

Hamburger Schriftenreihe
Produktentwicklung und Konstruktionstechnik

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

Niklas Halfmann

Montagegerechtes Produktstrukturieren im Kontext einer Lebensphasenmodularisierung

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://www.dnb.de/kataloge> abrufbar.

Impressum

TuTech Verlag

TuTech Innovation GmbH
Harburger Schloßstraße 6-12
21079 Hamburg

Tel.: +49 40 76629-0

E-Mail: verlag@tutech.de

www.tutechverlag.de

Nachdruck, Vervielfältigung, Speicherung oder Übertragung in elektronische, optische, chemische oder mechanische Datenhaltungs- oder -verwertungssysteme 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 Januar 2015

ISBN 978-3-941492-85-1

Montagegerechtes Produktstrukturieren im Kontext einer Lebensphasenmodularisierung

Vom Promotionsausschuss der
Technischen Universität Hamburg-Harburg
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

von
Niklas Halfmann

aus
Hamburg

2014

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause

2. Gutachter: Prof. Dr. Ir. Fred J.A.M. van Houten

Tag der mündlichen Prüfung: 12. November 2014

Vorwort

Diese Dissertation entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik der Technischen Universität Hamburg-Harburg. Dabei bin ich vielen Menschen begegnet, die zum Gelingen meiner Arbeit beigetragen haben. Bei Ihnen möchte ich mich im Folgenden bedanken.

Mein erster Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Professor Dr.-Ing. Dieter Krause. Seine wissenschaftliche Führung, geprägt von konstruktiven Diskussionen, Anregungen und einem wohl dosierten Maß an individueller Freiheit gewährte mir das ideale Umfeld für meine Forschung und die Ausarbeitung der Dissertation.

Nach Twente in den Niederlanden sende ich ein großes Dank-u-wel an Herrn Professor Dr. Ir. Fred. J.A.M van Houten für die Übernahme des Koreferats. Herrn Prof. Dr.-Ing. Thorsten Schüppstuhl von der Technischen Universität Hamburg-Harburg danke ich für die Leitung der Prüfungskommission.

Die Fallstudie der Dissertation wäre ohne die engagierte Unterstützung der Mitarbeiter eines Herstellers für garten- und forstwirtschaftliche Motorgeräte nicht möglich gewesen. Besonders bedanke ich mich bei dem Teamleiter der Vorentwicklung.

Meine Tätigkeit am Institut war geprägt von der Zusammenarbeit mit der Airbus Operations GmbH. Auch wenn Flugzeugkabinen nicht erwähnt werden, habe ich doch im Rahmen diverser Forschungsprojekte viele Erfahrungen und wertvolle Anregungen für meine Arbeit sammeln dürfen. Ich bedanke mich bei Dr. Marcus Gehm, Ralf Koblitz und Sebastian Umlauf.

Meinen Studenten danke ich für die gute Zuarbeit. Hervorheben möchte ich dabei Marcel Sommer, Sven Runge, Nils Soetebeer und Nils Steimle sowie Jakob Oberle.

Zu guter Letzt ein besonderer Dank meinen Institutskollegen: Den Altvorderen Dr. Jens Schmidt, Dr. Christoph Blees und Dr. Thomas Kipp dafür, dass sie mich in ihren Kreis aufgenommen haben sowie meinen Mitstreitern Dr. Henry Jonas, Dr. Max Brosch, Steffen Elstner, Sandra Eilmus und Thomas Gumpinger für das gute Miteinander und die gegenseitige Unterstützung.

Niklas Halfmann

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation.....	1
1.2	Aufgabenstellung.....	2
2	Problemanalyse.....	5
2.1	Begriffliche Grundlagen montagegerechter Produktgestaltung.....	5
2.2	Die Montage innerhalb der industriellen Produktion	10
2.3	Einfluss der Produktentwicklung auf die Montageeigenschaften	12
2.3.1	Grundlagen und Ziele der montagegerechten Produktgestaltung	13
2.3.2	Montagegerechte Gestaltung im Produktentwicklungsprozess.....	16
2.3.3	Der Einfluss der Vorentwicklung auf die Montagegerechtheit.....	18
2.3.4	Auswirkung der Modularisierung auf die Montage varianter Produkte...	19
2.3.5	Potentiale und Grenzen von Produktentwicklungsmethoden	21
2.4	Anforderungen an die Entwicklung montagegerechter Produktstrukturen.....	22
3	Stand der Wissenschaft	25
3.1	Montagegerechte Konstruktion	25
3.1.1	Grundlagen des montagegerechten Konstruierens	25
3.1.2	Methoden zur montagegerechten Konstruktion	26
3.1.3	Bewertung der Methoden.....	40
3.2	Entwicklung von Produktstrukturen.....	43
3.2.1	Grundlagen zur Produktstrukturierung.....	43
3.2.2	Methoden zur Produktstrukturierung.....	43
3.2.3	Graphische Werkzeuge zur Unterstützung der Produktstrukturierung....	55
3.2.4	Bewertung der Methoden.....	62
3.3	Bewertung der Montagegerechtheit.....	65
3.3.1	Grundlagen der technischen Bewertung	65
3.3.2	Grundlagen zur Bewertung der Montagegerechtheit	65
3.3.3	Methoden zur Bewertung der Montagegerechtheit	67
3.3.4	Kennzahlensysteme.....	71
3.3.5	Bewertung der Methoden.....	76
3.4	Forschungsbedarf	78

4	Methode zur Entwicklung montagegerechter Produktstrukturen.....	81
4.1	Vorgehensmodell der Methode.....	83
4.2	Definition der Ziele montagegerechter Produktstrukturen	86
4.2.1	Zusammenstellung der allgemeinen Ziele	87
4.2.2	Spezifische Zielstellung für das Produktbeispiel.....	88
4.3	Zusammenstellung der Strukturierungsmaßnahmen.....	88
4.4	Ist-Aufnahme.....	91
4.4.1	Eingangsschnittstelle des integrierten PKT-Ansatzes	91
4.4.2	Aufnahme des Montageprozesses	92
4.5	Erstellung der integral Product and Assembly Structure (iPAS)	93
4.6	Entwicklung montagegerechter Produktstrukturen.....	96
4.6.1	Graphisch basierte Produktstrukturierung.....	96
4.6.2	Parallelisierung von Montagetätigkeiten	97
4.6.3	Postponement von Varianz	99
4.6.4	Kommunalisierung von Montagetätigkeiten.....	100
4.6.5	Optimierung der Betriebsmittelauslastung.....	102
4.6.6	Integralbauweise von Komponenten	104
4.6.7	Zusammenführung der verschiedenen Produktstrukturkonzepte.....	105
4.7	Konzeptbewertung und –auswahl	108
4.7.1	Zusammenstellen eines Kennzahlensystems	108
4.7.2	Ermittlung der Eingangsparameter	112
4.7.3	Berechnung der Kenn- und Maßzahlen	112
4.7.4	Darstellung des Bewertungsergebnisses und Konzeptauswahl	118
4.8	Überführung der Ergebnisse in den PKT-Ansatz	120
4.8.1	Aufstellung des Montage-Netzplans	120
4.8.2	Abbildung der Produktstruktur im Module Process Chart	121
4.8.3	Auflösung von Konflikten.....	122
4.8.4	Vorbereitung der konstruktiven Ausgestaltung	123
5	Validierung der Methode an einer Fallstudie.....	125
5.1	Planung der Fallstudie.....	125
5.1.1	Prüfungshypothesen.....	125
5.1.2	Praktisches Vorgehen	126
5.2	Durchführung der Fallstudie	126
5.2.1	Anwendungsfall	127

5.2.2	Zieldefinition.....	127
5.2.3	Ist-Aufnahme	128
5.2.4	Erstellung der Integralen Produkt- und Montagestruktur	133
5.2.5	Entwicklung montagegerechter Produktstrukturkonzepte	134
5.2.6	Bewertung der entwickelten Produktstruktur.....	144
5.2.7	Übergabe an den Integrierten PKT-Ansatz.....	146
5.3	Auswertung der Fallstudie.....	147
6	Zusammenfassung und Ausblick.....	153
	Anhang.....	157
A	Glossar	157
B	Ergänzungen zum Stand der Wissenschaft	161
C	Weitere Informationen zur Methodenbeschreibung.....	165
D	Weitere Informationen zur Fallstudie	172
	Literatur	189

Abkürzungen

AEM	Assemblability Evaluation Method
CAD	Computer Aided Design
CoC	Carry over Chart
DfA	Design for Assembly
DfM	Design for Manufacture
DFMA	Design for Manufacture and Assembly
DfX	Design for X
DIN	Deutsches Institut für Normung
DMM	Domain Mapping Matrix
DSM	Design Structure Matrix
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
iPAS	Integrale Product und Montagestruktur (engl. Integral Product and Assembly Structure)
MFD	Modular Function Deployment
MIG	Module Interface Graph
MDM	Multi Domain Matrix
MPC	Module Process Chart
MTM	Methods Time Measurement
PKT	Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik
PS/2	Serielle Schnittstelle (Personal System/2)
REFA	Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung
SvZ	Systeme vorbestimmter Zeiten
TeV	Tree of external Variety
TGL	Technische Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen
TUHH	Technische Universität Hamburg-Harburg
USB	Universal Serial Bus
VAM	Variety Allocation Model
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VMEA	Variant Mode and Effects Analysis

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Ein großer Teil der produzierenden Industrieunternehmen findet seine Position auf den globalisierten Märkten durch kundenindividuelle Produkte. Wirtschaftlicher Erfolg ist jedoch nur zu erreichen, wenn diese Produkte innerhalb international wettbewerbsfähiger Kostenstrukturen hergestellt werden können. Die Unternehmen befinden sich in einem Spannungsfeld zwischen dem stetigen Zwang, die Kosten zu senken und den Forderungen der Kunden, immer individuellere Produkte anzubieten. Die Fertigungstiefe bei der Herstellung von Produkten wird dabei vielerorts auf ein Maß reduziert, dass sich die Produktionsbereiche auf die Integration zugelieferter Komponenten fokussieren. Ein großer Teil der Kosten, die entlang des Produktentstehungsprozesses anfallen, wird daher durch die Montage verursacht. Die Verantwortung bzw. die Festlegung dieser Kosten, erfolgt jedoch bereits in der Produktentwicklungsphase, d.h. zu einem sehr viel früheren Zeitpunkt im Entstehungsprozess. Eine Vernachlässigung des Zusammenhangs von Kostenverantwortung und -verursachung in den frühen Phasen resultiert in dem Risiko eines überproportionalen Anstiegs der späteren Kosten. Auf der anderen Seite ergeben sich durch eine systematische Berücksichtigung dieses Zusammenhangs hohe Einsparpotentiale für die Produktkosten, die bereits in der Produktentwicklung erschlossen werden können. Aus diesem Grund bedarf es der Anwendung methodischer Konstruktions- und Produktplanungsansätze, mit denen die Anforderungen der Montage bereits in der Entwicklung besondere Berücksichtigung finden.

In der Konstruktionslehre wird diesem Umstand durch die als montagegerechte Konstruktion, bzw. Design for Assembly (DfA) bezeichneten Methoden Rechnung getragen. Die darin enthaltenen Vorgehensweisen und Werkzeuge unterstützen den Entwickler in der Gestaltung von Produkten dahingehend, dass diese später ergonomischer zu handhaben, einfacher zu fügen und damit letztlich kostengünstiger zu montieren sind. Die Ansätze enthalten zwei grundlegende Aspekte. Zum einen werden dem Anwender in determinierender Hinsicht Anweisungen zur Produktgestaltung gegeben. Zum anderen gibt es den evaluierenden Aspekt, durch welchen eine Bewertung der Produktgestalt hinsichtlich ihrer spezifischen Montagegerechtheit erfolgt. Die im Rahmen dieser Methoden vorgesehenen Vorgehensweisen und verwendeten Werkzeuge beschränken sich auf eine isolierte Betrachtung der Montagegerechtheit der Produkte. Spezifische Anforderungen aus anderen Produktlebensphasen, wie die Beschaffung, der Vertrieb, die Nutzung sowie Wartung und Entsorgung, werden allenfalls peripher berücksichtigt. Ebenso selten bzw. gar nicht erfolgt eine Berücksichtigung der Produktvarianz, d.h. die Ausweitung der Betrachtung des einzelnen Produkts auf ein größeres Spektrum von Produkten mit ähnlichen Charakteristiken, sogenannten Produktfamilien.

Ein Ansatz, diese Varianz von Produkten effizient zu beherrschen und sämtliche, teilweise gegensätzliche Zielsetzungen in der Entwicklung zu berücksichtigen, ist die Modularisierung. Modulare Produktstrukturen ermöglichen die Abbildung der vom Kunden geforderten Produktvielfalt durch ein geringes Maß an interner Vielfalt. Darüber hinaus ergeben sich Potentiale für die einzelnen Lebensphasen des Produkts. In der Entwicklung trägt die Entkopplung von Modulen zu einer Verringerung der Aufgabenkomplexität bei. Aufwände im Einkauf können durch die Beschaffung ganzer Module reduziert werden. Im Vertrieb ergeben sich kurze Lieferzeiten trotz hoher Produktvielfalt. In der Nutzungsphase können im Rahmen der Wartung unter geringem Aufwand ganze Module ausgetauscht werden. Die Produktion und somit auch die Montage profitieren wiederum von einem hohen Standardanteil, der Wiederverwendung von Modulen, hohen Stückzahlen, hohen Skaleneffekten und geringen Fehlerraten durch die modulare Gestaltung der Produktfamilien.

Die Entwicklung modularer Produktstrukturen ist ein Teil der Konstruktionslehre. Die dafür verwendeten Methoden lassen sich grundsätzlich in die zwei Kategorien der technisch-funktionalen sowie der produktstrategischen Modularisierung unterteilen. Ein ganzheitliches Vorgehen bietet der Integrierte PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien durch Kombination der beiden Modularisierungskategorien. Die Berücksichtigung der Anforderungen aus der Montage an die zu entwickelnde Produktstruktur erfolgt im Rahmen des produktstrategischen Teils. Wie im Kapitel Stand der Wissenschaft aufgezeigt, werden die Montageanforderungen dabei in Form von sogenannten Modultreibern verarbeitet. Dabei handelt es sich um produktstrategische Aspekte, nach deren Vorgabe Module aus spezifischen Komponenten zu bilden sind. Die Formulierung dieser Modultreiber erfolgt produktunspezifisch, wodurch eine Allgemeingültigkeit erreicht werden soll. Eine systematische Adaptierung an das jeweilige Produktumfeld ist jedoch nicht vorgesehen. Ebenso wenig erfolgt eine Bewertung der erzeugten Produktstruktur hinsichtlich ihrer jeweiligen Eigenschaften im Anschluss an die Modularisierung. So kann es passieren, dass Optimierungspotentiale ungenutzt bzw. sogar etwaige durch die Strukturierung verursachte negative Auswirkungen unentdeckt bleiben.

1.2 Aufgabenstellung

Die Modularisierung von Produktstrukturen ermöglicht eine effiziente Abbildung der Varianz in der Entwicklung von Produkten sowie die systematische Integration sämtlicher Anforderungen aus den Lebensphasen. Die in Wissenschaft und Praxis etablierten Methoden der montagegerechten Konstruktion bieten wiederum Verfahren zur Optimierung der Montageeigenschaften hinsichtlich Gestaltung und Bewertung des Produkts. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist daher die Verbindung von Modularisierung und montagegerechter Konstruktion und damit die Nutzung der jeweiligen Vorteile dieser beiden Ansätze. Die zu erarbeitende Methode soll eine durchgängige Unterstützung des Anwenders bei der Entwicklung montagegerechter Produktstrukturen bieten. Übergeordnet betrachtet sind dafür die relevanten Montageaspekte zu identifizieren und in der Strukturierung systematisch zu verarbeiten. Zur Entwicklung einer montagegerechten Produktstruktur müssen die strategischen Zielvorgaben, welche an den Produktionsbereich gestellt werden, in entsprechende Gestaltungsvorgaben der Produktstruktur überführt werden. Darüber hinaus ist die Berücksichtigung und

Integration der Anforderungen aus anderen Lebensphasen sicherzustellen. Zur Auswahl und weiteren Ausarbeitung von Konzeptalternativen im Sinne des konstruktionsmethodischen Vorgehens soll die Methode eine anschließende Bewertung der Montagegerechtheit der entwickelten Produktstrukturen ermöglichen. Die dafür zu definierende Vorgehensweise ist an die Unschärfe und Verfügbarkeit der Produktinformationen in der frühen Entwicklungsphase anzupassen sowie transparent und nachvollziehbar zu gestalten.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in die folgenden Kapitel. Im zweiten Kapitel erfolgt die Analyse der Problemstellung. Dazu werden zunächst die Definitionen der grundlegenden Begriffe vorgestellt. Im Hinblick auf die angestrebte Verbindung von montagegerechter Konstruktion und Modularisierung erfolgt einleitend eine Betrachtung der allgemeinen strategischen Ziele der Produktion sowie die spezifischen Ziele der Montage. Auf dieser Basis werden anschließend die Einflussmöglichkeiten der Entwicklung auf die montagerelevanten Produkteigenschaften analysiert. Der Fokus wird besonders auf die Vorentwicklung gelegt. Des Weiteren erfolgt eine Untersuchung der Modularisierung als ein spezifischer Ansatz zur Produktstrukturierung hinsichtlich ihrer Potentiale und Grenzen in der Optimierung der Montagegerechtheit. Abschließend werden die Anforderungen an eine Produktstrukturierungsmethode aus der Analyse abgeleitet.

Im dritten Kapitel erfolgt die Vorstellung einer Analyse des Stands der Wissenschaft auf dem Gebiet der montagegerechten Produktgestaltung. Dazu werden die existierenden Ansätze und Vorgehensweisen der montagegerechten Konstruktion sowie der Produktstrukturierung und –bewertung dargestellt und anhand der definierten Anforderungen bewertet. Die dabei identifizierten Defizite der Methoden führen zu der Festlegung des Forschungsbedarfs der vorliegenden Arbeit.

Die entwickelte Methode zur montagegerechten Produktstrukturierung wird im vierten Kapitel beschrieben. Dafür erfolgen eine Erläuterung der Arbeitsschritte sowie die Darstellung der Anbindung der Methode an den integrierten PKT-Ansatz.

Das fünfte Kapitel beinhaltet die Beschreibung der Validierung der entwickelten Methode anhand einer Fallstudie. Das Betrachtungsobjekt ist dabei eine Kettensägen-Produktfamilie als Vertreter variantenreicher Serienprodukte. Den Abschluss der Arbeit bilden eine Zusammenfassung der Ergebnisse sowie ein Ausblick auf die aus den Erkenntnissen resultierenden weiteren Forschungsaufgaben.

2 Problemanalyse

In diesem Kapitel wird die Problemstellung für die montagegerechte Produktstrukturierung herausgearbeitet. Aufgrund des Querschnittcharakters der vorliegenden Arbeit zwischen Produktentwicklung und Montage erfolgt zunächst eine Definition der grundlegenden Begriffe aus beiden Bereichen. Darauf aufbauend erfolgt eine Analyse der allgemeinen Ziele der industriellen Produktion und inwieweit deren Erreichung durch die Produktentwicklung beeinflusst werden kann. Dabei wird insbesondere auf die Potentiale und Grenzen der montagegerechten Produktgestaltung sowie der Modularisierung als Produktstrukturierungsmethode eingegangen. Abschließend werden die Anforderungen an eine Methode zur montagegerechten Produktstrukturierung abgeleitet.

2.1 Begriffliche Grundlagen montagegerechter Produktgestaltung

Im folgenden Absatz werden die für die Arbeit relevanten Begriffsdefinitionen aufgeführt. Die Auswahl richtet sich nach der Relevanz des Begriffs für das vorliegende Thema sowie einer abweichenden Verwendung im Stand der Wissenschaft und in der industriellen Praxis. Begriffe, die in einem erweiterten Zusammenhang zum Thema stehen, werden im Anhang A zusammengefasst.

Industrielle Montage

Grundlage für die Verwendung des Montagebegriffs in dieser Arbeit sind die Definitionen nach MIESE und SPUR sowie die Vorgaben der DIN 8593 und der VDI-Richtlinien 2860 und 3239. Nach Miese ist die Montage definiert als:

„Das Bündel sämtlicher Arbeitsgänge und Tätigkeiten zum stufenweisen Aufbau von Systemen höherer Komplexität, mit vorgegebenen Funktionen, in einer bestimmten Zeit, aus Systemen niedrigerer Komplexität“. [Mie76]

Nach Spur gilt die folgende Definition:

„Montieren ist die Gesamtheit aller Vorgänge, die dem Zusammenbau von geometrisch bestimmten Körpern dienen. Dabei kann zusätzlich formloser Stoff zur Anwendung kommen.“ [Spu84]

Die Montage wird in die fünf Hauptfunktionsgruppen Fügen (DIN 8593), Handhaben (VDI 2860), Justieren, Kontrollieren und Sonderoperationen unterteilt.

Montagegerechtheit

Die Eigenschaft Montagegerechtheit einer Komponente beschreibt den erforderlichen Montageaufwand. Je geringer der Aufwand des Montierens ist, desto besser ist die spezifische Montagegerechtheit [Bäß88]. Es handelt sich dabei um eine Eigenschaft, deren Ausprägung relativ zu beschreiben ist. Beispielsweise kann die Montagegerechtheit einer Komponente nach einer konstruktiven Optimierung in Bezug zu ihrem Ausgangszustand charakterisiert werden. Zur Analyse der Montagegerechtheit werden Berechnungsverfahren oder Checklisten eingesetzt. Für die Quantifizierung der Ausprägung stehen verschiedene Punktzahlensysteme zur Verfügung.

Produktvarianz

Die Gesamtheit der von einem Unternehmen am Markt angebotenen Produkte wird als Produktprogramm bezeichnet. Es setzt sich prinzipiell aus dem Produktionsprogramm des Unternehmens sowie zugekauften unveränderten Produkten zusammen [Rup80]. Das Produktprogramm besteht wiederum aus verschiedenen Produktfamilien, die gemeinsame Komponenten, Funktionen und Eigenschaften aufweisen und auf ähnliche Anwendungsgebiete abzielen [Mey97, Göp98]. Die einzelnen Elemente einer Produktfamilie werden als Varianten bezeichnet. Varianten sind Gegenstände ähnlicher Form und/oder Funktion mit einem hohen Anteil identischer Gruppen oder Teile [DIN81]. Aus der hier verwendeten Sicht der Produktentwicklung sind Varianten technische Systeme gleichen Zwecks, die sich dabei in mindestens einem Merkmal bzw. einer Merkmalsausprägung unterscheiden [Fra02, Rob98].

Externe und interne Vielfalt

Die externe Vielfalt beschreibt das Spektrum der Produkte, die dem Kunden angeboten werden. In ihrer Definition ist die externe Vielfalt damit einer Produktvariante vergleichbar. Die interne Vielfalt dient im Wesentlichen der Bereitstellung der externen Vielfalt aus der Sicht des anbietenden Unternehmens. Sie beschreibt das Spektrum an Komponenten und Prozessen, das in der Auftragsabwicklung auftritt [Fra02, Kip12].

Produktstruktur

Nach DIN 199 ist die Produktstruktur allgemein definiert als:

„...die Gesamtheit der nach einem bestimmten Gesichtspunkt festgelegten Beziehungen zwischen den Gruppen und Teilen eines Erzeugnisses. Die Produktstruktur kann z.B. nach Zusammenbau, Funktions- oder Dispositionsgesichtspunkten aufgestellt werden. Sie kann z.B. graphisch (Strukturbild) oder tabellarisch (Stückliste) dargestellt werden.“ [DIN81]

In Anlehnung daran formuliert RAPP den Begriff der Erzeugnisgliederung. Während die Produktstruktur alle strukturellen Aspekte umfasst, entspricht die Erzeugnisgliederung der Abbildung und Gliederung für einen ganz bestimmten Zweck mit entsprechendem Abstraktionsgrad. Die Erzeugnisgliederung kann damit als Untergruppe der Produktstruktur betrachtet werden [Rap99]. Die in dieser Arbeit verwendete Definition richtet sich nach SCHUH. Die Produktstruktur ist definiert als die strukturierte Zusammensetzung des Produktes aus seinen Komponenten [Sch05].

Produktgliederung

SCHICHEL erweitert den Begriff der Produktstruktur um den Aspekt der Produktgliederung. Als Produktgliederung wird damit der konstante Teil der Produktstruktur bezeichnet, welcher das Produkt in großen Zügen umreißt [Sch02]. So können einem Produkt stets dieselben fundamentalen Komponenten, wie bei einem Auto das Fahrwerk, die Karosserie und der Antrieb, zugeordnet werden. Die hierarchisch darunter angeordneten Komponenten, wie Achsen oder Räder, sind variabel und tragen damit zur Bildung der Varianz bei. Die folgende Abbildung zeigt einen beispielhaften Produktaufbau und markiert die Ebene der Produktgliederung und der Produktstruktur.

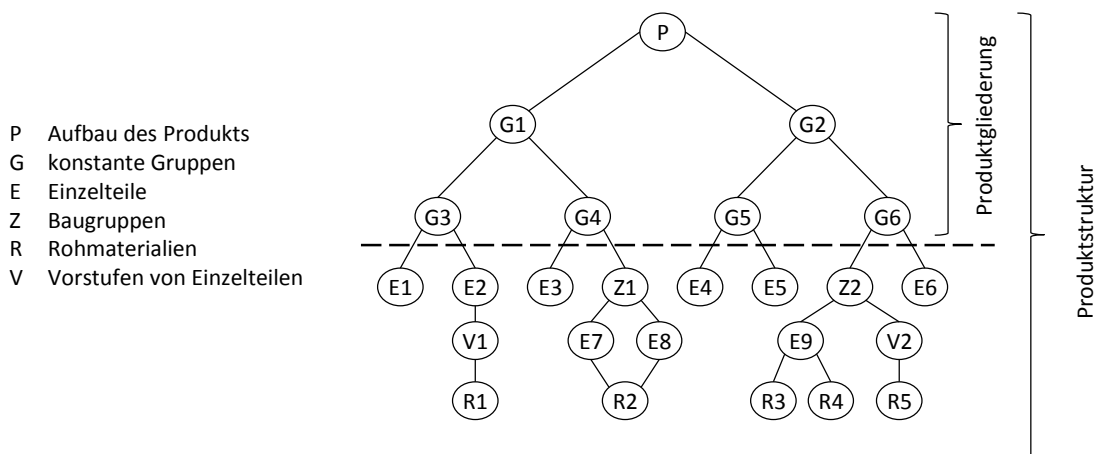


Bild 2-1: Produktstruktur und Produktgliederung [Sch02]

Produktarchitektur

Die Produktarchitektur bezeichnet die Gesamtheit der funktionalen und physikalischen Beschreibungen eines Produkts und bringt beide Aspekte in Beziehung zueinander. Diese Beziehungen bestehen aus der hierarchischen Anordnung der funktionalen Elemente, die Definition der Schnittstellen zwischen den physischen Elementen sowie der Zuordnung von Funktionen zu Komponenten [Ulr04].

Differential- und Integralbauweise

Die Differenzialbauweise beschreibt die Zerlegung eines Bauteils als Träger einer oder mehrerer Funktionen in mehrere Bauteile mit einer geringeren Funktionsanzahl. Demgegenüber stellt die Integralbauweise das bauliche Zusammenfassen von Teilen mit gleicher oder unterschiedlicher Funktionen zu einer Einheit dar.

Aus Montagesicht liegen die Vorteile der Differenzialbauweise in der Möglichkeit zur erhöhten Verwendung von Norm- und Standardteilen sowie von Komponenten geringerer Dimensionen, wie Abmessung und Gewicht, wodurch eine Vereinfachung der Handhabung erreicht wird. Die Potentiale der Integralbauweise sind dagegen die Reduzierung der reinen Komponentenzahl sowie der Fügstellen, was zu einer Reduzierung von Montageoperationen führt. Aufgrund der direkt konkurrierenden Eigenschaften beider Bauweisen ist der jeweilige Einsatz situationsspezifisch zu wählen [Sch05].

Modulbauweise

Nach KOLLER ist die Modulbauweise das Zusammenfassen und Realisieren von Funktionen durch eigenständige, funktionsfähige Module innerhalb eines technischen Systems. Standardisierte Schnittstellen sind eine notwendige Voraussetzung für die Interaktion der verschiedenen Module. Aus der Modulbauweise ergeben sich Vor- und Nachteile für die Produkteigenschaften im Vergleich zu einer konventionellen, nicht weiter spezifizierten Bauweise [Kol94]. Wegen des grundlegenden Stellenwerts für die vorliegende Arbeit erfolgt in diesem Abschnitt eine weitere Betrachtung von Begriffen im Kontext der Modulbauweise.

Modularität

Es gibt eine Vielzahl von Definitionen für den Begriff Modularität. Eine detaillierte Analyse ist in der Arbeit von BLEES beschrieben [Ble11]. In dieser Arbeit wird die Definition nach SALVADOR verwendet, der eine Vereinheitlichung der unterschiedlichen Definitionen anstrebt. Es ergeben sich fünf übergeordnete graduelle Merkmale von Modularität [Sal07].

- **Kommunalität:** Module werden an mehreren bzw. verschiedenen Stellen verwendet.
- **Kombinierbarkeit:** Durch die Kombination von Modulen werden Produkte konfiguriert.
- **Funktionsbindung:** Es besteht eine feste Zuordnung von Funktionen zu Modulen.
- **Schnittstellenstandardisierung:** Die Modulschnittstellen sind standardisiert.
- **Entkopplung:** Die Verbindungen der Komponenten innerhalb eines Moduls sind stärker ausgeprägt als die Verbindungen zwischen Komponenten verschiedener Module.

Die Modularität eines Produkts ergibt sich aus der Gesamtheit dieser fünf Merkmale. Aufgrund des graduellen Charakters der fünf Merkmale ist Modularität ebenfalls als eine graduelle Produkteigenschaft anzusehen. Demnach ist ein Produkt nicht entweder modular oder nicht modular, sondern weist stets ein gewisses Maß an Modularität auf.

Modul

Es gibt eine Vielzahl an Definitionen für den Modulbegriff. Dominierend sind dabei die Definitionen aus Montagesicht. Nach PILLER UND WARINGER ist ein Modul eine unter Montageaspekten abgrenzbare und einbaufertige Einheit, deren Bausteine physisch miteinander verbunden sind [Pil99]. Der Definitionsansatz der räumlichen Abgeschlossenheit wird von WILHELM um den Aspekt der definierten Schnittstellen für mechanische Verbindungen sowie alle zu übertragenden Leistungen und Informationen erweitert [Wil01]. Ein Modul ist demzufolge einer Baugruppe gleichzusetzen.

Nach der in dieser Arbeit verwendeten erweiterten Definition ist ein Modul eine Gruppe von Komponenten innerhalb eines Produkts, die stärkere interne funktionale und strategische Kopplungen aufweisen als externe [Ble11]. Demnach muss ein Modul nicht physisch zusammenhängen. So können Komponenten, die gleiche Entwicklungs-, Fertigungs- oder Beschaffungsprozesse durchlaufen als ein Modul bezeichnet werden, obwohl keine physische Einheit vorliegt [Koe08]. Diese an die zuvor beschriebenen fünf Eigenschaften der Modularität angelehnte Definition schließt damit die Bezeichnung einer Baugruppe als Modul nicht aus, sondern beinhaltet die reine Verwendung aus Montagesicht als eine begriffliche Teilmenge.

Modularisierung

In Anlehnung an die Begriffsdefinition der Modularität ist es die Aufgabe der Modularisierung, das der strategischen Ausrichtung entsprechende Maß an Modularität für das jeweilige Produkt zu definieren und in seiner Struktur umzusetzen [Kra11].

Komponente

In der Praxis wird der Begriff der Komponente häufig synonym zu den Begriffen Einzel- bzw. Bauteil verwendet [vgl. Pah06]. SCHUH erweitert den Begriff. Sowohl Einzelteile als auch Baugruppen werden als Komponenten bezeichnet. In Anlehnung an die zuvor aufgeführten Begriffe der Produktstruktur und Produktgliederung bestehen diese aus Baugruppen, Einzelteilen sowie formlosen Stoffen. Die Gesamtheit dieser Bestandteile wird unter dem Begriff der Komponenten zusammengefasst [Sch05, Jon14]

Postponement und Prozess-Kommunalität

In der Gestaltung von Prozessen werden zwei grundlegende Strategien hinsichtlich der Vermeidung und Beherrschung interner Vielfalt eingesetzt. Postponement beschreibt den Ansatz, die Differenzierung der Produkte auf die letzten Prozessschritte zu schieben. Somit wird der Variantenbildungspunkt möglichst nah an den Kunden verlagert. Die Kommunalitätsstrategie sieht eine Vereinheitlichung von Prozessen ohne Einschränkung der Variantenbildung vor. Die Grundidee ist dabei, unterschiedliche Produkte in einem einheitlichen Prozess herzustellen. Eine detaillierte Beschreibung dieser beiden Prozessstrategien ist in der Arbeit von KIPP aufgeführt [Kip12].

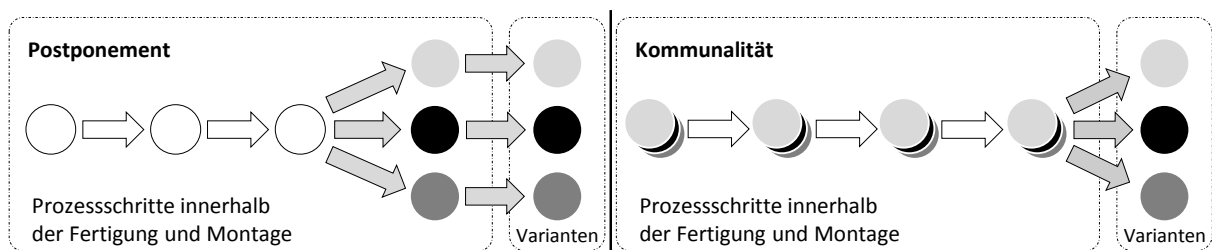


Bild 2-2 schematische Darstellung von Postponement und Kommunalität [Kip12]

Produktmerkmale und -eigenschaften

Ein Ansatz zur Charakterisierung eines Produkts ist die Beschreibung seiner Merkmale und Eigenschaften. WEBER definiert dabei in Anlehnung an [Hub92 und Suh90]:

„Die Merkmale beschreiben die Struktur, Gestalt und Beschaffenheit eines Produkts. Sie können vom Entwickler direkt beeinflusst bzw. festgelegt werden. Die Eigenschaften beschreiben das Produktverhalten, wie seine Funktion, Gewicht, Sicherheit und Zuverlässigkeit, Ästhetik aber auch Aspekte wie Montierbarkeit, Testbarkeit oder Kosten. Die Produkteigenschaften können nicht direkt durch den Entwickler beeinflusst werden.“ [Web08]

Das Maß, bzw. der Wert, die Qualität oder Güte einer Eigenschaft bzw. eines Merkmals wird als Ausprägung bezeichnet.

Produktlebensphasen

Das Produkt durchläuft in seiner Entstehung, Nutzung und Entsorgung verschiedene Lebensphasen. Diese Lebensphasen werden dabei in Anlehnung an die Unternehmensbereiche definiert, die an der Entstehung, Nutzung und Entsorgung beteiligt sind. Die genaue Einteilung der Lebensphasen variiert entsprechend dem spezifischen Produktumfeld. Gängige Produktlebensphasen sind die Entwicklung, Beschaffung, Produktion, Vertrieb, Nutzung, Wartung, Entsorgung [Ble08].

Bewertung

Die Verwendung des Bewertungsbegriffs in der vorliegenden Arbeit orientiert sich an der Definition von HUBKA/EDER. In Anlehnung an die DIN 55350 sind die Begriffe „Wert“ und „Qualität“ als identisch zu betrachten [DIN85a]. Der Begriff Bewertung ist definiert als:

„Beschaffenheit einer Einheit (Produkt) bezüglich ihrer Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen.“ [Hub92]

kundenindividuelle Massenproduktion

Bei kundenindividueller Massenproduktion, im Englischen als Mass Customization bezeichnet, handelt sich um eine Strategie, individualisierte Produkte zu vergleichbaren Konditionen der Massenfertigung anzubieten [Pil06].

2.2 Die Montage innerhalb der industriellen Produktion

Ein Unternehmen befindet sich im Spannungsfeld der verschiedenen Anforderungen seines Umfelds, bestehend aus Kapitalgebern, Kunden, Arbeitnehmern sowie der Öffentlichkeit. Ein produzierendes Unternehmen bildet diese Anforderungen in Form von spezifischen Unternehmenszielen ab, nach denen die geschäftlichen Tätigkeiten ausgerichtet werden. Die daraus im Allgemeinen für die Produktion resultierende Vielfalt der Zielgrößen wird in die vier Kategorien Qualität, Zeit, Wirtschaftlichkeit und Flexibilität eingeteilt [Wes06, Gün09].

Anforderungen an die *Qualität* werden von Gesetzen und Normen gestellt. Der Kunde möchte ein qualitativ hochwertiges Produkt mit einer hohen Zuverlässigkeit und ohne Fehler. Für Unternehmen ist zusätzlich ein möglichst fehlerfreier Produktionsprozess zur Vermeidung von Mehrarbeit und Störungen im Betriebsablauf von Bedeutung.

Die Zielgröße *Zeit* lässt sich in zwei ursächliche Aspekte unterteilen. Zum einen ist für den Unternehmenserfolg eine schnelle Umsetzung von neuen Technologien und Innovationen in Produkte und deren Produktion obligatorisch. Zum anderen ist eine termingerechte und störungsfreie Auslieferung des Produkts an den Kunden anzustreben. Eine verzögerte Auslieferung führt sowohl zu kostenintensiver Kapitalbindung auf Unternehmensseite als auch zu negativer Beeinflussung der Kundenzufriedenheit. Zur Erreichung des zeitlichen Produktionsziels sind daher kurze Durchlaufzeiten, hohe Nutzungszeiten von Maschinen, eine schnelle Lieferzeit, minimale Rüstzeiten und kurze Bearbeitungszeiten anzustreben. Speziell für die Montage bedeutet das einen hohen Anteil an wertschöpfenden Tätigkeiten und ein Vermeiden von zeitintensiven Vorgängen, die nicht zur Vervollständigung des Endproduktes beitragen, wie z.B. das Transportieren oder Greifen von Bauteilen.

Kernziel einer Unternehmung ist es, wirtschaftlich zu handeln, um den Fortbestand nachhaltig sicherzustellen und auf Dauer erfolgreich zu sein. Im Sinne des Prinzips der *Wirtschaftlichkeit* ist mit einem gegebenen Maß an Eingangsressourcen ein maximales wertmäßiges Ergebnis, bzw. ein vorgegebenes Ergebnis mit einem Minimum an Eingangsressourcen zu erstellen. Im Falle der industriellen Produktion sind diese Eingangsressourcen insbesondere Material, Betriebsmittel und Personal.

Die Fähigkeit der Produktion, sich verändernden Bedingungen anzupassen, wird durch die Zielgröße *Flexibilität* dargestellt. Dabei werden der Anpassungsumfang, die wirtschaftlichen Auswirkungen und die dafür erforderliche Zeit unterschieden. Ein flexibles Produktionssystem kann in angemessener Zeit auf veränderte Umweltbedingungen, z.B. eine kurzfristige Änderung im Produktionsprogramm, reagieren und mit wenig Aufwand angepasst werden. Weitere Aspekte umfassen Varianten- und Mengenflexibilität hinsichtlich der Reaktion auf Nachfrageschwankungen bzw. der Erhöhung der Variantenzahl.

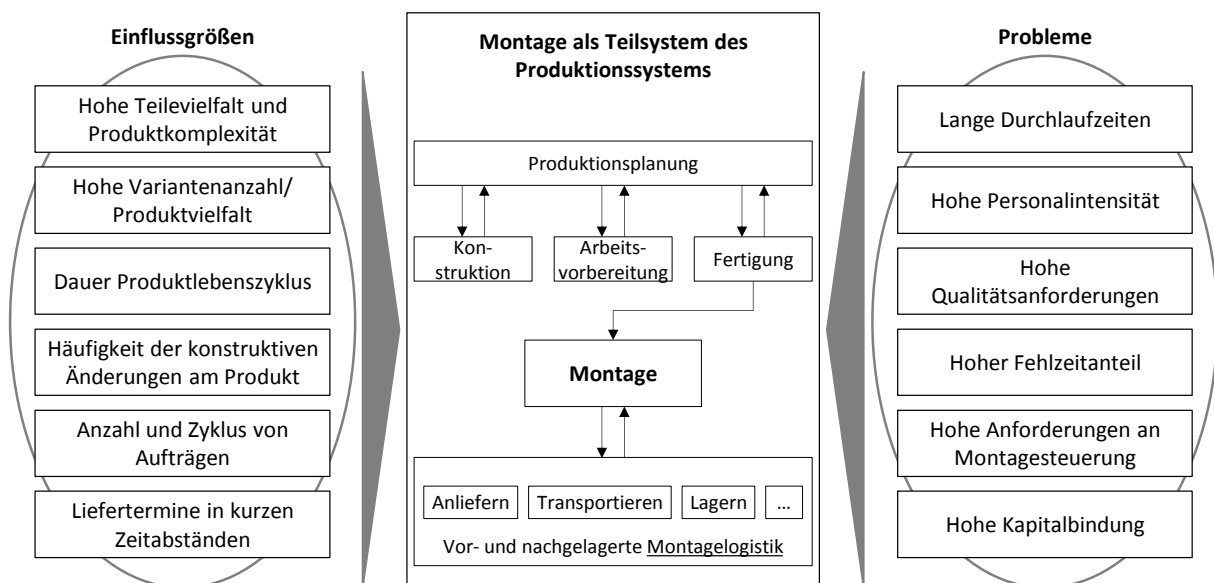


Bild 2-3 Einflussgrößen und Probleme der Kleinserienmontage [Wil10b]

Der industrielle Produktionsprozess im Maschinenbau besteht grundsätzlich aus den wertschöpfenden Elementen der Teilefertigung und deren Zusammenbau sowie peripheren Bereichen, wie der Arbeitsvorbereitung und Logistik. Bis zu 70% der Gesamtproduktionszeit entfallen dabei auf die Montage [Lot06]. Dieser hohe Anteil wurde in der näheren Vergangenheit durch die überproportionale Erschließung von Rationalisierungspotentialen in der Komponentenfertigung noch verstärkt [Bre09].

Die sich ändernden Marktbedingungen nehmen umfassenden Einfluss auf die Montagetechnik. Zukünftig werden stetig wachsende Produktspektren angeboten, um mittels entsprechender Produktvarianten ein immer höheres Maß an Kundenindividualität anbieten zu können. Dies hat eine stetige Verkürzung der Produktlebensdauer sowie einen starken Anstieg der Produktvarianten bei gleichzeitiger Reduzierung der Losgrößen zur Folge. Diese Entwicklungstendenzen gehen einher mit einer allgemeinen Erhöhung der Qualitätsanforderung der hergestellten Produkte sowie der Notwendigkeit nachhaltiger Senkung der Her-

stellkosten [Fra02, Lot06]. Bild 2-3 ordnet die Montage in das Spannungsfeld der varianzin-
duzierten Einflussgrößen und der resultierenden Probleme ein.

Die Gestaltung von zukünftigen Montagesystemen ist damit auf eine Reduzierung der Kosten
auszurichten. Nach LOTTER ergeben sich damit die folgenden Grundsätze. Die Flexibilität der
Montage hinsichtlich Anpassbarkeit an Veränderungen der Produktart und –menge ist zu
erhöhen. Der Produktionshochlauf muss beschleunigt werden, um die geplanten Stückzahlen
schnell zu erreichen. Der Standardisierungsgrad sowohl der Montageanlagen als auch der zu
montierenden Produkte ist zu erhöhen. Für den Produktaufbau gilt es darüber hinaus, den
Variantenbildungspunkt so spät wie möglich stattfinden zu lassen. Die Produktionslogistik ist
hinsichtlich des Just-in-Sequence Prinzips zu optimieren.

Die Rationalisierungsansätze für die Montage lassen sich vier Kategorien zuordnen. Der
technische Gestaltungsaspekt umfasst die Elemente des Montagesystems. Der *organisatori-*
sche Aspekt umfasst die Planung und Steuerung des Montagesystems. Der *arbeitswissen-*
schaftliche Gestaltungsaspekt bezieht sich auf den Menschen als Teil des Montagesystems.
Der *konstruktive Aspekt* beschreibt die Felder zur montagegerechten Gestaltung des Monta-
geobjekts.

Analysen der Kostenverteilung innerhalb des Produktentstehungsprozesses haben ergeben,
dass ein Großteil der Kosten zwar in der Montage verursacht wird, die Verantwortung dieser
Kosten jedoch zu hohem Maße in der Produktentwicklungsphase liegt [Gai81].

2.3 Einfluss der Produktentwicklung auf die Montageeigenschaften

Als Schlussfolgerung aus der Betrachtung von Kostenverursachung und Kostenverantwor-
tung ist zu konstatieren, dass die größten Potentiale zur Optimierung der Montage bereits in
der Produktentwicklungsphase zu erschließen sind. Eine effektive Montage erfordert dem-
nach eine Produktgestaltung, welche den spezifischen Anforderungen der Handhabung und
des Fügens als essentielle Montagetätigkeiten genügt. Um die montagerelevanten Aspekte
zu berücksichtigen, benötigt der Produktentwickler das Verständnis über die Zusammenhän-
ge von Produktgestaltung und Montageeigenschaften. Zur Unterstützung stehen verschie-
dene Vorgehensweisen, Methoden und Werkzeuge zur Verfügung, deren Einsatzmöglichkei-
ten sich nach den Phasen der Produktentwicklung richten. Der folgende Abschnitt stellt die
grundlegenden Zusammenhänge und Zielsetzungen der montagegerechten Gestaltung dar.
Darauf aufbauend wird der Produktentwicklungsprozess hinsichtlich phasenspezifischer
Möglichkeiten zur Optimierung der Montagegerechtheit analysiert. Der Fokus wird dabei auf
die frühen Phasen gelegt. In dem Zusammenhang wird die Modularisierung als etablierte
Methode zur Produktstrukturierung vorgestellt. Des Weiteren werden die allgemeinen Po-
tentiale und Grenzen von Produktentwicklungsmethoden herausgearbeitet. Auf dieser Basis
werden abschließend die Anforderung an die Entwicklung montagegerechter Produktstruk-
turen aufgestellt.

2.3.1 Grundlagen und Ziele der montagegerechten Produktgestaltung

Die wesentlichen Faktoren, die auf die Montage einwirken, sind das Produkt an sich, der Montageprozess sowie die Montageanlage. Der Montageprozess und die Montageanlage werden dabei überwiegend von der Montageplanung als Aufgabe der Arbeitsvorbereitung festgelegt [Gru01]. In der Entwicklung und Konstruktion wird die Produktgestalt definiert. Die dabei montagerelevanten Einflussfaktoren des Produkts sind die Produktstruktur, die Menge der Komponenten und Varianten, die Bauteilgestalt und Bauteileigenschaften, wie der Werkstoff oder die Oberflächen, sowie die Gestalt der Schnittstellen. LOTTER hat dabei die Beziehungen der einzelnen Produkthaspekte mit den verschiedenen Gesichtspunkten der Montage analysiert. Die Produktstruktur und die Struktur des Montagesystems, die Verbindungstechnik und das Montageverfahren sowie die Bauteilgestalt und die Handhabungstechnik stehen in jeweils direktem Verhältnis zueinander [Lot06].

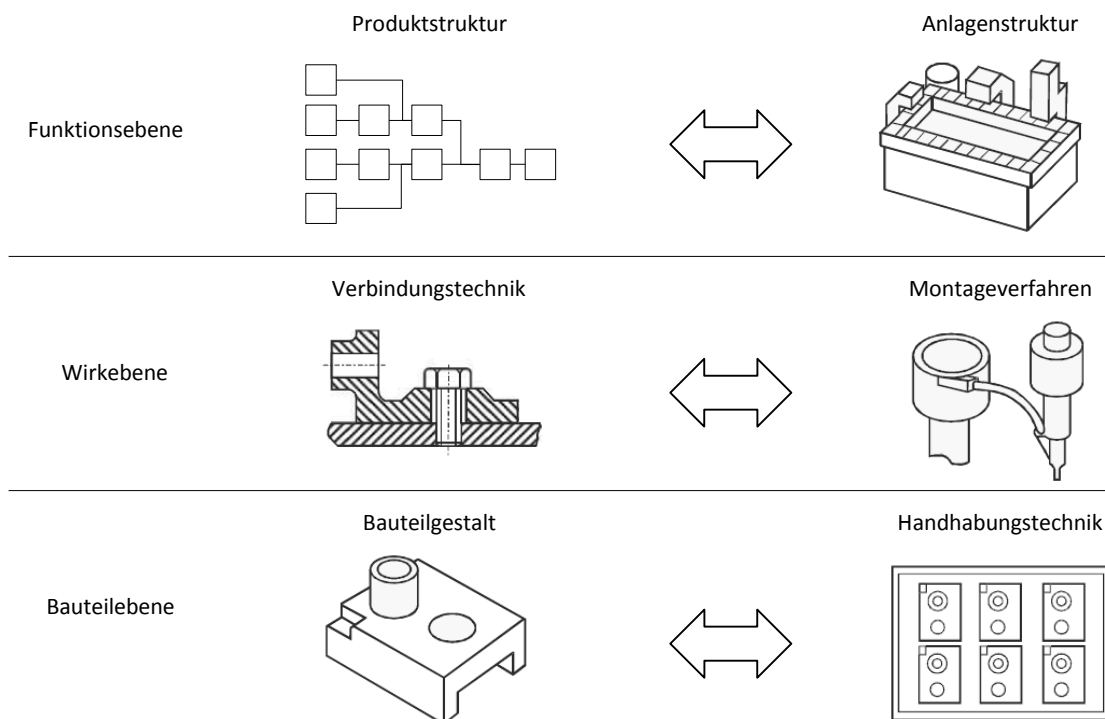


Bild 2-4 Wechselbeziehung zwischen Produkt und Montagesystem nach [Lot06]

Zur praktischen Umsetzung der montagegerechten Gestaltung stehen dem Entwickler verschiedene Methoden und Hilfsmittel zur Verfügung. Bei den in der Literatur vorhandenen Ansätzen handelt es sich um kalkulatorische Hilfsmittel, Netzpläne, wertanalytische Verfahren, Konstruktionskataloge, Bewertungsverfahren, Checklisten sowie Benchmarkings [vgl. And88, Bäß88, Pah06].

STOLL teilt sämtliche Ansätze in die drei in Bild 2-5 dargestellten Kategorien ein. Die *Berücksichtigung der Montageproblematik bei Syntheseschritten* zielt auf die Schulung des Bewusstseins des Produktentwicklers für montagegerechte Produktgestaltung ab. Dafür stehen eine Reihe von Gestaltungsrichtlinien sowie Beispielsammlungen zur Verfügung.

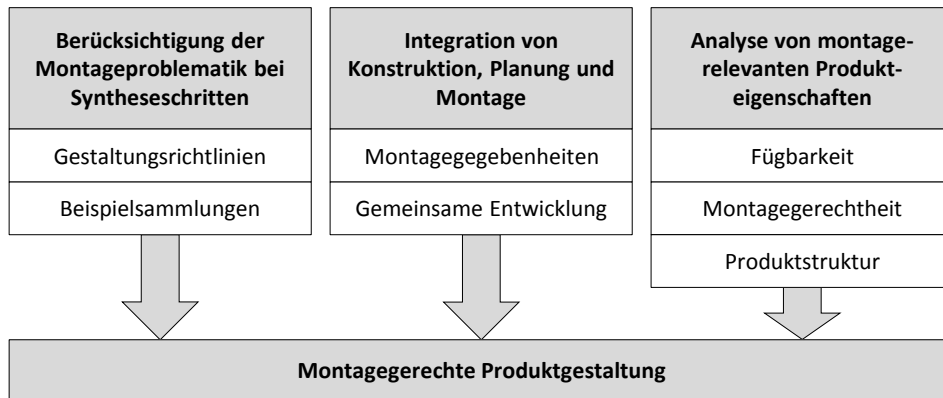


Bild 2-5: Ansatzpunkte für das Erreichen einer montagegerechten Produktgestaltung nach [Sto95]

Die *Integration von Konstruktion, Planung und Montage* wird durch entsprechende organisatorische Maßnahmen erreicht. Als Beispiel ist besonders das Prinzip des Simultaneous Engineering zu nennen [Ehr95]. Darin ist die Zusammenarbeit sämtlicher an der Produktentstehung beteiligter Disziplinen, beispielsweise in Form der Zusammensetzung des Entwicklungsteams, vorgesehen. Die *Analyse von montage-relevanten Produkteigenschaften* im Konstruktionsprozess beinhaltet die konstruktionsbegleitende Bewertung der Produktgestaltung hinsichtlich resultierender Montagehemmnisse. Die dafür verfügbaren Werkzeuge und Hilfsmittel zur Bewertung werden innerhalb der Iterationsschleifen der Produktentwicklung angewendet [Sto95].

Die übergeordneten Ziele der montagegerechten Produktgestaltung werden in der Literatur unterschiedlich formuliert. Aus diesem Grund erfolgt an dieser Stelle eine detaillierte Auflistung der verschiedenen Zielsetzungen.

BOOTHROYD nennt drei Aktivitäten, für die montagegerechtes Konstruieren verwendet wird. Erstens stellt es eine Basis für das Simultaneous Engineering dar, mit der das Entwicklungsteam in der *Vereinfachung der Produktstruktur*, der *Reduzierung der Montagekosten* sowie der *Quantifizierung der Verbesserungen* unterstützt wird. Zweitens ist es ein Benchmarking-Werkzeug zur Analyse der Wettbewerbsprodukte und Quantifizierung von Montageerschwernissen. Drittens fungiert es als ein Soll-Kosten Werkzeug zur Unterstützung in der Verhandlung mit Lieferanten [Boo02].

Nach ANDREASEN sind die Ziele, die mit montagegerechter Konstruktion erreicht werden sollen, die *Verbesserung des Montageprozesses*, der *Produktqualität*, der *Profitabilität* und der *Arbeitsumgebung* der Montagesysteme [And88].

LOTTER nennt ebenfalls die *wirtschaftliche Sicherung der Produktqualität* als ein Ziel der montagegerechten Produktgestaltung. Auf den Aspekt des Montageprozesses bezogen ergänzt er die Definition um die zwei Ziele *Minimierung der Montage- und Einarbeitungszeit* bei der manuellen Montage sowie möglichst *einfache und zuverlässige Hilfsmittel in der automatischen Montage*. Zusätzlich führt er die Zielsetzung einer *hohen Wiederholhäufigkeit von Montageabläufen trotz vieler Produktvarianten* an [Lot06].

Nach GAIROLA ist montagegerechtes Gestalten das bewusste und systematische Einbeziehen von konstruktiven Maßnahmen während des Konstruktionsprozesses mit dem Ziel, in einem

bestimmten Zeitabschnitt den Zusammenbau eines Produktes mit minimalem Aufwand an Zeit, Kosten, Mitteln und Arbeit zu ermöglichen [Gai81]. Zum einen ist dazu die *Montageaufgabe bzw. die –durchführung zu vereinfachen*. Zum anderen wird die Betrachtung auf die Montageplanung erweitert. Demnach ist es ebenso das Ziel, das *administrative Umfeld der Montage zu vereinfachen*.

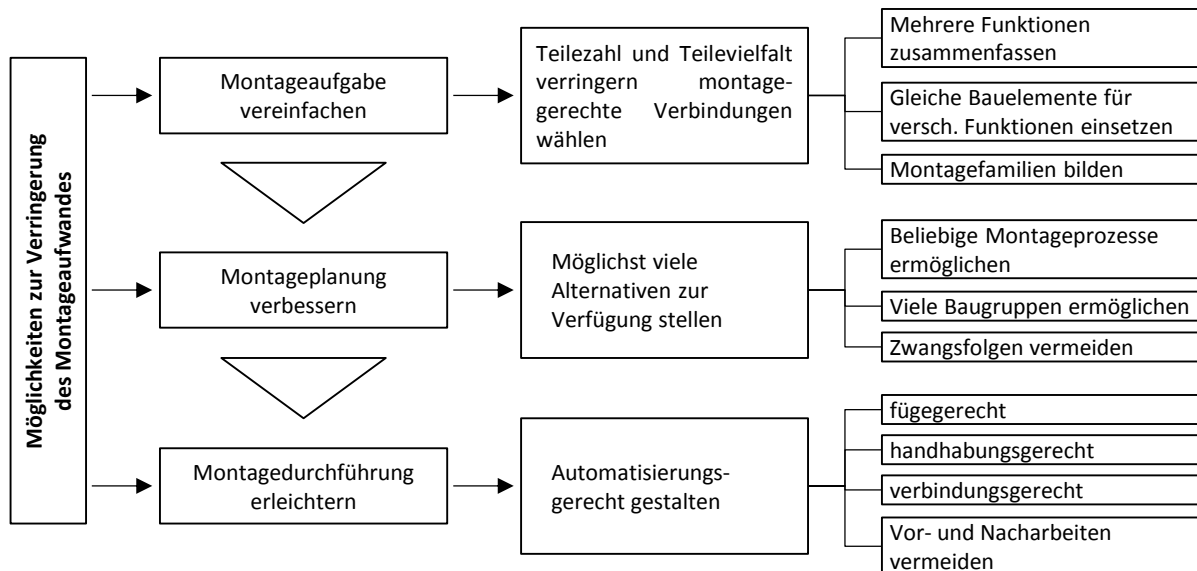


Bild 2-6 Möglichkeiten zur Senkung des Montageaufwandes nach [Gai81]

ESKILANDER unterteilt in kurz- und langfristige Ziele [Esk01]. Kurzfristige, anfänglich definierte Ziele sind die *Reduzierung der Komponentenanzahl, Senkung der Montagezeiten sowie Verringerung von Fertigungs- und Montagekosten*. Der kurzfristige Betrachtungshorizont beschränkt sich dabei üblicherweise auf ein Produkt und ist überwiegend kostengetrieben. Langfristige Ziele wiederum beziehen sich auf ein größeres Produktspektrum und beabsichtigen eine *Erhöhung der Produktqualität sowie die Schaffung einer Umgebung für Simultaneous Engineering*.

Im Rahmen einer empirischen Analyse von Fallstudien bei klein- und mittelständischen Unternehmen formuliert WILDEMANN die folgenden Ziele der Produkt- und Montagegestaltung: *Realisierung eines kontinuierlichen Verbrauchs, Reduzierung der Durchlaufzeiten, Steigerung der Losgröße je Montageschritt, Reduzierung der Bestände, Erhöhung der Liefertreue, Reduzierung der Montagekosten, Vermeidung von Fehllieferungen, Erhöhung der Prozess- und Produktqualität* [Wil10b].

UNGEHEUER konzentriert sich auf die spezifischen Ziele der Produktstrukturierung. Produktseitig werden das *Bilden von vormontierbaren, funktionsprüfbar Einheiten*, das *Steigern des Wiederverwendungsgrads*, das *Erreichen der Austauschbarkeit von kompletten Baugruppen* durch Entwickeln von Baukästen und Modulen als Ziele angeführt [Ung86]. In Bezug auf das Montagesystem bestehen die Ziele aus dem *Schaffen der Voraussetzungen für die Montageplanung und –steuerung*, das *Senken der Montagedurchlaufzeiten* durch Parallelmontage, das *Senken des Endmontageumfangs* durch Vormontage und das *Verringern des Änderungsaufwands*. Weitere organisatorische Zielsetzungen sind das Schaffen der Voraussetzungen

für eine bedarfsgerechte Materialdisposition, das Verbessern der Vor- und Nachkalkulation, das Erleichtern der Angebotskalkulation sowie das Bereinigen des Produktprogramms.

Die Auflistung der Zielsetzungen aus der Literatur zeigt das große Spektrum der dazu aufgestellten Definitionen. So verbleiben die Zielformulierungen zum einen bei allgemeinen strategischen Aspekten. Zum anderen werden bereits detaillierte Produkteigenschaften angeführt, die in der Gestaltung entsprechend umzusetzen sind. Auffällig ist dabei die mitunter bestehende Integration von Gestaltungsmaßnahmen in die Formulierung der Ziele.

2.3.2 Montagegerechte Gestaltung im Produktentwicklungsprozess

Für die Planung und Durchführung von Entwicklungsprozessen stehen verschiedene Vorgehensmodelle zur Verfügung, in denen essentielle Elemente einer Handlungsfolge abgebildet sind. Als maßgebliche Richtlinien haben sich dafür das Vorgehen nach PAHL/BEITZ [Pah07] sowie die VDI RICHTLINIE 2221 [VDI93] etabliert. Die Zielsetzungen sind die Berücksichtigung der Vielfalt zu lösender Aufgaben des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses und dafür entsprechende Methoden zur Verfügung zu stellen. Das generelle Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren wird, ausgehend von der Entwicklungsaufgabe bis hin zum Abschluss der Konstruktion, in die vier sich teilweise überschneidende Phasen Planen, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten unterteilt.

BÄBLER und GAIROLA zeigen die Möglichkeiten zur Beeinflussung der Montageeigenschaften entlang des Konstruktionsprozesses auf. Zusätzlich ordnen sie den Konstruktionsritten spezifisch geeignete Hilfsmittel zu [Bä88, Gai86].

In der *Planungsphase* sind allgemeine Anforderungen zur montagegerechten Produktgestaltung zu berücksichtigen sowie Zielvorgaben zur Produktstrukturierung und Schnittstellengestaltung zu definieren. Es kommen dabei Gestaltungsregeln sowie qualitative Analysen zum Einsatz. Bei dieser frühen Bewertung der Montagegerechtheit ist die individuelle Erfahrung des Anwenders, wie gut eine auf den Lösungsprinzipien basierte Konstruktion montierbar ist, essentiell.

Im Rahmen des *Konzipierens* bestehen bereits erste Möglichkeiten zur Beeinflussung der Montageeigenschaften durch die Gestaltung des Produkts. In der frühen Konzeptphase können aufgrund des noch hohen Abstraktionsgrads dazu zunächst lediglich Informationen und Erfahrungen hinsichtlich der produktspezifischen Montagemöglichkeiten eingebracht werden. Die im weiteren Verlauf des Konzipierens erfolgende Funktionsanalyse unterstützt die Erhöhung der Montagegerechtheit durch Festlegung entsprechender Funktionsstrukturen. Diese sind dadurch geprägt, dass sie eine separate Vormontier- und Prüfbarkeit der auf Basis der Funktionsstrukturen entwickelten Baugruppen ermöglicht. Bei der auf die Funktionsanalyse folgenden Erstellung der ersten grobmaßstäblichen Skizzen ist bereits auf eine montagegerechte Gestaltung der Produktkonstruktion zu achten. Dazu stehen dem grobmaßstäblichen Detailgrad angepasste Gestaltungsrichtlinien zur Verfügung, die in Katalogen, wie im PAHL/BEITZ (vgl. Abschnitt 3.1.2.1) oder ROTH zusammengestellt sind [Pah06, Rot00]. Im Rahmen der Auswahl der Lösungsprinzipien und abschließenden Bewertung von Konzeptvarianten erfolgt eine erste Abschätzung der Montagegerechtheit. In dieser Phase kommen überwiegend Gestaltungsrichtlinien sowie Nutzwertanalysen und Checklisten zum Einsatz.

Die Beeinflussungsmöglichkeiten in der **Entwurfsphase** gestalten sich analog zu dem Tätigkeitsspektrum im Konzipieren jedoch mit einem höheren Detaillierungsgrad. Zum einen wird die Anordnung der Gesamtheit der Funktionsträger festgelegt. Zum anderen erfolgen erste Gestaltungsansätze der einzelnen Funktionsträger. Im Rahmen der Festlegung der Anordnung ist eine Trennung von neutralen und varianten Funktionsträgern anzustreben. In der Grobgestaltung der Funktionsträger sind wiederum räumliche Begebenheiten, wie Fügefreiräume und Zugänglichkeiten, zu berücksichtigen. Zusätzlich gilt es, die Eigenschaften der Bauteile sowie der Fügevorgänge nach den Grundsätzen Vereinfachung, Vereinheitlichung und Reduzierung zu beeinflussen. Der Detaillierungsgrad der Produktinformationen erlaubt eine Bewertung der Montagegerechtigkeit auf Basis von Berechnungen. Hierzu kommen in dieser Phase erstmals kalkulatorische Hilfsmittel, wie Wertanalysen und Kostenberechnungen zum Einsatz. Die höchste Ausprägung der Informationsbasis wird in der Produktausarbeitung geschaffen. Damit sind Detailoptimierungen an sämtlichen Produktaspekten sowie genaue Berechnungen der Produkteigenschaften möglich.

In der abschließenden *Ausarbeitungsphase* erfolgt die herstellungstechnische Optimierung der konstruktiven Lösung. Die Maßnahmen beziehen sich dabei im Wesentlichen auf die Gestaltung der Einzelteile hinsichtlich Geometrie, Oberflächen etc. Unter der Verwendung von Konstruktionsrichtlinien erfolgen hierbei lediglich Gestaltungsmaßnahmen, die auf die generelle Produktfunktion keinen Einfluss mehr haben, sondern lediglich der Verringerung des Montageaufwands dienen [Gai81, Bäß88].

Die phasenorientierten Ablaufmodelle, wie PAHL/BEITZ und die VDI 2221, entstammen überwiegend der wissenschaftlich orientierten Konstruktionslehre. Gemeinsame Charakteristik ist die Einteilung des Entwicklungsprozesses in Phasen mit zunehmender Konkretisierung. Der Übergang von geringer zu hoher Konkretisierung verläuft dabei fließend [Sei05]. In der industriellen Praxis werden jedoch eindeutige Entscheidungsunterstützungen entlang des Entwicklungsprozesses benötigt, die an ökonomischen und managementorientierten Kriterien ausgerichtet sind. Dafür werden in der Praxis sogenannte gate-orientierte Ablaufpläne verwendet, in denen die Entwicklungstätigkeiten durch definierte Meilensteine gegliedert werden. Neben dem Stage-Gate-Prozess nach COOPER [Coo90], der den bekanntesten Ansatz dieser Kategorie darstellt, existiert eine Vielzahl unternehmensspezifischer Ansätze (vgl. [Sei05]).

Übergeordnet ist die Produktentwicklung ein Teil des Innovationsprozesses. Vor der Produktentwicklung wird die Phase der Ideenfindung durchgeführt. Im Anschluss an die Produktentwicklung erfolgt die Phase des Produktionshochlaufs. Sämtliche Phasen sind durch Meilensteine voneinander abgegrenzt [Voi08]. Der Produktentwicklungsprozess besteht grundlegend aus einer Vor- und einer Serienentwicklung. Im Rahmen der Serienentwicklung erfolgt die eigentliche Entwicklung marktgerechter und kundenspezifischer Produkte. Die entscheidende Grundlage dafür wird bereits in der Vorentwicklung gelegt.

Nach VOIGT lassen sich die maßgeblichen Ziele und Aufgaben der *Vorentwicklung* konstatieren:

- Im Rahmen einer Pilotentwicklung werden Prototypen erzeugt, anhand derer technologische Machbarkeitsstudien durchgeführt werden. Dadurch wird eine Grundlage für Entscheidungen zu neuen Produktentwicklungen vorbereitet.
- Durch Untersuchungen zu dem Aspekt der Standardisierung gilt es, Gleichteile im vorliegenden Produktspektrum zu identifizieren und Prozesse zu vereinheitlichen. Dadurch können Varianten reduziert sowie Kosten und Zeiten eingespart werden.
- Des Weiteren wird in der Vorentwicklung ein Rahmen für die Integration von Baugruppen geschaffen.

2.3.3 Der Einfluss der Vorentwicklung auf die Montagegerechtigkeit

Wie im vorherigen Kapitel herausgearbeitet, existieren verschiedene Beeinflussungsmöglichkeiten entlang des Konstruktionsprozesses. Hinsichtlich der jeweiligen Reichweite stellt ANDREASEN fest:

„One might say, that we [have] always known that a structural approach shall proceed a parts oriented one, because DFM reasoning on structural level has much more effect than the part oriented one, so the shift is more to more appropriate tools than philosophy.“ [And06]

Demzufolge sind es die Maßnahmen auf Produktstruktur-Ebene, denen die größten Beeinflussungsmöglichkeiten, in diesem Fall in Bezug auf die Montagegerechtigkeit, zugesprochen werden.

Die Produktstrukturierung kann, gemäß der in Abschnitt 2.3.2 aufgeführten Beschreibung, der Vorentwicklung zugeordnet werden. Das Vorgehen ist im Allgemeinen durch zyklische Iteration geprägt. In der Vorentwicklung erfolgen die Tätigkeiten überwiegend auf Basis unscharfer Information und vorläufiger Annahmen. Bei Änderungen der Randbedingungen oder Zugewinn neuer Erkenntnisse werden einige Arbeitsschritte auf höherem Informationsstand wiederholt. Mit der Produktstrukturierung ist die Erstellung des Produktkonzepts abgeschlossen. Die Produkteigenschaften sind dann bereits zu einem großen Teil festgelegt. Eine detaillierte Analyse der Verhältnisse von Kostenverursachung und Kostenverantwortung innerhalb der Produktentwicklung nach EHRENSPIEL bestätigt den hohen Stellenwert der Vorentwicklung [Ehr95]. Mit Abschluss der frühen Entwicklungsphase sind bereits 60 – 80 % der beeinflussbaren Produktkosten festgelegt. Diese Kosten fallen jedoch erst in den späteren Phasen der Produktentstehung an. Die frühen Phasen verursachen selber nur einen geringen Teil der Produktkosten, da nahezu keine kostenintensiven Betriebsmittel oder hohe Ressourcenaufwendungen benötigt werden [VDI89, Sch80]. Aus dieser Konstellation ergeben sich hohe Potentiale zur Produktkostensenkung und Entstehungszeitverkürzung [Fel97]. Wegen der sich daraus begründeten hohen Bedeutung für die Produktentwicklung sind eine systematische Bearbeitung der Vorentwicklung und eine Unterstützung mittels Methodeneinsatz essentiell.

Nach SCHUH werden mit dem Aufbau einer Produktstruktur die folgenden Ziele verfolgt. Die strukturelle Gliederung der in einem Erzeugnis enthaltenen Bauteile ermöglicht die Strukturierung des Konstruktionsprozesses, beispielsweise in Form von einheitlichem Zeichnungs- und Stücklistenaufbau. Des Weiteren soll die Mehrfachverwendung von Baugruppen und Einzelteilen gesteigert werden. Durch Reduzierung der Produktionsdaten soll die Informationsverarbeitung vereinfacht und die Materialdisposition optimiert werden [Sch05].

Für eine effektive Strukturierung sind die Sichten sämtlicher am Produkt beteiligter Gruppen, wie Entwicklung, Produktion, Vertrieb sowie auch die Nutzer und die Entsorgung, einzubeziehen. Die Entwicklung einer spezifischen Produktstruktur ist darüber hinaus an den jeweiligen Möglichkeiten, d.h. Kompetenzen des Unternehmens auszurichten [Sch05]. Die Produktstruktur steht dabei in einer Wechselwirkung mit den Unternehmensfaktoren Unternehmensstrategie, Produktfunktionalität, Technologie, Organisationsstrukturen, Produktplanung sowie den Kostenstrukturen.

2.3.4 Auswirkung der Modularisierung auf die Montage varianter Produkte

Ein weit verbreitetes Vorgehen zur Produktstrukturierung ist die Modularisierung [Sch05]. Dabei haben sich zwei grundsätzliche Richtungen herausgebildet. Eine Kategorie von Modularisierungsansätzen basiert auf der Betrachtung der technisch-funktionalen Zusammenhänge zwischen den Produktkomponenten. Die andere Kategorie strebt eine Modulbildung an, die sich an produktstrategischen Aspekten orientiert. Darauf aufbauend werden integrierte Ansätze entwickelt, die beide Richtungen vereinen, um die notwendige gesamtheitliche Sichtweise auf die Produktstrukturierung umzusetzen. Ausgehend von einer bestehenden Produktstruktur besteht das generelle Vorgehen zur Modulbildung beider Ansätze darin, Komponenten, die gleiche Charakteristiken hinsichtlich der jeweiligen Betrachtungsaspekte aufweisen, zusammenzuführen. Der folgende Abschnitt beschreibt die Charakteristiken modular strukturierter Produkte hinsichtlich ihrer Montagegerechtigkeit.

Der modulare Aufbau von Produkten führt zu einer Vereinfachung der Endmontage. Mit einer Ausweitung der Verwendung von standardisierten Komponenten und Modulen ist eine Verkürzung der Montagezeit zu erwarten. Durch die höhere Anzahl der Standardteile steigen die Stückzahlen in der Produktion, wodurch die Stückkosten gesenkt werden können [Göp98, Jac07]. Als Ursachen dafür können die Reduzierung der Rüstaufwände, der verringerte Bedarf an Werkzeugen und Montagevorrichtung [Pil99] sowie die Ausweitung von Lernkurven- und Skaleneffekten genannt werden. Aufgrund der modularen Bauweise kann die Fertigung parallelisiert und die Durchlaufzeit verkürzt werden [Deh04, Fos08]. Die Orientierung an der modularen Struktur ermöglicht eine Vereinfachung der Produktionsplanung durch hierarchische Strukturierung der Prozesse [Rup07]. Das separate Testen von Modulen führt zu einer frühzeitigen Lokalisierung von Produktionsfehlern und damit zur Vermeidung einer möglichen Fehlerfortpflanzung [Koe08].

Modularität in der Produktion impliziert eine Aufteilung des Montagesystems in Vor- und Endmontageumfänge. Diese Entkopplung von Montagetätigkeiten führt zu einer Steigerung der Effizienz und der Flexibilität [Fei97, Wil97, Dur02]. Die Modularisierung von Produkten gilt als ein Mittel zur Implementierung von kundenindividueller Massenproduktion [Pin93,

Sta65, Ahl99]. Durch die modulare Bauweise kann das Produktionssystem und die daraus folgenden Prozesse in Haupt- und Nebenstränge aufgeteilt werden.

Während die einzelnen Module an den Nebenlinien hergestellt werden, erfolgt die Herstellung des Gesamtprodukts durch die Zuführung und Integration der Module und Komponenten an der Hauptlinie. Die Aufteilung ermöglicht eine getrennte Betrachtung der einzelnen Montagelinien als abgeschlossene Systeme. Dadurch kann der gesamte Montageablauf in einzelne weniger komplexe Abschnitte unterteilt werden, die auf ihre jeweiligen Produktionsprozesse optimal ausgerichtet werden können. Die Ausrichtung der übrigen Prozesse an der Hauptlinie ermöglicht eine übersichtliche Struktur und eine materialflussgerechte Anordnung. Die Linien bilden für das Qualitätsmanagement geschlossene Prozesse. Die Module können vor dem Einbau in der Hauptlinie auf ihre Funktionstüchtigkeit geprüft werden. Unter anderem können so Funktionsfehler schnell behoben werden und haben keinen Einfluss auf das Produkt in der Endmontage. Standardisierte Schnittstellen können eine einfache Prüfung auch von Modulen ermöglichen, die speziell an einen Kunden angepasst wurden [Abe09].

Wenn die Produktkonstruktion, beispielsweise wegen einer Verbesserung oder Variantengenerierung, geändert, die Modulstruktur aber beibehalten wird, findet diese Änderung in mindestens einem Modul statt. Die jeweiligen Änderungen haben jedoch keine oder nur geringe Auswirkungen auf andere Module, weshalb die Anpassung nur in den Fertigungs- oder Montagelinien der betreffenden Module durchzuführen ist. Bei der Verwendung standardisierter Schnittstellen wird die Endmontagelinie durch Änderungen in einzelnen Modulen ebenfalls nicht oder lediglich unwesentlich beeinflusst. Begrenzte Änderungen können also mit einem geringen Aufwand durchgeführt werden, wodurch die Flexibilität der Produktion gesteigert wird. Gleiche Module können in unterschiedlichen Endmontagelinien verwendet werden. Voraussetzung dafür sind allerdings gleiche Schnittstellen. Die Auslastung der Modulproduktion kann durch erhöhte Gesamtstückzahlen stabilisiert werden [Sch10].

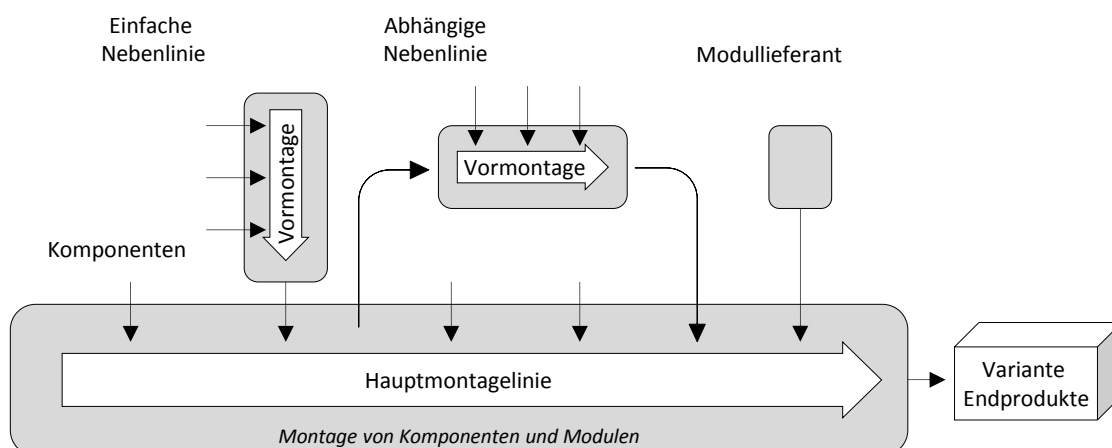


Bild 2-7: Prinzip des modularen Produktionsprozesses in Anlehnung an [Sch10, Fre06]

Die in sich geschlossenen Teilprozesse ermöglichen eine eindeutige Zuordnung von Aufgaben und Verantwortlichkeiten, so dass die Dokumentation des Produkts und seiner Erstellung vereinfacht werden. Die Nebenlinien sind nicht baulich an die Hauptmontagelinie gebunden und können in anderen Teilen eines Firmengeländes oder in anderen Firmenstand-

orten untergebracht werden. Darüber hinaus ist der Bezug vollständiger Module von Lieferanten möglich. Die Aufteilung in mehrere Linien, bzw. unterschiedliche Linienarten erfordert jedoch einen erhöhten Abstimmungsaufwand. Die Verwendung eines Moduls als eine Baugruppe erfordert in der Regel eine Basiskomponente, an welche alle anderen Module montiert werden können. Für die variantenunabhängigen Montageumfänge ergeben sich eine gleich bleibende Montagezeit mit einer daraus resultierenden variantenneutralen Durchlaufzeit und dadurch eine bessere Planungssicherheit. Durch Verlagerung der variantenbildenden Module an das Ende der Hauptlinie, dem sogenannten Postponement, ermöglicht schnelles Reagieren auf neue Aufträge und Änderungen, weil die einzelnen Module unabhängig voneinander vormontiert werden und sich die Durchlaufzeit der Produkte dadurch verringert. Durch Nebenlinien, die an die einzelnen Module angepasst sind, können die ergonomischen Bedingungen gegenüber einer Montage der Komponenten an einer einzigen Hauptlinie verbessert werden. Die Zugänglichkeit zu Fügestellen oder die Handhabung von Komponenten wird optimiert [Wei02].

Den vielseitigen Potentialen der Modularisierung steht das allgemeine Entwicklungsrisiko gegenüber. So muss zwischen einer Erhöhung der Kosten in der Produktentwicklung und der erwarteten Kostenreduktion in der Nutzungsphase abgewogen werden. Eine systematische Unterstützung durch entsprechende Methoden kann die Entscheidung zugunsten der Durchführung von Modularisierungsaktivitäten beeinflussen [Spe99].

2.3.5 Potentiale und Grenzen von Produktentwicklungsmethoden

Der Einsatz von Methoden unterstützt den Produktentwickler in der Bewältigung der Komplexität der Entwicklungsaufgabe hinsichtlich Berücksichtigung und Verarbeitung der vielfältigen Anforderungen, dem Finden neuer Lösungen sowie im Schaffen von Entscheidungsgrundlagen [Lin09]. Die Methoden weisen einen präskriptiven Charakter auf. Übergeordnet geben sie dem Anwender Vorschriften zur Ausführung bestimmter Tätigkeiten. Innerhalb dieser Vorschriften ist jedoch Raum für Flexibilität und Kreativität vorgesehen. So sind Produktentwicklungsmethoden an das jeweilige Aufgabenumfeld anzupassen. Ebenfalls können sie den Anwender lediglich unterstützen jedoch nicht ersetzen [Pul02].

Viele Entwicklungstätigkeiten können durch Erfahrung und Wissen effektiv und effizient durchgeführt werden. Es kann jedoch zu Situationen kommen, in denen wegen der Komplexität der Aufgabe intuitives Handeln nicht ausreicht und durch eine bewusste und systematische Vorgehensweise ersetzt werden muss. Untersuchungen haben ergeben, dass Methoden in der industriellen Praxis nur unzureichend eingesetzt werden. So werden Methoden, die eine kurzfristige Steigerung der operativen Effizienz bewirken, häufiger eingesetzt als auf den langfristigen, dafür umfangreicheren Unternehmenserfolg abzielende Methoden. Die ausschlaggebenden Gründe für eine mangelhafte Anwendung liegen zum einen beim Benutzer, zum anderen resultieren sie aus einer unzureichenden Gestaltung der Methode selber [Zan08].

Als anwenderseitige Hemmnisse werden fehlendes Methodenwissen, mangelnde Einbindung der Methoden in die Entwicklungsprozesse bzw. mangelnde Anbindung an andere Methoden sowie falscher Einsatz der Methode genannt [Can03]. Diese Faktoren sind nicht per

se durch die Gestaltung einer Methode beeinflussbar, sondern sind überwiegend auf die individuelle Kompetenz des Anwenders zurückzuführen. Bei der Entwicklung von Methoden ist daher eine praxisnahe und anwenderfreundliche Gestaltung mittels geeigneter Visualisierung und Beschreibung zu berücksichtigen. Diese zeichnet sich durch flexible Einsetzbarkeit und Anpassbarkeit sowie explizite Darstellung der Ziele und Wirkweisen der Methoden aus. Darüber hinaus ist der Hinweis auf das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand der Anwendung essentiell für die Akzeptanz und damit schließlich für den erfolgreichen Einsatz von Produktentwicklungsmethoden.

2.4 Anforderungen an die Entwicklung montagegerechter Produktstrukturen

Die vorangegangene Analyse hat gezeigt, dass die Produktstrukturierung maßgebliche Potentiale zur Optimierung der Montagegerechtigkeit bietet. Im Besonderen wird die Umsetzung der strategischen Zielvorgaben an die Montage, beispielsweise hinsichtlich ihrer Organisation, ihres Layouts bzw. zeitlicher Aspekte, bereits in einer frühen Phase der Produktentstehung initiiert. Darüber hinaus bietet die Produktstrukturierung effektive Unterstützung in der Beherrschung der Auswirkungen von Produktvarianz und -komplexität auf die Montage im jeweiligen spezifischen Umfeld. Ein methodischer Ansatz zur Entwicklung montagegerechter Produktstrukturen muss jedoch vielfältige Voraussetzungen erfüllen. Die Anforderungen resultieren zum einen aus den in diesem Kapitel analysierten Zusammenhängen, zum anderen aus allgemeingültigen Anforderungen an die Entwicklung von Konstruktionsmethoden.

Anwendung in der Vorentwicklungsphase: Die Strukturierung des Produkts erfolgt im Konzeptstadium. Die in dieser als Vorentwicklung bezeichneten Phase der Produktentwicklung durchgeführten Tätigkeiten sind durch die Verarbeitung unscharfer Informationen geprägt. Bei der Entwicklung montagegerechter Produktstrukturen muss daher die Notwendigkeit detaillierter Daten vermieden sowie eine systematische Unterstützung zur transparenten Findung von Annahmen bereitgestellt werden.

Unterstützung der interdisziplinären Zusammenarbeit: Der wesentliche Kern der montagegerechten Konstruktion ist die Überführung von Montageaspekten in die Produktstrukturierung. In organisatorischer Hinsicht muss ein entsprechendes methodisches Vorgehen eine Grundlage zur Zusammenarbeit des prozessorientierten Montagebereichs mit der funktionorientierten Produktentwicklung schaffen. Voraussetzung dafür ist eine moderierende Charakteristik zur Zusammenführung beider Disziplinen durch Unterstützung der Kommunikation und Optimierung der Anwendbarkeit der Methode.

