanoi, R.: „Kommunalitäten bei der Entwicklung variantenreicher Produktfamilien“. Dissertation, Difo-Druck GmbH, Bamberg, 2006.
- [DIN02] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: „DIN 199-1 – CAD-Modelle, Zeichnungen und Stücklisten“, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2002.
- [Ehr13] Ehrlenspiel, K.; Meerkamm, H.: „Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit“, Hanser, München, 2013.
- [Eil11] Eilmus, S.; Beckmann, G.; Krause, D.: „Modulare Produktstrukturen methodisch in Unternehmen umsetzen - Entwicklung von Standardumfängen und Integration von Erfahrungswissen“, Design for X, Beiträge zum 22. DfX-Symposium, Tutzing, 2011, S. 99-118.
- [Eil12a] Eilmus, S.; Gebhardt, N.; Rettberg, R.; Krause, D.: „Evaluating a methodical approach for developing modular product families in industrial case studies“, 12th International Design Conference - Design 2012, Dubrovnik, 2012, S. 837-846.
- [Eil12b] Eilmus, S.; Krause, D.: An Approach for reducing Variety across Product Families. 9th Norddesign Conference, Aalborg, 2012.
- [Eil13a] Eilmus, S.; Ripperda, S.; Krause, D.: „Towards the development of common product programs“, 19th International Conference on Engineering Design, ICED13, Seoul, 2013, S. 209-218.

- [Eil13b] Eilmus, S.; Krause, D.: „Product Life-oriented Development of Component Commonality and Variety“, Proceedings of the ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, IMECE2013, San Diego, S. V012T13A065, 2013.
- [Eil17] Eilmus, S.; Gumpinger, T.; Kipp, T.; Sankowski, O.; Krause, D.: „Early Phase Estimation of Variety Induced Complexity Cost Effects – A Study on Industrial Cases in Germany“, Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems, Springer, 2017, S. 271-303.
- [Epp12] Eppinger, S. D.; Browning, T. R.: „Design structure matrix methods and applications“, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2012.
- [Ere96] Erens, F. J.: „The Synthesis of Variety - Developing Product Families“, Dissertation TU Eindhoven, University press TU Eindhoven, 1996.
- [Eri98] Erixon, G.: „Modular function deployment. a method for product modularisation“, Dissertation, The Royal Inst. of Technology, Dept. of Manufacturing Systems, Assembly Systems Division, Stockholm, 1998.
- [Fel04] Fellini, R.; Kokkolaras, M.; Michelena, N.; Papalambros, P.; Perez-Duarte, A.; Saitou, K.; Fenyés, P.: „A sensitivity-based commonality strategy for family products of mild variation, with application to automotive body structures“, Structural and Multidisciplinary Optimization, Vol. 27, 2004, S.89-96.
- [Fel06] Fellini, R.; Kokkolaras, M.; Papalambros, P. Y.: „Commonality Decisions in Product Family Design“, Product platform and product family design. Methods and applications. Springer, New York, 2006, S. 157–185.
- [Fir03] Firchau, N. L.: „Variantenoptimierende Produktgestaltung“. Dissertation, Cuvillier, Göttingen, 2003.
- [Fix07] Fixson, S. K.: „Modularity and Commonality Research: Past Developments and Future Opportunities“, Concurrent Engineering, Vol. 15(2), 2007, S. 85–111.
- [Fra02] Franke, H.-J.: „Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung“, Hanser, München, 2002.
- [Fuj06] Fujita, K.: „Product Variety Optimization“, Product platform and product family design. Methods and applications, Springer, New York, 2006, S. 186–223.
- [Geb12] Gebhardt, N.; Malone, K.; Krause, D.: „Nutzung von „Merkmalen“ und „Eigenschaften“ zur Beschreibung und Analyse von Produktvarianz“, Design for X - Beiträge zum 23. DfX-Symposium, Bamberg, 2012.

