

Montagecluster zur Strukturierung der Fahrzeugendmontage –
Eine Methode zur frühzeitigen Planung und Auslegung von
Endmontagelinien

Dissertation
zur Erlangung des Grades
des Doktors der Ingenieurwissenschaften
der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät
der Universität des Saarlandes

von
Ulrich Weidemann

Saarbrücken
2017

Tag des Kolloquiums: 14.12.2017
Dekan: Prof. Dr. Guido Kickelbick

Mitglieder des Prüfungsausschusses:

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. G. Frey
Berichterstattender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. R. Müller
Berichterstattender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. St. Seelecke
Akademischer Mitarbeiter: Dr.-Ing. T. Sauerwald

Die Ergebnisse, Meinungen und Schlüsse dieser Dissertation sind nicht notwendigerweise die der Volkswagen AG

Eidesstattliche Versicherung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet. Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form in einem Verfahren zur Erlangung eines akademischen Grades vorgelegt.

Ort, Datum

Unterschrift

Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund der steigenden Komplexität in der Fahrzeugendmontage beschäftigt sich die vorliegende Dissertation mit einer Methode zur frühzeitigen Auslegung und Abschätzung von Fahrzeugendmontagelinien und deren Umsetzung in einer digitalen Planungssoftware. Dabei wird unter Zuhilfenahme bereits bestehender produkt- und prozessseitiger Maßnahmen zur Komplexitätsreduzierung der Lösungsraum abgegrenzt. Bei der Analyse der bestehenden Konzepte und der daraus resultierenden Abgrenzung hat sich herausgestellt, dass ein Mangel an Methoden zur frühzeitigen Strukturierung der Fahrzeugendmontage vorliegt. Diese Lücke soll mit dieser Arbeit geschlossen werden, indem eine Methode zur frühzeitigen Planung und Auslegung von Endmontagelinien entwickelt wird. Dafür wird basierend auf den Anforderungen vom Produkt, den prozessseitigen Restriktionen und den Anforderungen von Betriebsmitteln, eine Vorgehensweise zur Clusterung von Bauteilen entwickelt und anhand von drei Fallbeispielen validiert. Eine Vorkategorisierung der Bauteile nach einer eigenen Systematik ermöglicht dabei eine vereinfachte Ausgangssituation zur nachfolgenden Clusterung. Der größte Einfluss bei der Clusterung wurde durch die Fügerangfolge und den Einbauort eines Bauteils erzeugt, sodass dies die wichtigsten Kriterien bei der Bildung von Montagecluster sind. Eine digitale Absicherung der Vorgehensweise in einer Planungssoftware, ermöglicht zudem eine durchgängige Nutzbarkeit in der praktischen Anwendung.

Increasing complexity in the final car assembly forces the production planning to create new methods and planning tools to deal with this increase of complexity. The present dissertation describes a new method for early dimensioning and evaluation of final car assembly lines and the implementation in a digital planning tool. For creating this method, it is necessary to have a closer look at already existing methods of complexity reduction, especially those which describe the product and process side. During the analysis and comparison of the existing methods, it turned out that there is a lack of methods for the early structuring of the final car assembly. The present dissertation fills this gap by developing a method for the early planning and designing of the technical layout of a final car assembly line. Based on the product requirements, the process-sided restrictions and the requirements for production facilities, a procedure for the clustering of components is developed and validated in three case examples. Here, an early categorization of the components according to a specific classification allowed a simplified initial situation for the following clustering. The greatest influence during the clustering was generated through the precedence graph and the installation location of a component. For digital planning, this procedure was implemented and tested in a planning software in order to enable a continuous usability in the practical use.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Doktorand bei der Volkswagen AG in Wolfsburg in Kooperation mit dem Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik und der Universität des Saarlandes.

Mein besonderer Dank für die Möglichkeit zur Promotion gilt meinen beiden Doktorvätern, Herrn Professor Rainer Müller und Herrn Professor Stefan Seelecke, die mich bei dieser Arbeit begleitet haben. Nur durch die fachliche Unterstützung, die angeregten Diskussionen und der Blick von außen ist der Abschluss dieser Arbeit erst möglich geworden.

Für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes danke ich Herrn Professor Gregor Jung und für die Übernahme des Beisitzes Herrn Dr. Tilmann Sauerwald.

Ein ganz besonderen Dank möchte ich meinem betrieblichen Ansprechpartner Herrn Herbert Schneider für die unglaubliche Unterstützung in fachlichen und überfachlichen Belangen aussprechen. Sein Einsatz in fachlichen Diskussionen, beim Lesen des Manuskriptes, aber auch in betrieblichen Angelegenheiten war ein essentieller Grundstein zum Gelingen dieser Arbeit.

Gleichermaßen möchte ich mich bei allen Kollegen der Volkswagen AG bedanken die mir mit Rat und Tat mit fachlichen Input zur Seite standen. Diesen Dank möchte ich auch an die wissenschaftlichen Mitarbeiter des Zentrums für Mechatronik und Automatisierungstechnik, Herrn Christoph Speicher, Herrn Leenhard Hörauf und Herrn Ortwin Mailahn ausweiten, die mit überfachlichen Input und interessanten Gedankengängen neue Ideen ermöglicht haben.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern, die mir während meiner gesamten akademischen Ausbildung Rückhalt gegeben haben und mich in allen Belangen unterstützt haben. Für die Durchsicht des Manuskriptes danke ich meinem Vater, Madeleine und Axel, der mit kritischen Fragen zum Inhalt und der Formulierung die Arbeit sehr aufgewertet hat.

Bei allen Freunden bedanke ich mich für das Verständnis, das viel Freizeit in die Erstellung dieser Arbeit geflossen ist und ich nicht wie gewohnt bei allen Aktivitäten dabei sein konnte.

Die vorliegende Arbeit möchte ich meiner Mutter widmen, die leider nicht mehr unter uns weilt. Danke für alles, die Arbeit ist nur für dich!

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	X
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangslage und Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	3
1.3 Aufbau der Arbeit	4
2 Grundlagen des Betrachtungs- und Gestaltungsbereichs.....	7
2.1 Die Fahrzeugendmontage	7
2.1.1 Definition Montage	7
2.1.2 Charakterisierung der Fahrzeugendmontage	9
2.1.3 Inhalte der Fahrzeugendmontage.....	13
2.1.4 Einordnung der Montage in den Produktentstehungsprozess	17
2.1.5 Entwicklung der Komplexität im Rahmen der Fahrzeugindustrie ..	21
2.2 Produktseitige Maßnahmen zur Reduzierung der Komplexität	23
2.2.1 A-,B-,C-Analyse	23
2.2.2 Standard / Standardisierung	24
2.2.3 Modularisierung / Modul	25
2.2.4 Baukasten.....	28
2.2.5 Plattform.....	30
2.2.6 Vergleich Plattform, Modul und Baukasten	31
2.3 Plattformkonzepte.....	32
2.3.1 Theoretische Plattformkonzepte	32
2.3.2 Plattformkonzepte in der Automobilindustrie	36
2.3.3 Plattformkonzepte außerhalb der Automobilindustrie	38
2.4 Modularisierungskonzepte	41
2.4.1 Theoretische Modularisierungskonzepte.....	41
2.4.2 Modularisierungskonzepte in der Automobilindustrie	44
2.4.3 Modularisierungskonzepte außerhalb der Automobilindustrie	49
2.5 Baukastenstrategien	50
2.5.1 Theoretische Baukastenstrategien	50
2.5.2 Baukastenstrategien in der Automobilindustrie	52
2.5.3 Baukastenstrategien außerhalb der Automobilindustrie	56
2.6 Prozessseitige Maßnahmen zur Reduzierung der Komplexität.....	58
2.6.1 Die Fügungangfolge	58
2.6.2 Der Vorranggraph.....	59
2.6.3 Die Verbaureihenfolge / Montagereihenfolge	62

2.6.4	Standardaufbaureihenfolge in der Fahrzeugendmontage	64
2.7	Montageplanungsansätze	65
2.8	Fazit	73
3	Handlungsbedarf im Rahmen der Montagestrukturierung.....	74
3.1	Identifikation der Wissenslücke	74
3.2	Definitionen für das Clusterungskonzept.....	77
3.2.1	Definition Cluster – Montagecluster	77
3.2.2	Cluster – Abgrenzung zu Plattform, Modul und Baukasten.....	79
4	Anforderungen an ein Clusterungskonzept für die Fahrzeugendmontage	82
4.1	Technische Anforderungen seitens des Produktes	82
4.2	Anforderungen seitens des Einbauprozesses	84
4.2.1	Einbauort.....	84
4.2.2	Einbauhöhe	85
4.2.3	Betriebsmittel.....	86
4.2.4	Weitere Restriktionen.....	89
4.3	Anforderungen seitens des Betriebsmittels.....	90
4.4	Fazit	92
5	Entwicklung eines Clusterungskonzeptes.....	94
5.1	Prämissen und Eingangsgrößen für das Clusterungskonzept.....	94
5.2	Das Clusterungskonzept	95
5.3	Selektion der Bauteile.....	98
5.4	Parameter zur Montagevorranggraphenentwicklung.....	100
5.5	Möglichkeiten zur Bildung von Montageclustern	104
5.6	Restriktionen bei der Clusterung.....	107
5.6.1	Restriktionen aufgrund bestehender Infrastruktur.....	107
5.6.2	Restriktionen aufgrund prozessualer Vorgaben	108
5.7	Bewertung der Clusterungsmöglichkeiten.....	109
5.7.1	Bewertungskriterien	110
5.7.2	Priorisierung der Kriterien	114
5.8	Fazit	119
6	Validierung der Methode.....	122
6.1	Vorgehen	122
6.2	Anwendungsszenario 1	124
6.2.1	Ausgangslage	124

6.2.2	Auswahl von Bauteilen und Zuweisung der prozessrelevanten Informationen.....	125
6.2.3	Generierung eines Vorranggraphen.....	127
6.2.4	Erzeugung von Montageclustern	129
6.3	Anwendungsszenario 2	131
6.3.1	Ausgangslage	131
6.3.2	Auswahl von Bauteilen und Zuweisung der prozessrelevanten Informationen.....	132
6.3.3	Generierung eines Vorranggraphen.....	133
6.3.4	Erzeugung von Montageclustern	135
6.4	Anwendungsszenario 3	136
6.4.1	Ausgangslage	136
6.4.2	Auswahl von Bauteilen und Zuweisung der prozessrelevanten Informationen.....	138
6.4.3	Generierung eines Vorranggraphen.....	138
6.4.4	Erzeugung von Montageclustern	140
6.5	Abgleich der drei Anwendungsszenarien	141
6.5.1	Vergleich der drei Vorranggraphen	141
6.5.2	Vergleich der Montagecluster.....	144
6.6	Bewertung der einzelnen Clusterungsmöglichkeiten.....	146
6.7	Softwareseitige Umsetzung und Überprüfung.....	148
6.7.1	Einordnung der Software TeamCenter in den PLM-Gesamtzusammenhang.....	148
6.7.2	Die verwendete Software Siemens TeamCenter V10.....	150
6.8	Umsetzung des Anwendungsfalls in TeamCenter	151
6.9	Fazit	159
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	162
7.1	Zusammenfassung.....	162
7.2	Ausblick.....	164
8	Literaturverzeichnis	165

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Anstieg der Variantenvielfalt in der Automobilindustrie [KREB11]	1
Abbildung 1-2: Aufbau der Arbeit.....	6
Abbildung 2-1: Definition Montage [In Anlehnung an LOTT12a, S.2].....	8
Abbildung 2-2: Organisationsprinzipien der Montage [KLUG11, S.22]	11
Abbildung 2-3: Einordnung hybrider Montagesysteme [In Anlehnung an SLAM04, S.6; LOTT12b, S.168]	13
Abbildung 2-4: Übersicht über die Fahrzeugproduktion.....	14
Abbildung 2-5: Trim- Chassis-Final	15
Abbildung 2-6: Mehrstufiger Aufbau der Montage	16
Abbildung 2-7: Schematisches Montagelayout mit den standardisierten Arbeitsprozessen (A).....	17
Abbildung 2-8: Der Produktentstehungsprozess nach Eversheim	18
Abbildung 2-9: Einordnung der Montageplanung in den Produktentstehungsprozess [In Anlehnung an JONA00, S.6]	19
Abbildung 2-10: Der schematische PEP der Volkswagen AG	21
Abbildung 2-11: Komplexitätstreiber In Anlehnung an [PILL99, S.20].....	21
Abbildung 2-12: Entwicklung der Komplexität bei Audi [Eigene Darstellung in Anlehnung an SCHO09, S.2].....	22
Abbildung 2-13: Übersicht Kategorie A-,B-,C-Bauteile.....	24
Abbildung 2-14: Grafische Darstellung Kategorie A-; B-; C-Bauteile [in Anlehnung an WEID15, S.227]	24
Abbildung 2-15: Definition Modul bei den OEMs [ANDR06a, S.16; PILL99, S.41ff.] .	28
Abbildung 2-16: Entwicklung von der Plattform- zur Baukastenstrategie [In Anlehnung an VWAG12]	32
Abbildung 2-17: Umsetzung der Plattformstrategie [in Anlehnung an PILL99, S.65].	33
Abbildung 2-18: Marktsegmentierung auf Basis der Plattformstrategie [In Anlehnung an GUNZ08, S.65].....	34
Abbildung 2-19: Die Nutzer der PQ-Plattform im A-Segment [In Anlehnung an PILL99, S.66].....	37
Abbildung 2-20: Systemplattformen für Aufzüge [In Anlehnung an GUNZ08, S.77]..	39
Abbildung 2-21: Komponenten-Plattform [In Anlehnung an GUNZ08, S.80].....	40
Abbildung 2-22: Übersicht über bestehende Modularisierungsansätze	44
Abbildung 2-23: Das MoCar von Mercedes Benz [FRIE08, S.330]	45
Abbildung 2-24: Die Studie Opel Mosaic [In Anlehnung an HEIM05].....	46
Abbildung 2-25: Ein exemplarisches Cockpit-Modul	48

Abbildung 2-26: Ein Theoretischer Modularisierungsansatz des Motors [RUPP07, S.177]	49
Abbildung 2-27: Die verschiedenen Arten von Baukästen [In Anlehnung an SEKO05, S.60f.]	52
Abbildung 2-28: Die Einteilung eines Fahrzeuges aus Sicht des MQB-Konzepts [VWAG15].....	54
Abbildung 2-29: Die Schematische Ansicht der funktionsorientierten Entwicklung des MBE [TANN12, S.65]	55
Abbildung 2-30: Der Aufbau des MPB [WALT14, S.142].....	56
Abbildung 2-31: Möglichkeiten der Fügungfolge.....	59
Abbildung 2-32: Ein Beispiel Vorranggraph	60
Abbildung 2-33: Die Durchdringungsregel bei der Erstellung des Vorranggraphen [FROM88, S.145].....	61
Abbildung 2-34: Von der Fügungfolge über den Vorranggraphen zur Montagereihenfolge.....	62
Abbildung 2-35: Der Vorranggraph und seine Montagereihenfolgen.....	63
Abbildung 2-36: Die Standardaufbaureihenfolge der Zukunft von Opel [In Anlehnung an KRAM11]	64
Abbildung 2-37: Der Montageplanungsansatz nach Bullinger [In Anlehnung an ZENN06, S.20]	66
Abbildung 2-38 Die Montageplanung für KMUs nach Wildemann [In Anlehnung an WILD10, S.320; WILD11; S.16].....	67
Abbildung 2-39: Die Montageplanung nach Schimke [In Anlehnung an SCHI91, S.12]	68
Abbildung 2-40: Eine Übersicht rechnergestützter Montageplanungsansätze.....	69
Abbildung 2-41: Ein Übersicht über bestehende Planungsansätze	70
Abbildung 2-42: Das Plattformkonzept der Montageplanung der BMW AG [BRUN12, S.826]	72
Abbildung 3-1: Übersicht über bestehende Forschungsansätze	75
Abbildung 3-2: Vom Produkt über den Montageprozess zum Betriebsmittel [In Anlehnung an MUEL15b, S.313].....	77
Abbildung 3-3: Definition des Clusters und des Montageclusters	79
Abbildung 3-4: Abgrenzung Plattform, Modul, Baukasten und Cluster	80
Abbildung 4-1: Der Einfluss auf die Montagereihenfolge.....	83
Abbildung 4-2: Mögliche Bauräume in einem Fahrzeug [WEID15, S.229]	84
Abbildung 4-3: Eine detailliertere Einteilung der Bauräume	85
Abbildung 4-4: Eine schematische Darstellung der Einbauhöhe.....	86

Abbildung 4-5: Beispielhafter EC-Schrauber zur Verschraubung des Gurtendbeschläges	87
Abbildung 4-6: Ein Manipulator für den Sitz-Einbau	88
Abbildung 4-7: Ein Hilfsmittel zum mechanischen Setzen von Clipsen.....	88
Abbildung 4-8: Vorliegende Kollisionsmöglichkeit im Gehänge beim Türeneinbau ...	89
Abbildung 4-9: Unterscheidung der Betriebsmittel.....	91
Abbildung 4-10: Die vollautomatisierte Hochzeit des Phaeton in Dresden.....	91
Abbildung 4-11: Zusammenfassung der Anforderungen an das Clusterungskonzept	92
Abbildung 5-1: Prämissen und Eingangsgrößen des Clusterungskonzeptes.....	95
Abbildung 5-2: Eine mögliche Eingabematrix [WEID15, S.228]	96
Abbildung 5-3: Die Vorgehensweise im Clusterungsmodell.....	97
Abbildung 5-4: Der Einfluss des Clusterungskonzeptes	98
Abbildung 5-5: Eine neue Definition von A-, B-, C-Bauteilen	99
Abbildung 5-6: Die Fügeangfolge bei n:1 Beziehungen	101
Abbildung 5-7: Die Fügeangfolge bei 1:n Beziehungen	101
Abbildung 5-8: Exemplarisch aufgeführte Parallelprozesse im Vorranggraphen.....	102
Abbildung 5-9: Eine Verteilung der A- und B-Bauteile in der Montagelinie [WEID15, S.228]	104
Abbildung 5-10: Das Gitternetz am Fahrzeug zur Erzeugung von Montageclustern	105
Abbildung 5-11: Eine Übersicht über eine Auswahl von Clusterungsmöglichkeiten	106
Abbildung 5-12: Der technische Aufbau einer Power-&Free Anlage [COND16].....	108
Abbildung 5-13: Verschiebbarkeit von Montagecluster im Vorranggraphen.....	111
Abbildung 5-14: Schwierigkeiten bei der Materialanstellung.....	112
Abbildung 5-15: Eine Übersicht der Bewertungskriterien	114
Abbildung 5-16: Die Priorisierung der Bewertungskriterien.....	115
Abbildung 5-17: Das Clusterungskonzept im Überblick	121
Abbildung 6-1: Eine exemplarisch ausgefüllte Eingabematrix am Beispiel des Cockpit-Einbaus.....	123
Abbildung 6-2: Die Rahmenbedingungen des Anwendungsszenarios 1	125
Abbildung 6-3: Übersicht möglicher A-Bauteile und Prozesse	125
Abbildung 6-4: Eine exemplarische Übersicht ausgewählter B-Bauteile des Anwendungsszenarios 1	126
Abbildung 6-5: Der Vorranggraph des Anwendungsszenarios 1.....	128
Abbildung 6-6: Mögliche Bauraum-Cluster für das Anwendungsszenario 1.....	129
Abbildung 6-7: Die Ergebnisse der drei Clusterungsschritte des Anwendungsszenarios 1	131
Abbildung 6-8: Die Rahmenbedingungen des Anwendungsszenarios 2	132

Abbildung 6-9: Eine exemplarische Übersicht ausgewählter B-Bauteile des Anwendungsszenarios 2	133
Abbildung 6-10: Der Vorranggraph des Anwendungsszenarios 2	134
Abbildung 6-11: Die Ergebnisse der drei Clusterungsschritte des Anwendungsszenarios 2	136
Abbildung 6-12: Die Rahmenbedingungen des Anwendungsszenarios 3	137
Abbildung 6-13: Eine exemplarische Übersicht ausgewählter B-Bauteile des Anwendungsszenarios 3	138
Abbildung 6-14: Der Vorranggraph des Anwendungsszenarios 3	139
Abbildung 6-15: Die Ergebnisse der drei Clusterungsschritte des Anwendungsszenarios 3	141
Abbildung 6-16: Ein Vergleich der drei Vorranggraphen aus den Anwendungsszenarien in Form eines Mischgraphen	143
Abbildung 6-17: Ein Vergleich des ersten Clusterungsschrittes (Bauraum)	145
Abbildung 6-18: Ein Vergleich des zweiten Clusterungsschrittes (Einbauhöhe)	145
Abbildung 6-19: Ein Vergleich des dritten Clusterungsschrittes (Werkzeug / Hilfsmittel)	146
Abbildung 6-20: Die PLM Plattform [in Anlehnung an SIEM16].....	149
Abbildung 6-21: Vom Produkt über den Prozess zum Betriebsmittel	150
Abbildung 6-22: Die Eingabemaske für das Kategorie A-Bauteil	152
Abbildung 6-23: Die Stückliste des Fahrzeugprojektes.....	153
Abbildung 6-24: Die Prozessstruktur in TeamCenter	154
Abbildung 6-25: Die Layoutstruktur in TeamCenter.....	155
Abbildung 6-26: Eine Über- und Unterschreitung der Taktzeit	155
Abbildung 6-27: Die Darstellung der Variantenbedingungen im Line Balancing	156
Abbildung 6-28: Darstellung der direkten Abhängigkeiten der Bauteile in TeamCenter	157
Abbildung 6-29: Die Darstellung der Vorranggraphverletzungen	157
Abbildung 6-30: Die Darstellung des idealen Montageclusters im Line Balancing...	158

Formelzeichen und Abkürzungsverzeichnis

<i>Abkürzung</i>	<i>Benennung</i>
APACHE	<u>A</u> lgorithmus zur Erstellung <u>p</u> raxisorientierter <u>B</u> and <u>a</u> ngleiche
BOM	<u>B</u> ill- <u>o</u> f- <u>M</u> aterial ; dt.: Stückliste
CAP	<u>C</u> omputer <u>A</u> ided <u>P</u> laning ; dt.: Computergestützte Planung
CosMonAut	<u>C</u> omputer <u>s</u> ystem zur <u>M</u> ontage- <u>A</u> utomatisierung
DIN	<u>D</u> eutsche <u>I</u> ndustrie <u>N</u> orm
EC	<u>E</u> lectronic <u>C</u> ontrol ; dt.: Elektronische Überprüfung
EHB	<u>E</u> lektronische <u>H</u> änge <u>b</u> ahn
EOP	<u>E</u> nd <u>o</u> f <u>P</u> roduction ; dt.: Produktionsende
GLT	<u>G</u> roß <u>l</u> adung <u>t</u> räger
JIS	<u>J</u> ust- <u>I</u> n- <u>S</u> equence
JIT	<u>J</u> ust- <u>I</u> n- <u>T</u> ime
KLT	<u>K</u> lein <u>l</u> adung <u>t</u> räger
KMU	<u>K</u> lein- und <u>m</u> ittelständische <u>U</u> nternehmen
MBE	<u>M</u> ethodik der <u>B</u> aukastenorientierten- <u>B</u> oardnetz- <u>E</u> ntwicklung
MLB	<u>M</u> odularer <u>L</u> ängsbaukasten
MoSES	<u>M</u> odular <u>S</u> ervice <u>E</u> ngineering <u>S</u> olution
MPB	<u>M</u> odularer <u>P</u> roduktionsbaukasten
MQB	<u>M</u> odularer <u>Q</u> uerbaukasten
MTM	<u>M</u> ethods- <u>T</u> ime- <u>M</u> easurement
OEM	<u>O</u> riginal <u>E</u> quipment <u>M</u> anufacturer
PEP	<u>P</u> roduktentstehungsprozess
PI	<u>P</u> rojekt- <u>I</u> nitiiierung
PL	<u>P</u> lattform <u>L</u> ang
PLM	<u>P</u> roduct- <u>L</u> ifeCycle- <u>M</u> anagement
PPCEM	<u>P</u> roduct <u>P</u> lattform <u>C</u> oncept <u>E</u> xploration <u>M</u> ethod
PQ	<u>P</u> lattform <u>Q</u> uer
SOP	<u>S</u> tart <u>o</u> f <u>P</u> roduction ; dt.: Produktionsstart
TC	<u>T</u> eam <u>C</u> enter

VDI
ZSB

Verein Deutscher Ingenieure
Zusammenbau

1 Einleitung

„Any customer can have a car painted any colour that he wants so long as it is black.“

Henry Ford

1.1 Ausgangslage und Problemstellung

Seit der Einführung des Automobils und dem legendären Ausspruch von Henry Ford „Any customer can have a car painted any colour that he wants so long as it is black.“ [FORD23, S.72] hat sich die Automobilindustrie stark weiterentwickelt. Nicht nur die Anzahl an Farben, sondern auch die Anzahl an Modellen, Antriebs- und Ausstattungsvarianten ist in den letzten 100 Jahren erheblich gestiegen. Die Gründe der Variantenvielfalt sind vielseitig und hängen unter anderem von der seitens des Kunden geforderten Modellvielfalt, den verschiedenen Antriebskonzepten, aber auch den regionsspezifischen Anforderungen ab, wie die Abbildung 1-1 zeigt. Ein Audi A3 kann derzeit theoretisch in $1,1 \times 10^{38}$ Varianten bestellt werden, sodass in den letzten Jahren die Wahrscheinlichkeit der Produktion von zwei identischen Fahrzeugen erheblich gesunken ist [O.V.14, S.1]

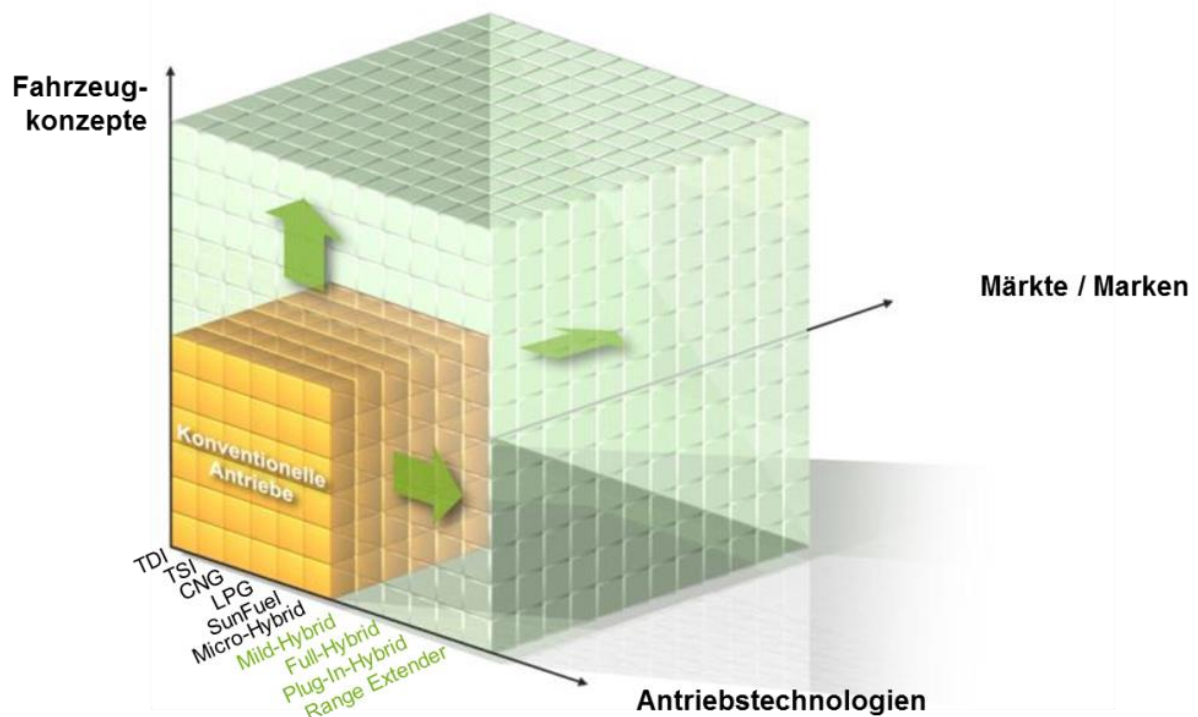


Abbildung 1-1: Anstieg der Variantenvielfalt in der Automobilindustrie [KREB11]

Eine steigende Variantenvielfalt führt dazu, dass eine Produktion an Mehr-Modell-Standorten immer häufiger notwendig ist, da eine Produktion in Ein-Modell-Standorten kaum noch wirtschaftlich durchführbar ist. Somit wirkt sich die Variantenvielfalt eines Fahrzeugtyps

nicht nur auf die Fahrzeugentwicklung sondern auch auf die Produktion aus. Die unterschiedlichen Anforderungen aufgrund verschiedener Ausstattungen aber auch die Anforderungen der einzelnen Fahrzeugtypen stellen die Produktion seit einiger Zeit vor immer größer werdende Herausforderungen. Diese Anforderungen steigen nochmals bei der Produktion verschiedener Fahrzeuge mit unterschiedlichen Abmaßen und Eigenschaften in einem Werk. Beispielhaft hierfür ist das Porschewerk in Leipzig zu nennen, bei dem der Macan, ein SUV, und der Panamera, eine Luxuslimousine, auf einer Produktionsstraße montiert werden. Diese Herausforderungen für die Produktion werden mit der konsequenten Einführung der Elektromobilität weiter steigen und die Komplexität in der Planung und Produktion einer Fahrzeugendmontagelinie nochmals erhöhen.

Um dem Komplexitätsanstieg der letzten Jahre entgegen zu wirken wurden im Bereich der Fahrzeugbodenanlage, die im Karosseriebau gefertigt wird, bereits verschiedene komplexitätsreduzierende Ansätze implementiert. Exemplarisch hierfür sind die Plattform- und Modulbauweisen zu nennen. Der Großteil der Variantenvielfalt wird jedoch erst durch den Zusammenbau der verschiedenen, kundenindividuell bestellbaren Bauteilvarianten in der Fahrzeugendmontage erzeugt. Um eine weiterhin effiziente und wirtschaftliche Produktion zu ermöglichen, wurden die im Karosseriebau bereits bestehende Ansätze zur Reduzierung der Komplexität auf die Fahrzeugendmontage und deren Planung erweitert. Infolgedessen konnten Modulbildungen zu einer Verlagerung der Variantenvielfalt in separate Vormontage oder in Form von Outsourcing zu den Lieferanten ermöglicht werden. Diese produktspezifischen Ansätze sind ein erster Schritt zur Komplexitätsreduzierung in der Fahrzeugendmontage, jedoch sind insbesondere die administrativen Bereiche wie die Montageplanung nicht ausreichend genug analysiert worden. [WEID15, S.225f.] Folglich geht es im Rahmen dieser Arbeit darum, die Prozesse in der Fahrzeugendmontage zu analysieren und ein Konzept zu entwickeln, bei dem die Planungskomplexität reduziert und übertragbare Montageprozesse identifiziert werden können. Dabei ist auf bestehende produktseitige Maßnahmen zur Reduzierung der Komplexität aufzubauen und die daraus resultierenden Effekte in der Prozessplanung zu berücksichtigen. Die Herausforderungen neuer Antriebskonzepte und deren Auswirkung auf die Produktion können bereits frühzeitig in das Modell mit einfließen, um eine zukunftsorientierte Ausrichtung dieses Planungsansatzes zu gewährleisten.

Daher bedarf es einer Analyse und methodischen Beschreibung der Auswirkungen und des Umgangs mit der Komplexität in der Fahrzeugendmontage, um weiterhin eine effiziente und intelligente Planung und Nutzung von Mehr-Modell-Standorten zu ermöglichen.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Methode, mit der die Komplexität bei der Planung einer Fahrzeugendmontage reduziert werden kann, sodass eine effizientere Planung und Nutzung der Mehr-Modell-Standorte möglich wird. Dabei sollen bereits bestehende komplexitätsreduzierende Maßnahmen aufgegriffen und in den Kontext der Fahrzeugendmontage gebracht werden. Durch diesen Abgleich der bestehenden Ansätze mit dem konkreten Fall der Fahrzeugendmontage werden Lücken in der derzeitigen Forschung aufgezeigt. Anhand dieser Lücken kann ein neues Konzept zur Reduzierung der Komplexität im Bereich der Planung von Fahrzeugendmontagen erstellt werden. Dieses Konzept soll nicht mehr nur die reinen produktspezifischen bzw. technisch bedingten Einflussgrößen berücksichtigen, sondern sich mit den Einflussgrößen die aus den Montageprozessen der Fahrzeugendmontage entstehen beschäftigen. Die Wiederverwendung von optimal ausgelegten Montageprozessen eines Fahrzeugprojektes in einem anderen Projekt, führt zu einer Reduzierung der Komplexität durch die Übertragung von Wissen, ähnlich der Bauteilübertragung bei Plattformansätzen. Aus diesem Grund sind mögliche Prozesszusammenhänge zwischen einzelnen Montageprozessen zu identifizieren und auf deren Übertragbarkeit zu überprüfen. Diese Zusammenhänge sind in einer Methode zusammenzufassen und deren Auswirkungen auf die Komplexitätsreduzierung sind aufzuzeigen.

Dabei sollen neben der methodischen Beschreibung auch die Einflussgrößen entlang des Produktentstehungsprozesses (PEP) definiert werden. Um eine möglichst valide Aussage hinsichtlich der Anwendbarkeit und des Nutzens dieses Konzeptes treffen zu können, findet eine Validierung des methodischen Konzeptes an verschiedenen Fahrzeugprojekten statt. Die daraus gewonnen Erkenntnisse fließen in das Konzept und die Übertragung in eine Softwarelösung ein, sodass ein ganzheitlicher Ansatz gewährleistet werden kann. Aus dieser Zielsetzung kann folgende Forschungsfrage formuliert werden:

Forschungsfrage:

Welche Einflussmöglichkeiten liegen zur Reduzierung der Komplexität in der Fahrzeugendmontage vor und wie kann eine Methodik zur idealen Ausplanung einer übertragbaren Fahrzeugendmontage aufgebaut sein?

1.3 Aufbau der Arbeit

Bei dem Aufbau der Arbeit wird analog der Herangehensweise der Realwissenschaften nach Ulrich und Hili vorgegangen. Diese Herangehensweise besteht aus sieben Stufen, die mit der Analyse der Praxis beginnt, über die Ableitung von Regeln und Modellen in der Prüfung und Bewertung der Theorie sowie der Implementierung endet. Die Methode und dessen Inhalt ist im Abgleich zum Aufbau der Arbeit in Abbildung 1-2 dargestellt. [ULRI84, S.193]

Nach dem einleitenden Kapitel werden in Kapitel 2 die Grundlagen für den Betrachtungsumfang gelegt. Dabei gilt es zunächst den Begriff der Fahrzeugendmontage zu definieren, die Charakteristika zu beschreiben und deren Inhalte darzulegen, um eine Abgrenzung zu den weiteren Produktionsschritten der Fahrzeugproduktion und den Stufen im PEP zu ermöglichen. Anhand der Komplexitätsentwicklung in der Fahrzeugindustrie werden im Anschluss produktseitige Maßnahmen zur Reduzierung der Komplexität beschrieben. Dafür werden zunächst die notwendigen Begrifflichkeiten und Methoden definiert, um darauf folgend die Plattformkonzepte, Modularisierungskonzepte und Baukastenstrategien aus Sicht der Theorie und der Praxis zu beschreiben. Bei der praktischen Beschreibung wird neben der Umsetzung in der Fahrzeugindustrie auch auf die Anwendung außerhalb der Automobilindustrie Wert gelegt. Daran anschließend werden mögliche prozessseitige Maßnahmen zur Reduzierung der Komplexität aufgezeigt, sodass die Inhalte der Fahrzeugendmontage sowohl produktseitig als auch prozessseitig abbildbar sind. Zum Ende des Kapitels werden bestehende Montageplanungsansätze aus Sicht der Forschung und aus Sicht der Industrie beschrieben, um einen ganzheitlichen Rahmen für die Planung und Durchführung der Fahrzeugendmontage zu erhalten. Das Kapitel schließt mit einem Fazit, welches die Inhalte des Kapitels 2 zusammenfasst und als Überleitung zu dem Kapitel 3 dient. In Kapitel 3 wird der notwendige Handlungsbedarf im Rahmen der Fahrzeugindustrie aufgezeigt, der sich aus den in Kapitel 2 durchgeführten Analysen ergeben hat. Dafür wird zunächst die Forschungslücke beschrieben und es wird der Begriff des Clusters bzw. Montageclusters eingeführt und zu den bestehenden Definitionen abgegrenzt.

In Kapitel 4 werden die Anforderungen an das zu entwickelnde Clusterungskonzept beschrieben. Dafür wird analog Kapitel 2 eine Unterteilung in produkt- und prozessrelevante Anforderungen vorgenommen. Zudem werden zusätzliche Anforderungen u.a. seitens der Betriebsmittel in das Modell integriert.

Diese Anforderungen werden genutzt, um in Kapitel 5 das Clusterungskonzept zu definieren. Dabei werden zunächst die Prämissen und die Einflussmöglichkeiten des Clusterungskonzeptes beschrieben, ehe das konkrete Vorgehen innerhalb des Konzeptes aufgezeigt wird. In diesem Kapitel wird zudem eine Bewertung der zu erzeugenden

Montagecluster eingeführt, anhand derer die Ergebnisse der Methodik messbar gemacht werden können.

Eine Validierung des in Kapitel 5 entwickelten Clusterungskonzeptes findet in dem Kapitel 6 statt. Dabei wird anhand von drei unterschiedlichen Fahrzeugprojekten eine Clusterung der Inhalte durchgeführt, um im Anschluss die entstandenen Cluster auf Basis der in Kapitel 5 eingeführten Bewertungskriterien vergleichen zu können. Zum Ende der Bewertung werden die dabei gewonnenen Erkenntnisse aus den Anwendungsszenarien, aber auch aus der Methode im Generellen zusammengefasst und in ein Fazit überführt.

Das Kapitel 7 gibt einen abschließenden Überblick über die gesamte Arbeit und das entwickelte Clusterungskonzept. Zudem wird ein Ausblick auf darauf aufbauenden Forschungsbedarf und mögliche weitere Anwendungsszenarien beschrieben.