Berücksichtigung der variantengerechten Produktgestaltung: Die Varianz einer Produktfamilie wirkt sich auf die Komplexität der zugehörigen Montageprozesse aus. Neben der konstruktiven Gestaltung der Komponenten ist die Produktstrukturierung ein maßgebliches Instrument zur variantengerechten Produktgestaltung. Eine Methode zur montagegerechten Produktstrukturierung muss daher die systematische Verarbeitung sämtlicher Varianzaspekte sowohl hinsichtlich des Produkts als auch bezogen auf den Montageprozess unterstützen.

Berücksichtigung montagerelevanter Aspekte: Die Montagegerechtheit als eine spezifische Produkteigenschaft wird durch entsprechend ausgeprägte Produktstrukturmerkmale, wie Modulumfang und Schnittstellen, bestimmt. Die jeweilige Bewertung dieser Montagegerechtheit basiert jedoch auf spezifischen Aspekten der Montage, wie die Durchlaufzeit oder die Montagesystemkosten. Eine wesentliche Anforderung an eine Methode ist daher die systematische Identifikation dieser Montageaspekte sowie das Aufzeigen von Möglichkeiten, wie die Aspekte in der Strukturierungstätigkeit berücksichtigt werden können.

Abbildung von strategischen Montagezielen: Die allgemeine Gestaltung der Montage orientiert sich an strategischen Zielvorgaben. Diese beziehen sich auf beispielsweise zeitliche, monetäre oder ressourcenrelevante Aspekte und können mitunter in einem diametralen Verhältnis stehen. Die Produktstruktur hat dabei zur Umsetzung der definierten Ziele beizutragen. Die Methode muss daher die Zusammenhänge zwischen den strategischen Zielen und der Produktstruktur aufzeigen sowie die Auswahl und Applikation entsprechender Strukturierungsmaßnahmen unterstützen.

Integration weiterer Produktlebensphasensichten: Eine gesamtheitliche Produktstrukturierung erfordert die Berücksichtigung sämtlicher Produktlebensphasen. Das kann entweder durch die Methode selber erfolgen, oder es werden systematische Schnittstellen zu anderen Methoden aufgezeigt, um alle Anforderungen in der Entwicklung einer Produktstruktur einzubeziehen.

Bereitstellung von Vorgehens- und Gestaltungsanweisungen: Ein wesentlicher Bestandteil der Produktstrukturierung ist die Festlegung der Komponenten sowie deren Schnittstellen. Zur Unterstützung dieser Entwicklungstätigkeit im Rahmen der Produktkonstruktion sind systematische Vorgehensweisen und detaillierte Anweisungen für die Durchführung der Produktstrukturierung bereitzustellen.

Transparente Darstellung und Dokumentation: Eine Methode muss eine einfache Darstellung und Dokumentation der strukturelevanten Zusammenhänge gewährleisten. Das Ziel ist dabei die Sicherstellung der interdisziplinären Zusammenarbeit und Förderung der Kommunikation. Beides wird durch Schaffung von Transparenz der durchgeführten Analysen sowie Nachvollziehbarkeit der ergriffenen Maßnahmen und erzielten Konzeptergebnisse erreicht.

Entwurfsphasengerechte Bewertung: Die Tätigkeiten der Produktstrukturierung führen zu der Aufstellung von Konzepten im Sinne des Produktentwicklungsprozesses. Die Ergebnisse repräsentieren damit die Grundlage für eine bewertungsbasierte Entscheidung zur Konzeptauswahl und anschließender Fortführung der Produktkonstruktion. Die in dem Rahmen durchzuführende Bewertung ist an den Detaillierungsgrad der verfügbaren Produktinformationen in dem frühen Entwicklungsstadium anzupassen. Dabei muss die Methode eine ausreichende Aussagekraft der Bewertung erreichen, um die Vergleichbarkeit der verschiedenen Strukturkonzepte sicherzustellen. Gleichzeitig darf der Bewertungsansatz aber nicht auf Daten und Informationen basieren, die zu dem Zeitpunkt noch gar nicht verfügbar sind.

3 Stand der Wissenschaft

In diesem Kapitel wird der aktuelle Stand der Wissenschaft auf dem Gebiet der Produktgestaltung unter Montagegesichtspunkten dargestellt. Dafür werden die einschlägigen Methoden auf dem Gebiet untersucht und nach den in Kapitel 1 aufgestellten Anforderungen bewertet. Der Fokus liegt dabei, sofern in den Methoden enthalten, auf dem gestalterischen Aspekt der Strukturierung. Die Analyse unterteilt sich in drei Gruppen. Die erste Gruppe bilden die etablierten Methoden zur Unterstützung der montagegerechten Konstruktion. Die Produktstrukturierung ist in einigen Methoden als ein Bestandteil enthalten. Die zweite Gruppe umfasst Methoden zur allgemeinen Entwicklung von Produktstrukturen. Die Montage wird dabei überwiegend als eine Zieleigenschaft des Produkts in der Strukturierung berücksichtigt. Des Weiteren werden graphische Werkzeuge analysiert, die zur Darstellung von produktstrukturellen Zusammenhängen eingesetzt werden können. Die letzte Gruppe bilden Methoden und Werkzeuge zur Bewertung der Produktgestaltung hinsichtlich ihrer spezifischen Montagegerechtheit. Am Ende jeden Abschnitts erfolgt eine Bewertung der vorgestellten Methoden hinsichtlich der in Kapitel 1 aufgestellten Anforderungen. Auf dieser Basis wird abschließend der Forschungsbedarf der vorliegenden Arbeit abgeleitet.

3.1 Montagegerechte Konstruktion

3.1.1 Grundlagen des montagegerechten Konstruierens

Die Entwicklung von Methoden zur systematischen Unterstützung in der montagegerechten Konstruktion hat eine lange Geschichte in der Konstruktionslehre. Erste Methoden entstanden bereits Ende der Sechziger- bzw. Anfang der Siebzigerjahre des 20. Jahrhunderts [VDI67, TGL71]. Der technologische Fortschritt in der Montagetechnik, beispielsweise durch Einführung von Industrierobotern, die nahezu vollständige Etablierung von CAD in der Konstruktion oder die Umstellung der Arbeitsweisen in Form von Concurrent Engineering gaben stets Impulse für Anpassungen oder sogar Neuentwicklungen der Methoden. Die Wirkungsweisen sämtlicher Methoden weisen dabei jedoch stets ein hohes Maß an Ähnlichkeit auf. Der generelle Ablauf lässt sich durch das in Bild 3-1 dargestellte Schema beschreiben.

Den Ausgangspunkt bildet eine vorgeschlagene konstruktive Produktgestaltung. Diese wird hinsichtlich ihrer spezifischen Montagegerechtheit, z.B. ausgedrückt durch die jeweiligen Kosten oder die benötigte Montagezeit, bewertet. Anschließend werden Maßnahmen zur Optimierung der Konstruktion ergriffen. Nach einer erneuten Bewertung der Montagegerechtheit erfolgt entweder eine erneute Optimierungsiteration oder die Produktgestaltung kann akzeptiert und in die weitere Ausarbeitung überführt werden.

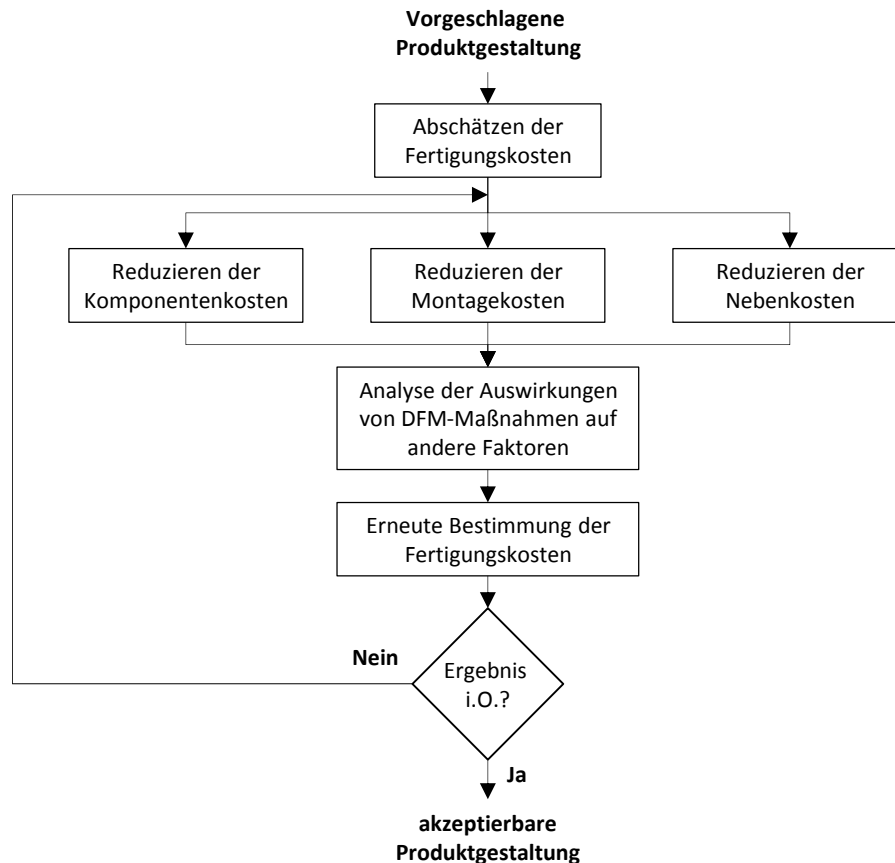


Bild 3-1: Allgemeines Vorgehen zur montagegerechten Produktgestaltung nach [Boo02]

Die Methoden beziehen sich zum einen auf entsprechende Optimierungsmaßnahmen. Sie liefern dafür Unterstützung bei der Festlegung konstruktiver Produktmerkmale, die Einfluss auf die Montage haben. Zum anderen gibt es Methoden, welche die bewertenden Tätigkeiten unterstützen. Diese dienen der Quantifizierung der jeweiligen Ausprägung der Montageeigenschaften und liefern damit gezielte Hinweise auf Schwachstellen der konstruktiven Gestaltung. Die Tätigkeiten der montagegerechten Produktgestaltung können somit in die zwei grundlegenden Kategorien Determination und Evaluierung eingeteilt werden.

3.1.2 Methoden zur montagegerechten Konstruktion

3.1.2.1 Montagegerechte Gestaltungsrichtlinien nach PAHL/BEITZ

PAHL/BEITZ ordnen den Aspekt der Montagegerechtigkeit der Konstruktionsphase des methodischen Entwerfens zu. Ein umfangreicher Katalog mit Gestaltungsrichtlinien stellt den Hauptteil der Methode dar. Die Darstellung der einzelnen Gestaltungsrichtlinien folgt dabei stets einem identischen Aufbau. Anhand von prinzipiellen Skizzen werden montagegerechte und nicht montagegerechte Lösungen einer konstruktiven Aufgabe dargestellt und anhand von Stichworten erläutert. Zusätzlich Angaben verweisen auf die relevante Art der Montage, manuell oder automatisch, sowie auf die jeweils betroffenen Montageoperationen. Die Gestaltungsrichtlinien folgen dabei den übergeordneten Gestaltungsansätzen Gliedern, Reduzieren, Vereinheitlichen und Vereinfachen und nehmen Bezug auf die drei Produktbestandteile Baustruktur, Fügestellen und Fügeteil. Zur Unterstützung der montagegerechten Ge-

staltung erfolgt die Formulierung einer Leitlinie, die sich an dem allgemeinen Vorgehen beim Entwerfen orientiert. Neben dem Verweis auf den Gestaltungsrichtlinienkatalog werden allgemeine Maßnahmen vorgeschlagen, bei denen es sich um überwiegend pauschale Aussagen zu produktstrategischen Maßnahmen handelt. So wird beispielsweise lediglich „die Verwendung des Baureihen- und Baukastenprinzips zur Reduzierung der Variantenvielfalt“ oder „das Aufstellen des Montageplans zur Durchführung einer Bewertung“ empfohlen. Die folgende Abbildung zeigt ein Richtlinienbeispiel. Der beschreibende Text wird jeweils um Skizzen des montagegerechten bzw. nicht montagegerechten Zustands ergänzt. Des Weiteren wird die betroffene Montageoperation, wie Speichern, Handhaben, Fügen etc., ausgewiesen und es wird gekennzeichnet, ob auf die manuelle und/oder die automatische Montage Bezug genommen wird [Pah06]. Weitere für das Produktstrukturieren relevante Gestaltungsrichtlinien sind im Anhang B1 aufgeführt.

Oper.	Gestaltungsrichtlinie	Art	nicht montagegerecht	montagegerecht
Gliedern der Montageoperationen				
Sp Ha Po Fü Ei Si Ko	Gliedern in Baugruppen zum Ermöglichen von Montagestufen mit Vor- und Endmontage	MM AM		
Ha Ko	Gliedern in unabhängige Montagegruppen, z.B. zur Parallelmontage	MM AM		

Si	Sichern
Ko	Kontrollieren
MM	Manuelle Montage
AM	Automatische Montage
E	Produkt
T	Einzelteil
G	Baugruppe

Bild 3-2: Auszug aus den Gestaltungsrichtlinien zur montagegerechten Baustruktur nach [Pah06]

Bewertung: Mit den montagegerechten Gestaltungsrichtlinien, die im Rahmen der Entwurfsphase im Entwicklungsprozess angewendet werden, haben PAHL/BEITZ die Grundlage für die gesamte Forschungslandschaft zu diesem Thema geschaffen. Ihre allgemeine Vorgehensweise ist universell einsetzbar. Die Formulierung der Gestaltungsrichtlinien ist leicht verständlich. Es ist jedoch keine kontextspezifische Adaptierung, bzw. Zielausrichtung vorgesehen.

3.1.2.2 Design for Assembly nach ANDREASEN

Bei der Arbeit von ANDREASEN auf dem Gebiet der montagegerechten Konstruktion handelt es sich um einen weiteren etablierten Beitrag zur Konstruktionsmethodenforschung [And88]. Wie im Fall der im vorherigen Abschnitt vorgestellten Methode von PAHL/BEITZ werden diverse Gestaltungsprinzipien aufgestellt, welche dem Konstrukteur in Form eines allgemeingültigen Katalogs zur Verfügung stehen. Dabei sind diese Prinzipien jedoch deutlich detaillierter

beschrieben. Des Weiteren liegt der Fokus verstärkt auf der Berücksichtigung der Varianz. Die betrachteten Aspekte sind das Produktspektrum, die Produktstruktur sowie die Komponenten. Die Gestaltungsprinzipien werden nach den zwei Aspekten Produktstruktur und Komponenten kategorisiert. Für die hier vorliegende Arbeit ist die erste Gruppe relevant. Die Systematisierung der Produktstruktur ist das Leitthema der Maßnahmen. Dabei sind folgende Gestaltungsprinzipien hervorzuheben:

Integral- Differentialbauweise

Gemäß der Begriffsdefinition in Abschnitt 2.1 handelt es sich um gegensätzliche Bauweisen der physischen Gestalt von Bauteilen. Eine integrale Bauweise führt zu einer geringeren Komponentenzahl und reduziert damit die Anzahl notwendiger Montageoperationen. Demgegenüber ist eine differentiale Bauweise leichter an die maschinellen Ressourcen des Produktionssystems anzupassen und ermöglicht die Verwendung von Standardteilen. Die Wahl des jeweiligen optimalen Grads der Integralität bzw. Differentialität orientiert sich aus Montagesicht beispielsweise an den resultierenden Handhabungseigenschaften. Ein hohes Maß an Differentialität eines kleinen Produkts kann zu Komponenten führen, die aufgrund ihrer sehr geringen Größe schwer zu handhaben sind. Im Gegensatz dazu führt ein hochintegrales großes Produkt zu Handhabungseinschränkungen aufgrund des resultierenden großen Umfangs und des hohen Gewichts. Neben den bereits innerhalb der Montagesicht existierenden konträren Zielen sind genauso gegensätzliche Ziele aus der Sicht der Herstellung bzw. der Produktfunktionalität zu betrachten.

Basiskomponente vorsehen

Die explizite konstruktive Ausführung eines Produktbestandteils als Basiskomponente bietet Potentiale hinsichtlich einer Optimierung des Transports und des Fügens innerhalb des Montageprozesses. Mit dem Begriff Basiskomponente ist dabei ein relativ großes Teil gemeint, das eine gute Transportierbarkeit innerhalb des Produktionssystems erlaubt. Darüber hinaus weist die Basiskomponente eine hohe Schnittstellenzahl zu anderen Komponenten auf. Die Gestaltung der Schnittstellen ist dabei ohne Zwangsfolgen bzw. instabilen Zwischenzuständen auszuführen.

Baukastensystem

Das Produkt ist aus einem Baukastensystem zu gestalten. Damit können die Vorteile einer parallelen Produktion, flexiblen Planung sowie Erhöhung des Anteils von Standardkomponenten genutzt werden. Es werden dafür verschiedene Ausprägungsbeispiele für ein Baukastensystem aufgezeigt [And88].

Bewertung: Die Gestaltungsprinzipien von ANDREASEN werden ausführlich anhand von konkreten Beispielen beschrieben. Der Aspekt der Produktvarianz wird explizit berücksichtigt. Eine Systematik zur Applikation der Gestaltungsprinzipien auf die spezifische konstruktive Aufgabe ist jedoch nicht enthalten.

3.1.2.3 Design for Manufacture and Assembly (DFMA) nach BOOTHROYD

Die DFMA-Methode basiert auf einer umfangreichen Datenbank von Basistätigkeiten der Montage [Boo02]. Diese sind jeweils hinsichtlich ihres zeitlichen und wirtschaftlichen Aufwands quantifiziert. Die Methode beinhaltet sowohl die Sicht auf die Fertigung von Einzeltei-

len als auch die Montage der Komponenten zum Endprodukt. Der Montageaspekt der Methode ist wiederum unterteilt in Ansätze zur Analyse manueller, automatisierter und roboterbasierter Montage. Diese Differenzierung erfolgt durch die der Bewertung zugrunde liegende Datenbank; das Prinzip ist jeweils identisch. Die Tätigkeit, z.B. zur manuellen Produktmontage, wird in ihre Basistätigkeiten zerlegt. Jede Operation ist abhängig von der spezifischen Bauteilgestaltung und der daraus resultierenden Montage. Durch die Analyse der Handhabungs- und Fügebewegung wird der Montageaufwand bestimmt.

Neben dem umfangreichen Bewertungsaspekt der Methode erfolgt eine systematisierte Analyse der Bauteilkonstruktion, um Optimierungspotentiale aufzuzeigen. Die zwei übergeordneten Ziele sind dabei die Reduzierung der Bauteilzahl bzw. die Änderung der konstruktiven Gestaltung, um die Montierbarkeit zu verbessern.

Als erstes erfolgt die Prüfung der Möglichkeit zur Eliminierung bzw. Integration des Bauteils. Zur Unterstützung dieser Entscheidung stehen drei Fragen zur Verfügung, nach denen jedes Teil separat analysiert wird.

1. Bewegt sich das Teil relativ zu anderen Komponenten im Normalbetrieb?
2. Muss das Bauteil aus einem anderen Material als bereits montierte Bauteile bestehen oder muss es isoliert von diesen vorliegen?
3. Ist das Bauteil zu separieren, um die Montage bzw. Demontage von anderen Komponenten nicht zu behindern?

Wenn alle drei Fragen mit „Nein“ beantwortet werden, ist das Bauteil potentiell geeignet für Eliminierung bzw. bauliche Integration. Das Vorgehen bietet folglich lediglich einen Hinweis auf mögliche konstruktive Maßnahmen. Die endgültige Entscheidung und Umsetzung basiert vollständig auf dem Expertenwissen sowie der Kreativität des Anwenders.

part inserted but not secured immediately or secured by snap-fit

		secured by separate operation or part				secured on insertion by snap-fit	
		no holding down required		holding down required			
		easy to align	not easy to align	easy to align	not easy to align	easy to align	not easy to align
		0	1	2	3	4	5
no access or vision difficulties	0	1,5	3,0	2,6	5,2	1,8	3,3
obstructed access or restricted vision	1	3,7	5,2	4,8	7,4	4,0	5,5
obstructed access and restricted vision	2	5,9	7,4	7,0	9,6	7,7	7,7

Bild 3-3: Tabellarische Auflistung der Montagezeiten [Boo02]

Zweiter Schritt ist die Analyse der geometrischen Eigenschaften des Bauteils. Es werden die Handhabbarkeit und die Fügbarkeit untersucht. Für beide Aspekte wird eine Kennzahl ermit-

telt, mit denen der erwartete zeitliche Montageaufwand aus Tabellen entnommen werden kann. Bild 3-3 zeigt die tabellarische Auflistung der benötigten Zeiten für eine beispielhafte Montagetätigkeit unter verschiedenen Randbedingungen. In dem aufgeführten Fall handelt es sich um das Fügen eines Teils und dessen Sicherung mittels einer separaten Operation bzw. einer Schnappverbindung. Die dafür benötigte Zeit ist von Faktoren, wie die Einsehbarkeit der Fügestelle oder die Notwendigkeit von Festhalten des Teils, abhängig.

Zur Bewertung des gesamten Produkts und der Schaffung von Vergleichbarkeit mehrerer Produkte wird eine Kennzahl, der sogenannte DFA-Index, erhoben.

$$DFA - Index = \frac{N_m \cdot t_a}{t_{ma}}$$

Der Faktor N_m ist die Anzahl des theoretischen Minimums der enthaltenen Teile, die auf Basis der Eliminations-/Integrationsanalyse bestimmt wurde. Der Faktor t_a ist die Basismontagezeit. Der Wert wurde auf 3s festgelegt, denn ein ideales Bauteil der Größe 1x1x1 Zoll benötigt jeweils 1,5s für Handhabung und Fügen. Der Zähler t_{ma} stellt die berechnete Montagezeit dar. Ein DFA-Index von 1 würde damit ein ideal montierbares Produkt repräsentieren [Boo02].

Bewertung: Die DFMA-Methode umfasst eine sehr große Datenbank quantifizierter Basisoperationen. Die zugrundeliegenden Zeiten wurden über die Jahre der Anwendung der Methode stetig optimiert und weisen dadurch eine hohe Übereinstimmung mit der Realität auf. Für die Durchführung der Montagezeitbestimmung sind genaue Informationen zur Bauteilkonstruktion notwendig, weshalb eine Anwendung dieses Bewertungsaspekts erst in späteren Entwicklungsphasen möglich ist. Die Maßnahmen zur Produktstrukturierung konzentrieren sich auf den Aspekt der Integralbauweise bzw. die Reduzierung der Bauteilzahl. Die Analyse konzentriert sich nur auf konstruktive Details. Die Untersuchung der übergreifenden Auswirkung von Varianz auf die Montagegerechtigkeit wird nicht unterstützt.

3.1.2.4 Produktklinik nach WILDEMANN

Die Vorgehensweise nach WILDEMANN sieht eine Analyse und Optimierung von Produkten auf Basis von Reverse Engineering vor. Dafür werden die Merkmale eines als optimal geltenden Produkts auf den jeweiligen Anwendungsfall übertragen. Bei den dabei verwendeten Referenzlösungen kann es sich beispielsweise um ein Wettbewerbsprodukt handeln. Somit ist die Methode grundsätzlich mit einem funktionalen Benchmarking vergleichbar. Die Methodik bietet ein Rahmenwerk, in welchem die Anwendung weiterer Methoden vorgesehen ist. Hinsichtlich einer montageorientierten Optimierung von Produkten wird eine Fokussierung auf die Visualisierung von Produktstruktur und Montagereihenfolge empfohlen. In diesem Zusammenhang werden die Werkzeuge Fügematrix, Checklisten, Variantenbäume sowie Typen- und Stückzahlenanalyse genannt. Auf Möglichkeiten zur Berücksichtigung der Produktvarianz in den jeweiligen methodischen Bausteinen wird fallweise hingewiesen. Das Ziel ist in erster Linie eine Reduzierung der Teilevielfalt durch Funktionsintegration [Wil10a].

Bewertung: Bei der Produktklinik handelt es sich um ein weitgefasstes Rahmenwerk zur Produktoptimierung. Es enthält eine allgemeine Beschreibung der Methoden und ordnet diese einer durchgängigen Vorgehensweise zu. Dadurch kann eine Förderung der gesamtheitlichen

Anwendbarkeit der Methoden erreicht werden. Die Handlungs- und Vorgehensanweisungen verbleiben auf einem übergeordneten Beschreibungsniveau. Eine produkt- und produktionsspezifische Anwendung oder Anpassung der Methoden ist weder explizit vorgesehen noch werden diese systematisch unterstützt. Eine über die funktionale Betrachtung hinausgehende Berücksichtigung der Produktvarianz ist nicht vorgesehen.

3.1.2.5 Regeln zur kostengünstigen Montage nach EHRENSPIEL

EHRENSPIEL bezieht sich auf die allgemeinen Anweisungen von PAHL/BEITZ sowie ANDREASEN und stellt technische und organisatorische Maßnahmen für die kostengünstige Montage zusammen. Die aufgeführten technischen Maßnahmen unterteilen sich in die Kategorien Aufgabe, Baustruktur, Teile, Verbindungen, Fügebewegung, Handhabungsgerät. Die Maßnahmen werden in einer einfachen Listenform dargestellt. Ein beispielhafter Auszug ist im Folgenden aufgelistet [Ehr95].

- Aufgabe
 - Wenige Varianten vereinbaren
- Baustruktur
 - Vormontierbare Baugruppen
 - getrennt prüfbar
 - Basisbaugruppe vorsehen, modulare Montage
 - wenige variantenspezifische Baugruppen; diese erst gegen Ende montieren
 - bei variantenunabhängigen Baugruppen einheitliche Anbaubedingungen, Schnittstellen vorsehen
- Teile
 - Wenige Teile, wenige verschiedenartige Teile
 - Leicht transportierbare Teile, leicht handhabbar und einführbar
 - Selbsttätig ausrichtende und sichernde Teile
 - ...
- Verbindungen
 - Wenige zusätzliche Verbindungsteile
 - Vormontierte Verbindungsteile (z.B. Schraube mit Dichtung)
 - Mit Translation montierbar
 - Schnap-, Rastverbindungen
 - Bördel-, Stauch-, Verlapp-, Kerbverbindungen
- ...

Bewertung: EHRENSPIEL zitiert die Gestaltungsrichtlinien nach PAHL/BEITZ und trägt eine Liste von Maßnahmen für automatisierungsgerechtes Montieren zusammen. Abgesehen von einer Kategorisierung nach verschiedenen Produktaspekten wird die systematische Umsetzung der Maßnahmen innerhalb der Produktgestaltung nicht unterstützt. Die Maßnahmen sind lediglich pauschal beschrieben. Es handelt sich überwiegend um die Formulierung von Gestaltungszielen. Die systematische Erreichung dieser Ziele wird nicht unterstützt. Auf diese Weise werden lediglich einzelne Aspekte zur Verbesserung der Varianten- und Montagegerechtheit sowie zur Gestaltung der Produktstruktur genannt. Eine Vorgehensweise zur Implementierung in der Produktkonstruktion steht nicht zur Verfügung.

3.1.2.6 Produkt- und Montagestrukturierung nach UNGEHEUER

Nach UNGEHEUER ergeben sich Möglichkeiten zur entscheidenden Verbesserung der Produktionsbedingungen aus der Überführung der funktionalen in eine montagegerechte Produktstruktur [Ung86]. Auf der so geschaffenen Basis können dann effiziente Montagestrukturen rationell gebildet werden. Das Gesamtmodell kann in die zwei aufeinander aufbauenden Hauptaspekte der Produkt- und der Montagestrukturierung unterteilt werden. Das entwickelte Vorgehensmodell sieht dafür vier Schritte vor. Zu Beginn erfolgt die Ermittlung der Eingangsinformationen. Im zweiten Schritt wird die funktionsorientierte Struktur des Produkts erarbeitet. Diese wird im Anschluss in eine montagegerechte Produktstruktur überführt. Abschließend erfolgt die Ableitung einer geeigneten Montagestruktur. Für diese Arbeit sind besonders die ersten drei definitorischen Vorgehensschritte der Methode relevant.

Die Ermittlung der Eingangsinformationen setzt sich zusammen aus der Analyse von externen Anfragen und Aufträgen, der Befragung der internen Unternehmensbereiche sowie der Ermittlung der produktionsrelevanten Unternehmensziele.

Die Erarbeitung einer funktionsorientierten Produktstruktur erfolgt mittels einer herkömmlichen Funktionsanalyse eines bestehenden Produkts. Im Rahmen dieser Analyse wird die Gesamtfunktion des Produkts nach Teilfunktionen differenziert und in Form eines hierarchischen Funktionsmodells dargestellt. Abschließend werden die Teilfunktionen den Komponenten des Produkts, bestehend aus Baugruppen und Einzelteilen, zugeordnet. Eine derartige, als funktionale Erzeugnisgliederung bezeichnete Produktstruktur ist auf der linken Seite von Bild 3-4 dargestellt. Die Begriffe Erzeugnisgliederung und Produktstruktur werden synonym verwendet.

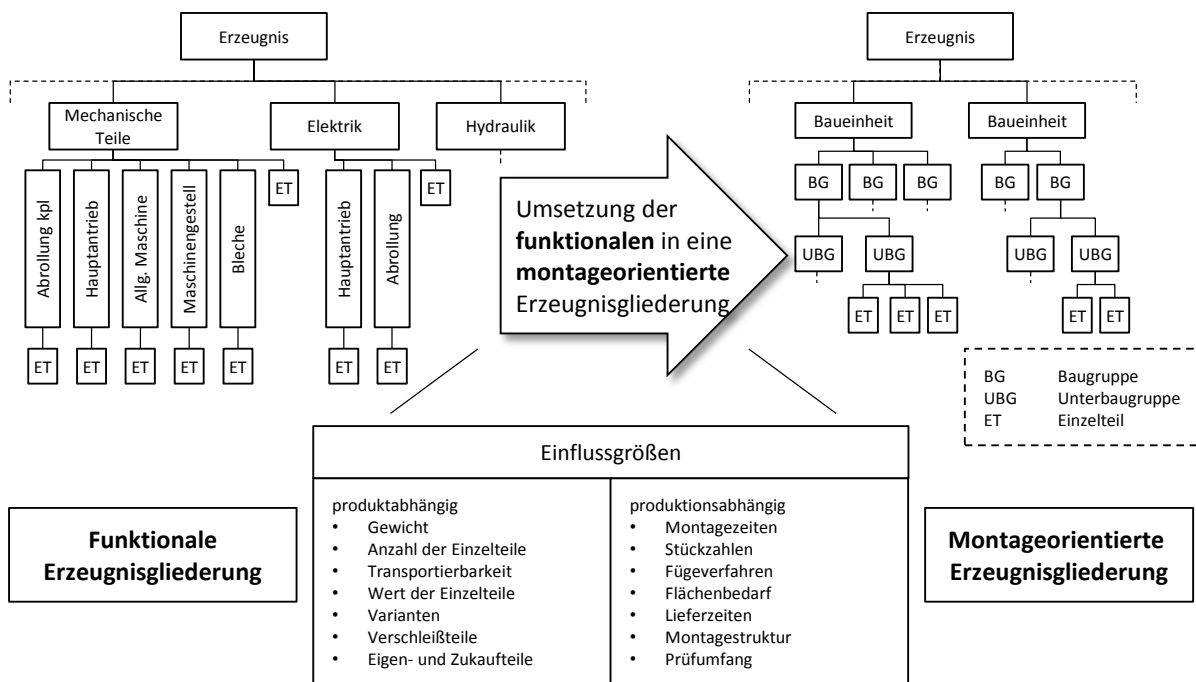


Bild 3-4: Einflussgrößen auf die Bildung von Montagebaugruppen nach [Ung86]

Das Hauptelement der Methode, die Überführung der funktionalen in eine montageorientierte Produktstruktur, besteht aus den zwei Aspekten Baugruppenabgrenzung und Einzel-

teilzuordnung. Die rechte Seite von Bild 3-4 zeigt eine montageorientierte Produktstruktur. Darin wird das als Erzeugnis bezeichnete Produkt hierarchisch aufgegliedert. Auf der ersten Stufe stehen die Baueinheiten. Dabei handelt es sich um grundsätzliche Bestandteile eines Produkts, die deutlich voneinander abgegrenzt werden können. Beispiele sind der Motor, das Fahrwerk oder das Interieur eines Fahrzeugs. Prinzipiell handelt es sich damit um besonders umfangreiche Baugruppen. Die weiteren Ebenen sind die Baugruppen, Unterbaugruppen und Einzelteile. Die Umsetzung erfolgt nach definierten Einflussgrößen, an denen die einzelnen Baugruppen auszurichten sind. Die tatsächliche Durchführung der Baugruppenabgrenzung orientiert sich an der Entwicklungsaufgabe dahingehend, dass es sich entweder um eine Anpassungskonstruktion eines bestehenden Produkts oder um eine Neukonstruktion handelt. Dafür stehen die drei in Bild 3-5 schematisch dargestellte Vorgehensweisen zur Verfügung.

Die *deterministische* Methode grenzt auf Basis der Betrachtung des Gesamtprodukts vormontierbare und vorprüfbare Baugruppen ab. Dieser als Top-down zu bezeichnende Ansatz bedarf lediglich eines geringen Anwendungsaufwands und ist daher für Neukonstruktionen geeignet. Die Nachteile liegen in einer zu erwartenden problematischen Anpassung der Einzelteile an den Montageprozess aufgrund des lediglich grob definierten Ergebnisses.

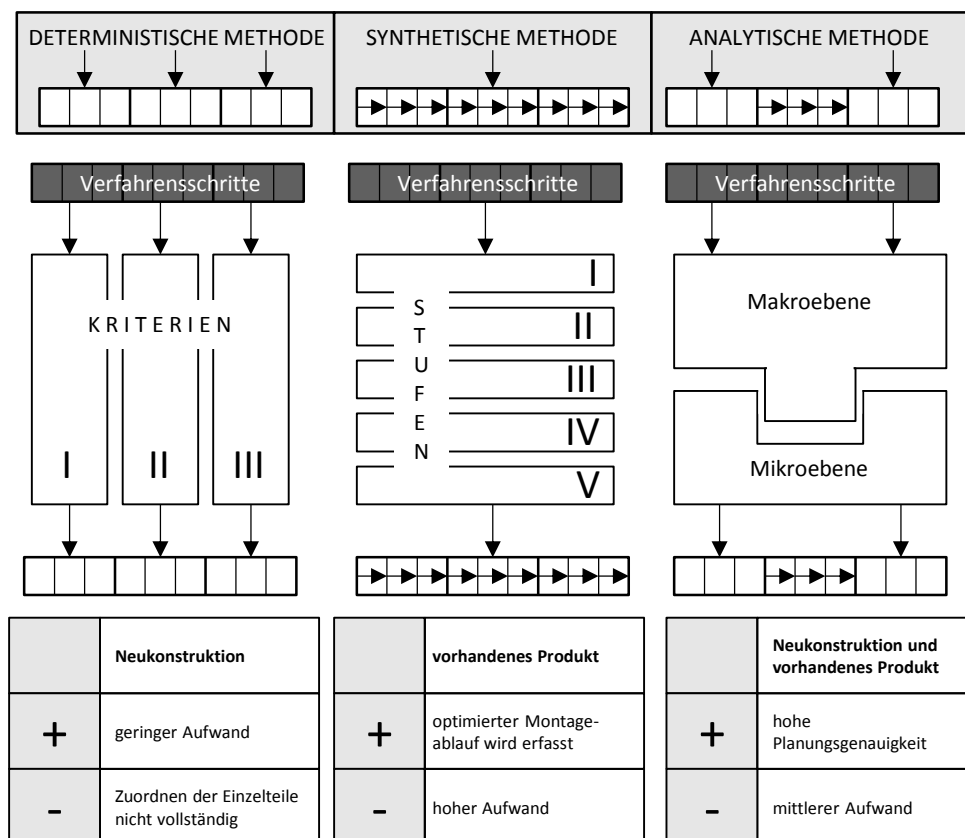


Bild 3-5: Methodische Vorgehensweise zur Baugruppenabgrenzung nach [Ung86]

Die *synthetische* Methode verfolgt einen Bottom-up Ansatz. Die Dekomposition des Produkts in seine Einzelteile ermöglicht eine deutlich detailliertere Festlegung der Produktstruktur gegenüber dem Top-down-Ansatz. Die entsprechend höhere Ergebnisqualität der Monta-

gestrukturierung geht einher mit einem deutlich erhöhten Anwendungsaufwand und wird für die optimierende Modifikation bestehender Produkte empfohlen.

Die *analytische* Methode stellt eine Kombination aus dem deterministischen und dem synthetischen Ansatz dar. Durch ein stufenweises Vorgehen können die jeweiligen Nachteile, d.h. höherer Aufwand bzw. geringere Ergebnisqualität, gezielt ausgeglichen werden. Im deterministischen Teil erfolgt die Festlegung von Baugruppen, die im synthetischen Teil entsprechend detailliert werden.

Die Zuordnung von Einzelteilen zu montagefähigen Baugruppen erfolgt durch die Ableitung der Montagesequenz. Dafür ist die Verwendung einer Fügematrix vorgesehen. Dadurch können die Möglichkeiten der parallelen Montage von Komponenten aufgezeigt werden. Die damit geschaffene Grundlage für eine Bewertung der Produktstrukturierung wird durch die Anwendung eines Checklistenverfahrens komplettiert. Die Checkliste unterstützt die Produktstrukturierung durch einfache Fragen bei der Überprüfung der Zielerfüllung der Montagegerechtheit [Ung86].

Bewertung: Die Methode ermöglicht eine differenzierte Analyse von Produktstrukturen und die Integration von Montageaspekten innerhalb der Strukturierung. Das übergeordnete methodische Vorgehen ist sehr detailliert beschrieben. Die verwendete graphische Aufbereitung der Produktstruktur schafft Transparenz hinsichtlich der Darstellung und Dokumentation der Ist- und Soll-Situation. Jedoch fehlt eine systematische Unterstützung dahingehend, wie die aufgelisteten Einflussgrößen tatsächlich in der Produktstrukturierung berücksichtigt werden können. Des Weiteren wird auf den Aspekt der Produktvarianz lediglich hingewiesen. Eine systematische Verarbeitung erfolgt nicht. Ebenso fehlt eine Möglichkeit zur Integration weiterer Sichten der Produktlebensphasen auf die Baugruppenabgrenzung.

3.1.2.7 Montagegerechte Produktgestaltung nach BÄBLER

Die Vorgehensweise zur montagegerechten Produktgestaltung nach BÄBLER [Bä88] orientiert sich eng am Produktentwicklungsprozess nach PAHL/BEITZ [PAH06]. Für jede Phase, von der Planung, über das Konzipieren und Entwerfen bis hin zum Ausarbeiten, werden die Beeinflussungsmöglichkeiten der montagegerechten Produktgestaltung identifiziert. Zur übergeordneten Unterstützung des Entwicklers werden diverse Hilfsmittel der montagegerechten Gestaltung den einzelnen Tätigkeiten in den Produktentwicklungsphasen zugeordnet und in ein Prozessmodell überführt.

Zur Unterstützung der Produktgestaltung erfolgt die Formulierung und katalogisierte Zusammenstellung von Gestaltungsregeln. Die darin enthaltenen Maßnahmen sind in Textform formuliert und gliedern sich auf in die Aspekte Produktaufbau, Baugruppen, Einzelteile sowie Verbindungstechnik. Die Maßnahmen werden jeweils hinsichtlich ihrer Wichtigkeit klassifiziert und den Konstruktionsphasen zugeordnet. Die Maßnahmen, welche dem Thema der Produktstrukturierung zugeordnet werden können, sind im Anhang B2 aufgeführt.

Auf die Anwendung der Maßnahmen folgt die Bewertung der Montagegerechtheit. Dazu wird ein Kennwert für die enthaltenen Bauteile ermittelt. Dieser berechnet sich aus dem Verhältnis des Funktionsanteils eines Bauteils zu seinem Montageaufwand. Der Montage-

aufwand ist dabei definiert als die monetäre Summe aller notwendigen Aufwendungen sowie aller benötigten Energien und Hilfsstoffe. Das Vorgehen unterteilt sich in sechs Schritte. Im ersten Schritt erfolgt die Erstellung der hierarchischen Funktionsstruktur des Produkts. Darauf basierend werden die jeweiligen Anteile der Teilfunktionen an der Gesamtfunktion bestimmt und gewichtet. Im dritten Schritt wird die Produktstruktur entsprechend des vorliegenden Detaillierungsniveaus aufgestellt. Die Zusammenführung der beiden vorangegangenen Analysen erfolgt im vierten Schritt in Form der Zuordnung der Funktionsanteile zu den Bauteilen. Zur Bestimmung des Montageaufwands werden im fünften und sechsten Schritt die Montagereihenfolge abgeleitet sowie die spezifischen Aufwände für jede Montagetätigkeit zugeordnet. Dafür steht eine Tabelle mit entsprechenden Punktwerten zur Verfügung. Zur abschließenden Identifizierung von montagetechnischen Schwachstellen wird das Produkt anhand einer Checkliste analysiert [Bäß88].

Bewertung: Die Methode bietet detaillierte Vorgehensmodelle zur Berücksichtigung der montagegerechten Konstruktion entlang des gesamten Entwicklungsprozesses. Es stehen ein ebenfalls umfangreicher Katalog von Maßnahmen sowie entsprechende Bewertungsansätze zur Verfügung. Jedoch fehlt auf übergeordneter Ebene eine systematische Integration anderer Produktsichten sowie die Ausrichtung an spezifischen Zielen. Die Maßnahmen, welche die Produktstrukturierung betreffen, sind überwiegend pauschal formuliert. Die Umsetzung der Maßnahmen wird nicht unterstützt. Graphische Abbildungen zur Darstellung der Produktzusammenhänge sind ebenfalls nicht vorgesehen. Für die variantengerechte Gestaltung werden keine systematischen Maßnahmen genannt.

3.1.2.8 Konstruktionssystem zur Unterstützung der montagegerechte Produktgestaltung nach DAHL

In der Arbeit von DAHL erfolgt die Entwicklung eines EDV-Systems für die montagegerechte Produktgestaltung [Dah90]. Die Ziele sind dabei die Verringerung der Teilezahl, der Aufbau einer montagegerechten Produktstruktur, die Verarbeitung montagerelevanter Informationen, die Vereinfachung der Fügevorgänge, die Bewertung der Montagegerechtheit sowie die Standardisierung von Bauteilen und Fügevorgängen.

Das entwickelte Konstruktionssystem ist modular aufgebaut und baut auf einem in derselben Forschungsgruppe entwickelten EDV-System auf. Der Kernbestandteil dieses EDV-Systems ist ein Satz von allgemeingültigen Basismodulen, in denen die generischen Funktionen zur Anwendung in den Konstruktionsphasen, wie Bereitstellung von Information, Darstellung der Produktstruktur in entsprechenden Modellen oder Integration von marktgängigen CAD-Anwendungen, enthalten sind [Ott89]. Auf dem Basissystem bauen die Anwendungsmodule zur eigentlichen montagegerechten Produktgestaltung auf. Diese bestehen aus Ansätzen zum Aufbau der Produktstruktur, zur Konkretisierung der Verbindungsbeziehungen, zur Zuordnung geometrischer Lösungen sowie der Bewertung der Montagegerechtheit.

Der Aufbau einer Produktstruktur gliedert sich in drei Schritte. Zuerst erfolgt die Entwicklung einer funktionalen Produktstruktur. Diese wird im zweiten Schritt durch das Aufsetzen einer Beziehungsstruktur der Elemente erweitert. Den Hauptteil der Produktstrukturierung bildet

der dritte und letzte Schritt, die Ableitung einer montageorientierten Produktstruktur. Beide Formen der Produktstruktur sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

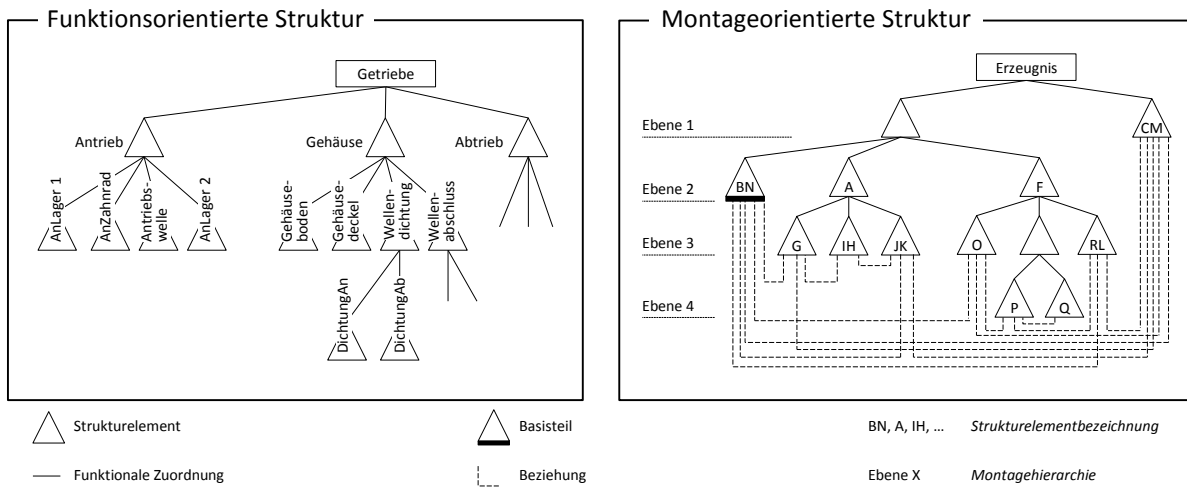


Bild 3-6: Funktions- und montageorientierte Produktstruktur nach [Dah90]

Die herkömmliche Vorgehensweise der Produktentwicklung sieht eine anfängliche Festlegung der Produktfunktion vor. Durch eine Aufteilung der Produktfunktion in Unterfunktionen wird eine hierarchisch eindeutige Struktur der konstruktiven Gestaltung erreicht. Die zugehörige funktionsorientierte Struktur ist im linken Teil von Bild 3-6 dargestellt. Informationen über montagerelevante Zusammenhänge und Beziehungen zwischen den einzelnen Strukturelementen lassen sich jedoch nicht ableiten.

Die Definition dieser Informationen erfolgt im zweiten Schritt. Die räumlichen Beziehungen der Strukturelemente werden entsprechend identifiziert und in die Gesamtstruktur integriert. Es ergeben sich sogenannte Beziehungspaare, die in der grafischen Darstellung gekennzeichnet werden. Beispiele für diese Form der Beziehung werden im rechten Teil von Bild 3-6 aufgeführt.

Auf dieser Basis wird im letzten Schritt die montageorientierte Produktstruktur abgeleitet. Das Vorgehen zur Produktstrukturierung wird graphisch basiert durchgeführt und unterteilt sich wiederum in die drei in der folgenden Abbildung beschriebenen Schritte.

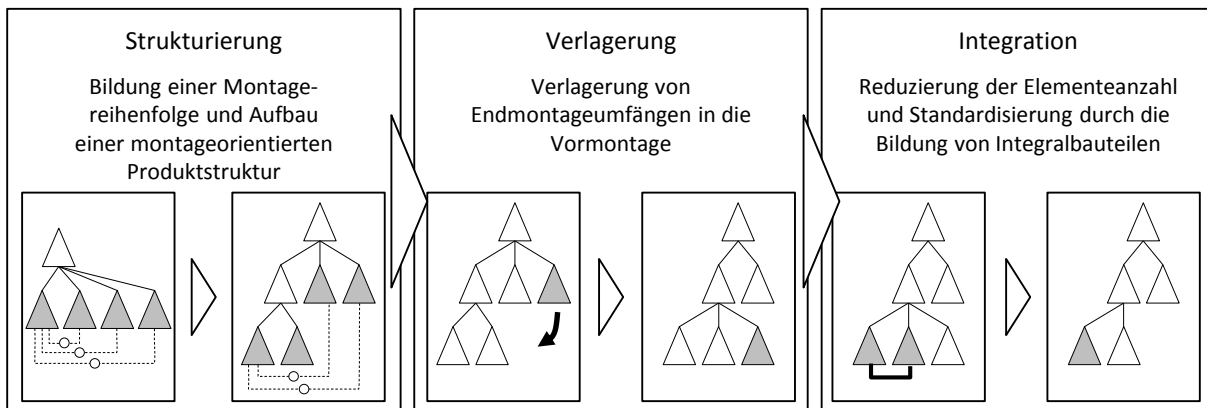


Bild 3-7: Ableitung einer montageorientierten aus einer funktionsorientierten Struktur nach [Dah90]

Für die Strukturierung wird jedem Strukturelement, hier Bauteil, eine Montagepriorität zugeordnet. Diese ergibt sich auf Basis der Anzahl der Beziehungen jedes Strukturelements. Eine hohe Anzahl ergibt eine hohe Montagepriorität. Die Strukturelemente mit der höchsten Priorität sind Kandidaten für die Bildung eines Basisteils, das entsprechend früh im Montageprozess auftritt. Basisteile erhalten die Montageziffer „1“. Mit abnehmender Beziehungsanzahl werden den verbleibenden Strukturelementen aufsteigende Montageziffern zugeordnet. Dadurch ergibt sich eine vorläufige Montagereihenfolge, die durch den Anwender entsprechend optimal gestaltet werden kann. Diese optimierte Montagereihenfolge wird anschließend wieder in eine Produktstruktur überführt. Die für die graphisch basierte Produktstrukturierung verwendete Beziehungsstruktur ist beispielhaft auf der rechten Seite von Bild 3-6 dargestellt. Das Produkt ist hierarchisch in seine Strukturelemente, Baugruppen und -teile, gegliedert. Durch gestrichelte Linien werden die jeweiligen Beziehungen indiziert.

Im zweiten Schritt erfolgt eine weitere Optimierung in Form von Reduzierung von Montageschritten durch Verlagerung von Montageumfängen. Dazu werden Strukturelemente identifiziert, die identische Beziehungsstrukturen aufweisen. Das Resultat ist die Verlagerung von Endmontageumfängen und die Festlegung von Vormontagegruppen.

Im dritten Schritt erfolgt eine abschließende Reduzierung der Teilezahl durch Integralbauweise. Dafür wird der Anwender dahingehend unterstützt, dass ihm mögliche Integrationskandidaten aufgezeigt werden. Die tatsächliche Machbarkeit ist in Form einer Funktionsanalyse des resultierenden Elements zu überprüfen. Dafür ist das Expertenwissen des Anwenders notwendig. Abschließendes Resultat ist eine montageorientierte Produktstruktur, in der Baugruppen und integrale Komponenten sowie eine optimierte Montagesequenz definiert sind.

Bewertung: Die montagegerechte Produktgestaltung nach DAHL bietet eine systematische Vorgehensweise zur Anwendung in den frühen Entwicklungsphasen. Die Betrachtung des Produkts hinsichtlich der Verbindungs- und Funktionsbeziehungen ist das Kernelement der Methode. Zur Durchführung der Strukturierung wird ein graphisches Werkzeug zur Verfügung gestellt, mit welchem die strukturellen Zusammenhänge der Produktkomponenten vereinfacht dargestellt werden. Zur weiteren Unterstützung werden Gestaltungshinweise gegeben, anhand derer die Komponenten zu Baugruppen sortiert werden. Eine Berücksichtigung von Varianzaspekten ist dabei nicht vorgesehen. Das verwendete Bewertungssystem konzentriert sich auf die fortgeschrittene konstruktive Gestaltung. Es werden Handhabungs- und Fügeigenschaften mittels Kennzahlen bewertet. Eine dezidierte Analyse der Strukturierungsmaßnahmen ist jedoch nicht vorgesehen.

3.1.2.9 Montagegerechtes Konstruieren nach GAIROLA

Nach GAIROLA besteht der Montageprozess grundlegend aus den zwei Tätigkeiten Planung und Durchführung [Gai81]. Der Montageaufwand wird dabei durch das Maß an Zeit und Kosten für die Realisierung dieses Prozesses bestimmt. Eine Verringerung dieses Montageprozesses wird durch die drei folgenden Aspekte erreicht.

Zur *Vereinfachung der Montageaufgabe* gilt es, die Teilezahl und Teilevielfalt zu verringern und montagegerechte Verbindungen zu wählen. Dafür sind Funktionen zusammenzufassen,

gleiche Bauelemente für verschiedene Funktionen einzusetzen sowie sogenannte Montagefamilien zu bilden. Der Begriff Montagefamilie steht dabei für Komponenten, die kommunale Montageprozesse aufweisen. Eine *Verbesserung der Montageplanung* wird durch die Bereitstellung möglichst vieler Planungsalternativen erreicht. Dafür ist das Produkt so zu gestalten, dass beliebige Montageprozesse möglich sind und Zwangsfolgen vermieden werden. Die eigentliche *Erleichterung der Montagedurchführung* wird durch automatisierungsgerechte Gestaltung erreicht. Sie erfolgt unter den Aspekten füge-, handhabungs- und verbindungsrecht.

Für diese drei Hauptaspekte werden die Einflüsse verschiedener montagerelevanter Faktoren untersucht. Dabei handelt es sich beispielsweise um Bauteilzahl und -vielfalt, die Verbindungsverfahren, Fügeflächenzahl und Fügerichtung, Montageverfahren, Zugänglichkeit zum Fügeort sowie Bauteilform, -masse, -abmessungen und -toleranzen. Auf Basis dieser Einflussuntersuchungen wird ein Maßnahmenkatalog zur montagegerechten Konstruktion erstellt und den Phasen der Produktentwicklung zugeordnet. Diese Maßnahmen teilen sich in die sechs Gruppen:

- Voraussetzungen für die Montage schaffen,
- Bauelementzahl und -vielfalt reduzieren,
- montagegerechte Baugruppen bilden,
- Fügen erleichtern,
- Bauelemente handhabungsgerecht gestalten,
- Nebentätigkeiten vermeiden oder erleichtern.

Diese Maßnahmen liegen in Textform vor. Für ausgewählte Gestaltungshinweise werden grafische Regeln angefügt. Die Maßnahmen konzentrieren sich jedoch stets auf die konkrete konstruktive Gestaltung der Bauteile und Verbindungselemente.

Zur Bewertung der Montagegerechtheit werden Kriterien verwendet, welche den folgenden vier Gruppen zugeordnet werden:

- allgemeine Eigenschaften des Montageobjekts,
- Handhabungseigenschaften des Montageobjekts,
- Umfang der Fügeaufgabe sowie
- Eigenschaften des Verbindungsverfahrens.

Grundvoraussetzung für die Bewertung ist die Beschreibung des Fügeprozesses. Dieser wird mit Hilfe einer Fügematrix aufgestellt und in Form eines Montagegraphen dargestellt. Die Durchführung der Bewertung wird mittels Arbeitsblätter unterstützt, in welche die montagerelevanten Bauelementmerkmale eingetragen werden. Abschließend werden diverse Kennzahlen mittels Algorithmen berechnet [Gai81].

Bewertung: Das Verfahren formuliert generelle Gestaltungshinweise für sämtliche Produktaspekte, von der Produktstruktur bis zur Bauteilkonstruktion. Die dafür aufgestellten Maßnahmen konzentrieren sich jedoch auf die detaillierte Ausgestaltung. Die eigentliche Tätig-

keit der Produktstrukturierung bleibt mitunter unberücksichtigt oder wird lediglich pauschalisiert behandelt. Die systematische Umsetzung der Maßnahmen in der Produktstruktur wird nicht unterstützt. Auf den Aspekt der Produktvarianz wird dezidiert verwiesen, jedoch fehlt auch dafür eine Unterstützung zur Umsetzung der Maßnahmen. Für die Bewertung sind ebenfalls detaillierte Informationen zur Produktkonstruktion notwendig, wodurch die Methode nicht in vollem Maße in der Vorentwicklung angewendet werden kann.

3.1.2.10 Datum-Flow-Chain nach WHITNEY

In der Datum-Flow-Chain Methode nach WHITNEY erfolgt die Gestaltung der Montage vor der Gestaltung der Einzelteile [Whi04]. Im Rahmen einer Analyse der Montage werden unter Verwendung entsprechender graphischer Werkzeuge sämtliche möglichen Montageabläufe des zu untersuchenden Produkts aufgestellt. Jeder mögliche Montageprozess wird dafür nach verschiedenen Aspekten bewertet. So wird die strukturelle Integrität der einzelnen Zwischenstadien während der Montage dahingehend beurteilt, ob die geschaffenen Verbindungen stabil sind und ausreichend fixiert werden können. Die Übergänge der einzelnen Stadien entsprechen den eigentlichen Montagetätigkeiten. Sie werden nach ergonomischen Faktoren, wie Handhabungsaufwand und Beschädigungsgefahr, analysiert. Darüber hinaus wird die Existenz spezifischer Einschränkungen überprüft. Zusätzlich werden ökonomische Faktoren, wie Prozesszeiten oder Kosten, ergänzt. Aus dieser Gesamtheit der Analysen können die einzelnen Alternativen miteinander verglichen und der optimale Montageablauf ausgewählt werden. Der dabei identifizierte optimale Montageablauf stellt die Basis für die anschließende Einzelteilgestaltung dar [Whi04].

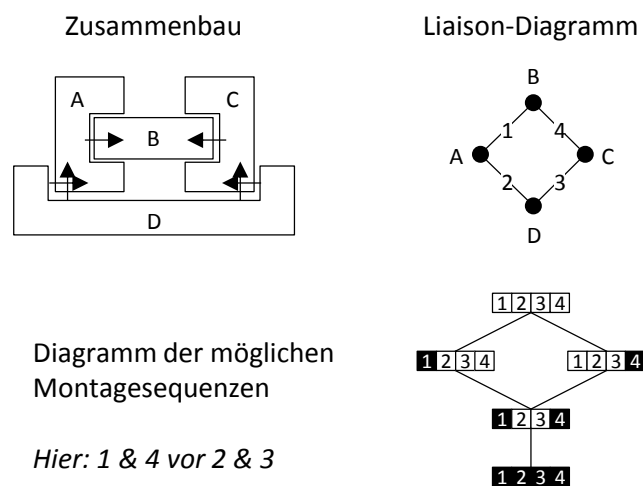


Bild 3-8: Liaison-Diagramm und mögliche Montagesequenzen nach [Bou84]

Zur Ableitung der möglichen Montagfolgen bedient Whitney sich der Methode der Liaison-Diagramme von BOURJALUT. Bild 3-8 zeigt das Beispiel eines vierteiligen Produkts. Aus Montagezeichnungen und Stücklisten wird das spezifische Liaison-Diagramm erstellt. Die Produktkomponenten werden dabei durch Punkte, die Schnittstellen, sogenannte Liaisons durch Verbindungslinien dargestellt. Im vorliegenden Beispiel sind vier Schnittstellen vorhanden. Für die Montage kann zunächst entweder Schnittstelle 1 oder Schnittstelle 4 geschlossen werden. Nachdem beide Schnittstellen verbunden worden sind, erfolgt die abschließende

Verbindung der Schnittstellen 2 und 3. Auf dieser Basis können sämtliche Zwischenstadien des Produkts abgeleitet und in einem Liaison-Sequenz-Diagramm, wie im unteren Teil von Bild 3-8 gezeigt, dargestellt werden [Bou84].

Bewertung: Der Datum-Flow-Chain Ansatz bildet Baugruppen auf Basis einer Analyse der Montagesequenzen. Dadurch wird eine direkte Bewertung der definierten Produktstruktur ermöglicht. Die Vorgehensweise, sämtliche Montagesequenzalternativen abzuleiten, führt jedoch bei großen Produktumfängen zu erheblichem Aufwand. Eine systematische Unterstützung der darauffolgenden Einzelteilgestaltung ist nicht gegeben. Ebenso wenig besteht die Möglichkeit, verschiedene Montagesequenzen varianter Produkte darzustellen.

3.1.3 Bewertung der Methoden

In diesem Abschnitt erfolgt eine Bewertung der Methoden zur montagegerechten Konstruktion anhand der in Kapitel 2.4 ausgearbeiteten Anforderungen. Neben der Beschreibung sind die Ergebnisse der Bewertung in Bild 3-9 dargestellt.

Anwendung in der Vorentwicklungsphase: Bei den Methoden zur montagegerechten Konstruktion dominieren die Ansätze, welche in der Ausgestaltungsphase, d.h. im späteren Teil des Produktentwicklungsprozesses, angewendet werden. Als für eine frühe Anwendung geeignet einzustufen sind die Ansätze nach DAHL und UNGEHEUER. Bei DAHL ist eine Strukturierung auf Basis der funktionalen Produktzusammenhänge vorgesehen. Im Falle der deterministischen Methode nach UNGEHEUER wird durch die Fokussierung auf die Produktstruktur eine Anwendung in der frühen Phase ermöglicht.

Unterstützung der interdisziplinären Zusammenarbeit: Das Ziel, die Zusammenführung von Montage- und Produktentwicklungssicht, wird erneut lediglich durch die Methoden von DAHL und UNGEHEUER umfassend erfüllt. Die Ansätze beinhalten einen gegenseitigen Austausch von Informationen, wodurch eine fundierte Zusammenarbeit ermöglicht wird. Weitere Ansätze beschränken sich lediglich auf die Produktentwicklungssicht. Die Auswirkungen von Maßnahmen der einen auf die andere Sicht können dadurch nicht dargestellt werden.

Berücksichtigung der variantengerechten Produktgestaltung: Die Mehrheit der Methoden vernachlässigt den Aspekt der Varianz. In einigen Fällen wird darauf vollständig verzichtet. In anderen Fällen wird lediglich auf die Existenz eines Zusammenhangs zwischen Varianz und Montagegerechtheit hingewiesen. Eine systematische Unterstützung hinsichtlich einer entsprechenden Einflussnahme ist jedoch nicht vorhanden.

Berücksichtigung montagerelevanter Aspekte: Alle Methoden enthalten per se montagerelevante Aspekte. Unterschiede lassen sich jedoch im Umfang der Analyse- und Verarbeitungstiefe der jeweiligen Montageaspekte feststellen. So werden in den auf Regeln und Richtlinien basierenden Methoden lediglich generische, determinierende Vorgaben gemacht, deren Anpassung an die spezifische Situation nicht unterstützt wird. Als positiv hervorzuheben sind die Methoden nach UNGEHEUER, DAHL und GAIROLA. Darin erfolgt jeweils eine umfassende Analyse der spezifischen Montagebedingungen. Diese Informationen fließen daraufhin systematisch in die Produktgestaltung ein.

	Anforderungen								
	Anwendung in der Vor-entwicklungsphase	Unterstützung der interdisziplinären Zusammenarbeit	Berücksichtigung der variantengerechten Produktgestaltung	Berücksichtigung montage-relevanter Aspekte	Abbildung von strategischen Montagezielen	Integration weiterer Produktlebensphasensichten	Bereitstellung von Vorgehens- und Gestaltungsanweisungen	Transparente Darstellung und Dokumentation	Entwurfsphasengerechte Bewertung
Methoden zur montagegerechten Konstruktion									
Montagegerechte Gestaltungsrichtlinien nach PAHL/BEITZ	○	◐	○	◐	○	○	◐	◐	○
Design for Assembly nach ANDREASEN	○	○	○	◐	◐	◐	●	◐	○
Design for Manufacture and Assembly nach BOOTHROYD	○	◐	○	◐	○	◐	◐	◐	○
Produktklinik nach WILDEMAN	○	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐
Regeln zur kostengünstigen Montage nach EHRENSPIEL	◐	○	◐	◐	◐	◐	○	◐	○
Produkt- und Montagestrukturierung nach UNGEHEUER	●	●	○	●	◐	◐	●	●	◐
Montagegerechte Produktgestaltung nach BÄBLER	◐	○	◐	◐	◐	○	●	◐	◐
Montagegerechtes Konstruktionssystem nach DAHL	●	●	◐	●	◐	○	●	●	◐
Montagegerechtes Konstruieren nach GAIROLA	◐	◐	◐	●	◐	○	◐	◐	◐
Datum Flow Chain nach WHITNEY	○	◐	○	◐	○	○	○	◐	○

● erfüllt ◐ teilweise erfüllt ○ nicht erfüllt – nicht anwendbar/differenzierungsrelevant

Bild 3-9: Bewertung der Methoden zur montagegerechten Konstruktion

Abbildung von strategischen Montagezielen: Vielfach werden die Ziele der montagegerechten Konstruktion in der Beschreibung der Methoden aufgeführt. Jedoch fehlt zum einen eine systematische Unterstützung für die tatsächliche Umsetzung dieser Ziele. Es werden lediglich Maßnahmen aus den Zielen abgeleitet. Eine systematische Weiterverfolgung, beispielsweise hinsichtlich Erfüllung der Ziele, ist nicht vorgesehen. Zum anderen ist festzustellen, dass die Nennung einzelner Ziele bereits der Formulierung einer Maßnahme entspricht. So definiert SPUR das Gestaltungsziel „Vereinheitlichung und Minimierung der Anzahl unterschiedlicher Fügerichtungen“ und formuliert das Gestaltungsmittel „Fügerichtung vereinheitlichen“ [Spu86]. Damit greift die Maßnahme lediglich den Wortlaut des Gestaltungsziels auf und schafft nicht die für den Anwender wichtige umsetzungsorientierte Unterstützung.

Integration weiterer Produktlebensphasensichten: Die Mehrheit der Methoden beschränkt sich auf die Betrachtung der Montagesicht. Weitere produktstrategische Aspekte werden nicht berücksichtigt. Ebenfalls wird keine methodische Schnittstelle zu entsprechenden Ansätzen aufgezeigt. Im Falle der Methoden von ANDREASEN und WILDEMANN wird zwar ein größerer Produktlebenszyklus-Kontext aufgezeigt, die darin enthaltenen Ansätze werden jedoch isoliert betrachtet. Die Methode nach BOOTHROYD beinhaltet neben der Montage die Sicht der Bauteilfertigung. Weitere Aspekte werden nicht betrachtet.

Bereitstellung von Vorgehens- und Gestaltungsanweisungen: Viele Methoden stellen explizite Gestaltungsanweisungen zur Verfügung. Im Falle der Methoden von ANDREASEN, UNGEHEUER, BÄBLER und DAHL werden diese darüber hinaus in ein detailliertes Vorgehensmodell integriert. Dadurch wird eine effiziente Anwendung der Methode gewährleistet. Andere Methoden beschränken sich auf die Formulierung pauschaler Regeln und Hinweise. Eine zielgerichtete Anwendung ist damit nicht möglich.

Transparente Darstellung und Dokumentation: Die Gestaltungsrichtlinien sind überwiegend klar strukturiert dargestellt. Darüber hinaus ermöglichen die graphischen Werkzeuge der Methoden von UNGEHEUER und DAHL eine Darstellung der Produktzusammenhänge. Damit können die Auswirkungen der Gestaltungsmaßnahmen direkt dargestellt werden.

Entwurfsphasengerechte Bewertung: Bei der überwiegenden Zahl der Methoden wird die Entwurfsphase in den jeweiligen Bewertungsschemata nicht adressiert. Sofern Strukturierungsmaßnahmen in den Methoden vorgesehen sind, ist in einigen Fällen eine Diskrepanz zu den Bewertungsansätzen festzustellen. Obwohl die Maßnahmen auf den abstrakten Strukturierungsaspekt ausgerichtet sind, verlangt die Bewertung detaillierte Informationen zur konstruktiven Gestaltung. Im Falle der Methoden nach DAHL, BÄBLER und UNGEHEUER werden Checklisten und Kennzahlensysteme zur Bewertung verwendet, welche auf die spezifische Informationsbeschaffenheit der Entwurfsphase ausgerichtet sind.

Die etablierten Methoden zur montagegerechten Konstruktion konzentrieren sich auf die spätere Phase des Produktentwicklungsprozesses. Sie sind überwiegend bei der konstruktiven Ausgestaltung der Produkte anzuwenden und fokussieren dabei den Aspekt der Bewertung. Die in den Methoden enthaltenen allgemeinen Prinzipien der montagegerechten Gestaltung, wie Vereinfachen, Vereinheitlichen, Reduzieren etc. können ebenfalls auf die Produktstrukturierung angewendet werden; eine systematische Unterstützung dieser Anwendung wird jedoch häufig vernachlässigt. Positiv hervorzuheben sind hierfür die umfangreichen Gestaltungsrichtlinien von PAHL/BEITZ, GAIROLA und BÄBLER. Das Prinzip der Formulierung von Gestaltungsrichtlinien ist generell als positiv zu bewerten. Es muss jedoch ein Vorgehen bereitgestellt werden, mit dem die Methode an die spezifische Situation angepasst werden kann.

Des Weiteren fehlen Darstellungsmöglichkeiten der Produktstruktur, um die notwendige Transparenz der komplexen Zusammenhänge zu schaffen. Wenn eine graphische Darstellung vorgesehen ist, wird diese nur unzureichend für die eigentliche Produktstrukturierung verwendet. Positiv hervorzuheben ist die Methode nach DAHL, in der die Produktstrukturierung durchgängig anhand einer graphischen Darstellung der zuvor aufgenommen spezifischen

Produktstruktur durchgeführt wird. Der Aspekt der Varianz findet jedoch sowohl in der Darstellung von Produktstrukturen als auch in entsprechenden Gestaltungsvorgaben lediglich periphere Berücksichtigung.

3.2 Entwicklung von Produktstrukturen

3.2.1 Grundlagen zur Produktstrukturierung

Der Begriff Produktstrukturierung ist definiert als die Anordnung von funktionalen Elementen, deren Zuordnung zu physischen Komponenten sowie die Spezifikation der Schnittstellen zwischen diesen Komponenten. Bei der Produktstrukturierung müssen die Rahmenbedingungen des Unternehmens sowie der Branche berücksichtigt werden. Diese übergeordneten Vorgaben bilden den Ausgangspunkt jeder Produktstrukturierung [Rap99].

Ein idealerweise strukturiertes Produkt entspricht sämtlichen möglichen Sichten eines Unternehmens, beispielsweise der Fertigung, des Vertriebs, der Montage oder des Service, und ist auf die im Unternehmen vorhandenen Informationssysteme abgestimmt. Hierdurch unterstützt die Struktur des Produkts einen effizienten Entstehungs- und Abwicklungsprozess des Unternehmens und ermöglicht, Mengen- und Zeiteffekte im Unternehmen zu realisieren [Sch05]. Die Produktstrukturierung stellt damit das Bindeglied zwischen den Ingenieursdomänen dar [Rie03]. Die Ansätze zur Produktstrukturierung bieten anhand von Handlungsanweisungen Unterstützung in der Entwicklung verbesserter Produktstrukturen [Rap99].

3.2.2 Methoden zur Produktstrukturierung

3.2.2.1 Modular Function Deployment nach ERIXON

Die Anwendung definierter Modultreiber ist der Hauptbestandteil der Methode zur Produktstrukturierung nach ERIXON [Eri98]. Bei den Modultreibern handelt es sich um produktstrategische Aspekte für die Zusammenfassung von Komponenten zu Modulen. Für die Montage sind dabei die Modultreiber *separates Testen* sowie *Prozess/Organisation* relevant. Für einen optimalen Produktionsprozess gilt es, den Funktionsumfang eines Produktbestandteils zu testen, bevor dieses montiert wird. Darüber hinaus sind Produktbestandteile, die als gleich zu betrachtende Prozessschritte durchlaufen, zu einem Modul zusammenzufassen.

Die Produktkomponenten und Modultreiber werden in eine Matrix überführt. Anhand dieser sogenannten Module Indication Matrix (MIM) erfolgt eine Bewertung jeder Komponente hinsichtlich ihrer spezifischen Relevanz für die Modultreiber. Die anschließende Zusammenfassung der Komponenten zu Modulen erfolgt anhand zweier Aspekte dieser Bewertung. Zum einen stellen Komponenten mit hohen Punktwerten Modulkandidaten dar. Zum anderen weist die Ähnlichkeit des Bewertungsprofils mehrerer Komponenten auf die Möglichkeit ihres Zusammenfassens zu einem Modul hin [Eri98]. Die folgende Abbildung zeigt eine exemplarische MIM.


Module driver		Function carrier										
		Fan	Electric motor	Chassis	Bag	Filter	Switch	Housing	Wire & contact	Grip	Cover	Wire collector
Design & Development	Carry-over	●	●				●		●			●
	Technology push				●	●						
	Product Planning											
Variance	Different Specification	○	○			○			●			
	Styling						●	●		●	●	
Manufacturing	Common Unit	●	●	●	●	●	●		○			●
	Process/Organisation	●	●	●	●			●				
Quality	Separate Testing		●									
Purchase	Blackbox engineering					●			●			●
After sales	Service/Maintenance		●			○						
	Upgrading					●						
	Recycling		●	●				●				
	Weight of Driver vertically summarized	22	43	27	27	32	15	27	16	9	9	27
	Module candidates	✓	✓	✓	✓	✓		✓				✓

Bild 3-10: Module Indication Matrix (MIM) nach [Eri98]

Bewertung: ERIXON berücksichtigt die Montage in Form von entsprechenden Modultreibern. Generell handelt es sich bei dieser Methode um eine nachvollziehbare, systematische Vorgehensweise zur Produktstrukturierung. Der Aspekt der Produktvarianz ist ebenfalls in Form von vorformulierten Modultreibern enthalten. Die Liste der Modultreiber kann stets an spezifische Randbedingungen angepasst sowie entsprechend erweitert werden.

3.2.2.2 Modulare Produktentwicklung nach GÖPFERT

Die Methode nach GÖPFERT erweitert den technisch-funktionalen Aspekt der Produktstruktur um eine Betrachtung der Organisationsgestaltung [Göp98]. In seinem Vorgehensmodell ist dafür im Anschluss an das herkömmliche Zusammenfassen von Komponenten zu Modulen, die Zusammenfassung von resultierenden Tätigkeitsumfängen und deren Zuordnung zu Organisationseinheiten vorgesehen. Das Ziel ist eine Eins-zu-eins-Zuordnung von Organisationseinheiten zu den Modulen. Für den Fall, dass mehrere organisatorische Einheiten einer technischen Einheit zugordnet sind, wäre mit einem erhöhten Koordinationsbedarf zu rechnen. Im gegensätzlichen Fall, dass eine organisatorische Einheit mehrere Module betreut, drohen die Potentiale der Modularität verschenkt zu werden. Zur Unterstützung der Zuordnung ist das graphische Werkzeug METUS vorgesehen. In einer rautenförmigen Darstellung wird die funktionale Sichtweise einer Produktidee den Komponenten zugeordnet. Die Komponenten wiederum werden zu Modulen zusammengefasst, die schließlich das Produkt bilden. Die Organisationseinheiten werden daraufhin innerhalb der Sichtweisen bzw. sichtweisenübergreifend dahingehend zugeordnet, dass weitestgehend physisch und funktional un-

abhängige Module entstehen. Eine beispielhafte Produktarchitektur in METUS-Darstellung zeigt Bild 3-11. Die funktionale Sicht ist im linken Teil, die physische Sicht im rechten Teil dargestellt. Die grauen Bereiche markieren die voneinander abgegrenzten Organisationseinheiten [Göp98].

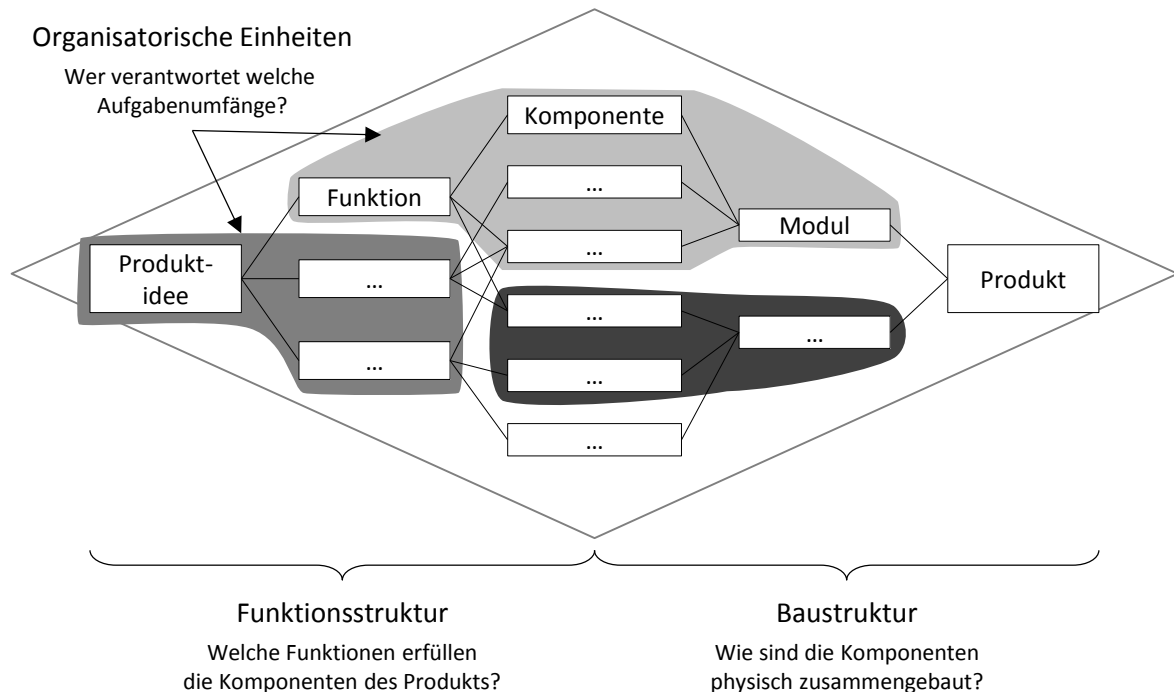


Bild 3-11: Darstellung von Produktarchitektur und Projektorganisation in METUS nach [Göp98]

Bewertung: Die Darstellung als rautenförmiges Diagramm bietet eine effektive Abbildung von Produktstrukturen, die ebenfalls für eine graphische Unterstützung der Strukturierungstätigkeiten verwendet werden kann. Inhaltliche Vorgaben zur Bildung von Modulen werden jedoch nicht gegeben. Varianz- und Montageaspekte werden jedoch nicht berücksichtigt. Eine Anwendung der Methode zur expliziten Definition organisatorischer Einheiten in der Produktion ist jedoch denkbar.

3.2.2.3 Integration Analysis Methodology nach PIMMLER/EPPINGER

Die Methode nach PIMMLER/EPPINGER fasst die Komponenten eines Produkts entsprechend ihrer technisch-funktionalen Beziehungen zu Modulen zusammen [Pim94]. Das Vorgehen erfolgt dabei in den drei folgenden sequentiellen Schritten:

1. Dekomposition des Systems in seine Elemente,
2. Dokumentation der Element-Beziehungen,
3. Clustern der Elemente in Blöcke.

Die Methode basiert grundlegend auf der Design Structure Matrix (DSM) nach STEWARD [Ste81]. Ein System wird dabei in seine einzelnen Elemente zerlegt und deren gegenseitige Beziehungen dokumentiert. Die Elementbeziehungen werden in die vier Kategorien räumliche Anordnung, Energie, Information sowie Material eingeteilt und analysiert. Das Verhältnis zweier Elemente wird dahingehend bewertet, ob es sich um eine schädliche, unerwünschte,

indifferente, erwünschte oder erforderliche Beziehung handelt. Die eigentliche Produktstrukturierung erfolgt durch anschließendes Clustern der Elemente in Blöcke. Auf Basis der zuvor charakterisierten Beziehungen erfolgt eine entsprechende Umsortierung der Elemente in der Matrix, so dass die entstehenden Felder als Indikatoren für die Modulbildung verwendet werden können.

	Komponente 1	Komponente 2	Komponente 3	Komponente 4	Komponente N
Komponente 1			0 2 0 0		
Komponente 2			1 0 0 0	1 0 -2 0	
Komponente 3	0 2 0 0	1 0 0 0			1 0 0 -1
Komponente 4		1 0 -2 0			
Komponente N			1 0 0 -1		

Kopplungen
 2 erforderlich
 1 vorteilhaft
 0 neutral
 -1 nachteilig
 -2 behindernd

R	E
I	M

R Räumlich
 E Energie
 I Information
 M Material

Bild 3-12: Analyse der Komponenten-Kopplungen in einer Design Structure Matrix nach [Ste81]

Bewertung: Die Methode berücksichtigt keine expliziten Montageaspekte. Jedoch können drei der vier Beziehungskategorien, räumlich, Information und Energie, dafür verwendet werden, mögliche und nötige Schnittstellen zwischen Komponenten zu identifizieren und dadurch auf eine entsprechende Bildung von Baugruppen zu schließen. Eine Möglichkeit zur Abbildung und Verarbeitung von Produktvarianz ist nicht vorgesehen.

3.2.2.4 Produktstrukturmanagement nach RAPP

Im Ansatz des Produktstrukturmanagements integriert RAPP existierende Methoden mit dem besonderen Fokus auf der operativen Umsetzung der Produktstrukturierung [Rap99]. Das Produktstrukturmanagement besteht aus den Bausteinen Planung, Umsetzung, Controlling, Änderung und Wissenssicherung. Diese Bausteine gliedern sich entsprechend des Vorgehensmodells in die drei Phasen Vorbereitung, Produktstrukturierung und Produktstruktursicherung.

Im Rahmen der Vorbereitung werden zunächst die unternehmensspezifischen Randbedingungen, beispielsweise hinsichtlich strategischer oder organisatorischer Aspekte analysiert. Auf dieser Basis erfolgt das Füllen grundlegender strategischer Entscheidungen zu den Bereichen Technologie, Lebenszyklus und Zusatznutzen, welche durch die Produktstruktur erreicht werden sollen. Wenn vorhanden, werden zur Schaffung einer Ausgangsbasis Vorgängerprodukte analysiert. Die Betrachtung umfasst neben der bestehenden Produktstruktur die Aufnahme von Vielfaltsinformationen sowie Daten zu Kostenstrukturen. Als abschließender Teil der Vorbereitung erfolgt die Festlegung des Funktionsumfangs sowie der Vielfalt des Produkts. Dazu werden Marktanforderungen und Kosten analysiert sowie die technische Machbarkeit bewertet. Schließlich werden die Produktmerkmale festgelegt und überprüft.

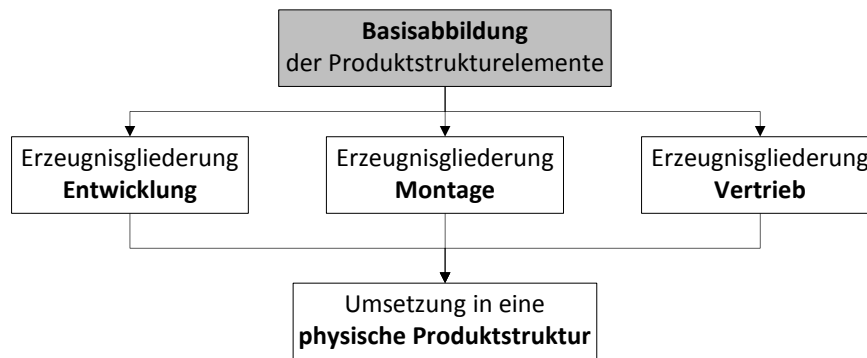


Bild 3-13: Arbeitsschritte der Produktstrukturierung nach [Rap99]

Die eigentliche Produktstrukturierung in der zweiten Phase gliedert sich in drei Schritte. Als erstes erfolgt die Bestimmung der Basisabbildung der Produktstrukturelemente. Der Begriff Elemente ist der Komponente gleichzusetzen. Dafür wird eine herkömmliche symbolische Darstellung der Funktionsstruktur verwendet. Der zweite Schritt umfasst die Erstellung von Erzeugnisgliederungen für verschiedene Anspruchsgruppen, wie die Entwicklung, der Vertrieb oder die Produktion. Die Ziele der für diese Arbeit relevanten Montagesicht sind eine geringe Durchlaufzeit sowie Vorprüfbarkeit von Modulen im Prozess. Als Maßnahme wird dazu die gezielte Verlagerung von Wertschöpfungstätigkeiten aus der Endmontage in die Vormontage genannt. Zur Umsetzung einer montageorientierten Erzeugnisgliederung wird auf die Ansätze von UNGEHEUER sowie ERIXON verwiesen. Den letzten Schritt der Produktstrukturierung bildet die Umsetzung der Erzeugnisgliederungen in eine physische Struktur. Dafür wird auf die Phasen des Entwerfens bzw. Ausarbeitens in Anlehnung an die allgemeine Konstruktionsmethodik nach VDI 2221 verwiesen [VDI93].