- [Geb14] Gebhardt, N.; Bahns, T., Krause, D.: „An example of visually supported design of modular product families“, 24rd CIRP Design Conference, Milano, 2014, S.75-80.
- [Göp98] Göpfert, J.: „Modulare Produktentwicklung. Zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation“, Dissertation, Dt. Univ.-Verl., Wiesbaden, 1998.
- [Gum11] Gumpinger, T.; Jonas, H.; Krause, D.: „Leichtbau im Zusammenspiel mit modular gestalteten Produktfamilien“, Lightweight Design, Springer, Vol. 4, 2011, S. 38-43.
- [Gum15] Gumpinger, T.: „Modulleichtbau - Methodische Unterstützung des Leichtbaus modularer Produktfamilien“, Dissertation TU Hamburg-Harburg, TuTech Verlag, Hamburger Schriftenreihe Produktentwicklung und Konstruktionstechnik, Band 11, Hamburg, 2015.
- [Hac13] Hackl, J.; Gumpinger, T.; Rüegg, U.; Krause, D.: „Multi-domain modeling with graph databases“, 15th International DSM Conference, DSM 13, Melbourne, 2013, S. 46-54.
- [Hac14] Hackl, J.; Gumpinger, T.; Krause, D.: „Generating a Meta-model for Modularization Methods“, 13th International Design Conference - Design 2014, Dubrovnik, 2014, S. 821 - 830.
- [Hal14] Halfmann, N.: „Montagegerechtes Produktstrukturieren im Kontext einer Lebensphasen-Modularisierung“, Dissertation TU Hamburg-Harburg, TuTech Verlag, Hamburger Schriftenreihe Produktentwicklung und Konstruktionstechnik, Band 6, Hamburg, 2014.
- [Har06] Harlou, U.: „Developing product families based on architectures. Contribution to a theory of product families“, Dissertation, Department of Mechanical Engineering, Technical University of Denmark, Lyngby, 2006.
- [Hau13] Haug, A.; Hvam, L.; Mortensen, N. H.: „Reducing variety in product solution spaces of engineer-to-order companies: the case of Novenco A/S“, International Journal of Product Development, Vol. 18 (6), 2013, 18; S. 531-547.
- [Hei99] Heina, J.: „Variantenmanagement. Integrierte Kosten-Nutzen-Bewertung zur Optimierung der Variantenvielfalt“, Dissertation, Dt. Univ.-Verl., Wiesbaden, 1999.
- [Hof01] Hofer, A.P.: „Management von Produktfamilien: Wettbewerbsvorteile durch Plattformen“, Dissertation, Universität St. Gallen, 2001.

- [Höl03] Hölttä, K.; Tang, V.; Warren, S. P.: „Modularizing Architectures Using Dendrograms“, ICED - International conference on engineering design, Stockholm, 2003.
- [Höl05a] Hölttä, K.; Otto, K.: „A multi-criteria framework for screening preliminary product platform concepts“, Proceedings of ASME Design Engineering, Salt Lake City, 2005.
- [Höl05b] Hölttä, K. M.; Otto, K. N.: „Incorporating design effort complexity measures in product architectural design and assessment“, Design Studies, Vol. 26, S. 463–485.
- [Höl05c] Hölttä-Otto, K.: „Modular Product Platform Design“. Helsinki University of Technology, Helsinki, 2005.
- [Jen06] Jensen, T.; Hildre, H. P.: „The Corporate Platform - a Model to Create a Product Program“, Proceedings of NordDesign 2006 Conference, Reykjavik, Iceland, 2006, S. 191–200.
- [Jes97] Jeschke, A.: „Beitrag zur wirtschaftlichen Bewertung von Standardisierungsmaßnahmen in der Einzel- und Kleinserienfertigung durch die Konstruktion“, Dissertation, Institut für Konstruktionslehre, Maschinen- und Feinwerkelemente, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, 1997.
- [Jia00a] Jiao, J.; Tseng, M.: „Fundamentals of product family architecture“, Integrated Manufacturing Systems, Vol. 11, 2000, S. 469–483.
- [Jia00b] Jiao, J.; Tseng, M.: „Understanding product family for mass customization by developing commonality indices“, Journal of Engineering Design, Vol. 11, 2000, S. 225–243.
- [Joh10] Johnson, M; Kirchain, R: „Developing and Assessing Commonality Metrics for Product Families: A Process-Based Cost-Modeling Approach“, IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 57, 2010, S. 634–648.
- [Jon12] Jonas H., Gebhardt N., Krause D.: „Towards a strategic development of Modular Product Programs“, 12th International Design Conference - Design 2012, Dubrovnik, 2012, S. 959 - 968.
- [Jon13] Jonas, H.: „Eine Methode zur strategischen Planung modularer Produktprogramme“, Dissertation TU Hamburg-Harburg, TuTech Verlag, Hamburger Schriftenreihe Produktentwicklung und Konstruktionstechnik, Band 6, Hamburg, 2013.
- [Ker14] Kersten, W.; von See, B.; Skirde, H.: „Prozesse: Megatrends treiben Komplexität“, LogiMAT Daily, 10.02.2015, 2015.