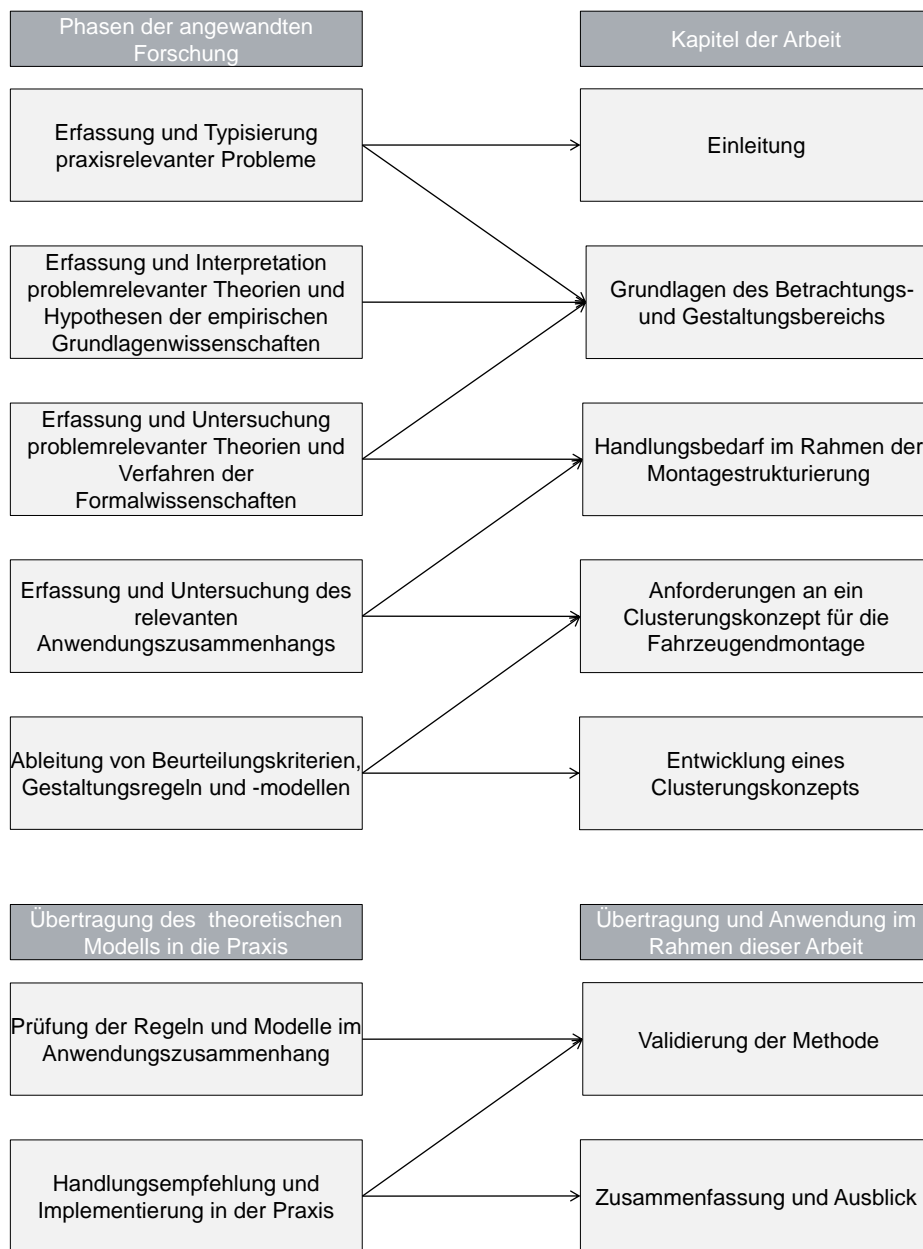


Abbildung 1-2: Aufbau der Arbeit

2 Grundlagen des Betrachtungs- und Gestaltungsbereichs

Für die Entwicklung einer neuartigen Methodik zur Reduzierung der Komplexität in der Fahrzeugendmontage ist es zunächst notwendig ein einheitliches Verständnis der im Rahmen der Arbeit verwendeten Begriffe zu erzeugen (vgl. Unterkapitel 2.1). Nach der Einführung notwendiger Definitionen und der Einordnung der Montage im Kontext der variantenreichen Fahrzeugproduktion erfolgt eine Beschreibung produktseitiger Maßnahmen zur Reduzierung von Komplexitätstreibern (vgl. Unterkapitel 2.2). Bei den Maßnahmen zur Komplexitätsreduzierung werden die Plattformkonzepte, Modularisierungskonzepte und Baukastenstrategien sowohl am Beispiel der Theorie als auch an praktischen Beispielen innerhalb und außerhalb der Fahrzeugindustrie beschrieben (vgl. Unterkapitel 2.3 - 2.5). Neben den produktseitigen Maßnahmen zur Reduzierung der Komplexität werden im Anschluss noch die prozessseitigen Maßnahmen und Wege beschrieben (vgl. Unterkapitel 2.6). Darüber hinaus existieren in der Fachliteratur mehrere Ansätze zur Planung einer Montagelinie im Generellen und einer Fahrzeugendmontagelinie im Speziellen, anhand derer die aktuelle Vorgehensweise und der Forschungsbedarf zum Teil ersichtlich wird (vgl. Unterkapitel 2.7).

Das Kapitel schließt mit einem Fazit (vgl. Unterkapitel 2.8), das die Ergebnisse des Kapitels 2 zusammenfasst und den Rahmen des Forschungsansatzes beschreibt. Mit Hilfe der Anforderungen an die zu entwickelnde Methodik wird ein Übergang zu Kapitel 3, in dem der Handlungsbedarf im Rahmen der Montagestrukturierung beschrieben wird, hergestellt.

2.1 Die Fahrzeugendmontage

2.1.1 Definition Montage

Die bekannteste und weitverbreitetste Definition des Montagebegriffes ist die der VDI-Richtlinie 2815, die folgendermaßen lautet:

„Montage ist der Zusammenbau von Teilen und/oder Gruppen zu Erzeugnissen oder Gruppen höherer Erzeugnisebene in der Fertigung“ [VDI78].

Bei der Durchführung einer Montage muss diese gemäß der VDI-Richtlinien in fünf verschiedene Vorgänge (Fügen, Handhaben, Kontrollieren, Justieren, Sonderoperationen) untergliedert werden, um den Montageprozess detailliert beschreiben zu können, wie in der Abbildung 2-1 zu sehen ist.

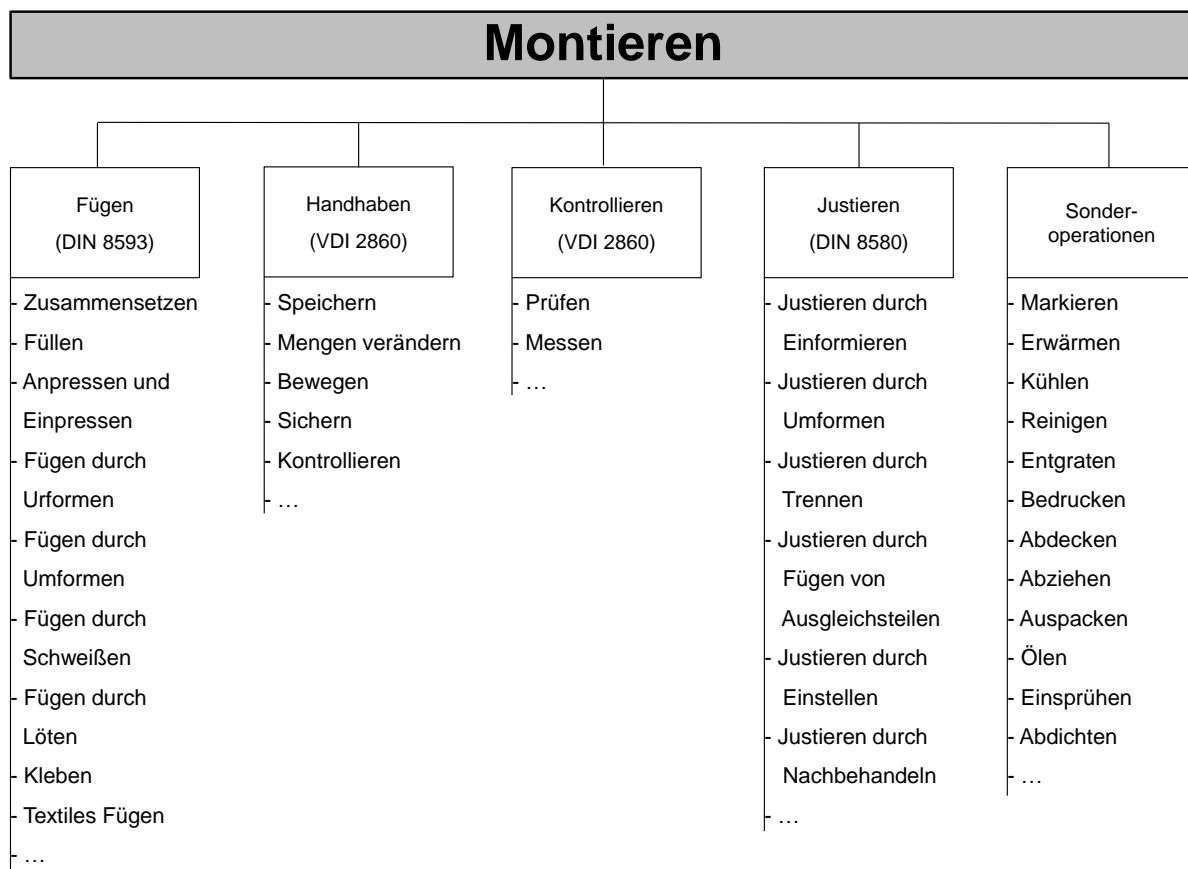


Abbildung 2-1: Definition Montage [In Anlehnung an LOTT12a, S.2]

Bei der Montage von Produkten ist insbesondere der Vorgang „Fügen“ von entscheidender Bedeutung, da dieser dem Produkt einen Mehrwert zuführt und so den Nutzen des Produktes steigert. Die Vorgänge „Handhaben“, „Justieren“ und die „Sonderoperationen“ sind unterstützende Prozesse, die für das Fügen notwendig sind, die der Sicherstellung der Funktion dienen und daher ebenfalls unabdingbar für den Montageprozess sind. Das „Kontrollieren“ als letzter Vorgang der Montage dient der Überprüfung und dem Sicherstellen des gewünschten Zustandes. Bei Bedarf können aus dem Vorgang „Sonderoperationen“ einzelne Operationen wie das Entgraten oder Abdichten in die jeweiligen Vorgänge übernommen werden, um den gewünschten Zielzustand zu erreichen.

Fokussierend auf der Automobilindustrie wird unter dem Begriff der Montage der Zusammenbau von Fahrzeugen aus Einzelteilen, Baugruppen und Modulen zu einem vollständigen Fahrzeug verstanden. Dabei werden in den meisten Arbeitsschritten die o.g. Vorgänge berücksichtigt und umgesetzt. Als vorbereitende Tätigkeit ist der Materialtransport bzw. das Zuführen von Material (Handhaben) zu nennen. Die eigentliche Hauptaufgabe in der Montage ist das Zusammensetzen, Schrauben, Nieten oder Clipsen (Fügen) von Einzelteilen, Baugruppen oder Modulen. Damit verbunden ist der Prozess des Justierens, bei dem die

Bauteile auf Maß eingestellt werden oder aber einer Parametrierung bzw. einer Funktionsprüfung unterzogen werden. Das anschließende Prüfen (Kontrollieren) des Arbeitsganges stellt das Ende des Montageprozesses dar. Während des gesamten Montageprozesses können zudem auch die o.g. Sonderoperationen oder Hilfsprozesse zur Vorbereitung, Durchführung oder Nachbereitung eines Arbeitsschrittes herangezogen werden.

Die Endmontage eines Fahrzeuges beginnt mit der vollständig lackierten Karosserie und kann in verschiedenen Organisationsformen, Layouts, etc. organisiert werden (vgl. Abschnitt 2.1.3). Die vorgelagerten Produktionsschritte, wie zum Beispiel Prozesse im Karosseriebau und der Lackiererei sowie die nachgelagerte Endkontrolle des Fahrzeuges, werden nicht der Fahrzeugendmontage zugeordnet und sind daher kein Gegenstand dieser Arbeit. [KROP09, S.19ff.]

2.1.2 Charakterisierung der Fahrzeugendmontage

Die Fahrzeugendmontage als spezifischer Fall einer Montage kann sowohl inhaltlich über die jeweils durchgeführten Montagevorgänge beschrieben als auch anhand des jeweiligen Montagetyps eingeordnet werden. Die fünf Montagevorgänge sind bereits im vorangegangenen Abschnitt beschrieben worden, sodass nun auf die fünf verschiedenen Montagetypen eingegangen werden kann [vgl. NEUM96,S.4; DOMS93, S.6; SCHN97, S.10; WEIB00, S.8f.]:

- Der Produktionsstrukturtyp
- Der Repetitionstyp
- Der Anordnungstyp
- Der Ablaufstyp
- Der Auftragstyp.

In der Analyse eines **Produktionsstrukturtyps** kann der Produktionsprozess in analytisch, synthetisch und seriell untergliedert werden. Im Rahmen des synthetischen Produktionsstrukturtyps werden aus vielen Einsatzgütern wenige Enderzeugnisse produziert. Ein Beispiel für den synthetischen Produktionsstrukturtyp ist die Flugzeugendmontage, bei der aus vielen verschiedenen Bauteilen ein Enderzeugnis (Flugzeug) produziert wird. Bei dem analytischen Produktionsstrukturtyp werden aus wenigen Einsatzgütern viele verschiedene Enderzeugnisse hergestellt, wie zum Beispiel in einer Raffinerie bei der aus Rohöl die Kraftstoffe Diesel und Benzin, aber auch Leichtöle, etc. erzeugt werden. Bei den seriellen Produktionsstrukturtypen findet eine Veredelung der eingesetzten Güter statt, sodass diese als Grenzfall zu betrachten sind.

Der **Repetitionstyp** einer Montage untergliedert sich nach der Häufigkeit des hergestellten Produktes. Diese Untergliederung erfolgt in drei Kategorien: Einzelproduktion, Serienproduktion und Massenproduktion. Bei der Einzelproduktion liegt für jedes Produkt ein spezifischer Kundenauftrag und eine spezifische Zusammensetzung des Enderzeugnisses vor. Bei der Serienproduktion wird vor Produktionsstart eine festgelegte Stückzahl, z. B. 500 Stück definiert. Sobald diese Stückzahl erreicht ist, wird eine neue Serie gestartet und produziert. Beispiele der Serienproduktion sind Felgen oder Reifen, die in vorher definierten Mengen produziert werden. Bei der Massenproduktion findet diese konkrete Unterteilung im Vorfeld nicht statt, sodass sehr große Produktionsvolumina diesen Repetitionstyp charakterisieren. [GABL12a, GABL12b]

Eine weitere Untergliederung der Montage ist anhand ihres **Anordnungstyps** möglich. Die klassischen Anordnungen der Montage sind die Baustellenanordnung, die Werkstattanordnung, die Prozessgruppenanordnung und die Fließanordnung. Charakterisieren lässt sich die Baustellenmontage durch ein stehendes Produkt, wobei sich der Montagemitarbeiter zum Produkt bewegt. Bei der Werkstattanordnung wird die Arbeit in kleine Gruppen aufgeteilt, wobei entweder das Produkt von einer Gruppe zur nächsten oder die Gruppe zum Produkt wechselt. Bei der Prozessanordnung ist die Montage so gegliedert, dass alle aufeinanderfolgenden Prozesse auch nacheinander angeordnet sind. Die Fortführung der Prozessanordnung ist die Fließanordnung, bei der sich das zu fertigende Produkt in einem ständigen Fluss befindet. [vgl. EVER81, S.14f.; SCHI91, S.17; LOTT94, S.4; RICH06, S.104; LOTT12c, S.174ff.] Die Abbildung 2-2 zeigt eine Übersicht über die bestehenden Anordnungstypen sowie der dazugehörigen Bewegungsgrößen und -parameter.

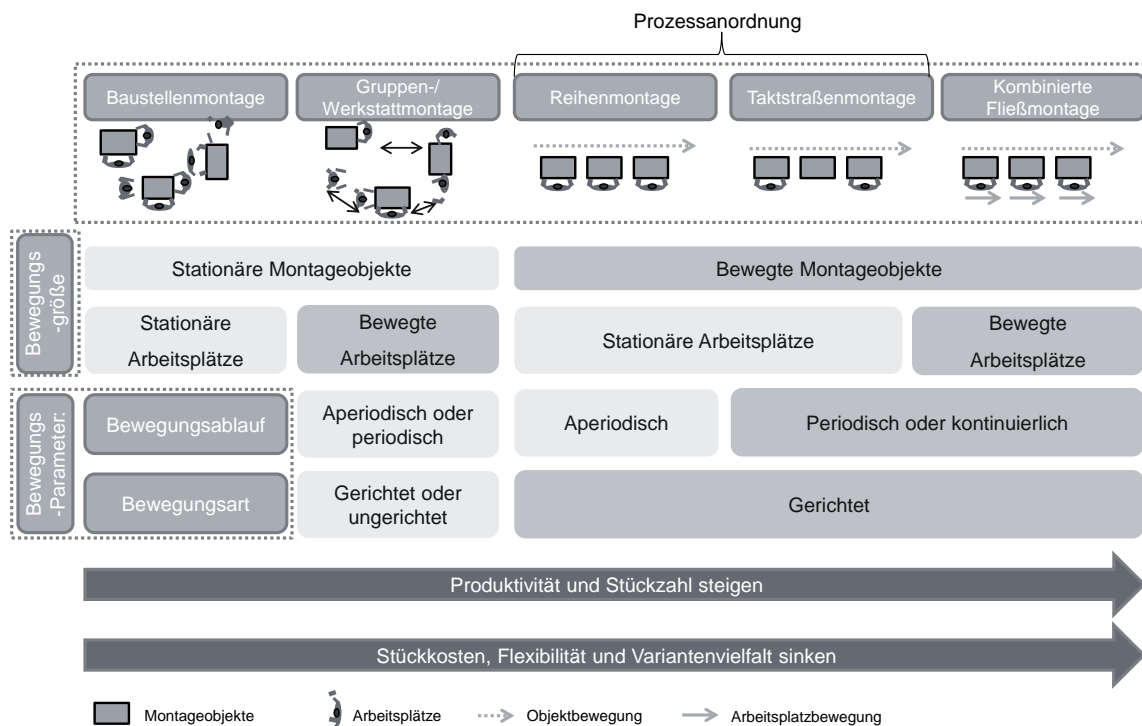


Abbildung 2-2: Organisationsprinzipien der Montage [KLUG11, S.22]

Des Weiteren kann die Montage anhand des **Ablauftyps** beschrieben werden. Unter dem Ablauftyp ist hierbei sowohl der kontinuierliche Produktionsprozess als auch der diskontinuierliche Produktionsprozess zu verstehen. Ein kontinuierlicher Produktionsprozess bedeutet, dass stets alle Schritte konstant und immer gleich durchlaufen werden, wie z. B. in der vollautomatisierten Platinen-Montage. In der verarbeitenden Industrie ist vornehmlich der diskontinuierliche Produktionsprozess zu finden. Dieser kann in die Unterbereiche Flow-Shop-Produktion und Job-Shop-Produktion differenziert werden. Flow-Shop-Produktion bedeutet, dass alle Aufträge über eine identische Maschinenreihenfolge verfügen, also jede Maschine von jedem Produkt in der gleichen Reihenfolge durchlaufen wird. Bei der Job-Shop-Produktion hingegen wird für jeden Auftrag eine eigene Maschinenreihenfolge definiert, sodass einige Aufträge einzelne Maschinen überspringen oder in einer anderen Reihenfolge belegen. Beispiele der Flow-Shop-Produktion sind standardisierte Produktionsstraßen wie die Chaku-Chaku-Linie zur Herstellung von Getriebeteilen. Eine Job-Shop-Produktion liegt in der Regel in der Montage von Sondermaschinen vor, die je nach Kundenwünschen individuell aufgebaut werden müssen. Sowohl die Flow-Shop-Produktion als auch die Job-Shop-Produktion können nochmals in auftragsgebundene und nicht-auftragsgebundene Produktion unterteilt werden.

Anhand dieser fünf Eigenschaften einer Montage definiert Weiß die Fahrzeugendmontage als eine „**synthetische Serienmontage** in **Fließanordnung** mit einem **getakteten**

kontinuierlichen Materialfluss und einem **diskontinuierlichen Flow-Shop-Montageprozess** ohne Änderung der Auftragsreihenfolge“ [WEIß00, S.9]. Bei dieser Einteilung ist der **Auftragstyp** eine Mischung aus auftragsgebundener und nicht-auftragsgebundener Produktion. Damit definiert Weiß die Fahrzeugendmontage als eine Montage bei der aus vielen Einzelteilen ein Produkt entsteht (synthetisch) und dabei eine kombinierte Fließmontage als Anordnungstyp gewählt wird. Der kontinuierliche Materialfluss beschreibt den stetigen Fluss in der Montage, bei der jedes Produkt jede Station (Flow-Shop) durchläuft und dabei in der Regel einem gezielten Kundenauftrag folgt.

Auf Basis dieser Einteilung ist der in der Literatur geprägte Begriff der Variantenfließbandmontage für die Fahrzeugendmontage zutreffend.

Über diese Charakterisierung der Fahrzeugendmontage hinaus existiert auch die Möglichkeit die Fahrzeugendmontage im Bereich der hybriden Montagesysteme einzuordnen. Für diese Einordnung kann vereinfacht von vier Faktoren zur Bestimmung eines Montagesystems ausgegangen werden. Dies sind die Stückzahl, die Flexibilität, die Variantenvielfalt und die Produktivität. Je nach Ausprägung der vier Faktoren ist eine Einordnung analog Abbildung 2-3 in die Bereiche manuelle Montage, automatisierte Montage und hybride Montage möglich. [SLAM04, S.6; LOTT12b, S.167]

Bei der Fahrzeugendmontage liegt aufgrund der hohen Variantenvielfalt, laut Andres von bis zu 10^{32} und laut Audi bis zum 10^{38} möglichen Varianten, und der hohen Stückzahl sowie der hohen Produktivität eine Diskrepanz bei der konkreten Einteilung vor [ANDR06b; O.V.14, S.1]. Die von Andres und Audi genannten Varianten spiegeln die grundlegende Variantenvielfalt in der Automobilindustrie wieder. Einige dieser Varianten werden bereits im Karosseriebau erzeugt, weshalb die tatsächliche Variantenvielfalt in der Fahrzeugendmontage etwas geringer ausfällt als oben angegeben. Aufgrund der Diskrepanz zwischen der Variantenvielfalt und den Stückzahlen ist eine Einordnung Fahrzeugendmontage in die manuelle oder automatisierte Montage nicht möglich. Folglich handelt es sich bei der Fahrzeugendmontage um eine hybride Montage mit Ausprägungen der manuellen, aber auch der automatisierten Montage.

Die Fahrzeugendmontage ist der Bereich der Produktion mit dem höchsten manuellen Arbeitsanteil und dem geringsten Automatisierungsgrad¹. [LOTT94, S.12] Nach Holweg und Pill liegt der Automatisierungsgrad nur bei maximal 5% [HOLW04].

¹ Unter dem Begriff Automatisierungsgrad wird laut DIN 19233 der Anteil der automatisierten Station in Bezug auf die Gesamtheit der Stationen verstanden. [DIN98]

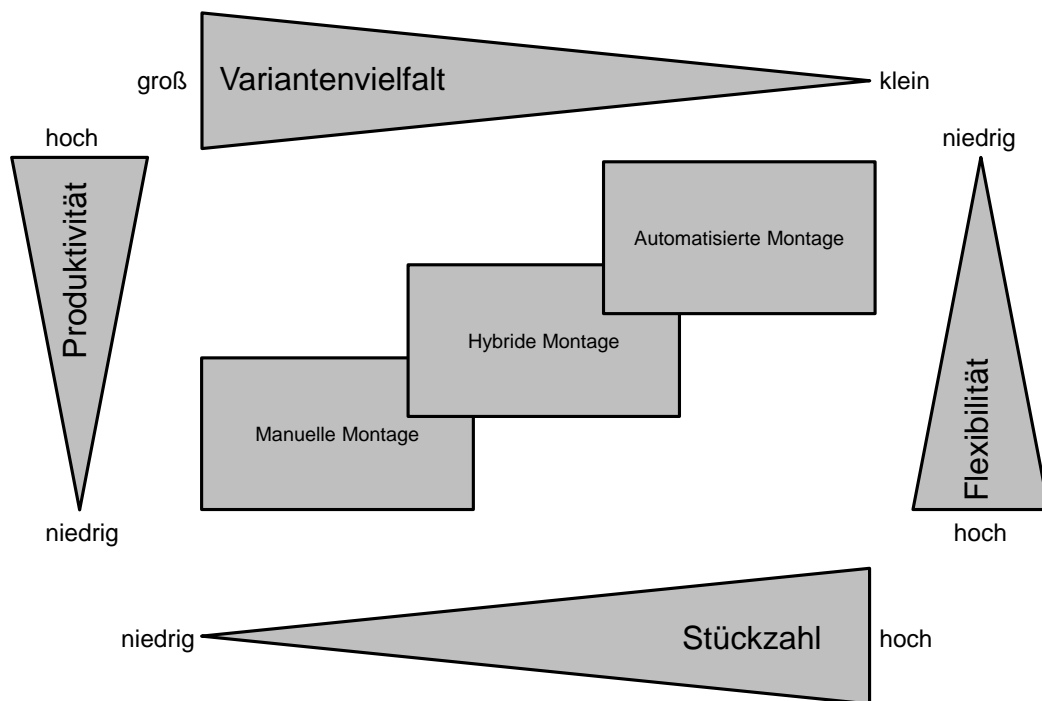


Abbildung 2-3: Einordnung hybrider Montagesysteme [In Anlehnung an SLAM04, S.6; LOTT12b, S.168]

2.1.3 Inhalte der Fahrzeugendmontage

Bei den Inhalten der Fahrzeugendmontage werden im Folgenden zwei verschiedene Sichtweisen aufgezeigt. Das ist zum einen die Aufarbeitung der Querschnittsliteratur, die eine breite Masse über alle Hersteller abzudecken versucht und zum anderen eine konkrete Beschreibung am Beispiel der Volkswagen AG.

Die Fahrzeugendmontage im Generellen:

Die grundlegende Struktur der Automobilproduktion besteht aus vier Stufen, wie in der folgenden Abbildung zu sehen ist. Dabei beginnt die Produktion mit dem Auflegen der Stahl-Coils im Presswerk, aus denen die Teile für das Fahrzeug in unterschiedlichen Kalt- und Warm-Pressverfahren hergestellt werden. In dem anschließenden Karosseriebau werden die Teile über Schweiß-, Niet-, Schraub- und Klebprozesse zu der fertigen Rohkarosse zusammengefügt. Diese Rohkarosse wird dann in der Lackiererei nach den Kundenwünschen lackiert und anschließend in die Fahrzeugendmontage übergeben. [WITT12, S.24]

In der Fahrzeugendmontage werden in der Regel die Fahrzeuge nach Kundenwunsch aus Einzelteilen mit dem Trägerbauteil Karosse zusammengebaut, sodass dieser Bereich wie in der Einleitung beschrieben als der mit der höchsten Variantenvielfalt angesehen werden kann. [KROP09, S.19] Diese Variantenvielfalt kann nicht nur durch die unterschiedlichen

Ausstattungen der Fahrzeuge, sondern auch durch die Montage verschiedener Fahrzeuge auf einer Montagelinie erhöht werden. Zum Beispiel fertigt die BMW AG in Dingolfing drei verschiedene Fahrzeugtypen, den 5er, 6er und 7er auf einer Montagelinie [KROP09, S.19]. Honda kann nach eigenen Aussagen aufgrund der reduzierten Variantenvielfalt im Vergleich zu BMW sogar bis zu neun Modelle auf einer Linie montieren, sodass die Komplexität in der Produktion nochmals erhöht wird. [KISI06].

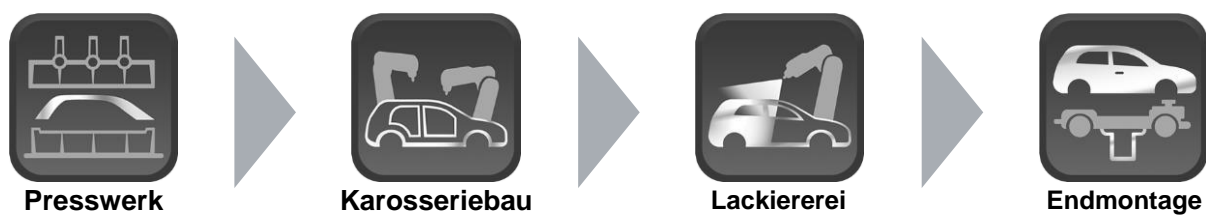


Abbildung 2-4: Übersicht über die Fahrzeugproduktion

Bei der Fahrzeugmontage als Teil der Fahrzeugproduktion handelt es sich um eine mehrstufige Montage, bestehend aus einer Hauptlinie und mehreren, zum Teil gestuften Vormontagen. Die Hauptlinie bildet dabei den Kern der Endmontage, in dem das Fahrzeug beginnend von der lackierten Rohkarosserie bis hin zur finalen Überprüfung sukzessive komplettiert wird. Dabei kann die Hauptlinie in folgenden Bereiche grob unterteilt werden: Trim – Chassis – Final. Diese Unterteilung ist auf die Montageschwerpunkte in den einzelnen Bereichen zurück zu führen. Im Trim, als ersten Teil der Hauptlinie, werden größtenteils Montagetätigkeiten im Innenraum des Fahrzeuges durchgeführt, wie zum Beispiel die Leitungsverlegung oder aber der Einbau des vormontierten Cockpits. Im Bereich des Chassis findet die Hochzeit mit allen dazugehörigen Montagetätigkeiten statt. Zudem ist in diesem Bereich die Verschlauchung und anschließende Befüllung der Kühl- und Bremskreisläufe zu finden. Im Final der Fahrzeugmontage wird das Fahrzeug komplettiert, die restlichen Anbauteile im Interieur und Exterieur werden an die Karosserie angebracht, bevor an dem Fahrzeug auf Rädern die letzten Einstelltätigkeiten vorgenommen werden und es schlussendlich die Fabrik verlässt. [JUER13, S.178ff.]

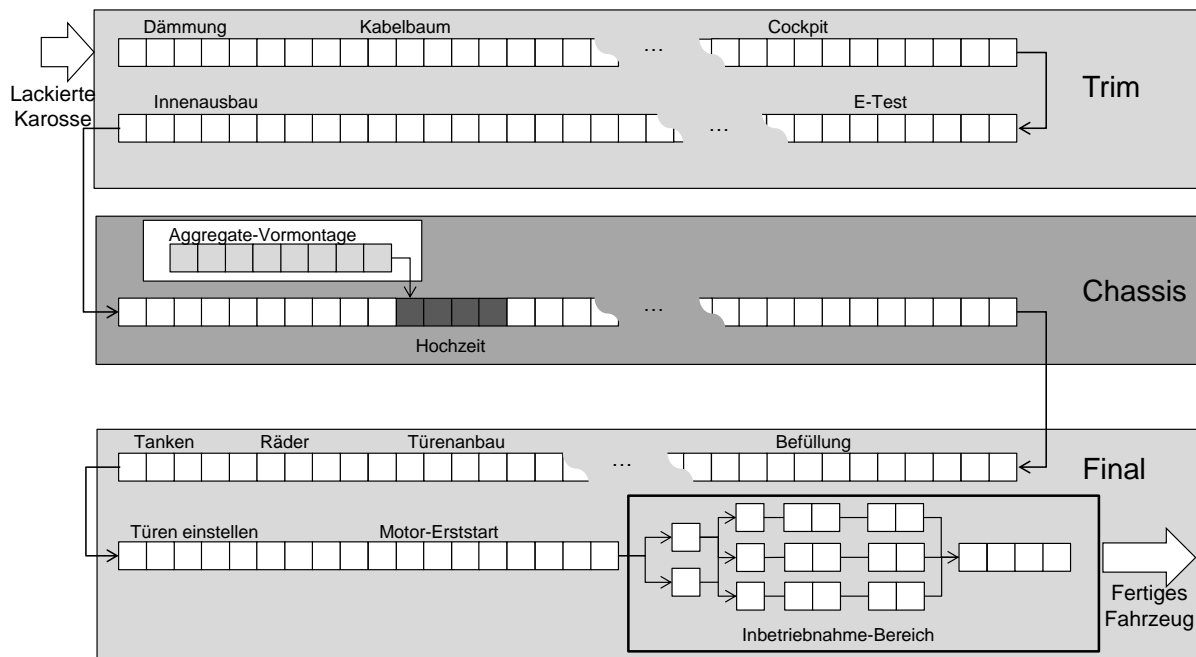


Abbildung 2-5: Trim- Chassis-Final

Die Vormontagen als zweiter Teil der Fahrzeugmontage sind in Form eines Fischgrätprinzips zur Hauptlinie angeordnet und ermöglichen die kundenindividuelle Montage einzelner Bauteile, Komponenten oder Module (vgl. Abschnitt 2.2.3). Bei dem Fischgrätprinzip findet entweder eine zentrale oder dezentrale Vormontage der zu montierenden Bauteile, Komponenten oder Module statt, sodass die Anlieferung in Sequenz passend zum Fahrzeug erfolgen kann. Klassische Beispiele für eine Vormontage sind die Cockpit-Vormontage oder aber die Fahrwerk-Vormontage. Das komplettierte Fahrwerk, inklusive Motor, Achsen, Abgasanlage, etc. wird dann bei der Hochzeit mit der Karosserie verbunden. [WITT12, S.24f.]. Diese Vormontagen unterliegen in den meisten Fällen einer Mehrstufigkeit, da oftmals bereits vom Zulieferer vormontierte Bauteile in die Vormontage eingegliedert werden können oder aber die interne Vormontage in mehreren Stufen erfolgt. Zwei Beispiele zur sowohl intern getriebenen, als auch über den Zulieferer getriebenen mehrstufigen Vormontage sind der folgenden Abbildung 2-6 zu entnehmen.

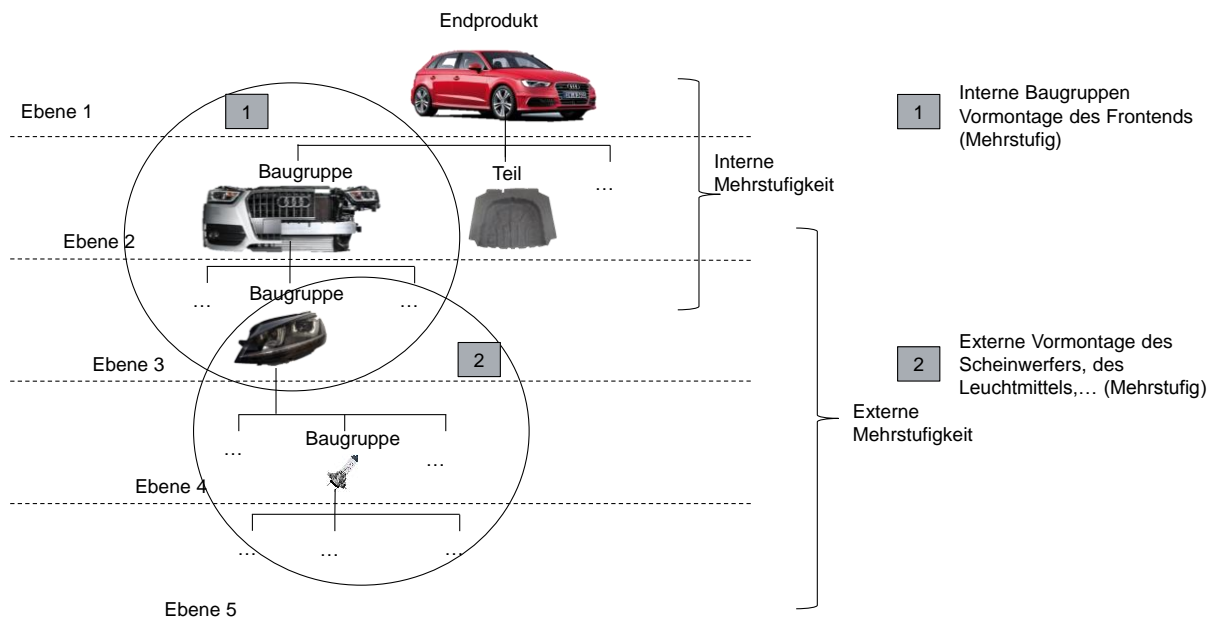


Abbildung 2-6: Mehrstufiger Aufbau der Montage

Die Fahrzeugendmontage am Beispiel der Volkswagen AG:

Die Fahrzeugendmontage in der Definition der Volkswagen AG startet mit dem vollständig lackierten und hohlraumkonservierten Fahrzeug und endet vor dem Finish-Bereich bei dem das Fahrzeug einer Endkontrolle unterzogen wird. Die Montage wird bei der Volkswagen AG wie in der generellen Betrachtung in Hauptlinie und Vormontage unterteilt, wobei bei der Hauptlinie eine weitere Untergliederung in einzelne Bandabschnitte erfolgt. Bandabschnitte dienen dazu die Hauptmontage in kleinere Einheiten zu unterteilen, sodass zum Beispiel ein Wechsel der Fördertechnik zwischen zwei Bandabschnitten möglich ist. In jedem der einheitlich definierten Bandabschnitte finden standardisierte Arbeitsprozesse statt, zu denen u.a. der Cockpiteinbau, das Scheibenkleben, die Hochzeit, aber auch die Medienbefüllung und die Programmierung der Steuergeräte gehören.

Die damit verbundenen fest definierten Bauteile können mit der in Abschnitt 2.6.3 beschriebenen Standardaufbaureihenfolge der Opel AG verglichen werden und zeigen ähnliche theoretische Ansätze der beiden Konzerne auf.

Aufgrund der in der Vergangenheit individuell zugeschnittenen Fabriken unterscheidet sich jedoch die Lage und Anordnung der Bandabschnitte zwischen den Standorten. Auch bei der Verwendung der Fördertechnik sind unterschiedliche Lösungen an den einzelnen Standorten zu finden. Mit der Einführung des Modularen Produktionsbaukasten (MPB) (vgl. 2.5.2) wurde eine einheitliche Fabrikstruktur festgelegt, sodass seitdem die Fabriken gleich aufgebaut werden. Die Abbildung 2-7 beschreibt schematisch anhand eines möglichen

Montagelayouts die Bereiche Hauptlinie, Vormontage, Bandabschnitt und die Anordnung von standardisierten Arbeitsprozessen.

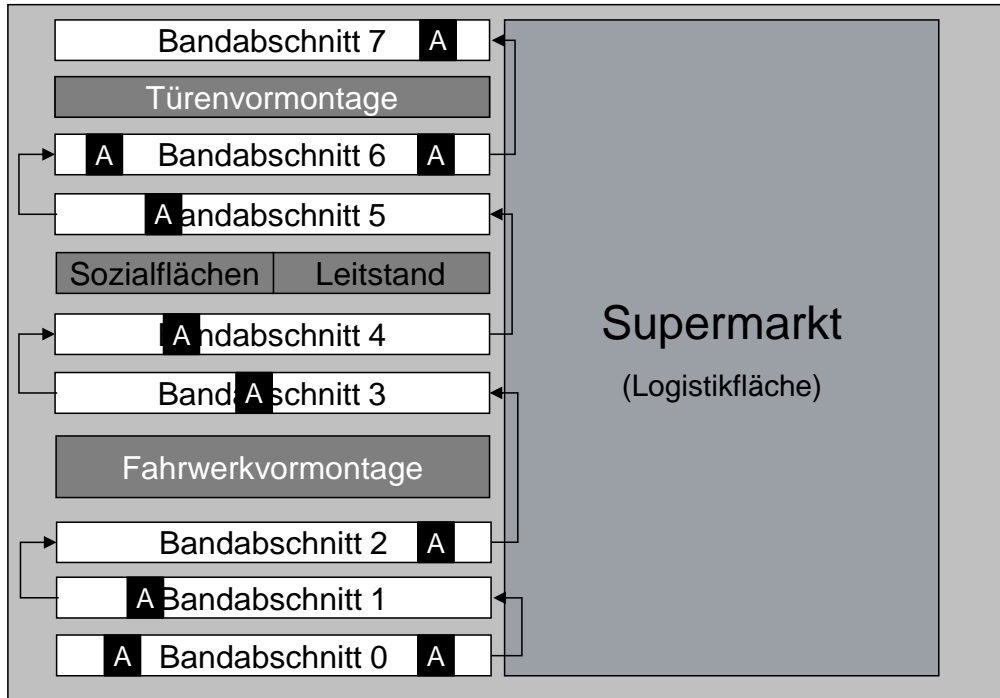


Abbildung 2-7: Schematisches Montagelayout mit den standardisierten Arbeitsprozessen (A)

2.1.4 Einordnung der Montage in den Produktentstehungsprozess

Neben den reinen Begriffsdefinitionen und der Beschreibung der Fahrzeugendmontage ist auch eine Einordnung der Montage sowie der Montageplanung in den PEP notwendig. Diese Einordnung wird zur Identifikation von Schnittstellen und Auswirkungen von Veränderungen auf die jeweiligen Bereiche benötigt. Besonders wichtig ist dabei die Betrachtung der Montageplanung (vgl. Unterkapitel 2.7), da dort die Montageprozesse definiert und beschrieben werden. Die Fahrzeugendmontage stellt schlussendlich lediglich die Exekutive dar, bei der kaum Einfluss auf die Prozessplanung genommen werden kann. Durch die Einordnung in den PEP können sowohl die vorgelagerten und nachgelagerten Bereiche identifiziert als auch Auswirkungen im Bereich der angrenzenden Montageplanung auf die direkten Bereiche der Fahrzeugendmontage dargestellt werden. Die Einordnung in den PEP findet dabei sowohl im Rahmen der Wissenschaft als auch aus Sicht der Industrie statt, um die Unterschiede der Betrachtungsweisen darlegen zu können.