Die dritte Phase der Produktstruktursicherung konzentriert sich auf das Beherrschen von Änderungen. Dafür sind die Änderungsprozesse zu definieren sowie ein Controlling zur Sicherstellung des definierten Idealzustands während des Produktentstehungsprozesses einzurichten. Darüber hinaus soll implizites Produktstrukturwissen mittels PDM-Systemen nutzbar gemacht werden.

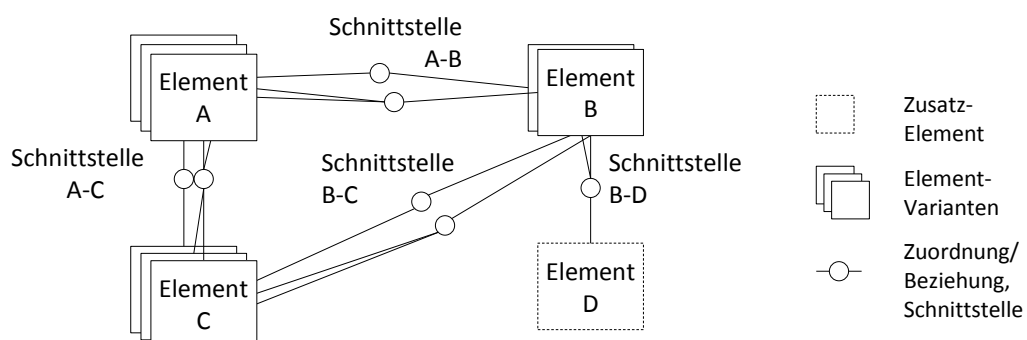


Bild 3-14: Schematische Darstellung der Produktstruktur eines einfachen Produkts nach [Rap99]

Zur Darstellung von Produktstrukturen entwickelt RAPP ein Modell, welches die Produktmerkmale sowie deren Ausprägungen beschreibt. Es enthält die Elemente, deren gegenseitige Zuordnungen in Form von Schnittstellen sowie Varianzinformationen. Ein vereinfachtes Beispiel für ein derartiges graphisches Werkzeug ist in Bild 3-14 dargestellt. Es handelt sich

um ein Produkt, das aus vier Elementen, d.h. Komponenten, besteht. Die Elemente A-C liegen in unterschiedlicher Variantenzahl vor. Bei Element D handelt es sich um eine optionale Komponente.

Bewertung: Der Ansatz nach RAPP ermöglicht eine weitreichende Sicht auf das Thema Produktstrukturierung unter Einbeziehung verschiedener Sichten auf das Produkt. Durch den Verweis auf relevante Methoden werden deren bestehende Defizite beibehalten. Zusätzlich ergeben sich Defizite durch mangelnde Integration der einzelnen Methoden. Das Ziel der Unterstützung der operativen Umsetzung wird daher nicht erfüllt. Das enthaltene graphische Werkzeug dient der Abbildung der produktstrukturellen Zusammenhänge. Eine systematische Unterstützung der Produktstrukturierung anhand der Abbildung ist nicht gegeben.

3.2.2.5 Developing Product Family Architecture nach JIAO

Die Entwicklung der Architektur von Produktfamilien erfolgt nach JIAO in vier Schritten. Die Entwicklung beginnt mit einer Modellierung der Funktionen, die auf den Kundenanforderungen basiert. Dafür werden die Kunden gruppiert und den Funktionen zugeordnet, welche das Ziel der Entwicklung darstellen. Im zweiten Schritt erfolgt die technische Modellierung der Produktfamilie. Es werden Gestaltungsparameter formuliert und den zuvor aufgestellten funktionalen Anforderungen zugeordnet. Durch die Darstellung in Matrixform und die Verwendung von Algorithmen werden Blöcke innerhalb der Matrix gebildet, welche die zu entwickelnden Module ergeben. Im letzten Schritt wird eine Bewertung der physischen Module durchgeführt. Diese erfolgt hinsichtlich der funktionalen Leistung sowie der Kosten der Module. Abschließend wird die Produktstruktur in Form einer Stückliste für die Produktfamilie abgeleitet [Jia07].

Im Rahmen der Darstellung von Varianz in Produktplattformen innerhalb der Methode zur Entwicklung der Produktfamilienarchitektur führt ZHANG das Modell der *Generic Product and Process Structure* (GPPS) als Erweiterung der Methode von JIAO ein [Zha07]. Die generische Struktur zeigt sämtliche Produkt- und Prozessinformationen einer Produktplattform in einer integralen Darstellung. Die Grundlage dafür bilden die separaten Modelle der Produkt- und der Prozessstruktur. Die Produktstruktur liegt in Form einer hierarchischen Baustruktur vor, in welcher das Produkt in Baugruppen, Unterbaugruppen sowie deren Komponenten und Rohmaterialien zerlegt wird. Die Elemente der graphischen Darstellung werden dabei um die Information der jeweiligen Elementanzahl im Produkt erweitert. In derselben Weise erfolgt die Darstellung der Produktionsprozesse, deren einzelne Fertigungs- und Montageschritte in einem Ablaufdiagramm aufgeführt werden. Die Elemente werden hierbei ebenfalls um die Prozessinformationen Arbeitsstation, Rüstzeit sowie Taktzeit erweitert. Die integrale Darstellung enthält eine hierarchische abwechselnde Anordnung von Gegenstand und Prozessschritt, an deren oberen Ende das Endprodukt steht. Bild 3-15 zeigt die Erstellung der GPPS an einem Beispiel. Oben links ist die Struktur des Beispielprodukts abgebildet. Es untergliedert sich in Baugruppen, Einzelteile und Rohmaterial. Zusätzlich wird die Menge der jeweiligen Komponenten angegeben. Unten links ist der zugehörige Montageprozess dargestellt. Die Elemente werden nach Montage- und Fertigungstätigkeit unterschieden. Die zusätzlichen Angaben beziehen sich auf Betriebsmittel, dessen Konfiguration sowie die Durchlaufzeit. Beide Sichten werden in ein Diagramm zusammengeführt [Zha07].

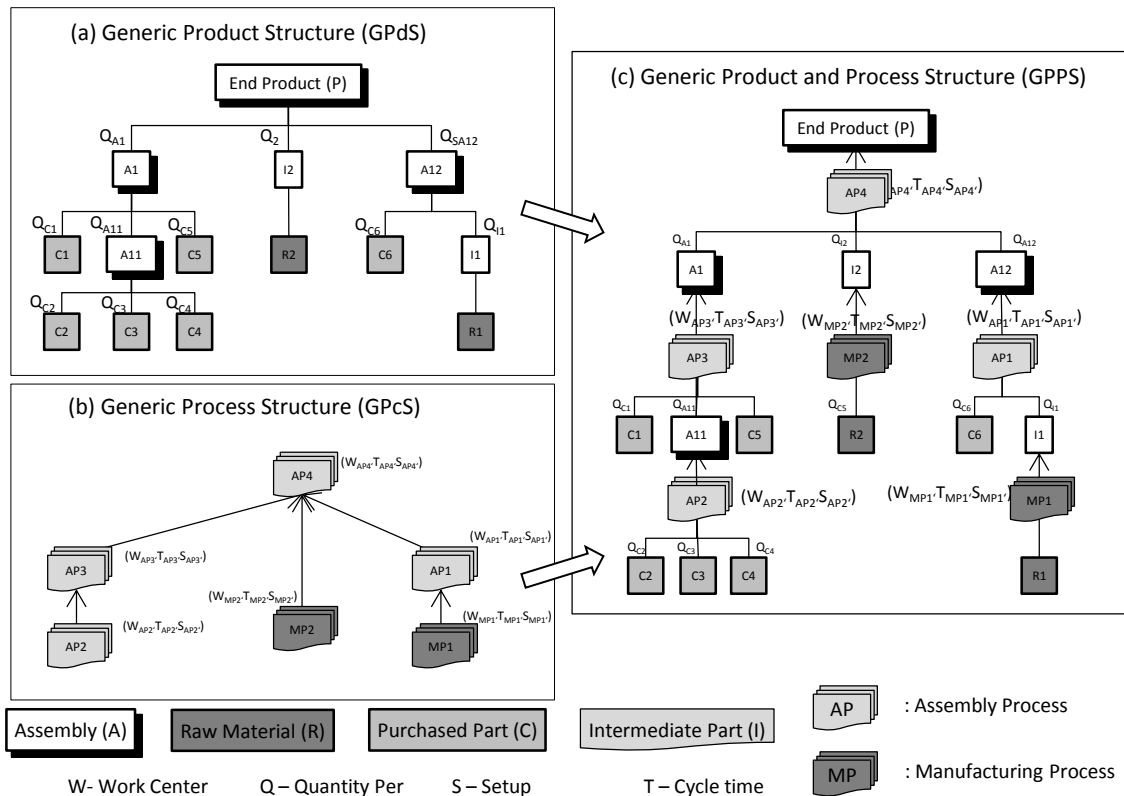


Bild 3-15: Generic Product and Process Structure (GPPS) nach [Zha07]

Bewertung: Die Methode bietet ein systematisches Vorgehen zur Berücksichtigung von Varianz in der Produktentwicklung. Die generische Produkt- und Prozessstruktur bietet darüber hinaus eine übersichtliche Darstellung des Produktaufbaus unter Einbezug des Montageprozesses. Jedoch beschränkt sich das Diagramm auf die reine Darstellung von Produkt und Prozess. Eine systematische Integration der Montage in die Produktstrukturierung auf Basis des Diagramms wird nicht unterstützt und beschränkt sich auf das algorithmische Verfahren an der Designmatrix.

3.2.2.6 Multi Product Development nach MORTENSEN

Die Arbeit von MORTENSEN beschäftigt sich mit der Multi-Produkt-Entwicklung, d.h. der Entwicklung von Produktfamilien [Mor05]. Deren Merkmale und Beziehung zum Markt sowie zur Supply Chain sind genau zu definieren. Der strategische Ansatz unterteilt die Entwicklung dabei in die drei Kategorien Standard-Design, Referenzarchitektur sowie Produktplattform und -architektur. Dadurch soll Transparenz der Konzepte erreicht und die Kommunikation erleichtert werden. Das Ziel ist die Erschließung von Effizienzpotentialen aus Wiederverwendung von Komponenten sowie Parallelisierung der Entwicklung. Die Referenzarchitektur enthält eine strukturelle und funktionale Beschreibung der Produktfamilie. Die Produktfamilien setzen sich aus den sogenannten Standard-Designs, vergleichbar mit Standard-Modulen, und deren Schnittstellen zur Umgebung zusammen. Die Produktplattform beschreibt wiederum den konkreten Aufbau eines Produkts aus Standard-Design und Schnittstellen. Zur Unterstützung der Produktfamilienanalyse hinsichtlich der genannten Kategorien stehen verschiedene graphische Werkzeuge zur Verfügung. Dabei handelt es sich um Diagramme, in denen die jeweiligen Zusammenhänge übersichtlich dargestellt werden können. Hervorzu-

heben ist dabei der Produktfamilien-Masterplan, welcher für die Entwicklung von Produktfamilien verwendet wird.

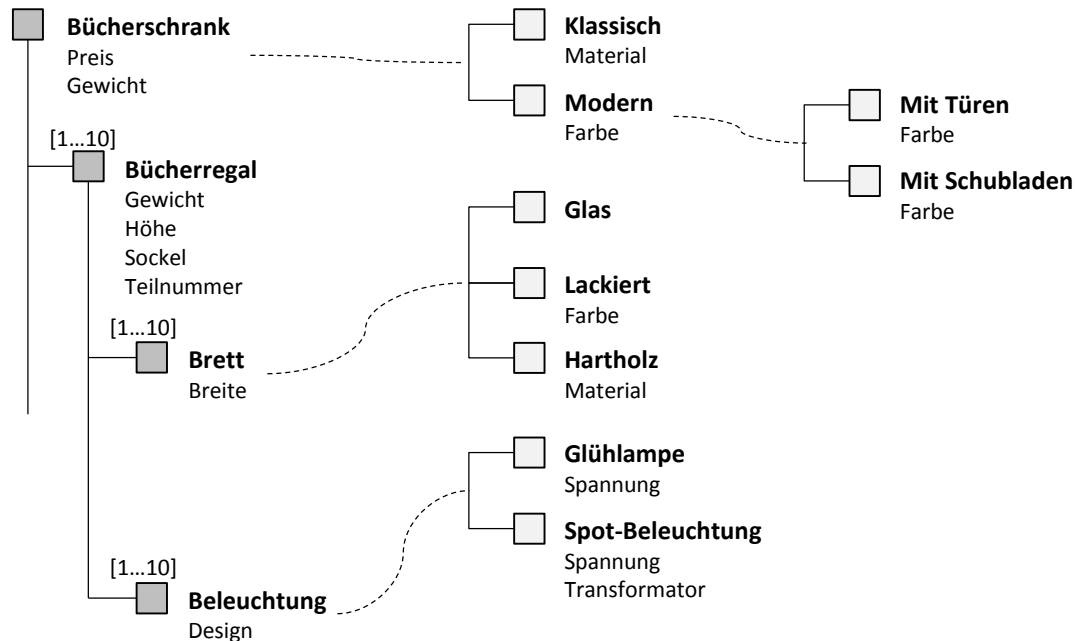


Bild 3-16: Produktfamilien-Masterplan nach [Mor05]

Die Darstellung enthält zum einen die Baustruktur, zum anderen die Varianzstruktur der Produktfamilie. Anhand der Darstellung sollen unnötige Varianten reduziert sowie Modulkandidaten identifiziert werden können [Mor05]. Bild 3-16 zeigt einen Produktfamilien-Masterplan am Beispiel eines Bücherschranks. Auf der linken Seite der Abbildung ist das Produkt hierarchisch strukturiert. Die Zahlen in den Klammern beschreiben die Anzahl der Verwendungsmöglichkeiten der einzelnen Elemente in den verschiedenen Produktvarianten. Jedem Element sind entsprechende Merkmale, wie Preis, Gewicht oder Farbe, zugeordnet. Die Varianzstruktur wird im rechten Teil der Abbildung dargestellt. Dort sind die vorliegenden Varianten jedes Elements aufgeführt. Die möglichen Kombinationen dieser varianten Elemente bilden die Produktfamilie.

Bewertung: Der Ansatz bietet eine Möglichkeit zur strategischen Betrachtung und Planung von Produktfamilien. Dementsprechend ist eine differenzierte Berücksichtigung von Varianzaspekten enthalten. Die verschiedenen Diagramme ermöglichen eine übersichtliche Darstellung der relevanten Produktaspekte und –zusammenhänge. Dadurch wird eine kreative Arbeitsweise in der Gruppe effizient unterstützt. Jedoch werden weder konkrete Gestaltungsanweisungen für die Produktstrukturierung noch übergeordnete Vorgehensweisen angeboten. Eine Berücksichtigung von Montageaspekten ist ebenfalls nicht enthalten.

3.2.2.7 Produktstrukturierung für fortgeschrittene mechatronische Systeme nach STEFFEN

Die Produktstrukturierungsmethode nach STEFFEN ist auf die spezifischen Anforderungen fortgeschrittener mechatronischer Systeme ausgerichtet [Ste07]. Diese zeichnen sich durch Aspekte, wie hohe Innovationsdynamik, die besonders durch die Leistungssteigerungen der Mikroprozessoren getrieben wird, starke Interdependenzen zwischen elektronischen und

mechanischen Systemelementen, Rekonfigurierbarkeit der Strukturen während des Produkteinsatzes und einer allgemein hohen Systemkomplexität aus [Gau05]. Diese Merkmale können auch auf allgemeine variante Serienprodukte übertragen werden. Der Aspekt der Varianz wird in der Produktstrukturierungsmethode nach Steffen lediglich peripher betrachtet. Der Fokus liegt auf der besonderen technisch-funktionalen Komplexität, die aus den verschiedenen beteiligten Disziplinen der Mechatronik resultiert.

Das Vorgehen umfasst vier Phasen, die in den allgemeinen Entwicklungsprozess eingeordnet werden. In der ersten Phase, der *Analyse der Entwicklungsaufgabe*, werden die Anforderungen und Randbedingungen der spezifischen Aufgabenstellung aufgestellt. Auf dieser Basis erfolgt die Ableitung des anzustrebenden Produktstrukturtyps. Dazu wird die Aufgabenstellung nach produktstrategischen Kriterien bewertet. Die resultierenden Ausprägungen weisen auf den anzustrebenden Produktstrukturtyp hin, der graduell zwischen den beiden Extrema integral und modular festgelegt wird. Des Weiteren wird die Aufgabenstellung einem vordefinierten Grundtyp von Entwicklungsaufgaben zugeordnet, die ausschlaggebend für das weitere Vorgehen sind.

Die eigentliche Produktstrukturierung erfolgt auf Basis von Entwurfsregeln. Dabei handelt es sich um Handlungsanweisungen zur Gestaltung der Produktstruktur. Die Entwurfsregeln sind auf unterschiedliche Aspekte des Produkts, wie Leistung, Demontage/Recycling, Kosten, Entwicklung oder Fertigung, ausgerichtet. Die Dokumentation und Bereitstellung für den Anwender erfolgt mittels einer einheitlichen Beschreibungsform. Ein Beispiel ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Der zentrale Bestandteil der Entwurfsregeln ist der Textbereich, in dem die Umsetzung der Maßnahme beschrieben wird. Neben einer allgemeingültigen Beschreibung wird auf Beispiele zur Bereitstellung weiterer Konkretisierung verwiesen. Des Weiteren werden die betroffenen Partialmodelle ausgewiesen. Dabei handelt es sich entweder um Produktmerkmale, wie die Wirkstruktur, das Gestaltmodell oder die Funktionsstruktur, oder um Aspekte, welche den Produkteigenschaften, wie Anwendungsszenarien oder dem Systemverhalten, zuzuordnen sind. Weitere Angaben beziehen sich auf die benötigten Informationen, zugrundeliegende Quellen sowie die Katalogisierung der Entwurfsregeln.

In der zweiten Phase erfolgt die *Bestimmung der für die jeweilige Entwicklungsaufgabe relevanten Entwurfsregeln*. Dazu steht eine Zuordnungssystematik zur Verfügung. Mittels einer Tabelle werden die Entwurfsregeln den in der ersten Phase definierten Entwicklungsgrundtypen zugeordnet. Die vorliegende Entwicklungsaufgabe wird mit den Grundtypen verglichen. Die für einen Grundtyp vorgeschlagene Auswahl der Regeln wird daraufhin für die Entwicklungsaufgabe verwendet.

In der dritten Phase erfolgt die Durchführung der Produktstrukturierung in Form der *Anwendung der Entwurfsregeln*. Dafür kommen die etablierten Methoden der Design-Structure-Matrix (DSM) und der Module-Indication-Matrix (MIM) sowie die eigens entwickelte Reconfiguration Matrix zur Anwendung. Bild 3-17 zeigt eine Beispiel-Entwurfsregel.

	Relevante Partialmodelle	Titel der Entwurfsregel	Beschreibungstext
Identifikator	19	FGW	Produktstrukturierung nach Mehrfachverwendung
Gruppe	Standardisierung		Fasse Systemelemente so zusammen, dass Einheiten in demselben Produkt mehrfach eingesetzt oder in anderen Baureihen wiederverwendet werden können. Ziele sind die Reduktion von Entwicklungskosten und die Realisierung von Economies of Scale. <i>Beispiel RailCab: Symmetrischer Aufbau erlaubt doppelten Einsatz der Antriebs- und der F/N-Module</i> <i>Beispiel Automobil: Plattformkonzept der VW-Gruppe</i>
Notwendige Informationen über das Produkt-konzept bzw. die Systemelemente	<ul style="list-style-type: none"> • Innovationszyklus • Wiederverwendungsgrad 		
Quelle	[Mül00, S. 31] [Woh98, S.56]		

Legende:

W Wirkstruktur	A Anwendungsszenarien
G Gestaltmodell	V Verhalten
F Funktionshierarchie	Z Zielsystem

Beispiel

Bild 3-17: Beispiel für eine Entwurfsregel nach [Ste07]

In der vierten Phase erfolgt die *Bewertung der erzeugten Produktstruktur*. Dazu steht eine Checkliste zur Verfügung. Die darin enthaltenen Kriterien ergeben sich aus den Anforderungen an die Entwicklungsaufgabe [Ste07].

Bewertung: Die Methode nach STEFFEN schließt eine Berücksichtigung von Montageprozessen explizit aus. Somit sind weder in den formulierten Entwurfsregeln, noch in dem Bewertungsschema für diese Arbeit relevante konkrete Ansätze ableitbar. Jedoch stellt der methodische Ansatz der Formulierung von konkreten Entwurfsregeln ein effizientes Vorgehen zur Produktstrukturierung dar. Positiv hervorzuheben ist dabei die systematische Unterstützung bei der Anwendung der Entwurfsregeln in Form von wissenschaftlichen und praktischen Beispielen durch die Ausweisung der relevanten Produktaspekte und dadurch die Schaffung von Anpassungsmöglichkeiten an die jeweilige Entwicklungsaufgabe.

3.2.2.8 Der Integrierte PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien

Variantenvielfalt führt zu Komplexität in jeder Lebensphase einer Produktfamilie. Darüber hinaus weichen die spezifischen Anforderungen jeder Lebensphase, die aus der Produktvarianz resultieren, voneinander ab und können sich mitunter widersprechen. Um diese Varianz induzierte Komplexität bereits in der Produktentwicklung zu beherrschen, wird am INSTITUT FÜR PRODUKTENTWICKLUNG UND KONSTRUKTIONSTECHNIK DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT HAMBURG-HARBURG der Integrierte Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien entwickelt [Ble10, Kip10]. Wie in der folgenden Abbildung dargestellt, ist es das Ziel, eine große externe Vielfalt durch eine geringe interne Vielfalt abzubilden. Dafür wird eine modulare Produktstruktur unter Verwendung von Methoden und graphischen Werkzeugen entwickelt.

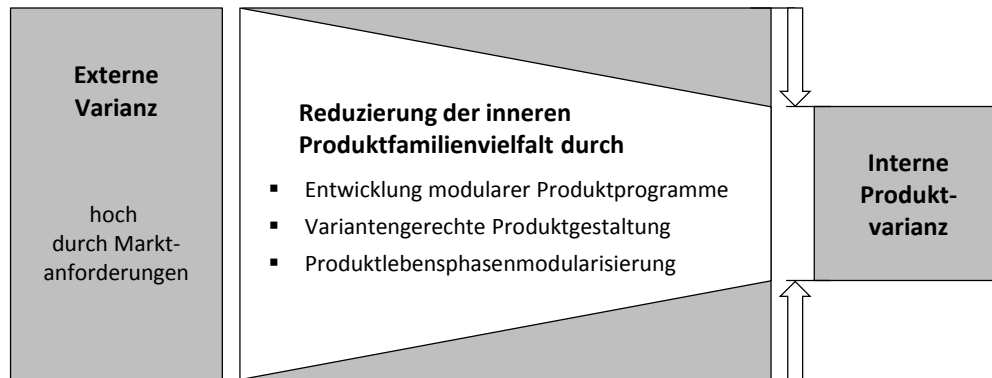


Bild 3-18: Der Integrierte PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien nach [Ble10, Kip10]

Das Vorgehen unterteilt sich in die vier grundlegenden Phasen *Ermittlung der Ziele*, *Reduzieren der internen Vielfalt*, *Modularisieren der Produktfamilie* und *Ableiten des finalen Konzepts*. Zur praktischen Umsetzung ist eine Bearbeitung der einzelnen Schritte im Rahmen von Workshops vorgesehen. Zur Unterstützung der Durchführung kommen verschiedene methodische Werkzeuge zum Einsatz, die in Abschnitt 3.2.3 erläutert werden. Bei der Analyse wird dabei stets eine existierende Produktvielfalt betrachtet [Ble10, Kip10].

Zu Beginn erfolgt die Aufnahme der Ziele einer modularen Strukturierung von Produktfamilien. Dabei sind bereits jetzt sämtliche am Produkt beteiligte strategische Sichten zu berücksichtigen, um frühzeitig einen Konsens über die Zielsetzung der Produktstruktur zu erreichen. Bei der Formulierung der Zielstellung ist darauf zu achten, dass eine entwicklungsbegleitende Bewertung der Zielerreichung ermöglicht wird. Für die Bewertung können Kennzahlen verwendet werden.

Die in der zweiten Phase durchgeführte variantengerechte Produktgestaltung beginnt mit der Erfassung der externen Vielfalt. Die externe Vielfalt setzt sich aus den kundenrelevanten Eigenschaften sowie deren jeweiligen Ausprägungen zusammen. Sämtliche Varianten können durch Kombinationen dieser Eigenschaftsausprägungen beschrieben werden. Die Darstellung der Varianz in einem Vielfaltsbaum, dem sogenannten Tree of external Variety (TeV), schafft eine Diskussionsgrundlage zur Festlegung der externen Vielfalt, mit welcher die Produktfamilie angeboten werden soll.

Im Anschluss erfolgen die Aufnahme der internen Vielfalt sowie die Analyse der Produktfunktionalität. Dafür werden die Komponenten und Schnittstellen der Produktfamilie untersucht. Die Komponenten werden nach den Aspekten standard, variant, optional, variante Anzahl charakterisiert. Die Schnittstellen werden nach ihren Medienflüssen bzw. strukturellen Verbindungen unterteilt. Zudem wird nach internen und externen Schnittstellen unterschieden. Zur Darstellung der internen Vielfalt wird der Module Interface Graphs (MIG) verwendet.

Nachdem die Analyse des bestehenden Produktspektrums abgeschlossen ist, erfolgt eine variantengerechte Produktgestaltung. Eine Produktstruktur ist als variantengerecht zu bezeichnen, wenn standard und variante Komponenten separat vorliegen und kundenrelevante Eigenschaften durch einzelne variante Komponenten abgebildet werden. Zur Entwicklung variantengerechter Produktkonzepte wird das Variety Allocation Model (VAM) verwendet.

Die darin vorgesehene graphische Zuordnung der Varianz und der Produktkomponenten unterstützt das zielgerichtete Finden von Lösungskonzepten.

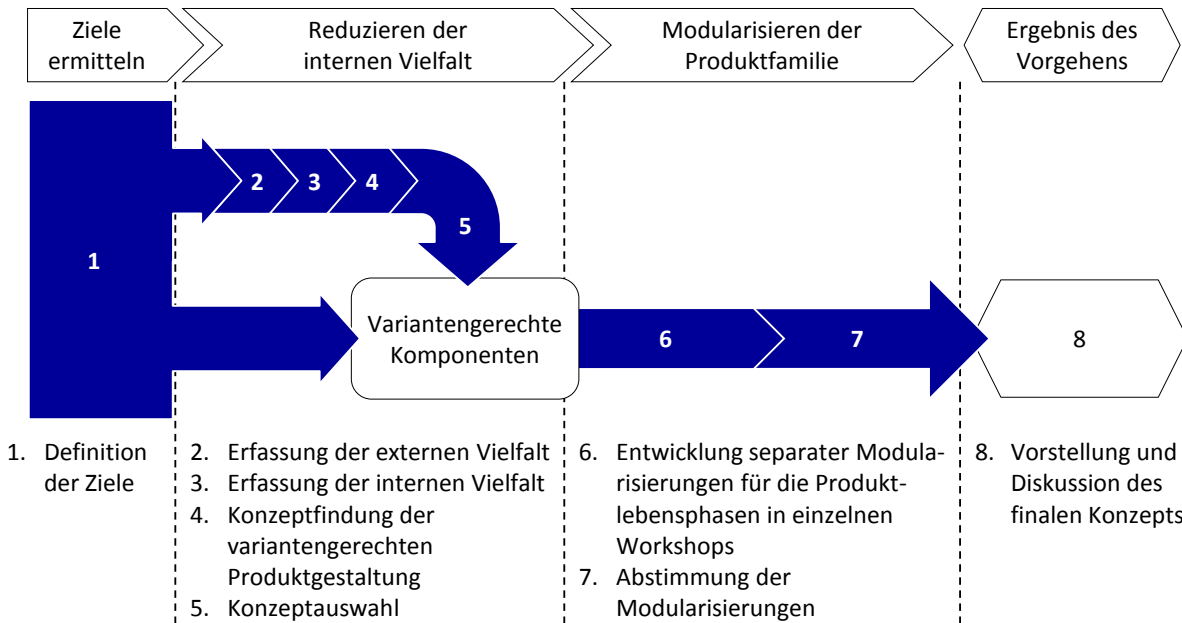


Bild 3-19: Arbeitsschritte des Integrierten PKT-Ansatzes nach [Ble10, Kip10]

In der dritten Phase erfolgt die Modularisierung der Produktfamilie auf Basis der zuvor definierten variantengerechten Produktstruktur. Für die Modularisierung werden ein technisch-funktionaler sowie ein produktstrategischer Ansatz verfolgt. Die technisch-funktionale Modularisierung orientiert sich an der Methode nach STONE [Sto97]. Dabei werden Module mittels Heuristiken, die sich auf die Funktionsflüsse des Produkts beziehen, gebildet. Die Methode wird um den Abgleich mit räumlich-geometrischen Randbedingungen erweitert.

Die produktstrategische Modularisierung integriert die weiteren relevanten Aspekte in der Produktstrukturierung. Das Vorgehen orientiert sich dabei an der Modular Function Deployment Methode nach ERIXON, die in Kapitel 3.2.2.1 beschrieben ist. Das Modultreiberkonzept wird zur Berücksichtigung der kundenrelevanten Eigenschaften weiterentwickelt. Darüber hinaus erfolgt eine differenziertere Betrachtung der Modultreiber durch produktspezifische Ausprägungen. Zur Darstellung der Zusammenhänge und Unterstützung der Modulbildung werden sogenannte Netzpläne verwendet. Die produktstrategische Sicht der Herstellung wird beispielsweise durch die Modultreiber Prozess, Organisation sowie separates Testen repräsentiert. Die Ausprägungen des Modultreiber Prozess verweisen auf die produktionstechnischen Prozesse zur Montage des Produkts. Der Modultreiber Organisation verweist auf die Arbeitsumfänge der beteiligten Einheiten. Das separate Testen verweist auf Komponenten, die einen einheitlichen Testumfang aufweisen. Zur Ableitung der Modultreiberausprägungen ist die Verwendung eines Vorranggraphen vorgesehen, deren Umsetzung aber nicht beschrieben wird [Ble10].

Nach Abschluss der produktstrategischen Modularisierungen liegt für jede Sicht eine individuelle modulare Produktstruktur vor. Diese müssen entsprechend zusammengeführt werden, um ein gemeinsames Produktkonzept zu erhalten. Dabei kann es, analog zu den anfäng-

lichen Zielen, zu widersprüchlichen Lösungsvorschlägen kommen. Zur Darstellung der Produktstrukturen sowie zur Unterstützung der Zusammenführung wird der Module Process Chart (MPC) verwendet. Zur Auflösung möglicher Konflikte werden aus jeder Produktsicht entsprechende generische Lösungsvorschläge formuliert, die eine entsprechende Aufteilung oder Zusammenfassung von Modulen vorsehen.

Die vierte und letzte Phase umfasst die Bewertung der gemeinsamen Produktstruktur hinsichtlich der Erfüllung der eingangs aufgestellten Ziele. Dafür werden zunächst Kennzahlen aus technisch-funktionaler und produktstrategischer Sicht berechnet. Die Kennzahlen werden anschließend gewichtet und zu einem Gesamtwert summiert. Der Gesamtwert eines Konzepts gibt damit einen Hinweis auf die jeweilige Wertigkeit beim Vergleich mehrerer Lösungsalternativen. Abschließend erfolgt die Ableitung der resultierenden Baustuktur, die im Rahmen des klassischen konstruktionsmethodischen Vorgehens weiter ausgearbeitet wird [Ble10, Kip10].

Das Vorgehen zur Entwicklung modularer Produktfamilien sieht die Verwendung verschiedener graphischer Werkzeuge vor. Es besteht die Möglichkeit, den Ansatz um weitere Methoden zu ergänzen, um dadurch die Detailtiefe der Analysen bzw. die Adaptierung an spezifische Produktumgebungen realisieren zu können. Ein Beispiel dafür ist die Fokussierung auf die Identifikation von Standardisierungspotentialen über verschiedene Produktkonfigurationen. Dafür ist, ergänzend zum Variety Allocation Model, die Verwendung des Carry-over Charts (CoC) vorgesehen [Eil11].

Bewertung: Der integrierte PKT-Ansatz bedient sich bewusst der Vorteile diverser Methoden zur Produktstrukturierung. So ist der Ansatz besonders auf den Einsatz in den frühen Phasen der Produktentwicklung ausgerichtet. Das workshopbasierte Vorgehen fördert die interdisziplinäre Zusammenarbeit und bietet eine effektive Integration von Produktlebensphasensichten. Die Verwendung spezifischer graphischer Werkzeuge ermöglicht eine transparente Dokumentation der Ergebnisse. Aus der für diese Arbeit relevanten Montagesicht ist jedoch festzustellen, dass eine Berücksichtigung in Form von Modultreibern nicht ausreichend ist. Die Verwendung eines Vorranggraphen zur Bestimmung des Modultreibers *Prozess* wird lediglich vorgeschlagen jedoch nicht spezifisch erläutert.

3.2.3 Graphische Werkzeuge zur Unterstützung der Produktstrukturierung

Im Allgemeinen werden sämtliche das Produkt beschreibende Informationen, die im Rahmen der Entwicklung erzeugt werden, in Produktmodellen abgebildet [Rap99, Sch05]. Zur Unterstützung der Entwicklungstätigkeiten in der Konzeptphase haben sich besonders grafische Werkzeuge als Untergruppe der Produktmodelle bewährt [Sah06, Geb12a]. Für Werkzeuge zur Darstellung von Produktstrukturen sind Stücklisten- bzw. hierarchische Baustrukturdarstellungen als etablierte Beispiele zu nennen. Für die spezifische Abbildung von Produktstrukturen in Bezug auf Modularität bzw. Montageeigenschaften existieren weitere Werkzeuge, die im Folgenden beschrieben werden.

3.2.3.1 Variantenbaum nach SCHUH

Zur Darstellung von Produktstrukturen unter den Aspekten der Varianz und der Montage führt SCHUH den Variantenbaum ein. Darin werden vertikale Erzeugnisgliederung und Varianzinformationen kombiniert und graphisch dargestellt.

Ein in Bild 3-20 beispielhaft gezeigter Variantenbaum trägt die Teile- und Variantenvielfalt über der Montagesequenz auf. Einzelteile werden durch kleine Kästen, variante Komponenten durch Kästen mit dicker Umrandung dargestellt. Durch Verbindungslinien wird der Zusammenbau der Komponenten abgebildet. Somit ergibt sich ein zweidimensionales Schaubild, dessen vertikale Achse die Montagesequenz und die horizontale Achse die Variantenvielfalt bzw. Produktkomponenten repräsentieren.

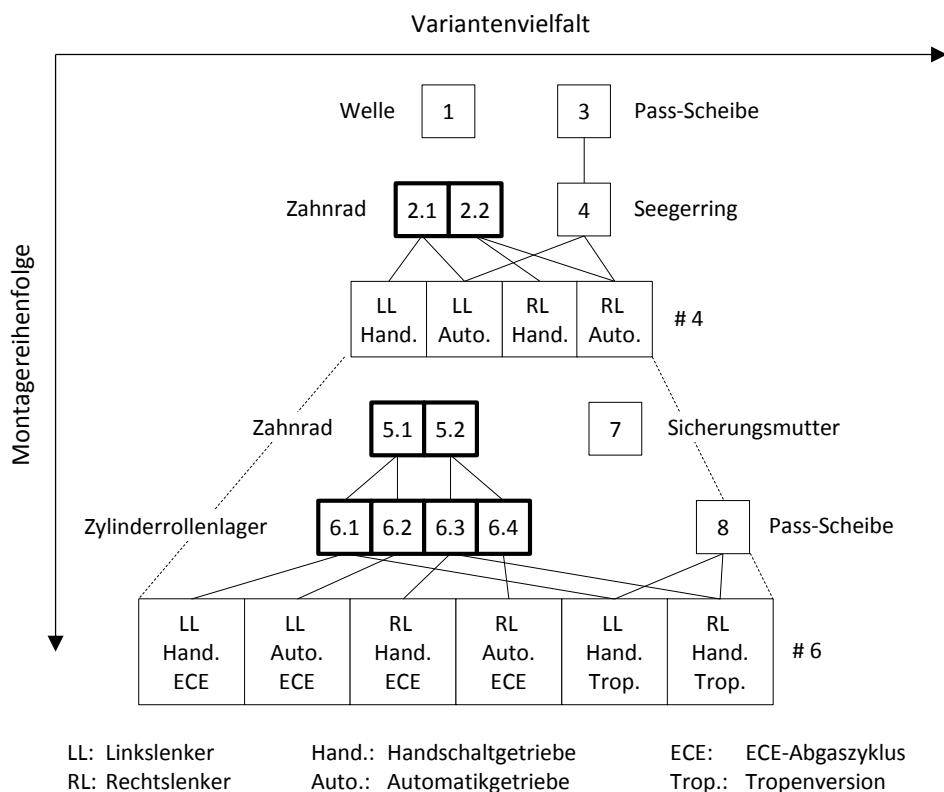


Bild 3-20 Beispiel eines Variantenbaums nach [Sch05]

Der Variantenbaum wird zu einem entwicklungsbegleitenden Einsatz empfohlen. Im Zuge dessen sind die fortschreitenden Varianz- und Sequenzinformationen systematisch in die graphische Darstellung zu überführen. Mittels Szenariobetrachtungen sollen so geeignete Produktstrukturen hinsichtlich der vom Markt geforderten Varianz definiert werden. Dafür werden durch Anwendung entsprechender Maßnahmen verschiedene Gestaltungsalternativen entwickelt und in Form von Variantenbäumen dargestellt. Diese Maßnahmen beziehen sich auf die Produktfunktionen bzw. die Bauteile. Für die Produktfunktion ist beispielsweise eine Einschränkung bzw. Erweiterung zu prüfen. Bezogen auf die Produktstruktur wird lediglich das Stichwort „Änderung“ als Maßnahme vorgeschlagen. Im Falle der Bauteile beziehen sich die Maßnahmen auf die Integralbauweise, Standardisierung sowie Optimierung der Montagesequenz. Die resultierenden Auswirkungen auf den Montageprozess werden sepa-

rat unter Anwendung der Methode Variant Mode and Effects Analysis (VMEA) für jede Variante herausgearbeitet [Cae91]. Die Bewertung der Maßnahmen kann durch eine einfache Betrachtung der Variantenbäume erfolgen. Die späte Bildung von Varianten im Prozess wird durch einen schmalen Variantenbaum dargestellt und repräsentiert damit eine variantengerechte Produktstruktur [Sch05].

Bewertung: Der Variantenbaum visualisiert die Auswirkungen der Varianz auf die Montage. In Verbindung mit den Maßnahmen ist die Methode zur Unterstützung der Strukturierungstätigkeiten geeignet. Die Möglichkeit einer direkten Bewertung der entwickelten Produktstruktur anhand der jeweiligen Form der Grafik ist ebenfalls positiv hervorzuheben. Jedoch beschränkt sich die Analyse auf die Montagereihenfolge. Weitere montagerelevante Faktoren, wie Aufwände, zeitliche Dauer oder verwendete Ressourcen, werden nicht berücksichtigt. Ebenso ist eine Darstellung der Produktstruktur hinsichtlich Schnittstellen sowie Form und Anordnung der Komponenten nicht enthalten.

3.2.3.2 Design-Structure-Matrix (DSM) nach STEWARD

Die Design-Structure-Matrix (DSM) ist ein methodisches Werkzeug zur Analyse der Zusammenhänge von Elementen in einem System [Ste81]. Hauptbestandteil ist dabei eine quadratische Matrix, auf deren Achsen die Systemelemente eingetragen werden. Die jeweilige Beziehung zweier Elemente wird in die aufgespannten Matrixfelder eingetragen. Die Art dieser Beziehung ist dabei entweder binär und gibt an, ob eine oder keine Beziehung vorliegt, oder numerisch und indiziert damit die Gewichtung der jeweiligen Elementbeziehung.

Für die Analyse von Montageprozessen wird eine sogenannte Prozess-DSM verwendet. Wie in der folgenden Abbildung dargestellt, werden die Zusammenhänge der Elemente entsprechend ihrer Einbaureihenfolge aufgestellt. In den Zeilen werden die in der Montage jeweils direkt folgenden und in den Spalten die jeweils vorangehenden Komponenten markiert. Die auf der linken Seite abgebildete Prozess-DSM kann in einen auf der rechten Seite abgebildeten Montagevorranggraphen und analog umgekehrt überführt werden [Ste81].

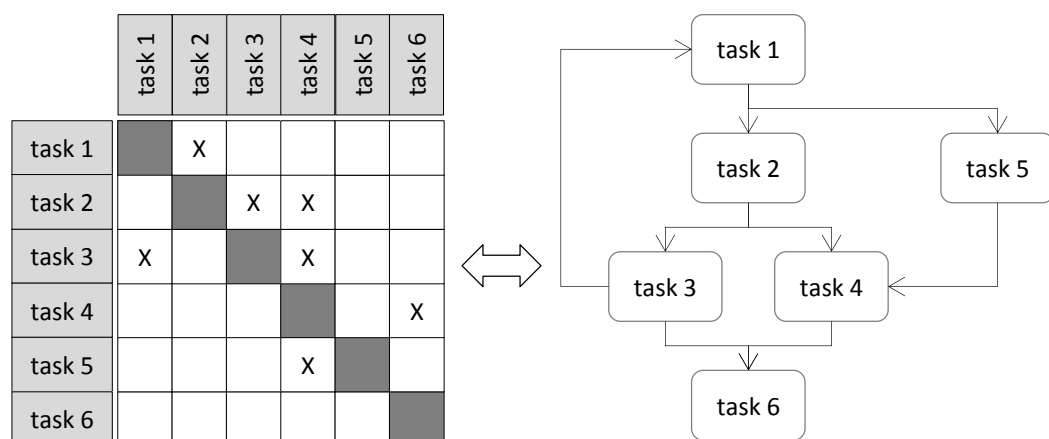


Bild 3-21: Prozess-DSM nach [Ste81]

Durch Erweiterung um sogenannte Domain Mapping Matrizen (DMM) können Elemente unterschiedlicher Kategorien in Bezug zueinander gebracht werden. Die gesamtheitliche Darstellung der DSM und DMM wird als Multi Domain Matrix bezeichnet (MDM) [Dan07]. In

Bezug auf die Montage können damit Elemente verschiedener Kategorien, beispielsweise Organisationseinheiten und Prozessbausteine, einander zugeordnet werden.

Bewertung: Die DSM ist ein effektives Werkzeug zur Analyse und Abbildung von Prozessen. Die Anwendung konzentriert sich auf die reine Darstellung der prozessbezogenen Zusammenhänge. Eine systematische Unterstützung zur Durchführung von Strukturierungsmaßnahmen am Produkt ist nicht vorhanden.

3.2.3.3 Module Interface Graph (MIG) nach BLEES

Aufgrund des Fehlens eines geeigneten Werkzeugs zur Aufnahme und Darstellung von Produktkomponenten und deren Schnittstellen entwickelt BLEES den Module Interface Graph (MIG). Der MIG enthält eine schematische Abbildung der Komponenten sowie der strukturellen Verbindungen und Medienflüsse, wie Stoff, Leistung oder Information. Die Komponenten werden hinsichtlich ihrer geometrischen Form und ungefähren Position im Produkt grob skizziert. Die Schnittstellen werden durch verschieden farbige Verbindungslinien dargestellt. Des Weiteren werden die relevanten Varianzinformationen graphisch hinterlegt. Bild 3-22 zeigt den MIG eines Herbizidsprühgeräts und erläutert die einzelnen graphischen Merkmale in der Legende [Ble08, Ble11]. Die Darstellung wird dahingehend weiterentwickelt, dass die verschiedenen Varianzaspekte standard, variant, optional, Anzahl sowie entsprechende Kombinationen stärker visuell hervorgehoben werden [Eil12].

Bewertung: Die Verwendung des MIG ermöglicht eine effiziente Darstellung der Produktstruktur hinsichtlich der Zusammenhänge und des groben Aufbaus der Komponenten. Aufgrund seines intuitiven Aufbaus eignet es sich als Grundlage für die allgemeine Produktdarstellung im Rahmen der Ist-Analyse sowie für die darauf folgenden Strukturierungsmaßnahmen.

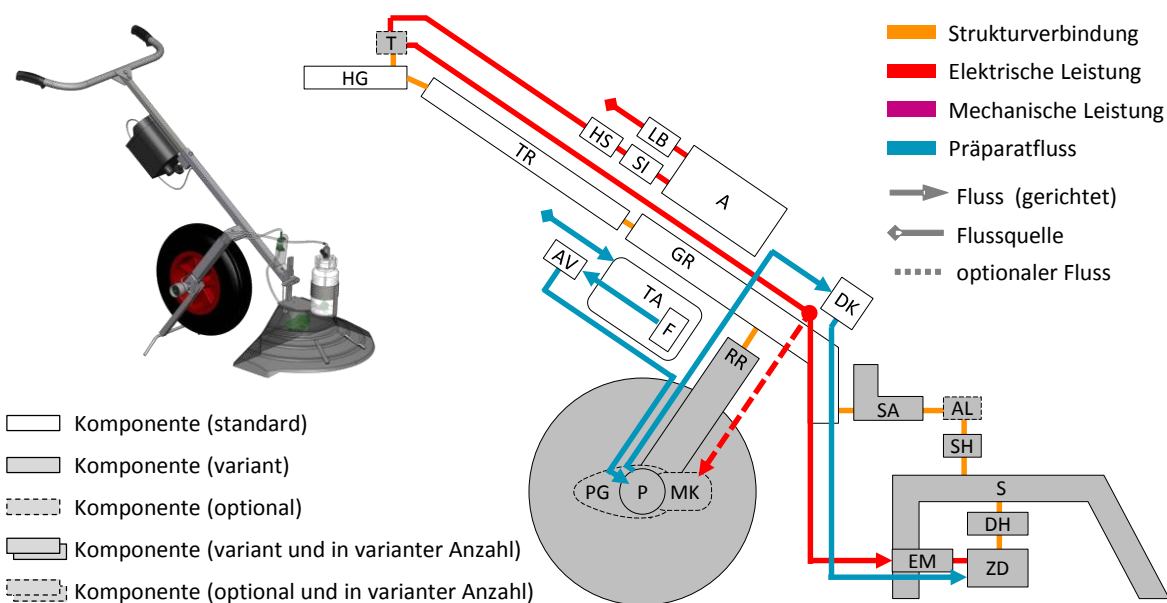


Bild 3-22: Module Interface Graph (MIG) eines Herbizidsprühgeräts [Eil12] in Anlehnung an [Ble11]

3.2.3.4 Tree of external Variety (TeV)

Der Tree of external Variety (TeV) bildet die angebotene Produktvielfalt ab, die sich aus den Ausprägungen der kundenrelevanten Eigenschaften zusammensetzt. Die kundenrelevanten Eigenschaften sind in den Spaltenüberschriften aufgeführt. Die jeweiligen Spalten bestehen aus den zugehörigen Ausprägungen. Eine Produktvariante wird aus einer spezifischen Kombination der Eigenschaftsausprägungen gebildet. Aufgrund der Verbindungslinien zwischen den Ausprägungen entsteht die namensgebende aufgefächerte Struktur eines Baums [Kip10].

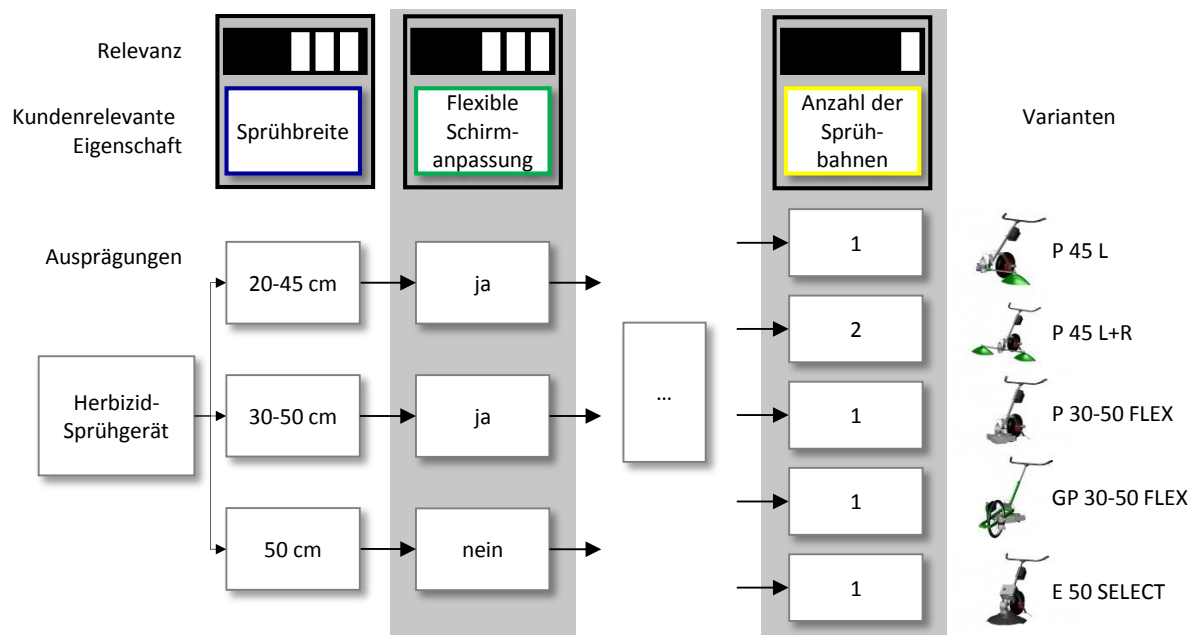


Bild 3-23: Darstellung der Produktvarianz im Tree of external Variety (TeV) [Kip10]

3.2.3.5 Variety Allocation Model (VAM) nach KIPP

Der Tree of external Variety (TeV) wird zur reinen Abbildung der Produktvarianz und ihrer spezifischen Ausprägungen verwendet. Mit dem Variety Allocation Model (VAM) wird die Varianz in Bezug zu der Produktgestaltung gesetzt [Kip12]. Die darin verwendete grafische Darstellung besteht aus vier Ebenen. Auf der obersten Ebene befinden sich die Unterscheidungsmerkmale, auf der zweiten Ebene werden die varianten Funktionen aufgeführt; die varianten Wirkprinzipien bilden die dritte und die varianten Komponenten die vierte Ebene. Die produktspezifischen Elemente werden in die jeweiligen Ebenen eingetragen und durch Verbindungslinien in Zusammenhang gebracht. Der Grad der Vernetzung zeigt dabei, inwieweit die Gestaltung der Produktfamilie dem Idealzustand entspricht. Dabei liegt die Annahme zugrunde, dass für eine variantengerechte Gestaltung eine Eins-zu-eins-Zuordnung von Unterscheidungsmerkmalen zu Komponenten anzustreben ist. Durch die variantengerechte Gestaltung der Komponenten wird eine Basis für eine anschließende Verbesserung der Produktstruktur geschaffen [Kip12]. Auf Basis der Erkenntnisse aus der praktischen Anwendung im Rahmen verschiedener Projekte erfolgt eine Weiterentwicklung des VAMs durch GEBHARDT [Geb12b]. Der sogenannte Analyse-VAM stellt eine vereinfachte Form des ursprünglichen Prinzips dar. In dieser Ausführung wird auf die dritte Ebene der varianten Wirkprinzipien verzichtet. Dadurch wird eine erste Analyse der Variantengerechtigkeit mit geringerem

Aufwand ermöglicht. Ebenso kann ein leichteres Verständnis, besonders bei noch unerfahrenen Anwendern, erreicht werden [Geb12b].

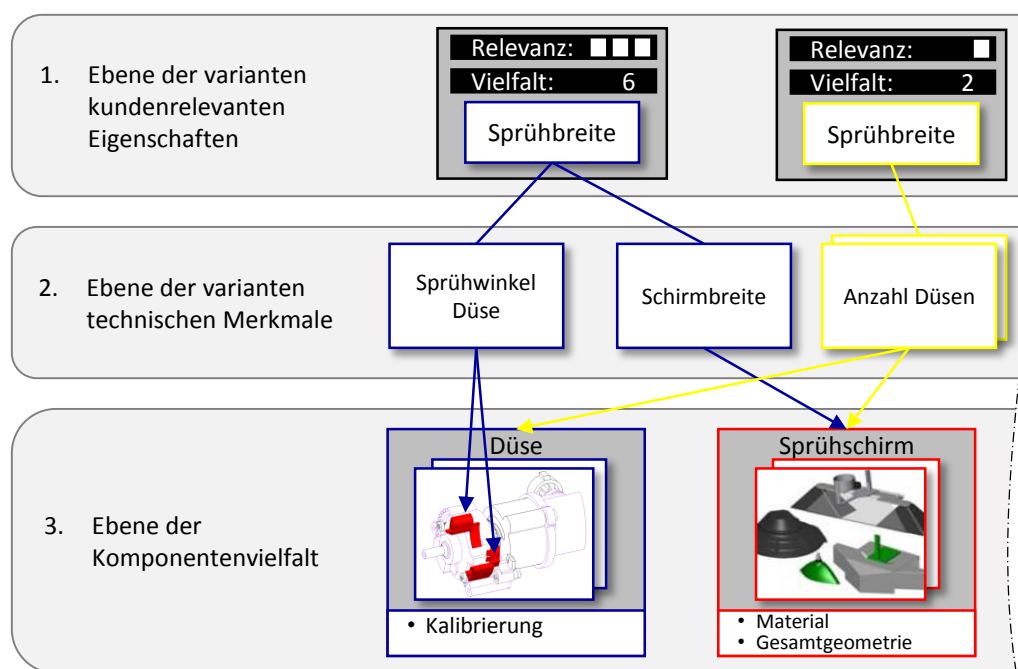


Bild 3-24: Zuordnung von Eigenschaften zu Merkmalen und Komponenten im Analyse-VAM [Geb12a]

3.2.3.6 Carry-over Chart (CoC) nach EILMUS

Der VAM konzentriert sich auf eine Abbildung der varianten Komponenten. Ein Ziel variantengerechter Gestaltung ist die Entkopplung von varianten und Standardanteilen innerhalb der Produktfamilie. Im Carry-over-Chart (CoC) werden die Komponenten sämtlicher Varianten mehrerer Produktfamilie aufgetragen und nach Varianzaspekten, wie z.B. standard, optional, variant, charakterisiert. Anhand dieser Darstellung können durch Aufzeigen von Ähnlichkeiten weitere Standardisierungspotentiale der Produktfamilie identifiziert werden. Bild 3-25 zeigt einen CoC auf der linken Seite der Abbildung. Im Falle des Grundrahmens liegt beispielsweise eine Standardkomponente für die Produktfamilien 1 und 2 vor. Für die Steuerung kann dieselbe variante Komponente in jeder Produktfamilie verwendet werden [Eil11].

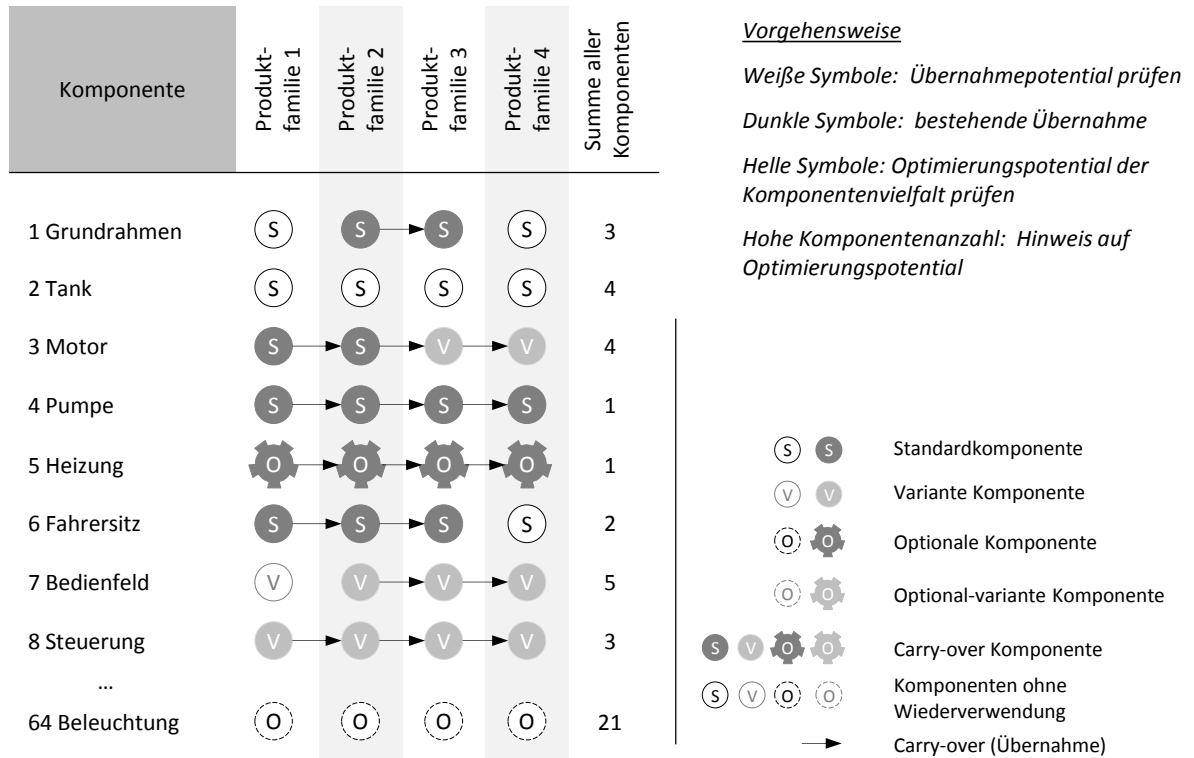


Bild 3-25: Carry-over-Chart (CoC) nach [Eil11]

3.2.3.7 Netzplan nach GÖPFERT

Bei einer produktstrategischen Modularisierung nach ERIXON, siehe Kapitel 3.2.2.1, werden Modultreiber zur Festlegung der Produktstruktur verwendet. Dabei werden die relevanten Komponenten zur Bildung von Modulen identifiziert. Für eine übersichtliche Abbildung der Zusammenhänge entwickelt GÖPFERT eine rautenförmige Darstellung. Die Modultreiber unterteilen sich in ihre Ausprägungen. Die Ausprägungen werden den betroffenen Komponenten zugeordnet, aus denen wiederum Module gebildet werden. Die Gesamtheit der Module bildet schließlich das Produkt [Göp98].

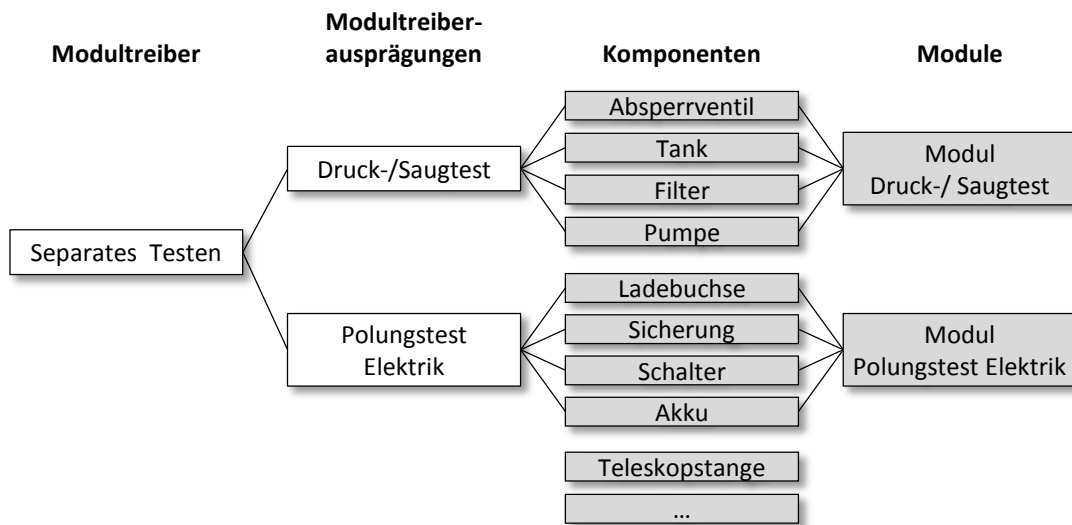


Bild 3-26: Zuordnung von Modultreibern zu Komponenten und Modulen im Netzplan nach [Göp98]

3.2.3.8 Module Process Chart (MPC) nach BLEES

Im Rahmen der produktstrategischen Modularisierung werden mehrere Produktstrukturkonzepte aus der spezifischen Sicht der verschiedenen Produktlebensphase definiert. Dadurch wird eine Zusammenführung der Produktstrukturen notwendig, im Zuge derer eventuelle Widersprüche aufzulösen sind. Zur Unterstützung dieser Tätigkeit werden sämtliche Produktstruktursichten im Module Process Chart (MPC) dargestellt. Die grafische Abbildung zeigt die Komponenten sowie deren produktlebensphasenspezifische Zuordnung zu Modulen. Durch das Auftragen von Verbindungslinien zwischen denselben Komponenten können abweichende Modulkandidaten schnell aufgezeigt werden. Zur Harmonisierung unterschiedlicher Produktsichten muss ein durchgehender Prozess hinsichtlich der Zuordnung von Komponenten zu spezifischen Modulen erreicht werden. Dafür ist der Modulumfang entsprechend zu erhöhen bzw. zu verringern. Das Ziel ist, eine stetige Erhöhung des Modulumfangs, d.h. Vereinigung der Module, hin zum Endprodukt anzustreben. Zur Auflösung von Konflikten stehen verschiedene phasenspezifische Ansätze zur Verfügung [Ble10].

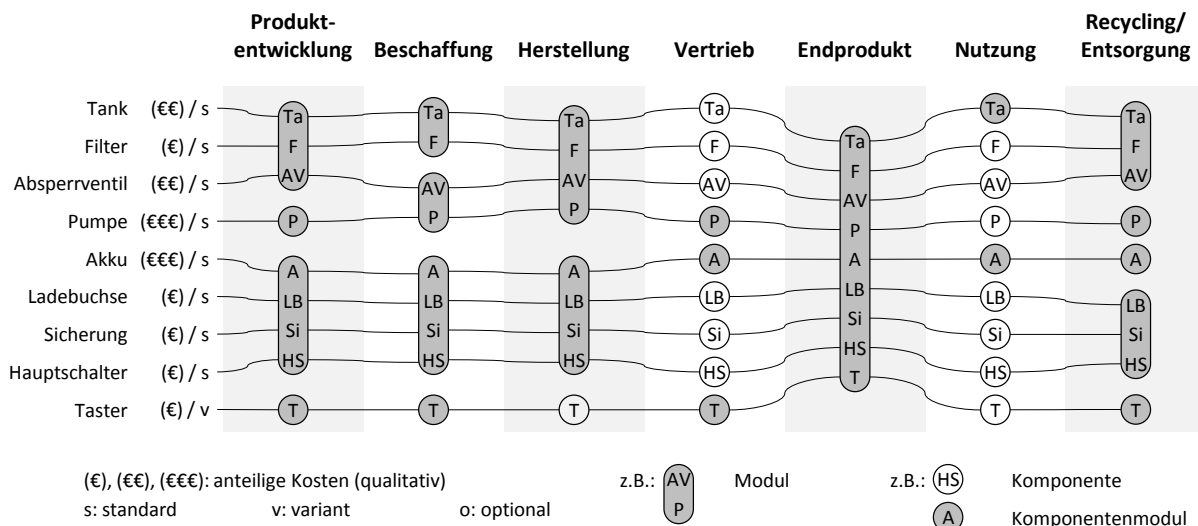


Bild 3-27: Module Process Chart (MPC) nach [Ble10]

3.2.4 Bewertung der Methoden

Die vorgestellten Methoden und Modelle zur Produktstrukturierung werden im folgenden Abschnitt bewertet. Dabei werden analog zur Bewertung der Methoden zur montagegerechten Konstruktion die in Kapitel 2.4 aufgestellten Anforderungen verwendet. Ebenfalls sind die Ergebnisse der Bewertung in der in Bild 3-28 dargestellten Tabelle zusammengefasst.

Anwendung in der Vorentwicklungsphase: Die Methoden sind per se überwiegend auf eine frühe Anwendung im Produktentwicklungsprozess ausgerichtet. Unterschiede finden sich in den Anforderungen an die Genauigkeit der benötigten Daten. Einige Methoden benötigen bereits konstruktive Detailinformationen. Andere Methoden beschränken sich auf die in der Konzeptphase vorliegenden Informationen hinsichtlich der funktionellen und strukturellen Zusammensetzung des Produkts.

Unterstützung der interdisziplinären Zusammenarbeit: Die Methoden weisen überwiegend eine hohe Berücksichtigung des interdisziplinären Anwendungsaspekts auf. Dieser ist zum einen direkt durch das Einbeziehen verschiedener Produktsichten implementiert. Zum anderen bieten graphische Werkzeuge eine solide Basis für interdisziplinäre Zusammenarbeit. Für die Anforderungen dieser Arbeit ist besonders der Variantenbaum nach SCHUH hervorzuheben, in welchem der Montageprozess und die Produktstruktur gemeinsam visualisiert werden.

Methoden und Modelle zur Produktstrukturierung	Anforderungen								
	Anwendung in der Vor-entwicklungsphase	Unterstützung der interdisziplinären Zusammenarbeit	Berücksichtigung der variantengerechten Produktgestaltung	Berücksichtigung montage-relevanter Aspekte	Abbildung von strategischen Montagezielen	Integration weiterer Produktlebensphasensichten	Bereitstellung von Vorgehens- und Gestaltungsanweisungen	Transparente Darstellung und Dokumentation	Entwurfsphasengerechte Bewertung
Modular Function Deployment nach ERIXON	●	●	●	◐	◐	●	●	◐	●
Modulare Produktentwicklung nach GÖPFERT	●	●	●	○	○	◐	●	●	◐
Integration Analysis Methodology nach PIMMLER/EPPINGER	◐	◐	○	○	○	◐	●	●	○
Produktstrukturmanagement nach RAPP	◐	○	◐	◐	◐	◐	◐	◐	○
Developing Product Family Architecture nach JIAO	○	◐	●	◐	○	◐	◐	●	○
Multi Product Development nach MORTENSEN	◐	◐	●	◐	◐	◐	○	○	◐
Produktstrukturierung für fortgeschrittene mechatronische Systeme nach STEFFEN	●	◐	◐	○	○	◐	●	◐	●
Integrierter PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien	●	●	●	◐	◐	●	●	●	●
Variantenbaum nach SCHUH	◐	◐	●	◐	○	○	—	●	—
Design-Structure-Matrix nach STEWARD	◐	◐	○	○	○	◐	—	●	—

● erfüllt ◐ teilweise erfüllt ○ nicht erfüllt — nicht anwendbar/differenzierungsrelevant

Bild 3-28: Bewertung der Methoden und Werkzeuge zur Produktstrukturierung

Berücksichtigung der variantengerechten Produktgestaltung: Die Methoden sind überwiegend auf den Aspekt der Varianz ausgerichtet. Es werden entsprechende Ansätze zur Varianzanalyse aufgezeigt. Ebenso stehen graphische Werkzeuge zur Darstellung der Varianz zur Verfügung. Darüber hinaus ist die Variantengerechtigkeit zentrales Element der Produktstruk-

turierung. Positiv hervorzuheben ist die in der Methode enthaltene generische Produkt- und Montagestruktur von JIAO/ZHANG. Die darin aufgeführte graphische Darstellung ist explizit auf die Zusammenhänge von Produkt- und Montagestruktur unter dem Gesichtspunkt der Varianz ausgerichtet.

Berücksichtigung montagerelevanter Aspekte: Die überwiegende Zahl der vorgestellten Methoden sieht eine Berücksichtigung montagerelevanter Aspekte vor. Die Art der jeweiligen Ausgestaltung ist jedoch unterschiedlich. Sie reicht von der einfachen Darstellung montagerelevanter Zusammenhänge bis zur direkten Einbeziehung in die Strukturierung. Hervorzuheben ist die Methode von ERIXON. Darin wird ein explizites Vorgehen zur Aufnahme und Verarbeitung mittels Modultreibern, die sich jedoch auf eine pauschale Betrachtung beschränken, aufgezeigt. Weitere Methoden verweisen auf entsprechende Ansätze oder auf die Notwendigkeit einer Berücksichtigung. Sie enthalten jedoch keine expliziten Verfahrensweisungen.

Abbildung von strategischen Montagezielen: Analog zur vorangegangenen Bewertung der Berücksichtigung montagerelevanter Aspekte konzentrieren sich die Methoden auf strategische Montageziele, die auch montagerelevante Aspekte einbeziehen. Hier beschränken sich die Methoden jedoch ausschließlich auf die Nennung der Ziele. Eine spezifische Integration ist nicht gegeben.

Integration weiterer Produktlebensphasensichten: Die methodische Grundlage der Ansätze ist die Berücksichtigung verschiedener Produktsichten. Dazu werden unterstützende Ansätze sowie graphische Werkzeuge bereitgestellt. Hervorzuheben ist dabei der Ansatz nach ERIXON, der explizit auf die Analyse verschiedener Produktlebensphasen ausgerichtet ist. Darauf aufbauend bietet der Integrierte PKT-Ansatz systematische Unterstützung zur Abstimmung der verschiedenen Sichten hinsichtlich der Auflösung von Konflikten.

Bereitstellung von Vorgehens- und Gestaltungsanweisungen: Die Methodenbeschreibung umfasst vielfach detaillierte Anweisungen zur jeweiligen Anwendung. Ebenso werden konkrete Anweisungen für die spezifische Gestaltung der Produktstrukturen gegeben. Lediglich die Methode nach MORTENSEN verbleibt auf einem übergeordneten Beschreibungsniveau der Zusammenhänge bei der Produktstrukturierung.

Transparente Darstellung und Dokumentation: Analog zu den zuvor identifizierten Defiziten der Methode nach MORTENSEN hinsichtlich Vorgehens- und Gestaltungsanweisungen ist die Darstellung und Dokumentation ebenfalls eingeschränkt. Die anderen Methoden wiederum bieten durch die Verwendung graphischer Modelle und Werkzeuge ein hohes Maß an Transparenz.

Entwurfsphasengerechte Bewertung: Zur Bewertung der entwickelten Konzepte ist vielfach die Nutzwertanalyse in den Methodenanwendungen vorgesehen. Darüber hinaus wird einzeln auf spezifische Bewertungsansätze zurückgegriffen. Besonders die Verbindung von heuristischen Bewertungen, beispielsweise anhand graphischer Werkzeuge, mit der Berechnung von Kennzahlen bietet eine informationsgerechte Evaluation in der Entwurfsphase.

Der Integrierte PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien vereinigt die positiven Eigenschaften der betrachteten Methoden. Die Methodik erfüllt damit den Großteil der

aufgestellten Anforderungen. Durch die Integration des Modultreiberansatzes bleiben Defizite in der pauschalen Betrachtung von Montageaspekten und deren Überführung in entsprechende Strukturierungsmaßnahmen. Für eine Nutzung von Montageaspekten in der Produktstrukturierung sind die Ansätze von JIAO und SCHUH positiv hervorzuheben. Darin erfolgt jeweils die Verbindung der Produktsicht mit der Sicht auf den Montageprozess. Eine systematische Verwendung der so geschaffenen Werkzeuge zur Unterstützung von Strukturierungsmaßnahmen ist in den Methoden jedoch nicht enthalten. Das Prinzip zur Aufstellung von Maßnahmen nach STEFFEN ist ebenfalls positiv hervorzuheben. Darin werden, zusätzlich zu der reinen Beschreibung der Maßnahme, Möglichkeiten zur Anpassung der Maßnahmen an die spezifische Entwicklungsaufgabe gegeben.

3.3 Bewertung der Montagegerechtheit

3.3.1 Grundlagen der technischen Bewertung

Der Zweck der Bewertung ist die Vorbereitung einer Entscheidung im Sinne einer Auswahl von Handlungsalternativen [Bec78, Zan73]. Darauf aufbauend definiert HAIN das Bewerten als Subhandlung des Entscheidens [Hai96]. Als zweite Subhandlung folgt das Auswählen. Demnach unterteilt sich der Begriff Entscheiden in die Elemente Bewerten und Auswählen. In Anlehnung an die allgemeine Begriffsdefinition aus Kapitel 2.1 setzt sich der Bewertungsvorgang wiederum aus den zwei Subhandlungen Messen und Vergleichen zusammen. Als Messen wird die Bestimmung der Ausprägung einer Eigenschaft eines Objekts bezeichnet. Das anschließende Vergleichen beschreibt die Gegenüberstellung des Messergebnisses, d.h. der Ausprägung der zu messenden Eigenschaft mit der vorgegebenen Zielsetzung. Das Auswählen erfolgt aufbauend auf dem Bewertungsergebnis. Für die Auswahl ist eine Auswahlmaxime notwendig, welche die Interpretationsweise des Bewertungsergebnisses vorgibt.

Übergeordnet beschreibt der Bewertungsprozess die Umwandlung von Eingangsgrößen in ein Ergebnis unter Beeinflussung durch externe Faktoren. Voraussetzungen für die Durchführung einer Bewertung sind das Vorliegen eines Bewertungsobjekts bzw. mehrerer Alternativen, die Vorgabe von Bewertungszielen sowie die daraus resultierende Spezifikation von Kriterien. Die Ergebnisform kann ein absoluter Wert sein, aber auch die Bildung von Rangfolgen beim Vergleich mehrerer Objekte oder die spezifische Identifikation von Stärken und Schwächen. Die Einflussfaktoren liegen überwiegend in technisch-sachlicher Form, wie Informationsgewinnung, Kommunikationsmöglichkeiten oder Tragweite, vor, können aber auch aus individuellen und subjektiven Begebenheiten des Anwenders resultieren [Len94].

3.3.2 Grundlagen zur Bewertung der Montagegerechtheit

In Anlehnung an die zuvor aufgeführte allgemeine Begriffsdefinition ergeben sich zwei Ziele für die Bewertung der Montagegerechtheit. Zum einen soll das Bewertungsergebnis die Auswahl von Konzeptalternativen unterstützen. Zum anderen liefert das Bewertungsergebnis Ansatzpunkte für die weitere Optimierung der Produktgestaltung. Die Montagegerechtheit ist dabei die relevante Produkteigenschaft, deren spezifische Ausprägung für die jeweilige Produktgestaltung zu bestimmen ist. Anschließend erfolgt der Vergleich mit einem zweiten Wert, der entweder der Ausprägung eines zweiten Bewertungsobjekts, also einem wei-

teren Produktkonzept, oder einem idealisierten Referenzwert entspricht. Im Folgenden werden die allgemeinen Problemstellungen aus der Literatur zur Bewertung der Montagegerechtigkeit aufgeführt. Im Anschluss daran erfolgt eine detaillierte Betrachtung existierender Bewertungsmethoden.

Der Begriff Montagegerechtigkeit eines Produkts beschreibt den erforderlichen Aufwand zur Montage. Die Bewertung der Montagegerechtigkeit von Produkten ist maßgeblich auf den Montageprozess ausgerichtet. Nach DAETZ ist es die Herausforderung einer jeden Bewertung, die relevanten Attribute zunächst zu identifizieren und anschließend zu messen [Dae87]. Hier sind folglich diese Attribute in Form der spezifischen Montageanforderungen zu definieren. MIYAKAWA stellt fest, dass „Montagegerechtigkeit eine abstrakte Eigenschaft und deshalb schwierig direkt zu messen ist.“ [Miy90]. Nach TAKAHASHI ist die beste Bewertung ob ein Produkt in die Produktionsmethode passt oder nicht [Tak89]. SHIMIDA weist darauf hin, dass es schwierig ist, eine quantitative Bewertung ob ein Produkt mit geringem Aufwand montierbar ist oder nicht in den frühen Entwicklungsphasen durchzuführen, [Shi92].

Innerhalb des Konstruktionsprozesses wird die Bewertung der Montagegerechtigkeit in Form eines rekursiven Vorgehens eingesetzt [Sto95]. Wie in Bild 3-29 dargestellt, werden dazu entsprechende Lösungsvorschläge bewertet und mit Vorgängern bzw. einem spezifischen Zielzustand verglichen. Ein negatives Ergebnis dieses Vergleichs erfordert anschließend die Notwendigkeit einer Optimierung der Konstruktion mit erneuter Bewertung der Montagegerechtigkeit. Ein positives Ergebnis weist die Lösung als montagegerecht aus. Der rekursive Prozess kann damit verlassen werden.

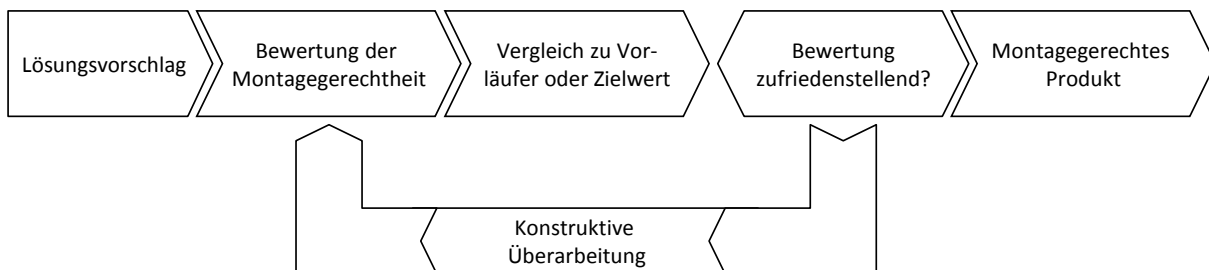


Bild 3-29: Rekursive Anwendung der Bewertung im Konstruktionsprozess nach [Sto95]

Zur konstruktionsbegleitenden Ermittlung der Montagegerechtigkeit stehen verschiedene Hilfsmittel zur Verfügung. Das Spektrum der Bewertungsmethoden erstreckt sich dabei von pauschalen qualitativen Ansätzen, wie Checklisten, bis zu quantitativen Ansätzen, bei denen differenzierte Zahlenwerte für montagerelevante Kriterien berechnet werden. Auf Basis einer empirischen Untersuchung in klein- und mittelständischen Unternehmen formuliert WILDEMANN Erfolgsfaktoren für die Anwendung von Bewertungsmethoden von Montagekonzepten. Demnach ist eine strukturierte Vorgehensweise essentiell, innerhalb derer Kosten-, Zeit-, Flexibilitäts- und Qualitätsziele berücksichtigt werden. Es gilt, die Ansätze übersichtlich und einfach darzustellen sowie Chancen und positive Wirkungen der bewerteten Montagekonzepte entsprechend aufzuzeigen [Wil10b]. In den folgenden Abschnitten werden verschiedene methodische Ansätze sowie Kennzahlensysteme zur Bewertung der Montagegerechtigkeit vorgestellt.

3.3.3 Methoden zur Bewertung der Montagegerechtheit

3.3.3.1 Assemblability Evaluation Method (AEM) nach HITACHI

Im Rahmen der AEM werden zwei Kennzahlen hinsichtlich der Montagegerechtheit des betrachteten Produkts erhoben [Miy86, Miy90]. Zum einen erfolgt die Berechnung einer Montagegerechtheits-Punktzahl (E), zum anderen wird das Montage-Kosten-Verhältnis (K) abgeschätzt. Zunächst erfolgt die Aufstellung der resultierenden Montagesequenz. Die Punktzahl E bewertet die vorliegenden Schwierigkeiten in der Ausführung der Montageoperationen.

Zur Berechnung werden sämtliche Fügeetätigkeiten nach einem Katalog von 20 Standardoperationen charakterisiert und jedem Teil zugeordnet. Die Summe der AEM-Werte für jedes Teil ergibt den gesamten AEM-Produktwert. Der ideale Fügeprozess ist dabei eine einachsige Bewegung in Gravitationsrichtung. Alle anderen Operationen weichen vom Ideal ab und werden mit einem Strafwert versehen. Der AEM-Teilwert gibt darüber hinaus Hinweis auf die jeweiligen Optimierungsbedarfe. Der Maximalwert beträgt 100 und repräsentiert ein Produkt, für das jede Komponente mit einer einfachen Abwärtsbewegung montiert wird. Ein Produkt mit einem Wert von über 80 kann zu angemessenen Kosten vollautomatisch montiert werden. Im Anschluss erfolgt die Berechnung des Kostenverhältnisses K. Es beschreibt die relativen Montagekosten der neuen Produktkonstruktion gegenüber dem Original. Die Erhebung beider Kennzahlen ist notwendig, um eine Vereinfachung der Montage bei gleichzeitiger Erhöhung der Kosten zu vermeiden [Miy86, Miy90].

Bewertung: Die AEM konzentriert sich lediglich auf die Fügeprozesse der Einzelteile. Eine Analyse des Produkts in seiner übergeordneten Gesamtheit an Zusammenhängen wird nicht unterstützt, womit entscheidende Optimierungspotentiale ausgeschlossen werden. Eine systematische Bestimmung der Montagesequenz bzw. eine Vorgabe hinsichtlich des Umgangs mit Sequenzalternativen ist nicht vorhanden. Im Allgemeinen erfolgt die Anwendung der Methode nach der subjektiven Einschätzung und der jeweiligen Erfahrung des Benutzers. Dadurch besteht die Gefahr einer mangelnden Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und damit einer Nicht-Vergleichbarkeit der verschiedenen bewerteten Produkte.

3.3.3.2 DFA Procedure nach LUCAS

Die Hauptziele der Methode sind die Reduzierung der Teilezahl sowie die Optimierung der Bauteilgestaltung hinsichtlich höherer Montagegerechtheit [Con92, Red94]. Dabei wird lediglich nach manueller und automatischer Montage differenziert. Eine weitere Unterscheidung in robotergestützte Montage ist nicht vorgesehen. Eine explizite Kostenanalyse wird ebenso wenig durchgeführt.

Das Vorgehen basiert auf einer Montagesequenzanalyse, die in Form eines Flussdiagramms visuell dokumentiert wird. Die Methode sieht die Vergabe und Aufsummierung von Strafpunkten vor, die in Zusammenhang mit potentiellen Konstruktionsdefiziten gebracht werden. Anhand dieser Strafpunkte werden drei Kennzahlen zur Quantifizierung der Montagegerechtheit berechnet.

Im ersten Schritt erfolgt eine funktionale Analyse. Dafür werden die Bauteile in essentielle A-Teile, die zur Hauptfunktion des Produkts beitragen, und nicht-essentielle B-Teile differen-

ziert. Die Kennzahl „konstruktive Effizienz“ berechnet sich aus dem Verhältnis von A-Teilen zur Gesamtteilezahl. Die Kennzahl sollte einen Wert von 60% überschreiten [Ega97]. Daraus ergibt sich die Aufgabe für den Entwickler, die Anzahl der B-Teile zu reduzieren oder sie mit A-Teilen zu kombinieren.

Der zweite Schritt sieht eine Analyse der Handhabung der Bauteile vor. Anhand einer Datenbank werden für die einzelnen Montageoperationen entsprechende Punktwerte vergeben. Durch Zuordnung der Punktwerte zu den Bauteilen berechnet sich analog zum ersten Schritt das Handhabungsverhältnis. Ziel ist es hierbei sicherzustellen, dass die Bauteile möglichst kompatibel zur gewählten Zuführmethode gestaltet sind.

Im dritten Schritt erfolgt die Berechnung der Einbau-Kennzahl. Diese basiert ebenfalls auf einer entsprechenden Datenbank. Nach der Methode besteht dieser Einbauprozess aus den zwei Aspekten Greifen und Fügen unter Berücksichtigung der übergeordneten Montageart, manuell oder automatisiert. Hohe Werte dieser Kennzahl geben Hinweis darauf, dass aufwändige Vorgänge aus der Bauteilgestaltung resultieren und entsprechende konstruktive Optimierungen zu prüfen sind [Con92, Red94].

Bewertung: Aufgrund seiner Ähnlichkeit zu der AEM Methode nach HITACHI ergibt sich eine vergleichbare Bewertungscharakteristik. So konzentriert sich die Analyse ebenfalls auf Einzelteile und vernachlässigt die übergeordnete Betrachtung von Baugruppen. Das generelle Vorgehensmodell ist detailliert beschrieben und ermöglicht damit eine gute Anwendbarkeit. Es sind sehr detaillierte Informationen zur Berechnung notwendig.