- [Kip10] Kipp, T.; Bles, C.; Krause, D.: „Anwendung einer integrierten Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien“, Design for X. Beiträge zum 21. DfX-Symposium, TuTech Verlag, Hamburg, 2010; S. 157–168.
- [Kip12] Kipp, T.: „Methodische Unterstützung der variantengerechten Produktgestaltung“, Dissertation TU Hamburg-Harburg, TuTech Verlag, Hamburger Schriftenreihe Produktentwicklung und Konstruktionstechnik, Band 4, Hamburg, 2012.
- [Kis12] Kissel, M.; Bradford, N.; Kreimeyer, M.; Lindemann, U.: „Product Structure Management as the Backbone of Engineering Design: Exploration of a Reference Model“, International Design Conference DESIGN 2012, Zagreb, S. 1709- 1718.
- [Koh96] Kohlhase, N.; Birkhofer, H.: „Development of Modular Structures: The Prerequisite for Successful Modular Products“, Journal of Engineering Design, Vol. 7(3), 1996.
- [Koh97] Kohlhase, N.: „Strukturieren und Beurteilen von Baukastensystemen. Strategien, Methoden, Instrumente“, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 1, Band 275, VDI Verlag, Dusseldorf, 1997.
- [Kom98] Komorek, C.: „Integrierte Produktentwicklung“, Dissertation, Steuer- und Wirtschaftsverlag, Berlin, 1998.
- [Kot00] Kota, S.; Sethuraman, K.; Miller, R.: „A Metric for Evaluating Design Commonality in Product Families“, Journal of Mechanical Design, Vol. 122(4), 2000, S. 403–410.
- [Kra11a] Krause, D.; Eilmus, S.: „Methodical Support for the Development of Modular Product Families“, The Future of Design Methodology, Springer Berlin, 2011, S. 35-45.
- [Kra11b] Krause, D.; Eilmus, S.: „A Methodical Approach for Developing Modular Product Families“, Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design, ICED 11, Copenhagen, 2011, S. 299-308.
- [Kra12] Krause, D., Kipp, T., Bles, C.: „Modulare Produktstrukturierung“, Handbuch Konstruktion, Hanser, München, 2012, S. 657-678.
- [Kra13a] Krause, D.; Eilmus, S., Jonas, H.: „Developing Modular Product Families with Perspectives for the Product Program“, Smart Product Engineering - 23rd CIRP Design Conference, Springer, Bochum, 2013, S. 543-552.
- [Kra13b] Krause, D.; Ripperda, S.: „An assessment of methodical Approaches to support the development of modular product families“, 19th International Conference on Engineering Design, ICED 13, Seoul, 2013.