Stand der Wissenschaft:

Ähnlich wie bei den Definitionen aus Unterkapitel 2.1 gibt es auch bei der Beschreibung des PEP aus der Sicht der Wissenschaft verschiedenste Definitionen, wobei eine weit verbreitete Beschreibung des PEP die lineare Betrachtung nach Eversheim ist. Eversheim unterteilt dabei den PEP wie in der Abbildung 2-8 dargestellt in die drei Kategorien „Entwicklung und Konstruktion“, „Prozessgestaltung“ und „(Prototypen-)Herstellung“. Die Entwicklung und Konstruktion ist dabei gekennzeichnet durch die Planung, die Konzeption, den Entwurf und die anschließende Detaillierung. Dabei wird das Produkt sukzessive weiter detailliert, beginnend mit einer groben Planung, über die ersten grundlegenden Konzepte, bis hin zu einem Fahrzeugentwurf. Dieser wird schlussendlich bis in das letzte Detail ausgestaltet, um darauf aufbauend in der Prozessgestaltung die späteren Produktionsprozesse planen zu können. Die Prozessgestaltung beschäftigt sich dabei zum einen mit der Ausplanung einzelner Arbeitsinhalte, zum anderen aber auch mit den dazu benötigten Betriebsmitteln (vgl. Abschnitt 4.2.3). Die letzte Phase des PEPs nach Eversheim beschäftigt sich mit der Herstellung des Fahrzeuges. Die Herstellung beginnt mit der Fertigung einzelner Teile, bevor in der späteren Montage aus den einzelnen Teilen ein gesamtes Fahrzeug montiert werden kann.

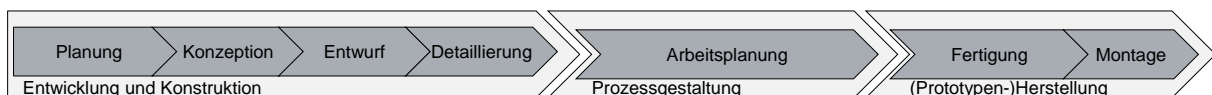


Abbildung 2-8: Der Produktentstehungsprozess nach Eversheim

Neben dieser linearen Form des PEP gibt es auch die zyklische Betrachtung nach Spur und Krause, bei der aus dem Ende eines Produktes ein neuer PEP entsteht. [SPUR97, S.1ff.; JONA00, S.5ff.]

Bei der Betrachtung des PEP nach Spur und Krause wird dieser in zwei Bereiche unterteilt, den Vertriebsbereich und den Produktionsbereich. Aufgrund der zyklischen Betrachtung ist ein Startpunkt des PEPs hierbei schwer festzulegen. Es wird für die Beschreibung daher angenommen, dass dieser im Vertriebsbereich und dort im Vertrieb liegt. Durch den Vertrieb wird der Markt und somit der Kunden analysiert. Auf Basis dieser Information entsteht eine Produktidee, die an dem ersten Schritt des Produktionsbereiches, die Konstruktion weitergegeben wird. In der Konstruktion werden daraufhin erste Zeichnungen erstellt, die an die Arbeitsvorbereitung weitergegeben werden. Die Arbeitssteuerung untergliedert sich gemäß Abbildung 2-9 in verschiedene Unterbereiche, u.a. auch die Montageplanung. In den Unterbereichen werden jeweils die bereichsspezifischen Aufgaben geplant bzw. gesteuert, so

auch die späteren Montageprozesse des Produktes in der Montageplanung. Nach erfolgreicher Arbeitsplanung und –steuerung werden die Dokumente an die Fertigung weitergereicht, sodass das Erzeugnis bzw. dessen Einzelteile produziert werden kann. Die in der Fertigung erzeugten Einzelteile gehen dann in die Montage, bei der aus den verschiedenen Einzelteilen ein fertiges Produkt entsteht. Dieses Produkt geht gemäß des Zyklus von Spur und Krause in den Vertrieb, der es dem Kunden präsentiert und daraus wieder neue Ideen generiert. [SPUR97, S.1ff.; JONA00, S.5ff.]

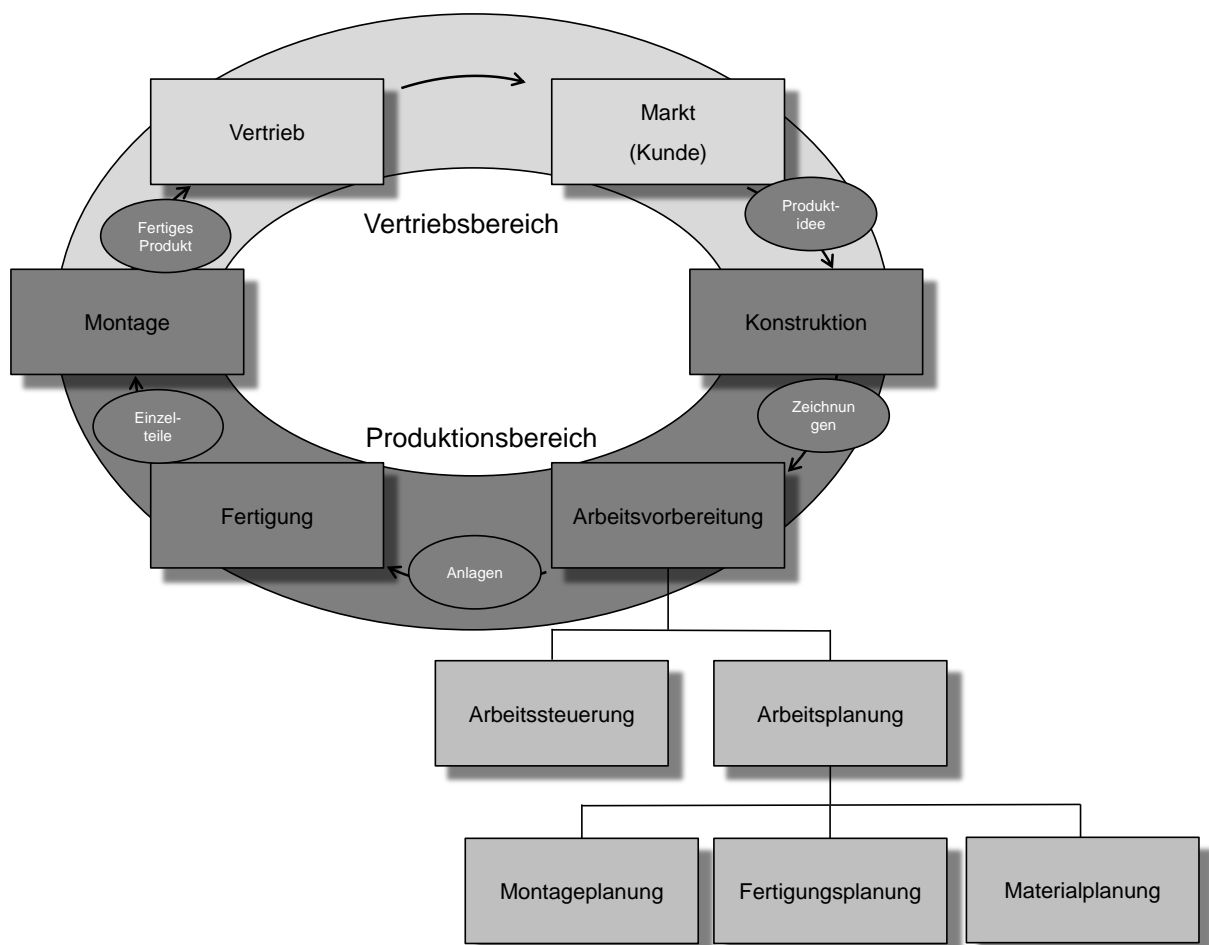


Abbildung 2-9: Einordnung der Montageplanung in den Produktentstehungsprozess [In Anlehnung an JONA00, S.6]

Darüber hinausgehende Beschreibungen des PEP unter anderem aus dem Bereich der Automobilindustrie sind bei Risse, Böhme, Rudolf und Motus in detaillierter Form aufgeführt [RISS03, S.4; BOEH04, S.50; RUDO07, S.11; MOTU08, S.70ff.].

Stand der Industrie:

Aus Sicht der Industrie hingegen liegt in den seltensten Fällen ein zyklischer, sondern meist ein linearer PEP vor. Dies ist der produktbezogenen Betrachtungsweise der Industrie geschuldet und wird exemplarisch am Beispiel der Volkswagen AG schematisch dargestellt. Analog Spur und Krause, aber auch analog Eversheim startet der PEP bei Volkswagen mit einer Projekt-Initiierung (PI). Bei dieser PI wird mit Hilfe des Vertriebes und der Technischen Entwicklung ein Produktsteckbrief und eine Marktpositionierung eines möglichen Produktes erzeugt. Der Vertrieb schätzt die spezifischen Marktanforderungen, Kundenwünsche, aber auch länderspezifischen Wettbewerbssituationen und vor allem die Trends eines Marktes ab und bringt diese in den Produktsteckbrief mit ein. Auf Basis dieser Informationen und vorliegender Restriktionen seitens der Finanz, Beschaffung, Qualitätssicherung und Produktion entwirft die Technische Entwicklung ein mögliches Produkt für den Markt. Bis zum Start of Production (SOP) folgen dann weitere Stationen entlang des PEP, z. B. die Entscheidung des Konzeptes, die endgültige Designentscheidung, aber auch Freigaben für die Beschaffung und Produktion. Hierbei wird immer in Form des Simultaneous Engineering² gearbeitet und das Produkt kontinuierlich entwickelt und verbessert. Kurz vor SOP werden die ersten Testfahrzeuge produziert, sodass unter realen Bedingungen das spätere Produkt hergestellt und auch im Nachgang getestet werden kann. Der PEP geht über den SOP hinaus bis zum End-of-Production (EOP), bei dem das letzte Fahrzeug die Fabrik verlässt. Ab dann übernimmt der After Sales die Verantwortung bei der Teileversorgung des ausgelaufenen Produktes und ein neues Produkt kann produziert werden. Vor allem das Simultaneous Engineering und die kontinuierliche Arbeit macht eine konkrete Festlegung des PEP und der einzelnen Stationen nahezu unmöglich. Es kann eher von einer Konzeptentwicklung, einer Serienentwicklung, Serienvorbereitung und der eigentlichen Serie gesprochen werden, wobei in jeder Phase alle Bereiche mit einbezogen werden, um das Produkt stetig zu verbessern (vgl. Abbildung 2-10).

² Simultaneous Engineering bedeutet die parallel Entwicklung an einem Produkt, auf Basis der Untergliederung in Module. Dabei wird jedes Modul bzw. jedes Teil von einem Entwickler oder einem Entwicklerteam in der Regel so entwickelt, dass alle zur gleichen Zeit fertig sind und nicht aufeinander warten müssen. [STAN97, S.15ff.]



Abbildung 2-10: Der schematische PEP der Volkswagen AG

2.1.5 Entwicklung der Komplexität im Rahmen der Fahrzeugindustrie

Der bereits in Kapitel 1 beschriebene Anstieg der Variantenvielfalt und der Anzahl an Fahrzeugmodellen im Produktportfolio der Automobilhersteller hat zu einer breiteren Marktabdeckung, aber auch zu einer Reduzierung der Stückzahlen je Variante geführt. Zur Realisierung wurden Markt-Cluster gebildet, die über gleiche Nutzergruppen verfügen und somit ein gleiches Kaufverhalten aufweisen. Für die jeweiligen Nutzergruppen wurden neue Fahrzeugtypen entwickelt oder aber die bisherigen Fahrzeugtypen auf die Kundenwünsche hin angepasst. Dies hatte jedoch zur Folge, dass die Stückzahlen je Variante zugunsten einer größeren Produktpalette gesunken sind. Eine gleichzeitige Erhöhung der Ausstattungsvarianten hat zusätzlich zu einer gestiegenen Teilevielfalt und damit zu einem Anstieg der Komplexität im Unternehmen geführt. Die folgende Abbildung stellt daher die wichtigsten Treiber der Komplexität im Rahmen der Fahrzeugindustrie vor [PILL99, S.19f.].

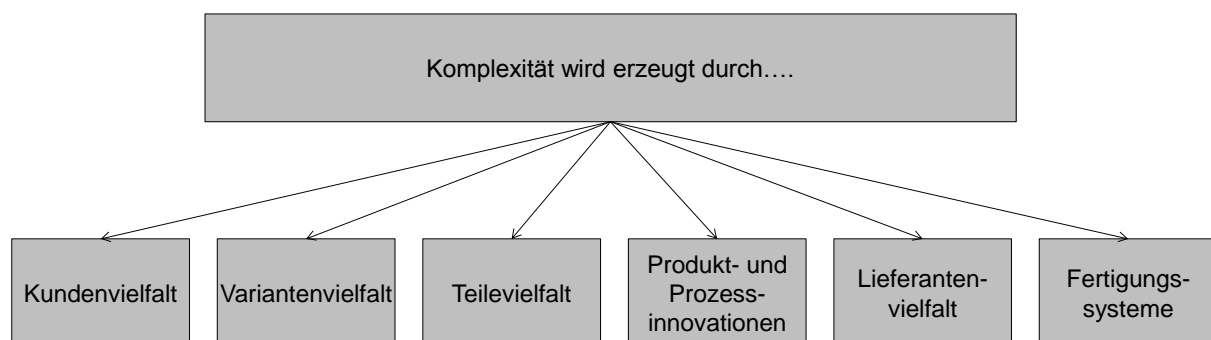


Abbildung 2-11: Komplexitätstreiber In Anlehnung an [PILL99, S.20]

Durch die Erweiterung des Kundenkreises ist ein Anstieg der Variantenvielfalt und daraus resultierend eine Erhöhung der Teilevielfalt in der Fahrzeugproduktion entstanden. Die damit einhergehende Produktportfolioerweiterung ist in der folgenden Abbildung exemplarisch dargestellt. Hierbei ist zu erkennen, dass aus den beiden Fahrzeugen der Marke Audi, dem Audi 80 und dem Audi 100 in je zwei Derivaten im Jahr 1980, sechs Fahrzeuge mit bis zu sechs Derivaten im Jahr 2004 entstanden sind. Bis in das Jahr 2015 sind nochmals sechs Fahrzeugarten hinzugekommen, sodass das Portfolio nun zwölf Fahrzeuge mit je maximal sechs Derivaten aufweist.

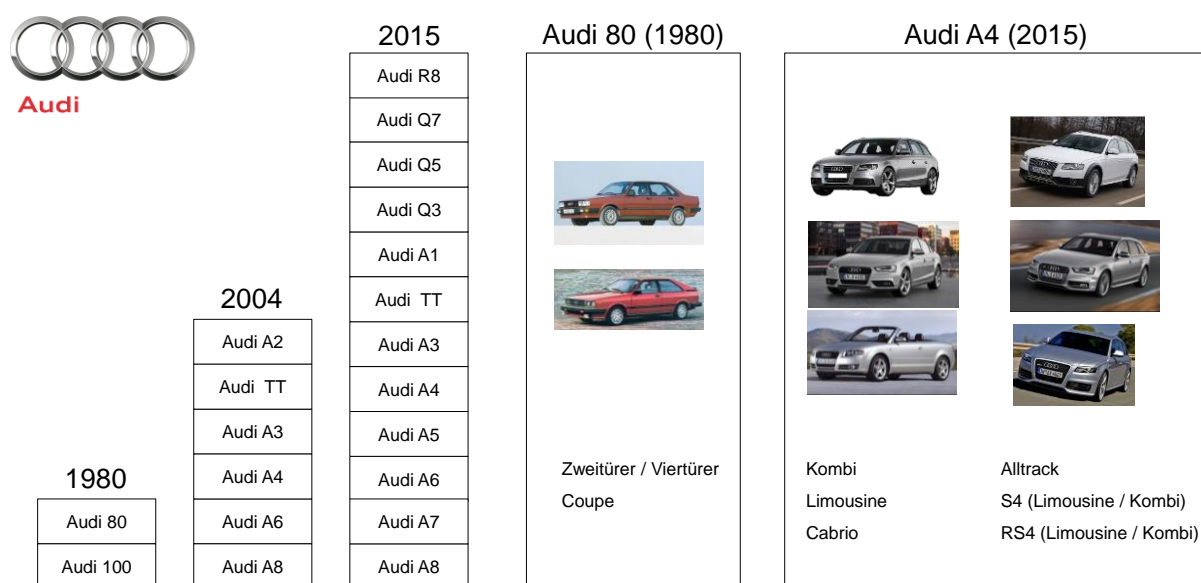


Abbildung 2-12: Entwicklung der Komplexität bei Audi [Eigene Darstellung in Anlehnung an SCHO09, S.2]

Neben den Varianten in der Karosserieform, z.B. Kombi oder Limousine bei dem Audi A4, vergrößern Derivate wie das Cabrio, der Alltrack oder die Sportmodelle S4 und RS4 die Produktvariationen des Audi A4 nochmals. Da jedes Derivat über eine eigene Palette an Ausstattungsvarianten verfügt, erhöht sich die Komplexität, sodass sich rechnerisch bis zu 10^{32} mögliche Varianten für ein Fahrzeug ergeben und schlussendlich jedes Fahrzeug ein Unikat darstellt. [WITT12, S.14f.]

Diese Modellexplosion ist nicht nur bei Audi zu finden, auch andere Marken haben ihre Modellpalette in den letzten Jahren und Jahrzehnten zugunsten einer größeren Modellvielfalt angepasst [KLUG10, S.49ff.]. Bei Mercedes-Benz konnte zwischen 1990 und 2007 ein Anstieg um 200% hinsichtlich der angebotenen Modelle verzeichnet werden [WALL09, S.12]. BMW hat zum selben Zeitpunkt in den Marken BMW, MINI und Rolls Royce ca. 350 Modellvarianten mit bis zu 500 Sonderausstattungen angeboten, bei einer durchschnittlichen Variantenvielfalt von 10^{31} Varianten je Fahrzeug [MOEB07, S.4].

Dass diese Entwicklung nicht nur die deutschen Automobilhersteller betrifft, zeigt sich in der Analyse von Womack und Van Biesbroeck, die bei einer Betrachtung des amerikanischen Automobilmarktes einen Anstieg der Fahrzeugmodelle von 30 im Jahr 1955 auf 142 im Jahr 1989; respektive 133 im Jahr 1974 auf 282 im Jahr 2004 festgestellt haben. [WOMA90; VANB07]

Insbesondere die Treiber der Modell- und damit der Teilevielfalt haben dabei erhebliche Auswirkungen auf die Fahrzeugendmontage, da mit jeder Variante eines Fahrzeuges und jedem neuen Teil, die dazugehörigen Produktionsprozesse sowie die Materialbereitstellung individuell geplant werden muss [KLUG11, S.48ff.]. Aus diesem Grund wurden von einigen Original Equipment Manufacturers (OEMs) produktseitige Maßnahmen zur Reduzierung der Komplexität eingeführt, um die interne Varietät, die es in der Produktion zu beherrschen gilt, zu reduzieren, ohne die vom Kunde wählbare äußere Varietät zu beeinflussen [PILL99, S.23f.; KIPP12, S.18f].

2.2 Produktseitige Maßnahmen zur Reduzierung der Komplexität

Zur Komplexitätsreduktion der internen Varietät gibt es die Möglichkeit zum einen das Produkt oder zum anderen den Planungsprozess anzupassen. In diesem Unterkapitel werden zunächst produktseitige Maßnahmen zur Komplexitätsreduktion vorgestellt. Diese beginnen bei der Kategorisierung von Bauteilen, über Standardisierungen bis hin zu Zusammenfassungen von Bauteilen zu Baugruppen/Modulen. Baugruppen und Module stellen dabei eine Zusammenfassung von Bauteile zu einer Einheit dar, sodass diese Einheit als ein Teil angesehen und eingebaut werden kann. Bauteile hingegen sind die kleinste Form der zu montierenden Teile eines Endproduktes.

2.2.1 A-,B-,C-Analyse

Zunächst besteht die Möglichkeit Bauteile nach Ihrer monetären Wertigkeit zu beschreiben und so das Gesamtprodukt nach Mengen- und Wertanteilen zu untergliedern. Im Rahmen der A-, B-, C-Analyse wird jedem Bauteil, aber auch jeder Baugruppe und jedem Modul des Produktes die spezifische Wertigkeit zugeordnet, sodass eine Verteilung der entstehenden Einkaufswerte über das gesamte Produkt ermöglicht wird. Dabei zeigt die klassische Literatur, dass die Unterteilung der A-, B-, und C-Bauteile wie folgt ausfällt:

Kategorie	Wertanteil	Mengenanteil
A-Bauteil	80%	20%
B-Bauteil	15%	30%
C-Bauteil	5%	50%

Abbildung 2-13: Übersicht Kategorie A-,B-,C-Bauteile

Auf Basis dieser A-, B-, C- Analyse kann eine Prozessplanung wahlweise anhand der Wert- oder Mengenanteile durchgeführt werden, um z. B. vorrangig die Logistikströme für Kosten- oder Mengenteile zu optimieren. Sollte dies nicht nur für ein Projekt, sondern projektübergreifend gelten, kann daraus ein Standard entwickelt werden. Dieser Standard kann zum Beispiel eine Einbaureihenfolge bzw. feste Einbauorte für gewisse Bauteile definieren.

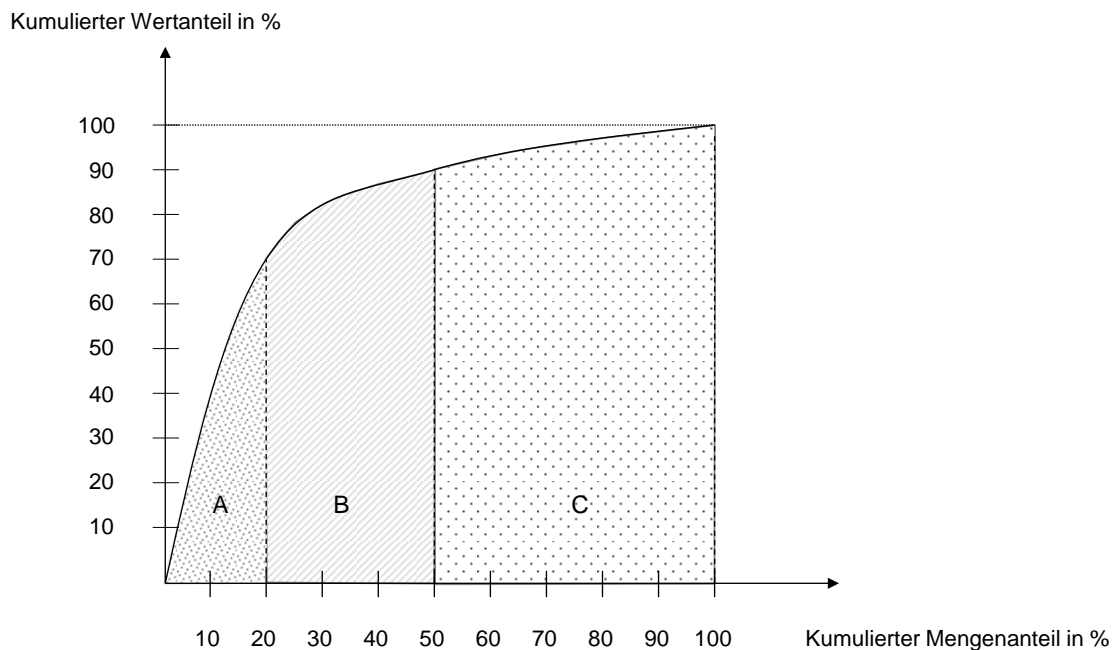


Abbildung 2-14: Grafische Darstellung Kategorie A-; B-; C-Bauteile [in Anlehnung an WEID15, S.227]

2.2.2 Standard / Standardisierung

Ein Standard ist laut Duden „Etwas, was als mustergültig, modellhaft angesehen wird und wonach sich anderes richtet; z.B. Richtschnur, Maßstab, Norm“ [DUDE14c]. Der internationale Standard nach ISO/IEC 2004 für einen Standard lautet: „a document, established by consensus and approved by a recognized body, that provides , for common and repeated use, rules, guidelines or characteristics for activities or their results, aimed at the achievement of the optimum degree of order in a given context.“ [ISO04] Bei der

Konkretisierung des Wortes Standard im technischen Anwendungsbereich ist die Definition etwas abweichend von der allgemeinen Definition, jedoch vom Grundgedanken her gleich. Erhardt definiert den Begriff Standard im technischen Sachzusammenhang wie folgt: „Der Begriff Standard wird allgemein verwendet, wenn ein Produkt oder ein Prozess bestimmten Absprachen oder Normen entspricht. Standardisierung beschreibt entsprechend den Prozess zur Erreichung eines Standards“ [ERHA01, S.9]. Generell ist demnach unter einer Standardisierung die Vereinheitlichung von Merkmalen oder Verfahrensweisen zu verstehen [WIES96, S.1898ff; REES93, S.3941]. Standardisierungen haben in der Industrie sowohl positive als auch negative Effekte auf durchzuführende Prozesse. Positiv ist hierbei die breite Nutzung von Wissen, das in einem Bereich gesammelt wurde und so auf andere Bereiche übertragen werden kann. Folglich müssen zum Beispiel Prozesse nur einmal geplant werden bzw. kann aus den Fehlern anderer Prozesse zur Optimierung der neuen Prozesse gelernt werden. Demgegenüber steht ein erhöhter Aufwand für die Erstellung neuer standardisierter Vorgänge und Dokumente, z. B. bei Änderungen von Abläufen. [LETM02, S.24]

Das Gegenteil zur Standardisierung ist die Individualisierung, bei der die Produkte individuell auf die Bedürfnisse des Kunden zugeschnitten werden [HOFE01, S.22]. Eine Kombination von Standardisierung auf Anbieterseite und der Individualisierung auf Nachfragerseite ist die Mass Customization nach Pine und analog dazu die kundenindividuelle Massenproduktion nach Piller, wie z. B. die Umsetzung in der Fahrzeugindustrie zeigt [PINE93; PILL98; PILL01]. Dementsprechend ist in der Fahrzeugproduktion zwischen standardisierten und individualisierten Teilen zu unterscheiden, die diese Zuordnung erst ermöglichen. Wie diese Unterteilung erfolgen kann, wird in den folgenden Abschnitten anhand verschiedener Ansätze beschrieben.

2.2.3 Modularisierung / Modul

Eine Form der Unterteilung in standardisierte und individualisierte Teile ist über den Modularisierungsansatz abbildbar.

Das grundlegende Prinzip der Modularisierung ist die Zerlegung eines Systems in unabhängige Einheiten (Module), die isoliert voneinander behandelt werden können. [vgl. SANC96, S.121; SIMO96, S.128] Das mit der Modularisierung verfolgte Ziel besteht darin die Abhängigkeiten zwischen einzelnen Elementen zu verringern, indem Elemente zu Modulen zusammengefasst werden und somit die Gesamtkomplexität reduziert werden kann [WUEP98, S.78]. Die dabei entstehenden Effekte Entkopplung von Modulen zu den angrenzenden Bauteilen, Wiederverwertung von Modulen in verschiedenen Produkten, aber auch die Austauschbarkeit eines Moduls in einem Produkt zeigen den Nutzen der Modularisierung auf. Damit einhergehend ist die Standardisierbarkeit der Modulschnittstellen,

sodass eine interne Erweiterung des Moduls bei gleichbleibenden Schnittstellen möglich ist. Diese standardisierten Schnittstellen führen zudem zu einer autarken Kontrollierbarkeit des Moduls im Hinblick auf die Funktion und Beschaffenheit und sie ermöglichen die Kombinierbarkeit der verschiedenen Module untereinander. Diese nach Göpfert beschriebenen Effekte spiegeln den Grundgedanken der Modularisierung, nämlich die Zusammenfassung von Bauteilen zu einer höheren Aggregationsebene, wieder und zeigen den Nutzen der Modularisierung deutlich auf. [GOEP00]

Eine sehr weitverbreitete Definition zur Modularisierung nach Ulrich und Eppinger greift genau diesen Aspekt auf und beschreibt die Modularisierung als Zerlegungsprinzip von Systemen, bei dem funktional unabhängige Einheiten getrennt voneinander behandelt werden können [ULRI00, S.184]. Boutelellier, Schuh und Seghezzi sehen es als zentrales Ziel der Modularisierung an, möglichst viele standardisierte Einzelleistungen bzw. -teile zu einer kundenindividuellen Gesamtleistung bzw. zu einem kundenindividuellen Gesamtprodukt zusammenzusetzen [BOUT97b, S.57ff.].

Analog der Modularisierung existieren auch bei dem Begriff des Moduls diverse Definitionen [GERS03, S.295ff; ARNO11, S.185]. Im Duden wird ein Modul als „austauschbares, komplexes Teil eines Gerätes oder einer Maschine, welches eine geschlossene Funktionseinheit bildet“ beschrieben [DUDE14a]. In einer technischen Betrachtung definiert Piller das Modul als eine „abgrenzbare, einbaufertige Einheit deren Bausteine physikalisch verbunden sind“ [PILL99, S.39].

Nach Pomberger verfügen Module über eindeutige Schnittstellen zu ihrer Außenwelt, wohingegen der innere Aufbau eines Moduls zunächst unerheblich ist [KROK05, S.11]. Diese zur Definition der Modularisierung notwendigen Schnittstellen werden auch bei Baldwin und Clark deutlich. Sie verstehen unter der Modularisierung die Gestaltung von Produkten und Komponenten durch die Kombination (Konfiguration, Gruppierung) von funktional wie physisch klar abgegrenzten Bausteinen (Modulen), die durch Schnittstellen miteinander verbunden sind [BALD97, S.86]. Schuh identifiziert diese Eigenschaften ebenfalls bei den Modulen und legt den Anwendungszweck vornehmlich auf den Bereich der Elektronikbauelemente und der Bauindustrie [SCHU89, S.59]. Seit der Analyse von Schuh ist eine Übertragung dieses Gedanken in nahezu jeder Branche und jedem Produkt, beginnend von dem Maschinenbau, über Fahrzeugindustrie bis zu Softwarelösungen zu finden.

Auf Basis einer Modularisierung können demnach standardisierte Schnittstellen zwischen einzelnen Modulen gebildet werden, wodurch die Umsetzung des Simultaneous Engineering möglich ist. Gleiche Schnittstellen haben den Effekt der größeren Endproduktvielfalt bei gleichbleibender interner Varietät, da immer nur gewisse Teile eines Moduls neu entwickelt werden müssen, der Zusammenbau und die Nachbarmodule jedoch gleich bleiben können [RAPP99, S.59f.; SCHU12, S.147]. Durch das Simultaneous Engineering und die

Schnittstellendefinition ist eine optimierte Beschaffung in Form von Modul-Outsourcing, eine einfachere Austauschbarkeit einzelner Module, aber auch eine effizientere Entwicklung eines gesamten Produktes möglich. [BALD97, S.86; PILL99, S.74ff.; WOLT95; MAYE93, S.152ff.; MUEL00, S.48] Die größte Herausforderung bei der Erzeugung von Modulen ist die detaillierte Beschreibung der Funktionen und Schnittstellen [ULRI95, S.439].

Neben diesen theoretischen Beschreibungen und Definitionen der Modularisierung haben einige OEMs der Fahrzeugindustrie Definitionen veröffentlicht, die sich im Kern mit den theoretischen Ansätzen decken, jedoch gewisse Unterschiede und unterschiedlich gesetzte Schwerpunkte aufweisen. Die Abbildung 2-15 zeigt einige dieser Definitionen auf und beschreibt anhand von Beispielen die praktische Umsetzung bei dem jeweiligen OEM.

Hersteller	Definition Modul	Beispiel Modul
Audi	Module sind örtlich abgrenzbare, montierte Baugruppen mit exakt definierten Schnittstellen. Sie können Bestandteil verschiedener Systeme sein	Frontend, Schalttafel
BMW	Ein Modul ist eine abgrenzbare Baugruppe (Vormontage), die aus verschiedenen Komponenten besteht. Ein Fahrzeug-Projekt besteht beispielsweise aus ca. 40 Modulen. Sie werden durch flächenübergreifend besetzte Modulteams bearbeitet. Die Modularbeitsweise berücksichtigt die Prinzipien des Simultaneous Engineering.	Frontend, Heizungs- und Klimaanlage, Vorderachse, Hinterachse, Tür, Lenksäule, Pedalerie
Ford	Ein Modul setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Bei Ford wird der Begriff Modul häufig für elektrische Teile benutzt, die sich aus mehreren kleinen Teilen zusammensetzen. Generell existiert bisher noch keine allgemeingültige Systematik für die Begriffe System und Modul. Die Entscheidung erfolgt vielfach situationspezifisch	Motormanagement Modul
Opel	Unter einem Modul werden vorgefertigte und bereits qualitätsgeprüfte Baugruppen verstanden, die Just in Time angeliefert und ins Fahrzeug eingebaut werden. Ein Modul muss nicht, kann aber für sich allein funktionsfähig sein.	Tankmodul, Vorderradträger mit Lenker, Kühler mit Luftführung und Gebläse
VW	Unterschieden werden Montage-, Funktions- und Entwicklungsmodule. Die Bildung von Modulen erfolgt mit einer Top-Down-Blickrichtung. Das Fahrzeug wird in kleine einbaufertige Module zerlegt.	Heckklappe, Tür, Abgasanlage, Federbein
Porsche	Bei einem Modul steht im Hinblick auf den Einbauort der physische Zusammenhang im Vordergrund. Module haben stets eine Schnittstelle mit der Karosserie und müssen für die Montagefolge passend zugeschnitten sein. Bei Porsche wird in Verbindung mit operativen Prozessen häufig von Modulen gesprochen. Bisher wurden 50 Module identifiziert.	Vorderachse, Radträger und Bremse.

Abbildung 2-15: Definition Modul bei den OEMs [ANDR06a, S.16; PILL99, S.41ff.]

2.2.4 Baukasten

Neben einem Modul gibt es auch noch den Begriff des Baukastens, der in den 1960er und 1970er Jahren erstmalig auf wissenschaftlicher Ebene untersucht worden ist [BORO61; BIEG71; BORN76; KAPP76]. Innerhalb einer der ersten Untersuchungen hat Borowski den Ursprung des Baukastens bei den Spielzeug-Baukästen von Kindern identifiziert. Weitere Anwendungsmöglichkeiten von Baukästen, neben dieser eher technischen Anwendung, sind Schrift-/ Zahlen-/ und Notensysteme, die den gleichen Gesetzmäßigkeiten unterliegen. Gesetzmäßigkeiten sind u. a. der Bausteinvorrat aus gleichen und verschiedenen Bausteinen,

die Vielzahl der Kombinationsmöglichkeiten, die Zerlegbarkeit der aus Bausteinen aufgebauten Gebilde, die Wiederverwendbarkeit der Bausteine, die einheitliche Fügefläche und Fügstellen der Bausteine. [BORO61, S.1ff.] Die Erfahrungen in der Industrie hinsichtlich der Anwendung von Baukästen gehen bereits auf die 1920er zurück, wobei Fräsmaschinen in einer Form der Baukastenweise gebaut worden sind [HEGN28, S:581f.].

Aufgrund der im Laufe der Jahre gestiegenen Komplexität innerhalb der Baukastensystematik lässt sich die Funktionsweise von Baukästen nicht mehr 100%ig auf den ursprünglich angenommenen Kinder-Baukasten zurückführen. Biegert führt zunächst eine Betrachtung des technischen Gestaltungsprinzips eines Baukastens durch, bevor er sich dem wirtschaftlichen Gestaltungsprinzip näher widmet. Bei dem technischen Gestaltungsprinzip werden fokussierend die Wesensmerkmale sowie die technischen Voraussetzungen der Baukastenbauweise erklärt, eine Typologie der Gestaltungsformen und -elemente erarbeitet und eine Abgrenzung zu anderen, meist ähnlichen Gestaltungsweisen vorgenommen. Die wirtschaftliche Gestaltung erfolgt dann anhand eines Business Cases, bei dem die ideale Auslegung des Baukastens berechnet wird. [BIEG71, S.7]

Laut Biegert gibt es diverse Synonyme zu der Baukastenbauweise, u. a. Baukastenweise, Baukastenprinzip, Baukastensystem, Baukasteneinheitensystem, Baugruppensystem, Modulsystem, Baukastentechnik, Kombinationstechnik und Baukastenfertigung. Neben den verschiedenen Begrifflichkeiten gibt es auch verschiedene Definitionen in der Anwendung, die sich unter anderem auf das jeweilige Anwendungsgebiet beziehen. Fokussierend auf den technischen Gestaltungsprinzipien geht Borowski von einem Ordnungsprinzip aus, „dass den Aufbau einer begrenzten oder unbegrenzten Zahl verschiedener Dinge aus einer Sammlung genormter Bausteine auf Grund eines Programms oder Baumusterplans in einem bestimmten Anwendungsbereich“ erlaubt [BORO61, S.18]. Nasvytis sieht in der Baukastenbauweise ein Verfahren „zur Herstellung verschiedener zusammengesetzter Gegenstände aus einem Elementevorrat“, um „mit einer kleinen konstanten Anzahl verschiedener Elemente eine große Anzahl Komplexionen zu bilden“ [NASV53, S.86].

Ein anderer Ansatz, der bspw. von Schmidbauer-Jurascheck verfolgt wurde, ist die Betrachtung der Baukastenbauweise als technisches und ökonomisches Gestaltungsprinzip. Er sieht dabei in der Baukastenbauweise eine Möglichkeit „trotz mehrerer verschiedener Produkte durch konstruktiv sinnvolle Gestaltung der einzelnen Maschinenbauelemente bei minimalen Sortenwechselkosten noch in den Genuss der Auflagendegression zu kommen“ [SCHM63, S.28]. Dürr verfolgt einen ähnlichen Ansatz und sieht den Grundgedanken der Baukastenbauweise „in der Aufgliederung der Maschine in einheitliche, in sich geschlossene Baugruppen, die die Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Fertigung erfüllen, ohne die benötigte Vielfalt von Bauformen für Sonderzwecke zu beeinträchtigen“ [DUER43, S.233].

In allen theoretischen Betrachtungen wird von abgeschlossenen Einheiten ausgegangen die beliebig miteinander kombiniert werden können und so stets neue Endprodukte zur Folge haben. Dabei spielen insbesondere einheitliche Schnittstellen am Beispiel der Fräsmaschinen, aber auch die Definition von möglichen Bauplänen aus denen eine endliche oder unendliche Zahl an Enderzeugnissen hergestellt werden kann.

Diese Ansätze überschneiden sich sehr stark mit den in Abschnitt 2.2.3 genannten Ansätzen zur Modularisierung und scheinen eine Überlappung dieser Begriffe zur Folge zu haben.

Nach Rapp unterscheidet sich der Baukasten von der Modularisierung dahingehend, dass bei der Modularisierung die Schnittstellen zwischen Grundelement und Anbauteil definiert werden, wohingegen bei einem Baukasten die Schnittstellen zwischen den Anbauteilen liegen [RAPP99, S.52]. Koller hat eine etwas differenzierte Auffassung der Baukastenbauweise und definiert diese als Fortführung der Modulbauweise, bei der Module in mehr als einer Ausprägung und mit unterschiedlichen Funktionen vorkommen können, jedoch immer an derselben Stelle des Produktes verbaut werden. Baukästen hingegen bilden eine freie Kombinierbarkeit in allen Stellen und ermöglichen somit eine flexiblere Verwendung von Baukastenelementen, aus denen eine deutliche höhere Anzahl an Enderzeugnissen produziert werden kann. [KOLL85, S.112ff.].

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Begriffe Baukasten und Modul nicht komplett losgelöst voneinander betrachtet werden können, sondern in verschiedenster Form miteinander verzahnt sind. Aufgrund der diversen o. g. Unterschiede ist eine Verwendung der Begriffe Baukasten und Modul als Synonym jedoch nicht denkbar. Die grundlegendsten Eigenschaften eines Baukastens sind die definierten Schnittstellen und die fest definierte Anzahl an Baukastenelementen, wohingegen das Modul durch die definierten Schnittstellen und die Funktionsbeschreibung eines Moduls charakterisiert werden kann.