3.3.3.3 Produktionsgerechte Konstruktion nach MTM e.V.

Die Methode beinhaltet ein Analyseverfahren zur Bewertung der Tauglichkeit von Produkten für die manuelle Montage [Bri10]. Ziel ist das Erkennen und Evaluieren von Schwachstellen in der Konstruktion, die zu Montageerschwernissen führen. Daraus ergeben sich Hinweise für die gezielte Optimierung der Bauteilkonstruktion.

Hauptbestandteil der Methode ist das in Bild 3-30 dargestellte tabellarische Analyseblatt. Es dient sowohl als Datenbank als auch als Werkzeug für die eigentliche Ausführung der Analyse. Zur Unterstützung der Durchführung der Analyse steht ein Regelsatz zur Verfügung. Damit soll eine Vereinheitlichung der Bewertungsmaßstäbe verschiedener Nutzer mit dem Ziel erreicht werden, die Vergleichbarkeit zu erhöhen.

Das Vorgehen beginnt mit der Ableitung des aus der Produktkonstruktion resultierenden Montageprozesses. Dafür werden die Bauteile in die vorgesehenen Zeilen der Tabelle eingetragen. Anschließend wird jedes Bauteil hinsichtlich seiner Handhabung sowie seines Fügeprozesses bewertet. Dafür werden jedem Bauteil Punktwerte zugeordnet, deren Summe das methodenspezifische Maß für die Montagegerechtigkeit des Produkts darstellt. Bezüglich der Handhabung und Montage wird davon ausgegangen, dass für jedes Bauteil eine Grundbewegung vorliegt, deren Ausführung von diversen Faktoren erschwert werden kann. Sämtliche Faktoren sind festgelegt und mit den der Bewertung zugrundeliegenden Punktwerten versehen. Die Faktoren sind in den Spalten der Tabelle aufgeführt. Die relevanten Merkmale für die Handhabung sind dabei das Gewicht und die Hauptabmessungen sowie die Anzahl

zeitlich quantifiziert. Die Basis bilden dabei umfangreiche Datenbanken, in denen der zeitliche Aufwand sämtlicher menschlicher bzw. maschineller Bewegungen enthalten ist. Neben den etablierten industrieübergreifenden Ansätzen, wie MTM [Bri10] oder REFA [Ref93], existiert eine Vielzahl unternehmensspezifischer Datenbanken.

Bewertung: Systeme vorbestimmter Zeiten ermöglichen eine tiefgreifende Analyse und Quantifizierung der Montageaufwände. Dadurch können Schwachstellen in der montagegerechten Konstruktion detailliert aufgezeigt werden. Die Komplexität der Methode erfordert jedoch umfangreiche Kenntnisse und Erfahrung von dem Anwender. Die Durchführung gestaltet sich aufgrund des Detailgrads sehr aufwendig. Die Anwendung erfordert nicht nur eine ausgearbeitete Produktkonstruktion, sondern auch genaue Angaben zum Montagesystem. Da diese Angaben in der frühen Entwicklungsphase nicht vorliegen, sind Systeme vorbestimmter Zeiten zur Bewertung von Produktstrukturen nur sehr eingeschränkt verwendbar.

3.3.3.5 Checklisten

Eine Checkliste ist eine Zusammenstellung von Fragen, die von Regeln und Richtlinien abgeleitet werden [Bä88]. Bei einer checklistenbasierten Bewertung handelt es sich somit um eine Vollständigkeitsprüfung. Neben der Prüfung, ob bestimmte Tätigkeiten durchgeführt worden sind, kann ebenfalls das Vorhandensein bestimmter Produkteigenschaften abgefragt werden.

Eine umfangreiche Fragensammlung zur Bewertung der Montagegerechtigkeit stellt BÄBLER zusammen [Bä88]. Die Auswahl der im Folgenden aufgelisteten Fragen erfolgt in Anlehnung an den für diese Arbeit relevanten Aspekt der Produktstruktur.

- *Liegt eine „offene“ Produktstruktur vor?*
- *Ist das Produkt in montage-technisch sinnvolle Baugruppen unterteilbar, welche zeitlich entkoppelt voneinander montiert werden können?*
- *Sind montagegerechte Baugruppen aus der Funktionsstruktur heraus gebildet worden?*
- *Ermöglicht der gewählte Produktaufbau Variationen in der Montagereihenfolge?*
- *Können gleiche Baugruppen für verschiedene Varianten gebildet werden?*
- *Ist die Anzahl der Baugruppen minimiert worden?*
- *Sind montage-technisch ausgewogene Baugruppen gebildet worden (Größe, Gewicht)?*
- *Wurden funktionsgleiche Schnittstellen typen- und variantenübergreifend gleich ausgelegt?*
- *Wurden vorhandene Bauteile gleicher Funktion verwendet?*
- *Wurde eine einheitliche Basisbaugruppe als Trägerteil ausgebildet?*

UNGEHEUER weist darauf hin, dass Checklisten von Anforderungen abgeleitet werden. Da die Anforderungen unternehmensspezifisch sind, ist eine Checkliste ebenfalls stets dem jeweili-

gen Umfeld entsprechend zu gestalten. Eine Beispielliste enthält die im Folgenden aufgeführten Fragen mit Bezug zur Produktstrukturierung [Ung86].

- *Sind alle Baugruppen vormontierbar?*
- *Entspricht die Stücklistenstruktur den Vor- und Endmontagestufen?*
- *Orientiert sich die Baugruppenabgrenzung am Montageablauf?*
- *Können den Baugruppen eindeutig Kapazitäten, Arbeitsplätze, Kosten zugeordnet werden?*
- *Sind standardisierte Schnittstellen vorgesehen?*
- *Sind die Baugruppen komplett vorprüfbar?*

Bewertung: Eine Bewertung mittels Checklisten ist mit geringem Aufwand durchführbar. Durch das Aufzeigen von Randbedingungen im Konstruktionsprozess kommt es nicht zu einer Einschränkung des kreativen Aspekts der Entwicklungstätigkeit [Wil10b]. Jedoch reduziert sich die Ausprägung eines bewerteten Aspekts häufig auf die binäre Antwort ja/nein. Durch das Fehlen einer skalaren Quantifizierung der Bewertung drohen entscheidende Optimierungspotentiale übersehen zu werden. Ebenso ist ein detaillierter Vergleich zweier Bewertungsobjekte dahingehend eingeschränkt, dass Unterschiede nicht differenziert aufgezeigt werden können.

3.3.4 Kennzahlensysteme

Die vorgestellten Methoden bedienen sich verschiedener und individueller Prinzipien zur Bestimmung der Ausprägung der Montagegerechtheit im Rahmen der Konzeptbewertung. Dies führt dazu, dass die Bewertungsergebnisse überwiegend der Interpretation des Anwenders unterliegen. Um die reproduzierbare quantitative Messung einer Größe zu gewährleisten, ist die Verwendung von Kennzahlen weit verbreitet. Allgemein ist eine Kennzahl definiert als die Quantifizierung der Messung einer Größe, eines Zustands oder eines Vorgangs. Es wird zwischen absoluten Kennzahlen, die einen unmittelbaren Zustand, und relativen Kennzahlen, welche das Verhältnis zweier Größen beschreiben, unterschieden [San04]. Eine definierte Menge von Kennzahlen, die miteinander in Beziehung gebracht werden, bildet ein Kennzahlensystem. Das Ziel ist die Bereitstellung vollständiger und komprimierter Informationen über einen spezifischen Sachverhalt. Das Vorliegen einer hohen Detailtiefe der zugrundeliegenden Ausgangsparameter ist notwendige Voraussetzung für die Berechnung der Kennzahlen. Die in den folgenden Unterkapiteln vorgestellten Kennzahlen sind relevant für eine Bewertung der Montageeigenschaften aus produktstrategischer Sicht.

3.3.4.1 Primär-Sekundär-Analyse nach LOTTER [Lot02]

Der wirtschaftliche Wirkungsgrad eines Montagesystems entspricht nach der Definition von LOTTER dem Verhältnis der Anteile primärer und sekundärer Vorgänge innerhalb des Montageprozesses. Die Unterteilung der Vorgänge erfolgt dabei nach dem jeweiligen Beitrag zu der eigentlichen Wertschöpfung durch die Montage im Allgemeinen.

Bei den Primärvorgängen (PV) handelt es sich um alle Aufwendungen an Zeit, Energie, Informationen und Teilen zur Vervollständigung eines Produkts. Beispiele sind das Greifen und

Fügen von Komponenten. In diesem Sinne handelt es sich bei den Sekundärvorgängen (SV) um alle aufgrund des gewählten Montageprinzips notwendigen Aufwendungen, die nicht zur Wertschöpfung beitragen oder diese sogar wieder reduzieren. Beispiele hierfür sind Wenden, Ablegen und Neugreifen, Aus- und Wiedereinbau. Die Messgröße ist die Zeitdauer des jeweiligen Vorgangs.

Der wirtschaftliche Wirkungsgrad (W_M) berechnet sich aus der Summe der jeweiligen Zeitdauer aller Primärvorgänge im Verhältnis zur Summe der Zeitdauer aller Primär- und Sekundärvorgänge. Es gilt:

$$W_M = \frac{\sum PV}{\sum PV + \sum SV} \cdot 100[\%] \quad (1)$$

W_M = wirtschaftlicher Wirkungsgrad

PV = Primärvorgänge

SV = Sekundärvorgänge

Der berechnete Wirkungsgrad ermöglicht eine transparente Bewertung der Effizienz eines Montagesystems. Daraus können wiederum Maßnahmen zur Rationalisierung bzw. Optimierung ausgerichtet werden, die in allen Fällen eine Reduzierung der vorliegenden Sekundärvorgänge umfassen.

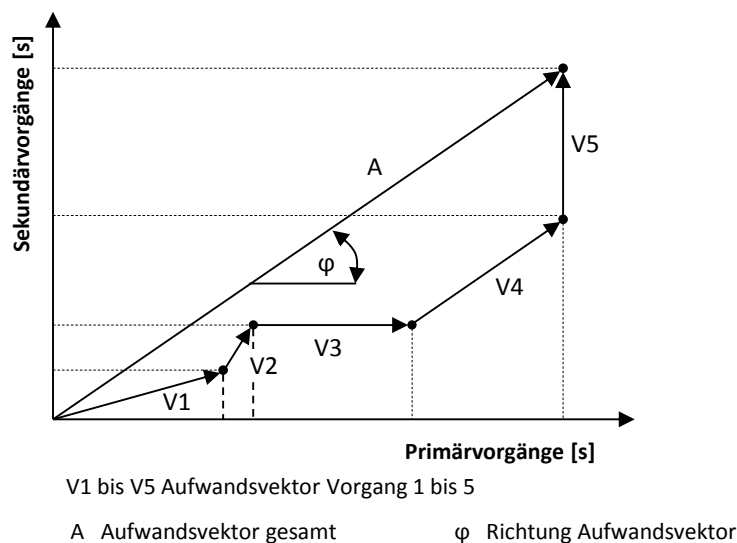


Bild 3-31: Primär-Sekundärbewertung mit Aufwandsvektor nach [Lot06]

Eine anschauliche Darstellung des Wirkungsgrads erfolgt in Form des sogenannten Aufwandsvektors. Dazu wird der Montageprozess in seine Primär- und Sekundärvorgänge zerlegt und, wie in Bild 3-31 dargestellt, maßstäblich in ein zweidimensionales Koordinatensystem eingetragen. Eine Optimierung erfolgt in diesem Sinne nach zwei Aspekten. Zum einen gilt es, den Winkel φ zu reduzieren, was einer Erhöhung des Anteils der Primärvorgänge entspricht. Zum anderen entspricht die Verkürzung der Länge des Aufwandsvektors einer Reduzierung des absoluten Montageaufwands [Lot02, Lot06].

3.3.4.2 Kennzahlensystem nach ERIXON [Eri98]

Durchlaufzeit

Die Durchlaufzeit ergibt sich aus der Summe der jeweiligen Einzeldauer für Vormontage, Test und Montage von Modulen. ERIXON setzt dabei durchschnittliche Zeiten für die Montage sowie die Testdurchführung an. Darüber hinaus wird die Annahme formuliert, dass eine optimale Durchlaufzeit mit einer idealen, von der Teilezahl abhängigen Anzahl der Module erreicht werden kann.

$$\text{Durchlaufzeit} = \frac{N_p T_{\text{norm}}}{N_m} + T_{\text{test}} + (N_m - 1) T_{\text{int}} \quad (2)$$

- N_p = Teilezahl
- T_{norm} = durchschnittliche Montagezeit für ein Teil in der Vormontage
- N_m = Modulanzahl in einer durchschnittlichen Produktvariante, $N_m = \sqrt{N_p}$
- T_{test} = durchschnittliche Zeit für den Funktionstest eines Moduls
- T_{int} = durchschnittliche Zeit für die Endmontage eines Moduls

Fehlerfreie Montage

Die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines fehlerfreien Montageergebnisses ergibt sich aus dem Produkt der Einzelwahrscheinlichkeiten der fehlerfreien Montagefähigkeit und der fehlerfreien Montagekomponente. Die Berechnung basiert auf der Annahme, dass die Fehlerwahrscheinlichkeit mit zunehmender Montagezeit steigt. Daher wird die ideale Montagezeit für eine Komponente nach BOOTHROYD verwendet, innerhalb der von einer minimierten Fehlerwahrscheinlichkeit ausgegangen werden kann. Des Weiteren sind Erfahrungswerte des Qualitätsmanagements in der Rechnung zu berücksichtigen.

$$P_A = \prod_{i=1}^n [1 - C_k (T_i - T_{\text{ideal}})^k] \cdot (1 - D_{pi}) \quad (3)$$

- P_A = Wahrscheinlichkeit eines fehlerfreien Montageergebnisses
- C_k = Konstante der Montagequalitätskontrolle, mit $0 < C_k < 1$ (je kleiner der Wert, desto mehr Fehler werden erkannt)
- T_i = benötigte Zeit für die i-te Montagefähigkeit
- T_{ideal} = ideale Montagezeit
- K = Exponent bezogen auf die Fehleranfälligkeit einer Montagefähigkeit mit $K > 1$
- n = Anzahl der Montagefähigkeiten
- D_{pi} = Wahrscheinlichkeit, dass die i-te Komponente einen Fehler aufweist.

Optimale Modulzahl

Auf Basis empirischer Untersuchungen formuliert ERIXON eine optimale Anzahl von Modulen in Abhängigkeit von der Komponentenzahl. Zum einen sind die Umfänge der Module zu vereinheitlichen. Zum anderen soll die Anzahl der im Modul enthaltenen Komponenten auf ein angemessenes Maß begrenzt werden. Die diesen Zustand repräsentierende optimale Modulzahl berechnet sich mit der Faustformel, nach welcher die ideale Modulzahl der Wurzel der Komponentenzahl entspricht [Eri98].

$$N_{M,opt} \approx \sqrt{N_K} \quad (4)$$

$N_{M,opt}$ = optimale Modulanzahl

N_K = Anzahl der Komponenten in der Produktstruktur

3.3.4.3 Manual Assembly Efficiency Index nach BOOTHROYD [Boo02]

BOOTHROYD quantifiziert die durchschnittliche Dauer einer Montageoperation mit 3 Sekunden. Der Zeitaufwand eines optimalen Montageprozesses ergibt sich aus dem Produkt der Teilezahl und der theoretischen Dauer der Montageoperation. Die Kennzahl beschreibt das Verhältnis der tatsächlichen zur optimalen Montagezeit.

$$MAEI = \frac{\sum_{i=1}^{N_m-1} T_{BDI,i}}{T_{BDI,opt}} \quad (5)$$

$T_{BDI,i}$ = Zeitliche Dauer der Montageoperation i

N_m = Anzahl der Komponenten, entspricht Anzahl der Montageoperationen

$T_{BDI,opt}$ = Optimale Gesamtmontagezeit, ($T_{BDI,opt} = N_m \cdot 3s$)

3.3.4.4 Product Line Commonality Index nach KOTA ET AL. [Kot00]

Der relative Anteil der Wiederholteile innerhalb einer Produktfamilie wird durch die PCI-Kennzahl angegeben. Dabei werden die Komponenten einer Produktfamilie betrachtet, die nicht differenzierungsrelevant und daher potentiell zu standardisieren sind. Die Kennzahl entspricht dem Anteil dieser Komponenten in identischem Zustand hinsichtlich Größe, Form, Material und Produktionsprozess sowie Montage und Befestigungsprinzip.

$$PCI = \frac{\sum_{i=1}^{P_{nd}} n_i f_{1i} f_{2i} f_{3i} - \sum_{i=1}^{P_{nd}} \frac{1}{n_i^2}}{P_{nd} N - \sum_{i=1}^{P_{nd}} \frac{1}{n_i^2}} \quad (6)$$

P_{nd} = Anzahl der nicht differenzierungsrelevanten Komponenten, die potentiell standardisiert werden können, aber noch nicht standardisiert sind.

N = Anzahl der Produkte innerhalb der Produktfamilie

- n_i = Anzahl der Produkte innerhalb der Produktfamilie, die Komponente i beinhalten
- f_{ki} = Verhältnis zwischen der Produktanzahl, die Komponente i mit identischer Größe und Form (1), Material und Fertigungsprozess (2), sowie Montage- und Befestigungsprinzip (3) beinhaltet und der Anzahl an Produkten, welche die Komponente i mit den drei identischen Ausprägungen beinhalten könnten.

3.3.4.5 Differentiation Index 2 nach MARTIN/ISHII [Mar96]

Die Kennzahl Differentiation Index 2 beschreibt den Zeitpunkt der Variantenbildung im Produktionsprozess. Ein möglichst später Variantenbildungsprozess ist im Sinne eines optimalen Variantenmanagements anzustreben. Zur Berechnung werden die Teilprozesse dahingehend analysiert, wie viele Varianten einen Teilprozess verlassen. Die Kennzahl nimmt dabei Werte zwischen 0 und 1 an. Ein Wert von 1 bedeutet, dass die Variantenbildung bereits im ersten Prozessschritt erfolgt.

$$DI_2 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i v_i}{n d_1 v_n} \quad (7)$$

- v_i = Anzahl der den Teilprozess i verlassenden Varianten
- n = Anzahl der Teilprozesse
- v_n = Anzahl der angebotenen Produktvarianten
- d_i = Durchlaufzeit von Teilprozess i bis zum Verkauf
- d_1 = Durchlaufzeit von Produktionsbeginn bis zum Verkauf

3.3.4.6 Montagekomplexitätszahl nach CANKUVVET [Can11]

CANKUVVET definiert eine Komplexitätszahl für die Montage zur Berechnung der Montagezeit in der von ihm entwickelten Komplexitätsbetrachtungsmethode. Die Kennzahl gilt unter den Annahmen eines manuellen Montageprozesses, Vernachlässigung des Gewichts, manuellen oder werkzeugbasierten Greifens des Bauteils und einer Nicht-Berücksichtigung der Reihenfolge sowie des Transports und der Nebenzeiten.

Die der Berechnung zugrundeliegenden Parameter sind die Anzahl der Verknüpfungen pro Bauteil, die Gesamtanzahl der Verknüpfungen der Baugruppe, die Gesamtanzahl der Bauteile, die Gestaltkomplexität der Bauteile sowie die Anzahl der einzelnen Bauteile. Die Kennzahl berechnet sich aus dem Produkt des funktionalen und strukturellen Informationsgehalts der Baugruppe.

$$K_{\text{Montage}} = I_{\text{Schnittstellen}} \cdot K_{\text{Schnittstellen_gesamt}} \quad (8)$$

$$I_{\text{Schnittstellen}} = - \sum_{k=1}^n p_t \log_2 p_t$$

n = Gesamtanzahl der Verknüpfungen in der Baugruppe

$$p_t = \frac{1}{F_T}$$

F_T = Gesamtanzahl der Verknüpfungsarten = 9

$$K_{\text{Schnittstellen_gesamt}} = \sum_{q=1}^p K_{\text{Schnittstellen}}$$

p = Anzahl der Unterbaugruppen in der Baugruppe

$$K_{\text{Schnittstelle}} = \frac{I_{\text{Bauteil_A}}}{I_{\text{Bauteil_B}}}, \text{ mit } I_{\text{Bauteil_A}} < I_{\text{Bauteil_B}}$$

$$I_{\text{Bauteil}} = K_{\text{Gestalt}} \frac{S_B}{S_G}$$

S_B = Anzahl der Verknüpfungen des Bauteils

S_G = Gesamtanzahl der Verknüpfungen in der Baugruppe

K_{Gestalt} = Gestaltkomplexität des Bauteils

Bewertung: Kennzahlen adressieren ein großes Spektrum an Produkt- und Montageeigenschaften. Die Aussagekraft und Vergleichbarkeit ist jedoch abhängig von der Anwendbarkeit der Kennzahlen. So gibt es auf der einen Seite sehr einfache und intuitive Kennzahlen. Demgegenüber stehen Kennzahlen hoher Komplexität, die mitunter auf Annahmen oder subjektiven Parametern basieren. In diesen Fällen ist darüber hinaus ein hoher Berechnungsaufwand festzustellen. Die spezifische Eignung für eine konsistente Bewertung der Montagegerechtigkeit ist jeweils zu validieren.

3.3.5 Bewertung der Methoden

Die vorgestellten Methoden zur Bewertung der Montagegerechtigkeit werden im folgenden Abschnitt bewertet. Erneut werden die dafür die in Kapitel 2.4 aufgestellten Anforderungen verwendet. Im hier vorliegenden Fall sind nicht alle Anforderungen für die Bewertung verwendbar bzw. es liegt keine Differenzierung der Methoden vor. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Anwendung in der Vorentwicklungsphase: Der Einsatz der existierenden Bewertungsmethoden zur Montagegerechtigkeit ist primär auf die Ausgestaltungsphase der Produktentwicklung ausgerichtet. Vielfach sind konstruktive Details, beispielsweise zur Berechnung eines

Zeitwerts, notwendig. Für eine Verwendung in der Entwurfsphase geeignet sind dem vorliegenden Informationsgehalt entsprechende Bewertungsmethoden. Hervorzuheben sind dafür in erster Linie Checklisten. Ebenso eignen sich auf modulare Produktmerkmale bezogene Kennzahlen.

Berücksichtigung der variantengerechten Produktgestaltung: Der Aspekt der Varianz wird in den meisten Bewertungsmethoden nahezu nicht berücksichtigt. Positiv hervorzuheben sind jedoch die Kennzahlensysteme, die entsprechende Varianzfaktoren in den Berechnungsformeln enthalten. Zusätzlich bieten Checklisten die Möglichkeit, entsprechende Produktmerkmale dahingehend zu prüfen, dass eine variantengerechte Gestaltung umgesetzt ist. Eine detailliertere Bewertung ist jedoch nicht möglich.

	Anforderungen								
	Anwendung in der Vor- entwicklungsphase	Unterstützung der interdisziplinären Zusammenarbeit	Berücksichtigung der varianten- gerechten Produktgestaltung	Berücksichtigung montage- relevanter Aspekte	Abbildung von strategischen Montagezielen	Integration weiterer Produktlebensphasensichten	Bereitstellung von Vorgehens- und Gestaltungsanweisungen	Transparente Darstellung und Dokumentation	Entwurfsphasengerechte Bewertung
Methoden zur Bewertung der Montagegerechtigkeit									
Assemblability Evaluation Method nach HITACHI	○	—	○	—	○	○	●	◐	—
DFA Procedure nach LUCAS	○	—	○	—	○	○	●	◐	—
Produktionsgerechte Konstruktion nach MTM e.V.	◐	—	○	—	○	○	●	●	—
Systeme vorbestimmter Zeiten	○	—	○	—	○	○	●	●	—
Checklisten	●	—	◐	—	◐	◐	◐	●	—
Kennzahlensysteme	◐	—	●	—	○	◐	○	●	—

● erfüllt ◐ teilweise erfüllt ○ nicht erfüllt — nicht anwendbar/differenzierungsrelevant

Bild 3-32: Bewertung der Methoden zur Bewertung Montagegerechtigkeit

Berücksichtigung von strategischen Montagezielen: Lediglich Checklisten bieten die Möglichkeit, die Umsetzung spezifischer strategischer Zielvorgaben in der Produktstruktur zu evaluieren. Eine detaillierte Bewertung ist jedoch ebenfalls nicht möglich.

Integration weiterer Produktlebensphasensichten: Die Montage spezifischen Methoden beinhalten keine Berücksichtigung anderer Sichten auf das Produkt. Eine entsprechende lebensphasenübergreifende Bewertung ist ebenfalls lediglich mittels Checklisten bzw. Kennzahlensystemen möglich.

Bereitstellung von Vorgehens- und Gestaltungsanweisungen: Sämtliche betrachtete Methoden bieten detaillierte Anweisungen hinsichtlich des Vorgehens zur Durchführung der Bewertung.

Transparente Darstellung und Dokumentation: Die Methoden sind überwiegend transparent dokumentiert. Ebenfalls ist stets eine transparente Darstellung der Bewertungsergebnisse mittels Tabellen, Zahlenwerte o.ä. sichergestellt.

3.4 Forschungsbedarf

Die Analyse des Stands der Technik zeigt, dass die existierenden Ansätze zur Produktstrukturierung Defizite hinsichtlich einer konsistenten Berücksichtigung von Montageaspekten aufweisen. Die Methoden zur montagegerechten Konstruktion vernachlässigen vielfach den Aspekt der Produktstrukturierung. Eine Anwendung in der frühen Phase des konstruktionsmethodischen Vorgehens ist nur sehr eingeschränkt möglich. Die Methoden konzentrieren sich überwiegend auf die Ausgestaltungsphase, da ein entsprechend hoher Detaillierungsgrad der zugrundeliegenden Produktmerkmale benötigt wird. Eine neue Methode muss entsprechend bereits in der Vorentwicklung einsetzbar sein. Dazu müssen explizit die für den Produktentwurf relevanten Strukturmerkmale, wie Komponenten und Schnittstellen sowie deren Zusammenwirken, adressiert werden.

Die Ansätze können generell in evaluierende und determinierende Methoden eingeteilt werden. Im Falle der evaluierenden Methoden basiert die Produktgestaltung auf einer Bewertung der Montagegerechtigkeit. Somit wird jeweils nur ein absoluter Wert für die spezifische Produkteigenschaft Montagegerechtigkeit ermittelt. Weitere Aussagekraft erhält die Analyse erst dann, wenn zwei Gestaltungsalternativen in Relation zueinander gesetzt werden. Demnach wäre eine Produktstruktur aufgrund spezifischer Gestaltungsmerkmale als montagegerechter im Vergleich zu einer Alternative zu bewerten. Darüber hinaus können bei entsprechender Detaillierung der Berechnung des Werts Hinweise auf Optimierungspotentiale abgeleitet werden. Die Identifikation und Implementierung entsprechender gestalterischer Maßnahmen ist jedoch abhängig vom jeweiligen Anwender innerhalb eines rekursiven konstruktionsbegleitenden Vorgehens. Die Gruppe der determinierenden Methoden wiederum enthält Ansätze, die sich auf den gestaltenden Aspekt konzentrieren. Die Vertreter dieser Methodengruppe formulieren pauschale Gestaltungsbeispiele für verschiedene Produktmerkmale, die vom Benutzer in seiner Konstruktion spezifisch umzusetzen sind. Die Montagegerechtigkeit der jeweiligen Gestaltungsrichtlinie wird dabei per se vorausgesetzt. Die direkte Art der Formulierung vermittelt den Eindruck, dass das Befolgen der Anweisung zu einer optimalen Montage führt. ANDREASEN weist jedoch darauf hin, dass die Gestaltungsrichtlinien lediglich bedingt gültig sind. Es können Situationen vorliegen, in denen sie keine Optimierung bewirken oder sogar negative Auswirkungen mit sich bringen [And06]. Eine entsprechende Methode zur montagegerechten Gestaltung muss daher die beiden Aspekte der Evaluierung und Determinierung von Produktstrukturen integrieren. So ist der Anwender auf der einen Seite mit entsprechenden Gestaltungshinweisen anzuleiten. Auf der anderen Seite ist jedoch eine unmittelbare Bewertung der spezifischen Umsetzung vorzusehen und zu unterstützen.

Die Produktgestaltung richtet sich im Allgemeinen nach produktstrategischen Zielvorgaben. Dazu werden übergeordnete Ziele aufgeschlüsselt und den entsprechenden Gestaltungsaspekten zugeordnet. Während das Ziel im Allgemeinen einen Zustand beschreibt, repräsentiert die Gestaltungsmaßnahme den Weg, um diesen Zielzustand zu erreichen. Bei den untersuchten Methoden zur montagegerechten Konstruktion wird entweder von einer Nennung von Zielen vollständig abgesehen, oder es ist keine explizite Implementierung der genannten Ziele in der Gestaltung erkennbar. Eine zu entwickelnde Methode muss daher die konsistente Zuordnung von Maßnahmen zu produktstrategischen Zielen im Rahmen der Gestaltung systematisch unterstützen. Darüber hinaus sind die jeweiligen Zielerfüllungsgrade durch spezifische Kriterien zu bewerten.

Die Methoden zur montagegerechten Konstruktion beschränken sich überwiegend auf die Analyse eines einzelnen Produkts. Eine übergeordnete Betrachtung von Produktfamilien, d.h. eine Berücksichtigung der damit zusammenhängenden Varianz ist meist nicht vorgesehen. Ebenso beschränken sich die Methoden auf die Montageeigenschaften des Produkts. Weiterer Produktlebensphasen werden nicht oder lediglich peripher einbezogen. Die Methoden zur Produktstrukturierung weisen wiederum Defizite in der Berücksichtigung von Montageaspekten auf. Diese werden entweder nicht oder lediglich pauschalisiert in einer gesamtheitlichen Entwicklung der Produktstruktur einbezogen. Somit muss eine neue Strukturierungsmethode diejenigen Montageaspekte einbeziehen, welche in dieser Phase bereits beeinflusst werden können. Diese Faktoren sind mit den Aspekten der Produktvarianz zusammenzuführen. Darüber hinaus ist ein Zusammenwirken mit weiteren Lebensphasensichten zu gewährleisten.

Die untersuchten Methoden weisen vielfach Defizite in der Darstellung der produktstrukturierungsrelevanten Zusammenhänge auf. Während in den späteren Entwicklungsphasen konkrete Produktdaten, beispielsweise in Form von Konstruktionszeichnungen bzw. CAD-Modellen, vorliegen, mangelt es in den frühen Phasen besonders an graphischen Beschreibungsformen der Produkte. Des Weiteren besteht eine ausgeprägte Diskrepanz zwischen den Darstellungen der Produktentwicklung und denen der Montage. Um eine Zusammenarbeit dieser beiden Produktsichten zu ermöglichen, ist ein integrales Produktstrukturmodell bereitzustellen und durch unterstützende Werkzeuge zu ergänzen. Zur Gewährleistung der Nachvollziehbarkeit und Anwendbarkeit ist zusätzlich ein konsistentes Vorgehensmodell zur Produktstrukturierung zu entwickeln.

Auf dem identifizierten Forschungsbedarf basierend wird im folgenden Kapitel eine Methode beschrieben, mit welcher der Aspekt der Montagegerechtigkeit in die Strukturierung von Produktfamilien integriert werden kann.

4 Methode zur Entwicklung montagegerechter Produktstrukturen

Um der Forderung der Märkte nachzukommen, bieten produzierende Unternehmen eine große Produktvielfalt an. Die aus dieser Varianz resultierende Komplexität führt zu hohen Aufwänden in der unternehmerischen Wertschöpfung, besonders in der Montage. Es ist daher die Aufgabe der Entwicklung montagegerechter Produktstrukturen, die varianteninduzierte Prozesskomplexität zu reduzieren. Die zu erwartenden positiven Effekte für die Montage sind u.a. eine Vereinfachung der Montagetätigkeiten, eine Verkürzung der Montagezeiten sowie eine Erhöhung der Qualität durch Vermeidung von Montagefehlern mit dem Ziel, die Montagekosten zu senken.

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Methode zur Entwicklung montagegerechter Produktstrukturen baut auf dem in Abschnitt 3.2.2.8 vorgestellten Integrierten PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien auf. Zusammen mit der Methoden zum wertschöpfungsgerechten Anforderungsmanagement nach BROSCHE [Bro11] sowie der Methode zur effizienten Serienanlaufgestaltung nach ELSTNER [Els12] erweitert sie den Ansatz, wie in Bild 4-1 dargestellt, um die Sicht auf die Herstellungsprozesse aus der Perspektive der Produktentwicklung. Der integrierte PKT-Ansatz ermöglicht durch ein workshopbasiertes Vorgehen die Aufnahme der Sichten verschiedener Disziplinen auf das Produkt während der Entwicklung. Darüber hinaus begünstigt die gemeinsame Verwendung der graphischen Werkzeuge innerhalb des Ansatzes eine Integration weiterer ergänzender Methoden.

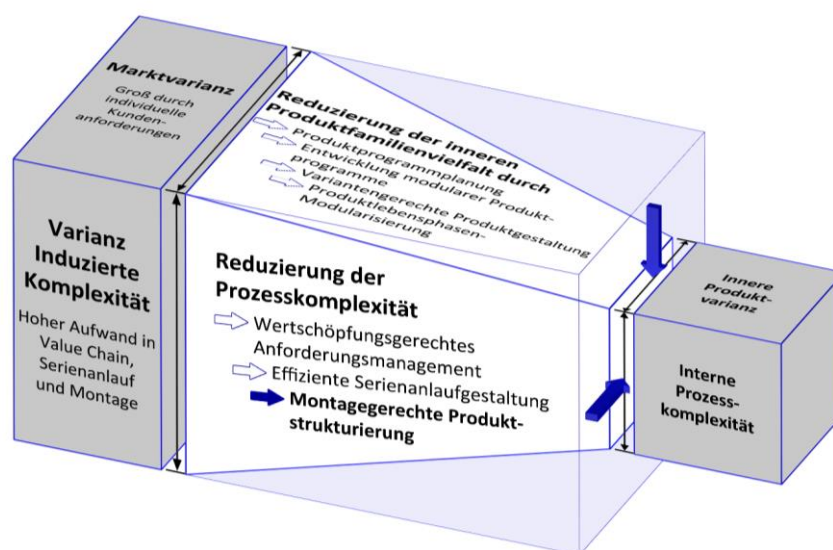


Bild 4-1: Reduzierung der Prozesskomplexität durch montagegerechte Produktstrukturierung

Die Methode zur Entwicklung montagegerechter Produktstrukturen fokussiert die Wechselwirkungen zwischen der Produktstruktur und des Montageprozesses varianter Produktfamilien. Dazu sind entsprechende Visualisierungsmöglichkeiten zu schaffen, mit denen die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Produktentwicklung und Montageplanung gefördert wird. Darauf aufbauend sind eine systematische Unterstützung der Produktgestaltung sowie eine Vorgehensweise zur Bewertung bereitzustellen. Die Methode setzt sich aus vier Hauptaspekten zusammen, die sich in einem zirkulären kausalen Zusammenhang befinden. Auf Basis von produktstrategischen Zielsetzungen aus Montagesicht werden Strukturierungsmaßnahmen ausgewählt. Anhand dieser Maßnahmen wird die Entwicklung der eigentlichen Produktstruktur durchgeführt. Die Tätigkeiten der Produktstrukturierung werden durch ein entsprechend gestaltetes graphisches Werkzeug unterstützt. Die Merkmale der Produktstruktur dienen als Grundlage zur Ermittlung des spezifischen Erfüllungsgrads von Bewertungskriterien. Die Bewertungskriterien sind wiederum den strategischen Zielen zugeordnet. Dadurch kann eine produktspezifische Montagegerechtheit konsistent umgesetzt werden [Hal12b].

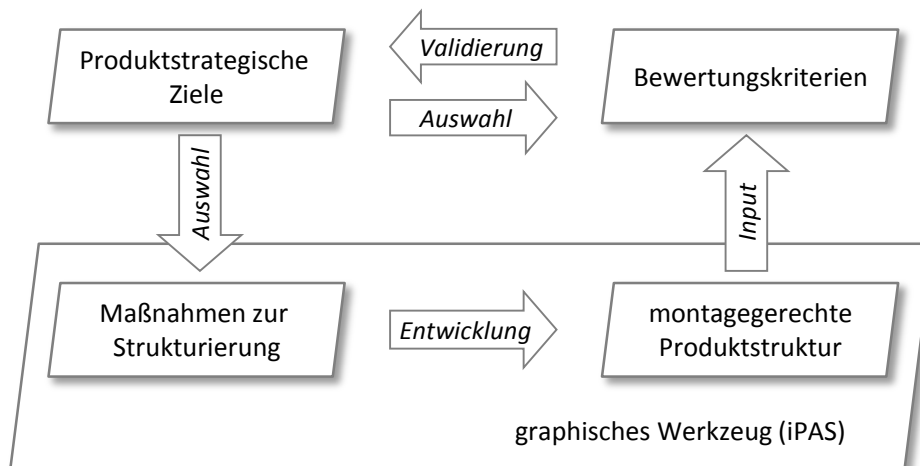


Bild 4-2: Methodischer Rahmen zur Entwicklung montagegerechter Produktstrukturen

Die Methode zur montagegerechten Produktstrukturierung im Kontext einer Lebensphasenmodularisierung wird am Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik (PKT) der Technischen Universität Hamburg-Harburg entwickelt. Die Entwicklung ist eingebettet in die Forschungsaktivitäten am Institut zum integrierten PKT-Ansatz [Kra13], die auf den Arbeiten von BLEES [Ble11] und KIPP [Kip12] aufbauen.

In den folgenden Abschnitten werden die Hauptaspekte der entwickelten Methode in ein anwendungsorientiertes, sequentielles Vorgehensmodell überführt. Die montagegerechte Produktstrukturierung beginnt mit der Analyse der strategischen Zielvorgaben für die Produktion. Dabei ist zu untersuchen, inwieweit diese Ziele durch die Produktstruktur abgebildet werden können. Auf dieser Basis werden entsprechende Maßnahmen zur Unterstützung der Strukturierung zusammengestellt. Im Rahmen einer Ist-Aufnahme erfolgt die Analyse des zu optimierenden Produkts und des dazugehörigen Montagesystems. Den Kern der Methode bildet ein graphisches Werkzeug, genannt integral Product and Assembly Structure (iPAS), in welchem die beiden Sichten der Produktstruktur und des Montageprozesses zusammenge-

führt werden. Die zuvor formulierten Strukturierungsmaßnahmen werden in die Form dieses graphischen Werkzeugs überführt, um eine direkte Anwendung zu ermöglichen. Für das Bewertungsschema werden Kennzahlen in Anlehnung an die ursprünglichen Zielvorgaben zusammengestellt, die abschließend berechnet werden und damit den relativen Grad der Montagegerechtheit der Produktstruktur bestimmen.

4.1 Vorgehensmodell der Methode

Die Entwicklung montagegerechter Produktstrukturen fügt sich direkt in das Vorgehen zur Entwicklung modularer Produktfamilien ein. Die folgende Abbildung zeigt das bereits in Kapitel 3.2.2.8 vorgestellte Vorgehensmodell des integrierten PKT-Ansatzes und markiert die für die zu erarbeitende Methode relevanten Phasen. Die spezifischen strategischen Vorgaben für die Montage werden im Rahmen der gesamtheitlichen Zielermittlung festgelegt. Der Hauptteil der Methode erfolgt im Zuge der Lebensphasenmodularisierung.

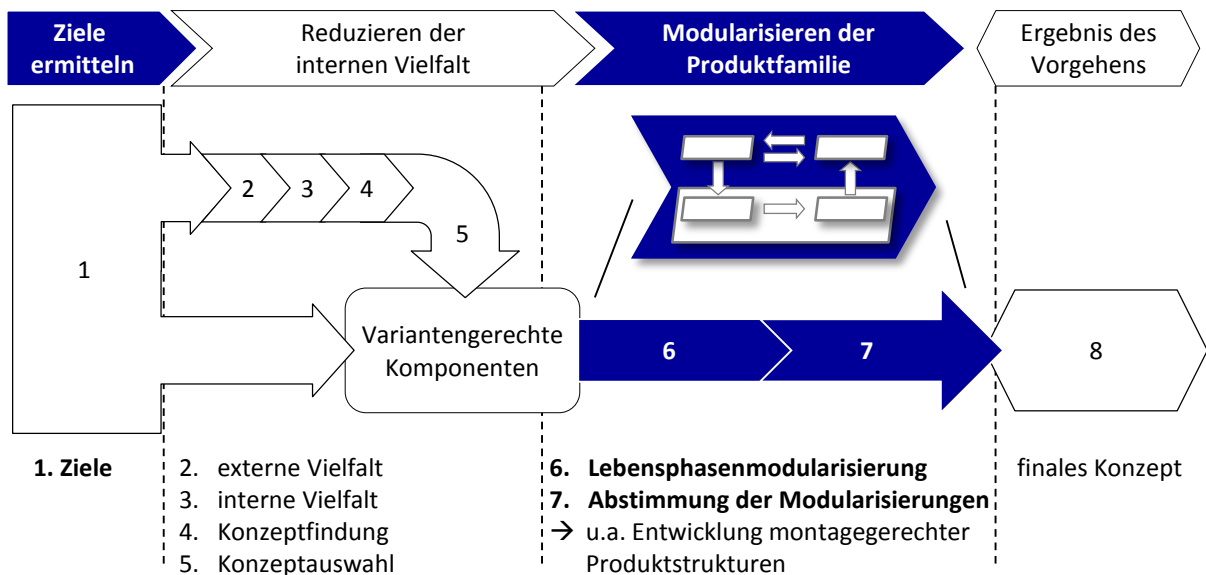


Bild 4-3: Einbindung der Methode in den Integrierten PKT-Ansatz [Hal12b]

Das methodische Vorgehen zur Entwicklung montagegerechter Produktstrukturen gliedert sich, wie in Bild 4-4 dargestellt, in sieben Arbeitsschritte. Die Haupttätigkeiten sind darin die Definition der Ziele, die Zusammenstellung der Strukturierungsmaßnahmen, die Aufnahme der Ist-Situation und Erstellung des integralen Produkt- und Montagemo­dells, die eigentliche montagegerechte Produktstrukturierung durch Anwendung der zuvor aufgestellten Maßnahmen, die anschließende Bewertung der erzeugten Strukturen sowie die abschließende Überführung der Ergebnisse in den PKT-Ansatz.

Zu Beginn werden die Ziele definiert. Die Eingangsdaten für die Methode resultieren aus zwei Bereichen. Zum einen ergeben sie sich aus dem Entwicklungsfortschritt des übergeordneten integrierten PKT-Ansatzes, zum anderen sind zusätzliche montagespezifische Daten zu ermitteln. Die Entwicklung der montagegerechten Produktstrukturen erfolgt als spezifische Sicht im Rahmen der produktstrategischen Modularisierung. Die Ausgangsgrundlage besteht aus den variantengerechten Komponenten, die das Ergebnis der vorgelagerten Phase, der Reduzierung der internen Vielfalt, sind. Die Komponenten werden in Form eines Module

Interface Graphs (MIG) dargestellt. Die weiteren spezifischen Eingangsdaten sind anhand einer Analyse des gegenwärtigen Montageprozesses zu ermitteln. Dafür werden die Abfolge der einzelnen Montagetätigkeiten, deren zeitliche Dauer sowie die verwendeten Ressourcen aus entsprechenden Produktdaten übernommen. Sofern diese Informationen nicht verfügbar sind, kann die Montagefolge mit Hilfe einer Fügematrix, welche die gedankliche Zerlegung des Produkts übersichtlich unterstützt, ermittelt werden. Der Montageprozess wird anschließend in Form eines Vorranggraphen, der um die Montagezeiten der einzelnen Tätigkeiten erweitert wird, abgebildet. Durch die damit erreichte transparente Darstellung der produkt- und montagerelevanten Zusammenhänge ist eine effektive Grundlage für die anschließende Strukturierung geschaffen.

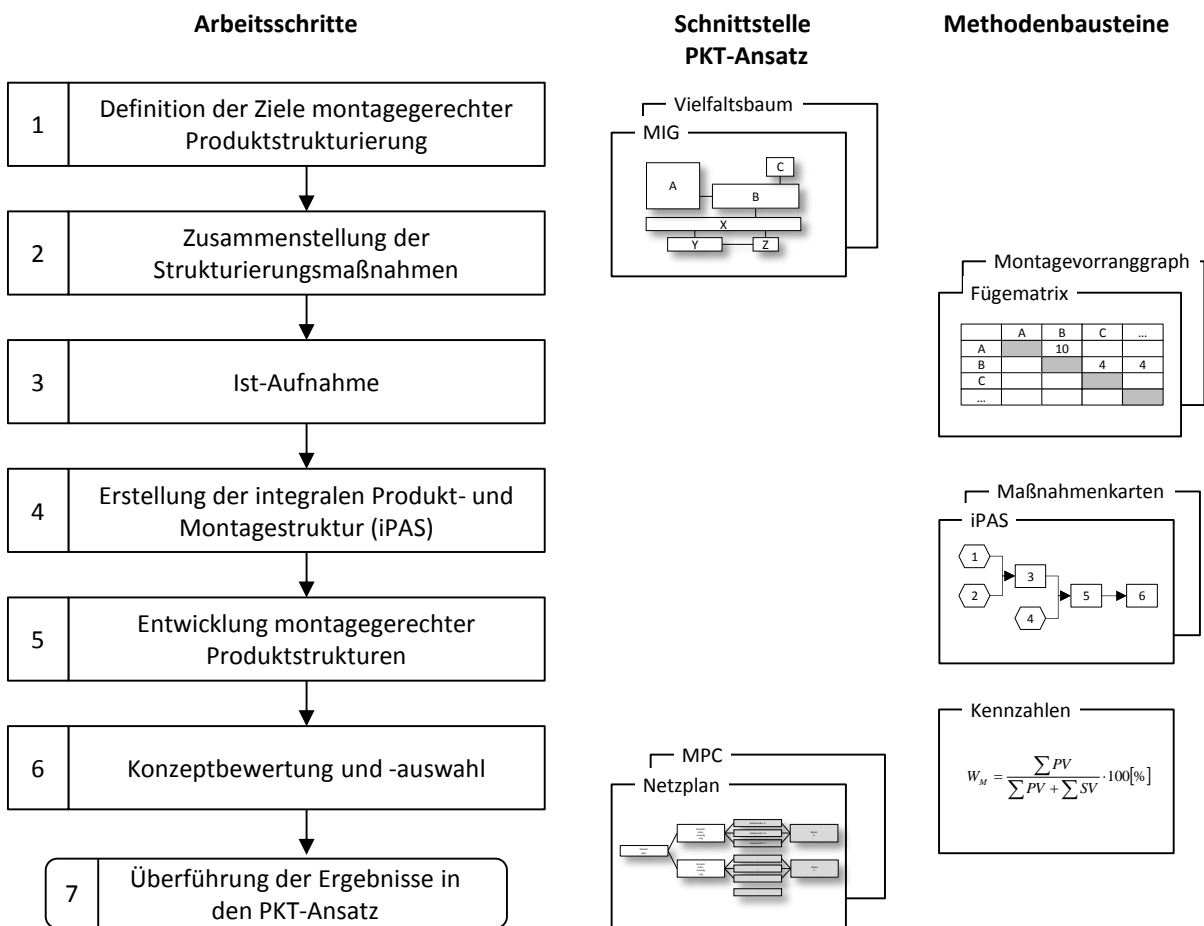


Bild 4-4: Vorgehensmodell der Methode, Schnittstellen und verwendete Methodenbausteine

Die eigentliche montagegerechte Produktstrukturierung erfolgt im Rahmen der produktstrategischen Modularisierung des PKT-Ansatzes und orientiert sich daher an dem Modultreiberkonzept. Darin ist die Festlegung spezifischer Ausprägungen für die relevanten Modultreiber vorgesehen. Um eine detaillierte Berücksichtigung der Produktlebensphase Montage zu ermöglichen, wird im Rahmen dieser Methode ein analytisch-deterministischer Ansatz verfolgt. Die Analyse des gegenwärtigen Produktkonzepts und darauf adaptierte Handlungsanweisungen sind Kern des Strukturierungsansatzes. Die im Rahmen der Ist-Aufnahme gewonnenen Produkt- und Prozessinformationen werden zusammengeführt und in einem neu entwickelten integralen graphischen Werkzeug (iPAS) dargestellt. Das graphische Werkzeug

vereinigt die montagerelevante Prozesssicht mit der strukturierungsrelevanten Produktsicht und erreicht damit die für die Strukturierung notwendige transparente Darstellung der Wechselwirkung dieser beiden Aspekte. Der Aufbau ist an die generische Produkt- und Prozessstruktur nach JIAO, wie in Abschnitt 3.2.2.5 vorgestellt, angelehnt. Um die Prozesssicht deutlicher hervorzuheben, wird das Prinzip des Vorranggraphen in die Darstellung zusätzlich integriert.

Der deterministische Aspekt der Strukturierung orientiert sich an dem allgemeinen Vorgehen zur montagegerechten Konstruktion, das in Abschnitt 3.1.1 beschrieben ist. Dahingehend werden Gestaltungsmaßnahmen, die im vorliegenden Fall auf das entwickelte graphische Werkzeug zugeschnitten sind, zur Verfügung gestellt. In Anlehnung an die in Abschnitt 3.1.2.8 vorgestellte Methode nach DAHL wird dadurch eine unmittelbare Durchführung der Strukturierung anhand des graphischen Werkzeugs ermöglicht. Die Strukturierung folgt den grundsätzlichen Prozessstrategien der Parallelisierung, des Postponements und der Kommutalität sowie weiteren ressourcenspezifischen Aspekten. Der aufgestellte Maßnahmenkatalog kann jederzeit um zusätzliche spezifische Maßnahmen erweitert werden.

Zur Bewertung der entwickelten Produktstruktur wird ein Kennzahlensystem verwendet, das auf bereits existierende Kennzahlen zurückgreift und diese um eigens entwickelte ergänzt. Die Auswahl orientiert sich an den anfänglich identifizierten strategischen Zielen. Die Berechnungsfaktoren setzen sich aus den modularen Produktmerkmalen sowie montagerelevanten Aspekten zusammen. Das Kennzahlensystem kann damit nicht nur zur Bewertung der mit dieser Methode definierten Produktstrukturen verwendet werden, sondern ebenso zur Bewertung der Montagegerechtheit jeglicher Produktstrukturen, die im Rahmen des integrierten PKT-Ansatzes entwickelt werden. Durch diesen Beitrag zu einer gesamtheitlichen Bewertung modularer Produktstrukturen unterstützt das hier definierte Kennzahlensystem bei der späteren Abstimmung der verschiedenen Lebensphasensichten. Das Vorgehen wird durch die Übergabe der definierten Produktstruktur an den integrierten PKT-Ansatz abgeschlossen. Dazu wird die Produktstruktur in Form des Module Process Charts (MPC) dargestellt. Zusätzlich wird der Netzplan aus Montagesicht erstellt.

Die detaillierte präskriptive Darstellung des methodischen Vorgehens erfolgt im Sinne der Konstruktionsmethodenforschung nach BLESSING [Ble09]. Als erläuterndes Beispiel wird eine fiktive Produktfamilie von Computereingabegeräten verwendet. Es handelt sich dabei um ein Produkt mit einer auf ein geringes Maß reduzierten Komplexität, dass es als Erläuterungsbeispiel im Rahmen einer wissenschaftlichen Arbeit übersichtlich und nachvollziehbar beschrieben werden kann.

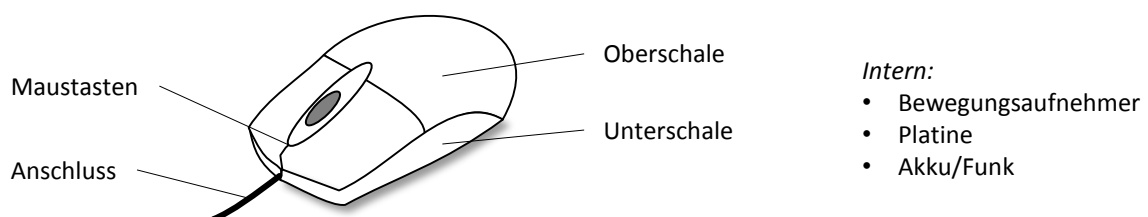


Bild 4-5: Komponentenstruktur Computereingabegerät

Die exemplarisch gewählte Bauart umfasst ein Gehäuse, bestehend aus Ober- und Unterschale sowie die Maustasten und eine Anschlussmöglichkeit. Des Weiteren sind Bewegungsaufnehmer, Sensoren, Platinen sowie die optionalen Komponenten Akku und Funkeinheit enthalten.

Die angenommene Produktvarianz resultiert aus dem Anschlussprinzip sowie dem Prinzip der Bewegungsaufnahme. Eine Variante wird mittels eines Kabels angeschlossen. Eine weitere Variante hingegen ist kabellos mittels Bluetooth ausgeführt, wodurch die Verwendung eines Akkus sowie einer Funkeinheit notwendig ist. Der kabelgebundene Anschluss unterteilt sich in die zwei Arten USB sowie PS/2. Für beide Varianten sind darüber hinaus zwei Bewegungsaufnahmesensoren mit unterschiedlichen Abtastgenauigkeiten verfügbar. Beide basieren auf optischen Messprinzipien. Zum einen ist ein lasergestützter, zum anderen ein infrarotgestützter Aufnehmer verfügbar. Demnach liegt die erste kundenrelevante Eigenschaft *Anschluss* in drei Ausprägungen vor. Die *Genauigkeit der Bewegungsaufnahme* liegt als zweite kundenrelevante Eigenschaft in zwei Ausprägungen vor. In der Gesamtkombinatorik kann daraus ein Spektrum von sechs Produktvarianten abgeleitet werden. Bild 4-6 zeigt den Vielfaltsbaum (TeV) der Computereingabegeräte.

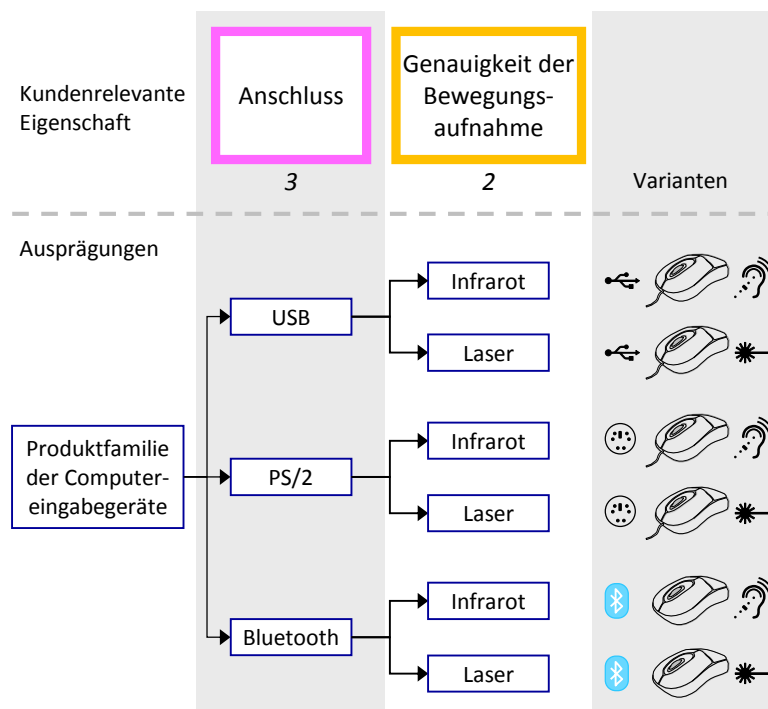


Bild 4-6: Vielfaltsbaum (TeV) der Computereingabegeräte

4.2 Definition der Ziele montagegerechter Produktstrukturen

Das übergeordnete methodische Rahmenwerk, siehe Bild 4-2, sieht eine Definition der Ziele zu Anfang der Produktstrukturierung vor. Auf diesen Zielen basieren die anschließende Auswahl der Strukturierungsmaßnahmen sowie die Auswahl der Kennzahlen für die abschließende Bewertung. In den folgenden zwei Unterkapiteln erfolgt zunächst die Ableitung der Zielstellungen für die montagegerechte Produktstrukturierung im Allgemeinen und anschließend die spezifische Zielstellung für das Produktbeispiel.

4.2.1 Zusammenstellung der allgemeinen Ziele

Die Ziele der montagegerechten Konstruktion basieren grundsätzlich auf den in Abschnitt 2.2 dargestellten allgemeinen Unternehmenszielen Qualität, Zeit, Kosten und Flexibilität, die unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit zu optimieren sind. Übertragen auf den Bereich der Montage lassen sich die folgenden übergeordneten Ziele für die montagegerechte Gestaltung konstatieren:

- Reduzierung der Montagekosten
- Sicherstellung der Produktqualität
- Reduzierung der Montagezeit

Die in Abschnitt 2.3.1 beschriebene Analyse der einschlägigen Literatur zeigt ein heterogenes Spektrum der spezifischen Ziele montagegerechter Konstruktion. In diesem Abschnitt wird daher eine Auswahl von Zielen vorgestellt, welche die verschiedenen Zielstellungen auf das Wesentliche verdichtet und als relevant für die Produktstrukturierung einzustufen ist.

- Reduzierung der Durchlaufzeiten
- Reduzierung der Komplexität von Montageaufgaben
- Steigerung der Mitarbeiterflexibilität
- Steigerung der Variantenflexibilität
- Steigerung der Mengenflexibilität
- Steigerung der Effizienz des Montagesystems
- Steigerung der Prozesssicherheit
- Unterstützung zur Optimierung der Betriebsmittelauslastung

Die *Reduzierung der Durchlaufzeiten* steht in direktem Bezug zu der übergeordneten Reduzierung der Montagezeit. Die *Reduzierung der Komplexität von Montageaufgaben* bezieht sich auf die Vereinfachung der Ausführung von Montagetätigkeiten, wie der Handhabung und des Fügens sowie die Reduzierung und Vermeidung von nicht-wertschöpfenden und wertvernichtenden Tätigkeiten. Die *Steigerung der Flexibilität* und *Optimierung der Betriebsmittelauslastung* beschreibt die produktseitige Unterstützung der Montageplanung hinsichtlich des Einsatzes der Produktionsfaktoren, sowie der Anpassung des Produktionsspektrums und der Produktionsmenge. Die *Steigerung der Montagesystemeffizienz* richtet sich auf Möglichkeiten der Produktgestaltung zur Unterstützung der Erhöhung des Verhältnisses von Ausbringungsmenge zu eingesetzten Ressourcen. Die *Steigerung der Prozesssicherheit* beschreibt die Vermeidung von Störungen im Montageprozess.

Um eine etwaige Priorisierung umzusetzen, können die Ziele gewichtet werden. Des Weiteren können den Zielstellungen anwendungsfallsspezifische Ausprägungen zugeordnet werden, sofern entsprechende Informationen verfügbar sind. Diese beziehen sich beispielsweise auf die konkrete Höhe der Durchlaufzeitverringerung oder die Quantifizierung der Flexibilität der Produktionsmenge. Es ist zu prüfen, ob die Ausprägungen auf der Betrachtungsebene der Produktstruktur bereits abgebildet werden können oder dafür detaillierte Produktions-

planerische Untersuchungen benötigt werden. In jedem Fall geben die Ausprägungen in Verbindung mit der Gewichtung der Ziele Anhaltspunkte für die anschließende Auswahl von Maßnahmen sowie die abschließende Bewertung der entwickelten Produktstruktur.

In Anlehnung an das in Bild 4-2 dargestellte methodische Rahmenwerk kann die Liste zur Adaptierung an die produkt- und unternehmensspezifischen Randbedingungen um zusätzliche Ziele erweitert werden, für die daraufhin entsprechende Strukturierungsmaßnahmen sowie Bewertungskriterien zuzuordnen sind.

4.2.2 Spezifische Zielstellung für das Produktbeispiel

Durch die variantengerechte Gestaltung der Computereingabegeräte sollen Skaleneffekte durch Reduzierung der Komponentenzahl und –vielfalt einhergehend mit der Erhöhung des Standardkomponentenanteils erreicht werden. Darüber hinaus sollen spezifische Ziele aus Montagesicht angenommen werden. Es wird von dem folgenden Produktionsszenario ausgegangen. Die Computereingabegeräte werden in der vorliegenden betrachteten Form in einem manuellen Montagesystem produziert. Die Montage ist nach dem Verrichtungsprinzip der Einzelmontage organisiert. Dabei wird das Montageobjekt stationär an einem Arbeitsplatz vollständig zusammengebaut. Zukünftig soll in Form einer Fließmontage produziert werden. Dazu müssen einfache Montagetätigkeiten einheitlichen Aufwands vorliegen, um eine gleichmäßige Taktung des Produktionssystems zu ermöglichen. Über das zukünftige Montagesystem sollen sämtliche Varianten hergestellt werden können. Die Produktfamilie ist dieser Produktionsstrategie entsprechend zu gestalten. Zusammenfassend können die folgenden Zielstellungen für das Beispiel konstatiert werden:

- Reduzierung der Komplexität von Montageaufgaben
- Steigerung der Variantenflexibilität
- Erhöhung der Prozesssicherheit
- Unterstützung zur Optimierung der Betriebsmittelauslastung

Diese Auswahl der Ziele hat Einfluss auf die jeweilige Ausgestaltung der folgenden Arbeitsschritte der montagegerechten Produktstrukturierung. Die Auswahl der Strukturierungsmaßnahmen sowie der abschließenden Bewertungskriterien richtet sich nach der Zielstellung, die in jedem Anwendungsfall individuell zu prüfen ist. Es kann dazu führen, dass bestimmte Maßnahmen nicht berücksichtigt und entsprechende Kennzahlen nicht berechnet werden müssen. Für das weitere Vorgehen werden jedoch sämtliche Aspekte ausgeführt, um die Methode vollständig vorzustellen.

4.3 Zusammenstellung der Strukturierungsmaßnahmen

Die Strukturierungsmaßnahmen bilden die Vorgabe für die spätere Gestaltung der Produktstruktur. Analog zu der zuvor dargestellten Situation der Ziele montagegerechter Konstruktion weist die Literatur ein ebenso großes und heterogenes Spektrum verschiedener Aspekte für die Strukturierungsmaßnahmen auf. Im Folgenden werden die Strukturierungsmaßnahmen aus der Literatur hinsichtlich ihrer inhaltlichen Aussage analysiert und entsprechend der wesentlichen Kernpunkte zusammengestellt. Die betrachteten Maßnahmen entstammen

den Arbeiten von PAHL/BEITZ, EHRENSPIEL, UNGEHEUER, BÄBLER und GAIROLA [Pah06, Ehr95, Ung86, Bäß88, Gai81]

Die Analyse zeigt, dass die Maßnahmen sich besonders hinsichtlich ihrer Detaillierung unterscheiden. So gibt es Maßnahmen, die bereits konkrete Anweisungen enthalten, während andere auf einem abstrakteren Niveau verbleiben. Die konkreten Maßnahmen lassen sich dabei den abstrakteren Aspekten zuordnen. Daraus ergibt sich eine entsprechende Kategorisierung, welche auf der obersten Ebene durch folgende sogenannten Strategie- und Gestaltungsvorgaben gebildet wird:

- A. Parallelisierung
- B. Postponement
- C. Prozess-Kommunalität
- D. Betriebsmittelauslastung
- E. Integralbauweise

In den folgenden Absätzen werden die übergeordneten Strategie- und Gestaltungsmaßnahmen erläutert. Dafür wurden die wesentlichen Aussagen aus den angegebenen Literaturstellen herausgearbeitet und zu jeweils einer übereinstimmenden Beschreibung zusammengestellt. Zusätzlich werden die konkreten Maßnahmen, die im Rahmen der Produktstrukturierung angewendet werden können, aufgeführt.

Parallelisierung ist eine Prozessstrategie, welche die Aufteilung des Gesamtprozesses in separate Unterprozesse vorsieht. Diese Unterprozesse können unabhängig voneinander und vor allem zeitgleich zueinander ausgeführt werden. Bezogen auf die Montage bedeutet das eine Aufteilung des Produkts in entkoppelte Baugruppen, die separat vormontiert und abschließend zum Endprodukt zusammengeführt werden. Durch Parallelisierung wird eine Verkürzung der Durchlaufzeit erreicht. Der Gesamtaufwand kann primär jedoch nicht reduziert werden. Fallweise können aber sekundäre Effekte, wie eine Erhöhung der Ergonomie bei der Vormontage der Baugruppen, auftreten, die zu einer Reduzierung der Aufwände im Vergleich zu einer nicht parallelisierten, sequentiellen Montage führen. Zur Implementierung von Parallelisierung sind die folgenden Strukturierungsmaßnahmen zu ergreifen:

- A.1. Endmontageumfänge in Vormontagen verlagern
- A.2. Alternative Montagereihenfolgen ermöglichen
- A.3. Unabhängig voneinander vormontierbare und prüfbare Baugruppen bilden

Die Prozessstrategie *Postponement* beschreibt das Bestreben, den Differenzierungspunkt von Produkten soweit wie möglich an das Ende des Prozesses zu verlagern. Für die Montage bedeutet das beispielsweise, dass eine Variante erst möglichst spät gebildet wird und somit ein entsprechend großer Standardprozessumfang realisiert werden kann. Dadurch werden Effekte bewirkt, die zu einer Reduzierung der Montageaufwände führen, wie Skaleneffekte,

Bestandsoptimierung, Risikominimierung oder Logistikaufwendungen. Zur Implementierung von Postponement sind die folgenden Strukturierungsmaßnahmen zu ergreifen:

- B.1. Variante und optionale Komponenten auf wenige Module konzentrieren
- B.2. Montage optionaler und varianter Komponenten an das Ende des Montageprozesses verlagern

Das Prinzip der *Kommunalität* stellt die dritte relevante Prozessstrategie dar. Sie beschreibt die Herstellung von Varianten in einem gemeinsamen Prozess. Im Falle der Montage können dabei variante Komponenten dasselbe Montagesystem durchlaufen. Ermöglicht wird dies durch entsprechende Gestaltung der Komponenten, beispielsweise hinsichtlich der Greifflächen am Bauteil bzw. der vorgesehenen Fügebewegungen. Zur Implementierung von Kommunalität sind die folgenden Strukturierungsmaßnahmen zu ergreifen:

- C.1. Montageablauf unterschiedlicher Varianten vereinheitlichen
- C.2. Einheitliche Montageverfahren ermöglichen,
- C.3. Einheitliche Reihenfolge der Montageverfahren für möglichst viele Bauteile anstreben.

Die Gestaltungsvorgabe *Betriebsmittelauslastung* bezieht sich auf die Optimierung der Nutzung von Montageressourcen. Die Definition dieses Aspekts ist vielschichtig und fallweise spezifisch. Identische Montagetätigkeiten sind in einem Modul zu bündeln, beispielsweise gleichartige Fügeverfahren bzw. Komponenten, die nach demselben Verfahren geprüft werden müssen. Ressourcenintensive Tätigkeiten sollen isoliert werden, um die Schaffung separater Montageplätze zu ermöglichen, die durch produktfamilienübergreifende Nutzung höher ausgelastet werden können. Hinsichtlich der zeitlichen Betrachtung sind die Arbeitsinhalte so anzuordnen, dass eine gleichmäßige Auslastung der Montagesystemelemente erreicht wird. Zur Optimierung der Betriebsmittelauslastung sind die folgenden Strukturierungsmaßnahmen zu ergreifen:

- D.1. Spezialtätigkeiten isolieren
- D.2. „einfache“ von „schwierigen“ Montagetätigkeiten trennen
- D.3. Arbeitsinhalte zeitlich abstimmen
- D.4. Fremdbezug von Modulen/Tätigkeitsumfängen prüfen.

Das physische Zusammenfassen mehrerer Bauteile wird als *Integralbauweise* bezeichnet. Hinsichtlich der Montage ergeben sich grundlegende Vorteile durch die Reduzierung der absoluten Bauteilzahl und der damit zu erbringenden Montageschritte. Darüber hinaus können ebenfalls sekundäre Tätigkeiten wie Anpassung und Justierung eingespart werden. Demgegenüber kann Integralbauweise zu einer Erschwerung der Handhabung aufgrund der größeren physischen Umfänge und eventueller geometriebedingter ergonomischer Einschränkungen führen. Des Weiteren muss eine Bewertung aus Gesamtproduktionsicht er-

folgen. So können Einsparungen in der Montage Mehraufwänden in der Komponentenfertigung gegenüber stehen, deren jeweiliger Umfang verglichen werden muss. Zur Implementierung von Integralbauweise sind die folgenden Strukturierungsmaßnahmen zu ergreifen:

- E.1. Bauteile zusammenfassen, die sich nicht zueinander bewegen müssen.
- E.2. Bauteile zusammenfassen, die aus Montagegründen nicht getrennt sein müssen.
- E.3. Bauteile zusammenfassen, die nicht aus verschiedenen Werkstoffen bestehen müssen

Mit dieser Zusammenstellung steht ein universeller Katalog von Maßnahmen für die Produktstrukturierung zur Verfügung. Die spezifische Anwendung der einzelnen Maßnahmen ist für jeden Anwendungsfall zu prüfen. Genauso kann eine Anpassung der Maßnahmen an die jeweilige Produktfamilie sowie das Produktionsumfeld durchgeführt werden. Auch das Hinzufügen weiterer Maßnahmen ist möglich. Auf diese Weise schafft man einen individualisierten Katalog für die praktische Anwendung.

4.4 Ist-Aufnahme

Die produkt- und prozessspezifische Grundlage für die montagegerechte Produktstrukturierung wird im Rahmen einer Ist-Aufnahme geschaffen. Dies beinhaltet sowohl die Aufnahme der aktuellen Produktinformationen als auch eine Analyse der zugehörigen Montageprozesse. Entsprechend der Einordnung in die produktstrategische Modularisierung des Integrierten PKT-Ansatzes stellen die Struktur der Komponenten und Schnittstellen sowie Varianzinformationen die relevanten Eingangsparameter auf Produktseite dar. Auf Prozessseite werden die Montagetätigkeiten analysiert. Dafür werden die Sequenz, die jeweilige zeitliche Dauer sowie die verwendeten Betriebsmittel aufgenommen und den Produktkomponenten zugeordnet.

4.4.1 Eingangsschnittstelle des integrierten PKT-Ansatzes

Die produktstrategische Modularisierung erfolgt im Anschluss an die zweite Phase des Integrierten PKT-Ansatzes, in welcher die Reduzierung der internen Vielfalt erfolgt. Das Ergebnis ist die variantengerechte Gestaltung der Komponenten der Produktfamilie. Die Komponenten werden im Module Interface Graph dargestellt und bilden die produktbezogene Grundlage für die montagegerechte Strukturierung. Die dafür notwendige Erfassung der externen Vielfalt erfolgt mittels des in Bild 4-6 dargestellten Vielfaltsbaums. Die interne Vielfalt wird anhand des Module Interface Graphs abgebildet. Das Variety Allocation Model (VAM) unterstützt die variantengerechte Produktgestaltung. Die für die Computereingabegeräte exemplarisch durchgeführte variantengerechte Gestaltung ist in dem in Anhang C1 aufgeführten VAM abgebildet. Das Ergebnis der variantengerechten Gestaltung ist eine aus 12 Komponenten bestehende Produktstruktur. Bild 4-7 zeigt den zugehörigen Module Interface Graph (MIG). Die Darstellung der Komponentenvarianz erfolgt dabei entsprechend der in Abschnitt 3.2.3.3 vorgestellten Nomenklatur zur Erstellung des MIGs.

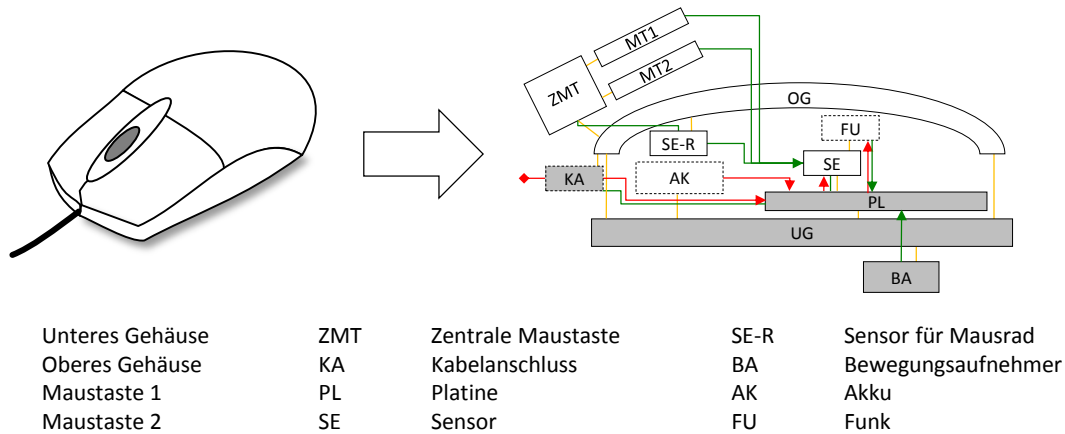


Bild 4-7: Module Interface Graph (MIG) der Computereingabegeräte

4.4.2 Aufnahme des Montageprozesses

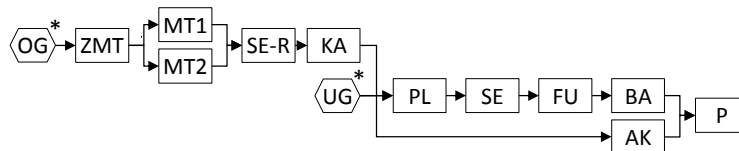
Der Montageprozess repräsentiert den maßgeblichen Bewertungsaspekt der Montagegerechtheit einer Produktstruktur. Er setzt sich aus den Montagetätigkeiten und deren Sequenz zusammen. Zunächst werden die Produktkomponenten in eine hierarchische Sequenz entsprechend der Zusammenbaufolge gebracht. Zur Unterstützung der Analyse kann eine Fügematrix verwendet werden. Bild 4-8 zeigt die Fügematrix für das Beispiel der Computereingabegeräte. Die Komponenten werden dafür in die erste Spalte und erste Zeile der symmetrischen Matrix eingetragen. Anschließend erfolgt die gedankliche Zerlegung des Produkts, wobei die jeweilige Abfolge zweier zusammenhängender Komponenten in der zugehörigen Zelle markiert wird.

	OG	ZMT	MT1	MT2	SE-R	KA	UG	PL	SE	FU	BA	AK	P
OG		x											
ZMT			x	x									
MT1					x								
MT2					x								
SE-R						x							
KA								x					
UG								x				x	
PL									x				
SE										x			
FU											x		
BA													x
AK													x
P													

Bild 4-8: Analyse der Montagesequenz anhand einer Fügematrix

Aus der Fügematrix wird anschließend der Montagevorranggraph abgeleitet. Der Montagevorranggraph für die Computereingabegeräte ist im oberen Teil von Bild 4-9 dargestellt. Die obere Gehäusehälfte (OG), die Maustasten (MT1,2) sowie der Mousradsensor (SE-R) und der Kabelanschluss (KA) werden zu einer Baugruppe zusammengefasst. Es folgt der sequentielle Anbau der Platine (PL), des Sensors (SE), der Funkeinheit (FU), des Bewegungsaufnehmers (BA) sowie parallel des Akkus (AK) und der unteren Gehäusehälfte (UG), womit der Zusammenbau abgeschlossen ist (P). Bei Komponenten, die keine Vorgänger im Montageprozess haben, handelt es sich um sogenannte Basiskomponenten. Sie bilden den jeweiligen Startpunkt für einen Prozessstrang.

Der Montageprozess ist dadurch charakterisiert, dass variantenbestimmende Komponenten wie der Kabelanschluss (KA) und die Platine (PL) bereits früh eingebracht werden. Der gesamte weitere Prozess ist damit ebenfalls varianteninduziert. Darüber hinaus sind diese Komponenten auf beide Baugruppen verteilt. Des Weiteren ist der Prozess von Zwangsfolgen geprägt, wodurch die Flexibilität der Ausführung der einzelnen Tätigkeiten eingeschränkt wird. Ebenso gering verhält sich der Grad der parallel ausführbaren Tätigkeiten. Diese montagerelevanten Eigenschaften sind im Rahmen der Produktstrukturierung entsprechend zu optimieren.



Komponente	ZMT	MT1	MT2	SE-R	KA	PL	SE	FU	BA	AK	P
Montagezeit [s]	10	4	4	6	15	10	4	4	7	7	20
Montagetätigkeit	Einsetzen	Stecken	Stecken	Einsetzen	Schrauben	Einsetzen	Stecken	Stecken	Einsetzen	Stecken	Schrauben
Betriebsmittel	man.	man.	man.	man.	Wkz.	man.	man.	man.	man.	man.	Wkz.

* Basiskomponente

man. manuell

Wkz. Werkzeug

Bild 4-9: Montagevorranggraph, zusätzliche Montagedaten

In dieser Form beschreibt der Montagevorranggraph lediglich die Abfolge des Zusammenbaus der Komponenten. Weitere montagerelevante Informationen bestehen aus der zugehörigen Montagezeit, der durchzuführenden Montagetätigkeit sowie dem verwendeten Betriebsmittel für jede Komponente. Im Falle des Beispiels der Computereingabegeräte sind diese Montagedaten in der Tabelle im unteren Teil von Bild 4-9 aufgeführt. Bei den vorliegenden Montagetätigkeiten handelt es sich um Stecken, Einsetzen und Schrauben. Stecken ist eine Fügetätigkeit mit gradliniger Bewegung. Zur Ausführung der Fügetätigkeit Einsetzen ist eine Richtungsänderung, vergleichbar mit Einfädeln, sowie Festhalten der zu fügenden Komponenten notwendig. Beide Tätigkeiten werden manuell (man.) durchgeführt. Für das Schrauben wird ein entsprechendes Werkzeug (Wkz.) benötigt.

Mit der Analyse des Montageprozesses und Zusammenstellung der weiteren Montageinformationen ist die Ist-Aufnahme abgeschlossen. Damit ist die produkt- und prozessrelevante Basis für die Produktstrukturierung geschaffen.

4.5 Erstellung der integral Product and Assembly Structure (iPAS)

Mit der Analyse des Montageprozesses und Zusammenstellung der weiteren Montageinformationen ist die produkt- und prozessrelevante Grundlage für die anschließende Produktstrukturierung geschaffen. Die Produktstruktur, an welcher die Strukturierung durchgeführt wird, und der Montageprozess, anhand dessen eine Bewertung erfolgen soll, befinden sich noch in einem separierten Zustand. Zur methodischen Unterstützung wird ein Werkzeug benötigt, mit dem beide Tätigkeiten, Strukturierung und Bewertung, durchgeführt werden können.

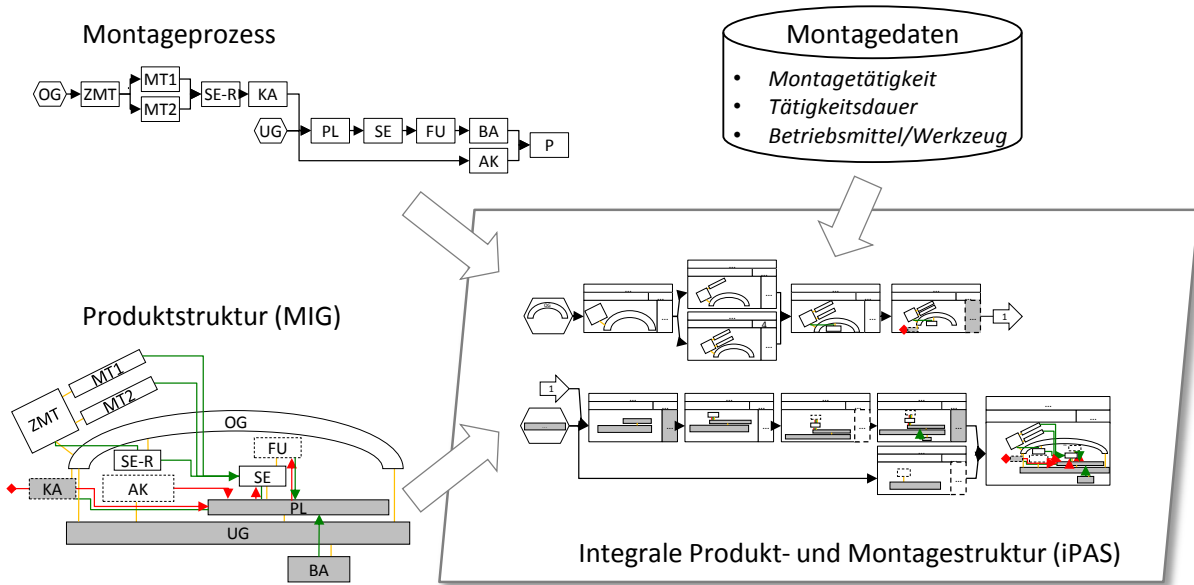


Bild 4-10: Aufbauprinzip der integralen Produkt- und Montagestruktur (iPAS)

Dafür wird die integrale Produkt und Montagestruktur, englisch integral Product and Assembly Structure (iPAS) entwickelt [Hal09, Hal10, Hal11]. Die darin vorgesehene Darstellungsform enthält sowohl die produktstrukturellen Zusammenhänge als auch die montage-relevanten Informationen. Bild 4-10 zeigt das Prinzip des Aufbaus der integralen Darstellung von Produkt und Prozess. Die folgende Abbildung beschreibt den detaillierten Aufbau der Elemente des iPAS. Die Legende zeigt die Gesamtheit der verfügbaren Symbole für variante Komponenten. Das Beispiel beschränkt sich auf eine Auswahl der möglichen Symbole.

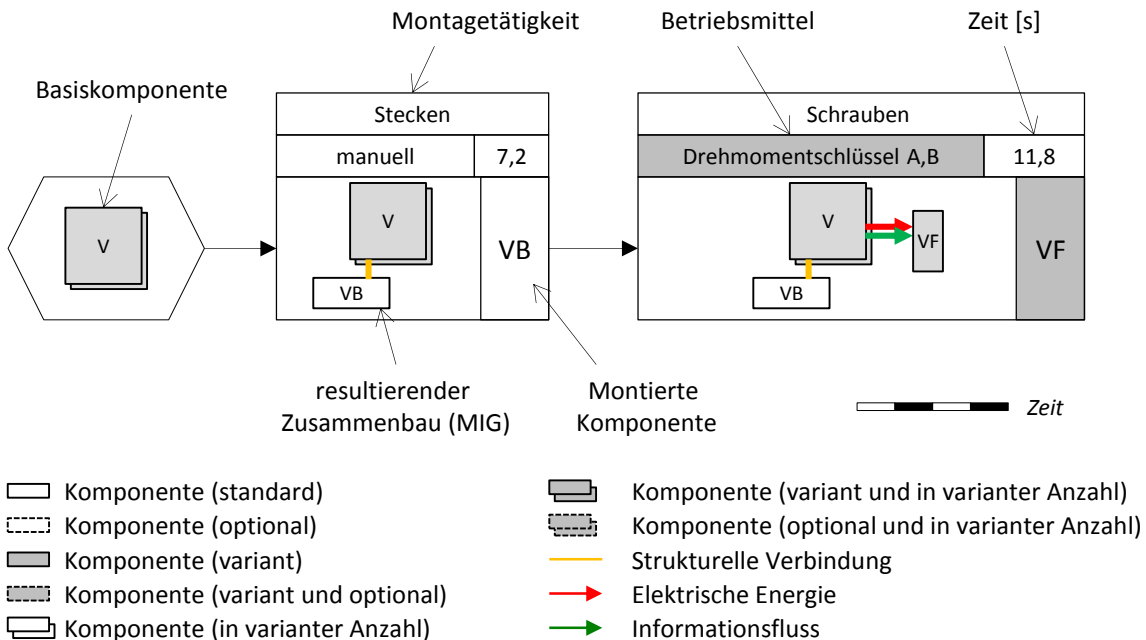


Bild 4-11: iPAS-Elemente am Beispiel dreier Komponenten

Die Darstellungsform ist eng an den herkömmlichen Montagevorranggraphen angelehnt. Es werden die Tätigkeit, das verwendete Betriebsmittel sowie die Zeit zur Tätigkeitsausführung angegeben. Für eine plakativere Darstellung dieser Montagezeit wird, analog zum erweiter-

ten Montagevorranggraph, die Länge des iPAS-Elements angepasst. Bei stark abweichenden Montagezeiten oder zur Darstellung einer Übersicht ist von der Skalierung der Elementlänge abzusehen. In dem Fall wird ein Zeitbalken an der unteren Seite des iPAS-Elements angefügt, dessen Länge sich aus der Relation zum längsten Zeitelement ergibt. Das iPAS-Element mit der längsten Montagezeit hat damit einen Zeitbalken über die gesamte Länge.