- [Kra14] Krause, D.; Beckmann, G.; Eilmus, S.; Gebhardt, N.; Jonas, H.; Rettberg, R.: „Integrated Development of Modular Product Families: A Methods Toolkit“, *Advances in product family and product platform design. Methods & applications*, Springer, New York, 2013; S. 245–269.
- [Kri05] Kristjansson, A. H.: „Platform Assessment Matrix (PAMatrix): A Method to Support Decision Making on Product Platforms“, *Dissertation*, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 2005.
- [Lei13] Lechnitz, J.; Eilmus, S.: „Methoden für die Entwicklung modularer Produkte bei der Jungheinrich AG“, *Design for X, Beiträge zum 24. DfX-Symposium*, Hamburg, 2013, S. 153-161.
- [Lin06] Lindemann, U.; Reichwald, R.; Zäh, M. F.: „Individualisierte Produkte - Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion“, Springer, New York, 2006.
- [Lin09] Lindemann, U.; Maurer, M.; Braun, T.: „Structural Complexity Management. An Approach for the Field of Product Design“, Springer, Berlin, 2009.
- [Lin12] Lindschou Hansen, C. et al.: „Calculation of Complexity Costs – An Approach for Rationalizing a Product Program“, *Proceedings of Norddesign 2012*, Aalborg, 2012.
- [Mar96] Martin M.V; Ishii R.: „Design for Variety: A Methodology for understanding the costs of product proliferation“, *ASME Design Engineering Technical Conference Proceedings*, Irvine, CA, 1996.
- [Mar97] Martin, M; Ishii, K.: „Design for variety: development of complexity indices and design charts“, *Proceedings of ASME Design Engineering Technical Conferences*, Sacramento, CA, 1997.
- [Mar02] Martin, M.; Ishii, K.: „Design for variety: developing standardized and modularized product platform architectures“, *Research in Engineering Design*, Vol.13, 2002, S. 213–235.
- [McA02] McAdams, D; Wood, K.: „A Quantitative Similarity Metric for Design-by-Analogy“, *Journal of Mechanical Design*, Vol. 124, 2002, S. 173–182.
- [Mes04] Messac, A.; Martinez, M.; Simpson, T.: „Introduction of a Product Family Penalty Function Using Physical Programming“, *Journal of Mechanical Design*, Vol. 124, 2004, S. 164-172.
- [Mey97] Meyer, M. H.; Lehnerd, A. P.: „The power of product platforms. Building value and cost leadership“, *Free Press*, New York, 1997.

- [Mos76] Moscato, D.: „The application of the entropy measure to the analysis of part commonality in a product line“, In International Journal of Production Research, Vol. 14, 1976, S. 401–406.
- [Mül00] Müller, M.: „Management der Entwicklung von Produktplattformen“, Dissertation, Universität St. Gallen, DiFo-Druck, Bamberg, 2000.
- [Pah07] Pahl, G.; Beitz, W.: „Konstruktionslehre. Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung“, Springer, Berlin, 2007.
- [Pim94] Pimpler T.U., Eppinger S.D.: „Integration Analysis of Product Decompositions“, in: Design Theory and Methodology Conference, DTM'94, Minneapolis, 1994, S.343-351.
- [Pir11] Pirmoradi, Z.; Wang, G. G.: „Recent Advancements in Product Family Design and Platform-Based Product Development: A Literature Review“, ASME Proceedings on IDETC/CIE 2011, Washington D.C., 2011, S. 1041–1055.
- [Pla15] Plaumann, B.: „Systemanalyse und -synthese für die Auslegung variabler Leichtbaustrukturen unter dynamischen Lasten“, Dissertation TU Hamburg-Harburg, TuTech Verlag, Hamburger Schriftenreihe Produktentwicklung und Konstruktionstechnik, Band 10, Hamburg, 2015.
- [Rei02] Reitan, J.; Stormo, S.; Aasland, K.: „Redesigning Product Programs Focusing On Variety, Complexity and Commonality“, Proceeding of the 7th International Design Conference, Design 2002, Zagreb, 2002, S. 235–239.
- [Ren07] Renner, I.: „Methodische Unterstützung funktionsorientierter Baukastenentwicklung am Beispiel Automobil“, Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen, Technische Universität München, München, 2007.
- [Rip13] Ripperda, S.; Krause, D.: „Komplexitätskosteneffekte modularer Produktfamilien“, Design for X, Beiträge zum 24. DfX-Symposium, Hamburg, 2013, S. 13-24.
- [Rob98] Robertson, D.; Ulrich, K.: „Planning for product platforms. Sloan management Review, Volume 39 (4), 1998, S. 19–31.
- [Roß08] Roß, J.-M.: „Umsetzung einer Gleichteile-Strategie zwischen den internationalen Konzernmarken von Daimler Trucks, Fallstudien zum Internationalen Management.Grundlagen, Praxiserfahrungen, Perspektiven, Gabler, Wiesbaden, 2008, S. 207–224.
- [Rup88] Rupp, M.: „Produkt/Markt Strategien – Handbuch zur marktsicheren Produkt und Sortimentsplanung in Klein- und Mittelunternehmen der Investitionsgüterindustrie“, Verlag Industrielle Organisation, Zürich, 1988.