2.2.5 *Plattform*

Neben dem Baukastenbegriff und der Modularisierung taucht im Zuge der Recherche zur Reduzierung der Komplexität bei Fahrzeugen oft der Begriff der Plattform auf. Nach Hofer ist eine Plattform „eine einer Produktfamilie gemeinsame Struktur, von der aus eine Folge derivativer Produkte effizient entwickelt und produziert werden kann.“ [HOFE01, S.13 nach MEYE97, S.7]

Die Idee der Plattform liegt in der Trennung der Produktstruktur in Plattform- und Nicht-Plattform-Elemente entsprechend vorher definierter Differenzierungsanforderungen und Vereinheitlichungspotenziale. Dadurch wird die Varianz bewusst eingeschränkt mit dem Ziel Standardisierungspotenziale in der Produktstruktur zu erreichen und dennoch individuelle Endprodukte anbieten zu können [SCHU00, S.604]. Dies führt dazu, dass die technische

Grundstruktur für jedes Produkt möglichst gleich ist, der Aufbau sich jedoch zwischen den Produkten unterscheidet [MEYE97, S.39]. In Folge dessen erlauben Plattformen eine hohe externe Varietät bei geringer interner Varietät [SAWH98, S.54].

Eine Ähnlichkeit zu den bisher beschriebenen Begriffen Modul und Baukasten ist demnach zu erkennen. Im Vergleich zur Modularisierung verfolgt die Plattform weniger das Ziel des Simultaneous Engineering, sondern vielmehr die stringente Nutzung gleicher Teile über mehrere Produkte [BENE99, S.136]. Dabei setzt sich die Plattform aus vereinheitlichten Elementen zusammen, sodass die Produktdifferenzierung erst außerhalb der Plattform stattfindet. Somit ist ein Simultaneous Engineering der Plattform- und Nicht-Plattformelementen jedoch nicht so stringent durchführbar wie bei der Modularisierung, wobei der Unterschied zur Modularisierung in der Zerlegung eines Produktes zur Nutzung des Simultaneous Engineering liegt. [HOFE01, S.37]

Bei der anschließenden Nutzung von Plattformen und der Abgrenzung zu den Modulen sind sich die Autoren in der Querschnittsliteratur nicht einig, sondern verfolgen unterschiedliche Denkweisen. Nach Hofer ist die Nutzung von Plattformen durch eine vorherige Definition von Modulen möglich, um eine Entkopplung von Gleich- zu Nicht-Gleich-Teilen zu ermöglichen [HOEF01, S.50; HOFE05, S.238]. Eine konträre Einschätzung zu Hofer liegt in der Praxis unter anderem bei der Volkswagen AG vor, die eine Nutzung von Modulen als Fortsetzung einer Plattformstrategie sehen [HRAC11; WEDE15, S.69]. Abschließend lässt sich sagen, dass eine Abhängigkeit von Modulen und Plattformen vorliegt, jedoch die Richtung der Abhängigkeit nicht einheitlich definiert ist. Vielmehr ist bei der Nutzung der Plattform die Unterscheidung in Plattform- und Nicht-Plattform-Teile relevant, um das Produkt in Gleichteile und individuelle Teile untergliedern zu können.

2.2.6 Vergleich Plattform, Modul und Baukasten

Aufgrund der Unterschiede innerhalb der jeweiligen Definitionen und der Abhängigkeiten untereinander wird in der folgenden Abbildung ein Überblick über die in dieser Arbeit verwendeten Definitionen und deren Strategien mit dem Fokus auf die Automobilindustrie dargestellt.

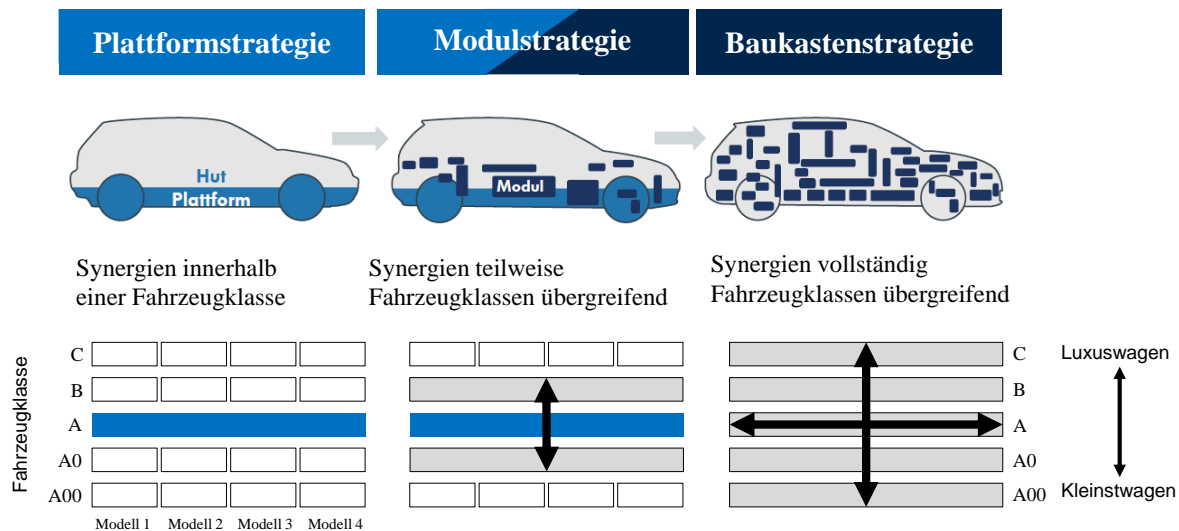


Abbildung 2-16: Entwicklung von der Plattform- zur Baukastenstrategie [In Anlehnung an VWAG12]

Die Grundlage bildet dabei die Plattformstrategie, die eine Unterteilung des Fahrzeuges in einen standardisierten Unterbau, die Plattform, und einen individuellen Aufbau, den Hut, ermöglicht. Diese Plattform besteht aus einer einheitlichen Unterbodengruppe und definierten Fahrwerkskomponenten, auf die ein individueller Hut aufgesetzt werden kann. Daran angrenzend folgt die Modulstrategie, bei der die standardisierte Plattform um Module aus dem Hut erweitert wird. Diese Module können fahrzeugklassenübergreifend eingesetzt werden, wobei die Plattform weiterhin einer Fahrzeugklasse zugehörig ist. Die letzte Evolutionsstufe stellt die Baukastenstrategie dar, bei der die Plattform komplett aufgelöst wird und so das Fahrzeug ausschließlich aus einzelnen Baukastenelementen besteht. Diese Elemente sind in einem großen Baukastensystem hinterlegt, aus dem sich alle Fahrzeugklassen und Modelle bedienen können.

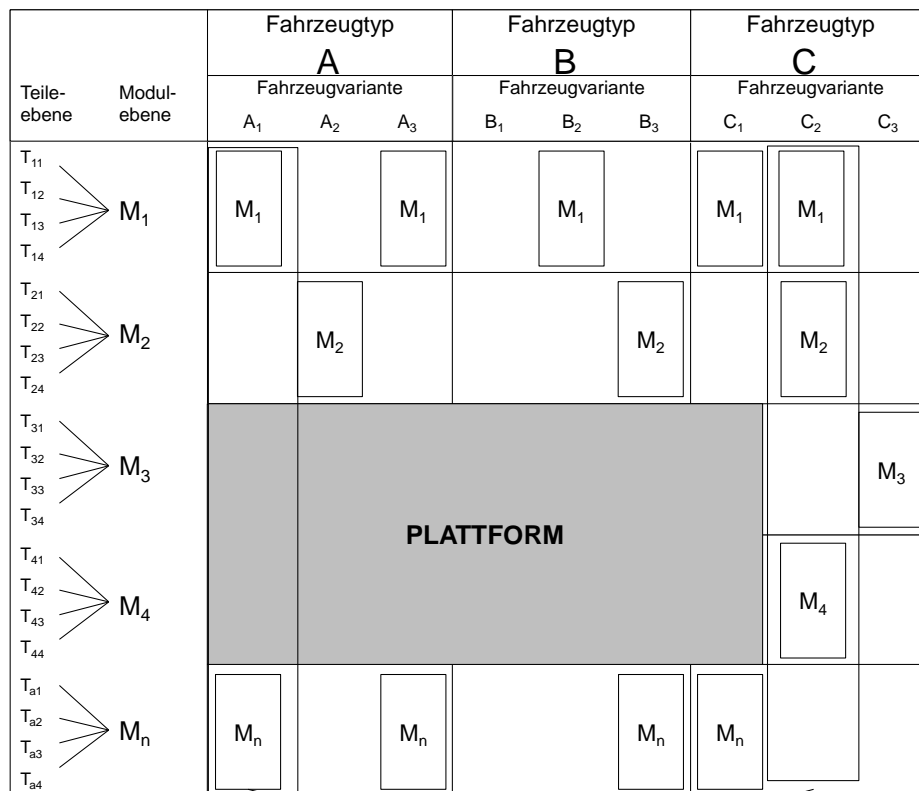
Aufgrund der hier aufgezeigten Unterschiede in den einzelnen Begrifflichkeiten und den verfolgten Strategien zur produktseitigen Komplexitätsreduktion findet in den folgenden Unterkapiteln eine konkrete Beschreibung der einzelnen Konzepte anhand der Theorie und anhand von Praxisbeispielen statt.

2.3 Plattformkonzepte

2.3.1 Theoretische Plattformkonzepte

Plattformkonzepte sind die mit am weitesten verbreiteten Konzepte hinsichtlich der Produktvereinheitlichung und damit hinsichtlich der Komplexitätsreduktion. Sie dienen als

Basis für eine Produktfamilie, um so die Entwicklungszeit zu reduzieren, aber auch die Kosten für einmalige Entwicklungen im Gleichteilesegment auf mehrere Produkte übertragen zu können. [FIRC02, S.52ff.]



Beispielhafter Baukasten für die Fahrzeugvarianten A1 und C2

Abbildung 2-17: Umsetzung der Plattformstrategie [in Anlehnung an PILL99, S.65]

Plattformkonzepte werden nach Meyer und Lehnerd als Subsysteme mit Schnittstellen definiert, die eine gemeinsame Struktur bilden und auf deren Basis eine Reihe von Produkten entwickelt und produziert werden. Ziel ist eine konsequente Verwendung gleicher Teile und Komponenten in unterschiedlichen Produkten, aber auch an verschiedenen Stellen in einem Produkt, wie in der vorangegangenen Abbildung zu sehen ist. Die Nutzung gleicher Teile und Komponenten in Verbindung mit einem ähnlichen Bauplan und einer damit verbundenen standardisierten Schnittstellen Definition zu den angrenzenden Komponenten führt zur Implementierung einer Plattform. Diese Plattform weist in der Regel eine gleiche Struktur auf und wird nach einem einheitlichen Baumuster aufgebaut. Die Unterscheidung der Produktion des Enderzeugnisses liegt in den darauf aufsetzenden Nicht-Plattform-Teilen, die eine Unterscheidung der Produkte ermöglichen. Die einheitliche Plattform verschiedener Produkte

kann infolgedessen auf derselben Anlage oder derselben Produktionsstraße produziert werden. Erst für die individuellen Nicht-Plattform-Teile müssen die jeweiligen Produktionsspezifika beachtet werden. Dies gilt nicht nur für eine Produktgeneration, sondern oftmals auch für die Nachfolgegeneration. [MEYE97, S.7 und S.39] Dabei existieren drei Arten von Plattform-Konzepten, wie der folgenden Abbildung 2-18 zu entnehmen ist. Zunächst ist die horizontale, klassische Plattformnutzung für einfache oder hochwertige Produkte anzuführen. Eine weitere Möglichkeit ist die spezifische Nutzung einer Plattform je Segment, wie das zweite Beispiel zeigt. Die dritte Variante ermöglicht basierend auf einer Plattform eine Nutzung in allen Segmenten und allen Qualitätsklassen.

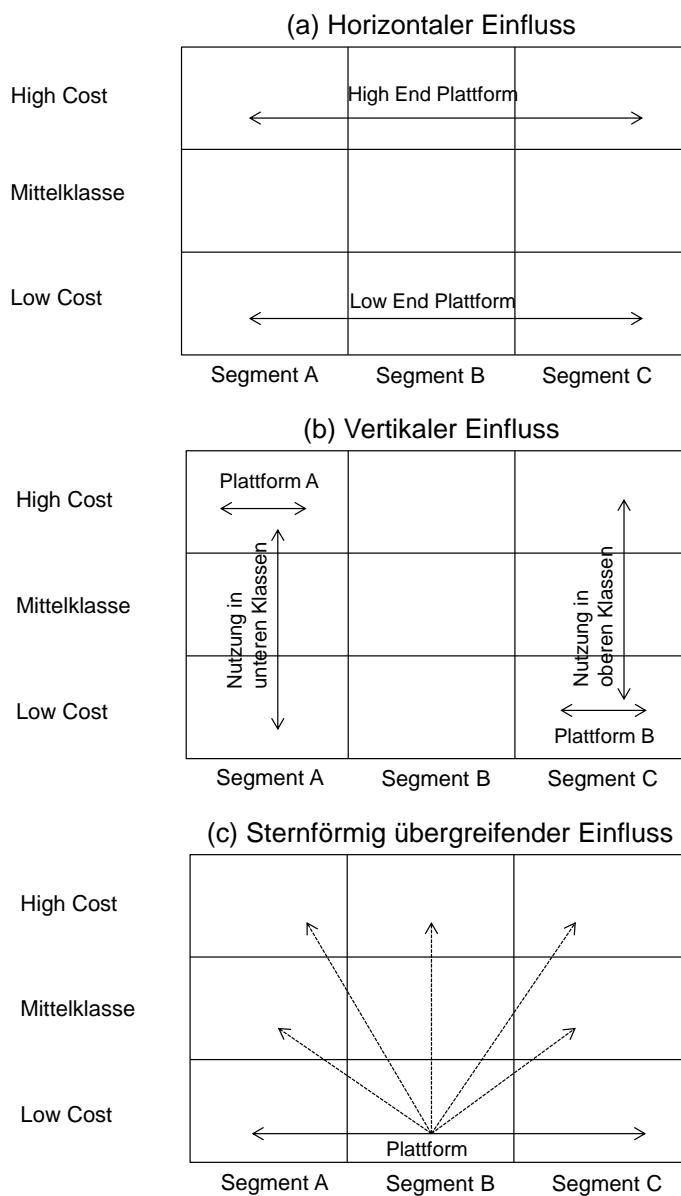


Abbildung 2-18: Marktsegmentierung auf Basis der Plattformstrategie [In Anlehnung an GUNZ08, S.65]

Bei einer weiter greifenden Betrachtung von Plattformkonzepten können über die Produktspezifika hinaus auch Technologien, Innovationszyklen oder Aufbauorganisationen Teil des Plattformkonzeptes sein. Ebenfalls gehören Fertigungs- und Montageprozesse, Entwicklungs-Knowhow, Fertigungstechniken und Methoden der Qualitätsprüfung zu dieser Betrachtung mit hinzu. Dieses in Verbindung mit der Plattform stehende Wissen ist an den Mitarbeiter gekoppelt, sodass sowohl der Mitarbeiter als auch das Wissen als Teil des Plattformkonzeptes angesehen werden. Die Summe aus Bauteil, Fertigungsprozess und Prozesswissen stellt somit das jeweilige Plattformelement dar, aus dem sich die gesamte Plattform zusammensetzt. [ROBE98, S.20] Von dieser umfangreichen Betrachtung einer Plattform ist in der hier vorliegenden Arbeit lediglich ein ausgewählter Teil von Bedeutung. Durch den Fokus der Komplexitätsreduktion in der Fahrzeugendmontage sind insbesondere die Nutzung gleicher Technologien und Fertigungstechniken, aber auch das Wissen über Qualitätsprüfungen durch die Verwendung von Gleichteilen von Bedeutung. Die Elemente Entwicklungs-Knowhow oder Innovationszyklen betreffen eher die vorgelagerten Entwicklungsprozesse, sodass diese nur einen geringen direkten Einfluss auf die Montage haben.

Bei der Analyse von konkreten theoretisch formulierten Plattformkonzepten sind vor allem das Konzept nach Simpson et. al und das Konzept von Suh et. al von großer Bedeutung [SIMP01; SHU07].

Die Product Platform Concept Exploration Method (PPCEM) wurde von Simpson et al. entwickelt und fokussiert sich auf skalenbasierte Produktfamilien, die auf skalenbasierten Plattformen beruhen. Dabei repräsentiert diese Methode einen generischen Systementwurf mit dem Fokus auf der Planungsphase der Produkt-Familie, ohne dabei einen Einfluss auf die konzeptionelle Design-Phase zu nehmen. In dieser Methode liegt ein komplexes Entscheidungsfindungsproblem vor, das durch eine mathematische Simulationen beschrieben werden kann. Aufgrund der Komplexität und der eher theoretischen Betrachtung hat diese Methode jedoch noch keinen Einzug in die Praxis erlangt. [SIMP01]

Suh et. al entwickeln ein Plattform-Design-Konzept bei dem flexible Elemente aufgenommen werden, um auf zukünftig ungewisse dynamische Marktumgebungen reagieren zu können. Dafür haben sich die Autoren überarbeitete Plattformen von Produkten angeschaut und die dabei am häufigsten veränderten Komponenten identifiziert. Bei der Analyse stellte sich heraus, dass nur wenige Komponenten ohne Veränderungen übernommen werden konnten und die meisten bei einer Produktweiterentwicklung wieder angepasst werden mussten. Die unveränderten Teile nennen die Autoren „carryover-common“. Die weiteren Teile, die nicht übernommen, aber auch nicht komplett neu waren, wurden von Suh et al. fokussierend

betrachtet. Sie nannten diese „carryover-modified“. Die Modifikationen am Bauteil führten zu leichten Anpassungen im Produktionsprozess, sodass die Autoren sogenannte „flexible elements“ definiert haben, die sie in die erweiterte Produkt-Plattform mit aufgenommen haben, um den Nutzen der Plattform nochmals erhöhen zu können. [SUH07]

Der Grundgedanke der Plattformkonzepte wird zum Teil bereits in der Industrie angewendet, sodass bei der praktischen Betrachtung in dem folgenden Abschnitt zunächst der Fokus auf die Automobilindustrie gelegt wird und im Anschluss ein kurzer Abriss zu Plattformkonzepten außerhalb der Automobilindustrie stattfindet.

2.3.2 *Plattformkonzepte in der Automobilindustrie*

Wie bereits in der theoretischen Betrachtung der Plattformen beschrieben wurde, dienen auch die Fahrzeugplattformen der Vereinfachung des Produktportfolios [MEYE97 S.55]. Dabei ist es besonders entscheidend die Plattform so zu entwickeln und zu konstruieren, dass sie in mehreren Automobilvarianten und Modellen einsetzbar ist. Dementsprechend ist es notwendig, möglichst früh im PEP auf die Belange der späteren Nutzer zu achten. Bei der Umsetzung ist es wichtig, sowohl die geometrischen als auch die physischen Eigenschaften der späteren Produkte zu berücksichtigen und die Plattform daran auszurichten. [HACK97] Die Vereinfachung des eigenen Produktportfolios durch die Verwendung der Plattform geht mit einer Komplexitätsreduzierung im Unternehmen einher, die ebenfalls eine Reduzierung des Planungs- und Koordinationsaufwandes mit sich zieht. Da für Plattformelemente oftmals diese Lieferanten genommen werden, ist auch die gelieferte Qualität bekannt. In Folge dessen ist eine bessere Planbarkeit der Prozesse, zum Beispiel durch den Entfall der zeitaufwändigen Wareneingangskontrolle, möglich. Durch die Beachtung der vielen verschiedenen späteren Nutzer steigen dementsprechend die Kosten und der Aufwand für die Entwicklung einer Plattform im Vergleich zu einem Einzelprodukt. Jedoch kann durch die Wiederverwendung der Plattform in verschiedenen Produkten von einer Reduzierung der Entwicklungstätigkeiten im Gesamten ausgegangen werden, da nur eine Plattform und nicht eine Vielzahl von Unterbodengruppen entwickelt werden muss. [PILL99, S.68] Aufwand und Kosten für die Plattformentwicklung decken dabei ca. 60% eines neuen Fahrzeugmodells ab [O.V.95, S.25]. Zudem besteht auch die Chance höherwertige Bauteile und Komponenten in Fahrzeuge einer niedrigeren Klasse, gemäß der sternförmigen Plattform aus Abbildung 2-18, einzuführen [PILL99, S.71].

Piller und Waringer schreiben in ihrer Arbeit „Modularisierung in der Automobilindustrie“ den Plattformkonzepten eine wichtige Rolle in der Automobilindustrie zu. Dabei sehen sie in

Analogie zu weiteren Autoren die Plattform als ein Modul an, dass die Basis für alle Produktvarianten bildet und sogar in weiteren Produkten in Form eines Gleichteils eingesetzt werden kann. Piller und Waringer nennen dieses übergreifende Modul „Basismodul“ und spielen damit auf die produktübergreifende Anwendung dieses Moduls an. [PILL99, S.64ff] Robertson und Ulrich konkretisieren diese Aussage, indem sie den Plattformen differenzierte Anwendungsbereiche innerhalb der Automobilindustrie zuweisen. Plattformen können nach Robertson und Ulrich sowohl als Grundgerüst für ein komplexes Modul, zum Beispiel das Cockpitmodul, als auch als Grundgerüst für das Fahrzeug selbst beschreiben [ROBE98, S.21ff.].

Dass Plattformkonzepte eine sehr häufige Anwendung in der Automobilindustrie finden, zeigt die Abbildung 2-19, in der die Nutzung der Plattform Quer (PQ)-Plattform des Volkswagen Konzerns exemplarisch beschrieben wird. Der Name PQ-Plattform ist auf die Einbaulage (Quer) des Motors im Verhältnis zur Fahrtrichtung zurückzuführen und bildet mit der Plattform Lang (PL) über Jahre die Grundlage für alle Fahrzeugprojekte. Diese PQ-Plattform teilten sich exemplarisch vom Audi TT bis zum Seat Toledo die verschiedenste Fahrzeuge des Volkswagen Konzerns, sodass gemäß der theoretischen Abgrenzung je Projekt nur noch ein fahrzeugspezifischer Hut entwickelt werden musste. [PILL99, S.66; SEKO05, S.64] (vgl. Hierzu auch Abschnitt 2.2.6)

Segment	Fließheck	Stufenheck	Kombi	Cabrio	Roadster	Coupé	Pick-up	Fun-Car
VW	Golf	Vento	Touran	Golf Cabrio		Scirocco	Caddy	Beetle
Audi	A3			TT Cabrio		TT Coupé		Q3
Seat	Leon	Toledo	Altea					
Skoda	Oktavia		Oktavia					

Abbildung 2-19: Die Nutzer der PQ-Plattform im A-Segment [In Anlehnung an PILL99, S.66]

In der Fahrzeugindustrie besteht die Plattform im Allgemeinen aus der Bodengruppe, dem Fahrwerk, dem Antriebsstrang, dem Getriebe und anderen wichtigen Subsystemen [MEYE97, S.39]. In der PQ-Plattform sind folgende Bestandteile enthalten: Boden, Fahrwerk, Antriebsstrang, Motor, Getriebe, Tank, Kühlsystem, Lenksäule, Heizung und Sitzgestell [HACK97, S.50].

Die Verwendung von Plattformen findet auch bei Ford, der italienischen Fiat-Lancia-Alfa-Romeo-Gruppe sowie bei dem französischen PSA-Peugeot-Citroen-Konzern in sehr ähnlicher Form statt [PILL99, S.68f.].

Neben den konzernbezogenen Plattformen gibt es auch unternehmensübergreifende Plattformen wie zum Beispiel der Volvo S40 und der Mitsubishi Carisma, die eine aus dem Joint-Venture entstandene Plattform verwenden und bei Nedcar in den Niederlanden gefertigt wurden [CHEW96, S.1; BOUT97a, S.59; DANK04, S.236].

2.3.3 Plattformkonzepte außerhalb der Automobilindustrie

Bevor die Fahrzeugindustrie die Synergieeffekte der Produktplattform entdeckt hatte, konnten andere Industrie bereits in den 80er Jahren die Vorteile des Plattformkonzeptes für sich nutzen. Beispielweise konnte Sony durch die Entwicklung eines plattformbasierten Kassettenband-Transport-Mechanismus für den Walkman innerhalb von zehn Jahren 250 verschiedene Modelle auf den Markt bringen. [SAND95, S.769ff.]

Eine noch rasantere Entwicklung konnte bei Black & Decker verzeichnet werden, die in den 80er Jahren jede Woche ein neues Modell ihrer Elektrowerkzeuge auf den Markt gebracht haben [MEYE97, S.13ff.].

Ein drittes Beispiel der Plattformnutzung, das in diese Epoche fällt, sind die Sofortbildkameras der Firma Polaroid. Hierbei wurde in jeder Kamera dieselbe Technik zur Erzeugung des Sofortbildes verbaut, sodass sich die Kameras nur noch im Gehäuse und weniger im technischen Innenleben unterschieden haben [GUNZ08, S.58].

Jeder dieser drei praktischen Anwendungsfälle nutzt für die Implementierung den Basismodul-Gedanken, sodass auf Basis einer einheitlichen Grundkonstruktion binnen kürzester Zeit neue Produkte entwickelt und produziert werden können.

Neben diesen rein zahlenbasierten Beispielen zur Nutzung von Plattformstrategien beschreibt Gunzenhauser in seiner Arbeit sehr detailliert die Verwendung von Plattformen bei der Firma Schindler Aufzüge. Dabei untergliedert er aufgrund der Globalisierungsstrategie der Firma zu Beginn des 21. Jahrhunderts in kontinentale und globale Plattformen. Die Entwicklung zur Plattform-Strategie hat bei der Firma Schindler bereits in den 1990er Jahren begonnen, um ein

höchststandardisiertes „Allerwelts-Aufzug-System“ zu entwickeln. Dabei hat sich die Firma Schindler an der Plattformstrategie der Volkswagen AG orientiert, um die Synergien in möglichst vielen Produkten nutzen zu können. In 2002 wurde die kontinentale zur globalen Produkt-Plattform erweitert. Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch das Produktportfolio der Firma Schindler mit dem Bezug auf die Plattform und das jeweilige Segment.

System Plattform	Geschäftsart		Bauart			Technische Faktoren		Qualität	Marktsegment
	Menge	Standard-grad	Förder-höhe	Geschw.	Zul. Gewicht	Layout Konzept	Antriebs-techn.	Abroll-Komfort	
E3	X00	Gering	80 m bis 500 m	2,5 m/s bis zu 10 m/s	Bis zu 5.000 kg	Masch.-Raum	Getriebe-los	Hoch	Design
E2	X'000	Mittel	Bis zu 150m	Bis zu 4 m/s	Bis zu 2.500 kg	Mini & Masch.-raum frei	Getriebe-los	Mittel	Modular Kunden-spezifisch
E1	X0'000	Hoch	Bis zu 80 m	Bis zu 1,75 m/s	Bis zu 1.250 kg	Masch.-raum frei	Verzahnt	Basic	Standard-Fahrstuhl
MOD	X'000	Mittel	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Modernisierung

Abbildung 2-20: Systemplattformen für Aufzüge [In Anlehnung an GUNZ08, S.77]

Die Firma Schindler erweiterte die Plattformstrategie dahingehend, dass eine Mehrfachverwendung von Teilen in den verschiedenen Plattformen (E1-E3 und MOD) ermöglicht werden konnte. Es kann somit von einer zweigliedrigen Plattformstrategie ausgegangen werden, bei der zunächst die Grundplattform definiert wurde, die über alle Plattformen gleich ist, um darauf aufbauend spezifische Plattformen für das Produktportfolio entwickeln zu können. Diese Grundplattform betitelt Gunzenhauser als Komponenten-Plattform, wohingegen er die vier spezifischen Plattformen für die Aufzüge als System-Plattformen klassifiziert. Beispiele für Elemente aus der Komponenten-Plattform sind die Aufzugssteuerung, die Türen, Softwarelösungen, aber auch die Antriebsplattform. Der Zusammenhang zwischen der Komponenten- und der Systemplattform ist exemplarisch in der folgenden Abbildung dargestellt.

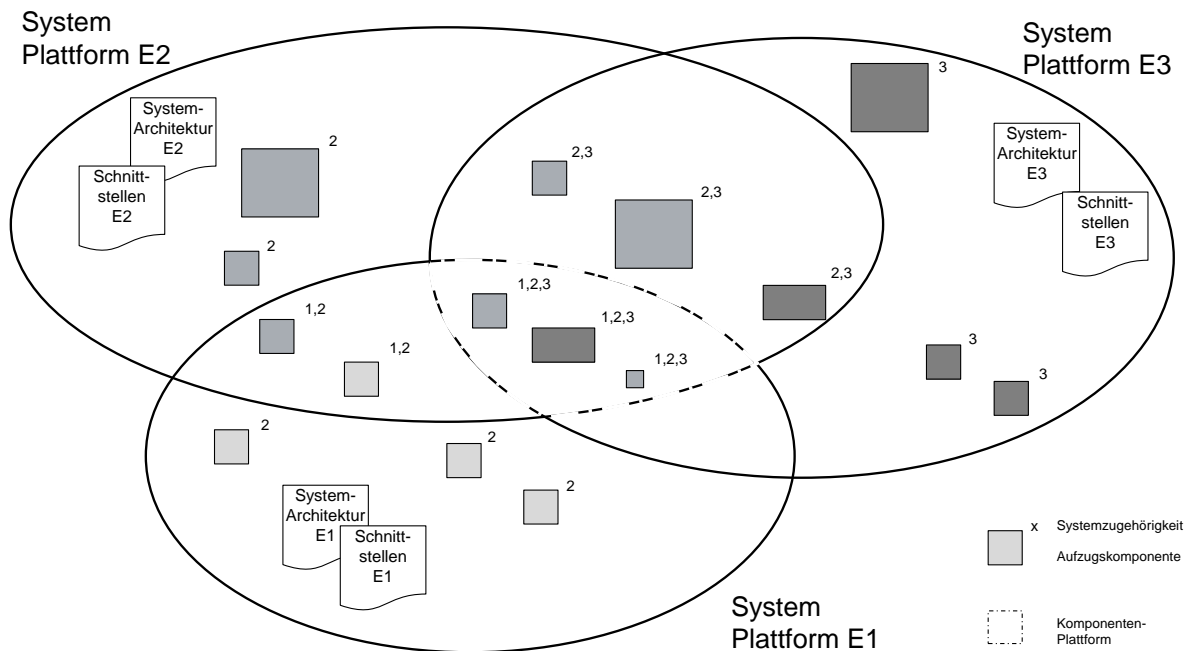


Abbildung 2-21: Komponenten-Plattform [In Anlehnung an GUNZ08, S.80]

Ein weiteres Unternehmen, das eine erfolgreiche Umsetzung der Plattformstrategie vorzuweisen hat, ist die Phonak AG. Das Unternehmen stellt Hörgeräte her, die in einem sehr kurzzyklischen Prozess erneuert bzw. neu entwickelt werden. Durch diese kurzzyklischen Neuerungen des Produktportfolios werden 70% des Gewinns durch Produkte generiert, die nicht älter als zwei Jahre sind. Vor diesem Hintergrund wurde eine Plattformstrategie mit Produkt-Familien entwickelt, bei denen sechs bis acht Derivate der Hörgeräte auf einer Plattform beruhen. Phonak unterscheidet dabei genau wie die Firma Schindler zwischen der System-Plattform und der Komponenten-Plattform. Die System-Plattform lässt sich unterteilen in Hörgeräte und generelle Kommunikations-Geräte, wohingegen die Komponenten-Plattform Teile wie eine Marketing-Software, eine Anpassungs-Software oder andere Zusatzgeräte enthält. [GUNZ08, S.114ff.]

Ein sehr viel weitgreifender Anwendungsfall von Plattformkonzepten ist in der Flugzeugindustrie zu finden. Bei der Firma Airbus weisen die Kurzstreckenflugzeuge der A320-Familie dasselbe Cockpitkonzept auf, wie die Langstreckenflugzeuge der Familie A330 und A340. Dies hat nicht nur in der Produktion erhebliche Vorteile, auch in der späteren Nutzung kann ein Pilot, der auf einem A320 Flugzeug gelernt hat, nach kurzer Einführung ein Flugzeug des Typs A330 oder A340 fliegen, ohne neu angeleitet zu werden. [RAPP99, S.79] Dieser Fall zeigt vor allem neben den positiven Auswirkungen auf die Produktion, dass die Übertragbarkeit von Wissen von einem auf ein anderes Produkt selbst bei hoch-komplexen

Produkten wie dem Flugzeug möglich ist und somit dem Nutzer eine Erleichterung durch die Verwendung von Plattformkonzepten ermöglicht wird.

Neben den bisher sehr weit verbreiteten und sehr unterschiedlich ausgeführten Plattformkonzepten gibt es Modularisierungskonzepte die einen ähnlichen Ansatzpunkt und eine ähnliche Zielstellung wie die Plattformkonzepte haben und im folgenden Unterkapitel vorgestellt werden.

2.4 Modularisierungskonzepte

Laut Simpson et. al gibt es in der bestehenden Literatur weder theoretische noch praktische Beschreibungen von Modularisierung, die über den generellen Ansatz hinausgehen. Bisherige Ansätze beschreiben nach seinem Verständnis ausschließlich das Vorhandensein von Modularisierung und nicht die konkrete Ausarbeitung. [SIMP14, S.225] Demgegenüber steht die Kernaussage der Dissertation von Rapp, dass alle Produktsysteme modular sind, einzig der Grad der Modularisierung lässt eine Unterscheidung zu [RAPP99].

Aufgrund dieser konträren Meinungen werden bestehende Modularisierungskonzepte sowohl aus der Sichtweise der Forschung als auch der Industrie in dem folgenden Unterkapitel beschrieben. Bei den industriellen Modularisierungskonzepten wird nochmals zwischen Konzepten innerhalb und außerhalb der Fahrzeugindustrie unterschieden, um den aktuellen Stand der Fahrzeugindustrie aufzuzeigen und sich daraus ergebende Chancen und Risiken besser erkennbar zu machen.

2.4.1 Theoretische Modularisierungskonzepte

In der Literatur sind unterschiedlichste theoretische Modularisierungskonzepte definiert und skizziert, deren Anwendungsbereich von der Produktbeschreibung, der Systembeschreibung bis hin zu Prozessbeschreibungen ein sehr weit gefächertes Gebiet abdecken. Aufgrund der Vielfalt an Modularisierungskonzepten werden im Folgenden nur einige auszugsweise beschrieben, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit von Wichtigkeit sind.

Jodlbauer untergliedert die bestehenden Modularisierungskonzepte im Rahmen seiner Analyse zur Produktoptimierung in drei Teile, die **modulare Produktgestaltung**, die **modulare Beschaffung** und die **modulare Fabrikorganisation** [JODL07, S.20].

Eines der Konzepte im Bereich der **modularen Fabrikorganisation** ist Bestandteil der Fabrik 1999. Die Fabrik 1999 ist ein Konzept von Drucker aus dem Jahr 1990, das die Fabrik der Zukunft beschreibt. Dieses Konzept besteht aus vier Säulen, der statistischen

Qualitätskontrolle, neue Kostenrechnungssätze, modulare Produktion und einem Systemansatz. Die modulare Produktion sieht vor, dass sich die Module selbst im Sinne des Gesamtoptimums steuern. Die Fabrik wird durch diese Selbststeuerung zu einem Informationsnetzwerk, das über standardisierte Schnittstellen und detaillierte Beschreibungen sämtlicher Prozesse verfügt. [DRUC90; FRIE13, S.69f.] Im Rahmen der vierten industriellen Revolution wurde der Grundgedanke der Fabrik 1999 wieder aufgenommen. Bei der Industrie 4.0 sind neben cyberphysischen Systemen, Mensch-Roboter Anwendungen auch sich selbst kalibrierende und intelligent vernetzte Systeme ein elementarer Bestandteil. Die Ausführungen der Industrie 4.0 und dessen Auswirkungen auf die Fabrik sind jedoch nicht Bestandteil dieser Arbeit und werden daher auch nicht weiter verfolgt. [MUEL15d]

Neben der Fabrik 1999 gibt es ein weiteres Modularisierungskonzept für Fabrikstrukturen von Günther, Wilke und Heinecker. In Ihrem Bericht „Modulare Materialflusssysteme für wandelbare Fabrikstrukturen“ wird die Möglichkeit beschrieben eine beliebige Fabrik in Module aufzuteilen und je nach benötigter Kapazität und Taktzeit die Fabrik um definierte Module zu erweitern oder zu verkleinern. Hierfür ist es notwendig die Prozesse in der Fabrik zu kennen und beschreiben zu können, um die Module für den Materialfluss definieren zu können. [GUEN06]

Im Bereich der **modularen Produktgestaltung** ist die Ausarbeitung von Hofer zu nennen. Hofer definiert eine Gestaltungsmöglichkeit von Produktfamilien anhand derer zukünftige Produkte in Module untergliedert und damit eine Variation der Produkte und eine Parallelisierung der Entwicklungs- und Produktionsprozesse ermöglicht werden kann. Diese Module weisen in sich eine hohe Abhängigkeit auf, jedoch sind die Abhängigkeiten untereinander aufgrund fest definierter Schnittstellen und Grenzen sehr gering. Ziel dieses Ansatzes ist ein Produkt in fest definierte Module aufzuteilen, wobei jedes Modul in einer beliebig großen Varianz gestaltet werden kann. Dies führt dazu, dass jedes Modul in sich geschlossen definiert, entwickelt und produziert werden kann, um eine hohe Varianz und eine schnellere Entwicklung eines Produktes ermöglichen zu können. [HOFE01, S.51ff.]

Neben der Ausarbeitung von Hofer beschreiben Göpfert und Steinbrecher in Ihrem Forschungsansatz „METUS“ Chancen und Risiken, die sich aus der modularen Produktentwicklung ergeben. Hierbei wird zwischen funktionalen und physischen Unabhängigkeiten unterschieden, wobei die Kernaussage verfolgt wird, dass sich Modularisierung lohnt je größer die Unabhängigkeit zwischen zwei Bauteilen ist. Das von Göpfert und Steinbrecher beschriebene System „METUS“ findet sowohl in der Fahrzeug- als auch in der Eisenbahnindustrie Anwendung. [GOEP00]

Neben diesen reinen Produkt- oder Fabrikbezogenen Ansätzen wurde von Kampker eine Mischung beider Ansätze definiert. Hierbei liegt der Fokus auf der Gestaltung einer zukünftigen Montagestruktur für Elektrofahrzeuge, bei der die Montage in verschachtelte

Module untergliedert werden kann. Je nach vorhandener Zeit in der Montagelinie müssen die Teile als Zusammenbau (ZSB) angeliefert und verbaut werden oder werden vor Ort an der Linie montiert. Dabei hat sich Kampker nicht nur auf die ausschließliche Modularisierung des Produktes oder aber der Fabrik konzentriert, sondern das Zusammenspiel und die Abhängigkeiten der Produkt- und Fabrikmodularisierung vor dem Fokus einer Elektrofahrzeugproduktion definiert. Dieser übergreifende Ansatz zeigt sehr deutlich die Zusammenhänge zwischen der Produkt- und Fabrikgestaltung auf, wodurch die Auswirkungen einer modularen Produktstruktur nochmals verstärkt werden. [KAMP11]

Darüber hinaus sehen Steffen und Gausemeier drei Trends im Bereich mechatronischer Systeme, denen bestmöglich mit einem hohen Modularisierungsgrad begegnet werden kann. Zu den Trends zählen der hohe Wettbewerbsdruck, steigende Funktionalität der Produkte und wachsende Variantenvielfalt. Ziel bei der Modularisierung mechatronischer Systeme ist es die Module so zu erzeugen, dass Sie logisch und funktional voneinander getrennt sind, sodass eine modulspezifische Entwicklung, Testung und Wartung möglich ist. [STEF07]

Eine weitere Ausarbeitung zu modularen Produkten ist bei Boss zu finden, der Werkzeuge in Module untergliedert und die Herangehensweise zur Funktionsbeschreibung eines jeden Moduls definiert [BOSS08].