Die Integration der weiteren Produktinformationen erfolgt durch den Eintrag der Komponentenbezeichnung sowie die Darstellung des gegenwärtigen Produktzustands in Form des MIGs. Die graphische Differenzierung der einzelnen Elemente entsprechend der jeweiligen Varianz erfolgt analog zu der für den MIG festgelegten Konvention. Demnach sind variante Elemente grau hinterlegt. Optionale Elemente sind durch eine gestrichelte Umrandung gekennzeichnet. Eine variiende Elementanzahl wird durch eine Hinterlegung ausgewiesen. Variante Aspekte betreffen die Komponente, aber auch die Tätigkeit sowie das Betriebsmittel.

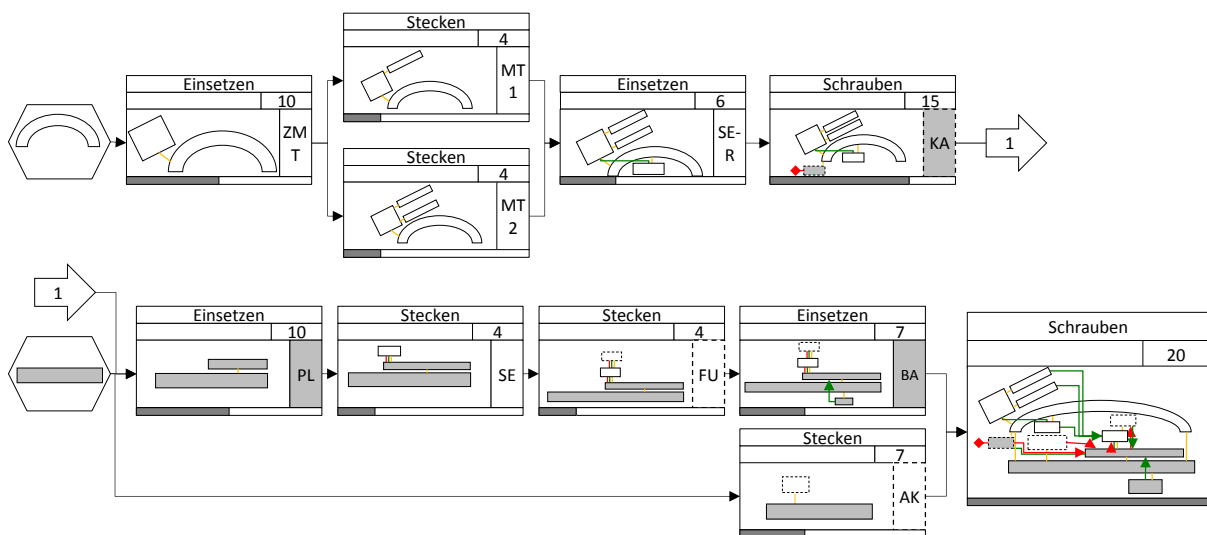


Bild 4-12: Ausgangs-iPAS spezifisch am Beispiel Maus: Zeitbalken, geteilt (siehe Anhang C2)

Bild 4-12 zeigt den iPAS für die Produktfamilie der Computereingabegeräte. Dazu wird der in Abschnitt 4.4.2 aufgenommene Montageprozess mit der Produktstruktur, wie in Bild 4-10 dargestellt, zusammengeführt. Die Basiskomponenten bilden den jeweiligen Anfang eines Prozessstrangs. Es folgen die iPAS-Elemente für die weiteren Komponenten, die entsprechend der Montagesequenz in Beziehung gesetzt werden. Jedes iPAS-Element wird mit der Bezeichnung der Komponente, der Tätigkeit und des Betriebsmittels sowie der Zeitangabe versehen und gegebenenfalls in der Länge angepasst. Im großen Hauptfeld wird der gegenwärtige Fortschritt des Zusammenbaus im MIG dargestellt.

Aufgrund der resultierenden Größe des Schaubilds ist der iPAS zweigeteilt abgebildet, worauf mittels nummerierter Pfeile hingewiesen wird. Zur Erleichterung der Handhabung und Verbesserung der Übersichtlichkeit des iPAS wird in den folgenden Abschnitten eine vereinfachte Darstellungsform verwendet. Eine vergrößerte Version des iPAS ist in Anhang C2 aufgeführt.

Der vereinfachte iPAS orientiert sich, wie in der folgenden Abbildung dargestellt, an dem herkömmlichen Montagevorranggraphen. Dazu wird die farbliche Differenzierung der Varianzaspekte beibehalten, jedoch der MIG ausgeblendet. Die Visualisierung des Zeitaufwands erfolgt, analog zu der vollständigen Darstellung, durch Skalierung der Kastenlänge oder durch das Anfügen von Zeitbalken. Diese Darstellungsformen dienen jedoch lediglich einer erleichterten Darstellung im Fließtext. Für die tatsächliche Strukturierungstätigkeit in der praktischen Durchführung ist der vollständige iPAS zu verwenden.

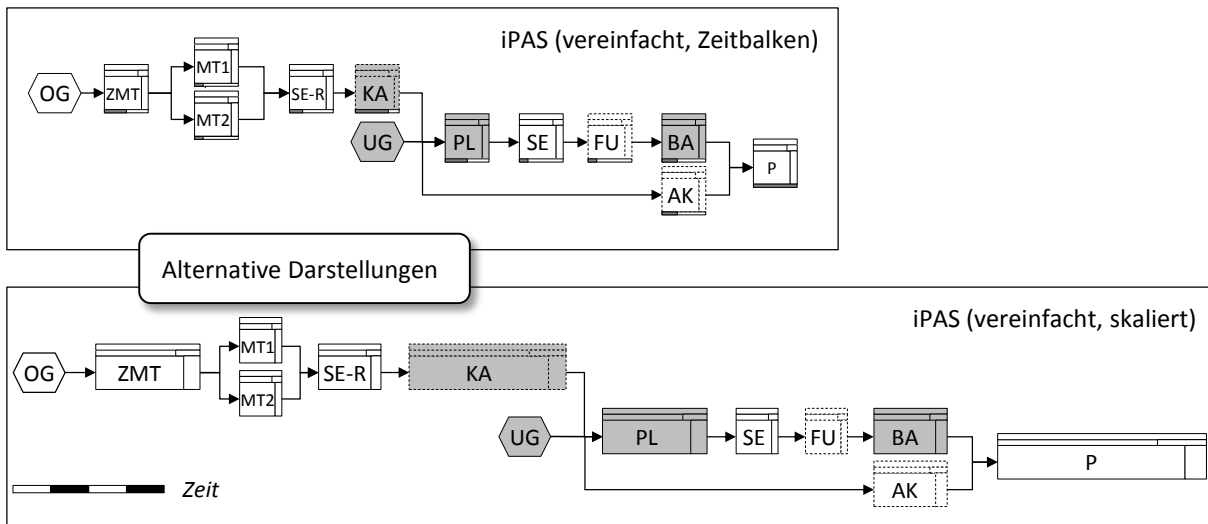


Bild 4-13: verschiedene iPAS-Darstellungsformen

4.6 Entwicklung montagegerechter Produktstrukturen

Die Entwicklung von montagegerechten Produktstrukturen erfolgt durch die Anwendung entsprechender Gestaltungsmaßnahmen. Der im vorherigen Abschnitt vorgestellte iPAS bietet Unterstützung bei der konsistenten Anwendung der Maßnahmen auf die Produktstruktur. In den folgenden Abschnitten wird zunächst das Prinzip der graphisch basierten Produktstrukturierung vorgestellt. Anschließend wird die spezifische Umsetzung der Prozessstrategien innerhalb der Strukturierung erläutert.

4.6.1 Graphisch basierte Produktstrukturierung

Die graphisch basierte Produktstrukturierung ist eine Kombination der in Abschnitt 3.1.2.1 vorgestellten Gestaltungsrichtlinien nach PAHL/BEITZ und der Ausführung der Strukturierungstätigkeit in einem graphischen Werkzeug wie in der in Abschnitt 3.1.2.8 beschriebenen Methode nach DAHL. Ziel ist dabei die Anwendung generischer Gestaltungsvorgaben auf ein graphisches Werkzeug. Um dabei die Konsistenz der Anwendung dieser beiden Aspekte zu gewährleisten, sind die Gestaltungsmaßnahmen und das graphische Werkzeug in derselben Syntax zu formulieren.

Ausgangsgrundlage des Vorgehens zur graphischen Produktstrukturierung ist ein Katalog generischer Strukturierungsmaßnahmen sowie das zu optimierende Produkt in der Darstellung der integrierten Produkt- und Montagestruktur (iPAS). Sämtliche Maßnahmen sind in der einheitlichen Form einer sogenannten Maßnahmenkarte dargestellt und katalogisiert. Die inhaltliche Grundlage bilden die in Abschnitt 4.3 zusammengestellten Maßnahmen, wel-

che in die iPAS-Darstellungsform überführt werden. Die folgende Abbildung zeigt den allgemeinen Aufbau dieser Maßnahmenkarte.

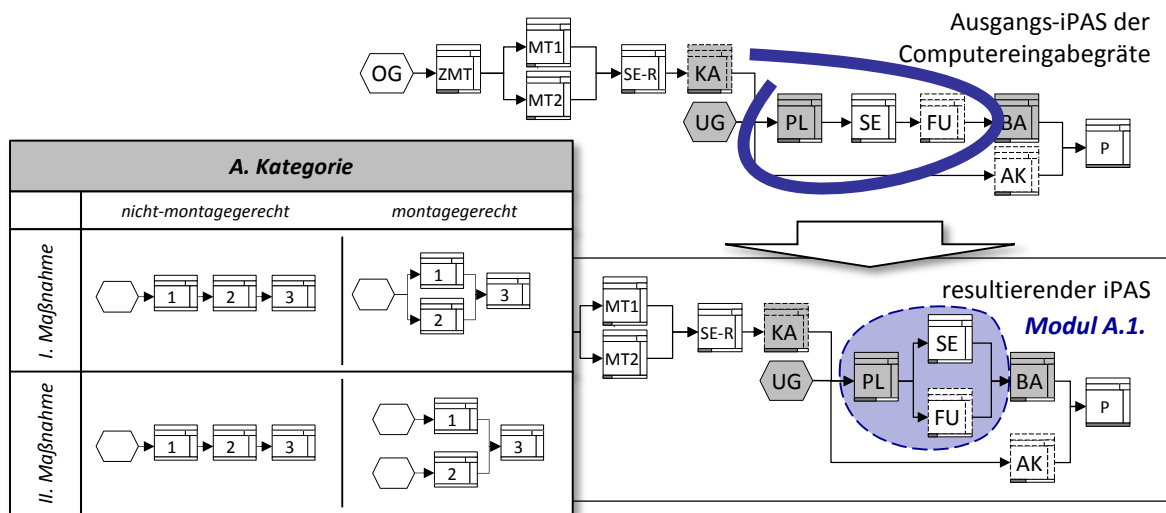


Bild 4-14: Prinzip des graphisch basierten Produktstrukturierens

Die Abbildungen zeigen vereinfachte Muster von bestimmten Montageprozesskonstellationen. Entsprechend der etablierten Vorgehensweise der Gestaltungsrichtlinien sind die Grafiken in die beiden Zustände „nicht-montagegerecht“ und „montagegerecht“ unterteilt.

Zur montagegerechten Strukturierung wird der iPAS der betrachteten Produktfamilie nach den auf den Karten vorgegebenen nicht-montagegerechten Mustern untersucht. Sofern entsprechende Prozessbereiche identifiziert sind, wird das montagegerechte Muster auf die betroffenen iPAS-Elemente angewendet. Die betroffenen Komponenten werden farblich markiert zusammengefasst. Im Fall des in Bild 4-14 enthaltenen Beispiels betrifft die Anwendung der I. Maßnahme aus der Kategorie A die Komponenten PL, SE, FU und führt zu der Bildung des Moduls A.1.

Anschließend wird die spezifische Machbarkeit der vorgeschlagenen Maßnahmen mit den Produktexperten diskutiert. Dabei gilt zu prüfen, ob die Änderungen an den Komponenten und Schnittstellen technisch umsetzbar sind und ob die positiven Auswirkungen bestätigt werden können. Sofern die Machbarkeit verifiziert werden kann, wird die Umstrukturierung durchgeführt und die Produkt- und Prozessstruktur entsprechend modifiziert.

In den folgenden Abschnitten werden die Maßnahmenkarten für eine Auswahl der in Abschnitt 4.3 Strategie- und Gestaltungsvorgaben ausgearbeitet und am Beispiel der Computereingabegeräte angewendet. Der damit geschaffene Strukturierungskatalog erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es können jederzeit Maßnahmen hinzugefügt werden, wobei sich an der jeweiligen Maßnahmenbeschreibung an die standardisierte Form zu halten ist.

4.6.2 Parallelisierung von Montagetätigkeiten

Die Strukturierungsmaßnahme der Parallelisierung zielt darauf ab, unabhängig voneinander montierbare Komponenten zu realisieren. In der iPAS-Darstellung zeigt sich das durch nebeneinander angeordnete und nicht verbundene Elemente. Der Ausgangspunkt der Optimie-

Die Lösung ist folglich die Identifikation langer Ketten sequentiell auszuführender Tätigkeiten. Für diese Stränge ist zu prüfen, ob eine Aufteilung in mehrere unabhängige Ketten durch entsprechende Änderungen am Produktaufbau erreicht werden kann. Die erste Stufe ist dabei das Vermeiden von Zwangsfolgen in der Montage von Komponenten auf einem Basisteil. Die zweite Stufe ermöglicht die Aufteilung in zwei vormontierbare Untereinheiten. Dafür wird die Festlegung einer zusätzlichen Basiskomponente benötigt.

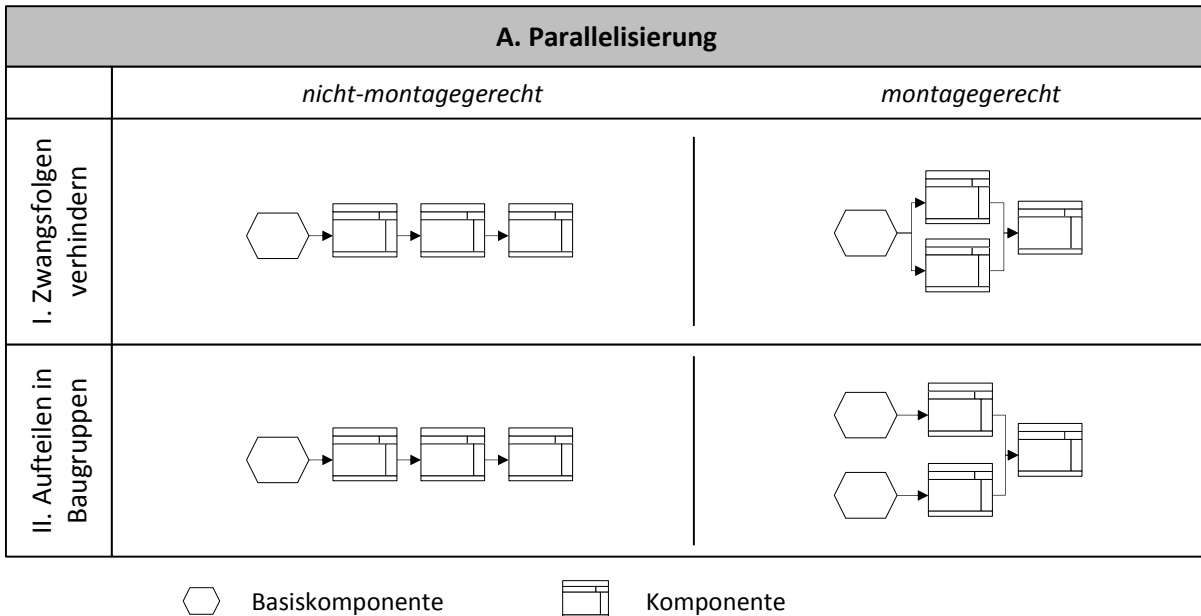


Bild 4-15: Maßnahmenkarte „Parallelisierung“

Die Anwendung der Maßnahme auf den iPAS der Computereingabegeräte indiziert zwei Restrukturierungspotentiale, die in der folgenden Abbildung dargestellt sind. Zum einen betrifft die Maßnahme die Maustasten (ZMT, MT1/2). Diese sind zu einem Vormontagemodul (A.1) zusammenzufassen. Dadurch können sie aus dem sequentiellen Prozessabschnitt gelöst und parallel vormontiert werden. Zum anderen kann die Maßnahme äquivalent auf die elektronischen Komponenten (PL, SE, FU) angewendet werden. In dem Fall werden der Sender und die Funkeinheit aus dem Prozess gelöst und separat vormontiert (A.2). Als Basiskomponente dient dabei die Platine.

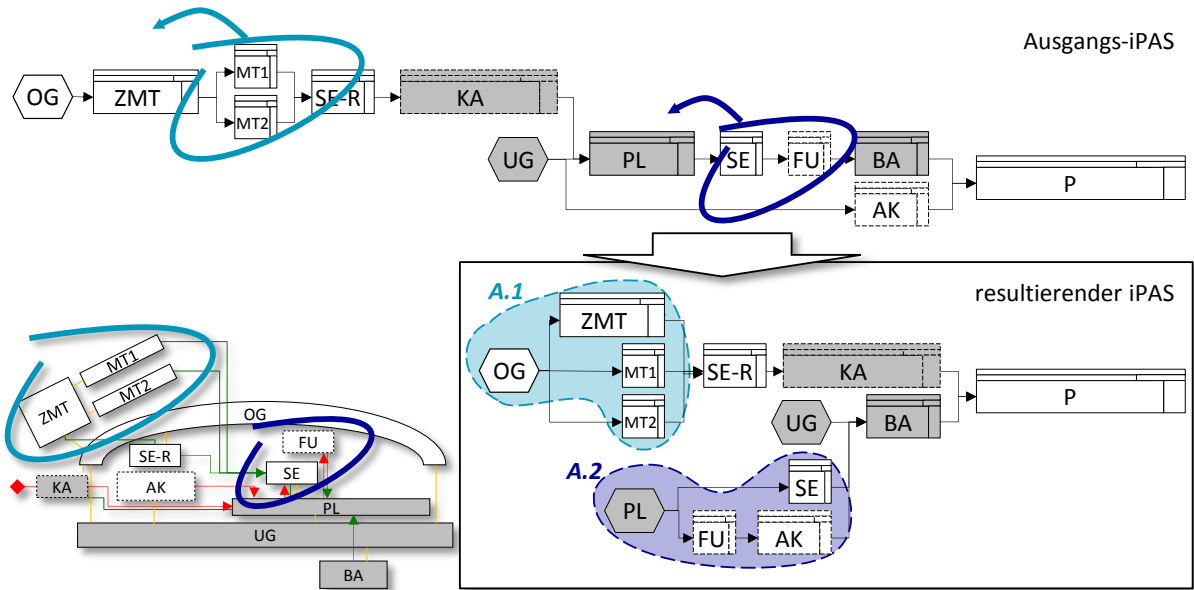


Bild 4-16: Anwendung der Maßnahmenkarte „Parallelisierung“ auf den iPAS

4.6.3 Postponement von Varianz

Das Verschieben des Variantenbildungspunkts an das Ende des Montageprozesses führt zu einem entsprechend hohen Anteil von Standardtätigkeiten. Im iPAS-Modell sind varianten-behaftete Tätigkeiten bzw. die korrespondierenden variantenbildenden Komponenten graphisch gekennzeichnet.

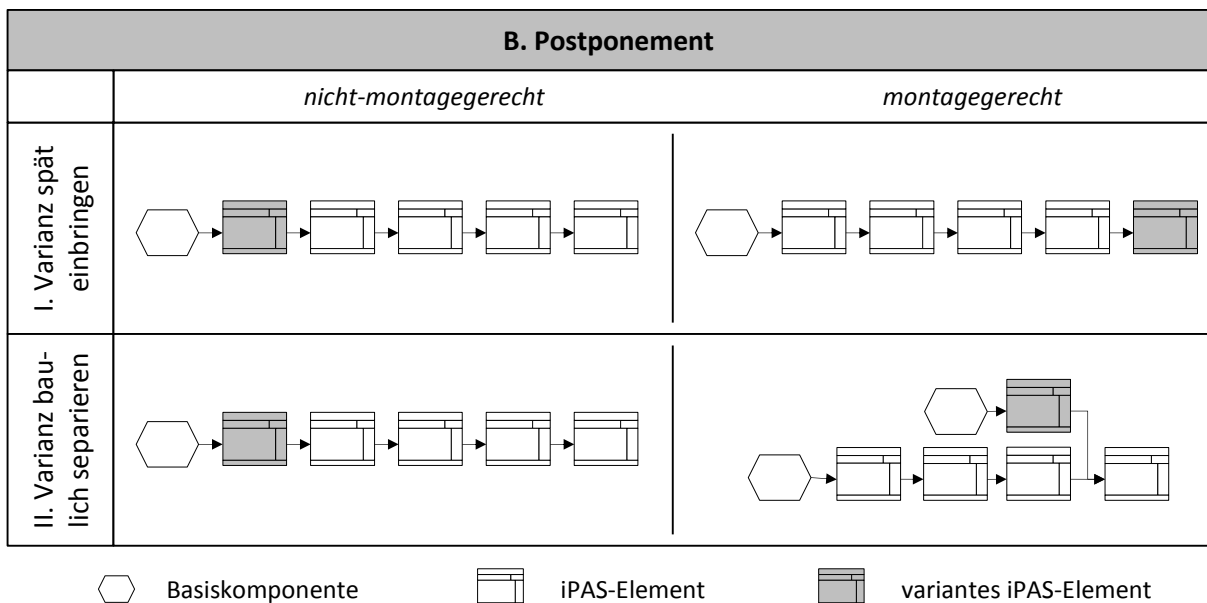


Bild 4-17: Maßnahmenkarte „Postponement“

Das Ziel ist die Verlagerung von varianten Tätigkeiten und Komponenten an das Ende der Prozesskette. Für diese Maßnahme sind dabei zwei grundsätzliche Ausprägungen möglich. Die vollständige Separierung der varianten Tätigkeiten in Form eines eigenständigen Moduls in Verbindung mit dessen spätmöglicher Einbringung in den Prozess stellt das Optimum dieser Maßnahme dar. Für den Fall, dass die Bildung eines zusätzlichen Moduls nicht möglich

ist, sollte die Verlagerung des varianten Prozessschritts an das Ende einer jeweiligen Prozesskette angestrebt werden.

Bild 4-18 zeigt die Anwendung der Maßnahmen auf den iPAS und markiert die betroffenen Komponenten und Schnittstellen im MIG. Die Montage der Computereingabegeräte beginnt mit dem sequentiellen Zusammenbau der Oberschale (OG) und der enthaltenen Maustasten (ZMT, MT1/2) sowie der Sensoreinheit (SE-R) (B.1). Die Anwendung der Maßnahme auf den iPAS ergibt, wie in Bild 4-18 dargestellt, eine Restrukturierung der Komponenten dahingehend, dass ihre Montage zukünftig im späteren Prozessabschnitt erfolgt. Wie im Module Interface Graph ausgewiesen, ist dazu eine Verlagerung der Schnittstellen zum Kabelanschluss (KA) auf die Unterschale (UG) notwendig. Der Kabelanschluss ist wiederum direkt von der Maßnahme dahingehend betroffen, dass seine Montage zeitlich dem Einbau der Platine (PL) nachgelagert werden soll (B.2). Die strukturelle Umsetzung ergibt sich aus der Verlagerung der Schnittstelle von der Ober- zur Unterschale. Die beiden optionalen Komponenten, Akku (AK) und Funkeinheit (FU) werden aus dem Prozess gelöst und in einem separaten Modul gruppiert (B.3).

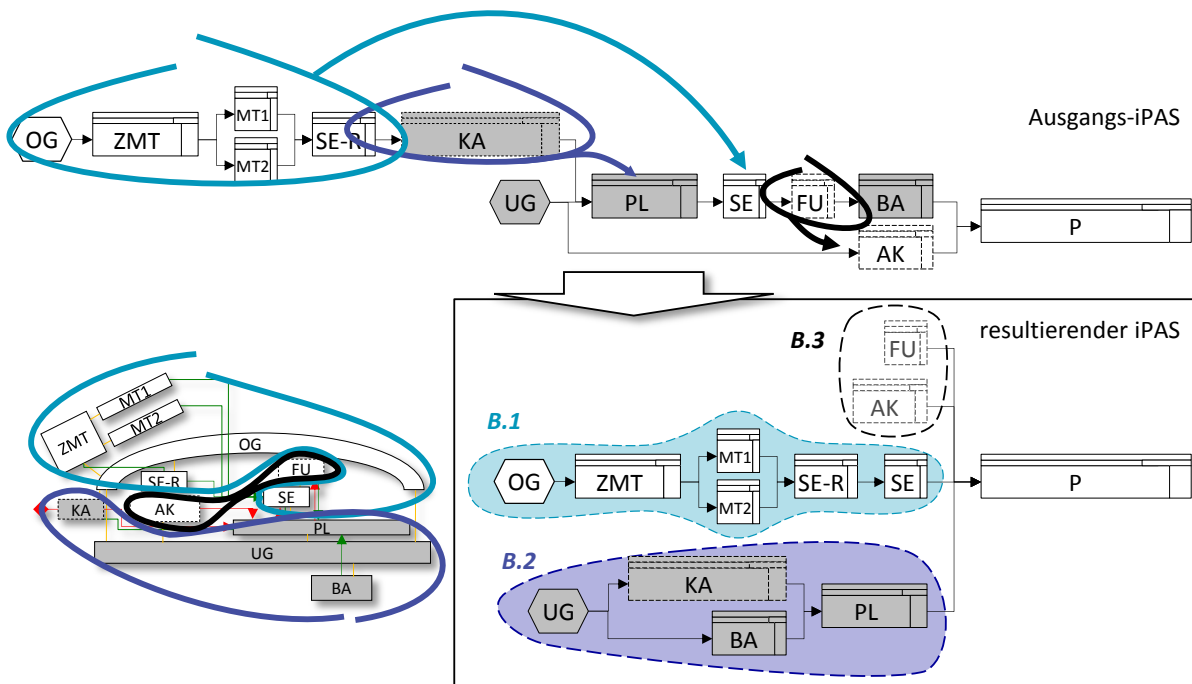


Bild 4-18: Anwendung der Maßnahmenkarte „Postponement“ auf den iPAS

4.6.4 Kommunalisierung von Montagetätigkeiten

Kommunalität beschreibt die Eigenschaft eines Prozesses, variante Komponenten mittels standardisierter, gemeinsamer Tätigkeiten zu verarbeiten. Eine Maßnahme zur der Umsetzung von Prozess-Kommunalität ist die Separierung von variantenbehafteten und standardisierten Tätigkeiten.

Die Darstellung der Elemente im iPAS-Modell differenziert zwischen der Varianz der Tätigkeiten und der verwendeten Werkzeuge. Ein weiteres Ziel der Strukturierungsmaßnahme ist die

Vereinheitlichung des Prozesses trotz zu montierender varianter Komponenten. Dabei liegen zwei Stufen des montagegerechten Zustands vor. Das Optimum ist die Vereinheitlichung des Betriebsmittels und der Tätigkeit. Sofern das nicht möglich sein sollte, sind zumindest einheitliche Betriebsmittel zur Ausführung der varianten Tätigkeiten zu verwenden. Die wesentlichen produktgestalterischen Ansatzpunkte sind dabei die strukturellen Schnittstellen der Komponenten. So führen beispielsweise einheitliche Verbindungstechniken und Fügeverfahren sowie Greifstellen zu der gewünschten Prozess-Kommunalität.

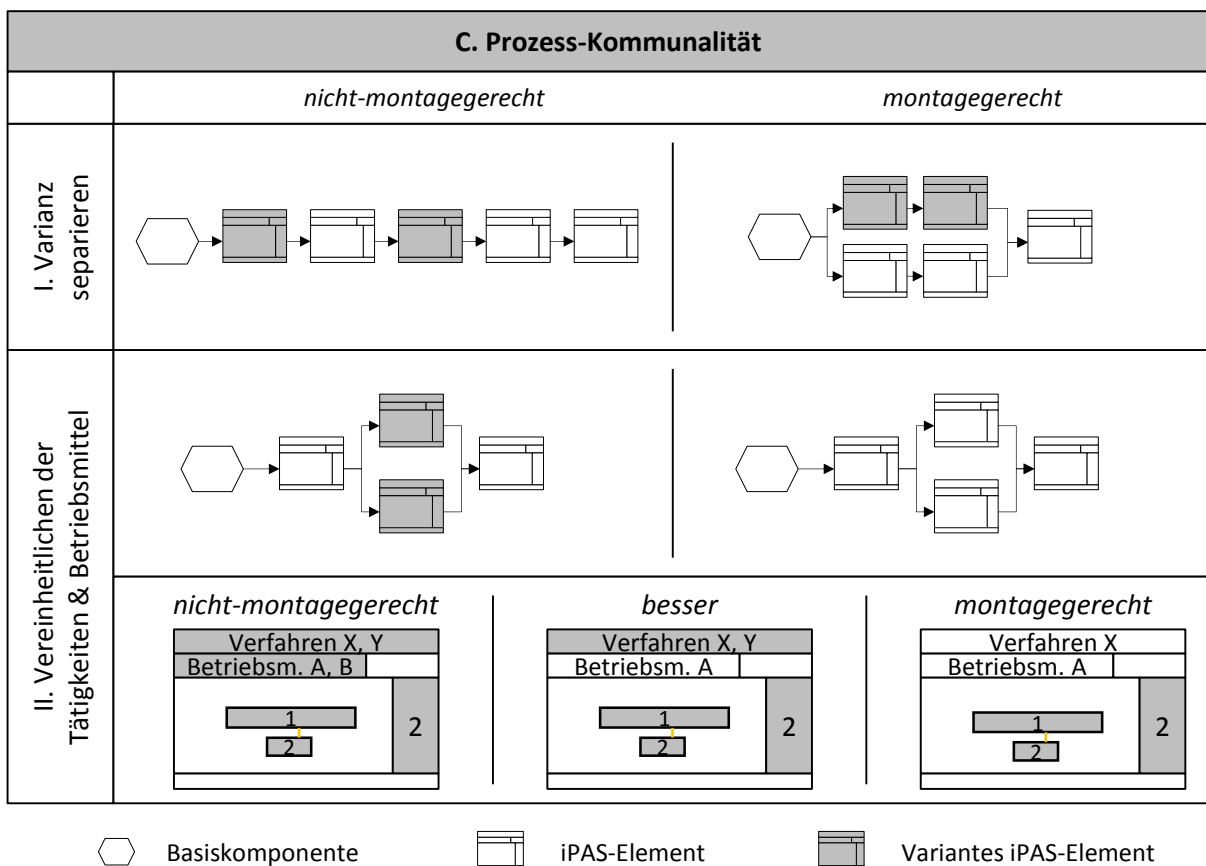


Bild 4-19: Maßnahmenkarte „Prozess-Kommunalität“

Für die Computereingabegeräte werden drei Aspekte zur Umsetzung von Prozess-Kommunalität identifiziert. Die varianten Komponenten sind in einem Modul zu separieren. Dabei handelt es sich um die Platine (PL) und den Bewegungsaufnehmer (BA) (C.2). Des Weiteren werden die optionalen Komponenten Akku (AK) und Funkeinheit (FU) mit dem Sensor (SE-R) zusammengebracht (C.3). Schließlich sind die Tätigkeiten Stecken und Einsetzen zur Montage der Zentralen Maustaste (ZMT), der Maustasten 1 und 2 (MT1,2) sowie des Sensors (SE-R) zu vereinheitlichen (C.1).

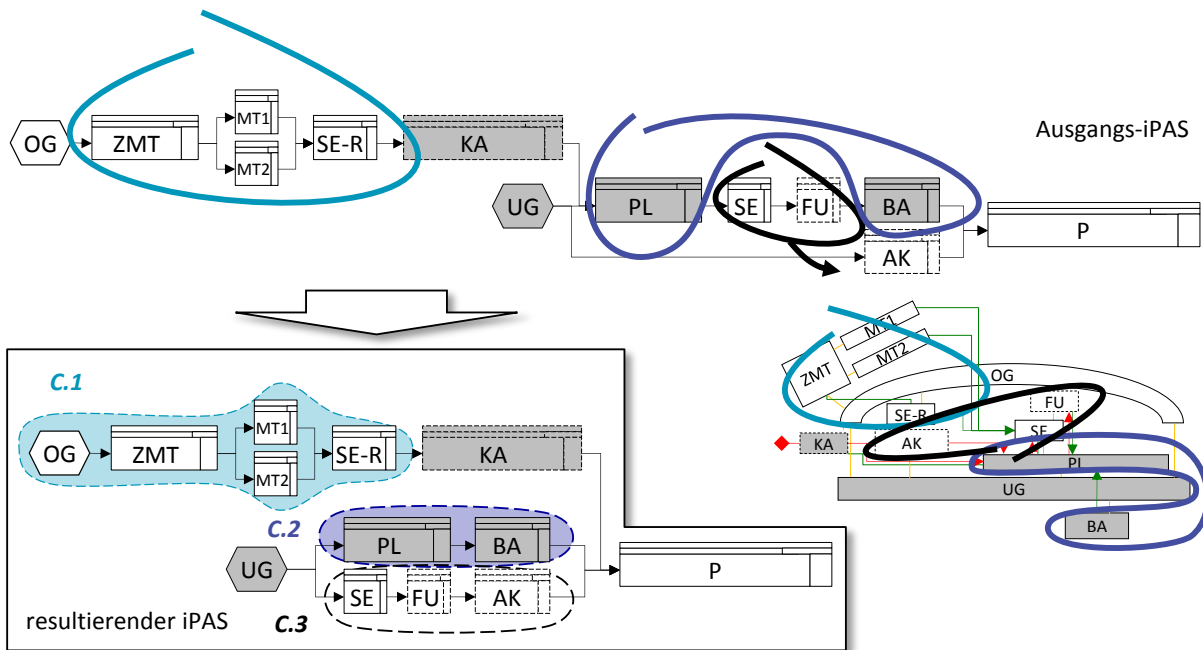


Bild 4-20: Anwendung der Maßnahmenkarte „Prozess-Kommunalität“ auf den iPAS

4.6.5 Optimierung der Betriebsmittelauslastung

Die Handhabung der Strukturierungsmaßnahme zur Optimierung der Betriebsmittelauslastung vereinigt unternehmens- bzw. produktspezifischen Faktoren. In einer praktischen Anwendung der in dieser Arbeit beschriebenen Methode ist eine individuelle Anpassung dieser Maßnahme besonders essentiell. Verallgemeinert können die folgenden Aspekte beschrieben werden.

Es ist das Ziel, Tätigkeiten mit besonderen Anforderungen von den weiteren Tätigkeiten mit vermeintlich geringeren Bedarfen zu trennen und gegebenenfalls in einem separaten Modul zu konzentrieren. Bei diesen sogenannten Spezialtätigkeiten kann es sich beispielsweise um Prüf- oder Justieraufgaben, d.h. sekundäre Montagetätigkeiten, handeln. Sofern diese Tätigkeiten nicht vermieden werden können, ermöglicht die anzustrebende Separierung eine optimierte Berücksichtigung in der Gestaltung des Montagesystems. Beispielsweise können aufwendige, d.h. kostenintensive Mess- und Justieranlagen von der restlichen Montagelinie getrennt und gegebenenfalls produktlinienübergreifend eingesetzt werden.

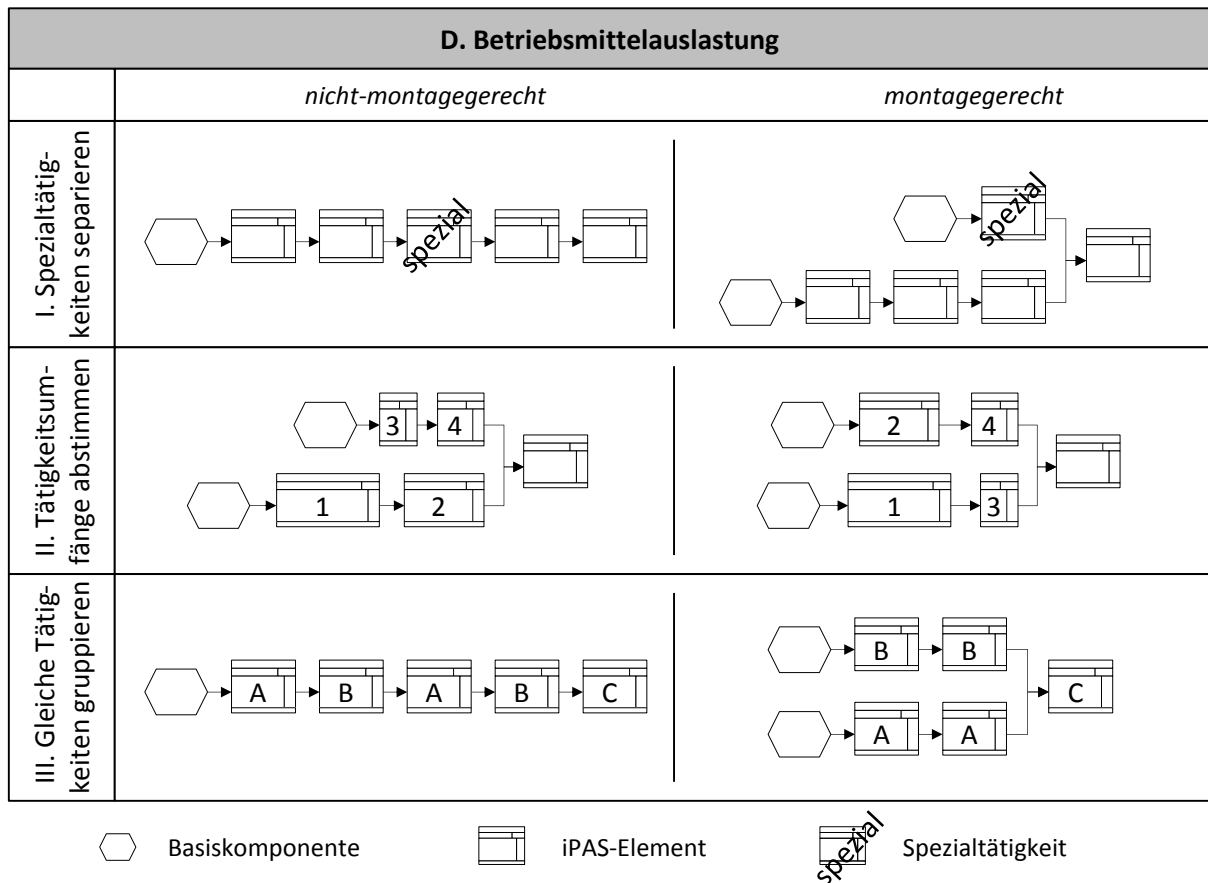


Bild 4-21: Maßnahmenkarte „Betriebsmittelauslastung“

Im Rahmen der späteren Montageplanung bzw. -optimierung der Abläufe erfolgt unter anderem eine zeitliche Abstimmung der vorliegenden Arbeitsinhalte. Die explizite Darstellung der benötigten zeitlichen Dauer zur Ausführung eines Prozessschritts im iPAS ermöglicht den Ansatz einer Antizipation dieser Tätigkeiten. So kann die Gestaltung der Module bereits dahingehend ausgerichtet werden, dass gleichmäßige Arbeitsumfänge für jede Einheit realisiert werden können.

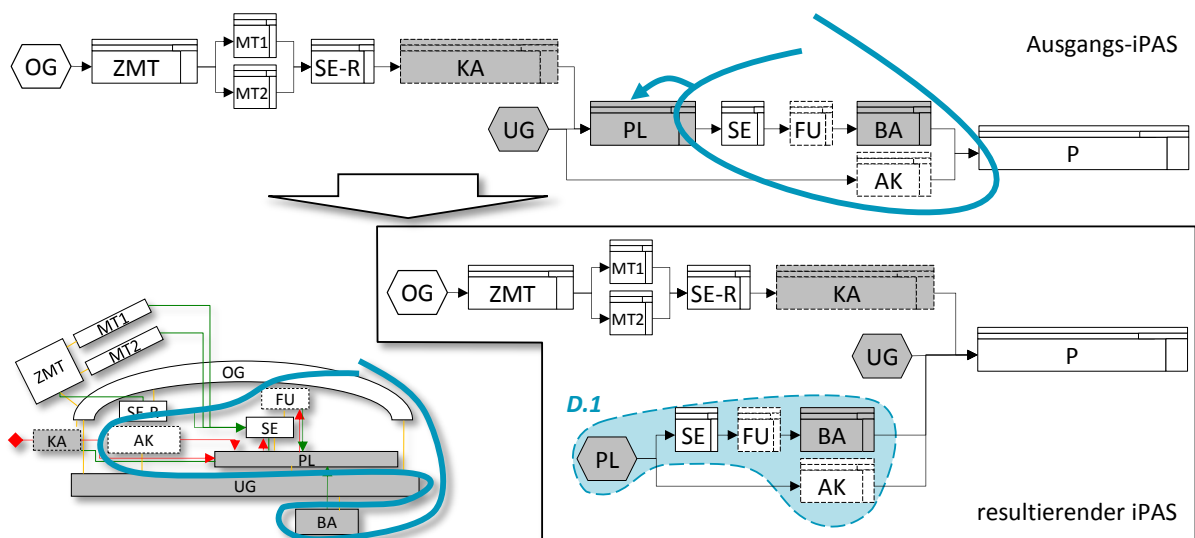


Bild 4-22: Anwendung der Maßnahmenkarte „Betriebsmittelauslastung“ auf den iPAS

Des Weiteren können frühzeitig entsprechende Maßnahmen zur Begegnung etwaiger ungünstiger Tätigkeitsumfänge analysiert werden. Dabei kann es sich beispielsweise um Fremdbezug von Modulen aufgrund fehlender Montagekompetenz handeln.

Die Anwendung der Maßnahme auf den iPAS der Computereingabegeräte betrifft die elektronischen Komponenten. Durch ein Zusammenfassen der betroffenen Komponenten in einem Modul kann, neben der Möglichkeit zur Vormontage, ein separates Testen des so geschaffenen Elektronikmoduls erfolgen (D.1).

4.6.6 Integralbauweise von Komponenten

Die grundlegendste Maßnahme zur Optimierung der Montagegerechtigkeit ist die Reduzierung der zu montierenden Komponenten. Die Implementierung einer integralen Bauweise, bei der mehrere Komponenten physisch vereinigt werden, repräsentiert eine Umsetzungsmöglichkeit zur Bauteilreduzierung. Wie in Abschnitt 3.1.2.3 beschrieben, hat BOOTHROYD zur Unterstützung der Identifikation zweier Komponentenkandidaten für die Integralbauweise drei Fragen formuliert [Boo02]. Die Fragen beziehen sich auf die Gleichheit der Komponentenwerkstoffe und die Notwendigkeit von Relativbewegung während des Betriebs oder der Montage. Sofern für jede der drei Fragen die entsprechende Antwort gegeben werden kann, handelt es sich um Kandidaten, deren Möglichkeit für eine integrale Bauweise weiter zu prüfen ist.

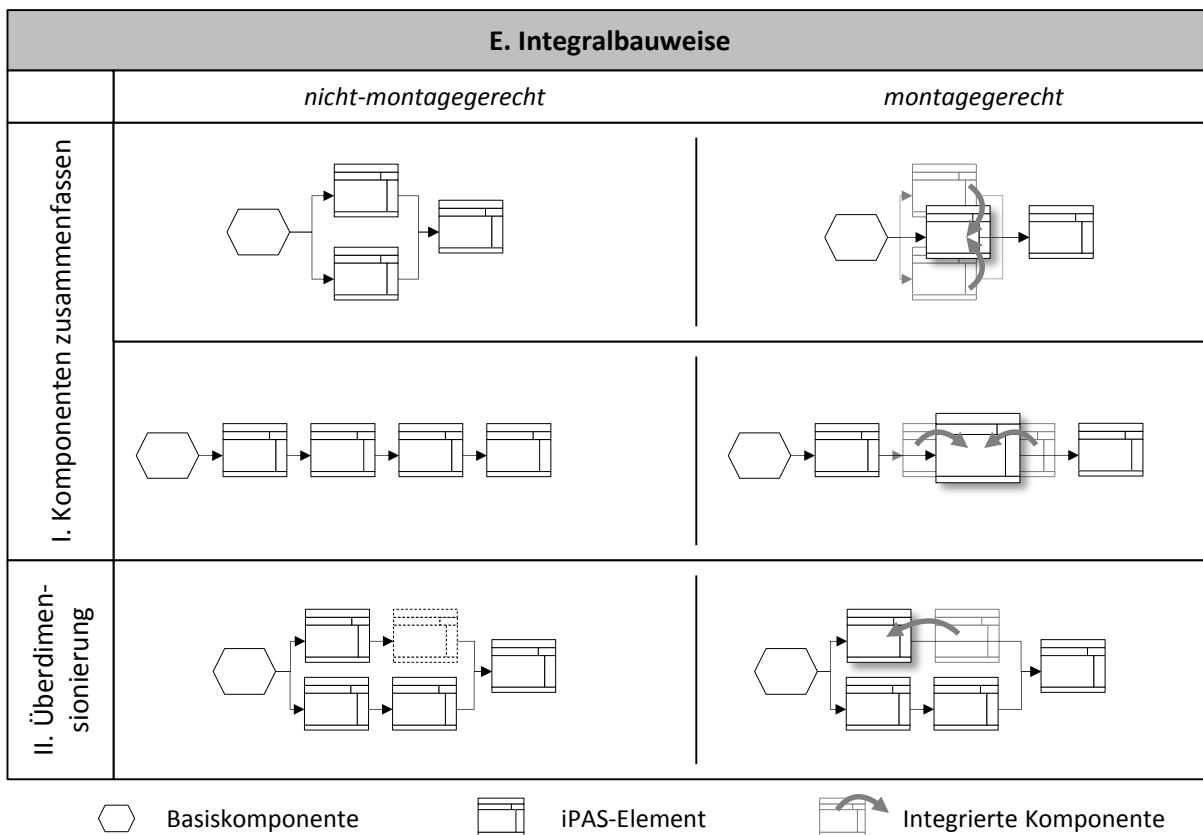


Bild 4-23: Maßnahmenkarte „Integralbauweise“

Die Darstellung im iPAS-Diagramm liefert ebenfalls Hinweise, welchen Komponenten die größten Potentiale der Integralbauweise zugeordnet werden können. Dabei sind im Allge-

meinen sämtliche Komponenten, die benachbarte, sequentielle oder parallele Tätigkeiten aufweisen, mögliche Kandidaten für eine bauliche Vereinigung. Um dem Aspekt der Varianz gerecht zu werden, der nicht in den drei Prüffragen berücksichtigt ist, erfolgt die Formulierung einer vierten Frage. Es ist zusätzlich zu prüfen, ob die zwei untersuchten Komponenten stets derselben Variantenkonfiguration angehören. Diese Information kann beispielsweise aus dem in Abschnitt 3.2.3.4 beschriebenen Vielfaltsbaum entnommen werden.

Für die Computereingabegeräte ergibt die Anwendung der Maßnahme auf den iPAS lediglich eine Möglichkeit zur Umsetzung der Integralbauweise. Davon sind die beiden optionalen elektronischen Komponenten Funk (FU) und Akku (AK) betroffen. Eine integrale Ausführung ist generell möglich, da beide Komponenten in derselben Variantenkonfiguration vorliegen (E.1). Zur strukturellen Umsetzung werden die externen Schnittstellen der Komponenten zusammengeführt. Da die Schnittstellen zur Platine (PL) überwiegen, wird die resultierende Komponente zukünftig daran befestigt.

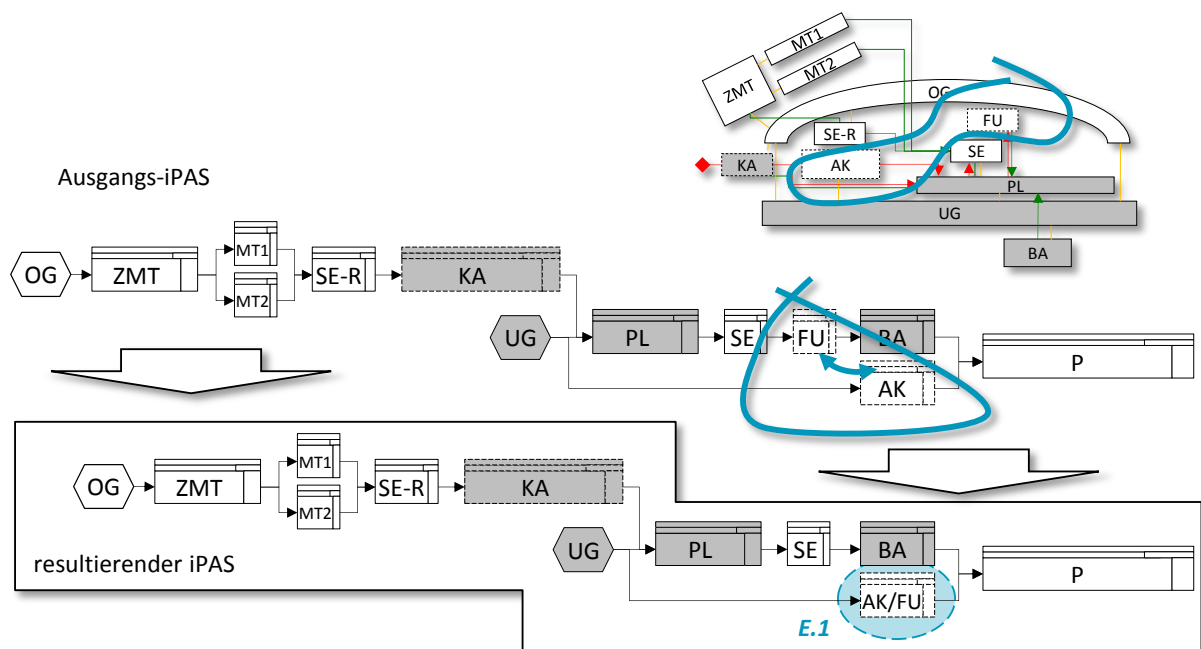


Bild 4-24: Anwendung der Maßnahmenkarte „Integralbauweise“ auf den iPAS

4.6.7 Zusammenführung der verschiedenen Produktstrukturkonzepte

Die separate Anwendung der vorgestellten Maßnahmen kann zu Produktstrukturkonzepten führen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht identisch sind und mitunter sogar gravierend voneinander abweichen. Um schließlich eine einheitliche Produktstruktur aus Montagesicht zu definieren, ist eine Abstimmung der differierenden Strukturkonzepte notwendig. Eine Übersicht der entwickelten Produktstrukturen ist im Anhang C3 aufgeführt.

Die Abweichungen liegen dabei in den jeweiligen Modulumfängen sowie den Schnittstellen zwischen den Komponenten. Zur vergleichenden Darstellung der Produktstrukturkonzepte wird das in Bild 4-25 aufgeführte Diagramm verwendet, in welchem die unterschiedlichen Konfigurationen der Komponenten-Modul-Zuordnung dargestellt werden. Das Darstellungsprinzip ist dabei an den in Abschnitt 3.2.3.8 vorgestellten Module-Process-Chart (MPC) ange-

lehnt. Der MPC stellt die unterschiedlichen Produktstrukturkonzepte der verschiedenen Lebensphasensichten dar. Während beim MPC die Reihenfolge der Spalten relevant ist, kann sie bei der hier beabsichtigten reinen Abbildung der Modulkonfigurationen vernachlässigt werden. Bild 4-25 zeigt die Ausgangskomponenten in der linken Spalte. Die weiteren Spalten beinhalten die Modulkonfigurationen der jeweiligen Prozessstrategien. Dazu werden die Komponenten, welche demselben Modul zugeordnet werden sollen, farblich markiert. Von dem jeweiligen Strukturierungsaspekt nicht betroffene Komponenten werden ausgelassen.

Die Modulkonfigurationen entsprechen den in den vorherigen Abschnitten vorgestellten Produktstrukturen, die in den jeweiligen iPAS-Diagrammen markiert sind. Für die Computereingabegeräte sind aus Sicht der Parallelisierung ein Maustasten-Modul sowie ein Elektronikmodul vorgesehen. Das Postponement definiert ein Obergehäuse- sowie ein Untergehäuse-Modul und ein Modul bestehend aus den optionalen Komponenten Akku (AK) und Funkeinheit (FU). Aus Sicht der Kommunalität sind ebenfalls ein Obergehäuse-Modul sowie jeweils ein Modul aus den Komponenten Bewegungsaufnehmer (BA) und Platine (PL) sowie Akku, Funkeinheit und Sensor (SE) vorgesehen. Die Optimierung der Betriebsmittelauslastung betrifft die Elektronikkomponenten. Die Integralbauweise sieht eine physische Vereinigung der Komponenten Akku und Funk vor.

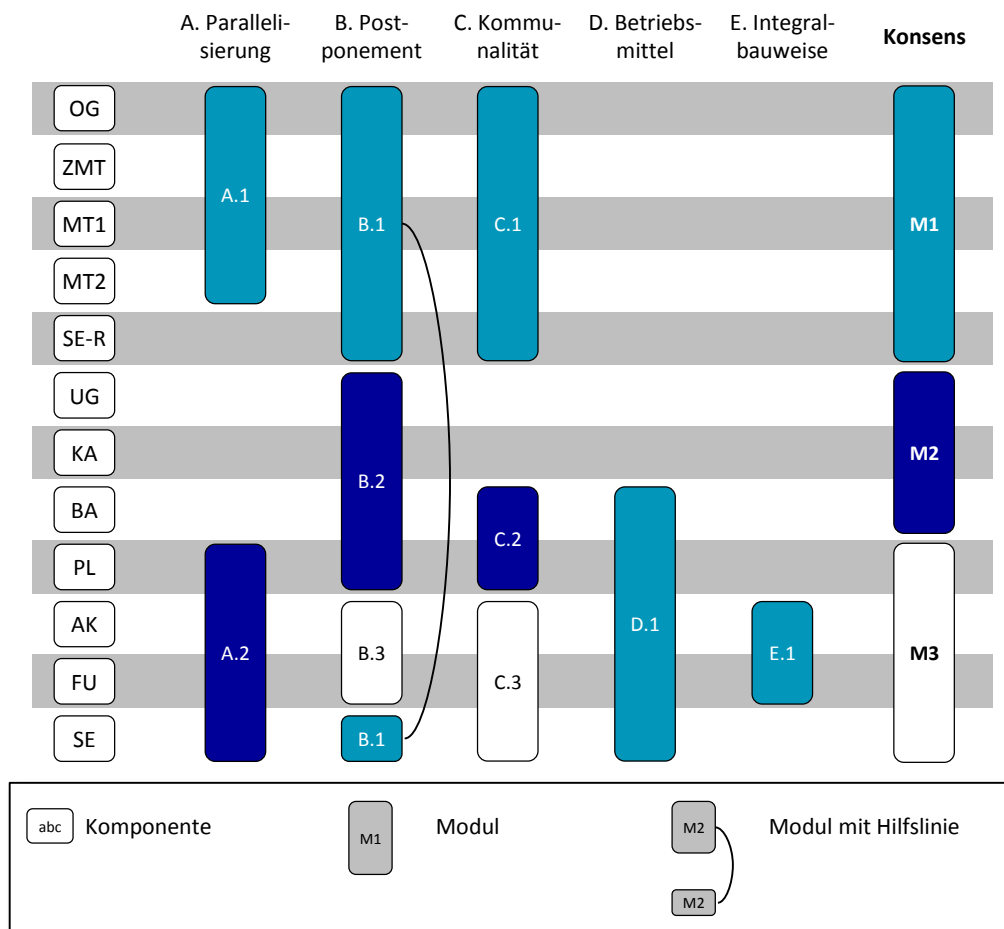


Bild 4-25: Abstimmung der Montageprozessstrategien

Zur Abstimmung der einzelnen Sichten und Festlegung einer einheitlichen Produktstruktur für die Montage stehen zwei Vorgehensweisen zur Verfügung. Letztlich muss die Produktstruktur der anfänglich aufgestellten strategischen Zielsetzung entsprechen. So kann zum einen die Auswahl einer Produktstrukturalternative von den beteiligten Experten entschieden werden. Die Entscheidungsfindung kann dafür durch eine Nutzwertanalyse, in welcher die unterschiedlichen Sichten zu gewichten sind, unterstützt werden. Zum anderen kann die Abstimmung der Sichten durch Konsensfindung erfolgen. Ein idealer Konsens entspricht dabei einer identischen Modul- und Schnittstellenkonfiguration über die gesamte Produktstruktur. Bei abweichenden Konfigurationen sind zwei Ausprägungen des Dissenses möglich. Beim kleinen Dissens enthalten verschiedene Modulkonfigurationen einen identischen Komponentenumfang, d.h. die Modulkonfiguration der einen Sicht ist Teilmenge der Modulkonfiguration einer anderen Sicht. Im Falle eines großen Dissenses unterscheiden sich neben der Modulkonfiguration ebenfalls die enthaltenen Komponenten.

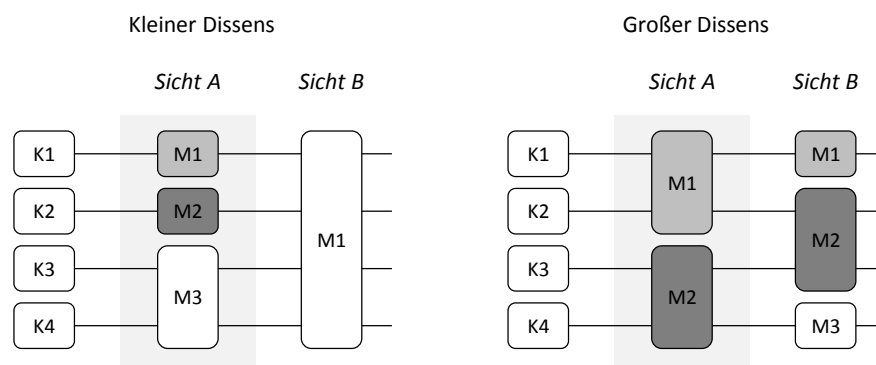


Bild 4-26: Mögliche Konflikte der Sichten

Die Art des jeweiligen Dissenses ist mitunter ausschlaggebend für die notwendige Abstimmung der Produktstrukturen. So kann im Falle des kleinen Dissenses eine Aufteilung des größeren Moduls in weitere Sub-Module in Erwägung gezogen werden. Dafür werden zusätzliche Basiskomponenten sowie Schnittstellen benötigt. Für den großen Dissens können keine pauschalen Lösungsmaßnahmen formuliert werden. In diesem Fall ist eine Diskussion hinsichtlich Gewichtung der Alternativen sowie anschließender Auswahl einer Produktstruktur notwendig. Ebenso ist es möglich, Mischformen zu bilden. Sofern eine Einigung auf eine Produktstruktur in dieser Phase nicht möglich ist, sind die noch vorhandenen Alternativen entsprechend in den nächsten Arbeitsschritt der Bewertung zu übernehmen. Wenn nach parallelem Weiterverfolgen mehrerer Konfigurationen eine Auswahl auch nach der Bewertung nicht erfolgen kann, sind die Alternativen in die übergeordnete Abstimmung der Gesamtstrategischen Produktstrukturen zu übernehmen.

Für die Produktfamilie der Computereingabegeräte wird der folgende Konsens ermittelt. Die Produktstruktur der Montagesicht soll aus drei Modulen bestehen. Das Basismodul des Produkts stellt dabei die Oberschale mit den Maustasten und dem zugehörigen Sensor dar. Der Konsens folgt dabei den beiden übereinstimmenden Sichten Postponement und Kommunalität. Der von der Parallelisierungssicht vorgesehene Modulumfang ist in dem definierten Modul enthalten. Parallel dazu werden das Untergehäuse-Modul und das Elektronikmodul vormontiert. Im Fall des Untergehäuse-Moduls folgt der Konsens der Postponement-Strategie.

Der deutliche größere Umfang der aus Kommunalitätssicht vorgesehenen Modulkonfiguration findet keine Berücksichtigung. Grund dafür ist der Treiber des dritten Moduls. Das Modul setzt sich aus den Elektronikkomponenten zusammen, die dadurch unter optimierter Betriebsmittelauslastung montiert und getestet werden können. Die folgende Abbildung zeigt den resultierenden iPAS sowie den zugehörigen MIG der Produktstruktur für die Computereingabegeräte aus Montagesicht. Die neue Produktstruktur ermöglicht die separate Vormontage der drei festgelegten Module. Darüber hinaus sind die optionalen und varianten Komponenten in den entsprechenden Modulen separiert. Die Endmontage kann dadurch innerhalb einer kommunalen Endlinie erfolgen.

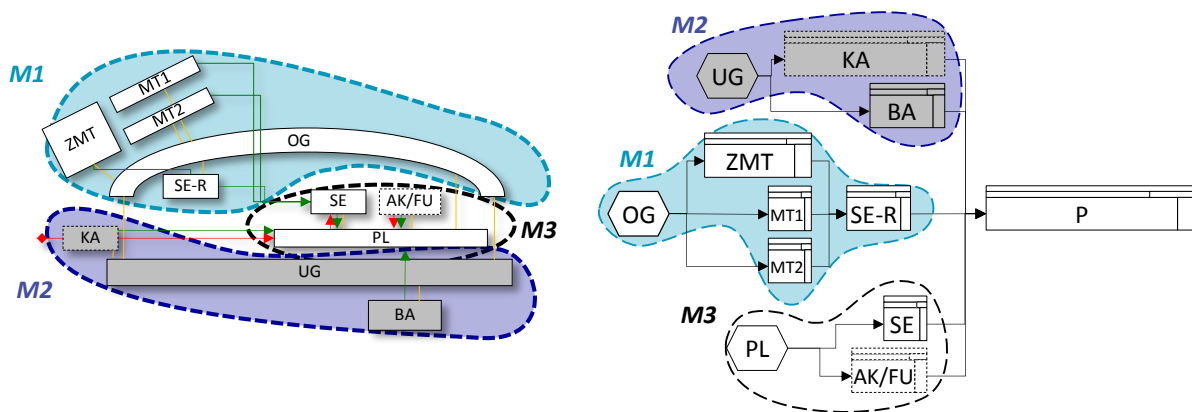


Bild 4-27 Gesamt iPAS und MIG der entwickelten Produktstruktur

4.7 Konzeptbewertung und –auswahl

Die Bewertung als Grundlage der Konzeptauswahl erfolgt im Anschluss an die Anwendung der Strukturierungsmaßnahmen. Die Analyse des Stands der Technik zur Bewertung der Montagegerechtheit in Abschnitt 3.3.5 hat ergeben, dass lediglich Kennzahlensysteme sowie Checklisten für die Durchführung einer Bewertung in der Entwurfsphase geeignet sind. Die etablierten Methoden des DfA benötigen detailliertere Produktinformationen, die überwiegend erst in den späteren Phasen generiert werden. Checklisten werden im Allgemeinen eher zur individuellen Überprüfung eines einzelnen Bewertungsobjekts verwendet. Dagegen eignen sich Kennzahlen für eine komparative Bewertung mehrerer Objekte. In den folgenden Abschnitten wird daher der Aufbau und die Anwendung eines Kennzahlensystems zur Bewertung der Montagegerechtheit der erzeugten Produktstrukturen vorgestellt.

4.7.1 Zusammenstellen eines Kennzahlensystems

Zunächst erfolgt der Aufbau eines Bewertungssystems durch Auswahl geeigneter Kennzahlen. Analog zu der Aufstellung der Strukturierungsmaßnahmen sollen die Kennzahlen primär den Zielvorgaben zugeordnet werden. Das produktspezifische Berechnungsergebnis der Kennzahlen repräsentiert das Maß der Montagegerechtheit ihrer zugehörigen Produktstruktur. Eine Abbildung der produktstrategischen Ziele durch Kennzahlen ermöglicht dabei eine direkte quantitative Bewertung der montagerelevanten Eigenschaften eines Produkts.

Sofern diese direkte Form der Ziel-Kennzahlen-Zuordnung nicht möglich ist, besteht die zweite Stufe darin, passende Kennzahlen für die Strukturierungsmaßnahmen zu ermitteln. Im Fall dieser Maßnahmen-Kennzahlen-Zuordnung entspricht das darauf basierende Be-

rechnungsergebnis dem Grad der Umsetzung der Maßnahmen. Wie in Bild 4-28 dargestellt, werden die Ziele den Strukturierungsmaßnahmen pauschal zugeordnet. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Montagegerechtigkeit der jeweiligen Produktstruktur proportional zu dem Umsetzungsgrad der Maßnahmen verhält. Das Ziel der Zuordnungen ist, Redundanzfreiheit in den jeweiligen Zuordnungen zu erreichen, d.h. jedes Element wird im Idealfall nur durch eine Kennzahl vollständig repräsentiert.

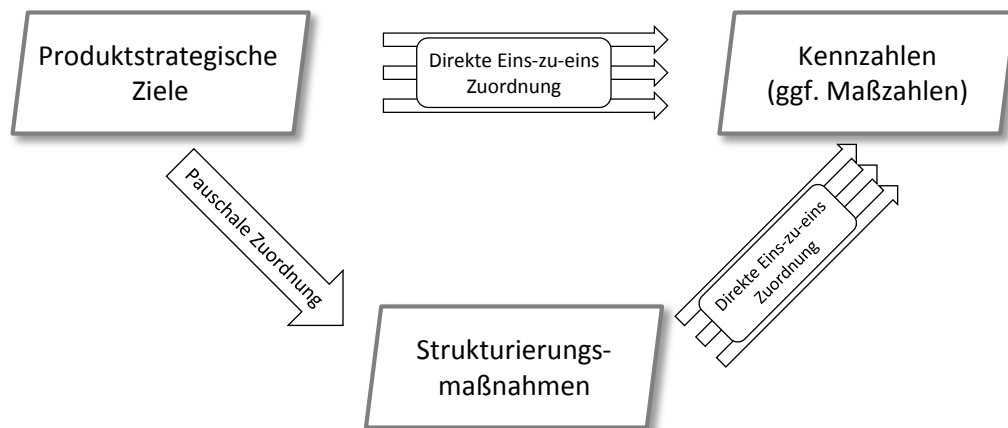


Bild 4-28: Prinzip der Zuordnung von Kennzahlen zu Zielen und Maßnahmen

4.7.1.1 Abbildung der strategischen Ziele durch Kennzahlen

Es zeigt sich, dass lediglich drei definierte Ziele durch Kennzahlen abgebildet werden können. Die Bewertung der *Reduzierung von Durchlaufzeiten* erfolgt mit der gleichnamigen Kennzahl Durchlaufzeit. Die Berechnung enthält die Anzahl der Komponenten sowie die Zeiten für deren Einbau und notwendigen Tests. Die Kennzahl *fehlerfreie Montage* wird dem Gestaltungsziel *Erhöhung der Prozesssicherheit* zugeordnet. Neben den Montagezeiten bilden die Anzahl der Montagetätigkeiten sowie weitere spezifische Faktoren und Erfahrungswerte zu den erwarteten Fehlerwahrscheinlichkeiten die zugrunde liegenden Berechnungsparameter. Beide Kennzahlen entstammen dem System von ERIXON und sind in Abschnitt 3.3.4.2 beschrieben. Die *Steigerung der Effizienz* als weiteres Gestaltungsziel kann durch den wirtschaftlichen Wirkungsgrad einer *Primär-Sekundär-Analyse* beschrieben werden. Wie in Abschnitt 3.3.4.1 beschrieben, wird dafür der Anteil der wertschöpfenden, sogenannten primären Tätigkeiten am gesamten Montageaufwand bestimmt. Im oberen Bereich von Bild 4-30 ist die in dieser Arbeit verwendete Zuordnung von Zielen und Kennzahlen aufgezeigt.

4.7.1.2 Zuordnung von Strukturierungsmaßnahmen und Kennzahlen

Den verbleibenden fünf produktstrategischen Montageziele *Reduzierung der Montagekomplexität*, *Steigerung der Mitarbeiter-, Varianten- und Mengenflexibilität* und *Optimierung der Betriebsmittelauslastung* können keine Kennzahlen aus der Literatur zugeordnet werden. Für diese Ziele wird angenommen, dass der relative Grad der Umsetzung der Strukturierungsmaßnahmen pauschal zu einer analogen Erfüllung der Ziele führt. Diese Vorgehensweise entspricht damit dem bestehenden Prinzip der in Kapitel 1 vorgestellten Methoden zur montagegerechten Konstruktion. Wie in Bild 4-30 dargestellt, werden auf dieser Betrachtungsstufe Kennzahlen gesucht, welche den Strukturierungsmaßnahmen direkt zugeordnet wer-

den können. Die Kennzahl quantifiziert damit den Umsetzungsgrad der zugehörigen Maßnahme.

Die Strukturierungsmaßnahme *Postponement* kann durch die in Abschnitt 3.3.4.5 vorgestellte Kennzahl *Differentiation Index 2* [Mar96] abgebildet werden. Die Kennzahl beschreibt den Zeitpunkt der Variantenbildung und quantifiziert damit die Größe des Standardanteils des Montageprozesses.

Der Aspekt *Kommunalität* wird durch den *Product Line Commonality Index* [Kot00] repräsentiert. Die Kennzahl beschreibt den Wiederholteilgrad innerhalb einer Produktfamilie. Die Eingangsparameter sind neben der Anzahl der Varianten in einer Produktfamilie die Anzahl der nicht differenzierungsrelevanten Komponenten, die potentiell standardisiert werden können, sowie Angaben zu der Montage der Komponenten.

Die Strukturierungsmaßnahme *Integralbauweise* zielt auf eine Reduzierung der Montagetätigkeiten durch Beschränkung der Teilezahl auf ein spezifisches Optimum. Die Kennzahl *Manual Assembly Efficiency Index* [Boo02] beschreibt das Verhältnis der tatsächlichen zu der idealen Montagezeit. Die ideale Montagezeit berechnet sich aus der optimalen Teilezahl und einer angenommenen Montagedauer pro Bauteil.

Der Strukturierungsaspekt *Betriebsmittelauslastung* ist, wie in Abschnitt 4.6.5 herausgearbeitet, unternehmens- und produktspezifisch auszugestalten. Dementsprechend kann keine geeignete Kennzahl eindeutig zugeordnet werden. Aufgrund der spezifischen Ausprägung lässt sich ebenfalls keine eigene Maßzahl entwickeln. Deshalb kann der Grad der Umsetzung dieser Strukturierungsmaßnahme nicht in die Bewertung einfließen.

4.7.1.3 Entwicklung eigener Maßzahlen

Zur Bewertung der Umsetzung der Strukturierungsmaßnahme *Parallelisierung* ist keine geeignete Kennzahl zu identifizieren. Es wird daher eine sogenannte Maßzahl entwickelt, welche den jeweiligen Umsetzungsgrad der Maßnahme quantitativ abbilden soll.

Das Ziel der Maßnahme *Parallelisierung* ist die Entwicklung von Produktstrukturen mit einem hohen Anteil unabhängig voneinander, d.h. parallel zu montierender Bestandteile. Die entwickelte Kennzahl *Degree of Parallelisation Index* beschreibt daher den Anteil parallel ausführbarer Prozessschritte am gesamten Montageaufwand.

$$PI = \frac{\sum_{i=1}^k t_{pi}}{T} \quad (9)$$

t_{pi}	=	Zeitmenge des parallel durchführbaren Prozessschritts
k	=	Anzahl der parallel durchführbaren Prozessschritte
T	=	Gesamter zeitlicher Aufwand aller Prozessschritte

Ein weiterer Aspekt der Montagegerechtigkeit ist das Erreichen eines idealen Verhältnisses von Modulen zu Komponenten in der Produktstrukturierung. Um diesen Zustand zu messen,

wir die Maßzahl *ideales Modul-Komponenten-Verhältnis* in Anlehnung an die in Abschnitt 3.3.4.2 vorgestellte Faustformel der optimalen Modulzahl nach ERIXON berechnet [Eri98]. Es gilt:

$$\frac{N_M}{\sqrt{N_K}} \stackrel{!}{=} 1 \quad (4^*)$$

- N_M = Anzahl der Module
- N_K = Anzahl der Komponenten

In der Darstellungsform des iPAS ergeben sich die in der folgenden Abbildung dargestellten Beispiel-Konstellationen für ein nicht-ideales Verhältnis auf der linken Seite und ein ideales Verhältnis von Modulen zu Komponenten auf der rechten Seite.

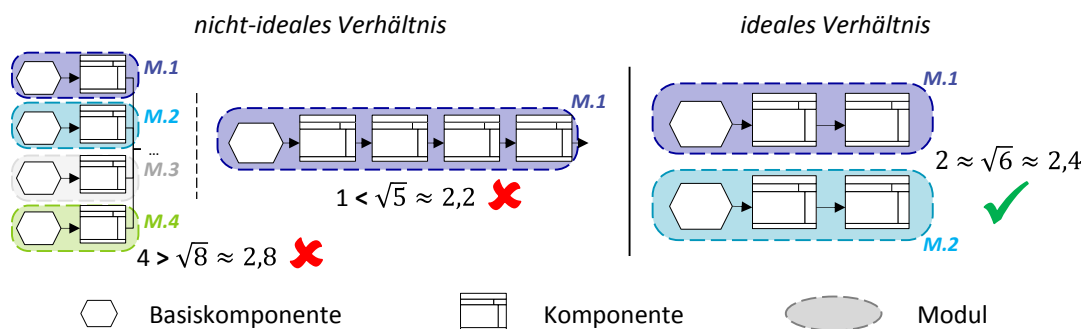


Bild 4-29: Ideales Modul-Komponenten-Verhältnis in iPAS-Darstellungsform

Die Maßzahl ist weder einem produktstrategischen Ziel noch einer Maßnahme zugeordnet. Sie wird stellvertretend für die generelle Möglichkeit der Erweiterung des Kennzahlenkatalogs zur Bewertung der Montagegerechtheit von Produktstrukturkonzepten berechnet. Bild 4-30 zeigt die festgelegte Zuordnung von Kennzahlen zu Zielen und Maßnahmen.

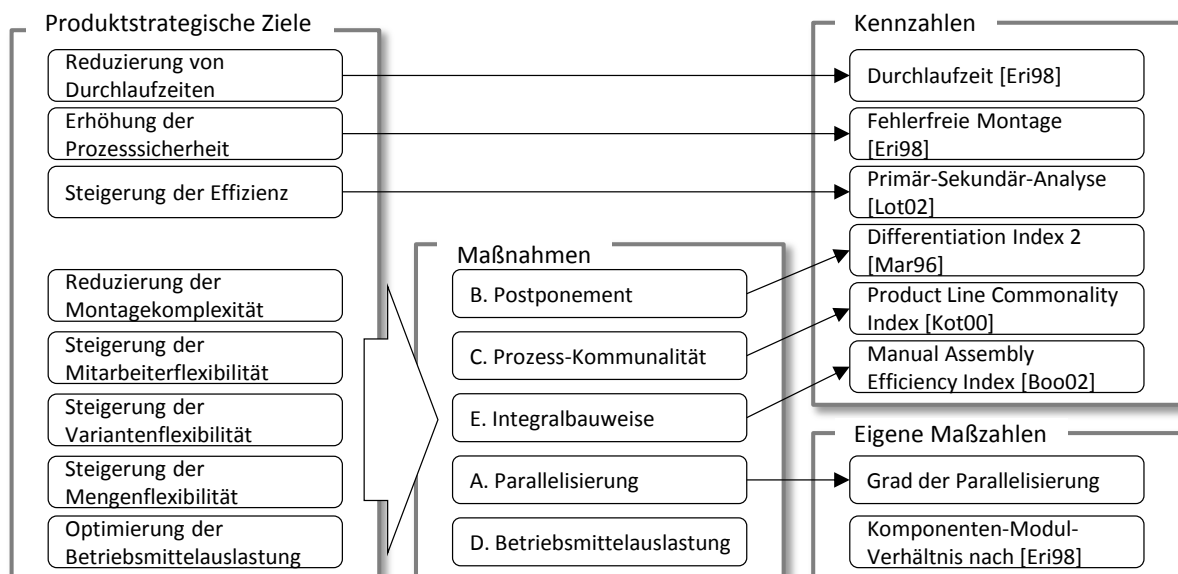


Bild 4-30: Festlegung der Zuordnung von Kennzahlen zu Zielen und Maßnahmen

Bei der Auswahl der Kennzahlen handelt es sich um einen subjektiven Vorschlag nach eingehender Analyse der Parameter und Zielgrößen. Im Sinne des in Abschnitt 4.1 vorgestellten übergeordneten Vorgehensmodells ist die Auswahl im Falle einer spezifischen Anwendung der Methode entsprechend anzupassen. So sollte, analog zur Gestaltung der Strukturierungsmaßnahmen, ein individueller Kennzahlkatalog zusammengestellt werden.

4.7.2 Ermittlung der Eingangsparameter

Die Formeln der zu verwendenden Kennzahlen zeigen, dass die Montagezeit in unterschiedlichen Betrachtungsweisen einen häufig verwendeten Parameter in den jeweiligen Berechnungen bildet. So wird fallweise die Gesamtmontagezeit benötigt oder lediglich die benötigte Zeit eines Montageschritts (1) unter Verwendung eines bestimmten Betriebsmittels (2). Wie in Bild 4-31 dargestellt, können die entsprechenden Informationen unmittelbar aus dem iPAS abgelesen werden. Weitere Eingangsparameter entstammen den graphischen Werkzeugen des integrierten PKT-Ansatzes, wie dem MIG bzw. dem Netzplan.

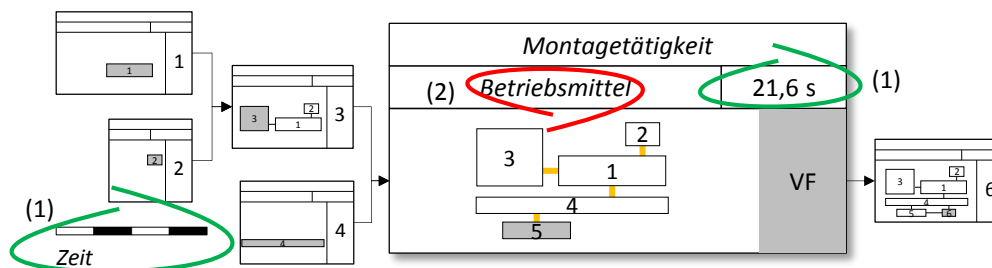


Bild 4-31: Entnahme bewertungsrelevanter Daten aus dem iPAS

4.7.3 Berechnung der Kenn- und Maßzahlen

Die Anwendung des Kennzahlensystems erfolgt anhand des Produktfamilienbeispiels der Computereingabegeräte. Es werden dazu die in Bild 4-30 aufgeführten Kennzahlen berechnet. Neben der exemplarischen Bewertung der überarbeiteten Produktstruktur der Beispielproduktfamilie wird die jeweilige Handhabung der Kennzahlen untersucht. Dafür werden die Kennzahlen nach den zwei Aspekten bewertet. Der Aspekt *Zweckmäßigkeit* repräsentiert die Qualität der eigentlichen Abbildung des jeweiligen Ziels bzw. der Maßnahme durch die Kennzahl. Die *Anwendbarkeit* beschreibt den notwendigen Berechnungsaufwand sowie den Aufwand zur Bestimmung der Parameter. Die Ergebnisse werden anschließend in einer Tabelle zusammengefasst. Sofern Kennzahlen für unzureichend bewertet werden, erfolgt anschließend die Formulierung der substituierenden Maßzahlen.

Durchlaufzeit

Die Durchlaufzeit kann direkt aus dem iPAS abgelesen werden. Wie auf der linken Seite von Bild 4-27 dargestellt, bildet der mittlere Strang des iPAS den kritischen Pfad und ist damit Durchlaufzeit bestimmend. Die Wiedergabe des Berechnungsergebnisses kann neben dem absoluten Wert in Form einer Normierung auf den Wert der ursprünglichen Produktstruktur erfolgen.

Tabelle 4-1: Berechnung der Kennzahl „Durchlaufzeit“

	Originale Produktstruktur	Überarbeitete Produktstruktur
Durchlaufzeit	80 s	36 s
Durchlaufzeit (normiert)	1	0,45

Fehlerfreie Montage

$$P_A = \prod_{i=1}^n [1 - C_k (T_i - T_{ideal})^k] \cdot (1 - D_{pi}) \quad (3)$$

- P_A = Wahrscheinlichkeit eines fehlerfreien Montageergebnisses
 C_k = Konstante der Montagequalitätskontrolle, mit $0 < C_k < 1$ (je kleiner der Wert, desto mehr Fehler werden erkannt)
 T_i = benötigte Zeit für die i-te Montagetätigkeit
 T_{ideal} = ideale Montagezeit
 K = Exponent bezogen auf die Fehleranfälligkeit einer Montagetätigkeit mit $K > 1$
 n = Anzahl der Montagetätigkeiten
 D_{pi} = Wahrscheinlichkeit, dass die i-te Komponente einen Fehler aufweist.

Die Berechnung erfordert neben den Montagezeiten detaillierte Angaben zu dem Montagesystem. Diese Informationen sind in der Praxis prinzipiell verfügbar. Der Berechnungsaufwand ist jedoch sehr hoch, da für jedes Tätigkeitselement eine individuelle Berechnung erfolgen muss. Darüber hinaus ist die Abfolge der Tätigkeiten zu berücksichtigen. Während bei einem sequentiellen Prozess die berechneten Faktoren lediglich miteinander multipliziert werden, sind bei parallelen Prozessschritten die Werte entsprechend umzurechnen. Für parallele Systeme wird die ursprüngliche Formel angepasst. Es gilt:

$$P_{A,parallel} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{A,i}) \quad (10)$$

In der praktischen Anwendung ist darüber hinaus zwischen sequentiellen und parallelen Abschnitten zu differenzieren. Die einzelnen Zeiten können erneut aus dem iPAS abgelesen werden. Bei den weiteren Parametern handelt es sich um spezifische Faktoren des Produktionssystemumfelds. Sämtliche Faktoren sind im Anhang C5 aufgeführt.

Tabelle 4-2: Berechnung der Kennzahl „Fehlerfreie Montage“

	Optimum	Originale Produktstruktur	Überarbeitete Produktstruktur
Fehlerfreie Montage	→ 1	0,85	0,99

Primär-Sekundär-Index

$$W_M = \frac{\sum PV}{\sum PV + \sum SV} \cdot 100[\%] \quad (1)$$

- W_M = wirtschaftlicher Wirkungsgrad
 PV = Primärvorgänge
 SV = Sekundärvorgänge

Für die Berechnung der Kennzahl wird die Summe der Aufwände der primären, d.h. zur Wertschöpfung beitragenden Tätigkeiten ins Verhältnis zum Gesamtaufwand gesetzt. Sekundäre Montagetätigkeiten sind beispielsweise Justage-, Reinigungs- oder Prüftätigkeiten. Generell sind diese Tätigkeiten entsprechend im iPAS ausgewiesen. Ihr jeweiliger zeitlicher Aufwand kann direkt übernommen werden. Für die folgende beispielhafte Berechnung werden die in der Tabelle angegebenen sekundären Tätigkeiten angenommen. Dabei kann es sich z.B. um Tests der elektronischen Komponenten handeln.

Tabelle 4-3: Berechnung der Kennzahl „Primär-Sekundär-Index“

	Optimum	Originale Produktstruktur	Überarbeitete Produktstruktur
Primäre Tätigkeiten		91 s	77 s
Sekundäre Tätigkeiten		20 s	10 s
W_M (100[%])	→ 1	0,82	0,89

Manual Assembly Efficiency Index

Die Kennzahl beschreibt das Verhältnis der tatsächlichen zu einer idealisierten Montagezeit. Die durchschnittliche Dauer einer Montageoperation wird dabei mit 3 Sekunden angenommen. Dadurch berechnet sich die ideale Montagezeit aus dem Produkt der Teilezahl, stellvertretend für die Anzahl der Montageoperationen, und der idealisierten Dauer. Die tatsächliche Montagezeit kann aus dem iPAS entnommen werden.

$$MAEI = \frac{\sum_{i=1}^{N_m-1} T_{BDI,i}}{T_{BDI,opt}} \quad (5)$$

- $T_{BDI,i}$ = Zeitliche Dauer der Montageoperation i
 N_m = Anzahl der Komponenten, entspricht Anzahl der Montageoperationen
 $T_{BDI,opt}$ = Optimale Gesamtmontagezeit, ($T_{BDI,opt} = N_m \cdot 3s$)

Tabelle 4-4: Berechnung der Kennzahl „Manual Assembly Efficiency Index“

	Originale Produktstruktur	Überarbeitete Produktstruktur
$\sum T_{BDI,i}$	91 s	77 s
N_m	12	11
MAEI	2,53	2,33
MAEI (normiert)	1	0,9

Differentiation Index 2 und Product Line Commonality Index

Die Formeln sind in den Unterkapiteln 3.3.4.2 sowie 3.3.4.5 aufgeführt. Nach eingehendem Versuch zur Berechnung der Kennzahlen muss konstatiert werden, dass die erforderliche Informationsmenge sowie der notwendige Aufwand eine sinnvolle Anwendung der Kennzahlen verhindern. In Verbindung mit ebenfalls eingeschränkter Zweckmäßigkeit ist in diesen Fällen die Entwicklung vereinfachter Maßzahlen angezeigt. Die zugehörigen Maßzahlen werden nach der anschließenden Bewertung der Kennzahlen vorgestellt.