- [Sal07] Salvador, F.: „Toward a Product System Modularity Construct: Literature Review and Reconceptualization“, *Transactions on Engineering Management*, Vol. 54, 2007; S. 219–240.
- [Sch02] Schichtel, M.: „Produktdatenmodellierung in der Praxis“, Carl Hanser Fachbuchverlag, München, 2002.
- [Sch05] Schuh, G.: „Produktkomplexität managen“, Hanser, München, 2005.
- [Sek05] Sekolec, R.: „Produktstrukturierung als Instrument des Variantenmanagements in der methodischen Entwicklung modularer Produktfamilien“, Dissertation ETH Zürich, VDI Verlag, Düsseldorf, 2005.
- [Sid98] Siddique Z.; Rosen D.; Wang N.: „On the applicability of product variety design concepts to automotive platform commonality“, *Proceedings of ASME Design Engineering Technical Conferences-Design Theory and Methodologies*, Atlanta, GA; 1998.
- [Sim01] Simpson, T.; Seepersad, C; Mistree, F.: „Balancing Commonality and Performance within the Concurrent Design of Multiple Products in a Product Family“, *Concurrent Engineering*, Vol. 9, 2001, S. 177–190.
- [Sim06] Simpson, T.W.; Siddique, Z.; Jiao, J.: „Product platform and product family design. Methods and applications“, Springer, London, 2006.
- [Sim12] Simpson, T. W. et al.: „From user requirements to commonality specifications: an integrated approach to product family design“, *Research in Engineering Design*, Vol. 23, 2012, S. 141–153.
- [Sto97] Stone, R. B.: „Towards a Theory of Modular Design“, University of Texas at Austin, Austin, Texas, 1997.
- [The07] Thevenot, H. J.; Simpson, T. W.: „A comprehensive metric for evaluating component commonality in a product family“, *Journal of Engineering Design*, Vol. 18, 2007, S. 577–598.
- [Tho00] Thonemann, U. W.; Brandeau, M. L.: „Optimal Commonality in Component Design“. *Operations Research*, Vol. 48, 2000, S. 1–19.
- [Ulr95] Ulrich, K.: „The role of product architecture in the manufacturing firm“, *Research policy: policy and management studies of science, technology and innovation*, Vol. 24, 1995, S. 419–440.
- [VDI93] VDI Verein Deutscher Ingenieure: „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1993.
- [Wac86] Wacker, J.; Treleven, M.: „Component part standardization: An analysis of commonality sources and indices“, *Journal of Operations Management*, Vol. 6 (2), 1986, S. 219–244.