Im Bereich der **modularen Beschaffung** ist unter anderem der Modular Sourcing Ansatz von Andreßen zu nennen. Andreßen untersucht hierbei die Chancen des System Sourcings, das eine Beschaffung komplexer Einheiten (Module) anstelle von Einzelteilen vorsieht und somit eine enge Verzahnung von Lieferant und Abnehmer zur Folge hat. Um dies zu ermöglichen, müssen die Einheiten physisch und funktional abgeschlossen und mit definierten Schnittstellen belegt sein, um für die Modulbeschaffung geeignet zu sein. [ANDR06b]

Außerhalb der im technischen Bereich durchgeführten Forschung existieren ebenfalls Modularisierungskonzepte, die nicht dem dreigliedrigen Schema von Jodlbauer unterliegen. Diese sind zum Beispiel im Bereich der Geisteswissenschaften zu finden und betrachten wie Berger unter anderem die Modularisierung von Wissen im Bereich der Produktentwicklung. Entgegen der bisherigen Ansätze hat sich Berger nicht auf die technische Umsetzbarkeit von Modulen beschränkt, sondern hat es sich als Ziel gesetzt auch das Wissen hinter den Modulen zu kategorisieren und zu modularisieren. Das Ergebnis dieser Ausarbeitung ist eine Art Lego-Prinzip für Entwicklungsleistungen, bei denen eine Grundentwicklung vorgegeben und mit anderen, spezifischen Modulen kombinierbar ist. So muss nicht jedes Bauteil einzeln entwickelt werden, sondern es kann auf generelles Wissen zurückgegriffen und dieses nach vorgegebenen Restriktionen partiell miteinander kombiniert werden. [BERG04]

Eine Grundlagenuntersuchung für den bisher noch nicht stark analysierten Bereich der Dienstleistungsmodularisierung führt Strauss unter zur Hilfenahme des Standardwerkes von Meyer und Lehnerd im Jahr 2006 durch. Hierfür wurden zunächst für den Dienstleistungsbereich notwendige Definitionen und Rahmenbedingungen beschrieben sowie eine Unterteilung von Plattform zu Modul gebildet. Aufbauend darauf wurden Handlungsfelder für verschiedene modularisierbare Teile der Service-Plattform des Dienstleistungssektors identifiziert und es wurde eine detaillierte Untersuchungsmatrix für die einzelnen Bereiche der Unternehmen entwickelt. [MEYE97; STRA06]

Eine Übersicht über die bereits beschriebenen Modularisierungsansätze ist der folgenden Grafik zu entnehmen.

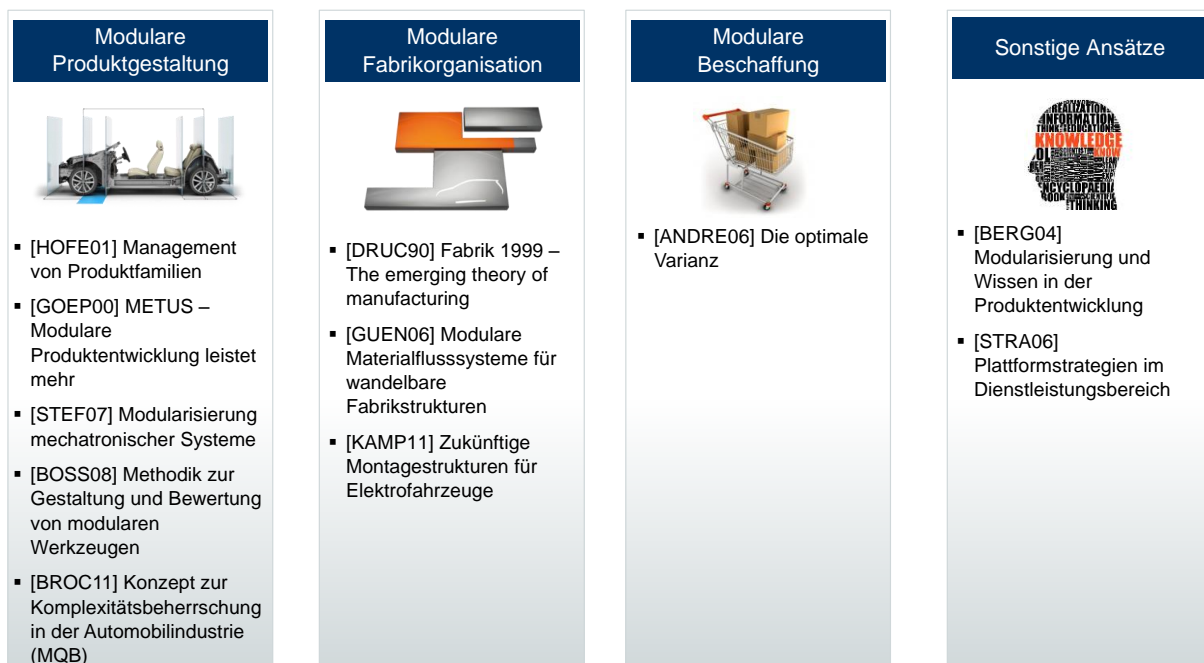


Abbildung 2-22: Übersicht über bestehende Modularisierungsansätze

2.4.2 Modularisierungskonzepte in der Automobilindustrie

Die Fahrzeugindustrie hat einige dieser theoretischen Ansätze aufgegriffen, anhand der eigenen Anforderungen abgewandelt und in praktische Anwendungen überführt. Opel hat mit dem MOSAIC, Mercedes mit dem MoCar und dem SMART Prototypen bzw. Serienfahrzeuge entwickelt, die einem Modularisierungsansatz unterliegen. BMW ist in der Motorenproduktion den Weg einer Modularisierung der Betriebsmittel gegangen, sodass die Produktionsstraße flexibel und kurzfristig auf jeden Motorentyp eingerüstet werden kann. Aber auch einzelne Module, die bereits aus der Fahrzeugindustrie kaum wegzudenken sind,

wie das Cockpit oder das Frontend, zeigen den allgegenwärtigen Einfluss der Modularisierungsstrategie in dieser Industrie und werden im Folgenden beschrieben und vorgestellt.

MoCar von Mercedes:

Aufgrund hoher Kundennachfragen nach möglichst individuellen Wahlmöglichkeiten hat Mercedes Benz im Jahr 2001 das MoCar vorgestellt. Das MoCar besteht aus vier Grundmodulen, die im Karosseriebau gefertigt werden: Dem Fahrzeugvorbau, der Fahrgastzelle, dem Dachmodul und dem Heckmodul. Je nach kundenspezifisch ausgewählter Fahrgastzelle ist nur noch eine bestimmte Kombinierbarkeit mit Heckmodulen zur Komplettierung des Fahrzeuges möglich. Der entscheidende Faktor des MoCar ist, dass die Module unabhängig voneinander produziert und lackiert werden können. Sie werden erst anhand des Kundenwunsches zusammengefügt, sodass die externe Vergabe zur Produktion einzelner Module jederzeit möglich ist. [HAUR01, S.21; LANG01; TRUC01, S.42ff.] Die Abbildung 2-23 zeigt exemplarisch die einzelnen Module sowie die verwendeten Materialien im Rahmen des MoCar auf. Das MoCar blieb jedoch bis auf einzelne Prototypen lediglich ein Forschungsprojekt, dass in der Form nicht in die Serienproduktion überführt worden ist.

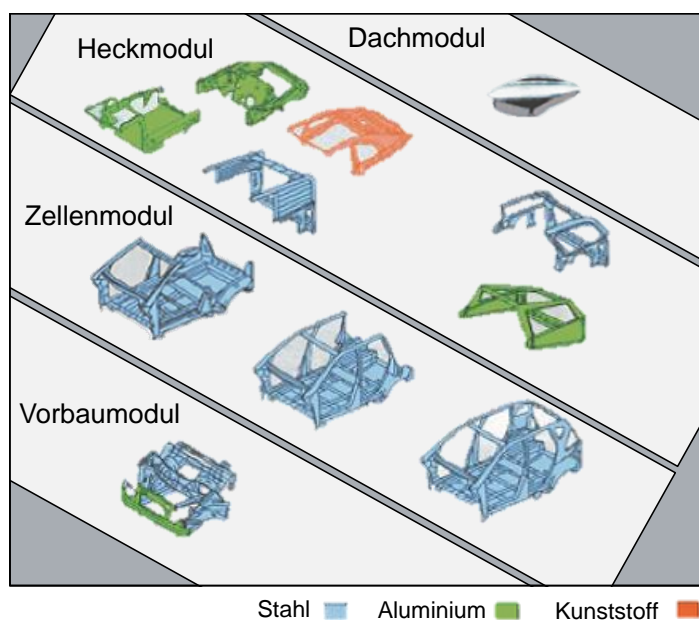


Abbildung 2-23: Das MoCar von Mercedes Benz [FRIE08, S.330]

MOSAIC von Opel:

Ein weiteres komplett modular aufgebautes Fahrzeug ist die Konzeptstudie MOSAIC des Herstellers Opel. Das MOSAIC besteht, wie in Abbildung 2-24 erkennbar, aus sechs Hauptmodulen: Der Unterbodenstruktur, dem Innenraummodul, dem Cockpitmodul, dem Seitenwandmodul, dem Chassismodul und dem Exterieurmodul. Schwerpunkt bei der Entwicklung des 2005 vorgestellten MOSAIC-Fahrzeuges war die Verbesserung der Montageprozesse unter Betrachtung der ergonomischen Arbeitsabläufe. Hintergrund sind bestehende Serienprozesse wie der unergonomische Türenausbau, aber auch die schlechte Zugänglichkeit bei der Montage an den Seitenteilen oder dem Kofferraumdeckel. Die kundenindividuell vormontierten Seitenwandmodule, Türen und Deckel werden dann in einem abschließenden, ergonomisch besseren Prozess zu einem Fahrzeug zusammengesetzt. [FRIE08, S.327] Trotz der erlangten Vorteile wurde das Projekt MOSAIC so nicht in die Praxis übertragen und blieb vorerst eine Studie.



Abbildung 2-24: Die Studie Opel Mosaic [In Anlehnung an HEIM05]

SMART:

Neben den beiden vorgestellten Konzepten gibt es auch eine Umsetzung der Modularisierungsstrategie im Bereich der Fahrzeughersteller. Smart gliederte seinen Smart For Two der ersten Generation in sieben Module auf, die von Zulieferern produziert und im Werk in Hambach zu einem Fahrzeug zusammengesetzt wurden. Die Untergliederung des

Smart erfolgte in eine selbsttragende Karosserie aus Stahl, das Cockpit, ein Heckmodul mit Hinterachse und Antrieb, die Türen, die Innenverkleidung sowie Body Panels als Karosserieverkleidung. Diese Module werden auf dem Werksgelände soweit wie möglich durch den jeweiligen Zulieferer vormontiert und als Just-In-Sequence(JIS)-Teil angeliefert und eingebaut. Dieses neuartige Konzept konnte die Montagezeit von über 20 Stunden für ein konventionell montiertes Mittelklassefahrzeug auf 4,5 Stunden für den Smart reduzieren. Diese Reduzierung auf $\frac{1}{4}$ der Montagezeit stellt den wichtigsten Faktor dieses Konzepts dar. Gefertigt werden die Module von 10 Systemzulieferern die 80% des Einkaufsvolumens ausmachen, sowie 110 Unterlieferanten, die die restlichen 20% übernehmen. [GROS97, S.43ff.; BULL99, S.16f.; ZWIR04, S.32ff.; BERN11, S.278f.]

Generelle Module in der Fahrzeugindustrie:

Neben diesen vollständig modular entwickelten Fahrzeugen existieren auch kleinere modulare Einheiten in bestehenden Fahrzeugarchitekturen. Eines der bekanntesten Module hierbei ist das Cockpit-Modul, das in der Regel kundenindividuell vormontiert wird. Verges beschreibt in seiner Arbeit die Herausforderungen die sich bei der Just-In-Time (JIT) Produktion des Cockpitmoduls ergeben. Hierzu zählen unter anderem die Kundenwünsche die ohne Kompromisse zu erfüllen sind. [VERG98] Weitere Module sind zum Beispiel der Formhimmel [KARG02] und das Frontend-Modul [FRIED08, S.315]. Bei allen Modulen wird ein Grundträger als Basismodul definiert, auf den sukzessive Bauteile aufgebaut werden. Beim Cockpit sind dies zum Beispiel der Leitungsstrang, das Handschuhfach, die Radioeinheit und die Instrumententafel. Eine exemplarische Zeichnung hiervon ist in der folgenden Abbildung zu sehen.

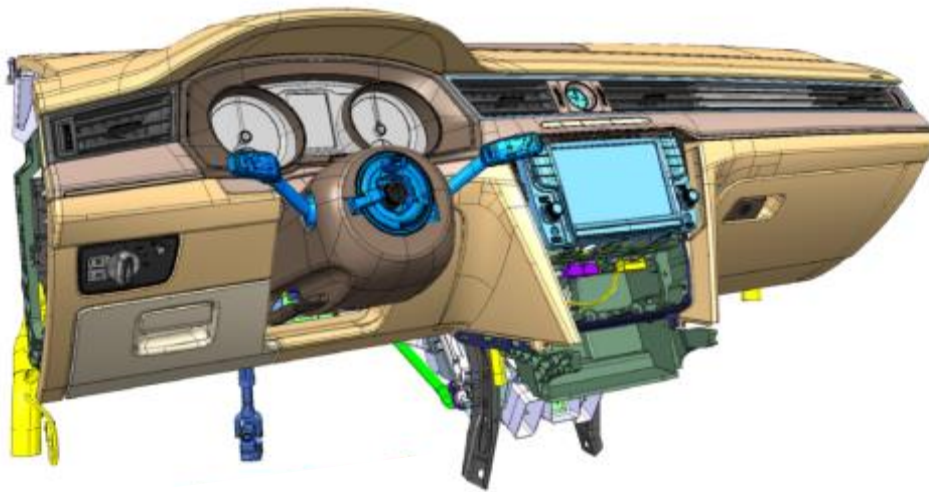


Abbildung 2-25: Ein exemplarisches Cockpit-Modul

Modulare Motorenentwicklung und –produktion bei BMW:

BMW verfolgt bei der Aggregate-Entwicklung eine stringente Modularisierungsstrategie mit dem Ziel aus einem standardisierten Repertoire an Module, wie zum Beispiel dem 500ccm Zylinder die komplette Modellpalette von 3-; 4- oder 6-Zylinder Motor zusammenzubauen. Durch diese stringente Modularisierung konnte beispielsweise eine Einmalentwicklung des 500ccm Zylinders ermöglicht werden, aus dem durch beliebige Kombinierbarkeit ein größerer Motor gebaut werden kann. Verwendete Gleichteile bei den Zylindern sind z.B. die Kolben, die Pleuel, Lager und Ventile. [SPEC12] Auch produktionsseitig wurde seitens der BMW AG auf dieses Modularisierungskonzept reagiert und ein Modell zur fähigkeitsbasierten Montageplanung entwickelt. Dieses Modell ermöglicht eine Zuweisung der Produkt- und Prozessspezifika zu den jeweiligen Montagestationen, um eine skalierbare Produktionsstraße zu erzeugen. Durch den modularen Produktaufbau, kann auch die Anlagentechnik modularisiert werden, sodass ein je nach Produktionsprogramm skalierbares System vorliegt. [MUEL15c] Neben diesem praktischen Vorgehen bei der BMW AG ist auch der theoretische Modularisierungsansatz von Rupp zu nennen, der eine Motorenmodularisierung als strategischen Ansatz in der Motorenindustrie entwickelt hat [RUPP07].

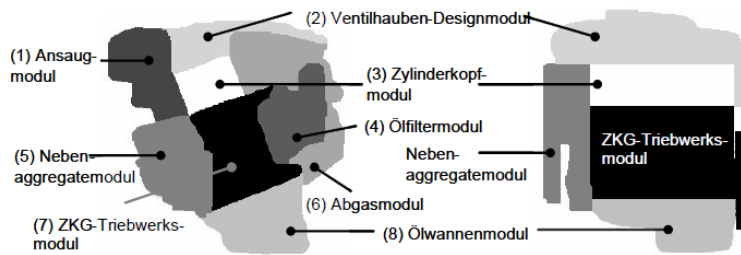


Abbildung 2-26: Ein Theoretischer Modularisierungsansatz des Motors [RUPP07, S.177]

2.4.3 Modularisierungskonzepte außerhalb der Automobilindustrie

Die beschriebenen theoretischen Konzepte haben nicht nur Anwendung in der Automobilindustrie gefunden, sondern sind auch in anderen Industriezweigen stark verankert. Der Vorreiter in der industriellen Modularisierung war IBM im Bereich der Computerindustrie. IBM hat den PC in einzelne kleine Einheiten untergliedert, wobei jede Einheit / jedes Modul auf Basis des Kundenwunsches durch ein anderes Modul mit geringerer oder höherer Leistung ausgetauscht werden konnte. [BALD97; DORA09]

Wird der Gedanke der Modularisierung weiter getragen, so sehen Baldwin und Clark bereits die Herstellung bzw. Zusammensetzung eines Bettes als modular an. Hierbei fungieren der Rahmen, das Lattenrost und die Matratze als austauschbare Module, die je nach Kundenwunsch miteinander kombiniert werden können. Folglich wäre nahezu jedes herzustellende Produkt eine Kombination aus unterschiedlichen Modulen, sofern bei der Produktgestaltung eine Modularisierung von Produktteilen oder aber des gesamten Produktes vorgesehen wurde. [BALD97, S.86]

Neben der produzierenden Industrie existieren auch Modularisierungsstrategien im Dienstleistungssektor. Für diese Beschreibung hat Corsten die Modularisierungsgedanken der produzierenden Industrie adaptiert und auf den Dienstleistungssektor übertragen. Dabei hat er einen Ansatz entwickelt der auf Basis der modularen Produktentwicklung die Teilprozesse zur Leistungserstellung zu definierten Teilleistungen analog des Modularisierungsansatzes zusammenführt. Diese Teilleistungen können flexibel miteinander kombiniert werden, bis eine vollständige Dienstleistung entsteht. Der fokussierte Anwendungsbereich für diese modulare Dienstleistung ist zum Beispiel der Logistikzweig. [CORS07; CORS09]

Ein sehr detailliertes Modularisierungskonzept ist das von Fogl et al. beschriebene Modular Service Engineering Solution (MoSES), ein Konzept für modulare Dienstleistungen. Im Rahmen von MoSES wurde eine Informationsbasis geschaffen, die von Servicearchitekten, Produktentwicklern und Vertriebsmitarbeitern gleichermaßen genutzt werden kann. Ziel dieses

Konzeptes ist es verschiedene Leistungen analog der Produktmodule voneinander zu entkoppeln, um diese später oder an anderer Stelle wiederverwenden zu können. Dabei wird innerhalb des Konzeptes in drei Unterebenen gegliedert: Die Servicearchitektur, das Serviceprodukt und die Servicekonfiguration. Am Beispiel einer IT-Dienstleistung wird beschrieben, wie die innerhalb der Unterebenen vernetzte Eigenschaften der Leistungsangebote, Leistungsmerkmale und Leistungsanforderungen miteinander interagieren und vernetzt werden können. Aufbauend darauf werden eine mögliche Service-Architektur sowie eine denkbare technische Umsetzung des Modularisierungskonzeptes aufgesetzt. [FOGL05]

2.5 Baukastenstrategien

Im Verständnis dieser Arbeit ist die Baukastenstrategie eine Anpassung bzw. Erweiterung der Modularisierungsstrategie. Bei der Modularisierungsstrategie können die Module nicht beliebig miteinander kombiniert werden, da jedes Modul für eine konkrete Funktion steht und diese als Anbauteile für zum Beispiel die Plattform verwendet werden können. Baukästen hingegen ermöglichen eine flexiblere Kombination der einzelnen Bestandteile eines Baukastens zu einem individuellen, neuen Produkt. [FIRC03, S.98]

2.5.1 Theoretische Baukastenstrategien

Nach Biegert ist das Ziel der Baukastenstrategie „eine möglichst große Zahl von zusammengesetzten Erzeugnissen aus einer möglichst geringen Varianz von Einzelteilen oder Baugruppen zusammenzubauen, um einmal über eine Vielzahl von Kombinationsformen die akquisitorischen Vorzüge eines breiten Erzeugnisprogramms zu nutzen und zum anderen über die Vereinheitlichung auf der Teileebene die Voraussetzung zu einer Rationalisierung in verschiedenen betrieblichen Bereichen zu schaffen.“ [BIEG71, S.10] Demnach liegt das Potenzial von Baukastensystemen in der Gestaltung von vielfältigen Produktsystemen, basierend auf wenigen vereinheitlichten Bausteinen [WOHL98, S.44].

Sekolec untergliedert bei seiner Analyse die Baukästen je Anwendungsfall, in:

- Herstellerbaukasten
- Anwenderbaukasten
- Geschlossener Baukasten
- Offener Baukasten
- Strukturgebundener Baukasten

- Feier Baukasten

Diese Unterteilung ermöglicht nicht nur eine konkrete Zuweisung der Baukasten-Art im späteren Anwendungsfall, sondern beschreibt auch die mögliche Flexibilität und Erweiterbarkeit der einzelnen Baukästen. Zum Beispiel besteht bei dem geschlossenen Baukasten keine Flexibilität oder Erweiterbarkeit. Es werden mit der Erstellung des Baukastens alle Kombinationsmöglichkeiten abgebildet und es kann nachträglich keine Anpassung des geschlossenen Baukastens vorgenommen werden. Bei dem „Herstellerbaukasten“ hingegen kann der Hersteller aus einem ihm bekannten Repertoire an Teilen sein Produktportfolio, zum Beispiel Getriebe, fertigen. Dieser Baukasten ist nur bedingt erweiterbar, da ausschließlich der Hersteller des Endproduktes die Möglichkeit hat Veränderungen durchzuführen. Eine ähnlich begrenzte Erweiterbarkeit liegt bei dem „Anwenderbaukasten“ vor, bei welchem dem Nutzer eine fest definierte Anzahl an Teilen zur Verfügung steht, aus denen er sich das passende Produkt zusammenstellen kann. Es ist somit für den Anwender bereits im Vorfeld fest definiert, welche Baukastenelemente zur Verfügung stehen, jedoch ist das Endprodukt nicht definiert und seitens des Nutzers in dem abgesteckten Rahmen frei kombinierbar. Ein konkretes Beispiel hierfür ist das Heimwerkersystem. Die letzte große Gruppe von Baukästen sind die offenen Baukästen, die in drei verschiedenen Formen vorliegen. Zum einen der „Offene Baukasten“, aus dem analog des Anwenderbaukastens der Nutzer nach eigenen Wünschen ein Produkt erstellen kann. Der Unterschied dieses Baukastens zu den vorher beschriebenen ist die freie Kombinierbarkeit der Baukastenelemente. Bei dem Anwenderbaukasten liegt eine im Vorfeld vordefinierte Anzahl an Erzeugnissen vor, wohingegen bei dem offenen Baukasten aus einer sehr begrenzten Anzahl an Baukastenelementen eine unbegrenzte Kombinierbarkeit vorliegt. Ein Beispiel für den offenen Baukasten ist im Gerüstbau zu finden. Ein weiterer offener Baukasten ist der „Strukturgebundene Baukasten“, bei dem es unterschiedliche Bausteine gibt, die zum Teil substituierend und zum Teil ergänzend vorhanden sind. Dieser Typus liegt in der Regel bei dem Hersteller vor, wobei der Bau von alternativen Motorvarianten ein Beispiel für den „Strukturgebundenen Baukasten“ darstellt. Der letzte der offenen Baukastenformen ist der „Freie Baukasten“. Bei diesem besteht eine vollkommen freie Anordnung der Teile zueinander und miteinander, wodurch die Flexibilität des „Offenen Baukastens“ nochmals erweitert wird. Exemplarisch für den „Freien Baukasten“ sind Steuerungssysteme anzusehen. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die sechs verschiedenen theoretischen Baukastenarten.

Baukasten	Art der Anwendung	Beispiel
Geschlossener Baukasten	Vorgegebenes Bauprogramm und endlich festgelegte Variantenanzahl	Küchenmaschinen-systeme
Anwenderbaukasten	Baukasten der vom Anwender individuell zusammengestellt werden kann	Heimwerkersystem
Herstellerbaukasten	Bauteil wird beim Hersteller zusammengebaut	Getriebekonstruktionen
Offener Baukasten	Variations- und Kombinationsmöglichkeiten offen, es besteht lediglich ein Baumusterplan	Baugerüstsysteme
Strukturgebundener Baukasten	Alternative Bausteine liegen vor, können aber nur an bestimmte Stellen des Baukastens verbaut werden	alternative Motoren
Freier Baukasten	Bausteine mit unterschiedlichen Funktionen die vollkommen frei (auch örtlich) angeordnet werden können	Steuerungssysteme

Abbildung 2-27: Die verschiedenen Arten von Baukästen [In Anlehnung an SEKO05, S.60f.]

2.5.2 Baukastenstrategien in der Automobilindustrie

Die in der Fahrzeugindustrie beschriebenen Baukästen sind grundsätzlich eine Form des Herstellerbaukastens, da der Hersteller jeweils nach den Wünschen des Kunden aus seinem Baukasten-Portfolio das Erzeugnis zusammenstellt. Dennoch können die im Folgenden aufgezeigten Baukästen auch zu der Form der geschlossenen Baukästen gezählt werden, da die Anzahl und Form der Baukasten-Elemente bereits vorgegeben ist.

Die neueste und umfangreichste Betrachtung in der Automobilindustrie zur baukastenorientierten Produktgestaltung ist von Brocke durchgeführt worden. Hierbei wurde exemplarisch am Beispiel der Volkswagen AG die Gestaltung eines modularen Fahrzeugaufbaus zur Komplexitätsbeherrschung unter Einbeziehung des Produktportfolios und der Produktarchitektur entwickelt. [BROC11] Die daraus entstandenen Baukästen werden daher im Folgenden beschrieben.

Modularer Querbaukasten (MQB) ; Modularer Längsbaukasten (MLB)

Der Volkswagen Konzern hat die bisherige Strukturierung der Fahrzeuge in Plattform und Hut zugunsten einer Baukastenstrategie aufgegeben. Bisher teilten sich Fahrzeuge eine markenübergreifende Plattform, z.B. die Plattform PL71 der VW Touareg, der Audi Q7 und der Porsche Cayenne oder aber die PQ35 der VW Golf, Audi TT und Skoda Octavia, analog Abbildung 2-19. [HRAC11; GOEP12, S.141] Durch die Einführung des Modularen Querbaukastens (MQB) und des Modularen Längsbaukastens (MLB) hat der Volkswagen Konzern einen neuen Weg in der Fahrzeugproduktion beschritten. Mit Hilfe der beiden Baukästen wird ein Teil der Fahrzeugkarosserie in Module untergliedert. Diese Module können miteinander kombiniert werden, sodass eine Mehrfachnutzung eines Moduls über ein Fahrzeugprojekt hinaus möglich ist. Dadurch können die Module aufgrund definierter Schnittstellen ohne Auswirkungen auf angrenzende Bauteile in sich verändert werden, beispielsweise bei der Länge der Tunnelbleche in dem Fahrzeugunterbau. Um dies zu ermöglichen, wurden im Vorfeld verschiedene Fahrzeuge des A-Segments (VW Polo, Golf, Touran, Tiguan) und des B-Segments (VW Passat) analysiert und potenzielle Synergieeffekte aufgezeigt. Es hat sich herausgestellt, dass die Fahrzeuge über ähnliche Fahrzeugbreiten verfügen, sich jedoch in der Fahrzeuglänge grundlegend voneinander unterscheiden. In der Architektur wurden daher sowohl horizontale als auch vertikale Schnitte vorgenommen, sodass zwischen Vorderwagen und Hinterwagen sowie einheitlichem Unterbau und designspezifischem Hut unterschieden werden kann. Die Abbildung 2-28 zeigt diese vertikalen Schnitte in der Karosseriestruktur des Fahrzeuges auf. Mit Hilfe der Modularisierung konnten so Skaleneffekte bei der Gleichteilverwendung und der reduzierten Entwicklungszeit über alle Fahrzeuge erzielt werden. [KRUS04; BRUE06; BRUE07; FRIE08, S.328]



Einheitlich	Stufig skaliert	Vordefiniert
<ul style="list-style-type: none"> • Lage der Lenkung • Vorderwagen • Lage der Stirnwand 	<ul style="list-style-type: none"> • Radstände • Radgrößen • Techn. Überhänge 	<ul style="list-style-type: none"> • Aggregatprogramm • Lenkung • Sitze

Abbildung 2-28: Die Einteilung eines Fahrzeuges aus Sicht des MQB-Konzepts [VWAG15]

Methodik der Baukastenorientierten Bordnetz-Entwicklung (MBE):

Nach der Einführung des MQB und MLB wurde seitens des Volkswagen Konzerns konsequent weiter an der Modularisierungsstrategie gearbeitet. Es wurde die Methodik der Baukastenorientierten Bordnetz-Entwicklung, kurz MBE, entwickelt, mit Hilfe derer auch die Elektrik und Elektronik modularisiert werden können. [TANN12, S.65f.]

Analog zum MQB können mit Hilfe des MBE die Variantenkomplexität, die Entwicklungsaufwendungen, die Materialeinzelkosten sowie der Gesamterprobungsaufwand reduziert werden, sodass die Elektronikkomponenten modular entwickelt und integriert werden können. [TANN12, S.66] Die Abbildung 2-29 stellt schematisch die Funktionsweise und die Inhalte des MBE dar.

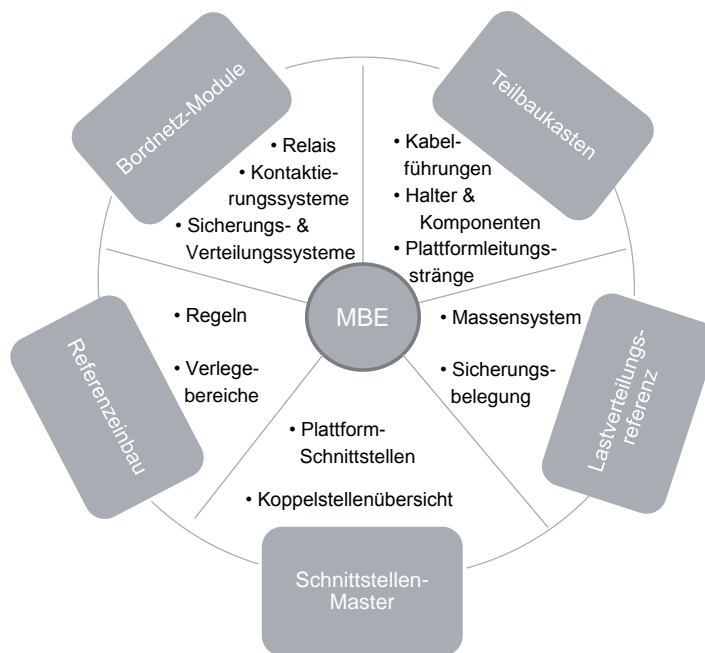


Abbildung 2-29: Die Schematische Ansicht der funktionsorientierten Entwicklung des MBE [TANN12, S.65]

Modularer Produktionsbaukasten (MPB):

Neben der Umsetzung einer Baukastensystematik aus Produktsicht, besteht auch die Möglichkeit die Produktion in Form einer Baukastensystematik zu gestalten. Dabei können einzelne Bereiche oder auch konkrete Betriebsmittel einer Produktion nach der Baukastensystematik ausgelegt werden. Ziel ist es die Produktion möglichst flexibel zu gestalten und an die Produkte bestmöglich anzupassen. Insbesondere für Produkte die auf Baukastensystematik beruhen bietet sich dieses Vorgehen an, da bereits produktseitige Vorkehrungen zur Vereinheitlichung von Schnittstellen getroffen worden sind. Somit können Produkte des gleichen Baukastens einfacher auf einer Produktionslinie gefertigt, bzw. auf dieser integriert werden.

Aufbauend auf den Produktbaukästen MQB und MLB sowie dem Elektronikbaukasten hat VW den Modularen Produktionsbaukasten (MPB) entwickelt. Walzl und Wildemann legen in ihrer Betrachtung den Fokus zunächst auf den Karosseriebau und die Montage und beschäftigen sich dabei sehr stark mit der Zerlegung von Anlagen in kombinierbare Bestandteile. Ziel des MPB ist die Generierung eines Baukastensystems für die gesamte Produktion, bei dem die Produktion in einzelne Elemente unterteilt wird. Je nach Bedarf und Kapazität werden diese Elemente zusammengesetzt bzw. erweitert, um somit eine skalierbare Produktion zu ermöglichen und von der produktseitigen Baukastensystematik auch in der Produktion partizipieren zu können. [WALT14] Mit dieser Baukastensystematik auf

Anlagenbasis geht auch eine systematische Beschreibung der anlagenspezifischen Produktionsprozesse einher. Somit hat die Auslegung der Produktion auf Basis einer Baukastensystematik Auswirkungen bis auf die Prozessebene, sodass einheitliche Prozesse je Anlage in den Baukasten mit aufgenommen werden können.

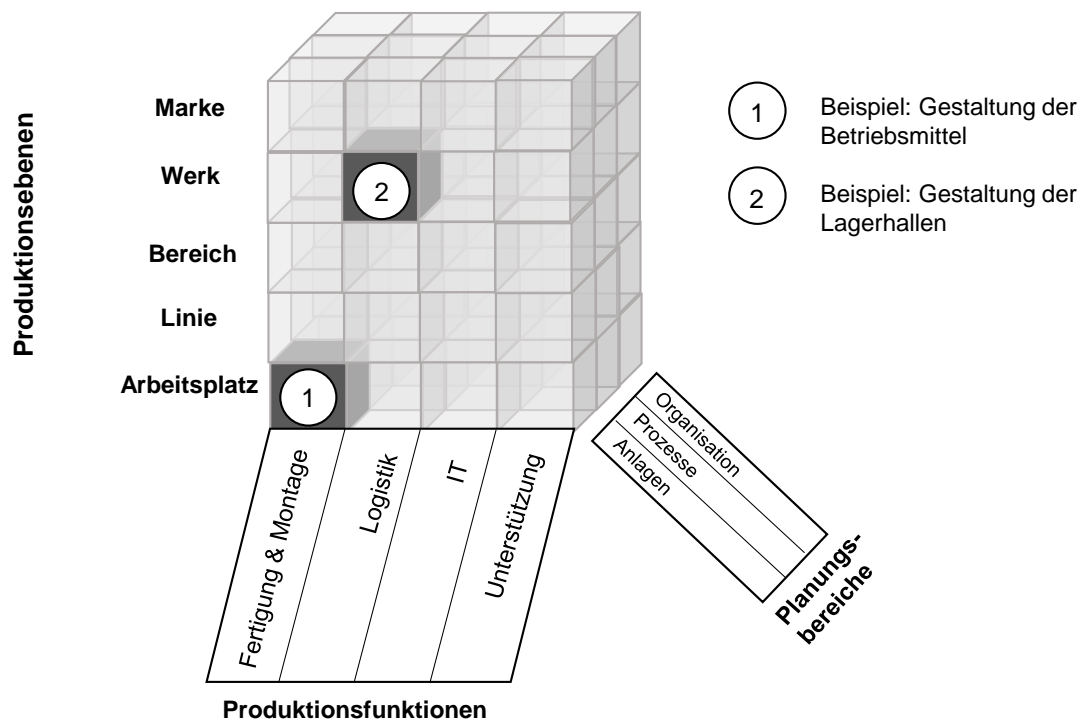


Abbildung 2-30: Der Aufbau des MPB [WALT14, S.142]

2.5.3 Baukastenstrategien außerhalb der Automobilindustrie

Deutlich älter als die Anwendungen in der Fahrzeugindustrie sind die Baukastenstrukturen, die außerhalb der Fahrzeugindustrie zu finden sind. Eine der ältesten Baukastenstrategien stammt aus dem Jahr 1793 von dem Nürnberger Versandhändler Bestelmeier, der Spielzeuge in einer Art Baukastenform entwickelt und vertrieben hat. Die aus Holz hergestellten Gebäude bestanden aus unterschiedlichen Einzelementen, die beliebig oft zusammen- und wieder auseinandergebaut und neu kombiniert werden konnten, sodass jedes Mal ein neuer Gebäudetyp entstehen konnte, der auch nach eigenen Wünschen individuell bemalt werden konnte. [HENZ95, S.35] Diese Grundidee wurde von einigen Personen, darunter Pädagogen, aber auch Spielzeughersteller, aufgegriffen und weiterentwickelt. Die entscheidende Idee zur Weiterentwicklung kam knapp 100 Jahre später durch Gustav Lilienthal, der einen Modell- und Spielzeugbaukasten aus Holz, Bindfäden und Pappe entwickelte. Die Teile aus Holz und

Pappe waren unterschiedlich groß, jedoch fest definiert in Größe und Form, um eine Kombinierbarkeit gewährleisten zu können. Neu bei dem von Lilienthal entwickelten Ansatz waren die Verbindungselemente, da alle vorher entwickelten Baukästen komplett ohne ausgekommen waren und so auch nur begrenzte Formen aufgrund der Stabilität möglich waren. [NOSC89, S.80; REIC89, S.24]

Die Entwicklung eines ersten Konstruktionsbaukastens hat noch einmal weitere 20 Jahre benötigt, ehe Frank Hornby den von Lilienthal entwickelten Baukasten um Wellen, Räder und bewegliche Bauteile erweitert hat und den bisherigen Materialmix um die Werkstoffklasse der Metalle ergänzt [SCHW95, S.21]. Diese wurden im 20. Jahrhundert kontinuierlich weiterentwickelt und ließen bereits eine beachtliche Zahl von Kombinationen zu. Beispielsweise war es mit dem Fleischmann-Kasten möglich aus den 29 Einzelementen 168 verschiedene Modelle herzustellen. [HENZ95, S.67]

Einer der neuesten und bekanntesten Spielzeugbaukästen ist der Kunststoffbaukasten von „Lego“, der durch sein Material und seine Steckverbindungen eine beachtliche Anzahl an Kombinationen zulässt [SCHW95, S.32].

Die Baukästen aus der Spielzeugindustrie können grundsätzlich zu den „Offenen Baukästen“ gezählt werden, da eine freie Kombination der einzelnen Elemente möglich ist.

Neben den Baukästen in der Spielzeugindustrie gibt es im Bereich des betrieblichen Gesundheitsmanagements eine sehr ähnliche Baukastensystematik. Stoffel, Amstad und Steinmann entwickeln in ihrem Buch „Baukasten für betriebliche Gesundheitsförderung – Module für Gesundheit und Leistungsfähigkeit im (Berufs-)leben“ eine aus drei Teilbereichen bestehende Baukastensystematik. Dabei wird in die Bereiche „Aktiv“ „Wissen“ und „Austausch“ untergliedert, die jeweils aus einer festgelegten Anzahl an Modulen bestehen. Jeder Mitarbeiter kann ein für sich relevantes Modul aus den drei Bereichen wählen, um im Bereich Gesundheitsförderung und Stressprävention an sich zu arbeiten. Dabei bilden die Module immer vollständig in sich abgeschlossene Maßnahmen, deren Wirksamkeit nachgewiesen wurde. [STOF12] Dieser Baukasten basiert auf dem „Anwenderbaukasten“, da dem Nutzer eine begrenzte Zahl an Modulen zur Verfügung steht, die er frei miteinander kombinieren kann. Auch in diesem Fall wird deutlich, dass eine eindeutige Trennung der Begriffe Modul und Baukasten schwer durchzuführen ist, da oftmals eine Verknüpfung der beiden Begriffe und Eigenschaften für den Anwendungsfall zielführend ist.

Es lässt sich somit festhalten, dass eine Einführung der Baukastenstrategie in vielen Teilen der Industrie stattgefunden hat und sich über die Jahrzehnte als praktisches Mittel zur Reduzierung der Komplexität durchgesetzt hat.