Die Zusammenfassung der Bewertung der Kennzahlen ist in Bild 4-32 dargestellt. Die Zweckmäßigkeit sämtlicher Kennzahlen ist als zumindest teilweise erfüllt zu betrachten. Die Anwendbarkeit ist für die Mehrheit der Kennzahlen ebenfalls gegeben. Jedoch ist im Falle des Differentiation Index 2 und des Product Line Commonality Index aufgrund des Bedarfs konkreter Parameter für die Berechnung eine Anwendung im Rahmen der Bewertung von Produktstrukturen in der frühen Entwicklungsphase nicht möglich. Für diese beiden Kennzahlen wird im Folgenden jeweils eine stellvertretende Maßzahl aufgestellt, anhand welcher der Grad der Umsetzung der zugehörigen Strukturierungsmaßnahme quantifiziert werden kann.

Kennzahlen	Anforderungen	
	Zweckmäßigkeit	Anwendbarkeit
Durchlaufzeit nach ERIXON	●	●
Fehlerfreie Montage nach ERIXON	●	◐
Primär-Sekundär-Analyse nach LOTTER	◐	●
Differentiation Index 2 nach MARTIN/ISHII	◐	○
Product Line Commonality Index nach KOTA/SETHURAMAN/MILLER	◐	○
Manual Assembly Efficiency Index nach BOOTHROYD	◐	●

● erfüllt ◐ teilweise erfüllt ○ nicht erfüllt

Bild 4-32: Zweckmäßigkeit und Anwendbarkeit der Kennzahlen

Maßzahl Postponement

Das Ziel der Strukturierungsmaßnahme Postponement ist es, den Variantenbildungspunkt so spät wie möglich im Prozess zu positionieren. Die einzelnen Montage Tätigkeiten sind im iPAS hinsichtlich ihrer Varianz gekennzeichnet. Für die Berechnung der Maßzahl werden die Zeiten der standardisierten und varianten Tätigkeiten aus dem iPAS entnommen und der Quotient aus Zeiten der Standardtätigkeiten zur Durchlaufzeit gebildet.

$$MP = \frac{\sum_{i=1}^k t_s}{DLZ} \quad (11)$$

- t_s = Montagezeit für Tätigkeit i
 k = letzte Standardmontagetätigkeit
 DLZ = Durchlaufzeit

Die folgende Abbildung zeigt das Prinzip der Maßzahl Postponement. Im dargestellten Fall wird die Montagezeit jeder Tätigkeit als 1s angenommen.

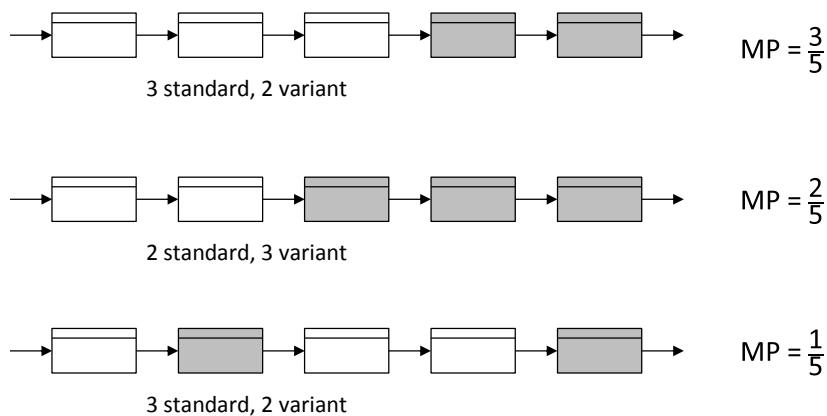


Bild 4-33: Prinzip der Maßzahl Postponement

Im vorliegenden Fall berechnen sich die in der folgenden Tabelle angegebenen Werte.

Tabelle 4-5: Berechnung der Maßzahl „Postponement“

	Optimum	Originale Produktstruktur	Überarbeitete Produktstruktur
$\sum t_s$		20 s	16 s
DLZ		80 s	36 s
MP	→ 1	0,25	0,44

Maßzahl Kommunalität

Die Maßnahme Kommunalität bewirkt eine Vereinheitlichung der Tätigkeiten und Betriebsmittel im Montageprozess über die gesamte Produktfamilie. Zur Berechnung der Maßzahl werden die Aufwände der verschiedenen Montageverfahren summiert und ins Verhältnis zum Gesamtaufwand gestellt. Dabei kann der zeitliche Aufwand oder wie im vorliegenden Fall lediglich die Anzahl der verschiedenen Montagetätigkeiten betrachtet werden. Unter der Annahme, dass die Gesamtanzahl der Montagetätigkeiten stets deutlich größer als 1 ist, strebt das Optimum der Kennzahl gegen den Grenzwert 0.

$$MK = \frac{\sum MV}{\sum M} \quad (12)$$

$\sum MV$ = Anzahl verschiedener Montageverfahren

$\sum M$ = Gesamtzahl der Montagetätigkeiten

Tabelle 4-6: Berechnung der Maßzahl „Kommunalität“

	Optimum	Originale Produktstruktur	Überarbeitete Produktstruktur
MV		3	2
$\sum M$		11	9
MK	→ 0	0,27	0,22

Maßzahl Parallelisierung

Die Parallelisierung des Montageprozesses ermöglicht es, Montagetätigkeiten unabhängig voneinander auszuführen. Die damit verbundene Bildung unabhängiger Baugruppen bietet Potentiale für eine Flexibilisierung der Montageplanung sowie Reduzierung der Durchlaufzeiten. Zur Berechnung der zugehörigen Maßzahl werden die Zeitmengen der Tätigkeiten, die im Prozess parallel zueinander ausgeführt werden können, in Relation zu der gesamten Montagezeit gesetzt. Ein Parallelitätsindex von 1 beschreibt damit einen Prozess, in dem sämtliche Tätigkeiten parallel, d.h. unabhängig voneinander, ausgeführt werden können. Die Daten zur Berechnung der Maßzahl können ebenfalls dem iPAS entnommen werden.

$$PI = \frac{\sum_{i=1}^k t_{pi}}{T} \quad (9)$$

t_{pi} = Zeitmenge der parallel durchführbaren Prozessschritte

k = Anzahl der parallel durchführbaren Prozessschritte

T = Gesamter zeitlicher Aufwand aller Prozessschritte

Tabelle 4-7: Berechnung der Maßzahl „Parallelisierung“

	Optimum	Originale Produktstruktur	Überarbeitete Produktstruktur
$\sum t_{pi}$		22 s	53 s
T		91 s	77 s
PI	→ 1	0,24	0,69

Maßzahl Modul-Komponenten-Verhältnis

Die Faustregel nach ERIXON besagt, dass die optimale Modulzahl eines Produkts der Quadratwurzel der Komponentenanzahl entspricht [Eri98]. Das ideale Modul-Komponenten-Verhältnis berechnet sich damit nach folgender Formel:

$$\frac{N_M}{\sqrt{N_K}} \stackrel{!}{=} 1 \quad (4^*)$$

N_M = Anzahl der Module

N_K = Anzahl der Komponenten

Tabelle 4-8: Berechnung des „Komponenten-Modul-Verhältnis“

	Originale Produktstruktur	Überarbeitete Produktstruktur
Komponentenanzahl N_K	13	10
Optimale Modulzahl $N_{M,opt}$	4	3
Tatsächliche Modulzahl	2	3
Verhältnis	0,5	1

4.7.4 Darstellung des Bewertungsergebnisses und Konzeptauswahl

Nach Berechnung der Kennzahlen werden diese in ein Spinnennetzdiagramm aufgetragen. Die Größe der resultierenden Fläche vermittelt einen direkten plakativen Eindruck von dem Bewertungsergebnis. Eine große Fläche repräsentiert ein hohes, eine kleine Fläche ein niedriges Bewertungsergebnis. Darüber hinaus werden Stärken bzw. Schwächen durch eine entsprechende gezackte Form der Fläche direkt aufgezeigt. Die Achsen sind so gewählt, dass sich die Optimierungsrichtung jeweils vom Ursprung entfernt liegt. Bei einigen Kennzahlen führt die Optimierung zu einem höheren Wert. Bei den anderen Kennzahlen ist es das Ziel, möglichst geringe Werte zu erreichen.

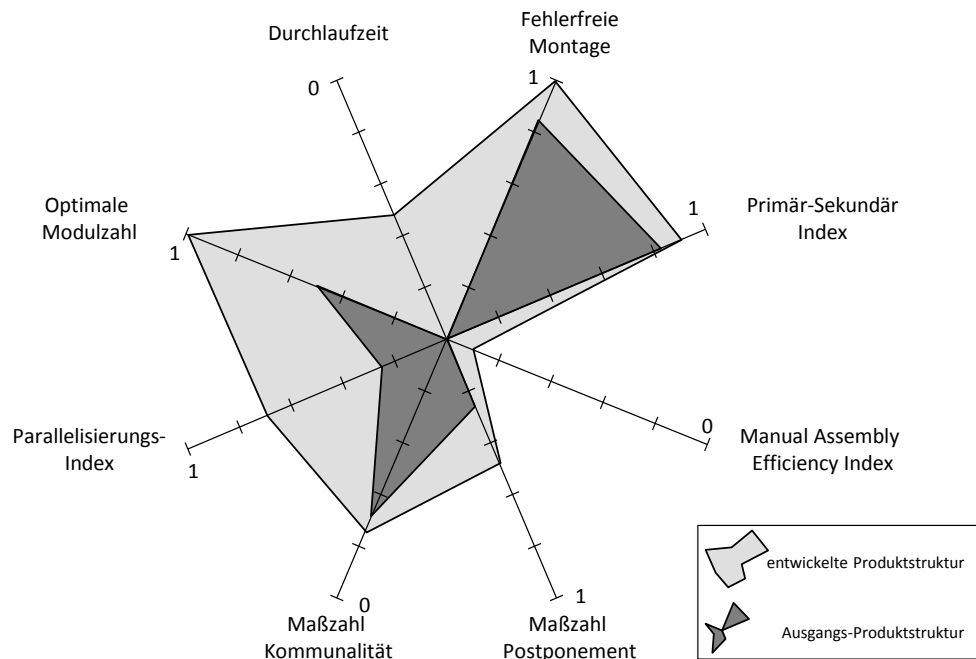


Bild 4-34: Zusammenstellung der Kennzahlberechnungen

Das Ergebnis beschreibt primär den Grad der Umsetzung der Strukturierungsmaßnahmen. In zweiter Hinsicht kann es als Gradmesser für die Erfüllung der ursprünglich definierten Ziele der montagegerechten Gestaltung betrachtet werden. Es gibt damit eine qualitative Aussage zu dem Maß der Montagegerechtheit der jeweilig bewerteten Produktstruktur. Diese Form der Kennzahlberechnung eignet sich besonders für eine vergleichende Bewertung mehrerer Produktstrukturkonzepte, da die einzelnen Aspekte detailliert aufgeschlüsselt werden. Somit wird ein hohes Maß an Transparenz in der Herleitung des Bewertungsergebnisses erreicht. Darauf basierend kann ebenfalls eine der ursprünglichen Zieldefinition entsprechende Gewichtung der Kennzahlen erfolgen.

Im vorliegenden Fall ist eine umfangreiche Reduzierung der Durchlaufzeiten erreicht worden. Neben einer montagesystemorientierten Abstimmung der Modulumfangs wirkt sich die Steigerung des Parallelitätsgrads positiv darauf aus. Die Separierung der varianten und optionalen Komponenten ermöglicht eine spätere Positionierung des Variantenbildungspunkts im Prozess, was sich durch eine Steigerung der Maßzahl Postponement ausdrückt. Darüber hinaus können ebenfalls bessere Werte für die Prozesssicherheit sowie die Montageeffizienz konstatiert werden. Ergebnisse vergleichbarer Größenordnung ergeben sich für den Primär-Sekundär-Index sowie für die Maßzahl Kommunalität. Die Ausgangs-Produktstruktur weist bereits ein hohes Bewertungsniveau und damit gleichzeitig geringe Verbesserungspotentiale für beide Aspekte auf. Der Manual Assembly Efficiency Index ergibt für beide Produktstrukturen ein geringes Bewertungsniveau. Die Ursache liegt in der deutlichen Abweichung der Montagezeiten von der idealen Zeit pro Montage Tätigkeit wie in Abschnitt 3.3.4.3 beschrieben. Zur Optimierung der Aussagekraft der Kennzahl ist eine Anpassung des Werts für die ideale Montagezeit zu prüfen. Zur Ermittlung von Montagezeiten wird auf einen im Anhang C6 vorgestellten Ansatz [Hal12a] verwiesen.

4.8 Überführung der Ergebnisse in den PKT-Ansatz

Die Bewertung der entwickelten Konzepte ist die Basis für die abschließende Auswahl einer Produktstruktur aus Montagesicht. Mit der Übergabe an den PKT-Ansatz endet die Anwendung der Methode zur montagegerechten Produktstrukturierung. Wie in Abschnitt 3.2.2.8 dargestellt, werden im Rahmen der produktstrategischen Modularisierung Strukturkonzepte für alle relevanten Lebensphasen unabhängig voneinander erzeugt. Im Anschluss daran erfolgt die Ermittlung einer gemeinsamen, gesamtheitlichen Produktstruktur durch Harmonisierung aller Sichten. Dazu ist die Darstellung der einzelnen Sichten derart aufzubereiten, dass eine unmittelbare Vergleichbarkeit gewährleistet ist. Bei den dafür verwendeten Werkzeugen handelt es sich um den Modularisierungs-Netzplan sowie den Module Process Chart.

4.8.1 Aufstellung des Montage-Netzplans

Der Modularisierungs-Netzplan ordnet die definierte Produktstruktur den zugrunde liegenden Modultreibern zu. Wie bereits in Abschnitt 3.2.2.8 erläutert, werden die Modultreiber in die jeweiligen Ausprägungen aufgeteilt und den Produktkomponenten zugeordnet. Diese wiederum bilden die Module und schließlich das Produkt. Das folgende Bild zeigt den resultierenden Netzplan für die Computereingabegeräte aus Montagesicht.

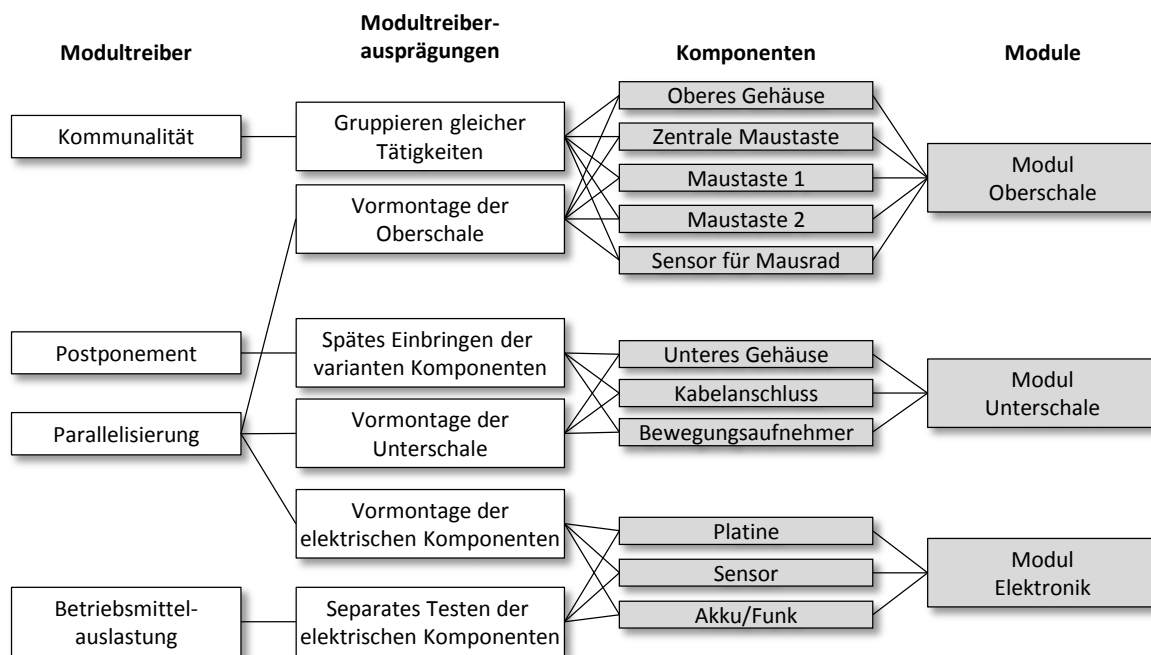


Bild 4-35: Montage-Netzplan für die Produktfamilie der Computereingabegeräte

Die Gruppe der Modultreiber besteht dabei aus den berücksichtigten Montageprozessstrategien. Die jeweilige Umsetzung der Strategien bildet die Modultreiber-Ausprägungen. Entsprechend der in Abschnitt 4.6.7 beschriebenen Konsensfindung können mitunter mehrere Modultreiber auf denselben Komponentenumfang verweisen und damit dieselbe Modulbildung bewirken. Dieser Umstand liegt beispielsweise beim Modul Oberschale vor, welches sowohl durch den Modultreiber Kommunalität als auch durch den Modultreiber Parallelisierung gebildet wird.

4.8.2 Abbildung der Produktstruktur im Module Process Chart

Die Konfiguration der Module wird in den Module Process Chart (MPC) eingetragen. Dadurch kann die aus Montagesicht definierte Produktstruktur mit den anderen Lebensphasen verglichen und harmonisiert werden. Wie bereits in Abschnitt 3.2.3.8 beschrieben, ist es das Ziel dieser Harmonisierung, einen durchgehenden Prozess der unabhängig entwickelten Produktstrukturen zu erreichen. Dieser manifestiert sich in Form einer stetigen Vereinigung der Module bis hin zum Endprodukt. Das folgende Bild zeigt den MPC für das verwendete Beispiel.

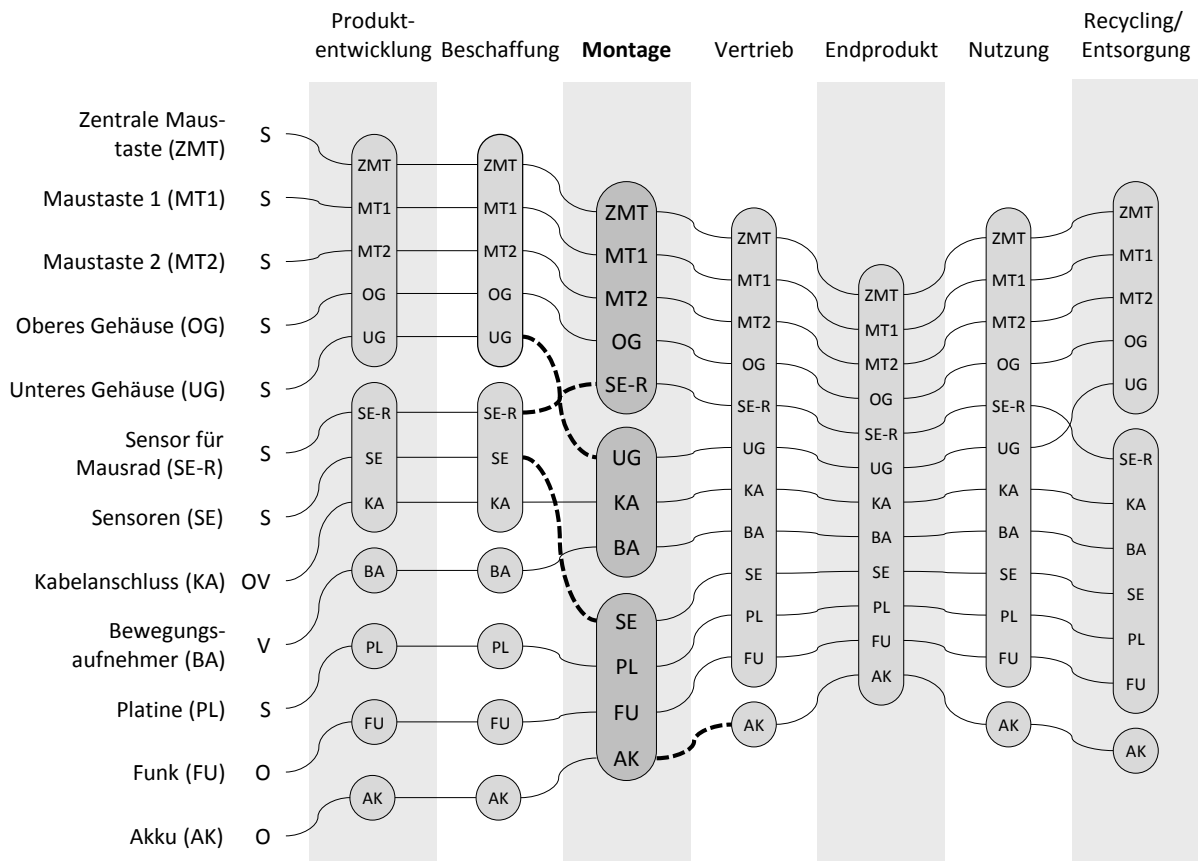


Bild 4-36: Module Process Chart (MPC) der Computereingabegeräte

Für die Abstimmung der Modularisierung aus Montagesicht sind in dem vorliegenden Fall die beiden benachbarten Phasen Beschaffung und Vertrieb relevant. Der MPC zeigt drei Konflikte zur Beschaffungsphase. Die Komponenten UG, SE-R und SE werden jeweils anderen Modulen zugeordnet. Analog verhält sich die Zuordnung der Komponente AK im Bezug zur Vertriebsphase.

Ein Modultreiber, der pauschal für die Phase Beschaffung gilt, ist das Modular Sourcing. Diese Form der Beschaffungsstrategie zielt darauf ab, vollständige Module von einem Zulieferer entwickeln, fertigen und montieren zu lassen [Sch01]. Dafür können beispielsweise Komponenten mit gleichem Fertigungsverfahren oder aus identischem Material zu Modulen zusammengesetzt werden. Die Modulbildung beinhaltet in diesem Fall nicht zwangsläufig eine gegenständliche Verbindung. Es kann sich bei einem Beschaffungsmodul ebenfalls um ein entsprechendes Warenpaket handeln. Im Fall des vorliegenden Beispiels müssten die wider-

sprüchlichen Komponenten UG, SE und SE-R separiert zugeliefert werden, so dass eine Modulbildung in der Vormontage nicht verhindert wird. Dementsprechend ist die Komponente AK mit einer lösbaren Schnittstelle auszugestalten, so dass die geforderte Separierung in der Vertriebsphase ermöglicht wird. Die pauschalen Beitragsmöglichkeiten zur Auflösung von Konflikten zwischen den Lebensphasenmodularisierungen aus Montagesicht sind im folgenden Abschnitt beschrieben.

4.8.3 Auflösung von Konflikten

Die Beiträge der Montagesicht zur Harmonisierung der Produktstrukturen im MPC sind fall-spezifisch zu entwickeln. Es können jedoch die folgenden Szenarien konstatiert und pauschalisierte Lösungsansätze formuliert werden.

Der Idealzustand wird durch niedrigere Modulumfange in der vorausgehenden und höhere Modulumfange in der anschließenden Lebensphase repräsentiert. In diesem Fall sind keine weiteren Anpassungen der Produktstruktur notwendig.

Eine Situation mit potentiell negativen Auswirkungen resultiert aus höheren Modulumfangen, die von der vorgelagerten Phase definiert worden sind (a). Dabei entsteht die Gefahr, dass variantenbildende Komponenten oder Spezialtätigkeiten, wie separates Testen, nicht mehr separiert durchgeführt werden können. Eine entsprechende Anpassung der Beschaffungsstrategie, beispielsweise durch Auslagerung von Montageumfängen an Zulieferer, stellt einen Lösungsansatz dar.

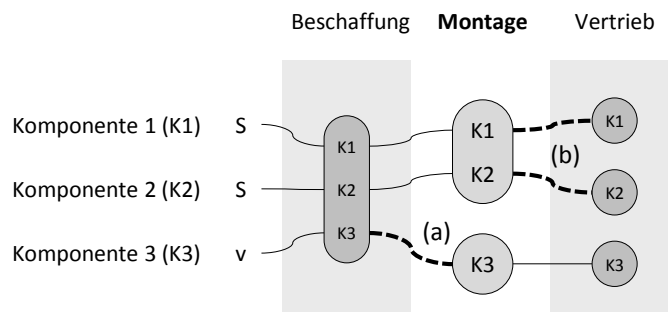


Bild 4-37: Unterbrochener Modularisierungsprozess vorher (a), nachher (b)

Niedrigere Modulumfange in der folgenden Phase stellen ebenfalls eine kontroverse Konstellation dar (b). So kann der Vertrieb aus Gründen der effizienten Variantenbildung kleinere Module vorsehen. Demgegenüber stünden die höheren Modulumfange der Montage aufgrund prozessrelevanter Aspekte, wie Tätigkeitsbündelung oder Ressourcenoptimierung. Für diesen Fall ergibt sich ein Lösungsansatz durch entsprechende Gestaltung der Schnittstellen. Diese sind lösbar zu gestalten, damit der in der Montage geschaffene Modulumfang gemäß den Anforderungen der folgenden Lebensphase temporär aufgehoben werden kann. Die Gestaltung der Schnittstellen stellt generell bei abweichenden Modulumfangen eine Möglichkeit zur Lösung von Konflikten zwischen den Lebensphasen dar. Dabei gilt jedoch stets, dass jede Schnittstelle zusätzlichen Montageaufwand nach sich zieht und damit das Maß der jeweiligen Montagegerechtigkeit verringert.

Neben der Implementierung dieser Lösungsansätze aus Montagesicht kann ebenfalls das definierte Kennzahlensystem zur Kompromissfindung hinzugezogen werden. Dafür werden die Produktstrukturkonzepte der anderen Lebensphasen entsprechend bewertet. Durch diese Bewertung der jeweiligen Montagegerechtigkeit der Vorschläge sämtlicher Lebensphasen wird ein weiterer Aspekt für die folgende finale Auswahl einer gemeinsamen Produktstruktur geschaffen.

4.8.4 Vorbereitung der konstruktiven Ausgestaltung

Mit der abschließenden Festlegung eines Gesamtkonzepts ist die Phase der Produktstrukturierung abgeschlossen. Gemäß dem in Abschnitt 2.3.2 beschriebenen Vorgehen nach VDI 2221 folgen die Erstellung von Entwürfen sowie die konstruktive Ausgestaltung auf Basis der entwickelten Produktstruktur. Entsprechend ändert sich der Fokus der montagegerechten Produktgestaltung auf das konkrete Schaffen der physischen Form von Bauteilen und deren Schnittstellen. Es gelten jedoch weiterhin die Grundsätze Reduzieren, Vereinheitlichen sowie Vereinfachen, um eine montagegerechte Baustruktur zu realisieren.

Die Gestaltung der Modulkomponenten beabsichtigt im Wesentlichen eine Erleichterung ihrer Handhabung. Dafür sind beispielsweise entsprechende Erkennungs- und Greifmöglichkeiten vorzusehen. Das Ziel ist die Gewährleistung optimaler Bewegung und Speicherung der Teile. Die Gestaltung der Schnittstellen wiederum ist essentiell für die Erleichterung des Fügevorgangs. Es gilt, den Verbindungsaufwand zu reduzieren sowie den Werkzeugeinsatz zu optimieren. Dafür können entsprechende Fügeprinzipien, wie Snap-and-Click in Kombination mit Positionierhilfen verwendet werden. Für eine umfangreiche Sammlung von konstruktiven Hinweisen und Lösungsansätzen wird an dieser Stelle auf die in Abschnitt 3.1.2 vorgestellte einschlägige Literatur verwiesen.

5 Validierung der Methode an einer Fallstudie

Im Rahmen der Entwicklung von Konstruktionsmethoden ist eine umfassende Bewertung der Ansätze vorgesehen, um ihren spezifischen Nutzen für die Produktentwicklung aufzuzeigen. Nach BLESSING ist die Methode dafür ohne Vorabwissen des Ergebnisses anzuwenden. Um dem Faktor Mensch dabei entsprechend Rechnung zu tragen, soll die Anwendung unter Einbeziehung des tatsächlichen Nutzers sowie unter Berücksichtigung realer Umgebungsbedingungen erfolgen [Ble09]. Eine Vorgehensweise zur Umsetzung dieser Bewertung ist die Durchführung einer Fallstudie. Sie bezeichnet eine empirische Untersuchung eines gegenwärtigen Phänomens in seinem realen Kontext. Die Besonderheit ist dabei, dass Phänomen und Kontext nicht eindeutig voneinander abzugrenzen sind. Fallstudien können in vielfältiger Hinsicht eingesetzt werden. So reicht das Anwendungsspektrum von der Beschreibung von Problemen, über die Vorbereitung von Entscheidungen bis zur Aufstellung einer Beurteilung [Yin09]. In dem vorliegenden Fall wird mittels einer Fallstudie überprüft, inwieweit die Methode die eingangs aufgestellten Anforderungen erfüllt.

Die entwickelte Methode zur montagegerechten Produktstrukturierung wird auf ein Beispiel aus der Industrie angewendet. Die Vorstellung der Fallstudie erfolgt in drei Schritten. Zu Beginn wird die Planung der Fallstudie beschrieben. In diesem Rahmen werden die Hypothesen formuliert, welche anhand der folgenden Anwendung der Methode zu überprüfen sind. Den Hauptteil bildet die Durchführung der in Kapitel 4 entwickelten Vorgehensweise zur Produktstrukturierung an einem Beispielprodukt. Im Anschluss an die Durchführung erfolgt die Auswertung der Fallstudie. Dafür werden die eingangs aufgestellten Hypothesen überprüft.

5.1 Planung der Fallstudie

5.1.1 Prüfungshypothesen

Im Rahmen der in Kapitel 1 beschriebenen Problemanalyse werden die Anforderungen an eine Methode zur montagegerechten Produktstrukturierung aufgestellt. Die Bewertung der entwickelten Methode erfolgt hinsichtlich der Erfüllung der zugrunde liegenden Anforderungen. Dafür werden die folgenden Prüfhypothesen formuliert.

1. *Mit der Methode werden hinsichtlich der Montagegerechtheit bessere Ergebnisse erzielt als durch die Anwendung korrespondierender Ansätze.*
2. *Die Methode ist in der Vorentwicklungsphase einsetzbar und fokussiert explizit den Aspekt der Strukturierung im Rahmen einer Optimierung der Montagegerechtheit.*
3. *Die Entwicklung der Produktstrukturen ist an den strategischen Zielen der Montage ausgerichtet.*

4. Neben der reinen Entwicklung wird ein zugehöriges, der Entwicklungsphase entsprechendes Bewertungsschema für Produktstrukturen zur Verfügung gestellt.
5. Die Anwendung der Methode fügt sich konsistent in den Integrierten PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien ein.
6. Die integrale Produkt- und Montagestruktur (iPAS) fördert die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Entwicklung und Produktion.
7. Die Vorgehensweise ist eingängig nachvollziehbar und nach entsprechender Einweisung selbstständig anwendbar.

5.1.2 Praktisches Vorgehen

Die Anwendung der Methode zur montagegerechten Produktstrukturierung erfolgt anhand einer Beispielproduktfamilie von Kettensägen. Es handelt sich dabei um eine Produktfamilie, die in hoher Varianz am Markt vertreten ist. Neben dem herstellerseitig angebotenen Produktspektrum werden zusätzlich kundenindividuelle Varianten entwickelt. Technologischer Fortschritt sowie stetige Änderung der gesetzlichen und marktseitigen Randbedingungen verlangen eine regelmäßige Anpassung der konstruktiven Produktgestaltung und der Produktionsweisen. Im Zuge jeder Anpassungskonstruktion wird darüber hinaus die Umsetzung wirtschaftlicher Verbesserungspotentiale angestrebt. Ein dazu beitragender Aspekt ist die Verbesserung der Montagegerechtigkeit. Die Anwendung der entwickelten Methode fügt sich in die allgemeine Entwicklungstätigkeit des Unternehmens ein und unterstützt bei der Identifikation von Verbesserungspotentialen aus Montagesicht.

Für die Fallstudie stehen Experten aus dem Entwicklungs- und Produktionsbereich zur Verfügung. Darüber hinaus werden Vertreter des Produktmarketings sowie der Geschäftsführung unmittelbar in die Anwendung der Methode und die anschließende Bewertung eingebunden. Die Durchführung erfolgt dabei gemäß der Vorgehensweise des Integrierten PKT-Ansatzes in Form von Workshops. Die Erhebung der für die Auswertung der Fallstudie notwendigen Daten und Informationen erfolgt im Rahmen eines systematischen Evaluierungsteils jeweils zum Abschluss eines Workshops. Die Teilnehmer geben dafür eine qualitative Bewertung zu der technischen und wirtschaftlichen Wertigkeit der entwickelten Produktkonzepte sowie zur Anwendbarkeit der Methode ab. Die für die Durchführung benötigten Daten werden vom Unternehmen uneingeschränkt zur Verfügung gestellt. Für die Beschreibung der Fallstudie werden die Daten in den folgenden Abschnitten aus Geheimhaltungsgründen jedoch abgewandelt wiedergegeben.

5.2 Durchführung der Fallstudie

Die Beschaffenheit der in Abschnitt 4.4 vorgestellten Eingangsinformationen ermöglicht prinzipiell eine eigenständige Anwendung der entwickelten Methode. Bei den als sogenannte Eingangsschnittstelle zum PKT-Ansatz zusammengefassten Daten handelt es sich um herkömmliche Produktinformationen, wie die Produktstruktur oder die Variantenvielfalt, die im Rahmen einer Anpassungskonstruktion verfügbar sind. Um zu zeigen, dass der Integrierte PKT-Ansatz durch spezifische Aspekte erweitert werden kann, erfolgt die Anwendung der entwickelten Methode zur montagegerechten Produktstrukturierung innerhalb der produkt-

strategischen Modularisierung. Im Folgenden wird zu Beginn der betrachtete Gegenstand der Fallstudie vorgestellt. Den Hauptteil bildet die Beschreibung der Anwendung der Methode. Die dabei durchgeführte Entwicklung von montagegerechten Produktstrukturen für die Kettensägen-Produktfamilie gliedert sich nach der in Kapitel 4 entwickelten Vorgehensweise. Die Beschreibung der Anwendung erfolgt dabei entsprechend der Einbettung der Methode in den Integrierten PKT-Ansatz.

5.2.1 Anwendungsfall

Betrachtungsobjekt der Fallstudie ist eine bestehende Produktfamilie von motorbetriebenen, handgeführten Kettensägen. Die grundlegende Ausrichtung des angebotenen Produktspektrums orientiert sich an den Nutzungsszenarien. Es haben sich dabei die grundsätzlichen Anwenderklassen vom Einsteigermodell in einfacher Ausführung und geringem Funktionsumfang über die fortgeschrittene Nutzung bis hin zum professionellen Modell etabliert. Die angebotenen Produktlinien ergeben sich aus den entsprechenden Abstufungen dieser Kategorien, wobei sich die Modelle vor allem in den Aspekten Leistungsfähigkeit, Gewicht sowie Lebensdauer unterscheiden. Weitere Varianz resultiert beispielsweise aus länderspezifischen gesetzlichen Bestimmungen sowie individuellen Anforderungen von Großkunden. Die Produkte werden primär zum Schneiden von Holz, beispielsweise bei Baum- bzw. Waldarbeiten, verwendet. Die Primärfunktion des Schneidens wird durch eine das Schneidblatt umlaufende Sägekette realisiert. Diese wird über einen Motor angetrieben. Die Antriebseinheit sowie sämtliche weitere Peripherie sind in einem Gehäuse zusammengefasst. Für die Bedienung sind entsprechende Griffe und Hebel vorgesehen.

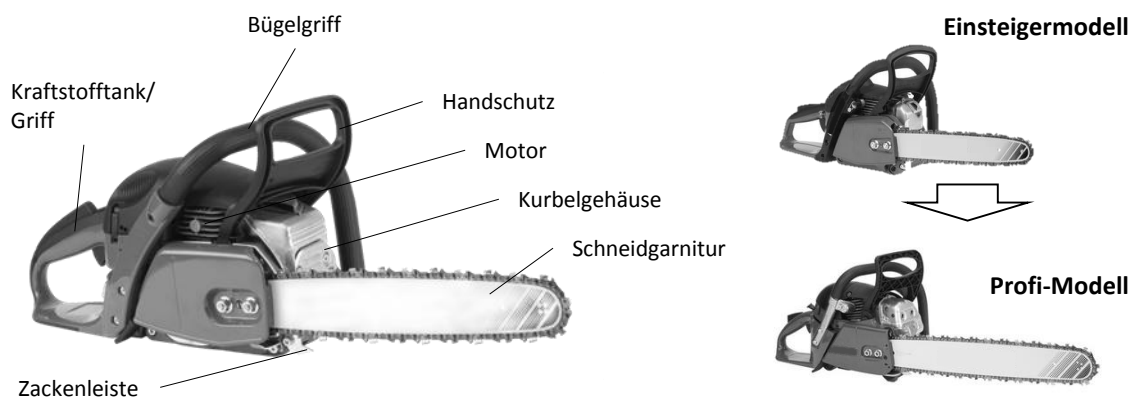


Bild 5-1: Übersicht des Produktaufbaus von Kettensägen

5.2.2 Zieldefinition

Im ersten Workshop erfolgt eine umfangreiche Vorstellung der Methode und des praktischen Vorgehens für die Zusammenarbeit an dem vorliegenden Fallbeispiel. Anschließend werden die in den folgenden Absätzen vorgestellten Ziele für die Entwicklung einer neuen Produktstruktur der Kettensägen festgehalten. Die Ziele sind allgemein formuliert. Quantifizierende Ausprägungen sind nicht verfügbar.

Die Produktion der Kettensägen unterliegt nachfragebedingten Schwankungen. Die Produktionsmenge wird daher regelmäßig angepasst. Deshalb ist es ein Ziel der montagegerechten

Produktstrukturierung, die Mengenflexibilität zu erhöhen, um effizient auf die Schwankungen reagieren zu können.

Die Produktion der aktuellen Produktfamilie ist nach dem Prinzip des Ein-Stück-Flusses aufgebaut. Dieser Form der Montagegestaltung wird ein hoher Effizienzgrad zugesprochen. Durch die Umstellung auf das Prinzip der Fließfertigung soll hingegen die Möglichkeit geschaffen werden, eine Erhöhung der Ausbringungsmenge durch entsprechenden Ressourcenaufwand zu erreichen. Daraus ergibt sich das Ziel, die Voraussetzungen für die Umgestaltung der Produktion bereits in der Produktstruktur abzubilden.

Die Anpassung der Produktionsmenge hat direkten Einfluss auf die Anzahl der Mitarbeiter im Montagesystem. Eine temporäre Erhöhung der Produktionsmenge erfordert den Einsatz zusätzlichen Personals. Dabei wird auf Leiharbeitskräfte zurückgegriffen.

Die zu entwickelnde Produktstruktur soll die Voraussetzungen für einen Montageablauf schaffen, der eine Separierung von aufwendigen und einfachen Tätigkeiten ermöglicht. Bei hohen Produktionsraten werden die unternehmenseigenen Fachkräfte für die aufwendigen und anspruchsvollen Tätigkeiten eingesetzt. Die einfachen Tätigkeiten werden von Leiharbeitern ausgeführt. Durch diese Aufteilung der Tätigkeiten nach Schwierigkeitsgrad wird eine Reduzierung des Einarbeitungsaufwands und der Fehlerrate im Vergleich zu einem universellen Einsatz der zusätzlichen Kräfte erwartet.

Die Montagesysteme sind überwiegend auf die Herstellung einzelner Varianten der Produktfamilie ausgerichtet. Dementsprechend müssen sämtliche Betriebsmittel in einer Linie vorgehalten werden. Für die Ausführung einiger spezieller Montagefähigkeiten werden aufwendige Ressourcen benötigt. Um eine optimale Auslastung dieser aufwendigen Betriebsmittel zu unterstützen, soll ein variantenübergreifender Einsatz realisiert werden.

Des Weiteren ist die Produktstruktur dahingehend zu gestalten, dass eine Reduzierung der Durchlaufzeiten der Varianten sowie eine Erhöhung der allgemeinen Prozesssicherheit erreicht werden.

Im Sinne der in Abschnitt 4.2 aufgestellten Liste werden im vorliegenden Fallbeispiel die folgenden Ziele mit der montagegerechten Produktstrukturierung verfolgt:

- Reduzierung der Durchlaufzeiten,
- Steigerung der Prozesssicherheit,
- Optimierung der Betriebsmittelauslastung,
- Steigerung der Mengen- und Mitarbeiterflexibilität.

5.2.3 Ist-Aufnahme

5.2.3.1 Erfassung der externen Vielfalt

Das am Markt angebotene Variantenspektrum bildet die externe Vielfalt der Kettensägen-Produktfamilie. Die Informationsgrundlage für die Analyse bilden die Händlerkataloge, in denen sämtliche Varianten der Produktfamilie beschrieben sind. Auf dieser Basis und in Zu-

sammenarbeit mit Vertretern des Produktmanagements und –marketings werden die folgenden kundenrelevanten Eigenschaften formuliert.

Motorleistung: Es werden zehn verschiedene Motorkonfigurationen angeboten, die sich hinsichtlich Antriebsleistung und Hubraum unterscheiden. Das Sortiment umfasst dabei Motoren mit einer Leistung von 1,35 kW und 32 cm³ bis zu 4,3 kW und 78,5 cm³.

Schneidgarnitur: Die Schneidgarnituren werden in 14 verschiedenen Varianten angeboten. Dabei variiert die Schnittlänge von 33 cm bis zu 70 cm. Zusätzlich werden unterschiedliche Sägekettenteilungen angeboten, die unterschiedliche Radien an der Schienenspitze ermöglichen.

Bauweise des Kurbelgehäuses: Die Ausführung des Kurbelgehäuses hat direkten Einfluss auf die Lebensdauer der Kettensäge. Es werden drei Varianten angeboten. Bei zwei Varianten sind das Kurbelgehäuse und der Öltank als Integralbauteil ausgeführt, wobei entweder Magnesium oder Aluminium als Werkstoff verwendet werden. Die dritte Variante ist in Differentialbauweise ausgeführt.

Leerlaufschmierung: Es besteht die Option, dass auch im Leerlauf der Kette Schmieröl zugeführt wird. Die Leerlaufschmierung ist in zwei Ausprägungen, mit oder ohne Kettenölförderung, verfügbar.

Werkzeuglose Filterwartung: Während des Betriebs der Kettensäge kann es zu Verunreinigungen des Luftfilters kommen. Durch die optionale werkzeuglose Filterwartung können diese Verunreinigungen direkt im Betrieb vom Bediener behoben werden.

Werkzeugloser Kettenwechsel: Analog zur Filterwartung kann ein werkzeugloser Wechsel der Sägekette integriert werden.

Starthilfe: Für die Unterstützung des Anlassens stehen verschiedene Prinzipien zur Verfügung. Es handelt sich dabei um eine Federunterstützung, eine Verringerung des Kompressionswiderstands mittels eines Dekompressionsventils, eine manuellen Kraftstoffpumpe oder einen Kraftspeicher, der das Wiederanlassen erleichtert. Die angebotenen Varianten können keine, eine oder mehrere der verfügbaren Optionen enthalten.

Optimierter Spanauswurf: Die konstruktive Optimierung des Spanauswurfs trägt durch die Vermeidung von Verstopfungen dazu bei, den Bedienkomfort zu erhöhen. Diese Eigenschaft wird optional angeboten.

Griffkomfort: Die Bedienelemente sind wahlweise aus Kunststoff oder Aluminium ausgeführt. Außerdem unterscheiden sich die Dämpfungsfedern, mit denen die Griffe im Gehäuse gelagert sind. Die Metallgriffe können darüber hinaus optional beheizt werden.

Abgasreduzierung: Zur Reduzierung der Schadstoffe im Abgas stehen zwei Optionen zur Verfügung. Zum einen können Katalysatoren integriert werden. Zum anderen sind Technologien zur Optimierung der Gaswechsel im Verbrennungsmotor verfügbar.

Handhabungsunterstützung: Die Zackenleiste ermöglicht eine auf der Hebelwirkung basierende Sägetechnik. Neben dieser funktionalen Eigenschaft suggeriert ihre Optik Stärke und Qualität. Es sind drei Varianten verfügbar.

Luftfilter: Die Wahl des Luftfilters richtet sich nach den jeweiligen Einsatzbedingungen. Die Varianz liegt zum einen in dem verwendeten Material, Nylon oder Flies, zum anderen in der Beschaffenheit der Filterstruktur, engmaschig oder normal.

Einhebelbedienung: Für eine optimale Ergonomie in der Bedienung ist eine Funktion optional verfügbar, bei der Kaltstart, Betrieb und Stopp über ein einziges Bedienelement gesteuert werden können.

In der folgenden Abbildung ist ein Ausschnitt des Vielfaltbaums mit den kundenrelevanten Eigenschaften und zugehörigen Ausprägungen dargestellt. Das vollständige Schaubild ist in Anhang D1 aufgeführt. Die Produktvarianten unterscheiden sich primär hinsichtlich der geometrischen Dimensionen entsprechend einer Baureihenabstufung, wie beispielsweise die Schneidgarnitur oder der Motorhubraum, sowie hinsichtlich des enthaltenen Funktionspektrums, wie Griffheizung oder Starthilfe, die optional verfügbar sind. Darüber hinaus existieren Produktkomponenten mit vergleichbarer Funktion aber abweichender technischer Gestaltung, wie im Falle der Kaltstarthilfe, dem sogenannten Primer. Für diese Form der Varianz ist eine Vereinheitlichung der betroffenen Komponenten zu prüfen. Für per se variante Komponenten ist eine Vereinheitlichung der zugehörigen Montageprozesse anzustreben.

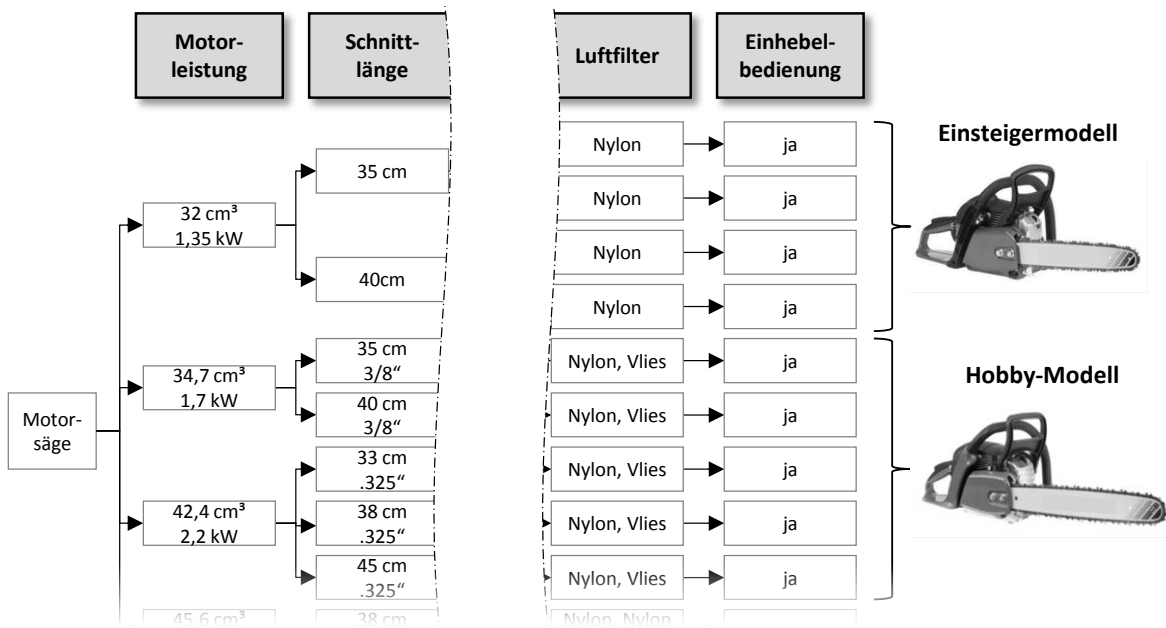


Bild 5-2: Ausschnitt des Vielfaltbaums der Kettensägen-Produktfamilie (siehe Anhang D1)

5.2.3.2 Erfassung der Produktstruktur

Die Aufnahme der internen Vielfalt konzentriert sich im vorliegenden Fall auf die Komponenten der Produktfamilie sowie deren Schnittstellen. In Zusammenarbeit mit den Vertretern des Produktmanagements und auf Basis entsprechender Produktdaten wird die Komponentenvielfalt erfasst und in Form des Module Interface Graphs (MIG) graphisch aufbereitet.

Der in Bild 5-3 dargestellte MIG ist zweiteilig aufgebaut. Den Hauptteil bildet die Darstellung der gesamten Kettensäge. Der Detailausschnitt zeigt eine Schnittdarstellung auf Höhe des Kurbelgehäuses (KÖ). Wie im MIG dargestellt, wird die Kurbelwelle (KW) vom Motor (M) angetrieben und überträgt die mechanische Leistung an die Fliehkraftkupplung (FK), die Öl-

pumpe (ÖP) sowie das Polrad (PR). Über die Bewegung des Handschutzes (HS) wird die Kettenbremse (KB) betätigt, welche dem System im Auslösungsfall Bewegungsenergie entzieht. Zum Starten des Motors kann über die Anwerfvorrichtung (AV) mechanische Energie in das System eingebracht werden.

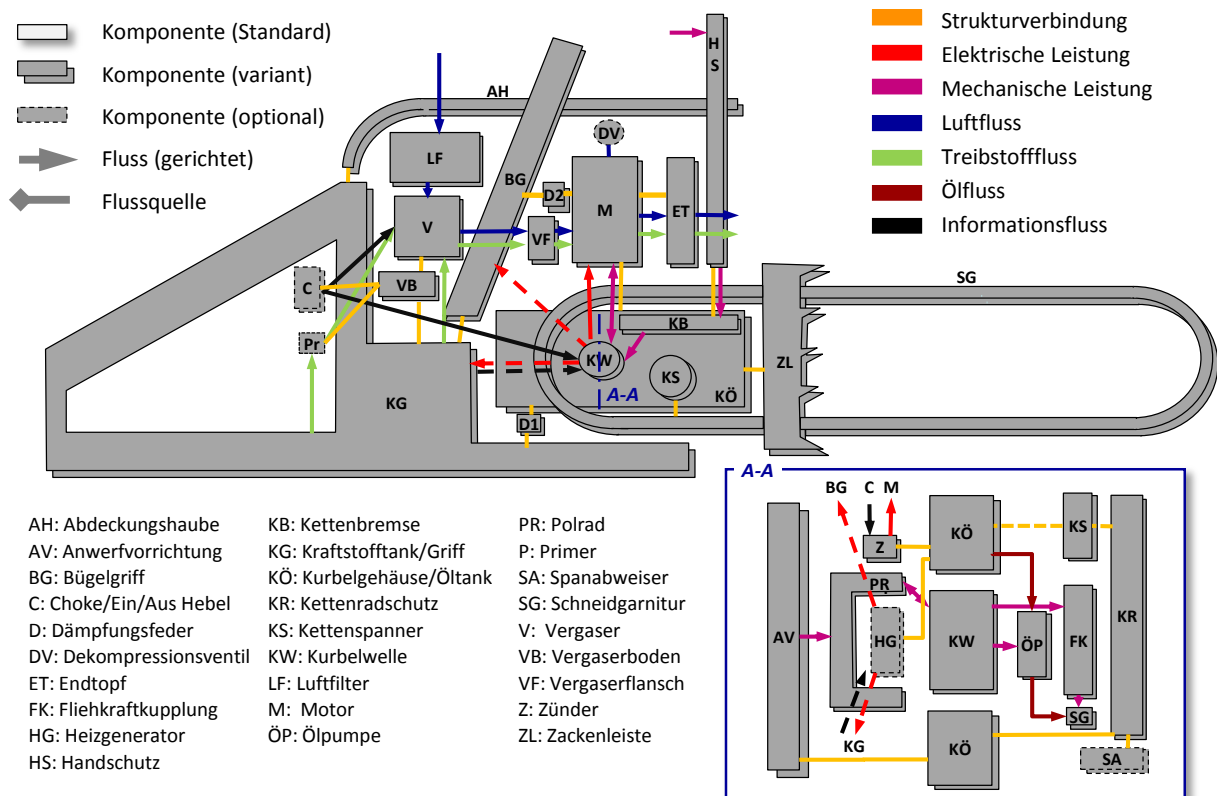


Bild 5-3: Module Interface Graph (MIG) der Kettensägen-Produktfamilie

Die Bewegung des Polrads wird vom Zünder (Z) in elektrische Energie umgewandelt und zum Motor geführt und den Verbrennungsprozess mittels des entstehenden Zündfunken initiiert. Der notwendige Treibstoff fließt vom Kraftstofftank (KG) in den Vergaser (V) und wird dort mit Luft vermischt. Die Luft wird der Umgebung entnommen und strömt durch einen Luftfilter (LF) in den Vergaser (V). Das Gemisch wird durch den Vergaserflansch (VF) in den Motor geleitet und nach dem Verbrennungsprozess durch den Endtopf (ET) ausgestoßen. Zur Erleichterung des Anlassens der Kettensäge können durch die optionalen Vorrichtungen in Form des Primers (P) und des Dekompressionsventils (DV) sowohl manuell Kraftstoff in den Vergaser als auch zusätzliche Luft in den Motor gefördert werden.

Die zur Steuerung der Motorleistung erforderliche Information für den Zünder und den Vergaser wird über einen entsprechenden Hebel, der am Vergaserboden (VB) befestigt ist, in das System eingebracht. Die Steuerung des optionalen Heizgenerators (HG) erfolgt über einen Schalter am Kraftstofftank/Griff. Der Heizgenerator wandelt mechanische Leistung mittels des Polrads in elektrische Energie, die im Griff durch einen elektrischen Widerstand wiederum in Wärme gewandelt wird.

Das eigentliche Schneiden erfolgt durch die angetriebene Kette. Die Schneidgarnitur (SG) ist dafür über eine Fliehkraftkupplung mit dem Antriebsstrang verbunden. Für die Schmierung wird Öl aus dem Kurbelgehäuse/Öltank mithilfe einer Pumpe zur Schneidgarnitur gefördert.

5.2.3.3 Aufnahme des Montageprozesses

Die Informationen zu den Montageabläufen der aktuellen Produktfamilie entstammen einer direkten Begleitung der Prozesse in der Produktion. Die Analyse wird durch Planungsdaten aus der Arbeitsvorbereitung ergänzt. Es liegt der im Folgenden beschriebene Montageprozess vor.

Im aktuellen Montagesystem wird die Montage einer vollständigen Einheit von einem Produktionsmitarbeiter begleitet. Es können sich mehrere Mitarbeiter gleichzeitig im Montagesystem befinden. Die Arbeitsstationen sind nach den jeweiligen Tätigkeiten gestaltet und in räumlicher Nähe angeordnet. Eine Taktung der Arbeitsschritte liegt nicht vor, und die Abfolge der Tätigkeiten kann im möglichen Rahmen frei gestaltet werden. Deshalb kann es zu unterschiedlichen Ausbringmengen je Mitarbeiter kommen.

Aufgrund der spezifischen technischen Realisierung des integrierten Kurbelgehäuses ist die Komponente Kurbelgehäuse/Öltank die zentrale Komponente in der Montage. Der gesamte Zusammenbau beginnt daher mit dem Verpressen der beiden Gehäusehälften mit der Kurbelwelle, da ein Großteil der weiteren Füge­­tätigkeiten erst im Anschluss durchgeführt werden kann. Der Anbau diverser weiterer Komponenten kann flexibel gestaltet werden. So werden Kettenbremse, Handschutz, Ölpumpe, Fliehkraftkupplung, Zackenleiste sowie Kettenradschutz mit Spanabweiser an einer der zwei Außenseiten des Kurbelgehäuses montiert. Auf der anderen Außenseite werden der Heizgenerator, das Polrad, der Zünder und abschließend die Anwerfvorrichtung angebracht. Das Verbinden des Motors mit dem Kurbelgehäuse stellt den zeitlich aufwendigsten Montageschritt dar. Vor der eigentlichen Verschraubung müssen beide Fügepartner genau zueinander ausgerichtet werden. Zusätzlich sind Dichtungselemente einzubringen. Darüber hinaus werden noch weitere Motorperipheriekomponenten sowie die Griffe mit entsprechenden Schwingungsdämpfern und die Abdeckhaube montiert.

Neben den Füge­­tätigkeiten werden bauteil- und funktionsspezifische Prüftätigkeiten, wie die Sicherstellung der Dichtigkeit des Öltanks und der Schnittstelle zwischen Motor und Kurbelgehäuse, durchgeführt. Des Weiteren erfolgt ein Funktionstest der Kettenbremse. Sowohl die Prüftätigkeiten als auch die Durchführung spezieller Füge­­tätigkeiten benötigen jeweils spezielle Betriebsmittel.

Zur Dokumentation des Montageprozesses werden die beobachtete Sequenz des Zusammenbaus der Komponenten und die zugehörigen Zeitmessungen in die in Anhang D2 abgebildete Fügematrix übertragen. Die weiteren montagerelevanten Informationen wie die durchgeführten Montagetätigkeiten und verwendeten Betriebsmittel werden in der im folgenden Abschnitt erstellten iPAS-Darstellung aufgeführt.

5.2.4 Erstellung der Integralen Produkt- und Montagestruktur

Mit den Informationen zum Aufbau der Produktstruktur, dem Ablauf der Montage­­tätigkeiten sowie den weiteren Montagedaten wird die integrale Produkt- und Montage­­struktur (iPAS) erstellt. Bild 5-4 zeigt die vereinfachte Variante des iPAS für die Kettensägen-Produktfamilie. Das detaillierte Diagramm ist in Anhang D4 aufgeführt. Die im Folgenden beschriebenen Aspekte zur Charakterisierung der Montagegerechtheit sind im Text und im Schaubild markiert.

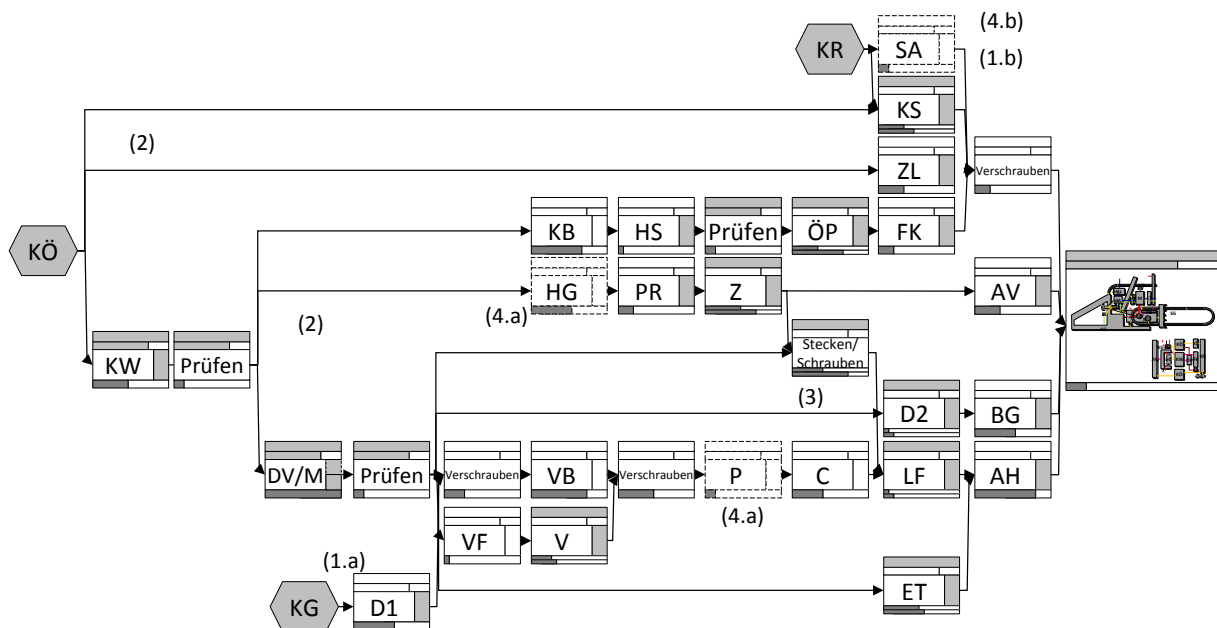


Bild 5-4: Übersicht des iPAS der Ausgangs-Produktfamilie (siehe Anhang D4)

Die Komponente Kurbelgehäuse/Öltank (KÖ) bildet aufgrund ihrer hohen Schnittstellenzahl die Basis für den Hauptstrang in der Montage. Die Nebenstränge ergeben sich aus der Entkopplung mehrerer Komponenten, die über eine Komponente mit dem restlichen Produkt verbunden sind. Eine derartige Konstellation entspricht dem charakteristischen Montageablauf einer Vormontage-Baugruppe, d.h. dem separaten Zusammenbau mehrerer Komponenten und anschließendem Einbringen des gesamten Verbunds in das Produkt. Dabei handelt es sich zum einen um die Komponente Kraftstofftank/Griff (KG), an welche die Dämpfungselemente (D) angebracht werden, bevor beide Komponenten in den Hauptprozessstrang eintreten (1.a). Zum anderen wird der Spanabweiser (SA) vorab auf den Kettenradschutz (KR) gesteckt (1.b).

Der Montageprozess ist durch diverse Zwangsfolgen und Abhängigkeiten geprägt. Besonders der hohe Kopplungsgrad der Komponente Kurbelgehäuse/Öltank (KÖ) führt zu mehreren Verzweigungen bereits zu Beginn des Prozesses. Die nachfolgenden Prozessstränge sind damit abhängig von den zuvor montierten Komponenten (2). Des Weiteren weichen die zeitlichen Aufwände der existierenden Baugruppen stark voneinander ab, so dass die Definition einer gleichmäßigen Taktung beeinträchtigt ist (z.B. 3). Die Montage einiger optionaler Komponenten ist nicht von der Montage von Standardkomponenten getrennt (4.a). Ein Beispiel für eine vom Hauptstrang separiert montierte Komponente ist der Spanabweiser (SA), der

mit der Basiskomponente Kettenradchutz (KR) und dem Kettenspanner vormontiert wird (4.b). Bild 5-5 zeigt schematisch zwei Ausprägungen der Charakteristik von Montageprozessen. Der Prozess auf der linken Seite ist geprägt von starken Verzweigungen, die aus einem hohen Kopplungsgrad der Komponenten resultieren können (a). Demgegenüber ermöglicht die Entkopplung von Komponenten die Vormontage von Modulen innerhalb unabhängiger Nebenstränge im rechts dargestellten Prozess (b).

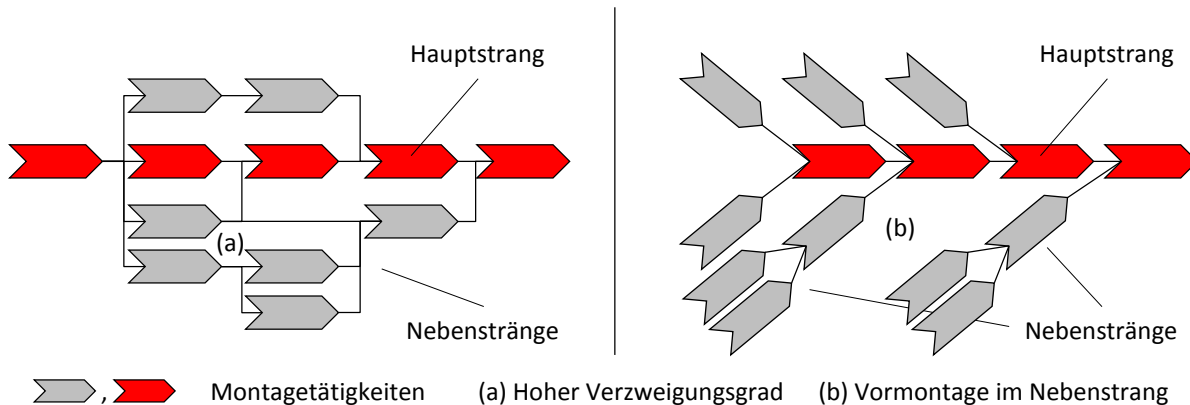


Bild 5-5: Gesamtheitliche Charakteristiken von Montageprozessen in Anlehnung an ABELE [Abe99]

Der vorliegende Prozess ist charakteristisch für das gegenwärtige Produktionsprinzip, bei dem sämtliche Tätigkeiten autonom von jeweils einem Mitarbeiter durchgeführt werden. Es sind daher keine maßgeblich negativen Auswirkungen durch den hohen Kopplungsgrad zu erwarten. Für die Umsetzung einer Linienmontage und die Reduzierung der Durchlaufzeiten ist der Kopplungsgrad jedoch zu hoch, um eine Parallelisierung von Tätigkeiten ermöglichen zu können.

5.2.5 Entwicklung montagegerechter Produktstrukturkonzepte

Der erstellte iPAS bildet die Grundlage für die Durchführung der Produktstrukturierung. Gemäß der in Abschnitt 4.6 vorgestellten Vorgehensweise werden Vorschläge für eine montageprozessorientierte Restrukturierung der bestehenden Produktstruktur entwickelt. Die formulierten Maßnahmenkarten werden in Zusammenarbeit mit den Produktexperten auf das iPAS-Modell angewendet. Das Ziel ist dabei, zu optimierende Prozessabschnitte und die zugehörigen Produktstrukturbereiche zu identifizieren. Darauf basierend werden technische Lösungsmöglichkeiten zur praktischen Umsetzung der Restrukturierung gesucht und deren technische Machbarkeit analysiert. Die im Folgenden beschriebenen Änderungen der Produktstruktur und des Montageablaufs der Kettensägen-Produktfamilie konzentrieren sich auf die Aspekte, die nach Bewertung der involvierten Produktexperten umgesetzt werden können.

Parallelisierung von Montageaktivitäten

Die Ziele bei der Umsetzung von Parallelisierung sind das Vermeiden von Zwangsfolgen sowie das sinnvolle Aufteilen des Produkts in als Baugruppen zu bezeichnende Module. Es ergeben sich die Bild 5-6 markierten Maßnahmen. In der gegenwärtigen Produktstruktur ist

werden. Das Modul besteht aus dem Vergaser (V), Vergaserflansch (VF), dem Primer (P) sowie dem Choke/Ein/Aus-Hebel (C), die auf dem Vergaserboden vormontiert werden (A.2).

Der Kettenspanner wird gegenwärtig sowohl am Kettenradschutz (KR) als auch am Kurbelgehäuse (KÖ) befestigt. Die strukturelle Verbindung zum Kurbelgehäuse bewirkt eine Zwangsfolge im Prozess. Durch Auflösen dieser Verbindung entsteht eine unabhängig vormontierbare Baugruppe, die sich aus Kettenradschutz (KR), Kettenspanner (KS) und Spanabweiser (SA) zusammensetzt (A.3).

Postponement von Varianz

Die Umsetzung der Postponement-Strategie beabsichtigt das späte Einbringen der variantenbildenden Komponenten in den Prozess. Darüber hinaus ist es das Ziel, die dafür benötigten Komponenten in Modulen zu separieren und somit die Montage in eine standardisierte Haupt- und die variantenbildende Nebenmontage zu trennen. Die spezifischen Maßnahmen am Fallbeispiel werden in Bild 5-7 aufgezeigt.

Eine Maßnahme ist die Auslagerung der varianten Komponenten Kettenspanner (KS) und Kettenradschutz (KR) in ein Modul mit separater Vormontage. Dafür ist die strukturelle Schnittstelle zwischen Kettenspanner und Kurbelgehäuse/Öltank (KÖ) dahingehend zu ändern, dass die Montage entkoppelt wird (B.4).

Die optionale Komponente Primer (P) wird gegenwärtig bereits im frühen Prozessabschnitt montiert. Um die Montage des Primers aus der Hauptmontagelinie zu lösen, wird die Schnittstelle zum Vergaserboden (VB) aufgelöst und zu der Komponente Kraftstofftank/Griff (KG) verlagert. In Verbindung mit dem Dämpfungselement (D1) wird ein separates Modul gebildet (B.1).

Die Analyse des Prozessabschnitts und der Produktstruktur ergibt, dass der Heizgenerator (HG) erst unmittelbar vor der Anwerfvorrichtung (AV) montiert werden kann. Dadurch wird erreicht, dass die Montage der optionalen Komponente später erfolgt (B.3). Um den Standardisierungsgrad der Hauptmontage zu erhöhen, wird die Montage des Vergasers (V) auf einen späteren Zeitpunkt verschoben. Dafür müssen die Schnittstellen des Vergasers so ausgelegt werden, dass eine direkte Verbindung mit Choke (C) und Luftfilter (LF) erreicht wird (B.2).

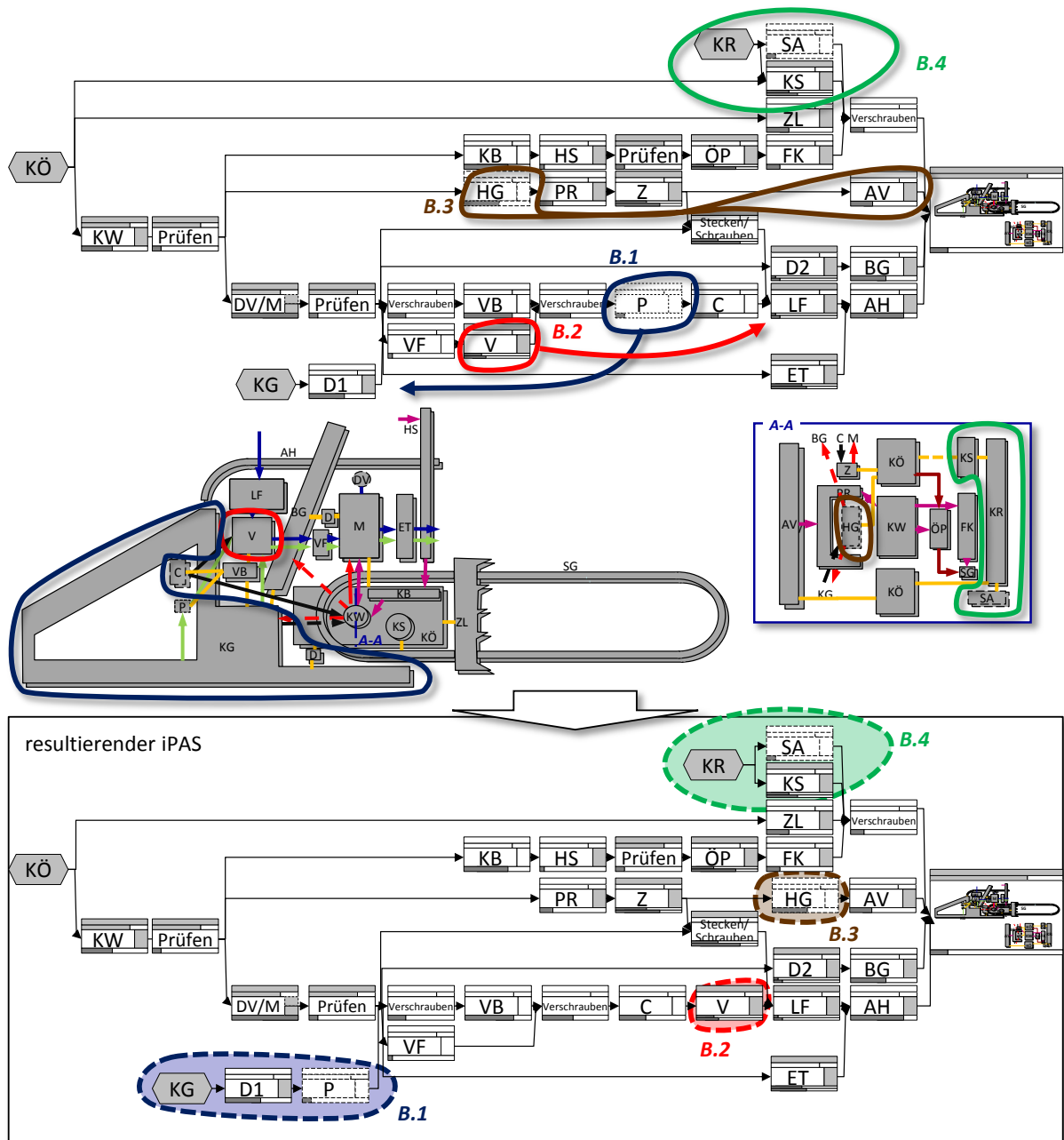


Bild 5-7: Postponement von Varianz

Kommunalisierung von Montagetätigkeiten

Zur Steigerung der Kommunalität von Prozessen gilt es, die Produktstruktur und Beschaffenheit der Komponenten derart zu modifizieren, dass die gegenwärtigen Prozesse zukünftig in Form von variantenrobusten Tätigkeiten durchgeführt werden können. Die in Bild 5-8 markierten Maßnahmen werden im Folgenden vorgestellt.

Im Falle des varianten Kettenspanners (KS) ist der beabsichtigte Zustand durch eine über die Produktfamilie standardisierte Verwendung der Komponente zu erreichen. In dem Zusammenhang wird die Komponente vom Kettenradschutz (KR) entkoppelt (C.5). Dadurch bilden der Kettenradschutz und der Spanabweiser (SA) ein separates Modul (C.6).

Eine weitere kommunale Verwendung ist für die variante Komponente Zünder (Z) vorgesehen. Die verfügbaren Motoren der Produktfamilie erfordern Zünder mit spezifischen Eigenschaften. Diese technisch notwendige Varianz kann jedoch ebenfalls durch entsprechende Anpassung der Softwareeinstellung der Steuereinheit realisiert werden. Damit wird die Möglichkeit erreicht, dieselbe gegenständliche Komponente für die gesamte Produktfamilie zu verwenden. Die Zünder unterscheiden sich dadurch äußerlich nicht und können auf dieselbe Art und Weise montiert werden (C.4).

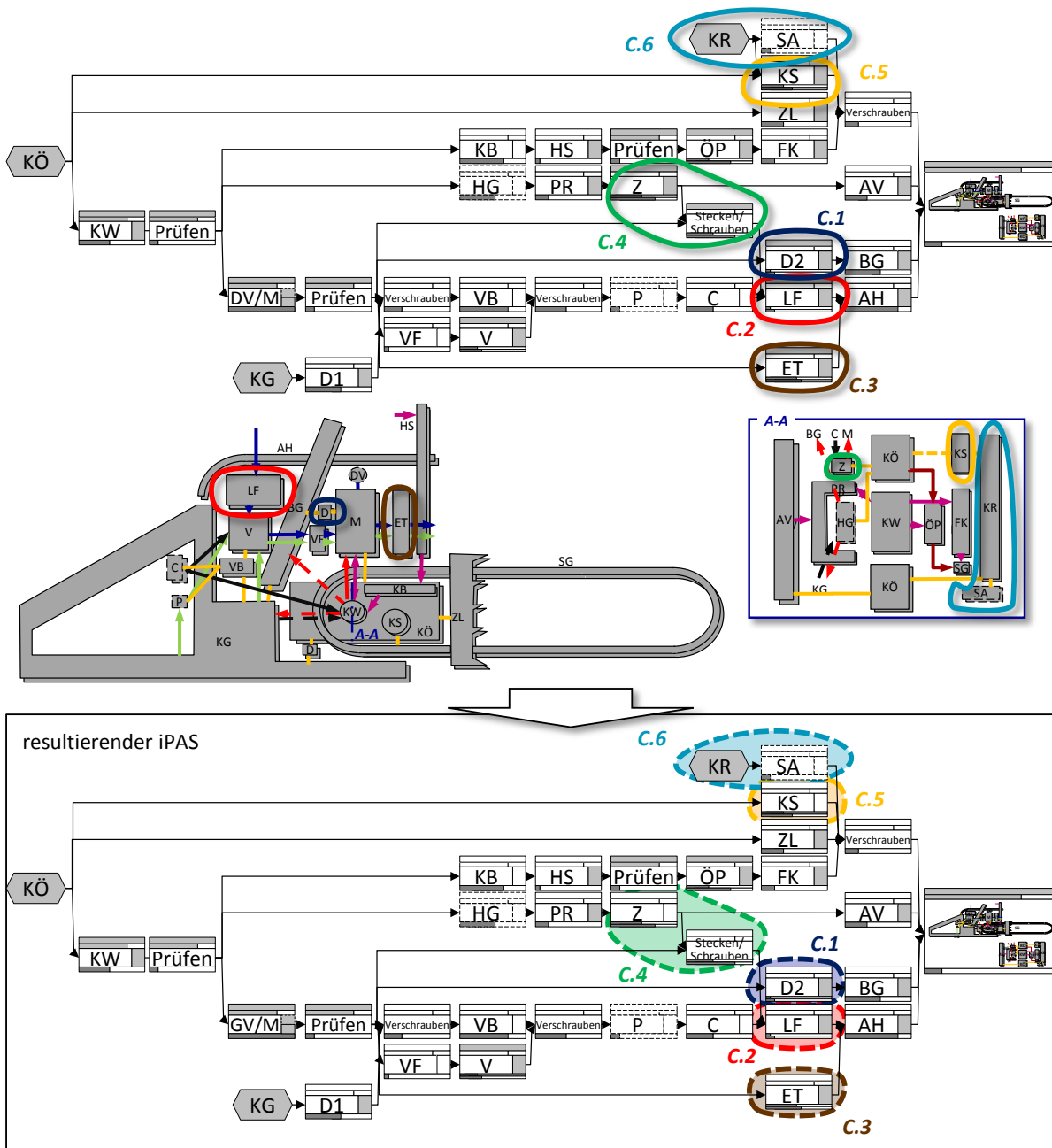


Bild 5-8: Kommunalisierung von Montagetätigkeiten

Im Falle weiterer Komponenten sind Form und Funktion direkt voneinander abhängig, weshalb die Komponentenform nicht vereinheitlicht werden kann. So ist beispielsweise bei staubiger Umgebung ein größerer Luftfilter zu verwenden als bei Normalbedingungen. In

diesem Fall ist jedoch die Möglichkeit zur Anpassung der Schnittstellen zu analysieren, um variante Komponenten mit einer standardisierten Tätigkeit montieren zu können. Damit wird eine Kommunalisierung der Montageprozesse für das Fügen des Dämpfungselements (D1) (C.1), des Luftfilters (LF) (C.2) und des Endtopfes (C.3) durch entsprechende Vereinheitlichung der Schnittstellen sowie der Gestaltung der relevanten Komponentenbereiche über die gesamte Produktfamilie erreicht.

Optimierung der Betriebsmittelauslastung

Produktstrukturierungsmaßnahmen zur Optimierung der Betriebsmittelauslastung umfassen die Separierung von Spezialtätigkeiten, die Abstimmung der Tätigkeitsumfänge und die Gruppierung gleichartiger Tätigkeiten.

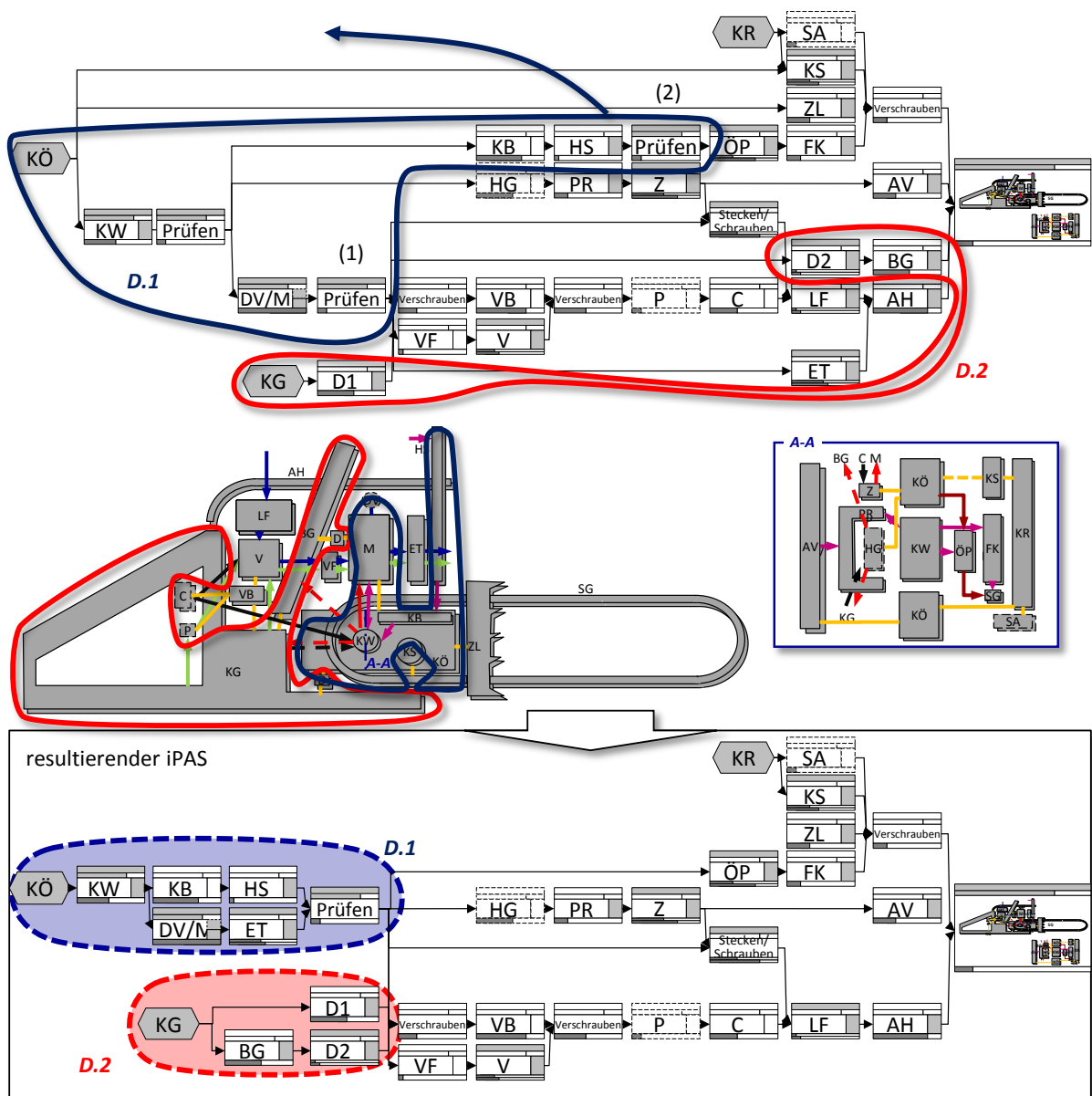


Bild 5-9: Optimierung der Betriebsmittelauslastung

Wie in Bild 5-9 ausgewiesen konzentrieren sich die Maßnahmen im vorliegenden Fall auf ein Herauslösen von Prüftätigkeiten aus der Hauptmontagelinie sowie auf die separate Verwendung aufwändiger Betriebsmittel. Durch die Prüfung vormontierter Module soll die Prozesssicherheit der Hauptlinie sichergestellt werden. Eine Separierung der Spezialtätigkeiten bietet die Möglichkeit, die notwendigen Betriebsmittel produktfamilienübergreifend einzusetzen.

Wie im iPAS hervorgehoben, beziehen sämtliche nötigen Prüftätigkeiten das Basisteil der Hauptmontagelinie mit ein und können erst nach dem Fügen der Kurbelwelle durchgeführt werden. Zusätzlich wird aufwändiges Prüfgerät benötigt. Durch Zusammenfassen der betroffenen Komponenten zu einem Modul können die relevanten Prüftätigkeiten in eine entsprechende Nebenmontagelinie ausgelagert werden (D.1). Die Maßnahme führt zu einer Reduzierung der Prüftätigkeiten, da im vorliegenden Fall nur noch das gesamte Modul geprüft werden muss. Zum anderen kann die Prüfvorrichtung produktfamilienübergreifend für alle Produkte mit integriertem Kurbelgehäuse zur Vormontage eingesetzt werden, und trägt damit zu einer weiteren Verbesserung der Auslastung bei.