- [Web08] Weber, C.: „How to derive applications-specific design methods“, Proceedings of the DESIGN 2008, Zagreb, 2008, S. 69-80.
- [Wec03] de Weck, O. L.; Suh, E. S.; Chang, D.: „Product Family and Platform Portfolio Optimization“, ASME Proceedings of DETC'03, Chicago, 2003, S. 175–185.
- [Wil08] Wildemann, H.: „Produktordnungssysteme. Leitfaden zur Standardisierung und Individualisierung des Produktprogramms durch intelligente Plattformstrategien“, TCW, München, 2008.

Zum Forschungsthema betreute studentische Arbeiten

Yilmaz, Ebru: Anwendung einer Methode zur Produktprogrammplanung auf ein Produktprogramm von Flurförderzeugen, Projektarbeit am PKT, TUHH (2014).

Jäger, Malte: Fallstudie zum Einsatz produktfamilienübergreifender Modulbaukästen in einem Produktprogramm von Flurförderzeugen, Bachelorarbeit am PKT, TUHH (2013).

Bezborooa, Dipankar: Application of Commonality Indices and Optimization Methods to Fork Lift Truck Components, Masterarbeit am PKT, TUHH (2013).

Gottfried, Olga: Fallstudie zum Einsatz produktfamilienübergreifender Modulbaukästen in einem Produktprogramm von Flurförderzeugen, Projektarbeit am PKT, TUHH (2013).

Schneidmüller, Alex: Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Produktstrukturstrategien in einem Produktprogramm von Flurförderzeugen, Diplomarbeit am PKT, TUHH (2012).

Bögemann, Ingo: Entwicklung eines variantengerechten Produktdesignkonzepts der Fahrerschutzdächer einer Flurförderzeuglinie, Diplomarbeit am PKT, TUHH (2012).

Alff, Sebastian: Voruntersuchung zur Entwicklung einer variantengerechten modularen Produktstruktur von Flurförderzeuge, Bachelorarbeit am PKT, TUHH (2011).

Cziepluch, Sarah: Systematische Werkstoffauswahl in der Gestaltung eines modularen Gabelträgers, Bachelorarbeit am PKT, TUHH (2011).

Lehmann, Alexander: Voruntersuchung zur Entwicklung einer variantengerechten modularen Produktstruktur von Papierverarbeitungsmaschinen, Bachelorarbeit am PKT, betreut durch Dr.-Ing. Jens Schmidt, TUHH (2011).

Rettberg, Robin: Konzeptentwurf und Gestaltung eines Familienkonzepts für Gaseinlassventile, Diplomarbeit am PKT, TUHH (2011).

Krutov, Nikita: Entwicklung und Gestaltung einer variantengerechten modularen Familie von Hubmittelbedienelementen, große Studienarbeit am PKT, TUHH (2011).

Kötke, Frederik: Funktionsanalyse und Modularisierung bei Gasmessanwendungen, kleine Studienarbeit am PKT, TUHH (2011).

Rettberg, Robin und Schneidmüller, Alex: Teamarbeit zur integrierten Produktentwicklung - Design und technische Gestaltung der Komponenten eines Familienkonzepts von Herbizidsprühgeräten, große Studienarbeit am PKT, TUHH (2010).

Lebenslauf Sandra Eilmus

Persönliche Daten

Geboren am 16. Oktober 1981 in Celle

Berufliche Tätigkeit

- | | |
|-------------------|--|
| Seit 06/2014 | Geschäftsführerin der Odego GmbH |
| 05/2014 | Gründerin der Odego GmbH |
| 10/2009 – 04/2014 | Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik der TU Hamburg-Harburg |
| 04/2007 – 09/2009 | Unternehmensberaterin bei der P3 Ingenieurgesellschaft mbH |

Hochschulstudium

- | | |
|-------------------|---|
| 10/2001 – 03/2007 | Studium Maschinenbau an der TU Berlin
Abschluss: Diplom-Ingenieurin Maschinenbau |
|-------------------|---|

Schulausbildung

- | | |
|-----------|--|
| 1994-2001 | Gymnasium der Christianschule Hermannsburg
Abschluss: Allgemeine Hochschulreife |
|-----------|--|