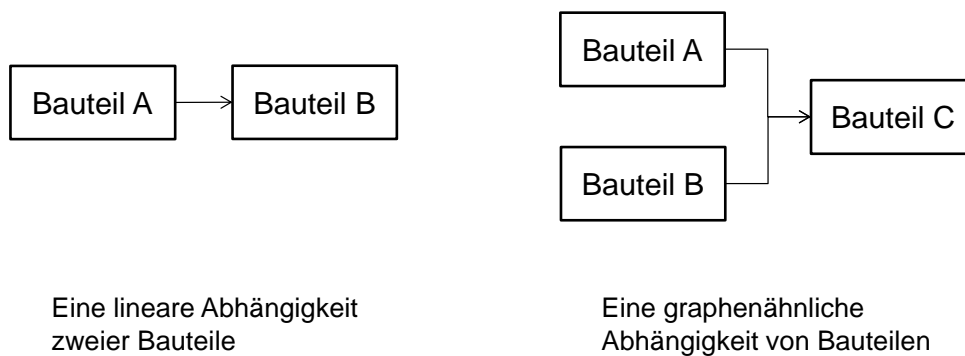
2.6 Prozessseitige Maßnahmen zur Reduzierung der Komplexität

Die bisher vorgestellten Maßnahmen zur Reduzierung der Komplexität beziehen sich grundsätzlich auf das bestehende Produkt und beschäftigen sich weniger mit dem späteren Produktions- und Montageprozess. Da das Produkt die Ausgangslage für die Komplexitätsreduktion bildet, ist es folgerichtig dies zuerst zu betrachten und über die beschriebenen Möglichkeiten die Komplexität zu reduzieren. Dennoch besteht auch die Möglichkeit die spätere Planung des Produktionsprozesses im Hinblick auf die Komplexitätsreduzierung zu analysieren und entsprechende Maßnahmen dafür einzuleiten. Für die Fahrzeugmontage gibt es zum einen die Möglichkeit als Top-Down Ansatz eine Standardaufbaureihenfolge festzulegen und zum anderen als Bottom-Up Lösung die Abhängigkeiten zwischen Bauteilen und damit die notwendigen Prozesse in einem Montagevorranggraphen darzustellen. Beide Möglichkeiten sind eng miteinander verknüpft, da zum einen die Standardaufbaureihenfolge als Grundlage für einen Montagevorranggraph verwendet werden kann, zum anderen kann aus einem Montagevorranggraph auch eine Standardaufbaureihenfolge extrahiert werden. Daher werden beide Herangehensweise und der Zusammenhang zwischen den Begrifflichkeiten kurz erläutert.

2.6.1 Die Fügerrangfolge

Bevor ein Vorranggraph erzeugt werden kann, ist es notwendig die Fügerrangfolge zu kennen und zu definieren. Die Fügerrangfolge gibt die durch die Produktentwicklung vorgegebenen Abhängigkeiten zweier Bauteile zueinander an. Dabei beschreibt die Fügerrangfolge keinerlei Prozesse die für die Verbindung der Bauteile relevant sind, sondern lediglich die reine Abhängigkeit der Bauteile zueinander. [LOTT12d, S.366ff.]

Mit der Fügerrangfolge werden folglich nur die physischen Abhängigkeiten von Bauteilen zueinander beschrieben, aus denen beispielsweise die Montageprozesse abgeleitet werden können. Sie gibt somit lediglich an, dass Bauteil A in einer direkten Abhängigkeit zu Bauteil B steht. Neben diesen linearen Abhängigkeiten können auch Fälle auftreten, bei denen die Fügerrangfolge den Verbau von zwei Bauteilen als Eingangsgröße hat um ein drittes Bauteil zu verbauen. Somit können auch verästelte Abhängigkeiten von Bauteilen untereinander entstehen, die wie ein Graph aussehen, jedoch noch keinen Vorranggraphen darstellen. (vgl. Abbildung 2-31) [LOTT12d, S.366ff.]



Eine lineare Abhängigkeit
zweier Bauteile

Eine graphenähnliche
Abhängigkeit von Bauteilen

Abbildung 2-31: Möglichkeiten der Fugerangfolge

Unter dem Begriff des Vorranggraphen wird mehr als nur die graphische Darstellung von Abhängigkeiten verstanden. Vielmehr beinhaltet der Vorranggraph die ersten Informationen zum Montageprozess und die daraus resultierenden Einflüsse wie der folgenden Abschnitt 2.6.2 aufzeigen wird.

2.6.2 Der Vorranggraph

Die Verwendung des Begriffes „Vorranggraph“ ist in verschiedenen Bereichen und Disziplinen zu erkennen, sodass auch unterschiedliche Eigenschaften und Ausprägungen ein und desselben Begriffes vorliegen.

Im Bereich der Informatik und beschreibenden Mathematik ist ein Vorranggraph ein Digraph, also ein gerichteter Graph mit einer definierten Anzahl an Knoten. Bei einem Digraph sind die Arbeitsgänge als Knoten beschrieben und die Abhängigkeiten der Arbeitsgänge als Pfeile. Den Arbeitsvorgängen und somit den Knoten wird in dieser Darstellungsform eine Durchführungszeit zugewiesen, wohingegen bei den Pfeilen ausschließlich die Abhängigkeit der Arbeitsvorgänge untereinander beschrieben wird. Entscheidend bei den aufgenommenen Abhängigkeiten sind die direkten Vorgänger und Nachfolger der einzelnen Arbeitsvorgänge, die über die Pfeile dargestellt werden. Die mathematische Formulierung eines Vorranggraphen und die daraus resultierenden Vektoren sind nicht Bestandteil dieser Arbeit und können unter anderem bei Boysen nachgelesen werden. [BOYS05, S.55]

Bei der Erzeugung wird der Vorranggraph in der Regel mit Hilfe von Formeln definiert, sodass ein gerichteter, schleifenfreier Graph entsteht, der eine gewisse Menge an Knoten und Vorrangrestriktionen berücksichtigt. Hierbei werden ausschließlich direkte und zeitliche Abhängigkeiten einzelner Teile zueinander beschrieben. Bei Parallelprozessen ist jedoch keine zeitliche Folge der Parallelstränge erkennbar, diese müssen je Strang individuell errechnet werden. [FROM90, S.17f.] Vorranggraphen werden vornehmlich zur Abstimmung

einer Fließbandmontage genutzt mit dem Ziel, technische und zeitliche Restriktionen einzelner Montagevorgänge zu beschreiben und diese als Restriktionen für die Planung zur Verfügung zu stellen [ALTE09, S.33ff.]. Die Abbildung 2-32 zeigt exemplarisch einen schematischen Vorranggraphen.

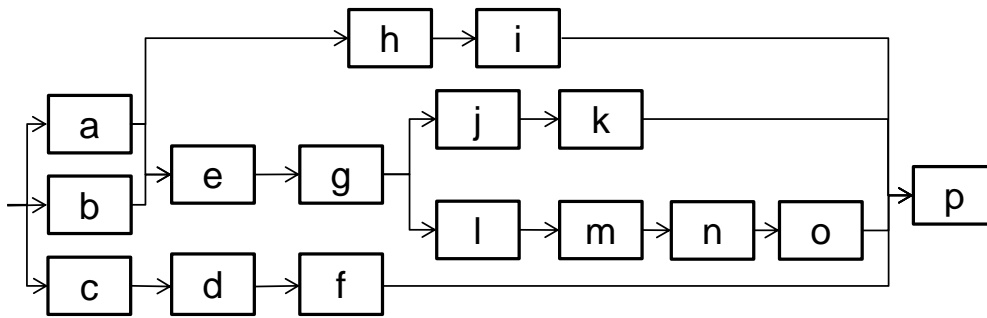


Abbildung 2-32: Ein Beispiel Vorranggraph

Ein Vorranggraph beschreibt unter Berücksichtigung der Fügeangfolge die Montagerihenfolge einzelner Produktteile zu einem Gesamtprodukt. Dabei ist es entscheidend, welches Bauteil mit welchem anderen Bauteil in direkter Abhängigkeit steht und wie dadurch eine Abfolge ermittelt werden kann. [FROM88, S.145ff.; ROSC08, S.20]

Besonders wichtig ist bei der Erzeugung eines Vorranggraphen die Durchdringungsregel, die einen direkten Einfluss auf die Abhängigkeit zweier Bauteile zueinander beschreibt. Diese besagt, dass bspw. Teil A vor Teil B montiert werden muss, wenn Teil B weiter außen ist als Teil A und sonst von Teil A durchdrungen werden muss. [FROM88, S.145] Die Abbildung 2-33 beschreibt schematisch eine mögliche Art der Durchdringungsregel, die eine klare Abgrenzung des Vorranggraphen zur Fügeangfolge aufzeigt. Zur Beachtung der Durchdringungsregel muss Bauteil A zunächst verbaut sein, obwohl eine reine Betrachtung der Fügeangfolge diese Abhängigkeit nicht aufgezeigt hat. Diese Zusatzinformation über den Montageprozess und die damit verbundenen zeitlichen Parameter unterscheiden den Vorranggraphen von der technischen Verbaureihenfolge. Daher lässt sich herausstellen, dass die Fügeangfolge die Basis für den Vorranggraphen bildet und dieser zur Vorranggraphenentwicklung um das notwendige Prozesswissen ergänzt wird.

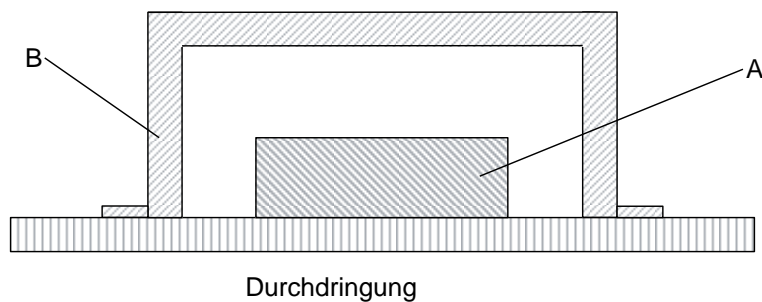


Abbildung 2-33: Die Durchdringungsregel bei der Erstellung des Vorranggraphen [FROM88, S.145]

Aufgrund der Vielzahl an zu montierenden Teilen und der damit verbundenen Komplexität und Schwierigkeit ist es laut Klindworth bislang keinem Automobilhersteller gelungen einen Vorranggraphen für seine Prozesse in der Fahrzeugendmontage zu erzeugen. [KLIN10, S.3]

In der Praxis kann zwischen einem Vorranggraphen im Einproduktfall und einem Mischgraphen unterschieden werden. Bei letzterem existieren einige Arbeitsvorgänge nur in bestimmten Varianten des Produktes, sodass sich je Produktvariante ein neuer, produktspezifischer Vorranggraph oder dementsprechend ein zusammengefasster Mischgraph ergibt. In der variantenreichen Automobilindustrie sind insbesondere diese Mischgraphen zu finden, da wie bereits in Kapitel 1 erwähnt die Flexibilität und freie Wählbarkeit des Kunden selten ein und dasselbe Produkt zur Folge hat. Für die Erzeugung und mathematische Ableitung eines Mischgraphen ist auf Boysen zu verwiesen, der dies im Rahmen seiner Dissertation sehr ausführlich darstellt. [BOYS05, S.136ff.]

Auf Basis des Vorranggraphen und der Montagelinie, erfolgt die Zuweisung der Montageoperationen zu den einzelnen Montagestationen, das sogenannte Mapping. Dabei werden entsprechend der benötigten Zeitanteile im Vorranggraphen und der zur Verfügung stehenden Taktzeit die Inhalte auf die einzelnen Stationen verteilt. Hierfür muss die Graphenform in eine Linienbetrachtung überführt werden, bzw. es müssen die vormontierbaren Äste des Vorranggraphen als ein Bauteilverbund an der jeweiligen Station zugeführt werden. Diese Zuweisung der Montageoperationen zu den einzelnen Stationen wird in der Literatur oftmals als Ermittlung der Verbaureihenfolge oder Montagereihenfolge verstanden und im folgenden Abschnitt erläutert.

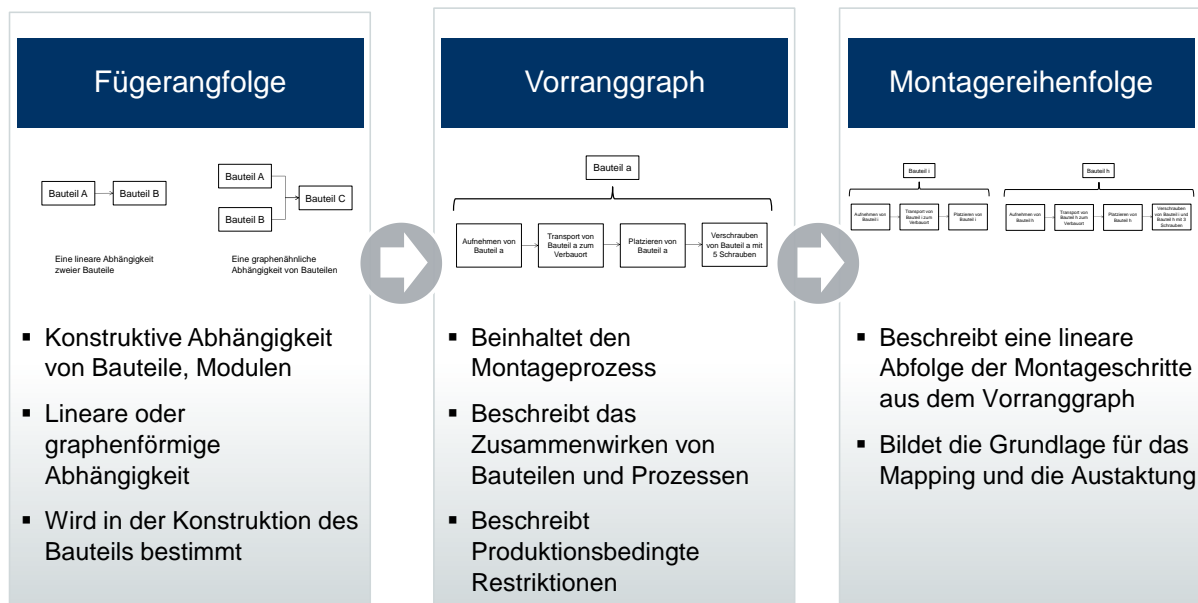


Abbildung 2-34: Von der Fügeabfolge über den Vorranggraphen zur Montagereihenfolge

2.6.3 Die Verbaureihenfolge / Montagereihenfolge

In der Literatur werden die beiden Begrifflichkeiten Verbaureihenfolge und Montagereihenfolge oftmals synonym verwendet, daher werden beide kurz erläutert und sich für einen Begriff entschieden. Die Verbaureihenfolge ist eine generelle Übertragung eines Vorranggraphen in eine lineare Struktur und kann in verschiedenen Bereichen der Produktion angewendet werden. Aufgrund der beschriebenen Parallelprozesse im Vorranggraphen existieren verschiedene Prozessabfolgen die einen korrekten Zusammenbau des Produktes ermöglichen. Daher wird im Rahmen der Verbaureihenfolgenermittlung aus der Vielzahl Möglichkeiten die der Vorranggraph bildet eine lineare Struktur (die Verbaureihenfolge) ausgewählt wie in der Abbildung 2-35 zu sehen ist. Bei der Montagereihenfolge hingegen wird der für die Montage relevante Vorranggraph betrachtet, sodass die daraus abgeleitete Montagereihenfolge einen spezifischen Anwendungsfall der Verbaureihenfolge darstellt. Da sich diese Arbeit mit der Analyse der Fahrzeugendmontage beschäftigt, wird im Folgenden der Begriff der Montagereihenfolge verwendet. Sobald ein vollständiger Vorranggraph vorliegt, können laut Minzu alle zulässigen Montagereihenfolgen bestimmt werden. Sind nur einige zulässige Montagereihenfolgen bekannt, so lässt sich ein Vorranggraph erzeugen, aus dem unter Umständen weitere zulässige Montagereihenfolgen abgeleitet werden können. [MINZ90] Der Begriff Montagereihenfolge steht folglich synonym zu dem von Minzu verwendeten Begriff Verbaureihenfolge.

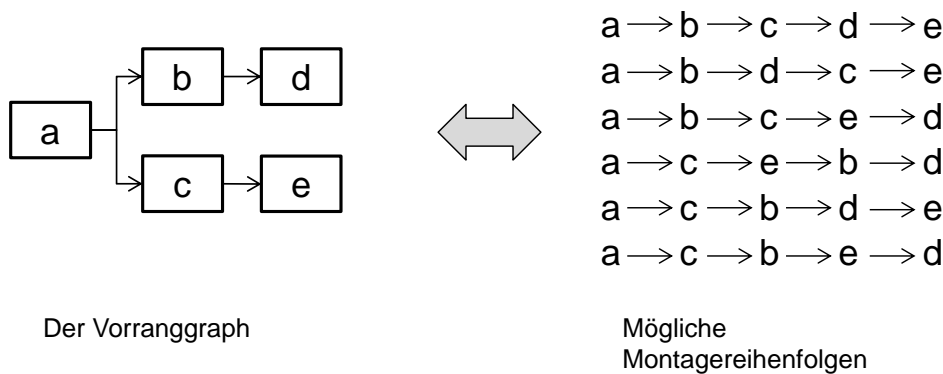


Abbildung 2-35: Der Vorranggraph und seine Montagereihenfolgen

Für die Bestimmung der Montagereihenfolge anhand des Vorranggraphen gibt es verschiedene mathematische Verfahren, wobei das Verfahren APACHE das weitverbreitetste Verfahren darstellt. APACHE steht für Algorithmus zur Erstellung praxisorientierter Bandabgleiche und kann aufgrund der Vorgehensweise gut in der produzierenden Industrie und insbesondere in der Automobilindustrie angewendet werden. Dieses Verfahren verläuft in zwei Abschnitten, wobei zunächst die Montagereihenfolge bestimmt wird und im zweiten Schritt eine Verteilung der Arbeitsinhalte auf die verschiedenen Stationen der Produktion erfolgt. Bei der Verteilung auf die einzelnen Stationen sind neben den produktbezogenen Daten auch prozessrelevante Informationen wie zum Beispiel die Taktzeit der Produktionsstraße notwendig. Eine konkrete mathematische Beschreibung und Durchführung dieses Verfahrens ist ebenfalls bei Boysen zu finden. [BOYS05, S.80ff.]

In der Fahrzeugendmontage ist besonders die Montagereihenfolge von hoher Wichtigkeit, da wie in Abschnitt 2.1.3 beschrieben die Montage eines Fahrzeuges in einer Linienform erfolgt und so die Abfolge einzelner Prozesse für die Planung der Montageschritte an den jeweiligen Stationen notwendig ist. Die Entwicklung einer Montagereihenfolge auf Basis des Vorranggraphen kann nach unterschiedlichen Kriterien erfolgen und hängt immer von den örtlichen Gegebenheiten ab. Sofern die Möglichkeit der parallelen Montage aufgrund der vorhandenen Fabrikstruktur besteht, kann dies gemäß des Vorranggraphen eingeplant werden. Andernfalls ist eine Montagereihenfolge ohne Parallelprozesse zu erstellen, wie es in der Automobilindustrie in der Regel der Fall ist. Dabei sind parallele Strukturen des Vorranggraphen in eine sinnvolle Reihenfolge zu bringen, sodass die Montage des Produktes auf einer Linie ohne Nebenabzweigungen erfolgen kann. Auf Basis dieser Informationen werden dann die Montageprozesse für jede Station und jeden Arbeitsplatz ausgeplant und konkret beschrieben. Eine Auswahl an bestehenden Planungsansätzen ist in dem folgenden Unterkapitel zu finden. Zunächst wird jedoch auf den Sonderfall der Montagereihenfolge, die Standardaufbaureihenfolge, im Kontext der Automobilindustrie eingegangen.

2.6.4 Standardaufbaureihenfolge in der Fahrzeugendmontage

Eine konkrete Definition des Begriffs Standardaufbaureihenfolge ist im Kontext der Fahrzeugendmontage bislang noch nicht in der Literatur existent. Im Rahmen einer Analyse zu modernen Fertigungstechnologien haben Krammer, Neef und Plappe bereits eine mögliche Standardaufbaureihenfolge in der Fahrzeugendmontage für den Automobilhersteller Opel beschrieben, den Begriff der Standardaufbaureihenfolge hierfür jedoch nicht konkret definiert. In dieser Standardaufbaureihenfolge der Zukunft für die Opel AG sind Großbauteile wie der Türenausbau und Türeinbau, der Sitzeverbau, der Stoßfängerverbau, Räderanbau, etc. beschrieben und in einer definierten Reihenfolge festgelegt. [KRAM11]

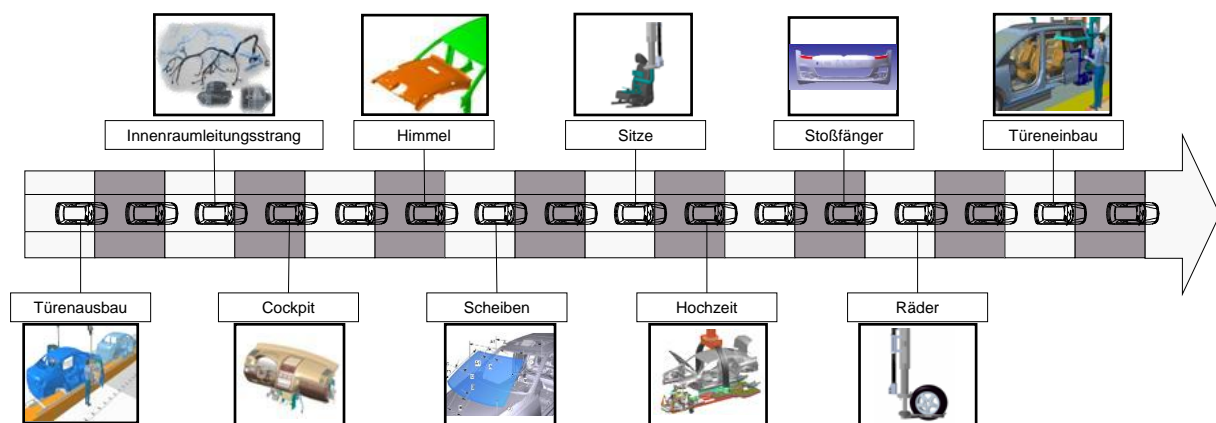


Abbildung 2-36: Die Standardaufbaureihenfolge der Zukunft von Opel [In Anlehnung an KRAM11]

Es kann somit davon ausgegangen werden, dass es sich bei einer Standardaufbaureihenfolge um eine fest definierte Abfolge verschiedener Montagevorgänge handelt, die zwingend einzuhalten ist und bei jedem Fahrzeug identisch sein muss. Analog zu der Standardaufbaureihenfolge können die bei der Volkswagen AG beschriebenen standardisierten Arbeitsprozesse gesehen werden. [vgl. Abschnitt 2.1.3 und Abbildung 2-7]

Für den Bereich des Karosseriebaus hingegen gibt es eine definierte Art der Standardaufbaureihenfolge. Dabei wird die Reihenfolge der Bauteile basierend auf den jeweils einwirkenden Toleranzen ermittelt. Im Karosseriebau wird bei dieser Toleranzanalyse nach binären Priorisierungen und gestuften Priorisierungen unterschieden. Die binären Priorisierungen beschreiben die wichtigen und unwichtigen Toleranzen, die beim Fügeprozess zweier Bauteile einzuhalten sind und sich auf den späteren Gesamtpaltverlauf auswirken. Bei den gestuften Priorisierungen wird nach der Hierarchie der Anforderungen hinsichtlich der Toleranzauswirkungen die Reihenfolge beschrieben. Es gilt dabei, dass je wichtiger eine

Anforderung ist, desto später muss diese eingestellt werden, um die Auswirkungen auf angrenzende Bauteile möglichst gering zu halten. [BOHN98, S.39]

2.7 Montageplanungsansätze

Aufgrund der bereits beschriebenen Typen- und Variantenvielfalt in der Fahrzeugindustrie sowie den damit verbundenen unterschiedlichen Stückzahlen und veränderten Montageoperationen je Modell konnte in der bestehenden Literatur keine einheitliche Planungssystematik für die Fahrzeugendmontageplanung festgestellt werden.

Das folgende Unterkapitel beschreibt daher eine Auswahl bestehender Ansätze zur Fahrzeugendmontageplanung sowohl aus Sicht der Theorie als auch aus Sicht der Praxis.

Stand der Wissenschaft:

Zur Planung von Montageprozessen existieren verschiedene klassische Ansätze in der gängigen Literatur, die phasenorientiert, inhaltsbeschreibend oder rechnergestützt verlaufen. Die phasenorientierten Planungsansätze basieren auf einem linearen Stufenansatz, bei dem die Planung schrittweise und kontinuierlich abgearbeitet wird. Zu diesen Ansätzen zählen unter anderem die Montageplanung nach Bullinger, die nach REFA sowie die nach Konold & Reger und die nach Thaler [BULL86; REFA87; KONO03; THAL93]. Die Planungsansätze nach Bullinger und REFA stellen den übergreifenden Ursprung der Montageplanung dar und sind bereits in den 1980er Jahren entwickelt worden. Der Ansatz von Bullinger beginnt bei der Bestimmung der Randbedingungen, erstellt daraufhin eine Ablaufplanung, unter anderem bestehend aus einem Vorranggraphen und einer Montageabfolge, sodass infolgedessen die Grobplanung des Montagesystems erfolgen kann. Die daran anschließende Ausführungsplanung stellt die detaillierteste Planungsstufe dar, bei der die zeitliche Bewertung der Arbeitsvorgänge erfolgt, aber auch der Materialfluss und die Betriebsmittel geplant werden. Die Realisierung stellt die abschließende Phase dieses Planungsansatzes dar. In jeder Phase besteht zudem die Möglichkeit in eine der vorliegenden Phasen zurückzugehen, um fehlende oder neue Informationen verarbeiten zu können. Dieser Ansatz ist in der folgenden Abbildung exemplarisch für die klassischen Ansätze der Montageplanung dargestellt. [BULL86]

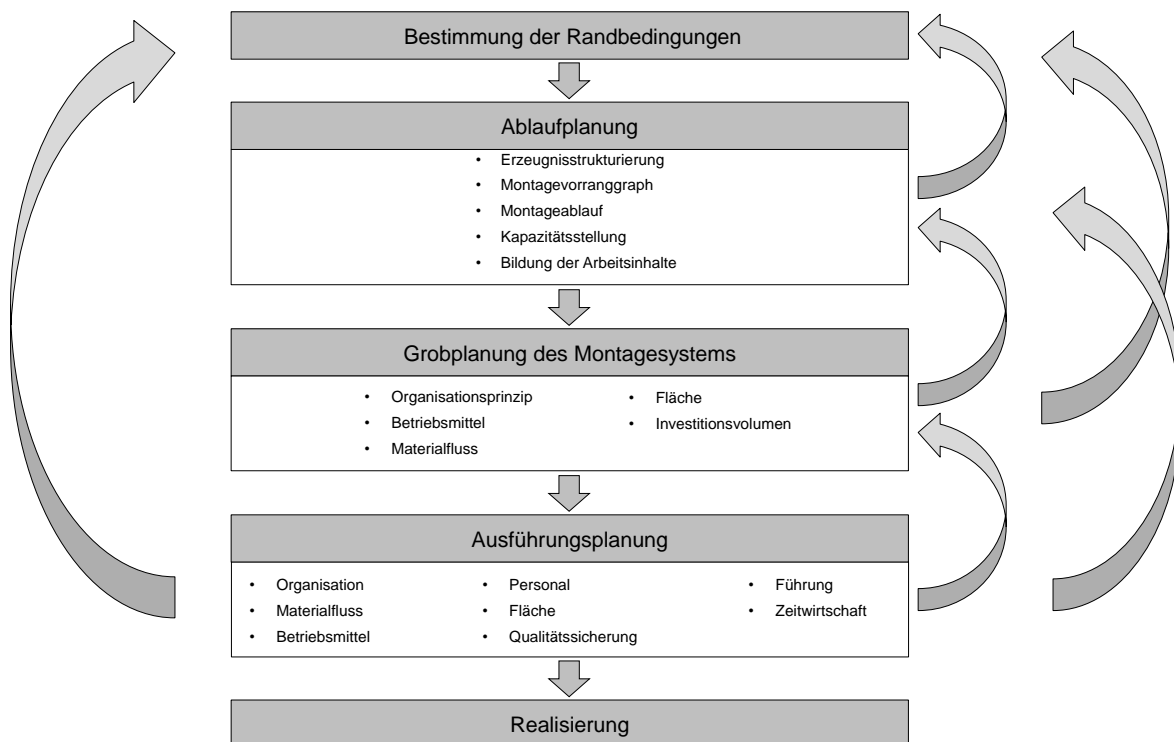


Abbildung 2-37: Der Montageplanungsansatz nach Bullinger [In Anlehnung an ZENN06, S.20]

Die modernen, phasenorientierten Ansätze beschreiben neben der zeitlichen Abfolge auch äußere Einflüsse wie z. B. Qualitätskennzahlen, Unternehmensleitlinien, etc. die auf die Montageplanung einwirken. Hierzu gehört zum Beispiel die Montageplanung für klein- und mittelständische Unternehmen (KMUs) nach Wildemann.

Dieser Ansatz beginnt ebenfalls bei der Analyse der Rahmenbedingungen anhand der aktuellen Produktstruktur und der derzeitigen Prozesse, leitet entgegen des Ansatzes nach Bullinger in eine montagegerechte Produktgestaltung über. Bei dieser werden die Produktkomplexität, die Produktprogrammkomplexität und die Dynamik als Einflussgrößen beachtet. In der dritten Phase wird unter Einflussnahme des Kapazitätsbedarfes pro Jahr, der Produktgröße und des Produktgewichtes eine Montageorganisationsgestaltung durchgeführt, um in der vierten Phase einen Arbeitsablauf- und Betriebsmittelgestaltung vorzunehmen. Dabei beachtete Einflussgrößen sind die Organisationsform, die Wiederholhäufigkeit und die Produktkomplexität. Die in der folgenden Phase durchgeführte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung liefert ein neues Montagekonzept und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Kosten, die Zeit und die Qualität. [WILD10, WILD11] Dieses Vorgehen nach Wildemann ist in der folgenden Abbildung exemplarisch beschrieben.

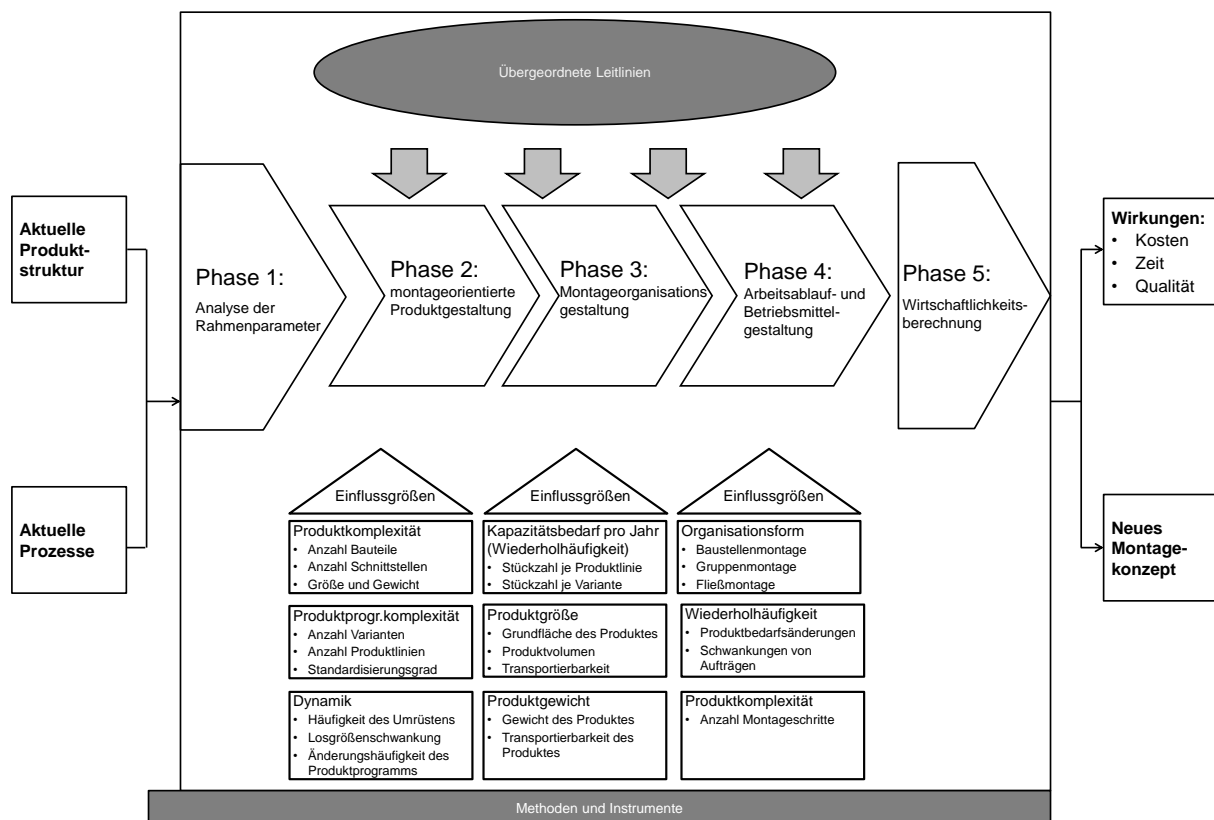


Abbildung 2-38 Die Montageplanung für KMUs nach Wildemann [In Anlehnung an WILD10, S.320; WILD11; S.16]

Neben den phasenorientierten gibt es auch inhaltsbeschreibende Planungsansätze, die ohne konkrete Abfolge der einzelnen Schritte aufgebaut sind und bei denen lediglich der Planungsinhalt aufgezeigt wird. Eines dieser Modelle ist die sternartige Montageplanung nach Schimke, die die Aufgaben der Montageplanung beschreibt, diese aber in keinen zeitlichen Zusammenhang bringt und keine Abhängigkeiten der Einflussgrößen aufzeigt. Dabei geht Schimke unter anderem auf die Ablauforganisation, die Produktionsgestaltung, aber auch die Betriebsmittel und das Personal ein, wie in der folgenden Abbildung zu sehen ist. [SCHI91]

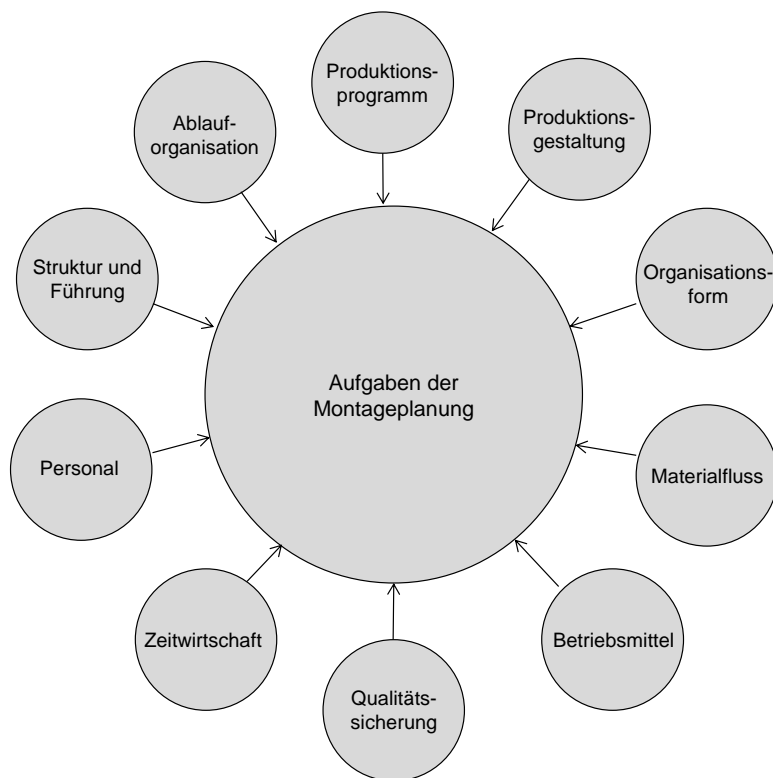


Abbildung 2-39: Die Montageplanung nach Schimke [In Anlehnung an SCHI91, S.12]

Die letzte Gruppe der Planungsansätze ist die der rechnergestützten Montageplanung. Hierbei gibt es im Vergleich zu den vorherigen Ansätzen seltener eine theoretische Beschreibung der Abfolge oder Inhalte der Montageplanung, sondern der Fokus liegt viel stärker auf einem Planungstool, das den Anwender bei der Montageplanung unterstützt. Die rechnergestützten Planungsansätze lassen sich unter dem generellen Namen des Computer Aided Planing (CAP) zusammenfassen. Zu den inhaltlich beschreibenden Ansätzen gehören unter anderem, die Methode nach Scholz (1989), die Methode nach Huck (1990) und die Methode nach Jonas (2000) [SCHO89; HUCK90; JONA00]. Das Planungssystem CosMonAut (Computersystem zur Montage-Automatisierung) und das Planungssystem ERGOMAS, ein Vorgänger des heutigen Planungssystems Delmia, stellen zwei von vielen praktischen Anwendungssystemen der rechnergestützten Montageplanung dar. Als Pendant zur Software Delmia wurde von Siemens die Planungssoftware TeamCenter entwickelt, die auch von einigen OEMs angewendet wird. Neben den von Softwarefirmen angebotenen rechnergestützten Planungssystemen existieren auch Eigenentwicklungen der produzierenden Industrie, die auf die Belange der Firmen zugeschnitten sind. Hierzu zählt das von Mercedes Benz für den Standort Rastatt entwickelte System VIALE, bei dem ein angepasster Planungsalgorithmus systemseitig implementiert wurde und bei der frühen Planung der Montageinhalte unterstützend eingesetzt werden kann. Dabei greift das System auf einen vorranggraph-

orientierten Ansatz zurück, der unter Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten und unternehmensgetriebenen Vorgaben eine interaktive grafische Planung der Montageinhalte ermöglicht. [HALL00]

Die Abbildung 2-40 gibt einen auszugsweisen Überblick über wichtige rechnergestützte Planungsmethoden und praktischen Anwendungslösungen.

Computer Aided Planning (CAP)	Praktische CAP- Systeme
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Methode nach Scholz [SCHO89] ▪ Methode nach Huck [HUCK90] ▪ Methode nach Jonas [JONA00] 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CosMonAut ▪ ERGOMAS ▪ VIALE ▪ Delmia ▪ Siemens Teamcenter

Abbildung 2-40: Eine Übersicht rechnergestützter Montageplanungsansätze

Die Planungsansätze der ersten beiden Gruppen unterliegen in der Regel einem schematischen Ansatz, wohingegen die rechnergestützten Ansätze eher in der praktischen Umsetzung und Realisierung zu finden sind.

Die Abbildung 2-41 stellt daher eine Übersicht über die wichtigsten Montageplanungsansätze zusammen, die sowohl die phasenorientierten, als auch die inhaltsbeschreibenden und rechnergestützten Planungsansätze betrachtet. Dabei werden die Ansätze nach den Inhalten einer möglichen Phasenorientierung, der Zusammenfassung verschiedener Aufgaben zu Aufgabenbereichen, der Nutzung von Simultaneous Engineering, der rechnerbasierten Planung und des schematischen Ansatzes klassifiziert.

	Phasen-orientierung	Zusammenfassung verschiedener Aufgaben	Rechnerbasiert	Schematischer Ansatz
[BULL86]	X	X		X
[REFA87]	X	X		X
[SCHI91]				X
[KONO03]	X	X		X
[THAL93]	X	X		X
[WILD10]	X	X		X
[METZ77]				X
[GROB82]	X			X
[MERZ87]	X	X		X
[FELD97]	X			X
[CUIP00]			X	X
[GRUN02]	X	X		X
[KRUE04]	X	X		X
[MOTU08]	X	X		X
[RAMP95a]	X	X		X
[RAMP95b]	X	X		X
[SCHU92]			X	
[TOEN92]	X		X	
[GREW95]			X	
[GANG93]			X	
[BERN93]			X	
[PARK92]			X	
[DEUT98]		X	X	
[EISE12]			X	
[ECKS11]	X	X		
[WIRT02]	X			
[WEID14]		X	X	
[DUDI10]	X			X

Abbildung 2-41: Ein Übersicht über bestehende Planungsansätze

Stand der Industrie:

In der Praxis weichen die Planungsprozesse von den idealtypisch beschriebenen Prozessen ab, wie die folgenden Praxisbeispiele der Marken Volkswagen, Mercedes und BMW zeigen.