Des Weiteren sollen die separat voneinander stattfindenden Einbautätigkeiten der Dämpferelemente direkt aufeinanderfolgend durchgeführt werden. Der entfallende Werkzeugwechsel führt so zu einer Verkürzung der Durchlaufzeiten. Dafür sind die Komponenten Kraftstofftank/Griff und der Bügelgriff zu einem Modul zusammenzufassen (D.2).

Integralbauweise von Komponenten

Mithilfe des iPAS-Diagramms werden die folgenden Komponenten als Kandidaten für eine integrale Bauweise identifiziert. Der Spanabweiser (SA) kann baulich in den Kettenradschutz (KR) integriert werden. In der betrachteten Bauweise bestehen die Komponenten aus verschiedenen Materialien, wie Metall und Kunststoff. Durch eine Änderung der Form des Kettenradschutzes kann die Funktion des Spanabweisers übernommen werden und es entsteht eine funktionsintegrierte Komponente (KR/SA), die nur noch aus einem der beiden Materialien besteht (E.2).

Eine weitere Möglichkeit zur Integralbauweise ergibt sich für die Komponenten Vergaserboden (VB) sowie Kraftstofftank/Griff (KG). Zwischen den beiden Komponenten liegt im Betrieb weder eine Relativbewegung vor, noch weichen die Materialanforderungen voneinander ab. Außerdem können sowohl sämtliche umliegende Teile ohne Demontage montiert werden als auch liegen beide Komponenten in derselben Variantenkonfiguration vor (E.1). Bild 5-10 markiert die für das Fallbeispiel identifizierten Komponenten zur Integralbauweise.

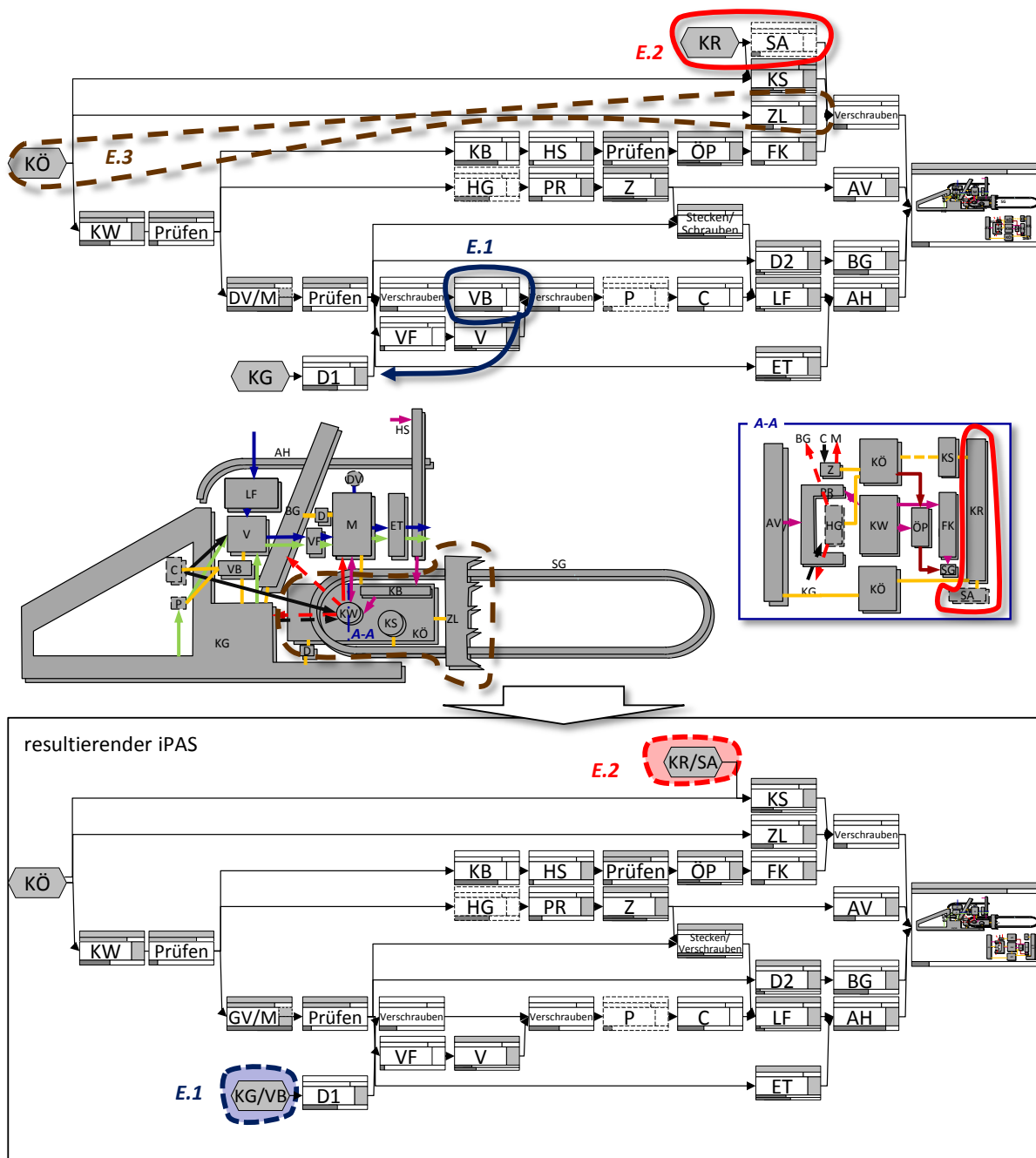


Bild 5-10: Integralbauweise von Komponenten

Ein Beispiel für die Notwendigkeit dieser in Abschnitt 4.6.5 formulierten Erweiterung des DFMA-Ansatzes um die Prüfung der Variantenkonfiguration zeigt die Untersuchung der Komponenten Kurbelgehäuse/Öltank (KÖ) und Zackenleiste (ZL). Die Überprüfung der drei herkömmlichen Voraussetzungen für Integralbauweise, Material, Relativbewegung und Montierbarkeit benachbarter Bauteile, ist positiv, was prinzipiell für eine integrale Ausführung spricht. Die zusätzliche Prüfung der Variantenkonfiguration ergibt jedoch, dass bei der Zackenleiste kundenrelevante Varianz vorgehalten werden muss. Die integrale Ausführung dieser beiden Komponenten wird daher nicht ausgeführt, da die Varianz der einen auf die zweite Komponente übertragen werden würde (E.3).

Zusammenführung der strategischen Aspekte

Die zuvor unter Anwendung der Maßnahmen definierten Produktstrukturkonzepte weichen voneinander ab und müssen dementsprechend aufeinander abgestimmt werden. Wie in Abschnitt 4.6.7 vorgesehen, werden dazu die verschiedenen Modulkonfigurationen hinsichtlich der jeweiligen Komponentenzuordnung grafisch dargestellt. Bild 5-11 zeigt einen Ausschnitt des resultierenden Schaubilds. Die vollständige Grafik ist in Anhang D5 aufgeführt. Das Schaubild unterstützt die Kompromissfindung zwischen den verschiedenen Sichten und damit die Festlegung eines gemeinsamen Produktstrukturkonzepts.

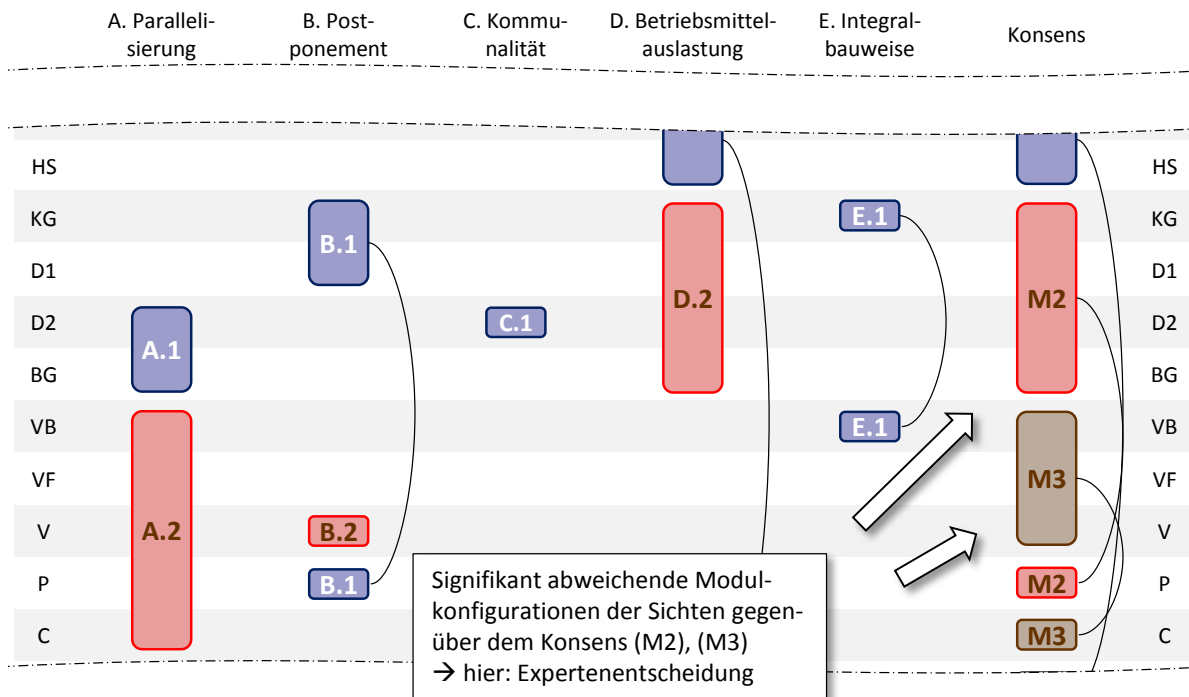


Bild 5-11: Ausschnitt des Schaubilds zur Abstimmung der Sichten (siehe Anhang D5)

Bild 5-11 zeigt, dass bei der Modulbildung für die Komponenten Kraftstofftank/Griff (KG), Dämpfer (D1,2), Vergaserboden (VB), Vergaserflansch (VF), Vergaser (V), Primer (P) und Choke/Ein/Aus-Hebel (C) die folgenden abweichenden Modulkonfigurationen vorliegen.

Im Sinne einer Parallelisierung sollen sämtliche Komponenten zusammengefasst werden, die an der Förderung des Kraftstoffs zum Motor beteiligt sind (A.2). Ein weiteres Modul (A.1) besteht aus dem Bügelgriff (BG) und Dämpfer (D2), mit dem eine separate Vormontage dieser Komponenten ermöglicht wird. Aus Sicht der Postponement-Strategie wird der Kraftstofftank/Griff (KG) mit dem Dämpfer (D1) und dem Primer (P) zu einem Modul zusammengefasst (B.1). Die Umsetzung der Integralbauweise wiederum fasst den Kraftstofftank/Griff mit dem Vergaserboden zusammen (E.1).

Nach Abstimmung mit den Produktexperten fällt die Entscheidung für die Konzeptvariante aus Sicht der Betriebsmittelauslastung. Der darin definierten Modulkonfiguration wird entsprechend der anfänglichen Zieldefinition der Vorzug gegeben (M2). Für die Vergaserkomponenten (V),(VB),(VF),(C) wird ein Kompromiss zwischen den konträren Sichten gefunden.

den, der durch eine entsprechend granularere Modulbildung gekennzeichnet ist. So wird ein Modul aus diesen direkt zum Vergaser gehörenden Komponenten gebildet (M3).

Eine alternative Vorgehensweise für die Konsensfindung ist die vorläufige Festlegung mehrerer Konzepte, die sämtliche abweichende Modulkonfigurationen abbilden. Diese werden anschließend separat bewertet. Das Bewertungsergebnis bietet daraufhin eine Entscheidungsbasis, vergleichbar mit einer herkömmlichen Nutzwertanalyse, für die endgültige Auswahl eines Konzepts.

Die im Folgenden beschriebene Abstimmung der Modulkonfigurationen bezieht sich auf das im Anhang D5 aufgeführte vollständige Schaubild. Im vorliegenden Fallbeispiel definiert die Maßnahme zur Optimierung der Betriebsmittelauslastung ein Modul (D.1) bestehend aus den Komponenten Kurbelgehäuse/Öltank (KÖ), Kurbelwelle (KW), Dekompressionsventil (DV), Motor (M), Kettenbremse (KB), Endtopf (ET) sowie Handschutz (HS). Die anderen Maßnahmen nehmen keinen Einfluss auf diese Komponenten. Daher bilden diese Komponenten das Modul (M1).

Die Komponenten Kettenspanner (KS), Kettenradschutz (KR) und Spanabweiser (SA) werden jeweils aus Sicht der Parallelisierung und des Postponements zu einem Modul zusammengefasst (A.3), (B.4). Die Maßnahmen zur Umsetzung von Prozess-Kommunalität separieren den Kettenspanner von den beiden anderen Komponenten (C.5/C.6). Die Integralbauweise verweist nur auf den Kettenradschutz und den Spanabweiser. Diese Form der Abweichung ist nicht direkt lösbar und bedarf der Bewertung der Produktexperten. Die Abstimmung führt zu der Festlegung des Moduls (M4).

Gemäß der Prozess-Kommunalität (C.2) wird das Komponentenmodul Luftfilter (LF) festgelegt. Aus der Postponement-Sicht (B.3) resultiert das Komponentenmodul Heizgenerator (HG).

Bild 5-12 zeigt den iPAS sowie den Module Interface Graph der optimierten Produktstruktur. Die entwickelte Produktstruktur ist geprägt von einem höheren Entkopplungsgrad ihrer Komponenten. So werden eine Vormontage der festgelegten Module und damit die Parallelisierung von Montagetätigkeiten ermöglicht. Optionale Komponenten können entweder aus dem Hauptprozessstrang gelöst und in Modulen separiert oder in spätere Prozessabschnitte verschoben werden.

Die Betrachtung des MIGs zeigt, dass die entwickelte Produktstruktur einen weiterhin relativ hohen Anteil von varianten Komponenten aufweist. Der Grund liegt hierfür in dem anfänglich weit gefassten Betrachtungsrahmen über die gesamte Produktfamilie. Die Varianz liegt vielfach in den geometrischen Abmessungen der Komponenten, die vergleichbar mit einer Baureihenabstufung per se voneinander abweichen. Die zugehörigen Montageprozesse sind in der finalen Produktstruktur jedoch variantenrobust gestaltet, so dass die Auswirkungen der Varianz auf den Prozess minimiert werden können.

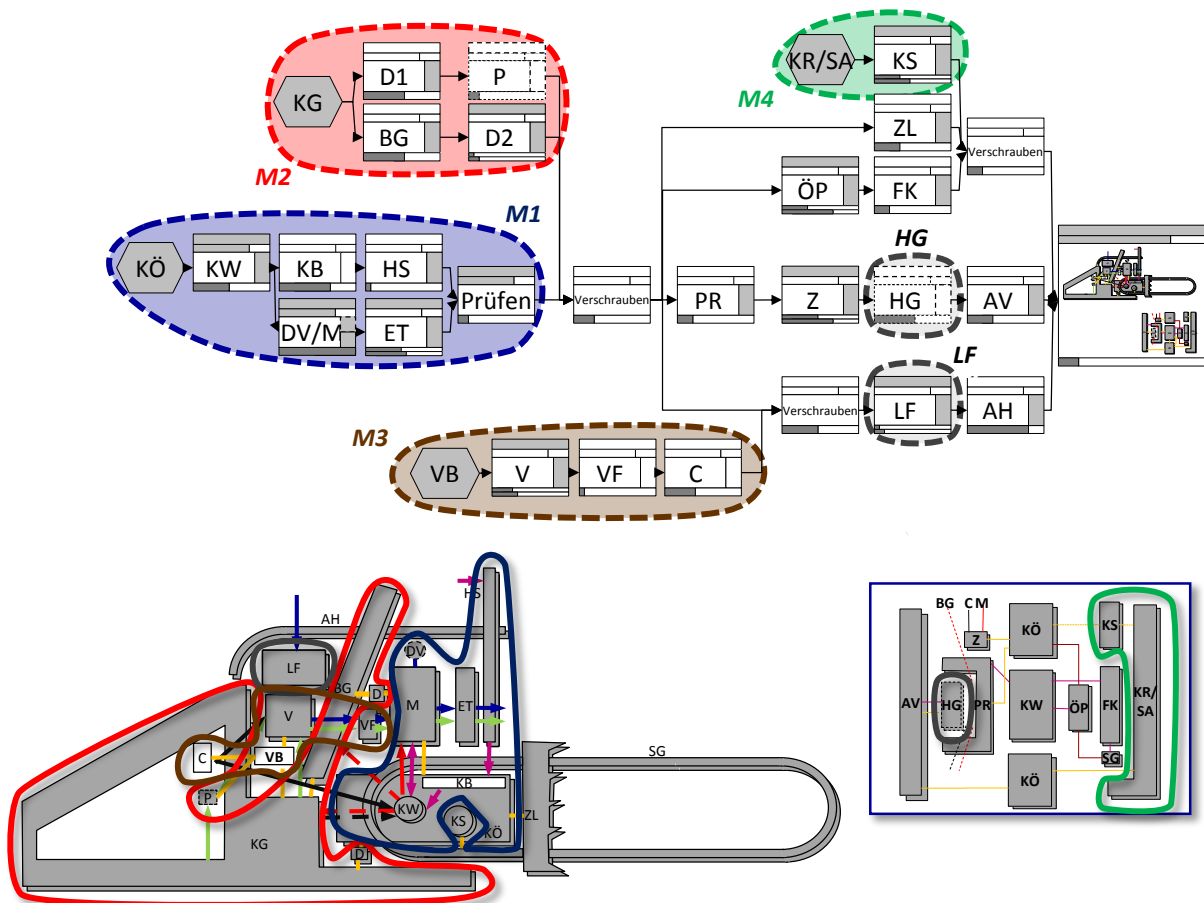


Bild 5-12: iPAS und Module Interface Graph der optimierten Produktstruktur

5.2.6 Bewertung der entwickelten Produktstruktur

Zur Bewertung der Montagegerechtheit werden Kennzahlen für das entwickelte Konzept und für die Ausgangsproduktstruktur berechnet und miteinander verglichen. Die Auswahl der Kennzahlen richtet sich nach den jeweiligen Strukturierungszielen. Wie in Abschnitt 5.2.2 beschrieben, handelt es sich im vorliegenden Fall um die Ziele *Reduzierung der Durchlaufzeiten*, *Steigerung der Prozesssicherheit*, *Optimierung der Betriebsmittelauslastung* sowie *Steigerung der Mengen- und Mitarbeiterflexibilität*. Der Zieldefinition entsprechend werden die folgenden Kenn- und Maßzahlen exemplarisch ausgewählt:

- Durchlaufzeit,
- Fehlerfreie Montage,
- Manual Assembly Efficiency Index,
- Maßzahl Kommunalität,
- Parallelisierungs-Index und
- Modul-Komponenten-Verhältnis

Die notwendigen Daten zur Kennzahlberechnung werden dabei, wie in Abschnitt 4.7.2 beschrieben, dem iPAS und dem MIG entnommen. Die Berechnung der Kennzahlen ist im Anhang D7 aufgeführt. Bild 5-13 zeigt die Visualisierung des Bewertungsergebnisses. Aufgrund

der geringen relativen Abweichungen der Ergebnisse werden die Werte in Form eines Balkendiagramms aufgetragen, um die Übersichtlichkeit sicherzustellen. Die jeweilige Optimierungsrichtung, d.h. bei welchem Wert eine Kennzahl als montagegerecht zu interpretieren ist, wird entsprechend gekennzeichnet.

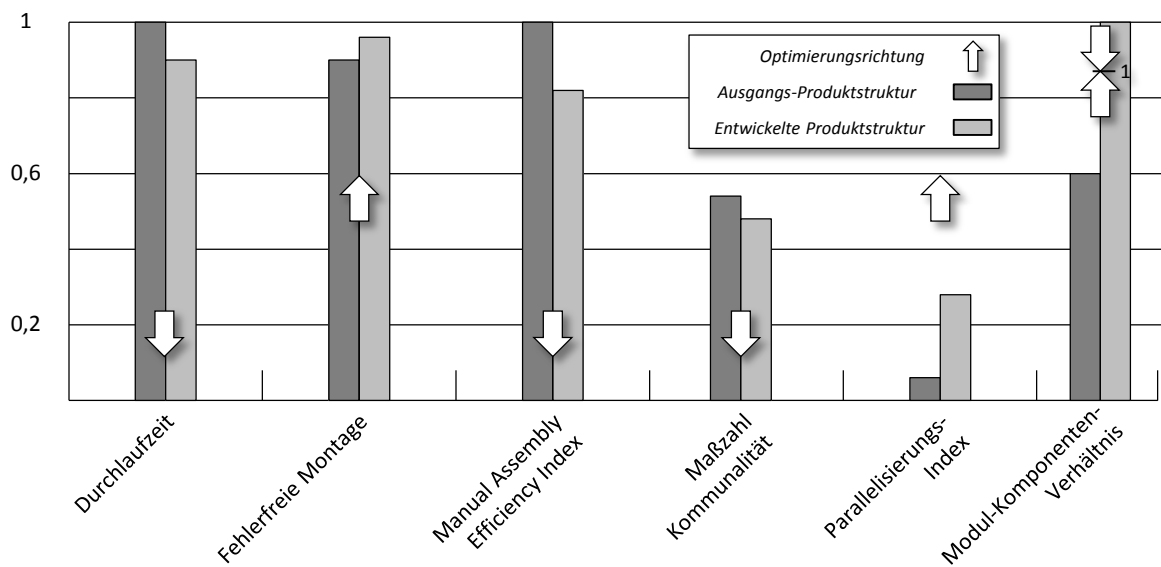


Bild 5-13: Kennzahlberechnung für die ursprüngliche und die entwickelte Produktstruktur

Der Konzeptvergleich anhand der Kennzahlen zeigt, dass besonders der Grad der Parallelisierung auf mehr als das Dreifache angehoben werden kann. Der Haupttreiber dafür ist die Separierung der Montageumfänge, die aufwendige Betriebsmittel benötigen, durch eine entsprechende Modulbildung. Dadurch können diese Ressourcen zum einen produktfamilienübergreifend eingesetzt werden, zum anderen ermöglicht diese Maßnahme eine eindeutige Trennung von Spezialisten- und Standardtätigkeiten, wodurch der Mitarbeiterereinsatz flexibilisiert und besonders auch bedarfsgerecht dimensioniert werden kann. Durch separates Testen am Ende der Vormontage der jeweiligen Module kann die Prozesssicherheit der Endmontage erhöht werden. Hinsichtlich der Durchlaufzeit wird lediglich eine relativ geringe Verkürzung des absoluten Wertes erreicht. Jedoch können die Verzweigungen im Montageprozess reduziert und damit eine separate Vormontage der Module ermöglicht werden.

Obwohl die Montage des Ausgangsprodukts bereits als sehr effektiv zu charakterisieren ist, kann eine weitere Reduzierung der Durchlaufzeit von ca. 10% erreicht werden. Dieser Umstand wird durch ein verbessertes Abstimmen der Arbeitsinhalte pro Modul begünstigt. Des Weiteren ist eine leichte Verbesserung der allgemeinen Montageeffizienz sowie der Prozesssicherheit festzustellen. Nach dieser Interpretation der Kennzahlen kann von einer generellen Erhöhung der Montagegerechtigkeit durch die entwickelte Produktstruktur ausgegangen werden.

5.2.7 Übergabe an den Integrierten PKT-Ansatz

Abschließend ist die entwickelte Produktstruktur in den Integrierten PKT-Ansatz zu übertragen. Die dafür benötigte Schnittstelle bildet der Netzplan, der zusammen mit den parallel entwickelten Produktstrukturkonzepten der anderen Produktlebensphasensichten in den Module Process Chart (MPC) überführt wird. Ein Ausschnitt des Netzplans aus Sicht der Montage ist in Bild 5-14 dargestellt. Die angewendeten Strukturierungsmaßnahmen bilden dabei die Modultreiber. Die dazugehörigen Modultreiberausprägungen ergeben sich analog aus den jeweiligen produkt- bzw. prozessspezifischen Anwendungen der Maßnahme. Die Produktfamilie besteht aus vier Modulen sowie zwei Komponentenmodulen, die sich aus 21 Komponenten zusammensetzen und sieben weitere Einzelkomponenten.

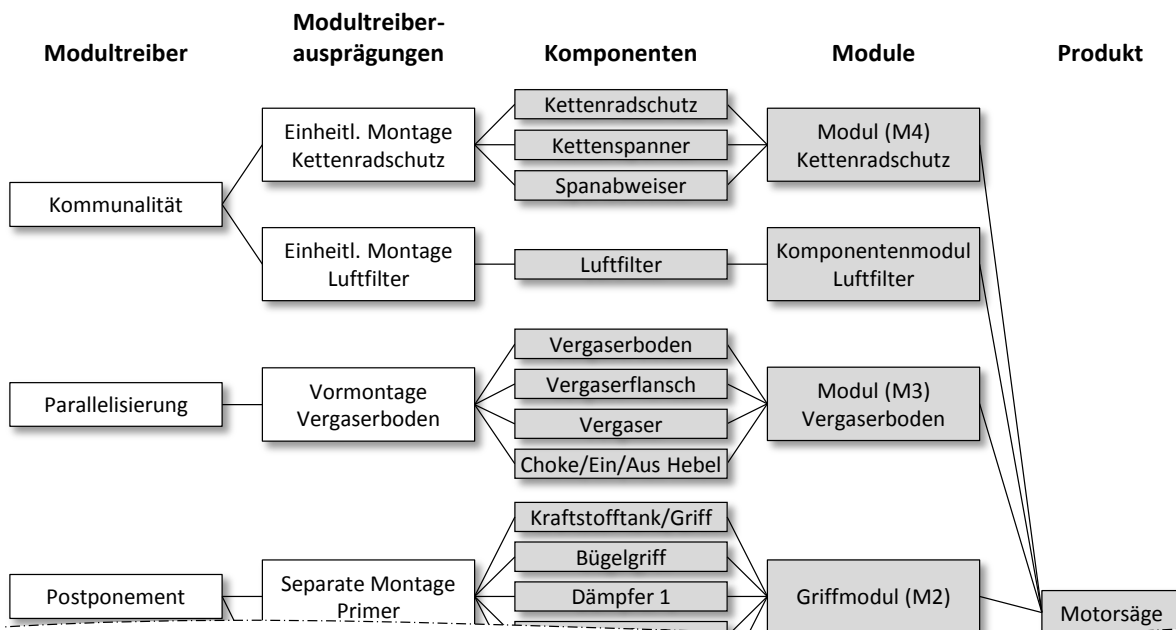


Bild 5-14: Ausschnitt Netzplan (vollständige Abbildung siehe Anhang D8)

Die Abstimmung mit den weiteren produktstrategischen Sichten erfolgt anhand des Module-Process-Charts (MPC). Wie in Abschnitt 3.2.3.8 beschrieben, zeigt diese Darstellung abweichende Modulkonfigurationen der einzelnen Sichten auf und stellt damit die Grundlage für die anschließende Lösungsfindung dar. Im vorliegenden Fall ist die Montage zwischen der Beschaffungs- und der Vertriebsphase angeordnet. Bild 5-15 zeigt einen Ausschnitt des MPC für die entwickelte Kettensägen-Produktfamilie. Die vollständige Abbildung ist in Anhang D9 aufgeführt. Die Produktstrukturen der weiteren Lebensphasen entstammen einer exemplarischen Anwendung des Integrierten PKT-Ansatzes im Rahmen der Fallstudie.

Mit der Vertriebsphase können gemäß der in Abschnitt 3.2.3.8 beschriebenen Methode keine Konflikte festgestellt werden. Es liegt ein durchgängiger Modularisierungsprozess vor. Die aus Vertriebsicht definierten Module setzen sich direkt aus den Modulen der Montagesicht zusammen. Die separaten Einzelkomponenten stimmen in beiden Sichten ebenfalls überein.

Zu der Beschaffungsphase ergibt sich die in Bild 5-15 markierte Konfliktsituation. Davon betroffen sind die Komponenten Kraftstofftank/Griff (KG), Primer (P), Vergaserboden (VB) sowie Choke/Ein/Aus (C), die als ein Beschaffungsmodul aufgrund ihres identischen Ferti-

gungsverfahrens definiert sind. Aus Montagesicht verteilen sich diese Komponenten auf zwei verschiedene Module. Der Konflikt ist in dieser Form nicht eindeutig lösbar. Das Vorgehen zur Lösungsfindung erfolgt analog zu dem in den Abschnitten 4.6.7 und 5.2.5 vorgestellten Vorgehen zur internen Abstimmung der Produktstrukturkonzepte. Zum einen können sämtliche sich widersprechende Alternativen weiterverfolgt werden, so dass die endgültige Entscheidung auf eine spätere Phase der Modularisierung, in der entsprechend detaillierte Informationen vorliegen, verschoben wird. Zum anderen bietet das workshopbasierte Vorgehen die Möglichkeit, einen Konsens unter Einbeziehen der beteiligten Produktexperten zu erreichen. Die konkurrierenden Produktstrukturkonzepte können ebenfalls anhand des aufgestellten Kennzahlensystems bewertet werden. Das Ergebnis der Bewertung bietet damit zusätzliche Unterstützung bei der Abstimmung der Lebensphasensichten. Im vorliegenden Fall wird die Produktstruktur aus Beschaffungssicht der Modulkonfiguration der Montage angepasst. Der abgestimmte MPC ist in Anhang D9 aufgeführt.

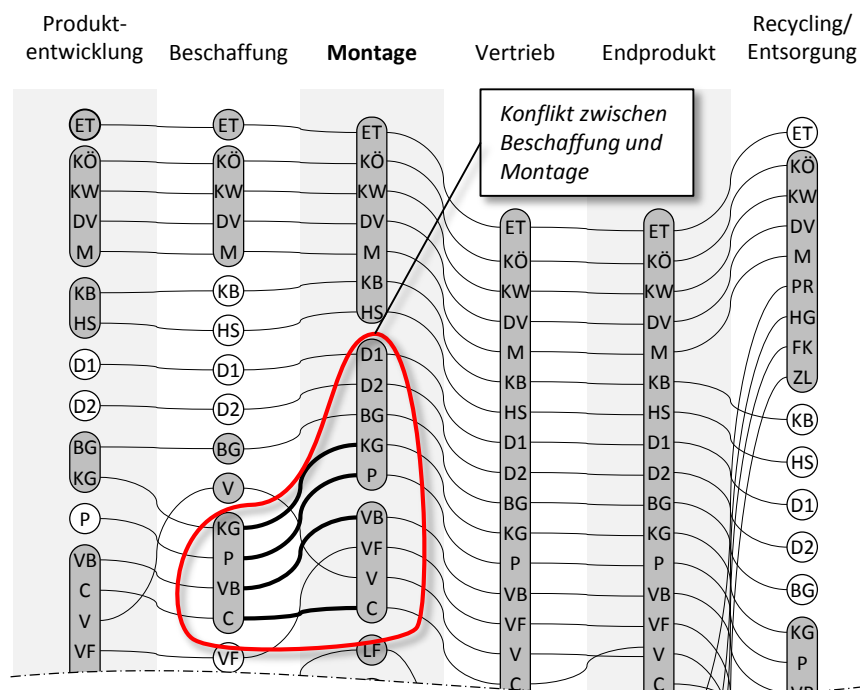


Bild 5-15: Ausschnitt Module-Process-Chart (MPC)

5.3 Auswertung der Fallstudie

Die abschließende Bewertung der entwickelten Methode erfolgt durch die systematische Auswertung der Fallstudie. Dafür werden die in Abschnitt 5.1.1 formulierten Hypothesen geprüft. In die Analyse fließen neben der technischen Bewertung der entwickelten Produktstruktur gewonnene Erfahrungen und Beobachtungen sowie maßgeblich die Meinung der an der Fallstudie beteiligten Produktexperten des Herstellers, bestehend aus Vertretern der Geschäftsführung, der Konstruktion, der Produktion sowie des Marketings und des Vertriebs, ein.

Hypothese 1: Die Anwendung der entwickelten Methode liefert bessere Ergebnisse hinsichtlich der Montagegerechtheit im Vergleich zu herkömmlichen Ansätzen

Die Methode hat das Ziel, die Anforderungen der Montage detailliert zu analysieren und in die Produktstrukturierung einfließen zu lassen. Die Entwicklung einer neuen Methode, legitimiert sich dadurch, dass die Montagegerechtheit der entwickelten Produktstrukturen höher ist, als die der unter Anwendung der herkömmlichen Ansätze entwickelten Produktstrukturen. Die Analyse des Stands der Wissenschaft ergibt, dass dem Modultreiberansatz nach ERIXON [Eri98] die größten Potentiale zur Optimierung der Montagegerechtheit zugesprochen werden. Zur Verifizierung der Hypothese wird der herkömmliche Modultreiberansatz stellvertretend exemplarisch auf die Produktfamilie des Fallbeispiels angewendet. Bild 5-16 zeigt den resultierenden Netzplan für die Montage auf Basis der herkömmlichen Modultreiber.

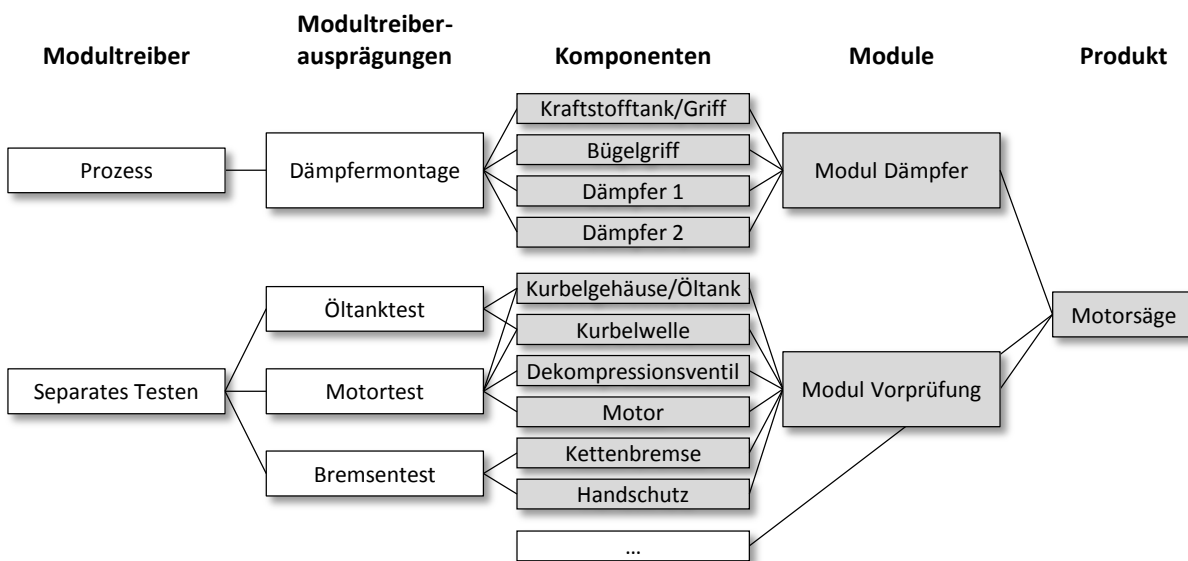


Bild 5-16: Netzplan der Produktstruktur unter Anwendung des herkömmlichen Modultreiberansatzes

Die dabei entwickelte Produktstruktur wird daraufhin entsprechend des in Abschnitt 5.2.6 beschriebenen Kennzahlensystems bewertet. Damit sind beide entwickelten Produktstrukturen, die eine basierend auf der neuen Methode, die andere auf Basis des herkömmlichen Modultreiberansatzes, direkt miteinander vergleichbar. Die Berechnung der Kennzahlen ist im Anhang D7 aufgeführt. Bild 5-17 zeigt das resultierende Bewertungsergebnis. Es zeigt sich, dass beide Ansätze zu einer Verbesserung der Kennzahlen und damit einer Verbesserung der Montagegerechtheit gegenüber der Ausgangsproduktstruktur führen.

Der Modultreiber separates Testen bewirkt die Bildung von Modulen, die zu der gleichen Erhöhung der Prozesssicherheit führen. Der Modultreiberansatz ermöglicht jedoch keine explizite Ausrichtung der Produktstruktur an den Montagezielen und vernachlässigt die systematische Integration von montagerelevanten Informationen, wie die Montagezeit. Dies verhindert die Möglichkeit einer systematischen Abstimmung der Montagetätigkeitsumfänge. Ebenfalls werden die Optimierungspotentiale der Montage durch Parallelisierung nicht im möglichen Maße ausgeschöpft, so dass Defizite in den Kennzahlen Durchlaufzeit und optimale Modulzahl zu konstatieren sind.

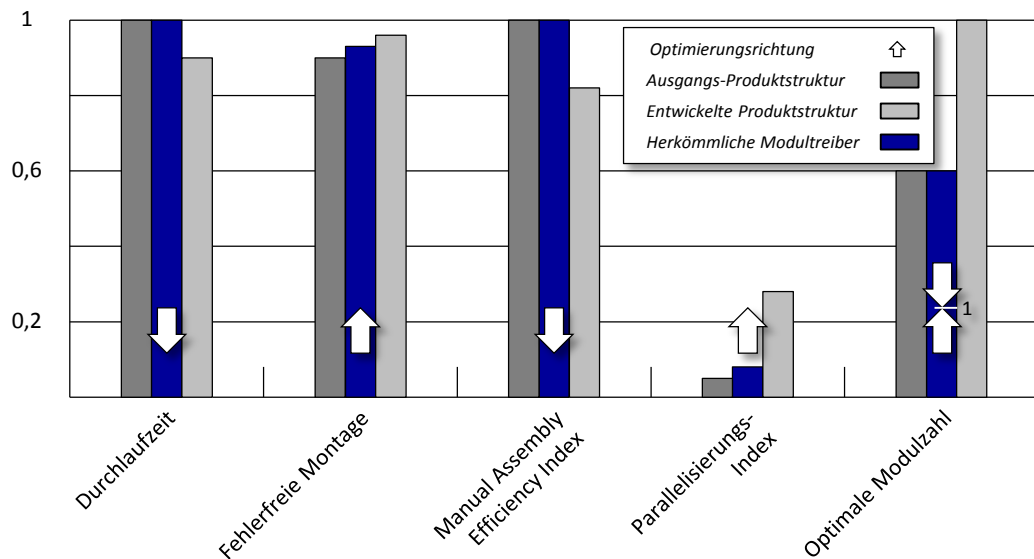


Bild 5-17: Vergleich der Bewertungen der Produktstrukturen

Hypothese 2: Anwendbarkeit in der Vorentwicklungsphase

Die frühe Phase der Produktentwicklung ist gekennzeichnet durch unscharfe Produktinformationen sowie auf Annahmen basierende iterative Produktdefinition. Die erfolgreiche Integration in den PKT-Ansatz sowie das auf Kennzahlen basierende Bewertungsschema zeigen, dass die Methode in der frühen Produktentwicklungsphase anwendbar ist. Die Tätigkeiten zur Optimierung der Montagegerechtheit konzentrieren sich auf den Aspekt der Produktstrukturierung. Dafür sind Maßnahmen vorgesehen, deren Formulierung an den Grundsätzen der montagegerechten Konstruktion, Reduzieren, Vereinfachen und Vereinheitlichen, ausgerichtet ist. Die Maßnahmen beziehen sich jedoch ausschließlich auf die Gruppierung von Komponenten zu Modulen sowie auf die zur Modulbildung benötigten Schnittstellenfestlegung. Die Aspekte der detaillierten konstruktiven Bauteil- und Schnittstellengestaltung werden bewusst nicht berücksichtigt, da sie erst in der späteren Produktentwicklungsphase beeinflusst werden können. Das Kennzahlensystem umfasst einen systematischen Ansatz zur Verarbeitung der unscharfen Montagedaten in Verbindung mit den produktstrukturelevanten Informationen. Das Bewertungsschema entspricht damit ebenfalls den entwicklungsphasenspezifischen Randbedingungen.

Hypothese 3: Ausrichtung der Produktstrukturierung an strategischen Zielen

Das übergeordnete methodische Vorgehen sieht vor, die Entwicklung der Produktstruktur an zuvor definierten montagestrategischen Zielen auszurichten. Dazu werden die strukturierenden Maßnahmen sowie die Bewertungskriterien den montagestrategischen Zielen zugeordnet.

Die Zielsetzung innerhalb der Fallstudie umfasst die Implementierung einer Linienmontage in der Produktstruktur. Die resultierenden Produktionsanforderungen können durch Auswahl der entsprechenden Strukturierungsmaßnahmen in Verbindung mit dem prozessbezogenen

iPAS-Diagramm erfüllt werden. Durch die von der Zielstellung abhängige Auswahl der Bewertungskriterien kann der Erfüllungsgrad der aufgestellten Produktstrukturkonzepte jederzeit analysiert werden. Dadurch wird die Identifikation von weiteren Verbesserungspotentialen unterstützt.

Hypothese 4: Entwicklungsphasenspezifische Bewertung der Montagegerechtheit

Zur Bewertung der Montagegerechtheit der Produktstrukturkonzepte wird ein Kennzahlensystem entwickelt. Ein Teil der montagestrategischen Ziele kann direkt durch jeweils eine Kennzahl abgebildet werden. Sofern keine geeignete Kennzahl gefunden werden kann, erfolgt die Berechnung sogenannter Maßzahlen, welche den Grad der Umsetzung der jeweiligen Strukturierungsmaßnahmen repräsentieren. Die Berechnung der Kenn- und Maßzahlen zeigt, dass die notwendige Datengrundlage durch die verwendeten Werkzeuge, besonders durch den MIG und den iPAS, bereitgestellt werden. Aus dem MIG werden die Informationen zur internen Varianz, d.h. die Komponenten und Schnittstellen, entnommen. Die montagerelevanten Daten entstammen dem iPAS. Eine relevante Größe ist dabei der zeitliche Aufwand der jeder Komponenten zugeordneten Montagetätigkeiten. Für die Zeitbewertung der Konzepte wird auf die Daten der Ausgangsstruktur zurückgegriffen. Dieser Ansatz wird als hinreichend genau für die Vorentwicklungsphase, in welcher die Produktstrukturierung durchgeführt wird, eingestuft.

Hypothese 5: Konsistente Integration in den PKT-Ansatz

Die Fallstudie hat gezeigt, dass die Methode unmittelbar innerhalb des integrierten PKT-Ansatzes angewendet werden kann. Die Eingangsdaten stehen zum einen in Form der variantengerechten Produktstruktur und zum anderen durch eine unabhängige Analyse der Montageprozesse zur Verfügung. Die Ausgangsdaten in Form des Netzplans sowie der Abstimmungstätigkeit im MPC werden im Rahmen der Methodenentwicklung erzeugt.

Durch die definierten Eingangs- und Ausgangsschnittstellen ist die Methode unabhängig in der Phase der strategischen Modularisierung anwendbar. Das zeigt, dass der Integrierte PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien selbst modular aufgebaut ist und durch entsprechende Methoden-Module weiterentwickelt werden kann.

Darüber hinaus kann die Methode ebenfalls isoliert, d.h. ohne Einbettung in den Integrierten PKT-Ansatz, angewendet werden. In dem Fall sind die Eingangsdaten nach wie vor in Form der Produktstruktur, dargestellt im MIG, sowie in Form des Montageprozesses zu ermitteln. Auf die variantengerechte Produktoptimierung könnte aus einer isolierten anwendungstechnischen Sicht verzichtet werden. Ebenso liegt nach Abschluss der Anwendung eine Produktstruktur in der Form vor, auf der die folgenden Produktentwicklungsphasen direkt aufbauen können. Obwohl eine isolierte Anwendung theoretisch möglich wäre, vernachlässigt sie doch den essentiellen Aspekt der Berücksichtigung der Anforderungen sämtlicher Lebensphasen in der Produktentwicklung und ist daher nicht zu empfehlen.

Hypothese 6: Förderung der interdisziplinären Zusammenarbeit

Hauptbestandteil der Methode ist die integrale Produkt- und Montagestruktur (iPAS). Das graphische Werkzeug vereinigt zwei für die Optimierung der Montagegerechtheit essentielle Sichtweisen. Zum einen bedient es die funktions- und bauteilorientierte Sicht des Produktentwicklers. Zum anderen ist der Montageprozess als Werkzeug der Produktionsplanung enthalten. Während der Durchführung der Fallstudie sind stets Vertreter beider Produktsichten involviert und wirken aktiv an der Produktstrukturierung mit. Durch die Verwendung des iPAS-Diagramms ist es möglich, die Vorschläge der einen Sichtweise direkt in die resultierenden Auswirkungen für die andere Sichtweise zu überführen. So wird einerseits das Montageverständnis des Produktentwicklers vertieft und andererseits der Produktionsplaner für den Aspekt der Strukturierung sensibilisiert. Die dadurch angeregte Diskussion führt zur Erarbeitung konstruktiver Verbesserungspotentiale.

Hypothese 7: Nachvollziehbarkeit und Anwendbarkeit

Die Anwendbarkeit wird von den Teilnehmern der Fallstudie positiv bewertet. Die Vorgehensschritte sind jeweils nach kurzer Einführung nachvollziehbar und anschließend selbstständig durchführbar geworden. Darauf zurückführend kann die hohe Ergebnisqualität der Konzepte, die mit der Methode entwickelt worden sind, begründet werden. Des Weiteren haben Studierende des Hauptstudiengangs Produktentwicklung an der Technischen Universität Hamburg-Harburg das methodische Vorgehen exemplarisch angewendet. Nach eigenständiger Einarbeitung konnte die Methode umgehend angewendet und damit vergleichbare und reproduzierbare Ergebnisse erzeugt werden.

Die Methode wird erfolgreich in der Fallstudie angewendet. Die positive Überprüfung der Hypothesen bestätigt die Erfüllung der wesentlichen Anforderungen. Zusammenfassend kann gezeigt werden, dass die entwickelte Methode zum einen unmittelbar in den Integrierten PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien eingebunden werden kann. Zum anderen liefert das methodische Vorgehen systematische Unterstützung in der Optimierung der Montagegerechtheit der betrachteten Produktstrukturen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Ein erheblicher Teil des Aufwands für die Montage eines Produkts wird bereits in einer frühen Phase der Produktentwicklung verantwortet. Um diesem Umstand zu begegnen, richtet sich ein Bereich der Konstruktionsmethodik auf die montagegerechte Gestaltung von Produkten. In dem Zusammenhang stehen eine Vielzahl von Richtlinien und Bewertungsschemata für die montageorientierte Ausführung der Produktkonstruktionen zur Verfügung. Die Maßnahmen der montagegerechten Produktgestaltung erstrecken sich generell über sämtliche Entwicklungsphasen. Die größten Verbesserungspotentiale werden dabei den Maßnahmen zugesprochen, die sich auf Produktstrukturierung, die generell im Rahmen der Vorentwicklungsphase durchgeführt wird, beziehen. Die existierenden Methoden weisen jedoch in diesem Bereich wesentliche Defizite auf. So stehen weder konkrete Gestaltungsanweisungen noch systematische Werkzeuge zur Produktstrukturierung unter Montagegesichtspunkten zur Verfügung. Darüber hinaus beschränkt sich die Betrachtung auf singuläre Produkte. Die montagerelevanten Zusammenhänge mehrerer verwandter Produkte, wie beispielsweise im Falle gesamter Produktfamilien, werden nicht berücksichtigt.

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine Methode entwickelt, die eine systematische Vorgehensweise zur Steigerung der Montagegerechtheit gesamter Produktfamilien bietet. Die Entwicklung der Methode basiert auf einer Problemanalyse, im Rahmen derer die Anforderungen an die montagegerechte Produktstrukturierung aufgestellt werden. Im Anschluss daran erfolgt eine Analyse des Stands der Wissenschaft hinsichtlich der Anforderungserfüllung der bestehenden methodischen Ansätze. Die Untersuchung zeigt, dass die existierenden Methoden lediglich einzelne Aspekte des Themengebiets abdecken. Aus den identifizierten Defiziten leitet sich der Forschungsbedarf der vorliegenden Arbeit ab.

Die entwickelte Methode fügt sich in den übergeordneten Integrierten PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien ein. Der Schwerpunkt liegt dabei auf dem Teil der Lebensphasenmodularisierung, in dem die Struktur der Produktfamilie unter Berücksichtigung der Anforderung aller Lebensphasen entwickelt wird. Die Montage entspricht einer dezidierten Lebensphase. Die in dieser Arbeit entwickelte Methode ermöglicht eine detaillierte Betrachtung dieser Lebensphase und unterstützt die Überführung montagerelevanter Aspekte in die Produktstrukturierung.

Das methodische Vorgehen gliedert sich in sieben Arbeitsschritte. Den Ausgangspunkt bilden die Festlegung der Ziele und die Aufnahme der Ist-Situation analog zu der Vorgehensweise des gesamten Modularisierungsansatzes. Die Ziele können dabei beispielsweise die Reduzierung der Durchlaufzeiten, die Optimierung des Ressourceneinsatzes in der Montage oder die Umsetzung einer spezifischen Produktionsstrategie durch die Produktstrukturierung sein.

Die Zielfestlegung bildet die Grundlage für die spätere Strukturierung. Dazu werden spezifische Maßnahmen zur Umsetzung der jeweiligen Ziele ausgewählt. Im Rahmen der Methodenbeschreibung wird ein Katalog möglicher Maßnahmen zusammengestellt. Es handelt sich dabei um die Implementierung der Montageprozessstrategien Postponement, Kommunalität und Parallelisierung sowie die Umsetzung von Integralbauweise und die Optimierung der Betriebsmittelauslastung. Neben dieser Auswahl bietet die Methode die Möglichkeit, stets weitere Maßnahmen zu ergänzen.

Die strukturierungsrelevante Informationsgrundlage wird im Rahmen einer Ist-Aufnahme geschaffen. Dabei werden zum einen die produkt- und funktionsorientierten Daten aus dem Integrierten PKT-Ansatz übernommen, die beispielsweise in Form des Module Interface Graphs (MIG) oder des Vielfaltbaums (TeV) zur Verfügung stehen. Zum anderen wird die prozessorientierte Sicht in Form des Montageablaufs sowie zusätzlicher Informationen zum Montagesystem aufgenommen.

Hauptbestandteil der Methode ist die integrale Produkt- und Montagestruktur (iPAS). Es handelt sich dabei um ein graphisches Werkzeug, das im Rahmen der Arbeit entwickelt worden ist. Der iPAS vereint die Produktstruktur und den Montageprozess in einer graphischen Darstellung. Damit bietet sich die Möglichkeit, die montagerelevanten Auswirkungen der Produktstruktur unmittelbar darzustellen. Die Tätigkeit der Produktstrukturierung kann somit direkt anhand des graphischen Werkzeugs durchgeführt werden.

Für diese graphisch basierte Produktstrukturierung werden die zuvor aufgestellten Maßnahmen auf die iPAS-Systematik übertragen. Dazu werden sogenannte Maßnahmenkarten formuliert und in einem Katalog zusammengestellt. Die Karten enthalten eine Beschreibung der jeweiligen Maßnahme sowohl in Text- als auch in Bildform. Der bildliche Teil zeigt eine stilisierte Produktstruktur in der iPAS-Darstellungsweise und ist in die beiden Aspekte montagegerecht bzw. nicht montagegerecht aufgeteilt. Die Vorgehensweise für das Prinzip der graphischen Produktstrukturierung sieht vor, dass ein produktspezifischer iPAS hinsichtlich der Existenz nicht montagegerechter Muster untersucht wird. Sofern ein entsprechender Abschnitt identifiziert wird, ist zu prüfen, ob die Produktstruktur gemäß dem jeweiligen als montagegerecht charakterisierten Muster gestaltet werden kann. Auf diese Weise werden Konzepte für jede verwendete Maßnahme entwickelt. Dabei kann es zu sich widersprechenden Produktstrukturen kommen. Um die Abstimmung der verschiedenen Sichten zu unterstützen, werden diese in ein weiteres graphisches Modell überführt. Die darin gewählte Darstellungsform zeigt sämtliche Produktstrukturkonzepte in schematischer Form, mit deren Hilfe die übereinstimmenden sowie die nicht übereinstimmenden Modulkonfigurationen identifiziert werden können. Die Darstellung bietet damit die Grundlage für eine diskussionsbasierte Lösung der Konflikte. Das Ziel der Abstimmung ist die Einigung auf ein gesamtgesellschaftliches Produktstrukturkonzept für die Montage, das an die strategische Modularisierung übergeben wird.

Für die Bewertung der Montagegerechtigkeit der entwickelten Produktstruktur wird ein Kennzahlensystem entwickelt. Das Bewertungsschema liefert einen wesentlichen Beitrag zur Konsensfindung sowohl innerhalb der Montagesicht als auch im Rahmen der späteren produktstrategischen Modularisierung sämtlicher Lebensphasensichten, wie im Integrierten PKT-

Ansatz vorgesehen. Analog zu der Aufstellung der Strukturierungsmaßnahmen basiert das Bewertungsschema auf der anfänglichen Zielfestlegung. Es werden zum einen Kennzahlen identifiziert, die direkt den Zielen zugeordnet werden können. Andere Kennzahlen, sogenannte Maßzahlen, beschreiben den Grad der Erfüllung einer spezifischen Maßnahme. Die Berechnung erfolgt anhand von Daten, welche aus den im Rahmen der Strukturierung verwendeten graphischen Werkzeugen, wie dem MIG und dem iPAS, entnommen werden. Das Kennzahlensystem liefert somit eine effiziente Möglichkeit, verschiedene Produktstrukturen differenziert zu bewerten und konsistent zu vergleichen.

Die Überführung der abgestimmten Produktstruktur aus Montagesicht in den Integrierten PKT-Ansatz bildet den Abschluss der Methode. Dafür werden die erzeugten Produktstrukturinformationen in die jeweiligen Modelle überführt. Es handelt sich dabei in erster Linie um die Aufstellung des Netzplans, in welchem die spezifischen Modultreiber und Modultreiber-ausprägungen sowie die Module und die zugehörigen Komponenten aufgelistet sind.

Die entwickelte Methode wird abschließend anhand eines Fallbeispiels validiert. Dafür wird die Methode im Rahmen des Integrierten PKT-Ansatz zur Optimierung einer Kettensägen-Produktfamilie angewendet. Das Ziel der Modularisierung ist zum einen die generelle variantengerechte Gestaltung der Produktfamilie. Zum anderen soll die Produktstruktur an ein neues Produktionsprinzip angepasst werden. Es ist geplant, das Montagesystem von einem Ein-Stück-Flussprinzip auf eine Linienmontage umzustellen. Unter Anwendung der Methode wird eine Produktstruktur entwickelt, welche die angestrebte Reduzierung der Durchlaufzeiten sowie die Erhöhung der Flexibilität des Betriebsmittel- und Personaleinsatzes entsprechend berücksichtigt. Die Durchführung der Fallstudie zeigt, dass die entwickelte Methode die Anforderungen erfüllt, in einem praktischen Umfeld angewendet werden kann und eine effektive Unterstützung in der Steigerung der Montagegerechtheit von Produkten bietet. Aus Sicht der Methodenentwicklung kann dargelegt werden, dass der Integrierte PKT-Ansatz modular erweiterbar ist und die detaillierte Betrachtung eines strategischen Aspekts bessere Ergebnisse im Vergleich zum pauschalen Modultreiberansatz liefert.

Die Vorteile der entwickelten Methode begründen sich durch die Zusammenführung der Produktstruktur und des Montageprozesses in einem graphischen Werkzeug. Dadurch wird eine effiziente Grundlage für die interdisziplinäre Zusammenarbeit und den Wissenstransfer zwischen Produktentwicklung und Arbeitsvorbereitung geschaffen. Die Vorgehensweise verlangt nach einer konsistenten Ableitung und Bewertung der Produktstruktur auf Basis der ursprünglichen Zieldefinition und ermöglicht damit nicht nur die Beschreibung, sondern auch die strukturelle Implementierung des Aspekts der Montagegerechtheit.

Weiterer Forschungsbedarf in der Methodenentwicklung zum montagegerechten Produktstrukturieren besteht hinsichtlich des Ausbaus des interdisziplinären Wissenstransfers von der Montage in die Produktentwicklung. Es wird gezeigt, dass produktionsstrategische Zielstellungen bereits in der Produktentwicklung abgebildet und durch entsprechende Gestaltungsmaßnahmen unterstützt werden können. Eine vollständige und durchgängige Abbildung der Ziele durch Kennzahlen ist jedoch nicht möglich. Hierfür gilt es Kennzahlen zu definieren, deren Parameter sich aus den in der Vorentwicklung verfügbaren Informationen er-

geben und die eine redundanzfreie und konsistente Abbildung der Montageeigenschaften ermöglichen.

Kernelement der Methode sind graphische Werkzeuge zur transparenten Darstellung der Produktzusammenhänge und praktischen Durchführung der Strukturierung und Bewertung. Die Forschungsaktivitäten von GEBHARDT zielen auf eine Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit und Verständlichkeit der graphischen Werkzeuge durch Entwicklung einer allgemeinen Systematik zur Modellierung und Visualisierung der relevanten Produktdaten ab [Geb12a]. Eine Umsetzung der dabei gewonnenen Erkenntnisse in den graphischen Werkzeugen der vorliegenden Methode ist zu prüfen.

Die in dieser Arbeit entwickelte Methode konzentriert sich auf die Optimierung der Montagegerechtheit einer einzigen Produktfamilie. Um unternehmensweite Potentiale zu erschließen, ist eine Ausweitung der Betrachtung auf die interne Vielfalt des gesamten Produktprogramms analog zu der Forschung von EILMUS, welche sich auf die Weiterentwicklung des gesamten Integralen PKT-Ansatzes bezieht [Eil13], anzustreben.

Anhang

A Glossar

In Fortsetzung der Definition relevanter Begriffe in Kapitel 2.1 werden in diesem Abschnitt weitere Begriffe, die in einem erweiterten Zusammenhang zum vorliegenden Thema stehen, erläutert.

Baugruppe, Bauteil,

Nach DIN 6789 handelt es sich bei einer Baugruppe um einen in sich geschlossenen, aus zwei oder mehr Teilen und/oder Baugruppen niedrigerer Ordnung bestehenden Gegenstand.

Ein Bauteil ist nach DIN 6789 definiert als ein technisch beschriebener, nach einem bestimmten Arbeitsablauf zu fertigender bzw. gefertigter, nicht zerlegbarer Gegenstand [DIN90].

Baukasten

Nach PAHL/BEITZ können Produkte in einem Baukasten durch entsprechende Kombination von Elementen aus einer abgeschlossenen und damit begrenzten Menge an Komponenten erzeugt werden. Vorteile für den Hersteller ergeben sich aus einer Erhöhung der Losgrößen in der Fertigung, einer kostengünstigeren Logistik sowie kurzen Lieferzeiten. Nachteile resultieren aus der Abgeschlossenheit des Produktspektrums, das durch den Baukasten abgedeckt wird [Pah06].

Design for X (DfX)

Der Begriff DfX beschreibt eine offene Sammlung von Vorgaben, welche dem Entwickler bei der Konstruktion von Produkten zur Verfügung stehen. Jede Kategorie dieser Vorgaben bezieht sich auf eine spezifische Produkteigenschaft X, überwiegend in Anlehnung an die Lebensphasen. So steht das X beispielsweise für Fertigung, Recycling, Qualität oder Montage. Das Ziel der DfX-Methoden ist es, dem Konstrukteur Informationen hinsichtlich der Auswirkungen seiner spezifischen konstruktiven Maßnahmen auf die Produkteigenschaften zu geben bzw. generische Gestaltungsanweisungen zur Verfügung zu stellen, welche auf die spezifische konstruktive Situation zu adaptieren sind [Mee94, Hua96].

Funktion

Eine Funktion ist die qualitative und/oder quantitative Beschreibung des gewollten Zusammenhangs zwischen den Ein- und Ausgangsgrößen technischer Systeme, der das Ziel hat, eine Aufgabe zu erfüllen [Pah06, Kol94].

Fügen

Nach DIN 8580 stellt das Fügen neben dem Urformen, Umformen, Trennen, Beschichten und Stoffeigenschaften ändern eine der sechs Hauptgruppen der Fertigungsverfahren dar

[DIN03]. Das Fügen wird durch die DIN 8593 spezifiziert und setzt sich aus den folgenden Aspekten zusammen: Fügen durch Zusammenlegen, Füllen, An- und Einpressen, Urformen, Umformen, Stoffverbinden, andere Haftverfahren. [DIN85b]

Handhaben

Nach der VDI-Richtlinie 2860 gilt:

„Handhaben ist das Schaffen, definierte Verändern oder vorübergehende Aufrechterhalten einer vorgegebenen räumlichen Anordnung von geometrisch bestimmten Körpern in einem Bezugskordinatensystem.“
[VDI90]

Handhaben gliedert sich in die folgenden 5 Teilfunktionen:

Speichern	Menge verändern	Bewegen	Sichern	Kontrollieren
-----------	-----------------	---------	---------	---------------

Komplexität

Es existiert eine Vielzahl an Definitionen für den Begriff Komplexität. Die inhaltliche Ausrichtung der Definitionen ist dabei stark geprägt von dem jeweiligen wissenschaftlichen Kontext, in dem der Begriff verwendet wird. So gibt es nicht nur Definitionen aus dem systemtechnischen Umfeld, sondern auch aus anderen Bereichen wie beispielsweise der Sozialwissenschaft. In der vorliegenden Arbeit findet die Definition von Komplexität nach BROSCHE Anwendung. In Anlehnung an [Mey06 und Abd08] kann Komplexität auf sechs verschiedene Weisen interpretiert werden. Komplexität ist definiert als:

- ...die Größe eines Systems. Nach dieser Definition wird die Komplexität durch die Anzahl der Systemelemente bestimmt.
- ...die Variabilität eines Systems. Die vorherige Interpretation wird dabei um die Aspekte der Art, Vernetzung und Wechselwirkung der Elemente sowie deren jeweilige dynamische Änderungen erweitert.
- ...die Entropie des Systems. Dieser Aspekt beschreibt den Informationsgehalt bzw. die Informationsdichte eines Systems.
- ...die kombinatorische Vielfalt eines Systems, wodurch die Anzahl der verschiedenen Zustände beschrieben ist.
- ...die Länge der Beschreibung eines Systems. Die Definition bezieht sich auf den Aufwand zur Beschreibung des Systems bzw. der unterschiedlichen Systemzustände.
- ...die persönliche Wahrnehmung. Im Gegensatz zu den vorangegangenen sachlogisch geprägten Definitionen wird in diesem Fall die subjektive Wahrnehmung eines Systems durch den Betrachter beschrieben.

Diese sechs Interpretationen sind alleinstehend nicht gültig, sondern müssen in Interaktion zueinander verwendet werden [Bro11].

Methoden, Methodik

Bei einer Methode handelt es sich im Allgemeinen um ein Werkzeug oder ein planmäßiges Vorgehen, welches die Lösungsfindung einer Aufgabe oder das Erreichen eines bestimmten Ziels unterstützt. Eine Methodik wiederum ist das planmäßige Vorgehen unter der abgestimmten Verwendung mehrerer Methoden und Hilfsmittel [Pah06].

Montageprozess

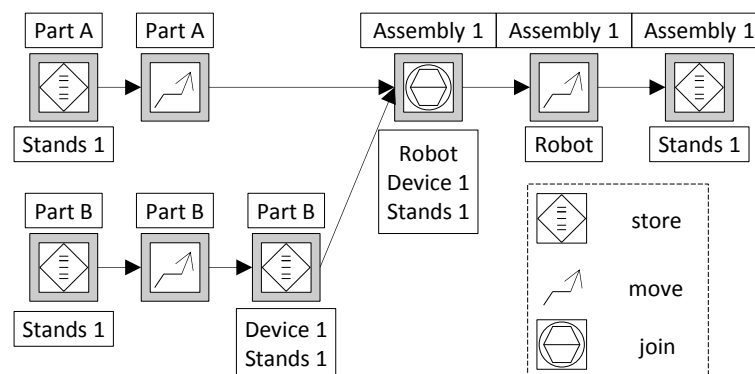
Der Montageprozess ist die inhaltlich abgeschlossene, zeitliche und sachlogische Abfolge von Aktivitäten, unter Einbeziehung der erforderlichen Mittel zur Durchführung der Montage. Der Montageprozess beinhaltet damit die Montagesequenz, die Ressourcen sowie die relevanten organisatorischen Aspekte [Gia06].

Montagesystem

Der Vorgang des Montierens erfolgt in Montagesystemen. Das Montagesystem ist das komplexe Zusammenwirken von materiellen, dispositiven und operativen Aspekten. Der materielle Aspekt wird durch das Montageobjekt und die verwendeten Montagemittel repräsentiert. Die Planung und Steuerung der Montage bilden den dispositiven Aspekt. Der operative Aspekt setzt sich aus dem Personal und der Montagesequenz zusammen. Anhand dieser Komponenten kann die Funktion des Montagesystems, die Transformation der materiellen, informationellen und energetischen Eingangsgrößen in die jeweiligen Ausgangsgrößen, erfüllt werden [Spu86].

Montagevorranggraph

Der Montagevorranggraph ist ein Hilfsmittel zur graphischen Darstellung der Vorrangbeziehungen, die angeben, welche Montageoperation vor bzw. nach einer anderen durchgeführt werden müssen, bzw. welche parallel und damit unabhängig voneinander ablaufen können [Rei99, Bul86]. Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel für einen Montagevorranggraphen.



Produkt

KOTLER definiert ein Produkt als etwas, das am Markt angeboten und dahingehend verwendet werden kann, einen Wunsch oder ein Bedürfnis zu erfüllen [Kot07]. Nach Gablers Wirtschaftslexikon wird ein Produkt abstrakt definiert als das Mittel der Bedürfnisbefriedigung, bzw. als das Ergebnis der Produktion und das Sachziel der Unternehmung. Produkte werden dabei in materielle Sachgüter, immaterielle Dienstleistungen und Energieleistungen eingeteilt [Ali04]. In der vorliegenden Arbeit wird der Produktbegriff verwendet als materielles, maschinenbauliches Sachgut. Die Begriffe Produkt und Erzeugnis sind dabei als äquivalent zu betrachten.

Produktplattform

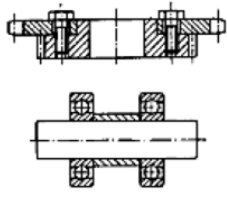
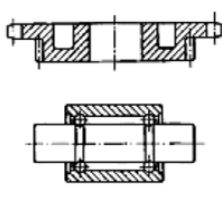
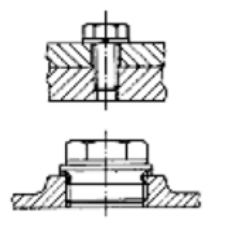
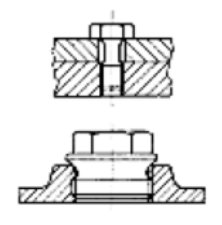
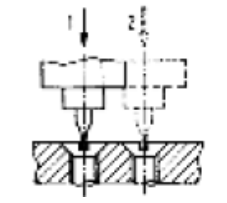
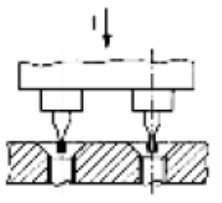
Eine Produktplattform besteht aus einer Menge von Subsystemen und Schnittstellen, die eine gemeinsame Struktur bilden und von der Produktvarianten abgeleitet werden können [Mey97]. Die Plattform wird dabei von Elementen repräsentiert, die über sämtliche abgeleiteten Produkte einheitlich und unverändert sind [Sch05]. Durch die produktübergreifende Verwendung von Komponenten ist es möglich, sowohl die am Markt geforderte Varianz anzubieten als auch Skaleneffekte zu erschließen. Neben dieser physisch geprägten Definition erfolgt in der Literatur eine Ausdehnung des Produktplattformbegriffs auf Technologien, Prozesse und Organisation [Mey97].

B Ergänzungen zum Stand der Wissenschaft

B1 Gestaltungsrichtlinien nach PAHL/BEITZ [Pah06]

Oper.	Gestaltungsrichtlinie	Art	nicht montagegerecht	montagegerecht
Gliedern der Montageoperationen				
Sp Ha Po Fü Ei Si Ko	Gliedern in Baugruppen zum Ermöglichen von Montagestufen mit Vor- und Endmontage	MM AM		
Ha Ko	Gliedern in unabhängige Montagegruppen, z.B. zur Parallelmontage	MM AM		
Fü Ei Ko	Strukturieren eines Varianten-Produktprogramms so, dass Variantenbildung möglichst spät auf gleichen Montageplätzen erfolgt	AM		
Ko	Montagegruppen getrennt prüfen, vor allem bei Variantenkonstruktionen	MM AM	Auswuchten in der Gesamtmaschine	Auswuchten des Rotors allein
Ko	Anstreben von Funktionsprüfungen für Montagegruppen oder Produkt ohne Einzelteilprüfung	MM AM	Verzahnungsmessung an Einzelrädern Komponenten-Dichtheitsprobe	Geräuschmessung am Gesamtgetriebe Rohrnetz-Dichtheitsprobe
Vereinheitlichen der Montageoperationen				
Po Fü Ko	Vorsehen eines Basisteils je Montagegruppe, z.B. zur Schachtelbauweise	AM		
Vereinheitlichen der Fügstellen				
Sp Ha Fü	Verwenden gleicher Verbindungselemente, ggf. auch für unterschiedliche Funktionen	MM AM		

Fortsetzung auf der nächsten Seite.

Oper.	Gestaltungsrichtlinie	Art	nicht montagegerecht	montagegerecht
Reduzieren der Montageoperationen				
Sp Ha Po Fü Ei Si Ko	Zusammenfassen von Teilen durch Integral- und Verbundbauweise	MM AM		
Sp Ha Po Fü Ei Si Ko	Weglassen von Teilen durch Funktionsintegration	MM AM		
Fü	Zeitliches Zusammenfassen von Montageoperationen	AM		

B2 Gestaltungsmaßnahmen nach BÄBLER [Bäß88]

Die folgende Liste enthält die für die Produktstrukturierung relevanten Gestaltungsmaßnahmen nach BÄBLER.

Maßnahmen am Produktaufbau

Erstellung montagegerechter Baugruppenstrukturen

- Sinnvolles Zusammenfassen von Teilfunktionen zu Funktionsgruppen, die eine montagegerechte Baugruppenstruktur ermöglichen
- Nebenfunktionsträger in Hauptfunktionsträger integrieren
- Varianten auf spezielle Baugruppen konzentrieren / seltene Funktionen in separate Bauteile legen
- Umfänge der einzelnen Baugruppen begrenzen
- Unabhängig voneinander vormontierbare und prüfbare Baugruppen bilden
- Käuflichkeit von Baugruppen in Betracht ziehen

Gewährleistung einfacher Montageabläufe

- Montageoperationen zusammenfassen und Endmontageumfänge in Vormontagen verlagern
- Alternative Montagereihenfolgen ermöglichen
- Vereinheitlichung des Montageablaufs unterschiedlicher Typen/Varianten
- Montage variantenbildender Bauteile/-gruppen möglichst spät im Montageablauf planen.
- Werkzeugeinsatz optimieren.

Maßnahmen an Baugruppen

Reduzierung der Bauteile

- Bauteile zusammenfassen, die sich nicht zueinander bewegen müssen.
- Bauteile zusammenfassen, die aus Montagegründen nicht getrennt sein müssen.
- Bauteile zusammenfassen, die nicht aus verschiedenen Werkstoffen bestehen müssen
- Bauteile weglassen, deren Funktion von anderen Bauteilen übernommen werden kann (Integralbauweise).
- Bauteile zusammenfassen, mit gleicher bzw. unterschiedlicher Funktion
- Vormontierte Bauteile verwenden, welche käuflich erhältlich sind.

Vereinheitlichung von Bauteilen

- Bauteilevielfalt reduzieren (identische Bauteile mehrfach verwenden).
- Bauteile mit unterschiedlicher Geometrie, aber gleicher Funktion vereinheitlichen.
- Einheitliche Montageverfahren ermöglichen.
- Einheitliche Reihenfolge der Montageverfahren für möglichst viele Bauteile anstreben.
- Baugruppenstruktur und ihre Aufteilung so wählen, dass die Baugruppen weitgehend unabhängig voneinander sind.
- Vermaßung der Baugruppen mit Angabe der Fügetoleranzen zwischen den Montagepunkten vorsehen.

B3 Gestaltungsmaßnahmen nach Gairola [Gai81]

Die folgende Liste enthält die für die Produktstrukturierung relevanten Gestaltungsmaßnahmen nach GAIROLA.

Bauelementezahl und –vielfalt reduzieren

- Absolute Anzahl der Bauelemente reduzieren
 - Geringe Bauelementezahl vorsehen
 - Weglassen von Bauelementen,
 - Die keinen Beitrag zur Funktion leisten
 - Deren Funktion von anderen Bauelementen übernommen werden kann
 - Zusammenfassen von Bauelementen
 - Gleicher Funktion
 - Unterschiedlicher Funktion
 - Vormontierte Zukaufbauelemente
 - Nebenfunktionsträger in Hauptfunktionsträger integrieren
 - Funktionsträger innerhalb einer Baugruppe integrieren
 - Möglichst wenige Verbindungselemente vorsehen
 - Verbindungselemente zusammenfassen
 - Verbindungselemente mit integrierten Hauptfunktionsträgern vorsehen
 - Möglichst viele Freiheitsgrade durch Führungen binden
 - Montage möglichst durch Stecken – (Justieren) - sichern

- (zusätzliche) Sicherungselemente vermeiden
 - Integrierte Sicherungselemente
 - Vorgefügte Sicherungselemente
 - Stoffschlüssig sichern
 - Nur sichern, wenn wirklich nötig
 - Selbstsichernde Verbindungen verwenden
 - Funktionsstruktur geringer Komplexität anstreben
 - Funktionen auf ihre Notwendigkeit überprüfen
 - Anzahl verschiedener Bauelemente reduzieren
 - Bauelemente vereinheitlichen
 - Gleiche Montageverfahren
 - Gleiche Geometrie
 - Für gleiche Funktion
 - Für verschiedene Funktionen
 - Einheitliche Verbindungselemente
 - Gleiche Geometrie und gleiche Montageverfahren

Montagegerechte Baugruppen bilden

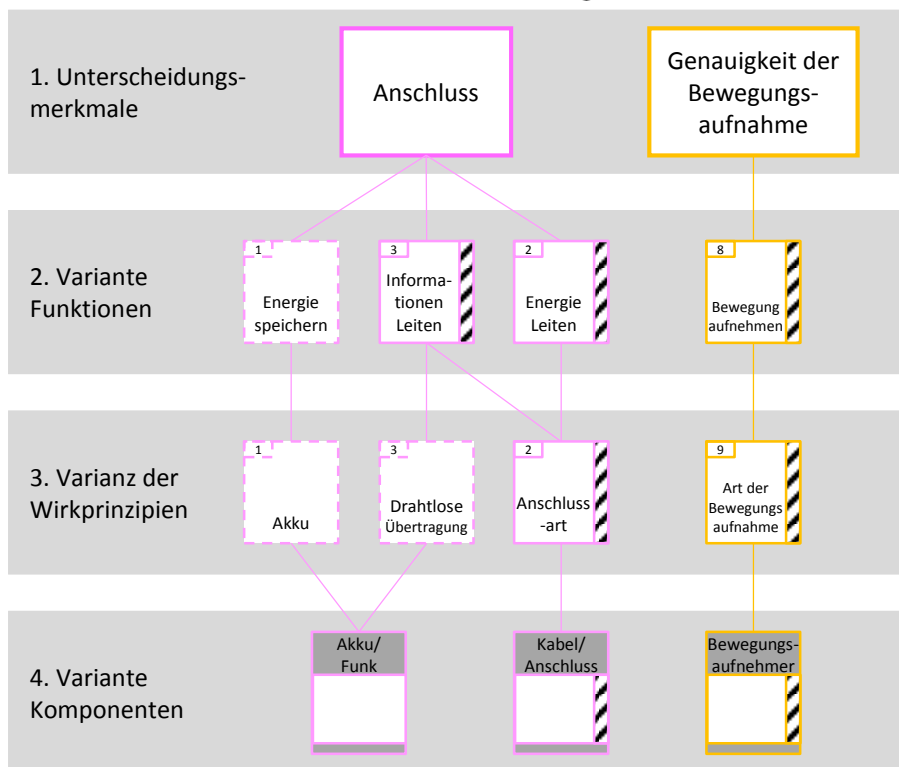
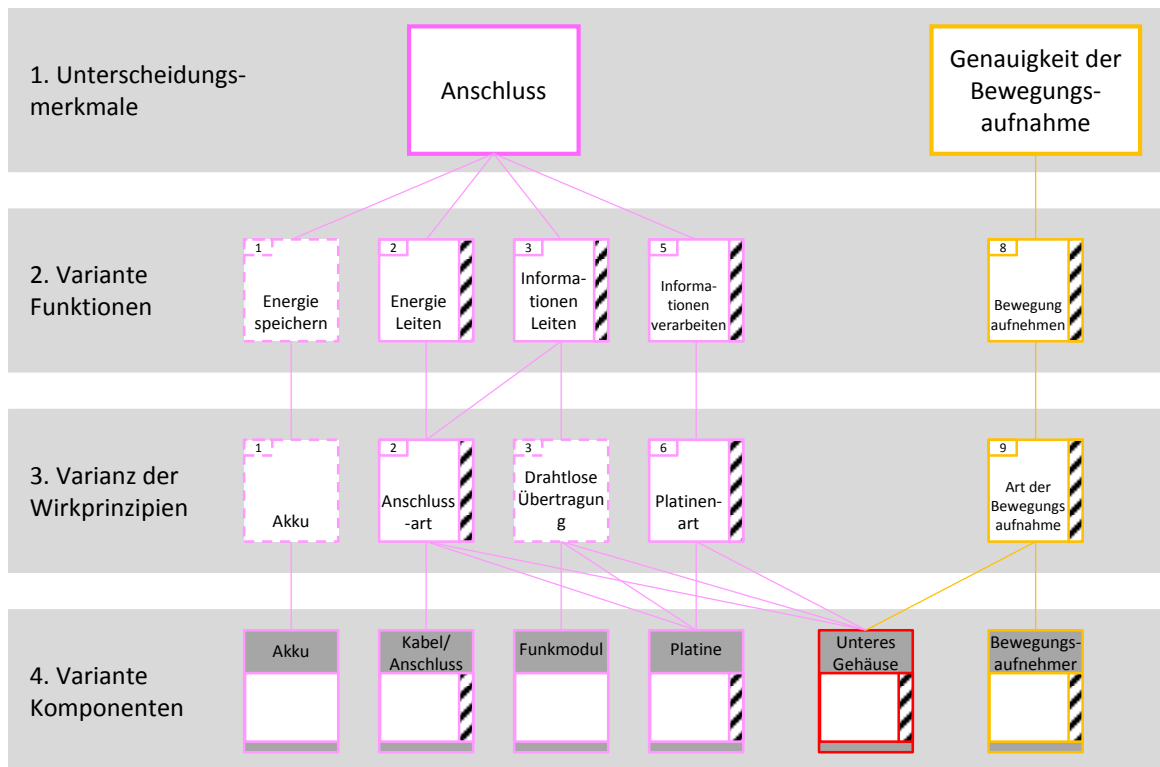
- Unabhängig voneinander montierbare Baugruppen bilden (Vormontierte Baugruppen bilden)
- Baugruppen untereinander nur mit einem Verfahren verbinden
- Bauelemente in einer Baugruppe sollen nur geringe Anzahl gemeinsamer Fügeflächen besitzen
- Baugruppen auf Basisteilen aufbauen
- Basisteil so wählen, dass es der gesamten Baugruppe Zusammenhalt verleiht
- Maßbasen als Basisteil wählen
- Basisteil montagegerecht gestalten (siehe nächste Folie)
- Bauelemente an Basisteil aus einer Richtung anordnen
- Am Basisteil möglichst viele Fügeflächen anordnen
- Baugruppen mit hoher Bauelementenzahl vermeiden
- Bauelementenvielfalt innerhalb einer Baugruppe reduzieren
- Fügeflächenanzahl innerhalb der Baugruppe verringern
- Wenden der Baugruppe während der Montage und der Weitergabe vermeiden
- Fügungen von oben durchführbar gestalten
- Gleichzeitiges Halten mehrerer Bauelemente während der Montage vermeiden
- Handhabungs- und Fügeverfahren mit mehr als einer Bewegungsrichtung vermeiden

Basisteil montagegerecht gestalten

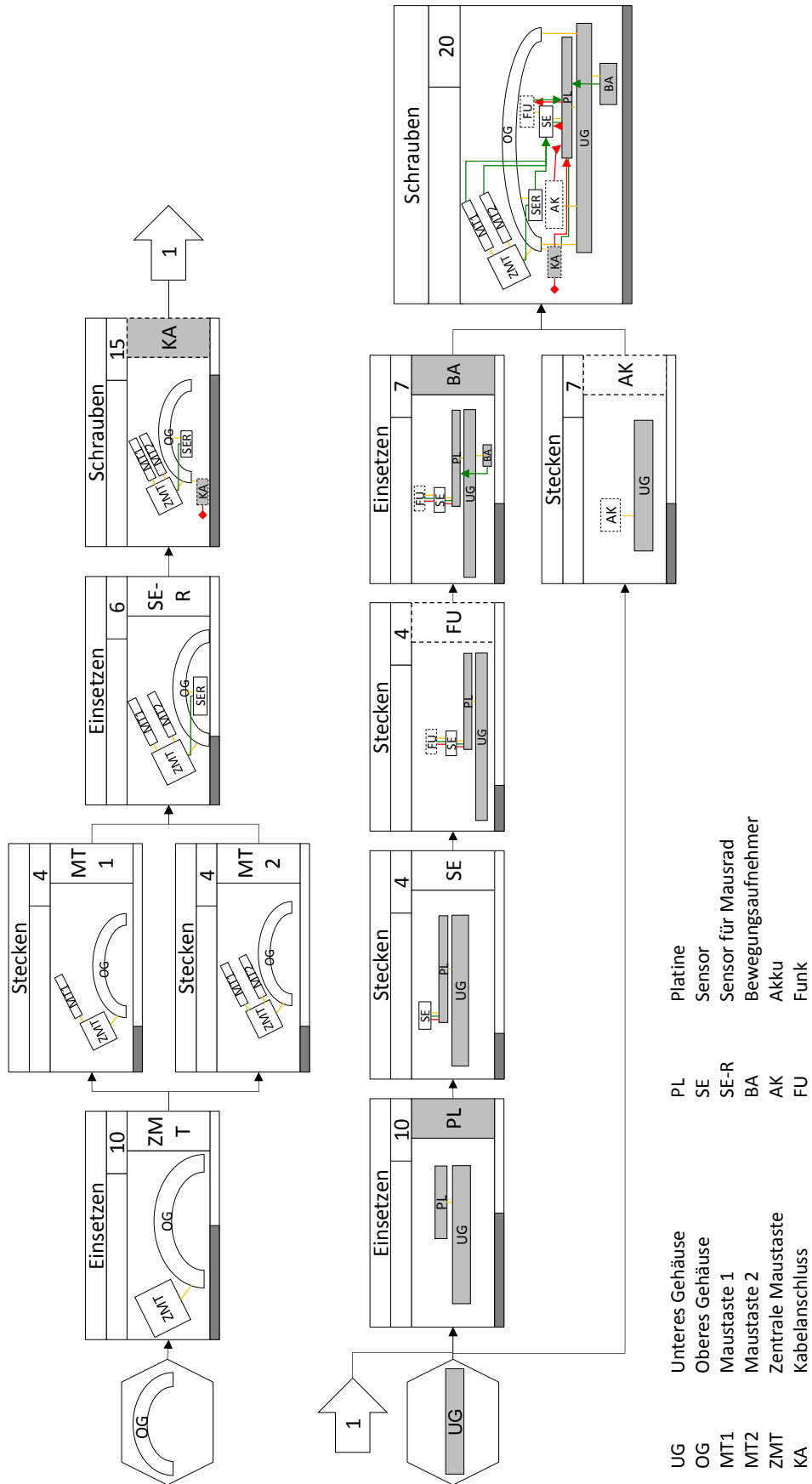
- Basisteil soll mit überwiegender Anzahl von Bauelementen in der Baugruppe gemeinsame Fügeflächen besitzen
- Basisteil soll das Fügen von Bauelementen möglichst von oben erlauben
- Basisteil soll möglichst aus allen zugänglich sein
- Basisteil soll eine gute Lagestabilität aufweisen
- Basisteil soll möglichst große und glatte Auflageflächen besitzen
- Basisteil soll ausreichende Befestigungsmöglichkeiten bieten

C Weitere Informationen zur Methodenbeschreibung

C1 Variantengerechte Gestaltung – Variety Allocation Model (VAM)

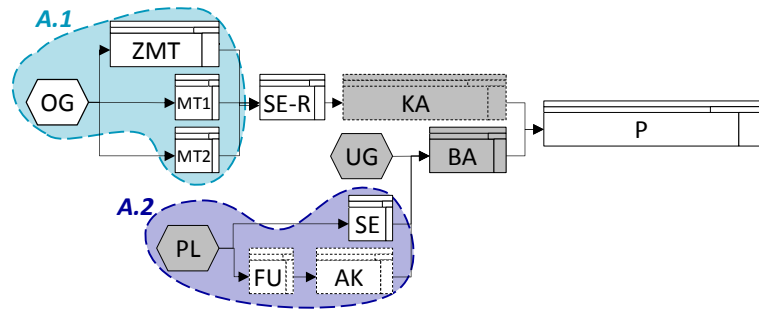


C2 iPAS der Ausgangs-Produktstruktur

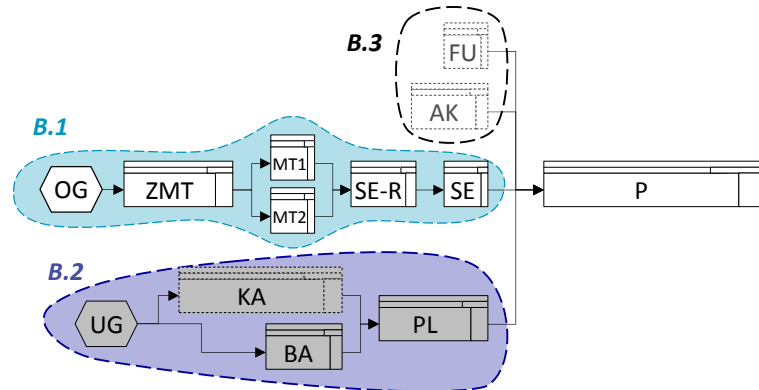


C3 Übersicht der iPAS-Diagramme sämtlicher Strukturierungsmaßnahmen

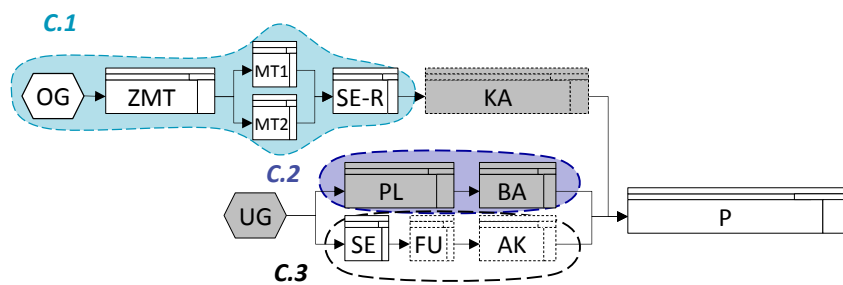
A. Parallelisierung



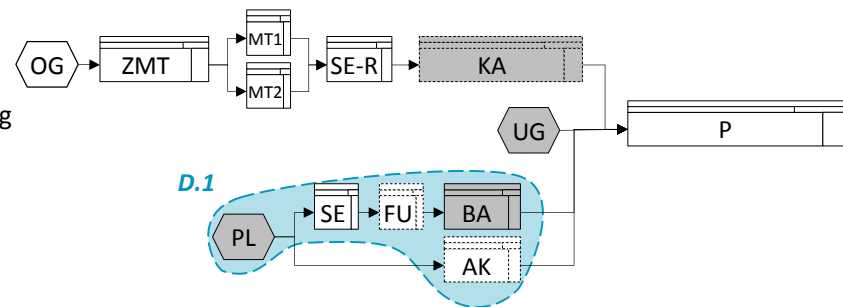
B. Postponement



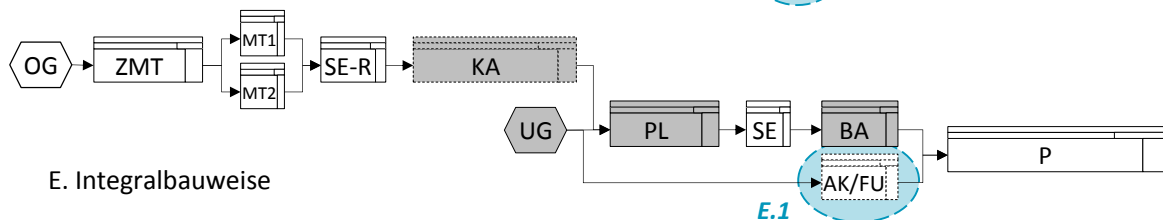
C. Prozess-Kommunalität



D. Optimierung der Betriebsmittelauslastung

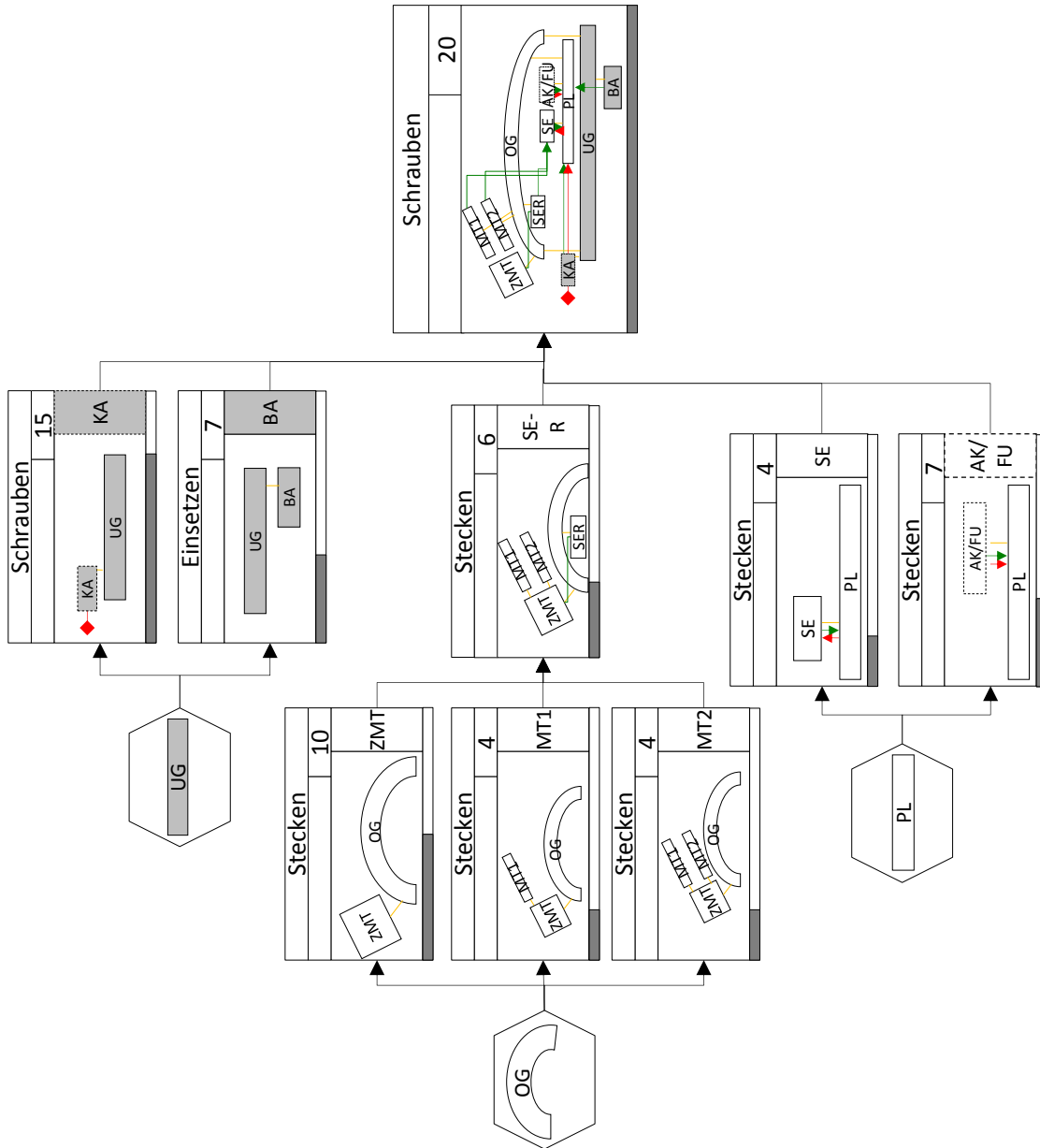


E. Integralbauweise



UG	Unteres Gehäuse	ZMT	Zentrale Maustaste	SE-R	Sensor für Mausrad
OG	Oberes Gehäuse	KA	Kabelanschluss	BA	Bewegungsaufnehmer
MT1	Maustaste 1	PL	Platine	AK	Akku
MT2	Maustaste 2	SE	Sensor	FU	Funk

C4 iPAS der entwickelten Produktstruktur



C5 Berechnung der Kennzahlen (Zusatz)

Fehlerfreie Montage

$$P_A = \prod_{i=1}^n [1 - C_k (T_i - T_{ideal})^k] \cdot (1 - D_{pi}) \quad (3)$$

- P_A = Wahrscheinlichkeit eines fehlerfreien Montageergebnisses
 C_k = Konstante der Montagequalitätskontrolle, mit $0 < C_k < 1$ (je kleiner der Wert, desto mehr Fehler werden erkannt)
 T_i = benötigte Zeit für die i-te Montagetätigkeit
 T_{ideal} = ideale Montagezeit
 K = Exponent bezogen auf die Fehleranfälligkeit einer Montagetätigkeit mit $K > 1$
 n = Anzahl der Montagetätigkeiten
 D_{pi} = Wahrscheinlichkeit, dass die i-te Komponente einen Fehler aufweist.