Die Montageplanung bei Volkswagen läuft in mehreren Schritten ab und ist an dem PEP der Volkswagen AG (vgl. Abschnitt 2.1.4) orientiert. Zunächst wird der Montageplan von einem Mitarbeiter unter Zuhilfenahme der technischen Zeichnung manuell am Computer erstellt. In den meisten Fällen wird hierbei das Vorgängerfahrzeug als Ausgangsbasis genommen und der Plan für das neue Fahrzeug daraufhin entwickelt und angepasst. Nachdem der erste Planungsstand vorliegt und ein Prototypenfahrzeug existiert, werden Überprüfungen am realen oder am virtuellen Produkt durchgeführt, bei dem der Planungsstand auf technische

Umsetzbarkeit im Serienprozess getestet wird. Diese Überprüfungen finden deutlich vor SOP statt, um kurzfristig Änderungen am Produkt zur Optimierung des Serienprozesses zu ermöglichen und um sämtliche Prozesse für den Produktionsanlauf ideal zu gestalten und festzulegen. Vor dem Anlauf ist eine erneute Überprüfung der Prozesse und Anlagen vorgesehen, sodass mögliche Änderungen in den endgültigen Prozessplan mit eingepflegt werden können und kurzfristige Anpassungen der Anlagen möglich sind. Bei der Montageplanung der Volkswagen AG kann von einem kontinuierlichen Trichtermodell gesprochen werden, bei dem die Planung sukzessiv genauer und detaillierter wird.

Vollstedt und Körner beschreiben in ihrer Veröffentlichung das Vorgehen zur Montageplanung bei Mercedes Benz, welches sehr ähnlich zu dem Vorgehen von Volkswagen ist. Einzelne Arbeitsvorgänge werden basierend auf Stücklistendaten aus der Technischen Entwicklung und den darin hinterlegten Montagezeiten den jeweiligen Mitarbeitern in der Exekutive zugeordnet. Parallel zu der Prozessbeschreibung findet eine digitale Behälteranstellung statt, sodass eine Endmontagelinie als digitales Abbild aufgebaut werden kann. Die Darstellung findet dabei als Integration in das Gebäude mit Säulengitter, Treppen, Anstellflächen, etc. statt und es werden je Station und Mitarbeiter auch die einzuplanenden Bauteile und die Arbeitshöhen dargestellt. Innerhalb der Montageplanung wird seitens der Mitarbeiter versucht die Vorranggraphenbeziehungen einzuhalten und unter Zugrundelegung der Taktzeit wird eine Auslastung für den Montagemitarbeiter erzeugt. In einer weiteren Vertiefung des Ansatzes haben sich Vollstedt und Körner eine zusätzliche Betriebsmittelplanung sowie eine fokussierende Betrachtung standardisierbarer Abläufe als Ziel genommen. Diese Vorgänge wurden bei der Veröffentlichung des Vorgehens in 2007 seitens Mercedes Benz mit der Software Delmia durchgeführt. [VOLL07] Im Jahr 2011 hat Mercedes Benz begonnen die Software Delmia durch Siemens Teamcenter zu ersetzen und plant einen vollständigen Umstieg im Jahr 2016. Ob sich dadurch das Vorgehen in der Montageplanung verändert hat, ist zum derzeitigen Zeitpunkt nicht bekannt. [OGEW14]

Eine ähnliche Vorgehensweise ist auch bei Mercedes Benz im Motorenbau erkennbar, bei dem anhand des Vorranggraphen die hybride Motorenmontage beschrieben wird. Hierbei unterscheidet Mercedes Benz analog der Definition in Abschnitt 2.1.2 in manuelle, automatisierte und hybride Montagevorgänge und beschreibt die jeweiligen Prozesse als Knotenpunkt im Vorranggraphen. Basierend auf dieser Einordnung sowie den zeitlichen Restriktionen und den Umgebungsbedingungen kann eine Montagelinie ausgeplant werden. Bei Arbeitsschritten, die je nach Motorenausstattung unterschiedlich lang dauern, kann der Mitarbeiter bewusst driften, also länger als die ihm eigentlich zu Verfügung stehende Zeit brauchen, bzw. bei gering ausgestatteten Motoren früher fertig sein, sodass im Mittel die

eigentliche Taktzeit eingehalten wird. Das hierbei verwendete Verfahren PAMELA (Planung automatisierter und manueller Montagen mit Leistungsabstimmung) wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes mit dem Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe entwickelt. [ZUEL03, S.37ff.]

Seitens der BMW AG ist basierend auf den skalierbaren Motoren ein Plattformkonzept für die Motorenplanung entwickelt worden. Dieses Plattformkonzept gliedert sich in vier Ebenen auf: die variantenübergreifende Montagereihenfolge, der modulspezifische Vorranggraph, eine Schnittstellenanalyse und eine darauf aufbauende Standardisierungsentscheidung. Basierend auf diesem Konzept wird zunächst eine generell gültige Softwarelösung erzeugt, die je nach Anwendungsfall mit den notwendigen Daten angereichert wird. Dies geschieht auf Basis eines digitalen Prototyps, anhand dessen die notwendigen Werkzeuge zur späteren Ausführung festgelegt werden. Mit Hilfe der standardisierten Grundplanung konnte seitens der BMW AG ein deutlich stabilerer Anlauf ermöglicht werden; zudem konnten durch standardisierte Darstellungen Skaleneffekte erzielt und Informationen an andere Standorte problemlos weitergegeben werden. [BRUN12]

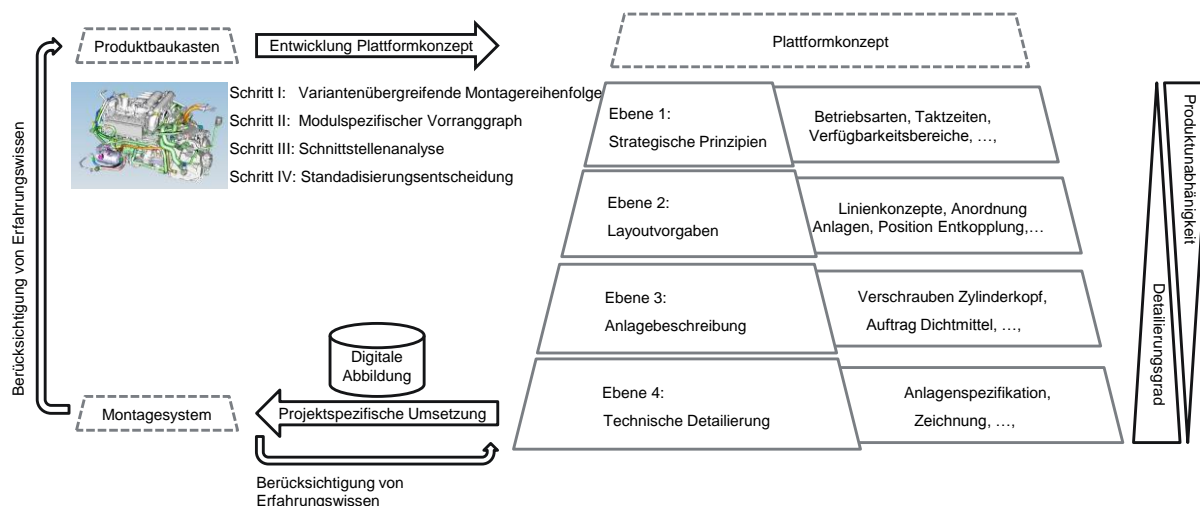


Abbildung 2-42: Das Plattformkonzept der Montageplanung der BMW AG [BRUN12, S.826]

2.8 Fazit

In diesem Kapitel wurden zunächst die Grundlagen für die vorliegende Arbeit gelegt (vgl. Unterkapitel 2.1), wobei der Fokus auf die definitorische Einführung und die Einordnung der Thematik gelegt wurde. Durch die Beschreibung der Komplexitätsentwicklung in der Automobilindustrie über die letzten Jahre konnte insbesondere der Handlungsbedarf zur Entwicklung einer Methodik zur frühzeitigen Abschätzung und Planung von Endmontagelinie untermauert werden, um die gestiegene Komplexität frühzeitig reduzieren zu können. Bei der Analyse der bestehenden Maßnahmen zur Reduzierung der Komplexität konnten sowohl produktseitige, als auch prozessseitige identifiziert werden. Bei den produktseitigen Maßnahmen zur Reduzierung der Komplexität wurden drei spezifische Fälle: die Plattformkonzepte, die Modularisierungskonzepte und die Baukastenstrategie sowohl aus Sicht der Theorie, aber auch aus Sicht der Praxis beschrieben. Bei der praktischen Analyse wurde der Fokus auf die Automobilindustrie gelegt, es wurden aber auch weitere Industriezweige inhaltlich betrachtet (vgl. Unterkapitel 2.3-2.5). Dabei konnten einige Parallelen zwischen den verschiedenen Ansätzen festgestellt werden, die die grundlegende Entwicklung von der Plattform- hin zur Baukastenstrategie in der Fahrzeugindustrie unterstützen (vgl. Abbildung 2-16). Durch die Beschreibung der bisherigen Ansätze wie die Verwendung von Plattformkonzepten, aber auch von Modularisierungs- und Baukastenstrategien, konnten weitgreifende Synergien und Mehrfachverwendung von Bauteilen und Modulen erreicht werden, die jedoch zur ganzheitlichen Komplexitätsreduzierung nicht ausreichen. Daher wurden im Folgenden prozessseitige Maßnahmen zur Reduzierung der Komplexität vorgestellt, die eine Ergänzung zu den produktseitigen Maßnahmen darstellen und in Verbindung die Produktion und Produktionsplanung vereinfachen. Damit ein Verständnis für die Produktionsplanung und insbesondere die Montageplanung erzeugt werden kann, wurde im Unterkapitel 2.7 der Stand der Forschung und der Stand der Industrie im Hinblick auf mögliche Montageplanungsansätze beschrieben. Die Beschreibung der Planungsansätze hat gezeigt, dass bereits viele theoretische Ansätze zur Montageplanung existieren, diese jedoch in der Regel für jedes Produkt neu durchlaufen werden müssen und daher wenig bis keine Komplexitätsreduzierung in der Planung ermöglichen. Vor diesem Hintergrund wird der Mangel an Methoden zur frühzeitigen Strukturierung der Fahrzeugendmontage anhand von Bauteilen oder Bauteilverbänden deutlich. Dieser Handlungsbedarf wird dem folgenden Kapitel aufgezeigt und es werden die grundlegenden Voraussetzungen für die neue Methodik beschrieben.

3 Handlungsbedarf im Rahmen der Montagestrukturierung

3.1 Identifikation der Wissenslücke

Die in Kapitel 2 beschriebenen Grundlagen zeigen, dass in vielen Teilbereichen zur Reduzierung der Komplexität in der Fahrzeugentwicklung und -produktion bereits ausführliche Konzepte vorliegen. Diese Konzepte beginnen bei den produktseitigen Maßnahmen, gehen über den Bereich der produktionsseitigen Komplexitätsreduzierung und enden bei den prozessseitigen Maßnahmen. Im Bereich der produktseitigen Komplexitätsreduzierung gibt es unterschiedlichste Konzepte, angefangen von Plattformkonzepten, über Modularisierungsansätze bis hin zu Baukastenstrategien. Diese Ansätze dehnen sich über die Produkte hin zu Anlagen wie beim MPB aus und beschreiben oftmals sehr aufwendig die technischen Grundgegebenheiten und Zusammenhänge einzelner Teile des jeweiligen Produkt- oder Anlagenbaukastens. Solche Maßnahmen zur Reduzierung der Produktkomplexität sind jedoch nicht nur in der Produktion, sondern auch in anderen Bereichen eines Unternehmens, wie der Beschaffung in Form des Modular Sourcings zu finden.

Neben diese produkt- und produktionsseitigen Maßnahmen zur Reduzierung der Komplexität, besteht auch die Möglichkeit die Komplexität im Planungsprozess zu reduzieren. Ein Beispiel hierfür ist die von Kramer definierte Standardaufbaureihenfolge von Opel, bei der eine immer gleiche Abfolge spezifischer Bauteile vorgegeben ist. [KRAM11]. Es besteht auch im Rahmen der Montageplanung die Möglichkeit über den Vorranggraphen eine einheitliche Montagereihenfolge zu ermitteln und diese entsprechend in die bestehenden Werke einzuplanen. Aufgrund der Variantenvielfalt und der Anzahl an Bauteilen eines Fahrzeuges ist es jedoch bislang keinem Automobilhersteller gelungen einen vollständigen Vorranggraphen für ein Fahrzeug zu ermitteln und abzubilden [KLIN10, S.3]. Erst durch die vollständige Analyse eines Fahrzeuges kann ein ganzheitlicher Optimierungsansatz erstellt und umgesetzt werden, um weitere Potenziale in der Fahrzeugendmontage heben zu können. Die Verwendung von Standardisierungsansätzen und Gleichteilestrategien kann durch die Nutzung eines ganzheitlichen Optimierungsansatzes die Übertragung von Bauteilen, Prozesse und Wissen von einem Fahrzeugprojekt auf das Nächste erleichtern. In Folge dessen soll die Komplexität in der Fahrzeugendmontageplanung für den Mitarbeiter der Produktionsplanung reduziert werden.

Die Matrix in Abbildung 3-1 beschreibt anhand der in Kapitel 2 erläuterten Ansätze in welchen Unternehmensbereichen bereits Forschungen hinsichtlich der Komplexitätsreduzierung durchgeführt worden sind. Dabei wird in die zwei Unterkategorien

physische und logische Verbindungen von Bauteilen oder Anlagen unterschieden, da in Kapitel 2 besonders viele Ansätze im Bereich der physischen Bauteilverbindungen identifiziert werden konnten und die Ausgestaltung der logischen Verbindungen eine eher untergeordnete Rolle gespielt hat. Die physischen Verbindungen beziehen sich in der Regel auf die Plattform- bzw. Modularisierungskonzepte, aber auch auf die Baukastenstrategien. Bei diesen Ansätzen wird vorrangig die Schnittstellendefinition zwischen zwei Bauteilen betrachtet, also die physischen Abhängigkeiten, die sich durch die Prozessbeschreibung und den Vorranggraphen ergeben. Neben den physischen Abhängigkeiten existieren bei einigen Bauteilen gleiche Bedingungen während der späteren Montage. Diese „weicheren“ Eigenschaften werden als logische Verbindungen definiert und sind nicht nur bloße Schnittstellen der Bauteile zueinander, sondern definieren einen Teil des späteren Einbauprozesses durch die Verknüpfung von Bauteilen, Anlagen oder Prozessen. Dabei müssen die Bauteile nicht unbedingt in direkter Abhängigkeit zueinander stehen (Fügerangfolge), sie können dennoch gleiche Eigenschaften beim Einbau aufweisen. Zu diesen Eigenschaften können zum Beispiel die Einbauhöhe oder der Einbauort, aber auch Einbautoleranzen zählen, die über eine Toleranzkettenbetrachtung identifiziert wurden und so die Abhängigkeiten von toleranzkritischen Bauteilen aufzeigen.

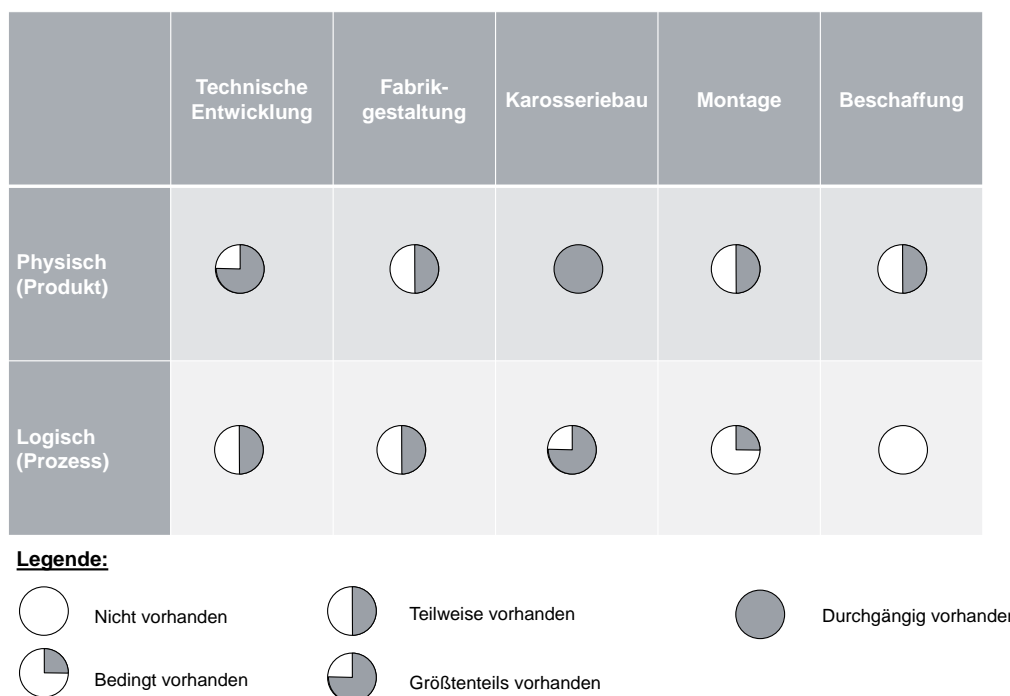


Abbildung 3-1: Übersicht über bestehende Forschungsansätze

Wie aus der Übersicht zu entnehmen ist, gibt es für nahezu jeden Bereich konkrete Ansätze, die sich mit den physischen oder logischen Verbindungen von Bauteilen, Anlagen oder aber

Prozessen beschäftigen. Lediglich im Bereich der Fahrzeugendmontageplanung sind diese Ansätze nur bedingt bis gar nicht zu finden. Dies hängt vorrangig damit zusammen, dass sich die beschriebenen Ansätze ausschließlich auf die Umsetzung der physischen Abhängigkeiten der Bauteile bezogen und weniger die dazugehörigen Prozesseigenschaften betrachtet haben. Die Montageplanungsansätze beschreiben in der Regel den Ablauf der Planung und weniger den Umgang mit möglichen logischen Verknüpfungen von Bauteilen untereinander. Im Bereich der technischen Entwicklung konnte durch die Erstellung eines Modularisierungs- und Vereinfachungsansatzes von Wissen in der Produktentwicklung durch Berger erstmals ein Ansatz im logischen Bereich identifiziert werden, jedoch wurde dieser nicht nachhaltig weiterverfolgt [BERG04].

In Analogie zu diesem Ansatz ist es das Ziel dieser Arbeit im Bereich der Montageplanung ein Konzept zu entwickeln, das sich auf die logischen Verbindungen von Bauteilen untereinander fokussiert und auf Basis der Abhängigkeiten eine Handlungsempfehlung für die Prozessgestaltung von Montageplanungsabläufen bildet. Dabei soll auf den bereits bestehenden Ansätzen zur Modularisierung und Baukastenbildung aufgebaut werden, sodass anhand der aktuellen Anwendungsfälle eine Evaluierung der Methodik durchgeführt werden kann. Grundvoraussetzung für die Identifikation der logischen Zusammenhänge ist die vollständige oder nahezu vollständige Darstellung eines Vorranggraphen eines Fahrzeugmodells. Auf Basis des Vorranggraphen inklusive der Aufnahme von Plattform-, Modul- und Baukastenelementen sollen die logischen Abhängigkeiten von Bauteilen zueinander identifiziert werden. Diese zusätzlichen logischen Verflechtungen einzelner Bauteile innerhalb des Vorranggraphen werden im Folgenden als Montagecluster bezeichnet und ermöglichen somit eine gröber aggregierte Darstellung des Vorranggraphen auf Basis gleicher Prozessbedingungen. Bei einer Übereinstimmung dieser Montagecluster in verschiedenen Projekten können daraus auch standardisierte Montagecluster gebildet werden und es kann so ein standardisierter Vorranggraph und damit eine über alle Fahrzeugprojekte einheitliche Montagereihenfolge entwickelt werden. Diese standardisierbare Montagereihenfolge beruht auf Montageclustern, die eine Vorsortierung der Bauteile eines Fahrzeuges auf Basis von verschiedenen Kriterien und unter Berücksichtigung der technischen Realisierbarkeit ermöglichen. Damit einhergehend sollen standardisierte Montageprozesse erstellt werden, die in jedem Projekt Anwendung finden können. Diese standardisierten Prozesse können auf Montagetakten verteilt werden, sodass standardisierte Takte für die Fahrzeugendmontage erzeugt werden können. Eine Verwendung standardisierter Takte zum Heben von Synergien und zur Flexibilisierung einer Fabrik wurde von Wittek als Grundannahme für sein Modell aufgeführt, der Weg dorthin ist jedoch nicht beschrieben worden. Aufbauend auf den standardisierbaren Takten sieht Wittek zudem die Möglichkeit standardisierte Betriebsmittel zu entwickeln, um weitere Synergien heben zu können.

[WITT12, S.40f.] Diese Gedanken werden in die Entwicklung dieses Clusterungsansatzes integriert und weiterentwickelt, um eine konsequente Einhaltung der Betrachtungsreihenfolge vom Produkt über den Prozess hin zum Betriebsmittel zu ermöglichen. [MUEL15a, S.42; MUEL15b, S.313]

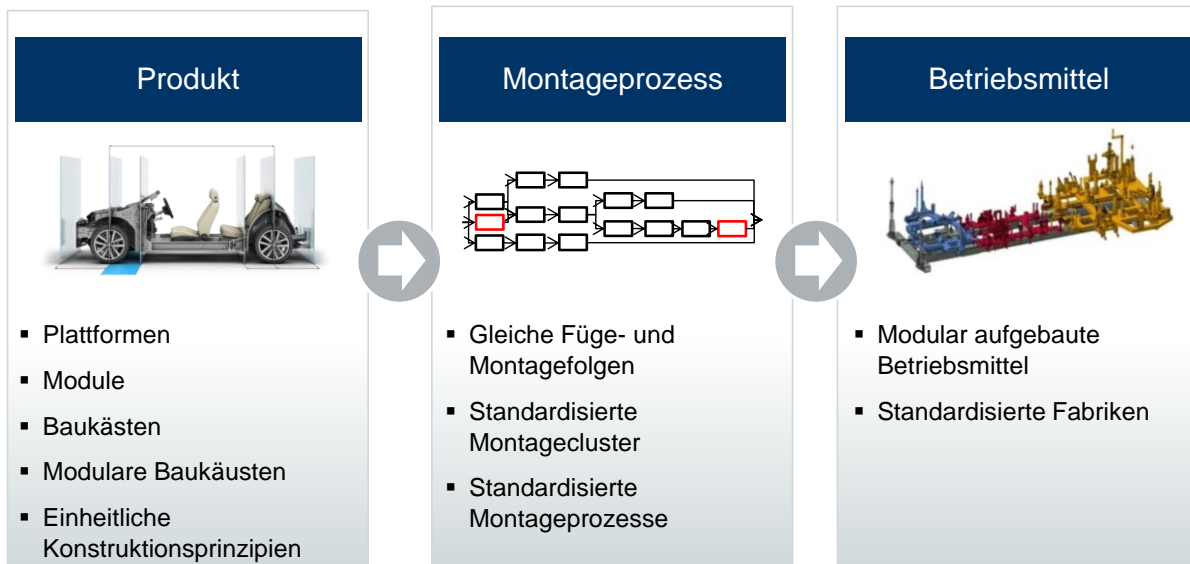


Abbildung 3-2: Vom Produkt über den Montageprozess zum Betriebsmittel [In Anlehnung an MUEL15b, S.313]

3.2 Definitionen für das Clusterungskonzept

Für die Einführung des neuen Clusterungskonzeptes ist zunächst eine Definition des im vorangegangenen Unterkapitel eingeführten Begriffes des Clusters, respektive des Montageclusters, notwendig. Neben der reinen Begriffsdefinition ist auch eine Abgrenzung zu den in Kapitel 2 beschriebenen Begriffen Plattformen, Modul und Baukasten vorzunehmen, sodass ein einheitliches Verständnis für die weitere Arbeit erzeugt wird.

3.2.1 Definition Cluster – Montagecluster

Der Begriff des Clusters ist im Rahmen der Fahrzeugindustrie weniger präsent als die im Vorfeld definierten Begriffe des Moduls, Baukastens oder der Plattform. Daher wird zunächst die klassische Definition des Begriffs anhand des Dudens zu Grunde gelegt, der ein Cluster als eine „als einheitliches Ganzes zu betrachtende Menge von Einzelteilen“ beschreibt. [DUDE14b]

Anhand dieser Definition wird ein erster wichtiger Unterschied von einem Cluster zu einem Modul oder einem Baukasten deutlich. Module und Elemente eines Baukastens liegen immer in fest definierten Rahmenbedingungen vor, z. B. in standardisierten Schnittstellen, sodass sie

jeweils autark behandelt und entwickelt werden können. Cluster hingegen werden als zu betrachtende Menge und demnach nicht als feste Einheit verstanden. Folglich können Cluster je nach Bedarfsfall neu generiert und erzeugt werden, wodurch sich die Schnittstellen zwischen den Clustern, je nach gewähltem Clusterungskriterium, stetig verschieben können. Deshalb verfügen Cluster entgegen der Plattformen und Module nicht über die standardisierten Schnittstellen. Infolgedessen muss bei der Analyse von Clustern auch immer das angrenzende Bauteil oder das angrenzende Cluster mit betrachtet werden, um eine Integration des Bauteils in das Cluster oder eine Nicht-Aufnahme aufgrund der starken Abweichung zum bestehenden Cluster erkennen zu können. Der Clusterungsansatz verfolgt damit eine ganzheitliche und keine punktuelle Betrachtung des Produktes.

Montagecluster sind ein spezifischer Anwendungsfall des Clusters und finden im Folgenden Anwendung im Bereich der Fahrzeugendmontage. Die in Unterkapitel 3.1 beschriebenen logischen Verbindungen bilden dabei die Grundlage für die Montagecluster. Jedoch können die Montagecluster auch auf Basis der technischen Anforderungen eines Produktes erzeugt werden. Dabei kann je nach gewähltem Kriterium eine Überschneidung von einzelnen Anforderungen bei der Erzeugung von Montageclustern genauso denkbar sein, wie der Ausschluss von zwei Clusterungskriterien. Folglich können zwei Kriterien dasselbe Cluster erzeugen, es können sich aber auch aufgrund von zwei Kriterien unterschiedliche Montagecluster bilden lassen. Bei solchen Gegenläufigkeiten ist eine Priorisierung eines Clusterungskriteriums notwendig, um ein eindeutiges Cluster zu bilden. Eine Beschreibung der Erzeugungsmöglichkeiten von Clustern sowie die Priorisierungsregeln erfolgt im fünften Kapitel, nachdem die Anforderungen seitens des Produktes und des Einbauprozesses im vierten Kapitel definiert worden sind.

Eine über den Einbauprozess hinausgreifende Definition des Montageclusters ist in der Arbeit von Eilers zu finden. Eilers versteht den Montagecluster als Zusammenfassung von aufeinanderfolgenden Stationen einer Montagelinie, die inhaltlich zusammengefasst und autark von den umliegenden Stationen behandelt werden können [EILE15, S.63]. Damit eine konkrete Abgrenzung zu der Interpretation von Eilers möglich ist, wird in der folgenden Abbildung eine Definition des Clusters und des Montageclusters für diese Arbeit vorgenommen.

Definition Cluster im technischen Bereich:

Ein Cluster ist ein nach vorher definierten Kriterien wählbarer Zusammenschluss von Bauteilen, die über gleiche Rahmenbedingungen bei dem Verbau verfügen und deren Inhalt und Größe je nach gewähltem Clusterungskriterium variieren kann.

Definition Montagecluster:

Ein Montagecluster ist ein spezifischer Anwendungsfall eines Clusters im Rahmen der Endmontage eines Produktes. Bauteile die gleiche Rahmenbedingungen bei der Montage aufweisen und ggfs. auch in einer physischen Abhängigkeit zueinander stehen, können in einem Montagecluster zusammengefasst werden. Je nach gewählten Clusterungskriterium können sich Differenzen bei der Bildung eines Montagecluster ergeben, sodass eine Priorisierung der Kriterien erfolgen muss, um ein eindeutiges Cluster zu definieren.

Abbildung 3-3: Definition des Clusters und des Montageclusters

3.2.2 Cluster – Abgrenzung zu Plattform, Modul und Baukasten

Wie im vorangegangenen Abschnitt beschrieben, lässt sich ein Cluster bereits anhand der im Duden aufgeführten Definition von den Begriffen Plattform, Modul und Baukasten abgrenzen. Die eingeführte Definition für Cluster im technischen Bereich unterstützt dabei diese Definition und ermöglicht eine noch genauere Abgrenzung zu diesen Begrifflichkeiten. Somit werden für Plattformen und Module definierte Schnittstellen frühzeitig im PEP festgelegt, wohingegen die Schnittstellen des Clusters auch noch während des PEPs frei geändert werden können. Der Baukasten ist als Zwischenschritt vom Modul zum Cluster zu sehen, da hier einige bereits früh definierte Schnittstellen vorliegen, jedoch auch noch Freiheitsgrade bei der Kombinierbarkeit der Baukastenelemente vorliegen. Diese Freiheitsgrade machen den Baukasten im Vergleich zu den Plattformen und Modulen weniger starr in seiner Anwendung.

Ein weiterer Unterschied zwischen den Begriffen Plattform / Modul und dem Cluster ist die Zuordnung von einem Bauteil in unterschiedliche Cluster bzw. zu den Plattformen und Modulen. Da es sich bei einem Cluster um einen logischen Bauteilverbund und nicht um einen physisch fest definierten Zusammenschluss handelt, besteht die Möglichkeit ein Bauteil verschiedenen Clustern zuzuordnen. Dies ist durch die o. g. Schnittstellendefinition zu Beginn der Produktentwicklung bei den Plattformen und Modulen nicht möglich. Diese Eigenschaften der Module und Plattformen ermöglicht es jedoch einzelne Module oder Plattformelemente wiederzuverwenden und in andere Produkte zu übertragen. Dadurch können die in Kapitel 2 beschriebenen Effekte erzielt werden und die Synergien der Plattformen und Module optimal genutzt werden. Diese Übertragung und damit auch Mehrfachverwendung

von starren Bauteilverbänden ist bei den Montageclustern nicht möglich. Hingegen kann das Clusterungskriterium übertragen und somit das Kriterium oder das damit erzeugte (Montage-) Cluster mehrfachverwendet werden. Dadurch können bei gleichen Produkteigenschaften und Restriktionen auch die daraus resultierenden (Montage-)Cluster übernommen und das damit verbundene Prozesswissen genutzt werden. Somit ist auch in diesem Fall der prozessorientierten Betrachtung der Baukasten als Zwischenschritt von dem Modul zum Cluster zu sehen. Die Baukastensystematik ermöglicht bereits eine gewisse Vordefinition von Prozessschritten bei gleichzeitiger Flexibilität in der Definition von Bausteinelementen.

Als letztes Unterscheidungskriterium kann die Trennung von Funktion und Bauteil angesehen werden. Bei einer Plattform, einem Modul und einem Baukasten wird bei jedem Plattformelement, jedem Modul und jedem Baukastenteil eine konkrete Funktion und Geometrie zugewiesen. Da es sich bei einem Cluster als auch bei einem Montagecluster um einen logischen Bauteilverbund handelt, kann einem Cluster bzw. einem Montagecluster nur in einigen Fällen eine konkrete Funktion zugewiesen werden. Diese Funktionszuweisung ist dann auch eher zufällig und nicht auf den Clusterungsansatz zurückzuführen, denn dieser sieht eine Zusammenfassung von Bauteilen zu logischen Gruppierungen, den Clustern, als Zielstellung an.

Die folgende Abbildung fasst diese eben ausgeführten Unterschiede von Plattform, Modul, Baukasten und Cluster abschließend zusammen.

	Plattform	Modul	Baukasten	Cluster
Schnittstelle	Fest definierte Schnittstellen sind vorhanden	Fest definierte Schnittstellen sind vorhanden	Freie Kombinierbarkeit trotz vorgegebener Schnittstellen	Keine definierten Schnittstellen, diese können jederzeit neu erzeugt werden
Mehrfachverwendung	Plattformen können in verschiedene Projekte übertragen werden	Module können in verschiedene Projekte übertragen werden	Flexiblere Nutzung der Elemente und somit höhere Kombinationsflexibilität	Eine Übertragung der logischen Cluster ist denkbar
Trennung von Funktion und Bauteil	Zuweisung einer konkreten Funktion und Geometrie	Zuweisung einer konkreten Funktion und Geometrie	Zuweisung einer konkreten Funktion und Geometrie	Keine Zuweisung von Funktion und Geometrie
Zeitliche Festlegung	Zu Beginn	Zu Beginn	Zu Beginn	Flexibel

Abbildung 3-4: Abgrenzung Plattform, Modul, Baukasten und Cluster

Folglich kann als Schlussfazit für die Cluster festgehalten werden, dass es sich bei Cluster um logische Zusammenhänge von Bauteilen handelt, die auf den Rahmenbedingungen des Einbauprozesses beruhen und flexibel festlegbar sind. Cluster können sowohl für neue, als

auch für bereits bestehende Produkte festgelegt werden, da sich Cluster auch aus einer Produktanalyse ergeben. Plattformen, Module und Baukästen müssen hingegen vor der Produkterzeugung beschrieben und festgelegt werden, da auf deren Basis Sourcing und Produktionsentscheidung frühzeitig getroffen werden.

4 Anforderungen an ein Clusterungskonzept für die Fahrzeugendmontage

Die Anforderungen an das Clusterungskonzept für die Fahrzeugendmontage lassen sich auf drei Kernbereiche herunterbrechen. Das sind zum einen die technischen Anforderungen seitens des Produktes, zu denen insbesondere die Fügerangfolge, aber auch die Montagereihenfolge zählen. Diese sind bereits in Kapitel 2 erläutert und beschrieben worden. Neben den produktspezifischen Anforderungen existieren auch seitens des Prozesses diverse Anforderungen, die sich stark auf die Fahrzeugendmontage auswirken. Hierzu zählen der Einbauort, die Einbauhöhe, notwendige Hilfsmittel, etc. Der dritte nicht zu vernachlässigende Punkt sind die investitionsträchtigen Betriebsmittel, die zum Verbau einzelner Teile notwendig sind und bereits in der Standardaufbaureihenfolge hinterlegt worden sind.

In diesem Kapitel werden die drei Kernbereiche, die einen Einfluss auf das Clusterungskonzept haben, beschrieben: Das Produkt, der Prozess und das Betriebsmittel.

4.1 Technische Anforderungen seitens des Produktes

Die grundlegendste Anforderung an die Fahrzeugendmontage ist durch das Produkt getrieben und vorgegeben. Dabei wird seitens der Konstruktion die Fügerangfolge und damit die Montagereihenfolge der Bauteile bestimmt. Diese physischen Abhängigkeiten führen zum Beispiel dazu, dass das Bauteil A notwendig ist, um das Bauteil B anzubauen. Beispiele hierfür sind ein Halter, der zunächst an der Karosse befestigt werden muss, bevor das eigentliche Bauteil angebaut werden kann. Ein weiterer Grund für die notwendige Abfolge zweier Bauteile ist, dass der Verbauort von Bauteil A durch ein weiteres Bauteil oder eine Leitungsverlegung verdeckt wird. Dies führt analog der Durchdringungsregel zu einer Montagereihenfolge von zwei Bauteilen, obwohl diese nicht in direkter Verbindung zueinander stehen. Die folgende Abbildung zeigt diese beiden Fälle an einem Realzustand auf.

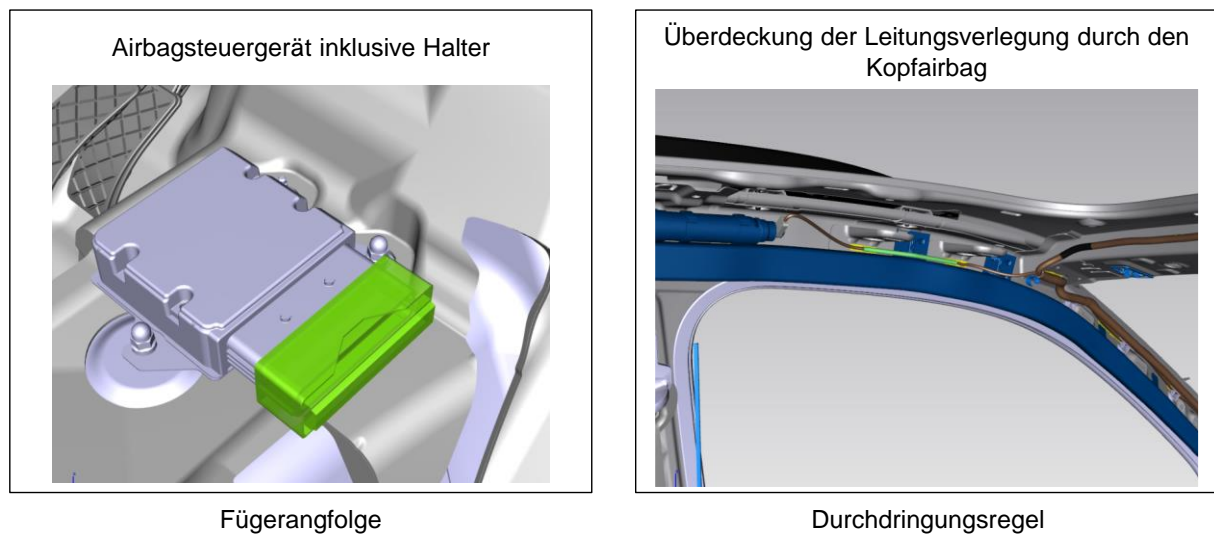


Abbildung 4-1: Der Einfluss auf die Montager Reihenfolge

Neben der Montager Reihenfolge sind auch einige Bauteileigenschaften zur Erzeugung von Montageclustern relevant. Bauteileigenschaften sind über die Fügerangfolge hinausgehende Informationen zu einem Bauteil, die zur späteren Prozessbeschreibung notwendig sind. Zu den Eigenschaften, die eine direkte Auswirkung auf den Einbauprozess haben, zählen zum Beispiel die Größe und Form eines Bauteils. Zusätzlich ist die Notwendigkeit einer Verbauunterstützung in Form eines Manipulators relevant und muss als Ausgangsbasis beschrieben werden. Darüber hinaus ist auch das Gewicht eines Bauteiles für die Clusterbildung wichtig, wobei auch hier die Auswirkungen zumeist im Einbauprozess (vgl. Unterkapitel 4.2) und bei der Gestaltung von Betriebsmitteln (vgl. Unterkapitel 4.3) zu finden sind.

Neben der Schachtelungsreihenfolge und den Bauteilspezifika gibt es zum Beispiel bei Fahrzeugen mit rein- oder teilelektrischen Antriebskonzepten auch spezifische Anforderungen im Umgang mit Hochvoltbauteilen. Zu den Hochvoltbauteilen zählen alle Bauteile, die dem Hochvoltkreislauf zugeordnet werden können und somit einer erhöhten Spannung ausgesetzt werden. Beispielhaft sind die Hochvoltbatterie, die Leistungselektronik und das Hochvolt-Boardnetz zu nennen. Diese Bauteile unterliegen spezifischen gesetzlichen Bedingungen wie das Arbeitsschutzgesetz §§ 3+13, aber auch der deutschen gesetzlichen Unfallversicherung 8686 (BGI 8686) sodass aufgrund der vorliegenden Netzspannung nach der Kontaktierung bestimmte Vorkehrungen für die Mitarbeiter getroffen werden müssen. Folglich ist eine Kennzeichnung dieser Bauteile für die folgende Montage und die Clusterung von hoher Bedeutung, um Sicherheitsaspekte und die rechtlichen Bedingungen optimal umsetzen zu können.

4.2 Anforderungen seitens des Einbauprozesses

Auf den Einbauprozess eines Bauteils hat neben den in Unterkapitel 4.1 genannten technischen Bedingungen auch die Position des Bauteils während des Einbauprozesses einen Einfluss. Die korrekte Position setzt sich aus dem konkreten Einbauort (vgl. Abschnitt 4.2.1) am Fahrzeug und der Einbauhöhe (vgl. Abschnitt 4.2.2), die das Fahrzeug bei dem Einbauprozess aufweisen muss, zusammen. Ergänzt werden diese prozessbezogenen Anforderungen durch Betriebsmittel, die zur Montage des Bauteils benötigt werden (vgl. Abschnitt 4.2.3). Der Betrachtungsumfang des Einbauprozesses beginnt bei dem Greifen des Bauteils in idealer Position, sodass eine Analyse der Materialbereitstellung zunächst entfallen kann. Es wird vielmehr ein logischer Clusterungsansatz für die Montage gesucht, an den sich die Logistik in Form einer idealen Materialanstellung anpassen soll. Dennoch ist es möglich, dass gewisse Bauteile spezifische Restriktionen in der Materialbereitstellung und seitens der Logistik mit sich bringen. Diese und weitere Restriktionen werden im Abschnitt 4.2.4 näher erläutert.