Für Parallelsysteme gilt:

$$P_{A,parallel} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{A,i}) \quad (10)$$

Faktor	Wert
C_k	0,0062
D_{pi}	0,0062
K	1
T_1 (ZMT)	10 s
T_2 (MT1,2)	4 s
T_3 (SE-R)	6 s
T_4 (KA)	15 s
T_5 (PL)	10 s
T_6 (SE)	4 s
T_7 (FU)	4 s
T_8 (BA)	7 s
T_9 (P)	20 s
T_{10} (AK)	7 s
T_{ideal}	3 s

- Die Werte für C_k und D_{pi} sind frei gewählt und entsprechen einem Six-Sigma-Level von 4 [Töp04].
- Für den Faktor K wird die Untergrenze von 1 angenommen.
- Die ideale Montagezeit T_{ideal} beträgt nach ERIXON 3s

C6 Exkurs: Ein Ansatz zur Ermittlung von Montagezeiten

Die Änderungen an der Produktstruktur nach Anwendung der Maßnahmen haben nicht nur Auswirkungen auf die Reihenfolge und Art der Montage. Es ist ebenfalls davon auszugehen, dass sich die zugrunde liegenden Montagezeiten nach der Restrukturierung ändern. Die Montagezeiten fließen direkt in die Bewertung der Montagegerechtigkeit ein. Dabei wird vorausgesetzt, dass sich die Zeiten lediglich in geringem Maße bzw. derart gleichmäßig ändern, dass eine Verwendung zur repräsentativen Bewertung nach wie vor möglich ist.

Weitreichende Änderungen der Produktstruktur, umfangreiche Implementierung neuer Schnittstellen oder eine Modifikation der Betriebsmittel können jedoch entsprechende Auswirkungen auf die Montagezeiten haben. Zur Ermittlung dieser Daten wird ein adaptives Verfahren nach dem Prinzip der Systeme vorbestimmter Zeiten entwickelt. Der Ansatz verwendet die in Abschnitt 3.3.3.3 vorgestellte Bewertungstabelle der MTM E.V. [Bri10] und erweitert diese um eine Berechnung der Montagezeit für jede Komponente. Um die Tabelle an das jeweilige Umfeld anzupassen und anschließend Zeitbewertungen mit ihr durchzuführen, wird ein Vorgehensmodell entwickelt.

Die Komponenten werden entsprechend ihrer Montagefolge in die Tabelle eingetragen. Anschließend werden die Montagetätigkeiten anhand des vorgegebenen Schemas hinsichtlich ihrer spezifischen Eigenschaften bewertet. Die Tabelle liefert dabei die notwendigen Werte für die Quantifizierung des Montageaufwands. Die Erweiterung besteht aus der Berechnung der Montagedauer auf Basis der mit der Tabelle ermittelten Werte. Das Produkt aus resultierendem Punktwert (U) und spezifischem Zeitwert (T_U) liefert die Montagezeiten für die Komponenten, die in die Spalte (t) eingetragen werden. Es können lediglich montagerrelevante Aspekte verwendet werden, die in der Strukturierungsphase verfügbar sind.

Parts		Handhabungerschwernis							Fügeprozess			U	t	
		Basiswert	Größe	Gewicht	Anzahl der Fügestellen		Räumliche Behinderung	Falsche Einbaulage möglich	Keine Einführhilfe	Schrauben	Nieten	Schweißen	Pkte.	$T_U = 0,042 \text{ s/Pkt.}$
					2	> 3								
		40 Pkte.	10 Pkte.	55 Pkte.	10 Pkte.	40 Pkte.	20 Pkte.	15 Pkte.	15 Pkte.	50 Pkte.	100 Pkte.	150 Pkte.		
1	Schalter li.	1											40	1,68
2	Schalter re.	1											40	1,68
3	Gehäuse	1	1	1	1	Bewertungsbereich			1				165	6,93
4	Elektrik	1									1		140	5,88
5	Rahmen	1											190	7,98
6	Verkleidung				1								150	6,3
Gesamtzeit												725	30,45 s	

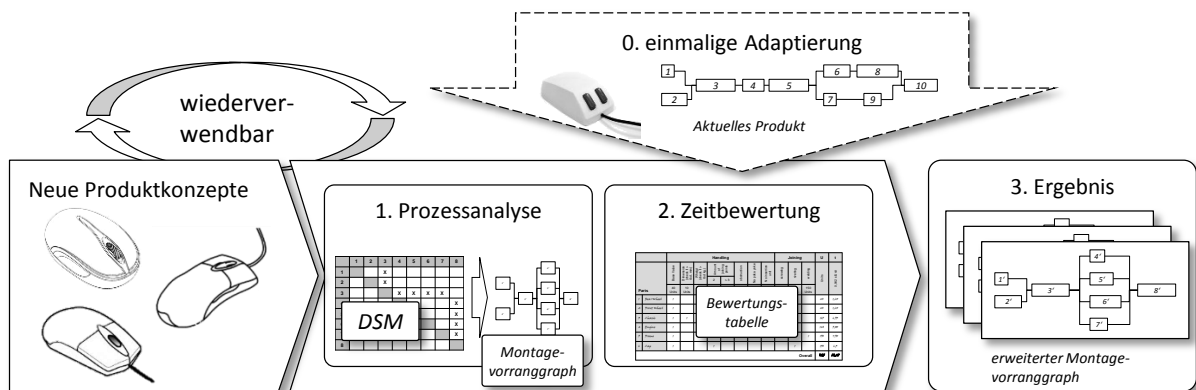
Bewertungstabelle zur Montagezeitbestimmung

Die folgende Abbildung zeigt das Vorgehen zur Adaptierung und Durchführung der Bewertung. Die iterative Adaptierung (0.) der Tabelle erfolgt durch Anwendung auf ein bestehendes Produkt. Auf Basis des Abgleichs der Bewertungsergebnisse mit den Montagezeiten, die für bestehende Produkte bekannt sind, werden die Basis- und Zeitwerte angepasst. Die Be-

wertung wird so lange wiederholt, bis die Differenz aus Bewertungsergebnis und tatsächlichem Zeitwert einen vorgegebenen Wert unterschreitet.

Die Adaptierung ist prinzipiell nur zur Einführung der Methode durchzuführen. Nach der Adaptierung steht eine Tabelle mit angepassten Basiswerten zu Verfügung, die in dem spezifischen Umfeld zur Bewertung korrespondierender, d.h. vergleichbarer Produktkonzepte wiederverwendet werden kann.

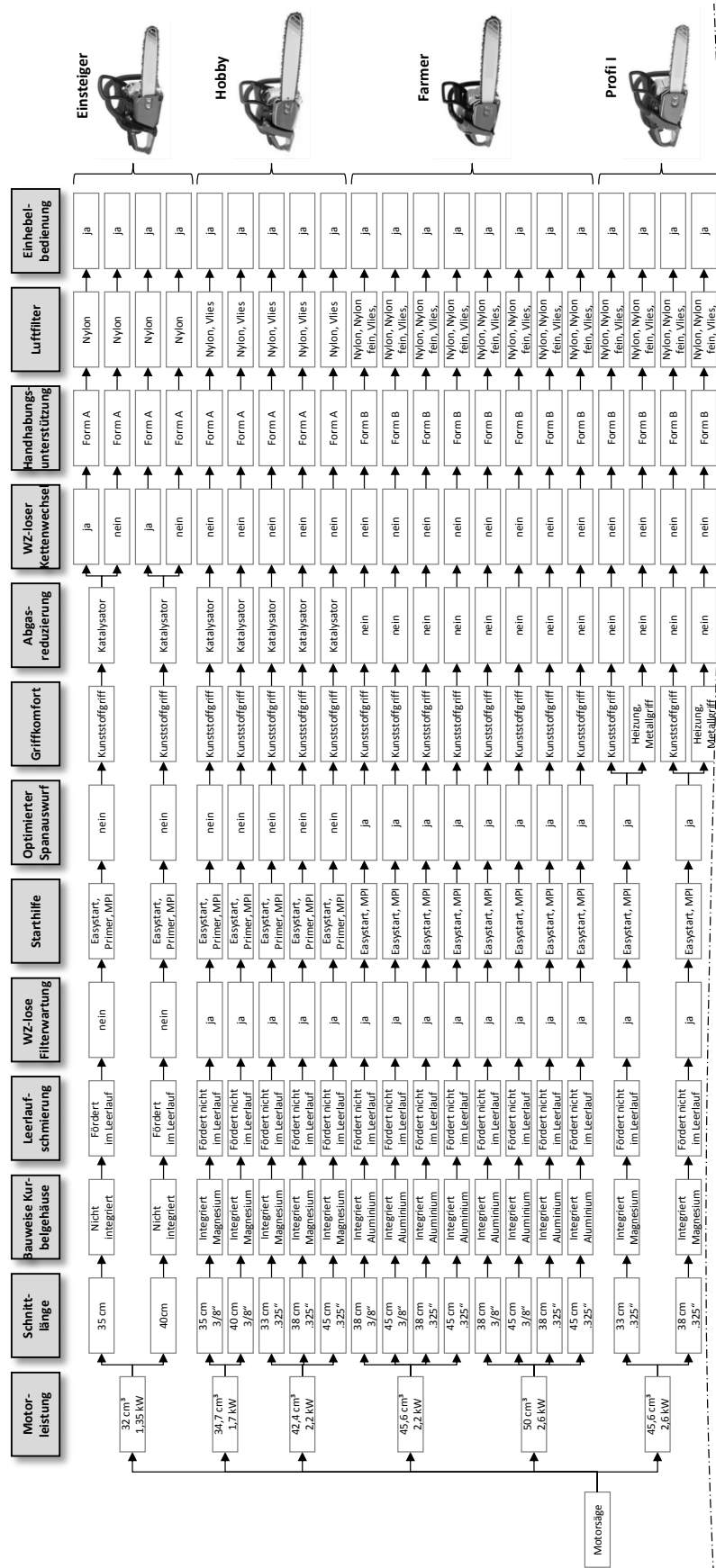
Im ersten Schritt der Bewertung wird eine wie in Abschnitt 4.4.2 beschriebene Prozessanalyse durchgeführt. Die damit ermittelte Montagefolge der Komponenten bildet die Eingangsdaten für die adaptierte Tabelle. Im zweiten Schritt erfolgt die eigentliche Zeitbewertung. Das Ergebnis kann beispielsweise in Form eines erweiterten Montagevorranggraphen dargestellt werden. Für eine genaue Beschreibung der Methode sowie eines Anwendungsbeispiels siehe [Hal12a].



Vorgehen zur Adaptierung der Montagezeitbewertung

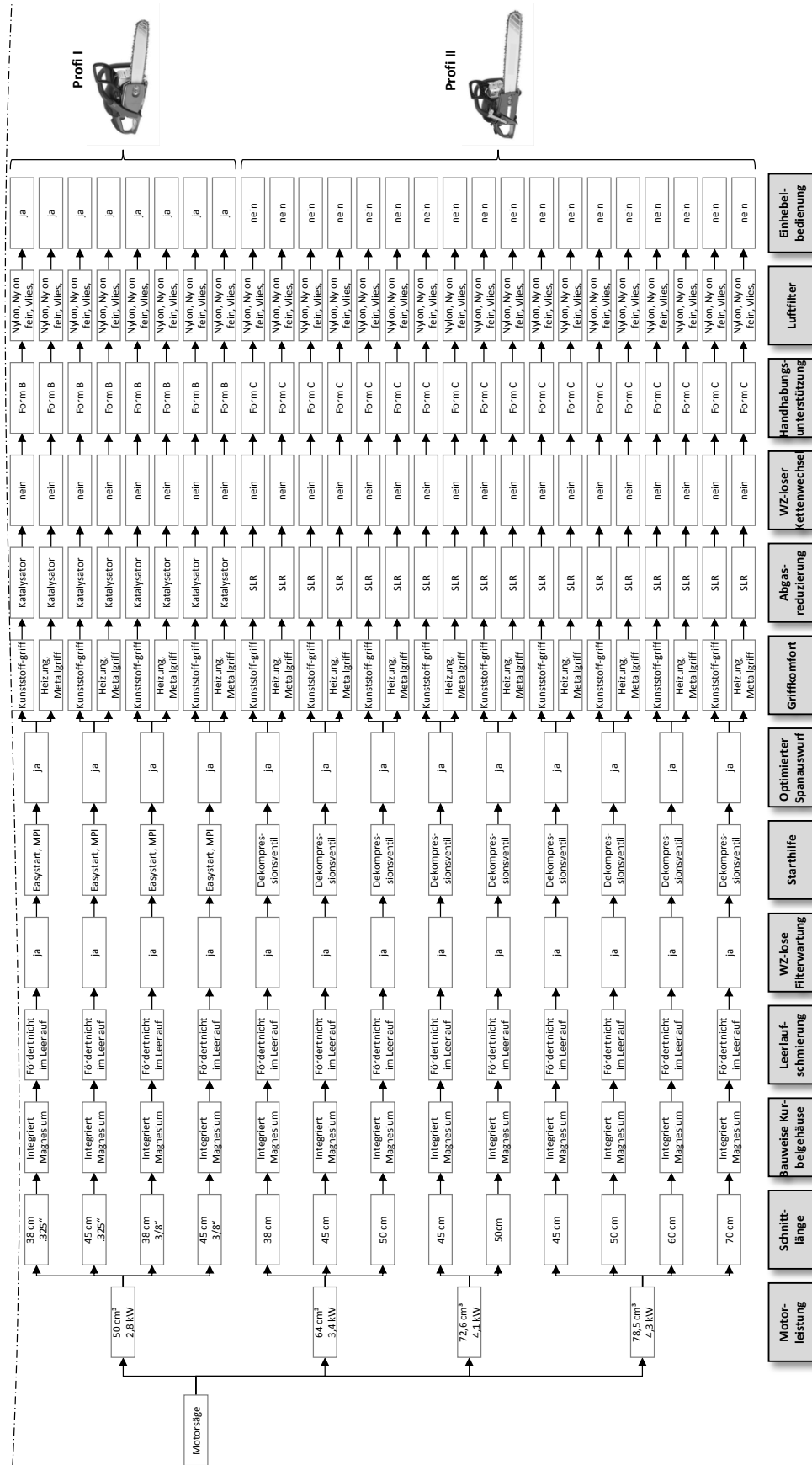
D Weitere Informationen zur Fallstudie

D1 Vielfaltsbaum



Fortsetzung auf der nächsten Seite...

... Fortsetzung von der vorherigen Seite.



D3 Variantengerechte Gestaltung der Komponenten

Die Vorgehensweise des Integrierten PKT-Ansatzes sieht die Durchführung der variantengerechten Gestaltung, wie in Abschnitt 3.2.2.8 beschrieben, als ersten Hauptarbeitsschritt vor. Die produktstrategische Modularisierung und damit auch die montagegerechte Produktstrukturierung schließen sich an und greifen auf die zuvor entwickelten Konzepte für die variantengerechte Gestaltung der Komponenten zurück.

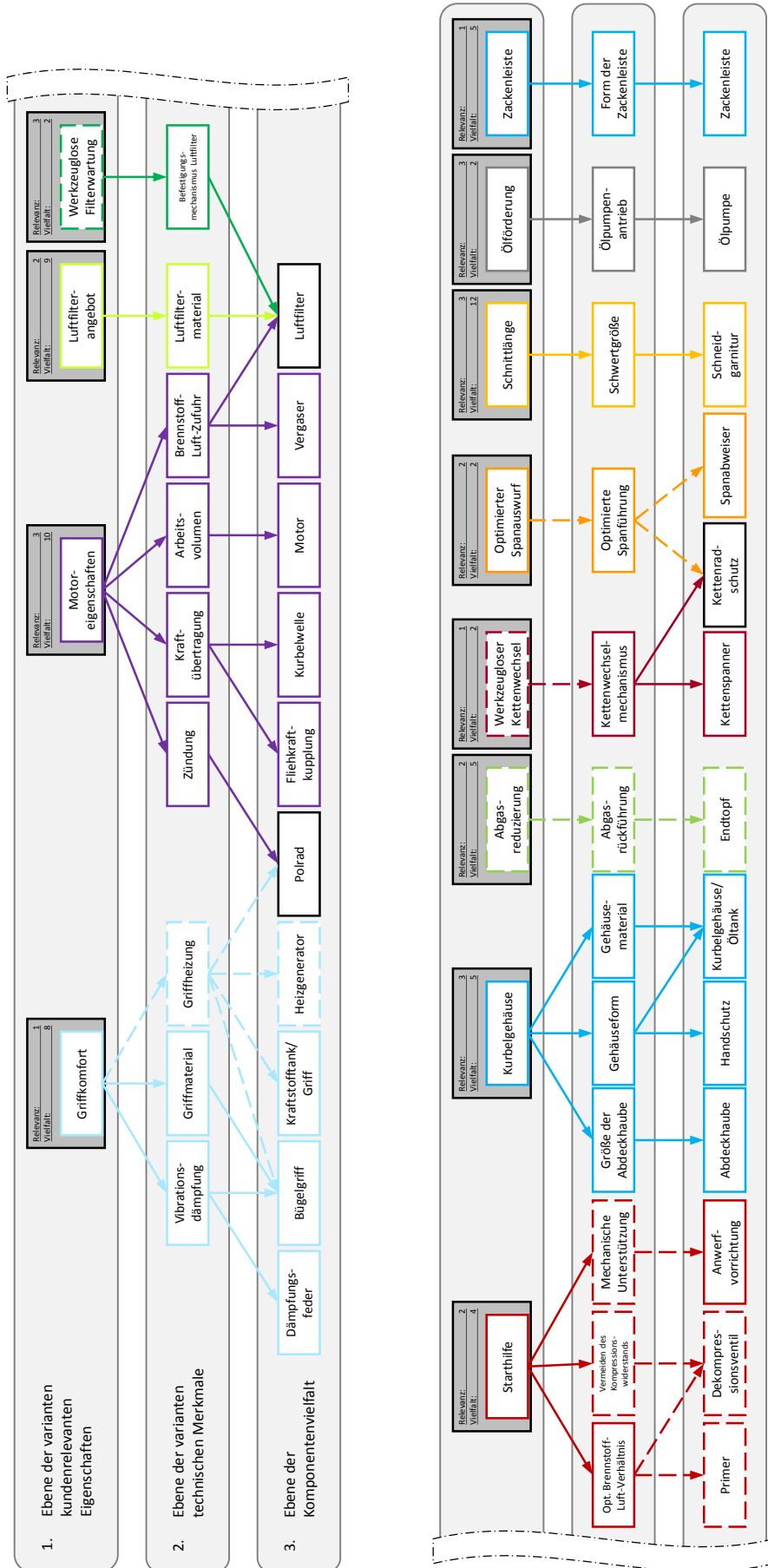
Die variantengerechte Gestaltung wird exemplarisch auf die Kettensägen-Produktfamilie angewendet. Dazu wird das Variety Allocation Model (VAM) in Form des in Abschnitt 3.2.3.5 beschriebenen Analyse-VAMs angewendet. Die Erstellung des Analyse-VAMs sowie die variantengerechte Gestaltung der Komponenten erfolgt in Zusammenarbeit mit den Produktexperten.

Der Analyse-VAM unterstützt die Suche nach Verbesserungspotentialen. Ziel ist das Erreichen einer eins-zu-eins Zuordnung von kundenrelevanten Eigenschaften, technischen Merkmalen und Komponenten. Für die kundenrelevante Eigenschaft der Abgasreduzierung wird eine Eins-zu-eins-Zuordnung durch die Vereinheitlichung der varianten technischen Merkmale realisiert. So kann die chemische Abgasumwandlung mittels Katalysator durch die Gaswechseltechnologie ersetzt werden.






Die werkzeuglose Filterwartung ist zwei varianten technischen Merkmalen zugeordnet. Im Falle der Befestigung der Abdeckhaube wird eine Standardisierung dieses Aspekts über die gesamte Produktfamilie angestrebt. Weitere Standardisierungspotentiale werden den Schnittstellenelementen Vergaserboden und Vergaserflansch zugesprochen. Die derzeitige Varianz kann durch identische Gestaltung innerhalb der Produktfamilie aufgehoben werden. Im Falle der Kettenbremse wird die Standardisierung durch entsprechende Überdimensionierung der baulichen Ausführung erreicht. Obwohl stets eine kompakte Bauweise jeder Variante angestrebt wird, kann diese Maßnahme als vertretbar eingestuft werden. Der exemplarische Analyse-VAM für die Kettensägen-Produktfamilie ist im Folgenden abgebildet.



















Zur weiteren Analyse der Varianz wird der in Abschnitt 3.2.3.6 vorgestellte Carry-over-Chart für die Kettensägen-Produktfamilie erstellt. Die Analyse zeigt, dass überwiegend bei Varianten aus vergleichbaren Segmenten, wie Einsteiger- und Hobby-Modell oder Farmer- und Profi-Modell, kommunale Verwendung von Komponenten vorliegt. In Zusammenarbeit mit den Produktexperten können segmentübergreifende Standardisierungspotentiale identifiziert werden. Es handelt sich dabei im Besonderen um die Anwerfvorrichtung, Fliehkraftkupplung sowie Kurbelwelle und Handschutz. Eine kommunale Verwendung kann durch Überdimensionierung der betroffenen Komponenten erreicht werden. Der im Folgenden dargestellte erste Carry-over-Chart zeigt die kommunale Komponentenverwendung der aktuellen Produktfamilie. Der zweite Carry-over-Chart enthält die identifizierten Standardisierungspotentiale.

Analyse-VAM










Carry-over-Chart (aktuelle Produktstruktur)

					
	Einsteiger	Hobby	Farmer	Profi I	Profi II
Komponenten					
Abdeckungshaube	(S)	(V)	(V)	(S)	(V)
Anwerfvorrichtung	(S)	(S)	(S)	(S)	(S)
Bügelgriff	(S)	(S)	(V) → (V)	(V)	(V)
Choke/Ein/Aus Hebel	(S)	(S)	(S) → (S)	(S)	(S)
Dämpfungsfedern	(S) → (S)	(S)	(S) → (S)	(S)	(S)
Dekompressionsventil					(S)
Endtopf	(S)	(S)	(V) → (V)	(V)	(S)
Fliehkraftkupplung	(S)	(S)	(S)	(S)	(S)
Handschutz	(S)	(S)	(S) → (S)	(S)	(S)
Heizgenerator				(O)	(O)
Kettenbremse	(S)	(S) → (S)	(S) → (S)	(S)	(S)
Kettenradschutz	(V)	(S)	(S) → (S)	(S)	(S)
Kettenspanner	(V) → (S)	(S)	(S) → (S)	(S)	(S)
Kraftstofftank/Griff	(S)	(S)	(S)	(V)	(V)
Kurbelgehäuse/Öltank	(V)	(S)	(S)	(V)	(V)
Kurbelwelle	(S)	(S)	(S) → (S)	(S)	(S)
Luftfilter	(S)	(V)	(V) → (V)	(V)	(V)
Motor	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)
Ölpumpe	(S)	(S)	(S) → (S)	(S)	(S)
Polrad	(S)	(S) → (S)	(S) → (V)	(V)	(V)
Primer	(S) → (S)	(S)			
Schneidgarnitur	(V) - - - - -> (V)	(V)	(V) - - - - -> (V)	(V) - - - - -> (V)	(V)
Spanabweiser			(S) → (S)	(S)	(S)
Vergaser	(S)	(S)	(S) → (S)	(S)	(S)
Vergaserboden	(S)	(S)	(S)	(S)	(S)
Vergaserflansch	(S)	(S)	(S)	(S)	(S)
Zackenleiste	(S) → (S)	(S)	(V) → (V)	(V)	(V)
Zünder	(S)	(S)	(S)	(S)	(S)

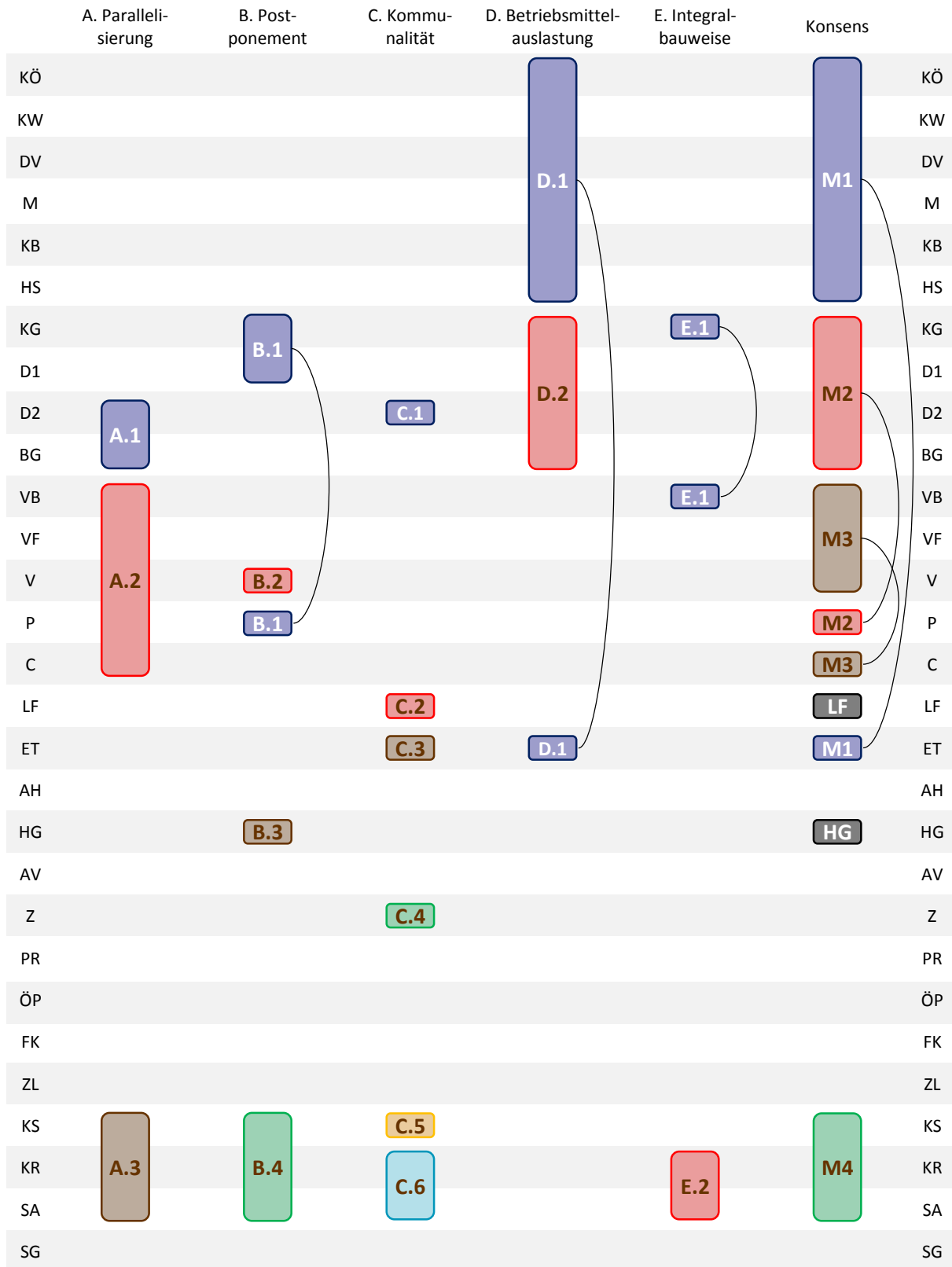
  Standardkomponente	  Optionale Komponente	    Carry-over Komponente
  Variante Komponente	  Optional-variante Komponente	    Komponente ohne Wiederverwendung
  Carry-over (Übernahme)		

Carry-over-Chart (Abschätzung der Standardisierungspotentiale)

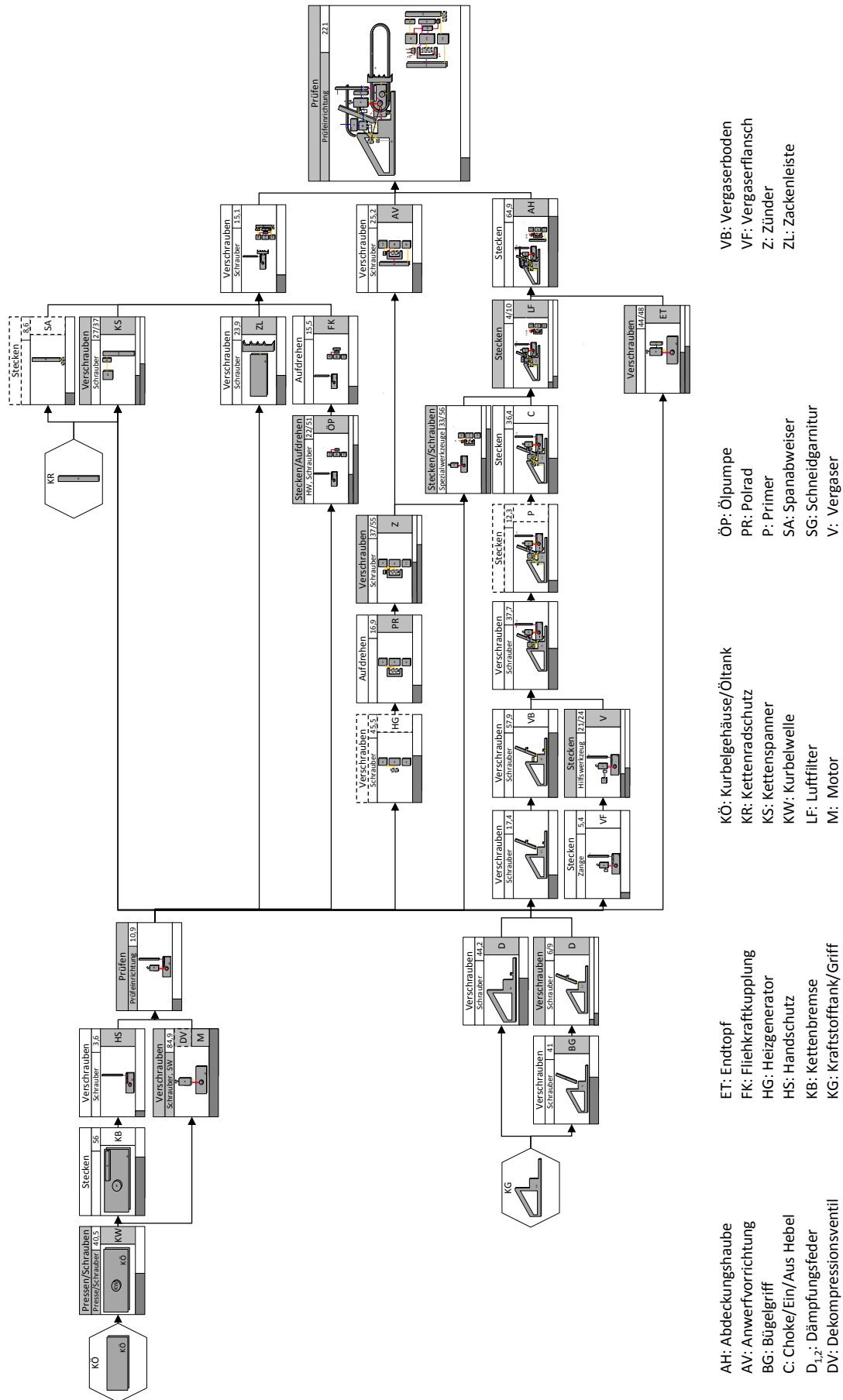
					
	Einsteiger	Hobby	Farmer	Profi I	Profi II
Komponenten					
Abdeckungshaube	(S)	(V)	(V)	(S)	(V)
Anwerfvorrichtung	(S) → (S)		(S) → (S)		(S)
Bügelgriff	(S)	(S)	(V) → (V)		(V)
Choke/Ein/Aus Hebel	(S) → (S) → (S) → (S) → (S)				
Dämpfungsfedern	(S) → (S)		(S) → (S)		(S)
Dekompressionsventil					(S)
Endtopf	(S)	(S)	(V) → (V)		(S)
Fliehkraftkupplung	(S) → (S)		(S) → (S)		(S)
Handschutz	(S) → (S)		(S) → (S)		(S)
Heizgenerator				(O)	(O)
Kettenbremse	(S) → (S) → (S) → (S) → (S)				
Kettenradschutz	(V)	(S)	(S) → (S)		(S)
Kettenspanner	(V) → (S)		(S) → (S)		(S)
Kraftstofftank/Griff	(S)	(S)	(S)	(V)	(V)
Kurbelgehäuse/Öltank	(V)	(S)	(S)	(V)	(V)
Kurbelwelle	(S) → (S)		(S) → (S)		(S)
Luftfilter	(S)	(V)	(V) → (V)		(V)
Motor	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)
Ölpumpe	(S)	(S)	(S) → (S)		(S)
Polrad	(S)	(S) → (S) → (S)		(V)	(V)
Primer	(S) → (S)				
Schneidgarnitur	(V) - - - - -> (V)		(V) - - - - -> (V) - - - - -> (V)		
Spanabweiser			(S) → (S)		(S)
Vergaser	(S)	(S)	(S) → (S)		(S)
Vergaserboden	(S) → (S) → (S) → (S) → (S)				
Vergaserflansch	(S) → (S) → (S) → (S) → (S)				
Zackenleiste	(S) → (S)		(V) → (V)		(V)
Zünder	(S)	(S)	(S)	(S)	(S)

(S) (S) Standardkomponente	(O) (O) Optionale Komponente	(S) (V) (O) (O) Carry-over Komponente
(V) (V) Variante Komponente	(O) (O) Optional-variante Komponente	(S) (V) (O) (O) Komponente ohne Wiederverwendung
 → Carry-over (Übernahme)  - - - - - Carry-over (Übernahme)		

D5 Abstimmung der Sichten



D6 ipAS der entwickelten Produktstruktur



D7 Berechnung der Kennzahlen (Fallstudie)

Durchlaufzeit

	Originale Produktstruktur	PKT-Ansatz	Entwickelte Produktstruktur
Durchlaufzeit	600,7 s	600,7 s	542,8 s
Durchlaufzeit (normiert)	1	1	0,9

Manual Assembly Efficiency Index

$$MAEI = \frac{\sum_{i=1}^{N_m-1} T_{BDI,i}}{T_{BDI,opt}} \quad (5)$$

$T_{BDI,i}$ = Zeitliche Dauer der Montageoperation i

N_m = Anzahl der Komponenten, entspricht Anzahl der Montageoperationen

$T_{BDI,opt}$ = Optimale Gesamtmontagezeit, ($T_{BDI,opt} = N_m \cdot 3s$)

	Originale Produktstruktur	PKT-Ansatz	Entwickelte Produktstruktur
$\sum T_{BDI,i}$	1102,2 s	1102,2 s	860 s
N_m	25	25	24
MAEI	14,7	14,7	11,9
MAEI (normiert)	1	1	0,82

Fehlerfreie Montage

$$P_A = \prod_{i=1}^n [1 - C_k (T_i - T_{ideal})^k] \cdot (1 - D_{pi}) \quad (3)$$

- P_A = Wahrscheinlichkeit eines fehlerfreien Montageergebnisses
 C_k = Konstante der Montagequalitätskontrolle, mit $0 < C_k < 1$ (je kleiner der Wert, desto mehr Fehler werden erkannt)
 T_i = benötigte Zeit für die i-te Montage Tätigkeit
 T_{ideal} = ideale Montagezeit
 K = Exponent bezogen auf die Fehleranfälligkeit einer Montage Tätigkeit mit $K > 1$
 n = Anzahl der Montage Tätigkeiten
 D_{pi} = Wahrscheinlichkeit, dass die i-te Komponente einen Fehler aufweist.

$$P_{A,parallel} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{A,i}) \quad (10)$$

	Originale Produktstruktur	PKT-Ansatz	Entwickelte Produktstruktur
Fehlerfreie Montage	0,92	0,93	0,95

Faktor	Wert
C_k	0,023 %
D_{pi}	0,023 %
K	1
T_1 (BG)	41 s
T_2 (D)	44,2 s
T_3 (KW)	40,5 s
T_4 (DV,M)	84,9 s
T_5 (verschr.)	17,4 s
T_6 (VB)	57,9 s
T_7 (verschr.)	37,7 s
T_8 (P)	12,3 s
T_9 (C)	36,4 s
T_{10} (LF)	10 s
T_{11} (AH)	64,9 s
T_{ideal}	3 s

Maßzahl Kommunalität

$$MK = \frac{\sum MV}{\sum M} \quad (12)$$

$\sum MV$ = Zeitaufwand varianter Montageverfahren

$\sum M$ = Gesamtzeitaufwand der Montagetätigkeiten

	Originale Produktstruktur	PKT-Ansatz	Entwickelte Produktstruktur
MV	592,2 s	592,2 s	416,8
$\sum M$	1102,2 s	1102,2 s	860 s
MK	0,54	0,54	0,48

Maßzahl Parallelisierungsindex

$$PI = \frac{\sum_{i=1}^k t_{pi}}{T} \quad (9)$$

t_{pi} = Zeitmenge der parallel durchführbaren Prozessschritte

k = Anzahl der parallel durchführbaren Prozessschritte

T = Gesamter zeitlicher Aufwand aller Prozessschritte

	Originale Produktstruktur	PKT-Ansatz	Entwickelte Produktstruktur
$\sum t_{pi}$	52,8 s	85,8 s	236 s
T	1086,2 s	1086,2 s	860 s
PI	0,05	0,08	0,27

Maßzahl Komponenten-Modul-Verhältnis

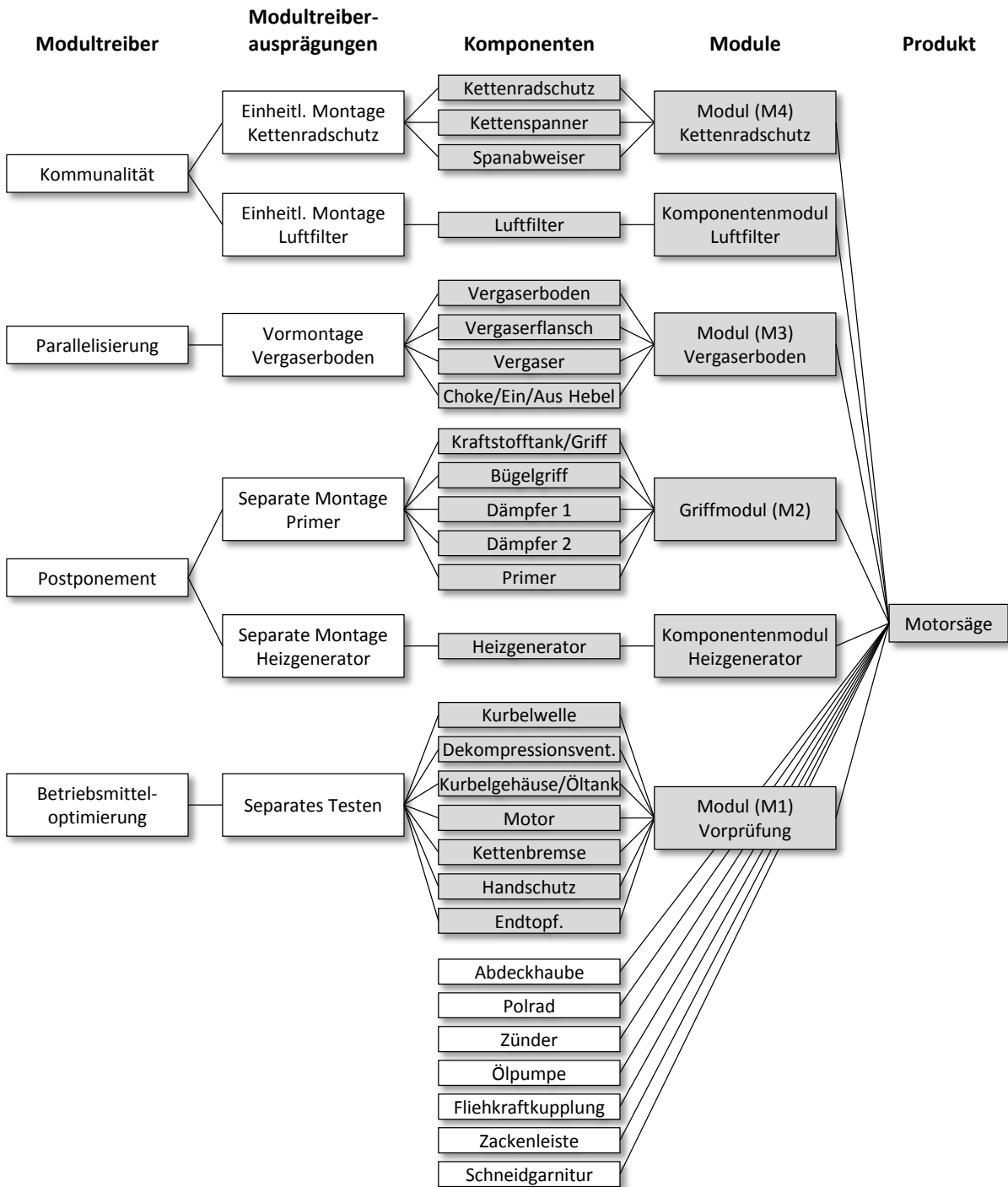
$$N_{M,opt} \approx \sqrt{N_K} \quad (4)$$

$N_{M,opt}$ = optimale Modulanzahl

N_K = Anzahl der Komponenten in der Produktstruktur

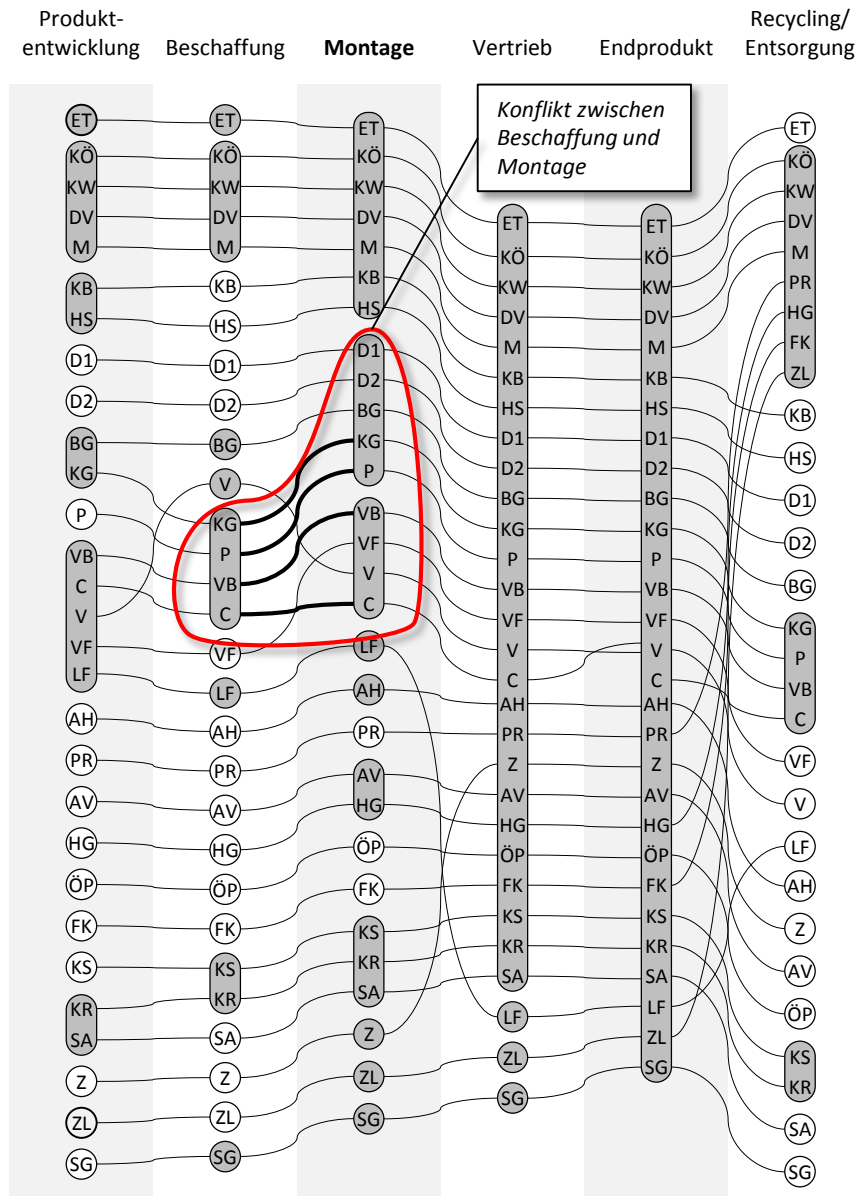
	Originale Produktstruktur	PKT-Ansatz	Entwickelte Produktstruktur
Komponentenzahl N_m	25	25	24
Optimale Modulzahl	5	5	5
Tatsächliche Modulzahl	3	3	5
Verhältnis	0,6	0,6	1

D8 Netzplan



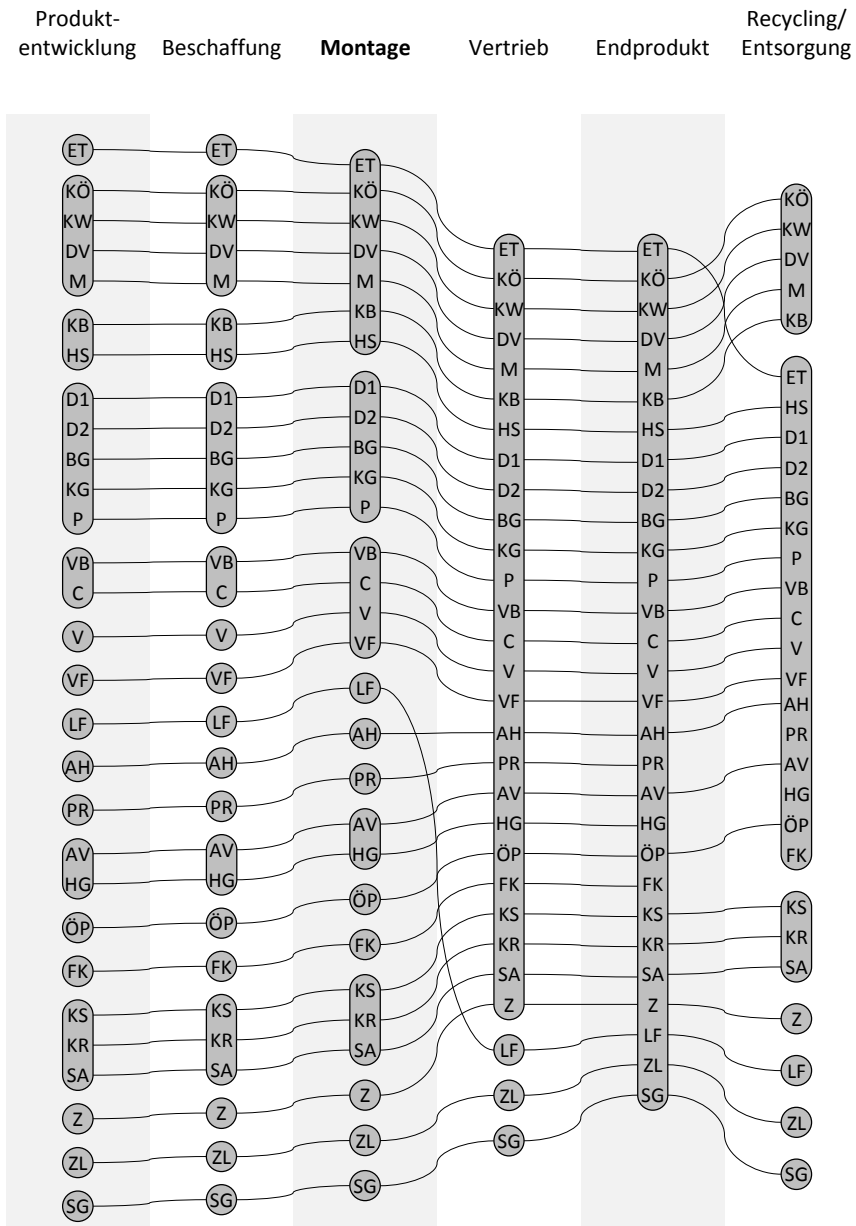
D9 Module-Process-Chart (MPC)

Vor der Abstimmung:



AH: Abdeckungshaube	KB: Kettenbremse	PR: Polrad
AV: Anwerfvorrichtung	KG: Kraftstofftank/Griff	P: Primer
BG: Bügelgriff	KÖ: Kurbelgehäuse/Öltank	SA: Spanabweiser
C: Choke/Ein/Aus Hebel	KR: Kettenradschutz	SG: Schneidgarnitur
D: Dämpfungsfeder	KS: Kettenspanner	V: Vergaser
DV: Dekompressionsventil	KW: Kurbelwelle	VB: Vergaserboden
ET: Endtopf	LF: Luftfilter	VF: Vergaserflansch
FK: Fliehkraftkupplung	M: Motor	Z: Zünder
HG: Heizgenerator	ÖP: Ölpumpe	ZL: Zackenleiste
HS: Handschutz		

Nach der Abstimmung:



- | | | |
|--------------------------|--------------------------|---------------------|
| AH: Abdeckungshaube | KB: Kettenbremse | PR: Polrad |
| AV: Anwerfvorrichtung | KG: Kraftstofftank/Griff | P: Primer |
| BG: Bügelgriff | KÖ: Kurbelgehäuse/Öltank | SA: Spanabweiser |
| C: Choke/Ein/Aus Hebel | KR: Kettenradschutz | SG: Schneidgarnitur |
| D: Dämpfungsfeder | KS: Kettenspanner | V: Vergaser |
| DV: Dekompressionsventil | KW: Kurbelwelle | VB: Vergaserboden |
| ET: Endtopf | LF: Luftfilter | VF: Vergaserflansch |
| FK: Fliehkraftkupplung | M: Motor | Z: Zünder |
| HG: Heizgenerator | ÖP: Ölpumpe | ZL: Zackenleiste |
| HS: Handschutz | | |

Literatur

- [Abd08] Abdelkafi, N.: „Variety-induced complexity in mass customization“, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2008.
- [Abe99] Abele, E.; Brungs, F.; Hueske, B.: „Produktionsgerecht modularisieren“ in: wt Werkstattstechnik online, Jahrgang 99, H.9, 2009, S. 598-605.
- [Ahl99] Ahlström, P.; Westbrook, R.: “Implications of mass customization for operations management: an exploratory survey”, in: International Journal of Operations & Production Management, Vol. 19 No. 3, 1999, S. 262-75.
- [Ali04] Alisch, K.: „Gablers Wirtschaftslexikon“, Gabler, Wiesbaden 2004.
- [And88] Andreasen, M.M.: “Design for Assembly”, Springer Verlag, Berlin, 1988.
- [And06] Andreasen, M.M. et al.: „What happend to DFM? 17 Years DfX-Symposia“ in: Design for X – Beiträge zum 17. DfX-Symposium, Neukirchen, 2006, S. 1-14.
- [Bäß88] Bäßler, R.: „Integration der montagegerechten Produktgestaltung in den Konstruktionsprozeß“, Dissertation, Springer Verlag, Berlin, 1988.
- [Bec78] Bechmann, A.: „Nutzwertanalyse, Bewertungstheorie und Planung“, Haupt Verlag, Bern, 1978.
- [Ble08] Blees, C.: „On the development of modular product structures: a differentiated approach“, in: Proceedings of the 10th International Design Conference - Design 2008, Dubrovnik, 2008, S. 301-308.
- [Ble09] Blessing, L.; Chakrabarti, A.: „DRM, a design research methodology“, Springer Verlag, London, 2009.
- [Ble10] Blees, C.: „Development of Modular Product Families: Integration of Design for Variety and Modularization“, Proceed of norddesign, Göteborg, 2010, S. 159-168.
- [Ble11] Blees, C.: „Eine Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien“, Dissertation, TuTech Verlag, Hamburg, 2011.
- [Boo02] Boothroyd, G.; Dewhurst, P.; Knight, W.: „Product Design for Manufacture and Assembly“, Marcel Dekker, New York, 2002.
- [Bou84] Bourjault, A., „Contribution a une approche methologique de l’assemblage automatisé: elaboration automatique des sequences operatoires“, Université de France-Comte, 1984.
- [Bre09] Brecher, Ch.; Schapp, L.: „Montagetechnik und –organisation – Strategien und Trends“, Aachen, 2009.
- [Bri10] Britzke, B.: „MTM in einer globalisierten Wirtschaft“, mi-Wirtschaftsbuch, München, 2010.
- [Bro11] Brosch, M.: „Design for Value Chain – Handlungsfelder zur ganzheitlichen Komplexitätsbeherrschung“, in: Design for X, Beiträge zum 22. DfX-Symposium, Tutzing, 2011, S. 67-78.
- [Bul86] Bullinger, H.J.: „Systematische Montageplanung“, Hanser, München, 1986.
- [Cae91] Caesar, C.: „Kostenorientierte Gestaltungsmethodik für variantenreiche Serienprodukte (VMEA)“, Dissertation, RWTH Aachen, 1991.

- [Can03] Cantamessa, M.: „An empirical perspective upon design research“, *Journal of Engineering Design*, Bd. 14, Nr. 1, 2003, S. 1-15.
- [Can11] Cankuvvet, G.: „Komplexitätsbetrachtungsmethode zum Einsatz im Konstruktionsprozess“, Dissertation, Universität Magdeburg, 2011.
- [Con92] Constance, J.: „Learning to Design for Manufacture and Assembly“, in: *Mechanical Engineering*, No. 70, 1992, S. 70-74.
- [Coo90] Cooper, R.: „Stage-Gate Systems: A New Tool for Managing New Products“, in: *Business Horizons*, Vol. 33, No. 3, 1990, S. 44-54.
- [Dah90] Dahl, B.: „Entwicklung eines Konstruktionssystems zur Unterstützung der montagegerechten Produktgestaltung“, Dissertation, RWTH Aachen, 1990.
- [Dan07] Danilovic, M.; Browning, T. R.: „Managing Complex Product Development Projects with Design Structure Matrices and Domain Mapping Matrices“, in: *International Journal of Project Management*, Vol. 25, No. 3, 2007, S.300-314.
- [Deh04] Dehnen, K.: „Strategisches Komplexitätsmanagement in der Produktentwicklung“, Dissertation, Universität Münster, Verlag Dr. Kovac, Hamburg, 2004.
- [Dur02] Duray, R.: „Mass customization origins: mass or custom manufacturing?“, in: *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 22 No. 3, 2002, S. 314-328.
- [Ega97] Egan, M.: „Design For Assembly in the Product Development Process – A Design Theory Perspective“, Dissertation, Chalmers, Report No. 1997-11-14, 1997.
- [Ehr95] Ehrlenspiel, K.: „Integrierte Produktentwicklung – Methoden für Prozessorganisation, Produkterstellung und Konstruktion“, Hanser Verlag, München, 1995.
- [Eil11] Eilmus, S.; Beckmann, G.; Krause, D.: „Modulare Strukturen methodisch in Unternehmen umsetzen – Entwicklung von Standardumfängen und Integration von Erfahrungswissen“, in: *Design for X – Beiträge zum 22. DfX-Symposium*, München, 2011, S. 99-118.
- [Eil12] Eilmus, S.; Krause, D.: „An Approach for reducing Variety across Product Families“, *Proceedings of norddesign 2012*, Aalborg, 2012.
- [Eil13] Eilmus, S.; Krause, D.: „Product Life-oriented Development of Component Commonality and Variety“, in: *Proceedings of the ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress and Exposition (IMECE2013) San Diego*, 2013.
- [Els12] Elstner, S.; Krause, D.: „Towards an early consideration of ramp-up phase in the product development of complex products“, in: *Proceedings of the 12th International Design Conference – Design 2012*, Dubrovnik, 2012, S. 859-868.
- [Eri98] Erixon, G.: „Modular Function Deployment: A Method for Product Modularisation“, Dissertation, Royal Institute of Technology, Stockholm, 1998.
- [Esk01] Eskilander, S.: „Design for Automatic Assembly“, Dissertation, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2001.
- [Fei97] Feitzinger, E.; Lee, H.: „Mass customization at Hewlett-Packard: the power of postponement“, in: *Harvard Business Review*, Vol. 75 No. 1, 1997, S. 116-121.

- [Fel97] Feldhusen, J.: „Design to Cost – Motivation zur neuen Prozessgestaltung in der Konstruktion“, in: VDI-Berichte 1338, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1997.
- [Fos08] Foss, K.: „Will Modular Products and Organizations improve Lead-Time in Product Development?“, in: Burton et al. (Hrsg.): „Designing Organizations“, Springer, New York, 2008, S. 191-221.
- [Fra02] Franke, H.-J. (Hrsg.) et al.: „Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung“, Hanser Verlag, München, 2002.
- [Fre06] Fredriksson, P.: „Mechanisms and rationales for the coordination of a modular assembly system“, in: International Journal of Operations & Production Management, Vol. 26, No.4, 2006, S. 350-370.
- [Gai81] Gairola, A.: „Montagegerechtes Konstruieren: Ein Beitrag zur Konstruktionsmethodik“, Technische Universität Darmstadt, 1981.
- [Gau05] Gausemeier, J. et al.: „Entwicklung selbstoptimierender Systeme“, in: Konstruktion, Heft 10 (2005), Springer VDI-Verlag, Düsseldorf, 2005.
- [Geb12a] Gebhardt, N.; Beckmann, G.; Krause, D.: „Product Family Models and Knowledge Transfer Support for the Development of Modular Product Families“, Proceedings of norddesign 2012, Aalborg, 2012.
- [Geb12b] Gebhardt, N.; Malone, K.; Krause, D.: „Nutzung von „Merkmale“ und „Eigenschaften“ zur Beschreibung und Analyse von Produktvarianz“, Design for X, Beiträge zum 23- DfX-Symposium, Bamberg, 2012.
- [Gia06] Giannoulis, D.: „Modellgestützte Montagekostenprognose für die Einzel- und Kleinserienfertigung im Maschinenbau“, Shaker Verlag, 2006.
- [Göp98] Göpfert, J.: „Modulare Produktentwicklung – Zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation“, Dissertation, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 1998.
- [Gru01] Grunwald, S.: „Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung“, Dissertation, TU München, 2001.
- [Gum09] Gumpinger, T.; Jonas, H.; Krause, D.: „New Approach for Lightweight Design: From Differential Design to Integration of Function.“, in: Proceedings of the 17th International Conference on Engineering Design (ICED), Stanford, USA, 2009, S. 6-201 - 6-210.
- [Gün09] Günther, H.-O.; Tempelmeier, H.: „Produktion und Logistik“, Springer Verlag, Berlin, 2009.
- [Hal09] Halfmann, N.; Krause, D.: „Entwicklung montagegerechter Flugzeugkabinen“, Design for X, Beiträge zum 20. DfX-Symposium, Neukirchen, 2009.
- [Hal10] Halfmann, N.; Krause, D.: „Towards Innovative Assembly Concepts: Integral Product and Assembly Structure“, in: Proceedings of the 11th International Design Conference – Design 2010, Dubrovnik, 2010, S. 751-760.
- [Hal11] Halfmann, N.; Elstner, S.; Krause, D.: „Product and Process Evaluation in the Context of Modularisation for Assembly“, in: Proceedings of the 18th Intl. Conference on Engineering Design (ICED), Kopenhagen, 2011, Vol 5, S. 271-281.

- [Hal12a] Halfmann, N.; Krause, D.: „Assembly Time Estimation Model for early Product Design Phases – Concept Development and empirical Validation“ in: Proceedings of the 12th International Design Conference – Design 2012, Dubrovnik, 2012, S. 455-464.
- [Hal12b] Halfmann, N.; Krause, D.: „Assembly Target specific Structuring of modular Product Families“, Proceedings of norddesign 2012, Aalborg, 2012.
- [Hai96] Hain, J.: „Bewerten und Entscheiden bei der Konstruktion Technischer Systeme“, Shaker Verlag, Aachen, 1996.
- [Höl06] Hölttä-Otto, K.; Otto, K.: „Platform Concept Evaluation“, in: Simpson, T.; Siddique, Z.; Jiao, J. (Hrsg.): „Product Platform and Product Family Design“, Springer Verlag, New York, 2006, S. 49-72.
- [Hua96] Huang, G.Q.: „Design for X: concurrent engineering imperatives“, Chapman & Hall, London, 1996.
- [Hub92] Hubka, V.; Eder, E.: „Einführung in die Konstruktionswissenschaft“, Springer Verlag, Berlin, 1992
- [Jac07] Jacobs, M. et al.: „The Effects of Product Modularity on competitive Performance: Do Integration Strategies mediate the Relationship?“, in: International Journal of Operations & Production Management, Vol. 27, 2007, S. 1046-1068.
- [Jia07] Jiao, J.: „Process Platform Planning for Variety Coordination from Design to Production in Mass Customization Manufacturing“, in: IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 54, Nr. 1, Februar 2007, S. 112-129.
- [Jon14] Jonas, H.: „Eine Methode zur strategischen Planung modularer Produktprogramme“, Dissertation TU Hamburg-Harburg, TuTech Verlag Hamburg, 2014.
- [Kip10] Kipp, T.; Bles, C.; Krause, D.: „Anwendung einer integrierten Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien“, Design for X - Beiträge zu 21. DfX-Symposium, Hamburg, 2010, S. 157-168.
- [Kip12] Kipp, T.: „Methodische Unterstützung der variantengerechten Produktgestaltung“, Dissertation, TuTech Verlag, Hamburg, 2012.
- [Koe08] Koeppen, B.: „Modularisierung komplexer Produkte anhand technischer und betriebswirtschaftlicher Komponentenkopplungen“, Dissertation, Shaker Verlag, Aachen, 2008.
- [Kol94] Koller, R.: „Konstruktionslehre für den Maschinenbau“, Springer Verlag, Berlin [u.a.], 1994.
- [Kot07] Kotler, P. et al.: „Marketing-Management: Strategien für wertschaffendes Handeln“, Pearson, München, 2007.
- [Kra11] Krause, D.; Eilmus, S.: „Methodical Support for the Development of Modular Product Families“, in: The Future of Design Methodology, Springer Verlag, Berlin, 2011, S.33-45.

- [Kra13] Krause, D.; Eilmus, S.; Jonas, H.: „Developing Modular Product Families with Perspectives for the Product Program“, in: Smart Product Engineering – 23rd CIRP Design Conference, Springer, Bochum, 2013, S. 543-552.
- [Len94] Lenk, E.: „Zur Problematik der technischen Bewertung“, Dissertation, Hanser Verlag, München, 1994.
- [Lin09] Lindemann, U.: „Methodische Entwicklung technischer Produkte: Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden“, Springer, Berlin, 2009.
- [Lot02] Lotter, B., Spath, D., Baumgartner, P.: „Primär-Sekundär-Analyse Kundennutzenmessung und Kundennutzenorientierung im Unternehmen“, Expert-Verlag, Renningen, 2002.
- [Lot06] Lotter, B. (Hrsg.); Wiendahl, H. P. (Hrsg.): „Montage in der industriellen Produktion: Ein Handbuch für die Praxis“, Springer Verlag, Berlin, 2006.
- [Mar96] Martin, M.; Ishii, K.: „Design for Variety: A Methodology for Understanding the Costs of Product Proliferation“, in: Proceedings of the 1996 ASME Design Engineering Technical Conferences and Computers in Engineering Conference, California, 1996.
- [Mee94] Meerkamm, H.: „Design for X – A Core Area of Design Methodology“ in: Journal of Engineering Design, Vol. 5, Nr. 2, S. 145-163.
- [Mey97] Meyer, M.H., Lehnerd, A.P.: „The Power of Product Platforms: Building Value and Cost Leadership“, The Free Press, New York, 1997.
- [Mey06] Meyer, C.M.: „Integration des Komplexitätsmanagements in den strategischen Führungsprozess der Logistik“, Haupt Verlag, Bern, 2006.
- [Mie76] Miese, M.: „Systematische Montageplanung in Unternehmen mit Kleinserienproduktion“, Girardet, 1976.
- [Miy86] Miyakawa, S.; Ohashi, T.: „The Hitachi Assemblability Evaluation Method (AEM)“, In: Proceedings of 1st International Conference on Product Design for Assembly, 1986.
- [Miy90] Miyakawa, S.; Ohashi, T.; Iwata, M.: „The Hitachi New Assemblability Evaluation Method (AEM)“, In: Transactions of the North American Manufacturing Research Institution of SME. Dearborn, Michigan, 1990, S. 352-359.
- [Mor05] Mortensen, N. H.; Harlou, U.: „Multi-Produkt-Entwicklung – praxisorientierte Werkzeuge und praktische Erfahrung“, in: Schäppi, B. et al.: „Handbuch Produktentwicklung“, Hanser Verlag, 2005, S. 317-339.
- [Ott89] Ottenbruch, P.: „Entwicklung eines Systems zur Unterstützung der Konzept- und Entwurfsphase“, Dissertation, RWTH Aachen, 1989.
- [Pah06] Pahl, G.; Beitz, K.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H.: „Pahl/Beitz Konstruktionslehre“, Springer Verlag, Berlin [u.a.], 2006.
- [Pil99] Piller, F.; Waringer, D.: Modularisierung in der Automobilindustrie – neue Formen und Prinzipien“, Modular Sourcing, Plattformkonzept und Fertigungssegmentierung als Mittel des Komplexitätsmanagements“, Shaker Verlag, Aachen, 1999.

- [Pil06] Piller, F.: „Mass Customization, Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter“, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2006.
- [Pim94] Pimpler, T.; Eppinger, S.: „Integration Analysis of Product Decompositions“, in: Proceedings of the 6th Design Theory and Methodology Conference, New York, 1994, S. 343-351.
- [Pin93] Pine, B. J.: „Mass customization : the new frontier in business competition“, Harvard Business School Press, Boston, 1993.
- [Pul02] Pulm, U.; Lindemann, U.: „Towards a flexible and adequate Use of Methods in Product Development“, in: Proceedings of the 7th International Design Conference, Design 2002, S. 229-234.
- [Rap99] Rapp, T.: „Produktstrukturierung“, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1999.
- [Red94] Redford, A.; Chal, J.: „Design for Assembly – Principles and Practice“, McGraw-Hill Book Company, London, 1994.
- [Ref93] REFA: „Methodenlehre der Betriebsorganisation“, Carl Hanser Verlag, München, 1993.
- [Rei99] Reinhart, G.; Cuiper, R.: „Assembly Process and Assembly Control Development – A Holistic and Consistent Approach“, in: CIRP Annals – Manufacturing Technology, Vol. 48, No. 1, 1999, S. 25-28.
- [Rie03] Riepe, B.: „Integrierte Produktstrukturmodellierung in den frühen Phasen der Produktentstehung“, Dissertation, Universität Paderborn, 2003.
- [Rob98] Robertson, D.; Ulrich, K.: „Planning for Product Platforms“, Sloan Management Review, Cambridge, 1998, S. 19-31.
- [Rot00] Roth, K.: „Konstruieren mit Konstruktionskatalogen“, Bd. 1 – 3, Springer, Berlin, 2000.
- [Rup80] Rupp, M.: „Produkt/Markt-Strategien“, Verlag Industrielle Organisation, Zürich, 1980.
- [Rup07] Ruppert, T.: „Modularisierung des Verbrennungsmotors als strategische Option in der Motorenindustrie“, University Press, Kassel, 2007.
- [Sah06] Sahin, A. et al.: „A Graphical Modeling Environment for Configuring Modular Product Families and Platforms“, 32nd Design Automation Conference, Vol. 1, 2006, S. 1263-1275.
- [Sal07] Salvador, F.: „Toward a Product System Modularity Construct: Literature Review and Reconceptualization“, in: IEEE Transactions on Engineering Management, Vol: 54, No. 2, 2007, S. 219-240.
- [San04] Sandt, J.: „Management mit Kennzahlen und Kennzahlensystemen: Bestandsaufnahme, Determinanten und Erfolgsauswirkungen“, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2004.
- [Sch80] Schönfeld, S. et al.: „Analyse des Konstruktionsprozesses – Ein Mittel zur Rationalisierung und Intensivierung in der Konstruktion“, in: Maschinenbautechnik Vol. 29, Nr. 5, 1980, S.204-208.

- [Sch01] Schulte, G.: „Material- und Logistikmanagement“, Oldenbourg Verlag, München, 2001.
- [Sch02] Schichtel, M.: „Produktdatenmodellierung in der Praxis“, Hanser Verlag, München, 2002.
- [Sch05] Schuh, G.; Schwenk, U.: „Produktkomplexität managen“, Hanser Verlag, München, 2005.
- [Sch10] Schneider, C., Bunse, K.: „Modularisierung aus Sicht der Produktion – Produktionskonzepte für modulare Produkte am Beispiel Automobil“, in: Industrie Management, Nr. 1, 2010, S. 57-60.
- [Sei05] Seidel, M.: „Methodische Produktplanung – Grundlagen, Systematik und Anwendung im Produktentstehungsprozess“, Dissertation, Universität Karlsruhe, 2005.
- [Spe99] Specht, D.; Heina, J.: „Variantenkalkulation: Unterstützung der Variantenentscheidung durch eine entscheidungsorientierte Kalkulation“, in: Produkt und Controlling, München, 1999, S. 223-245.
- [Spu84] Spur, G.: „Fügen“, in: Zwf-Lehrblatt Fertigungstechnik Nr. 36. Zwf 79, 1984, S.627-628.
- [Spu86] Spur, G.: „Handbuch der Fertigungstechnik“, Band 5, Carl Hanser Verlag, 1986.
- [Sta65] Starr, M.K.: „Modular production, a new concept“, in: Harvard Business Review, Vol. 53, 1965, S. 131-142.
- [Ste81] Steward, D.: „The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems“, in: IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. EM-28, No. 3, New York, 1981, S. 71-74.
- [Ste07] Steffen, D.: „Ein Verfahren zur Produktstrukturierung für fortgeschrittene mechatronische Systeme“, Dissertation, Heinz Nixdorf Institut, Paderborn, 2007.
- [Sto95] Stoll, G.: „Montagegerechte Produkte mit feature-basiertem CAD“, Dissertation, Technische Universität München, Carl Hanser Verlag, 1995.
- [Sto97] Stone, R.B.: „Towards a Theory of Modular Design“, Dissertation, University of Texas, Austin, 1997.
- [Suh90] Suh, N.P.: „The Principles of Design“, Oxford University Press, 1990.
- [Töp04] Töpfer, A.: „Six Sigma: Konzeption und Erfolgsbeispiele für praktizierte Null-Fehler-Qualität“, Springer, Berlin, 2004.
- [Ulr95] Ulrich, K.: „The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm“, Research Policy, 24, 1995.
- [Ung86] Ungeheuer, U.: „Produkt- und Montagestrukturierung“, VDI Verlag, Düsseldorf, 1986.
- [Voi08] Voigt, K.-I.: „Industrielles Management“, Springer Verlag, Berlin, 2008.
- [Web08] Weber, C.: „How to derive Application-specific Design Methodologies“, in: Proceedings of the 10th International Design Conference – Design 2008, Dubrovnik, 2008, S. 69-80.

- [Wei02] WEißner, R. et al.: „Zukuntorientierte Fabrikstrukturen in der Automobilindustrie“, in: wt Werkstatttechnik online, Nr. 92, 2002, S. 144-148.
- [Wes06] Westkämper, E.: „Einführung in die Organisation der Produktion“, Springer Verlag, Berlin, 2006.
- [Wil97] Wilhelm, B.: “Platform and modular concepts at Volkswagen – their effects on the assembly process”, in: Transforming Automobile Assembly, Springer, London, 1997, S. 146-155.
- [Wil01] Wilhelm, B.: „Konzeption und Bewertung einer modularen Fahrzeugfamilie: Strategien und Methoden“, Shaker Verlag, Aachen, 2001.
- [Wil10a] Wildemann, H.: „Produktlinik: Leitfaden zur Steigerung der Lerngeschwindigkeit und Produktkostensenkung“, München, 2010.
- [Wil10b] Wildemann, H.: „Neue Montagekonzepte – Realisierung von Produktordnungssystemen in der Kleinserienmontage komplexer Produkte bei kleinen und mittleren Unternehmen“, Projektbericht TU München, 2010.
- [Yin09] Yin, R. K.: „Case study research: design and methods – 4th ed.“, Sage Publications, Thousand Oaks, 2009.
- [Zan73] Zangemeister, C.: „Nutzwertanalyse in der Systemtechnik“, Wittemann, Berlin, 1973.
- [Zan08] Zanker, W.: „Effektiver und Effizienter Methodeneinsatz in der Produktentwicklung“, in: Konstruktion, Heft 6, 2008, S. 83-89.
- [Zha07] Zhang, L.: „Process Platform-based Production Configuration for Mass Customization“, Dissertation, Nanyang Technological University, 2007.

Normen und Richtlinien

- [DIN81] DIN 199 Teil 5: „Begriffe im Zeichnungs- und Stücklistenwesen“, Beuth Verlag, 1981.
- [DIN85a] DIN 55350: „Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik“ Beuth Verlag, 1985.
- [DIN85b] DIN 8593: „Fertigungsverfahren Fügen; Einordnung, Unterteilung, Beuth Verlag, 1985.
- [DIN90] DIN 6789: „Dokumentationssystematik“, Beuth Verlag, 1990.
- [DIN03] DIN 8580: „Fertigungsverfahren, Begriffe, Einteilung“, Beuth Verlag, 2003.
- [TGL71] TGL 13394: „Montagegerechtes Konstruieren“, Technische Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen, VEB Fachbuchverlag, Leipzig, 1971.
- [VDI67] VDI-Richtlinie 3237: „Fertigungsgerechte Werkstückgestaltung im Hinblick auf automatisches Zubringen, Fertigen und Montieren“, Beuth Verlag, Berlin, 1967.
- [VDI89] VDI-Berichte 758: „Simultaneous Engineering“, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1989.
- [VDI93] VDI-Richtlinie 2221: „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1993.
- [VDI90] VDI-Richtlinie 2860: „Montage- und Handhabungstechnik“, Beuth Verlag, Berlin, 1990.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Geboren am 03. Oktober 1980 in Hamburg

Berufliche Tätigkeiten

Seit 02.2014	Diehl Aircabin GmbH, Laupheim, Projektkoordinator Engineering
01.2008 – 12.2013	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik der TU Hamburg-Harburg

Hochschulstudium

10.2001 – 01.2008	Maschinenbaustudium an der TU Hamburg-Harburg Vertiefungsrichtung Produktentwicklung Abschluss: Diplom-Ingenieur Maschinenbau
-------------------	---

Zivildienst und Schulbildung

10.2000 – 07.2001	Johanniter-Unfall -Hilfe e.V., Hamburg, Rettungssanitäter
1991 – 2000	Gymnasium Oberalster, Hamburg, Abschluss: Abitur