4.2.1 Einbauort

Bei dem Einbauort handelt es sich um den konkreten Ort am Fahrzeug, an dem das Bauteil montiert werden muss. Dabei bietet sich eine Grobunterteilung des Fahrzeuges in die sieben verschiedenen Bauräume vorne, hinten, links, rechts, Dach, Innenraum und Unterboden, gemäß Abbildung 4-2 an [WEID15, S.229].



Abbildung 4-2: Mögliche Bauräume in einem Fahrzeug [WEID15, S.229]

Sollte diese Beschreibung noch nicht ausreichen und ist zum Beispiel zur Analyse eines Bauraums eine höhere Detaillierung notwendig, kann analog Abbildung 4-3 in die folgende Bauräume untergliedert werden: vorne links, vorne mitte, vorne rechts, mitte rechts, mitte

links, hinten rechts, hinten mitte, hinten links, Fahrzeuginnenraum, Kofferraum, Motorraum, Dach linke Seite, Dach rechte Seite und der Unterboden (vorne, links, rechts, hinten).

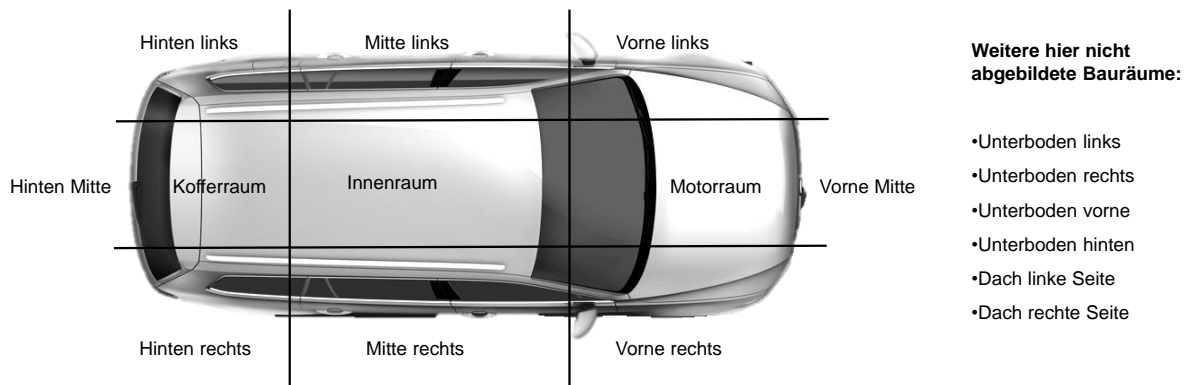


Abbildung 4-3: Eine detailliertere Einteilung der Bauräume

Diese Untergliederung kann je nach Detaillierungsbedarf seitens des Anwenders und nach Reifegrad der Fahrzeugentwicklung beliebig verfeinert werden. Sie ist Ausgangsbasis zur korrekten Bestimmung der Position des Bauteils während des Montageprozesses und bildet mit der in 4.2.2 beschriebenen Einbauhöhe die Möglichkeit der räumlichen Darstellung des Einbauprozesses in Form eines Koordinatennetzes.

4.2.2 Einbauhöhe

Die Einbauhöhe beschreibt den optimalen Abstand des Fahrzeuges zum Boden, der für den Einbauprozess des Bauteils notwendig ist. Der Referenzpunkt am Fahrzeug für die Messung der Einbauhöhe kann nach Belieben frei gewählt werden. Bei diesem spezifischen Fall der Fahrzeugendmontage bietet sich die Unterkante des Schwellers als Referenzpunkt an, da es sich dabei um den konstant niedrigsten Punkt des Fahrzeuges handelt, der über die gesamte Länge der Fahrzeugendmontagelinie messbar ist. Bei der Festlegung der optimalen Einbauhöhe wird ein durchschnittlicher Mensch gemäß DIN EN ISO 7250 festgelegt. Bei der DIN ISO wird eine Normalverteilung im Hinblick auf die Größe des Menschen berücksichtigt und so ein europäischer Mittelwert von 171,9 cm gebildet. Gemäß dieser Verordnung beträgt der unterste Wert des festgelegten Perzentils 153,0 cm und dessen oberster Wert 188,0 cm. Dieser europäische Mittelwert basiert auf männlichen und weiblichen Probanden im Alter zwischen 18 und 60 Jahren, wobei der Wert ohne Schuhe und in gestreckter Haltung gemessen worden ist. [DINE10]

Die ideale Einbauhöhe ist aber nicht nur von der Größe des Mitarbeiters, sondern auch von der Position des Bauteils im Fahrzeug und der damit verbundenen Zugänglichkeit während des Einbaus abhängig. Aus diesem Grund muss bei der Festlegung der Einbauhöhe zunächst der Einbauort und die Zugänglichkeit des Bauteils im Fahrzeug analysiert werden, bevor eine ideale Einbauhöhe festgelegt werden kann. Sollte ein Bauteil nur erschwert zugänglich sein, da es zum Beispiel in einem begrenzt einsehbaren Bereich verbaut wird, ist dies bei der Festlegung der Einbauhöhe mit zu beachten. Hierfür wird zum Beispiel die Höhe etwas niedriger definiert, sodass der Mitarbeiter den Montageort besser einsehen kann und eine ergonomisch günstigere Haltung einnimmt. Gleiches gilt bei Überkopftätigkeiten. Montageprozesse werden als Überkopftätigkeiten deklariert, sobald der Mitarbeiter seine Hände oberhalb der Schultern oder oberhalb des Kopfes hat. Hierbei liegt eine besondere Beachtung der Zugänglichkeit vor, da sich der Mitarbeiter mit seiner vollen Körpergröße plus der Länge der Arme unterhalb des Bauteils befinden muss und so die Festlegung der Einbauhöhe noch genauer und individueller zu erfolgen hat, als bei Prozessen ohne Überkopftätigkeiten.



Abbildung 4-4: Eine schematische Darstellung der Einbauhöhe

In Verbindung mit dem Einbauort kann somit ein detailliertes Koordinatennetz um das Fahrzeug herum in dem Montagetakt gespannt werden, bei dem es möglich ist, den Einbaupunkt genau zu beschreiben.

4.2.3 Betriebsmittel

Da für die Montage eines Bauteils nicht nur der konkrete Einbauort relevant ist, sondern oftmals auch Betriebsmittel für den Einbau benötigt werden, wird im Folgenden auf die Unterschiede bei den Betriebsmitteln und Verwendung näher eingegangen. Bei den

Betriebsmitteln kann zwischen zwingend notwendigen Werkzeugen und unterstützenden Hilfsmitteln unterschieden werden. Zwingend notwendige Werkzeuge sind zum Beispiel Akkuschauber oder Electronic Control (EC)-Schauber, die zur Erzeugung einer physischen Verbindung zweier Bauteile benötigt werden.

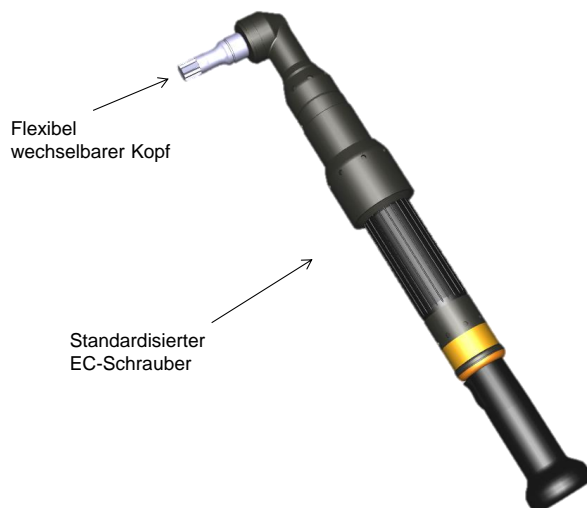


Abbildung 4-5: Beispielhafter EC-Schauber zur Verschraubung des Gurtendbeschlages

Unterstützende Hilfsmittel können Handlingsgeräte zur Lastenerleichterung bzw. zur genaueren Positionierung des Bauteils oder aber Tools zur Kräfteerleichterung sein. Diese unterstützenden Hilfsmittel werden nicht zwangsweise für den Einbauprozess benötigt, erleichtern aber dem Mitarbeiter den Verbau des Bauteils und führen zu ergonomisch verbesserten Einbauprozessen. Beispielhaft hierfür sind Hebehilfen für die Sitze oder für den Einbau der 12 Kilogramm schweren Starterbatterie.

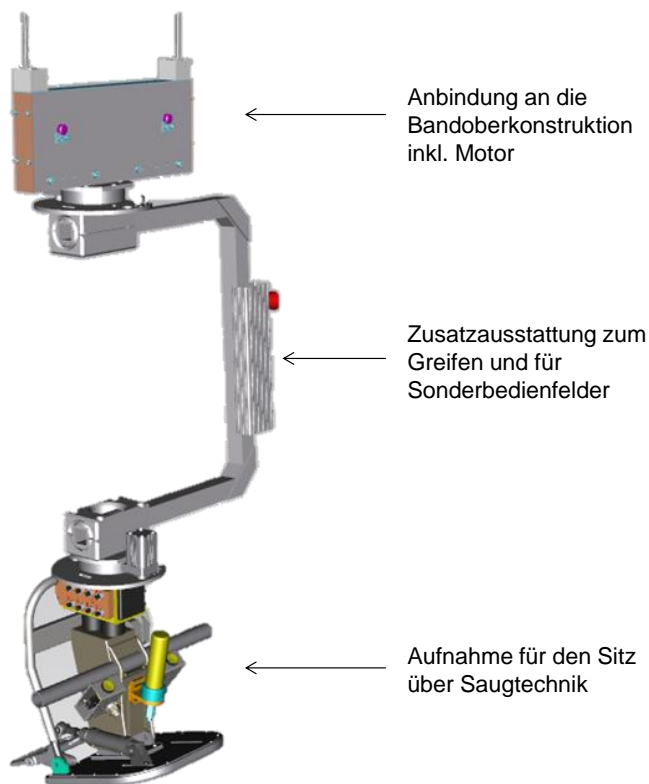


Abbildung 4-6: Ein Manipulator für den Sitz-Einbau

Neben diesen geläufigen Hilfsmitteln besteht auch die Möglichkeit Hilfsmittel individuell zu entwickeln und anzufertigen, um den Mitarbeiter bei der Durchführung seiner Tätigkeit bestmöglich zu unterstützen. Exemplarisch hierfür sind Werkzeuge zum Setzen von Clips oder aber magnetische Schraubenhalter auf dem Akkuschauber zu nennen.

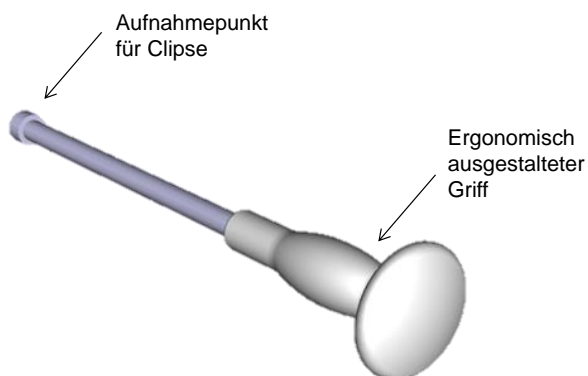


Abbildung 4-7: Ein Hilfsmittel zum mechanischen Setzen von Clipsen

Darüber hinaus gibt es noch Hilfsmittel, die zur Absicherung der Qualität und dem optimalen Verlauf von Spalt und Bündigkeit dienen. Dies können zum einen Schablonen für das

Aufkleben von Schildern oder Typenbezeichnungen, aber auch Unterlegkeile beim Scheibeneinbau sein, die ein Verrutschen der Scheibe kurz nach dem Auftragen der Kleberaupe verhindern.

4.2.4 Weitere Restriktionen

Neben den Restriktionen des Einbauortes, der Einbauhöhe, der Werkzeuge und Hilfsmittel gibt es noch weitere, sehr spezifische Anforderungen seitens des Einbauprozesses. Diese zusätzlichen Restriktionen treten in der Regel eher selten auf und sind daher in jedem Fall gesondert aufzuführen und bei der Clusterung entsprechend zu berücksichtigen. Exemplarisch werden hierfür im Folgenden zwei Beispiele genannt, um die Individualität dieser Restriktionen aufzuzeigen.

Die Fördertechnik:

Das beschriebene Koordinatennetz ermöglicht eine detaillierte Angabe des Verbauortes für jedes Bauteil. Jedoch gibt es neben dem spezifischen Verbauort in einigen Fällen weitere Anforderungen, die bei der Prozessbeschreibung berücksichtigt werden müssen. Diese spezifischen Anforderungen ergeben sich unter anderem aufgrund der unterschiedlichen Fördertechnik in einzelnen Bereichen der Fahrzeugendmontage. Zum Beispiel kann eine Verkleidung am Fahrzeugunterboden nicht verbaut werden, wenn das Fahrzeug auf höhenverstellbaren Schubplatten durch die Montage geführt wird, da die Zugänglichkeit am Verbauort nicht gewährt werden kann. Weiterhin ist der Türenausschnitt und Türeneinbau nur bei bestimmten Konstruktionen einer elektronischen Hängebahn (EHB) möglich, da wie in der folgenden Abbildung zu sehen ist, sonst keine oder nur eine erschwerte Zugänglichkeit zu den Schraubpunkten möglich ist bzw. der Türenausschnitt versperrt bleibt.

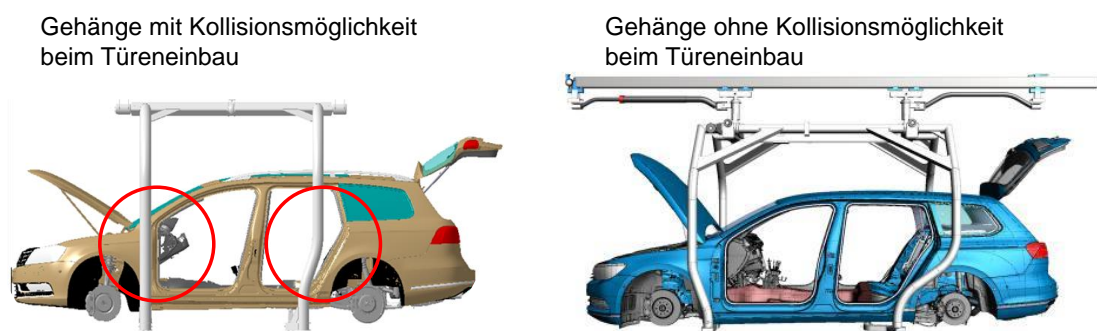


Abbildung 4-8: Vorliegende Kollisionsmöglichkeit im Gehänge beim Türeneinbau

Das Materialbereitstellungskonzept:

Hinsichtlich des Materialbereitstellungskonzeptes gibt es bei einigen Bauteilen ebenfalls spezifische Anforderungen, die bei der Ausplanung der Linie und damit auch der Clusterung eine Rolle spielen. Da wie bereits auf Seite 82 beschrieben, keine Analyse der Materialbereitstellung stattfindet, sondern diese separat betrachtet wird, erfolgt lediglich eine kurze Beschreibung der möglichen Materialbereitstellungsarten. Es kann aufgrund des hohen Individualisierungsgrades in Bauteile unterschieden werden, die in Sequenz bereitgestellt werden müssen und weniger individuelle Bauteile, die in Kleinladungsträgern (KLT) bzw. Großladungsträgern (GLT) an die Montagelinie geliefert werden. Exemplarisch für Bauteile, die in Sequenz bereitgestellt werden, sind zum Beispiel das Cockpit-Modul oder aber die Sitze zu nennen. In KLTs werden in der Regel sehr kleine Bauteile wie Stopfen oder Halter bereitgestellt, wohingegen GLTs für großvolumigere Bauteile wie Säulenverkleidungen genutzt werden können. Neben diesen drei Standardformen der Materialbereitstellung kann für jedes Bauteil auch ein Sonderladungsträger entwickelt und genutzt werden. Für diese Arbeit sind nur die grundlegenden Informationen (KLT, GLT, JIS, JIT) relevant, da je Arbeitstakt nur eine begrenzte Fläche zur Materialbereitstellung zur Verfügung steht. Diese Fläche muss mit einer Kombination aus Regalen, KLTs, GLTs, ... ideal ausgefüllt werden. Eine detaillierte Beschreibung der Ladungsträger hinsichtlich der genauen Abmaße kann dann im Nachgang erfolgen und wird daher im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet.

4.3 Anforderungen seitens des Betriebsmittels

Neben den Anforderungen seitens des Produktes und des Prozesses gibt es auch für die Montage einzelner Bauteile Anforderungen seitens des Betriebsmittels. Dabei kann bei den Betriebsmitteln nochmals eine Unterteilung von kleinen Betriebsmitteln wie Schraubern oder Hilfsmitteln über mittelgroße Betriebsmittel wie Roboter oder Manipulatoren bis hin zu großen Betriebsmitteln wie einzelne Prüfstände unterschieden werden (vgl. Abbildung 4-9).

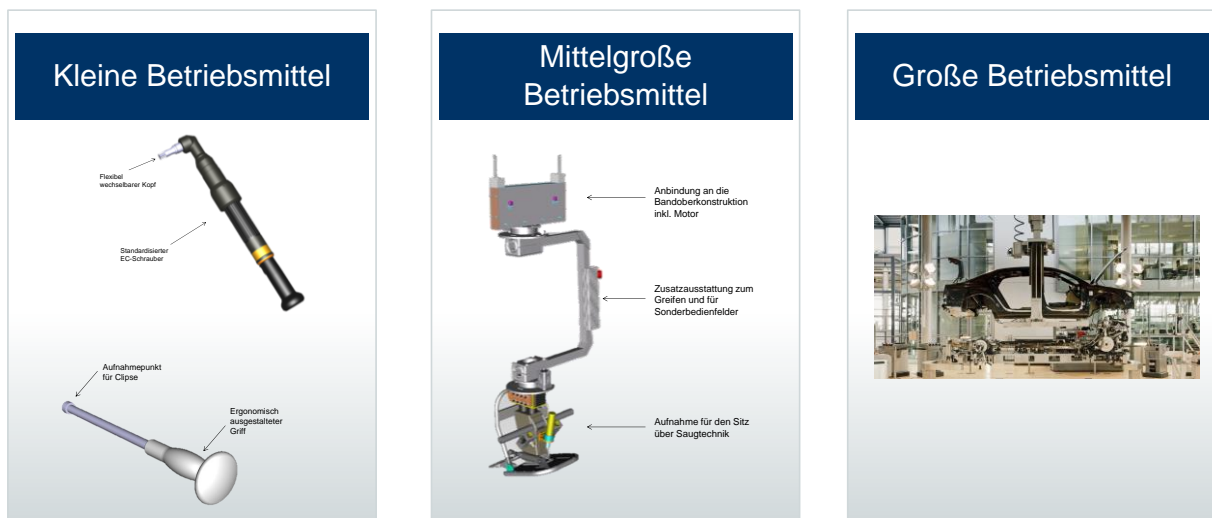


Abbildung 4-9: Unterscheidung der Betriebsmittel

Betriebsmittel bringen oftmals unterschiedlichste Anforderungen mit sich, die direkte Auswirkungen auf die Clusterung von Montageumfängen haben. Beispielsweise können bei dem Verbau der Scheiben keine parallelen Tätigkeiten am Fahrzeug durchgeführt werden, da sonst kein exakt bündiger Einbau der Scheibe möglich ist. Bei der Hochzeit, also dem Einbau des Fahrwerks, sind parallele Arbeiten aufgrund der Arbeitssicherheit und der Prozesssicherheit in der Anlage nicht möglich. In diesem Fall kann das Betriebsmittel sogar in Gänze abgeschirmt und von Mitarbeitern freigehalten werden, wie im folgenden Bild am Beispiel des VW Phaeton in Dresden zu sehen ist.

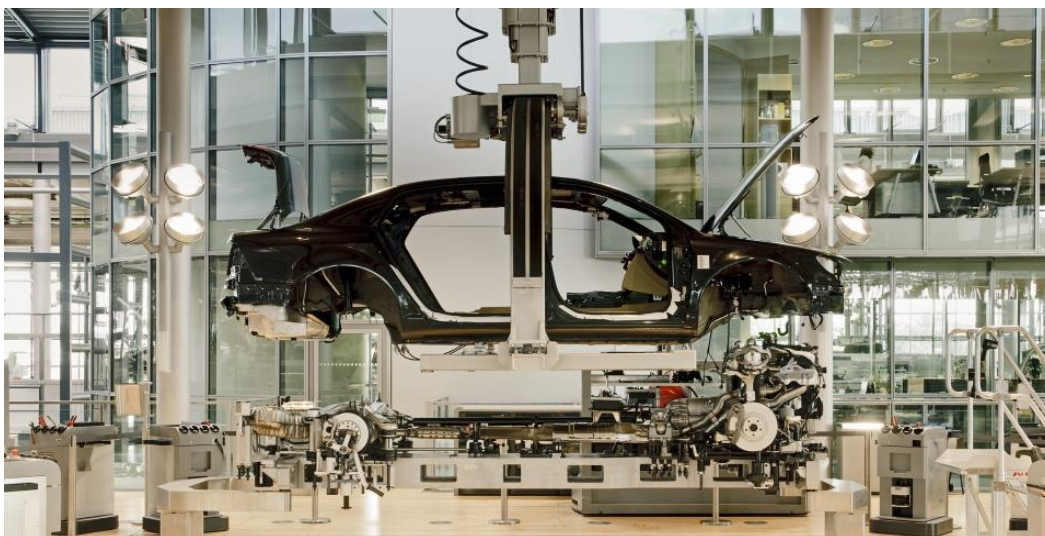


Abbildung 4-10: Die vollautomatisierte Hochzeit des Phaeton in Dresden

Diese Betriebsmittel sperren dadurch einen Teil der Montage für manuelle Tätigkeiten und untergliedern die Fahrzeugendmontage in Unterabschnitte. Die daraus resultierenden fixen Stationen sind fest in der Montagehalle verankert und stellen damit die Monumente der Fahrzeugendmontage dar, die nicht flexibel verschiebbar sind und gewisse Eingangsgrößen wie die Fördertechnik mit sich bringen.

Andere Betriebsmittel erlauben ein paralleles Arbeiten am Fahrzeug, jedoch bleiben gewisse Bauräume während der Zeit unzugänglich und können somit nicht zur Montage genutzt werden. Für den Fall der Medienbefüllung ist zum Beispiel der Motorraum nicht zugänglich, da dort die Schläuche zur Befüllung der Kühl- und Bremskreisläufe adaptiert werden.

Bei der Erzeugung der Montagecluster müssen diese Rahmenbedingungen mit berücksichtigt werden und können Auswirkungen auf die Gestaltung und Dimensionierung der Cluster haben, wie die Anwendungsfälle in Kapitel 6 zeigen werden.

4.4 Fazit

In diesem Kapitel konnte festgehalten werden, dass es drei verschiedene Anforderungsgruppen für das Clusterungskonzept gibt. Diese Anforderungen basieren auf dem Produkt, dem Montageprozess und dem Betriebsmittel und sind in der folgenden Abbildung kurz zusammengefasst.

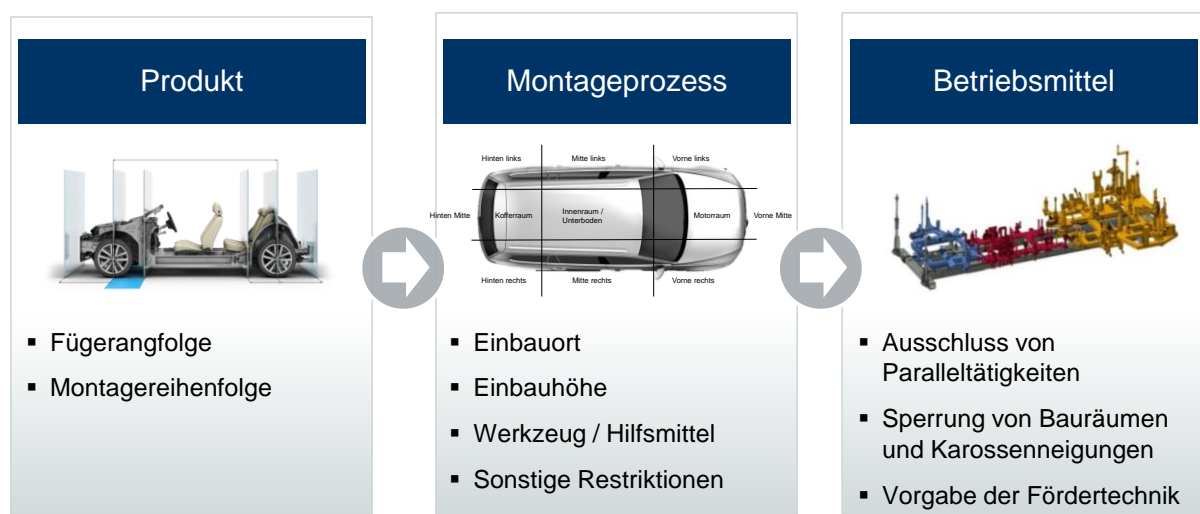


Abbildung 4-11: Zusammenfassung der Anforderungen an das Clusterungskonzept

Die essentiellsten Anforderungen werden seitens des Produktes durch die Fügerangfolge und die Bauteileigenschaften gestellt. Durch diese ist es möglich, die Abfolge der Bauteile in der Fahrzeugendmontage zu beschreiben. Darauf aufbauend lassen sich Anforderungen im Rahmen des Einbauprozesses definieren, die Auswirkungen auf mögliche Montagecluster haben. Hierzu zählen unter anderem der Einbauort und die Einbauhöhe auf Basis derer ein Koordinatennetz zum Einbau von Bauteilen im Fahrzeug definiert werden kann. Schlussendlich kommen beim Verbau einiger Bauteile große Betriebsmittel zum Einsatz, die bei der Ausgestaltung und während des Betriebes die Montage beeinflussen. Dies beginnt bei dem Ausschluss von Tätigkeiten, aber auch der Sperrung von Bauräumen, wodurch die Montage in Unterabschnitte geteilt wird. Insbesondere diese Unterteilung der Montage in verschiedene Bereiche hat Auswirkungen auf die Gestaltung und Verteilung von Montageprozessen in der Fahrzeugendmontage.

Auf Basis dieses Anforderungskataloges wird im folgenden Kapitel ein Clusterungskonzept entwickelt, das alle diese Anforderungen im Grundsatz berücksichtigt und darauf aufbauend einen Planungsansatz zur Vereinfachung der Fahrzeugendmontageplanung beschreibt.

5 Entwicklung eines Clusterungskonzeptes

Nachdem in dem vorangegangenen Kapitel die Anforderungen an das Clusterungskonzept seitens des Produktes, des Prozesses und des Betriebsmittels formuliert worden sind, wird in diesem Kapitel das Clusterungskonzept entwickelt. Dabei wird zunächst auf die Prämissen eingegangen, die für eine Entwicklung und Umsetzung notwendig sind, um im Anschluss daran das Gesamtkonzept zu beschreiben.

5.1 Prämissen und Eingangsgrößen für das Clusterungskonzept

Sowohl bei der Gestaltung und Entwicklung als auch bei der späteren Implementierung des Clusterungskonzeptes sind einige Prämissen unabdingbar und deren Einhaltung muss für eine erfolgreiche Umsetzung gewährleistet sein. Dies ist vorrangig die Informationsbereitstellung der notwendigen Anforderungen seitens des Produktes, des Prozesses und des Betriebsmittels, deren Ausprägungen bereits in dem vorangegangenen Kapitel beschrieben worden sind. Fehlende oder unscharfe Restriktionen können das Ergebnis verfälschen, weshalb eine konkrete Definition sämtlicher Restriktionen notwendig ist. Sofern Bauteile in verschiedenen Varianten vorliegen und diese Varianten andere Restriktionen als das Basisbauteil aufweisen, sind diese Bauteile gesondert aufzuführen und zu beschreiben. Dies ist notwendig um Fehler bei der Clusterung vermeiden zu können und zusätzliche Auswirkungen der Variantenvielfalt im Bereich der Fahrzeugendmontage besser hervorheben zu können.

Um eine kostenorientierte Betrachtung der Clusterung durchzuführen, ist eine Darstellung der Investitionen für Hilfsmittel, Werkzeuge, aber auch für Betriebsmittel und Fördertechnik notwendig. Im Idealfall können diese Investitionen konkret einem Bauteil zugeordnet werden, sodass eine detaillierte Kostenanalyse frühzeitig möglich ist und die positiven Effekte durch Mehrfachverwendung von Hilfsmitteln dargestellt werden können.

Neben diesen eher produkt- und prozessbezogenen Anforderungen, die sich aus der Konstruktion des Fahrzeuges ergeben, sind zudem die Rahmenbedingungen des zu analysierenden Fahrzeugwerkes eine wichtige Ausgangsbasis. Denn nur wenn die Bauteileigenschaften mit den Rahmenbedingungen des Werkes in Einklang gebracht werden können, ist eine Umsetzung des Clusterungskonzeptes denkbar. Dafür sind beispielsweise bestehende und nicht veränderbare Betriebsmittel, Fördertechnik sowie die Anzahl an Montagetakten, aber auch Unzugänglichkeiten in der Montage zu berücksichtigen. Zusätzlich sollte noch die geplante Taktzeit bekannt sein, da hieraus Auswirkungen auf die zeitliche Gestaltung eines Montageclusters entstehen können.

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über alle einzuhaltenden Prämissen, die für die Beschreibung und Umsetzung des Clusterungskonzeptes notwendig sind.

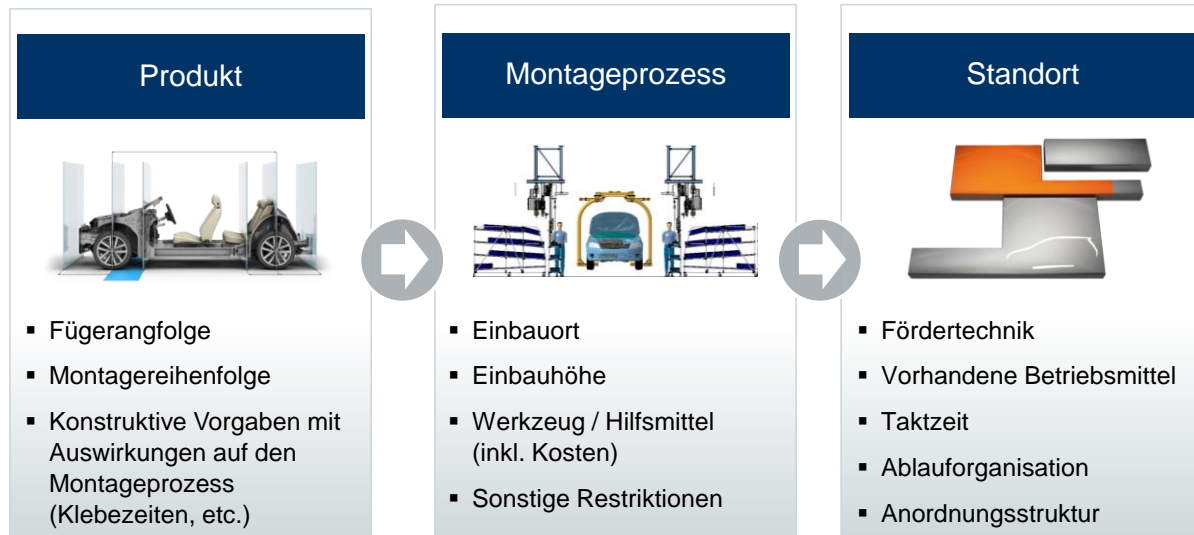


Abbildung 5-1: Prämissen und Eingangsgrößen des Clusterungskonzeptes

5.2 Das Clusterungskonzept

Bei diesem Clusterungskonzept ist es das Ziel die in der Fahrzeugendmontage verbauten Teile, Module und Baugruppen (im Folgenden gesamtheitlich als Bauteile bezeichnet) anhand ihrer in Unterkapitel 4.1 und 4.2 vorgestellten Restriktionen zu beschreiben und die in Unterkapitel 4.3 erwähnten Randbedingungen der Betriebsmittel zu integrieren, um anschließend logische Montagecluster bilden zu können. Dabei muss jedes Bauteil und jeder Prozess katalogisiert und mit den notwendigen Restriktionen versehen werden, um die Abhängigkeiten von Bauteilen und Prozessen untereinander erkennen zu können. Auf Basis der Abhängigkeiten und der gleichen Rahmenbedingungen, die die einzelnen Bauteile und Prozesse aufweisen, können sowohl logische Zusammenhänge als auch physische Abhängigkeiten aufgezeigt werden. Diese Abhängigkeiten bilden die Basis für die Clusterung und damit für die Strukturierung der Fahrzeugendmontage. Da ein Fahrzeug aus ca. 25.000 Einzelteilen [ALTE09, S.37] besteht, ist eine strukturierte Auswahl der Bauteile notwendig, um eine Umsetzbarkeit des Konzeptes zu ermöglichen. Je nach Granularität der Auswahl und Präzisierbarkeit der Restriktionen ist eine Detaillierung im weiteren Verlauf möglich. Bei der Betrachtung sollte zunächst mit den großen Bauteilen und mit Bauteilen, die eine investitionsträchtige Anlage zum Verbau benötigen, begonnen werden, um die Monumente der Fahrzeugendmontage zu analysieren. Im Folgenden können dann immer weiter und

immer detaillierter einzelne Bauteile und Prozesse bis hin zur letzten Schraube beschrieben und in die Clusterung mit einbezogen werden.

Kategorie	Bauteilname	
Manipulator	Einbauhöhe	Logistikvorgaben
Bauraum	Fördertechnik	Max. Einbaudauer
Frühestens nach		Spätestens vor

Kategorie	Bauteilname	
A	Cockpit-Einbau	
Manipulator	Einbauhöhe	Logistikvorgaben
Ja	niedrig	JIS
Bauraum	Fördertechnik	Max. Einbaudauer
Vorne	Skid oder EHB	120 Sekunden
Frühestens nach		Spätestens vor
Motorraumleitungsstrang		Innenraumleitungsstrang

Abbildung 5-2: Eine mögliche Eingabematrix [WEID15, S.228]

Die Ausgangsbasis dieses Clusterungskonzept bildet daher die kriterienbezogene Bauteilbeschreibung. Anhand der Fügerangfolge, die mit Hilfe der Parameter „Frühestens nach“ und „Spätestens vor“ der kriterienbezogenen Bauteilbeschreibung abgebildet werden kann, ist es möglich einen Vorranggraphen zu erzeugen. Bei der Aufbereitung und Erzeugung des Vorranggraphen werden die bekannten Bauteileigenschaften mit den Bauteilen verknüpft, um so einen Überblick über gleiche und ergänzende oder aber auch nicht komplementäre Bauteileigenschaften von Bauteilen zu erhalten. Diese Eigenschaften bilden die Grundlage bei der Erzeugung logischer Montagecluster und sind in einer möglichen Eingabematrix in Abbildung 5-2 aufgeführt. Die Reihenfolge der Kriterien zur Erzeugung der Montagecluster kann grundsätzlich variieren, eine für diese Arbeit genutzte Priorisierung der Kriterien wird in den Unterkapiteln 5.6 und 5.7 beschrieben. Die erzeugten Montagecluster können im Anschluss zur Ausplanung der Montagelinie berücksichtigt werden und gemäß der vorliegenden Einbaudauer auf die Montagetakete verteilt werden. Dabei werden die Montagecluster als eine Einheit gesehen und sollten bei der Verteilung der daraus resultierenden Arbeitsinhalte nur auf angrenzende Takte verteilt werden. Im idealen Fall ist eine Übertragung der Montagecluster auf mehrere Fahrzeugprojekte denkbar, sodass von standardisierten Montageclustern ausgegangen werden kann. Das beschriebene dreigliedrige Vorgehen ist in der folgenden Abbildung schematisch dargestellt.

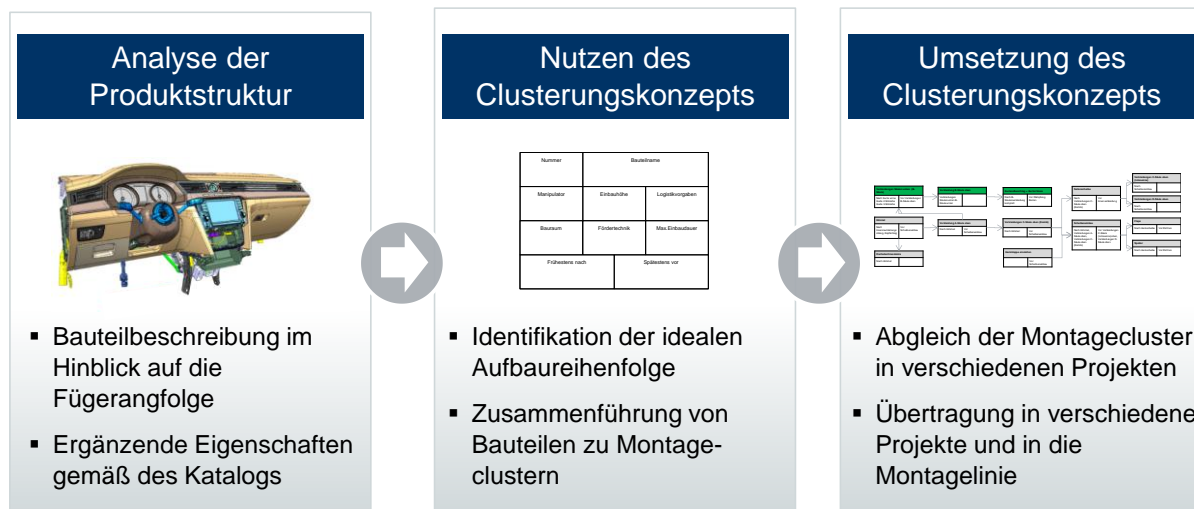


Abbildung 5-3: Die Vorgehensweise im Clusterungsmodell

Durch die bauteilspezifische Analyse eines Fahrzeugprojektes kann somit bereits frühzeitig im PEP mit der Kriterienbeschreibung begonnen werden, um eine stetige Weiterentwicklung und Detaillierung über den gesamten PEP zu ermöglichen. Bereits während der Entwicklung des Fahrzeuges können die ersten Geometrieformen, das Gewicht, aber auch bereits bekannte Informationen zu der Fügerangfolge des Bauteils angegeben werden. Durch diese frühzeitige Informationsbereitstellung und einer daraus resultierenden möglichen Montageabschätzung in frühen Phasen der Produktentstehung kann so Einfluss auf die Bauteilgestaltung zu Gunsten einer optimaleren Montage genommen werden. Dieses Grundprinzip lehnt sich dem Design for Manufacturing and Assembly an, bei dem während der Design- und Entwicklungsphase bereits die Einflüsse der späteren Produktion aktiv mit berücksichtigt werden [BOOT11]. Den größten Einfluss kann das Clusterungskonzept jedoch im Bereich der prozessbezogenen Kriterien und der Prozessplanung nehmen. Dabei wird aufgrund der in 4.2 beschriebenen und in Abbildung 5-2 zu sehenden prozessbezogenen Anforderungen eine logische Bauteilclusterung aufgrund gleicher Kriterien durchgeführt. Bei dieser Planung müssen neben den produktspezifischen Anforderungen zusätzliche standortspezifische Bedingungen wie die bestehende Fördertechnik, aber auch bereits bestehende Anlagen oder Einschränkungen bei der Materialbereitstellung mit einbezogen werden. Der Einfluss des Clusterungskonzeptes in diesem Bereich ist eher gering einzustufen, da diese Vorgaben bereits Bestand haben und kaum Möglichkeiten einer kostenneutralen Veränderung vorliegen.

Die folgende Abbildung zeigt den Einfluss des Clusterungskonzept anhand der drei Einflusskriterien Produkt, Prozess und Betriebsmittel auf. Zudem sind die betrachteten Einfluss- und Inputgrößen der jeweiligen Stufe sowie die zuständigen Geschäftsbereiche des Unternehmens dargestellt.

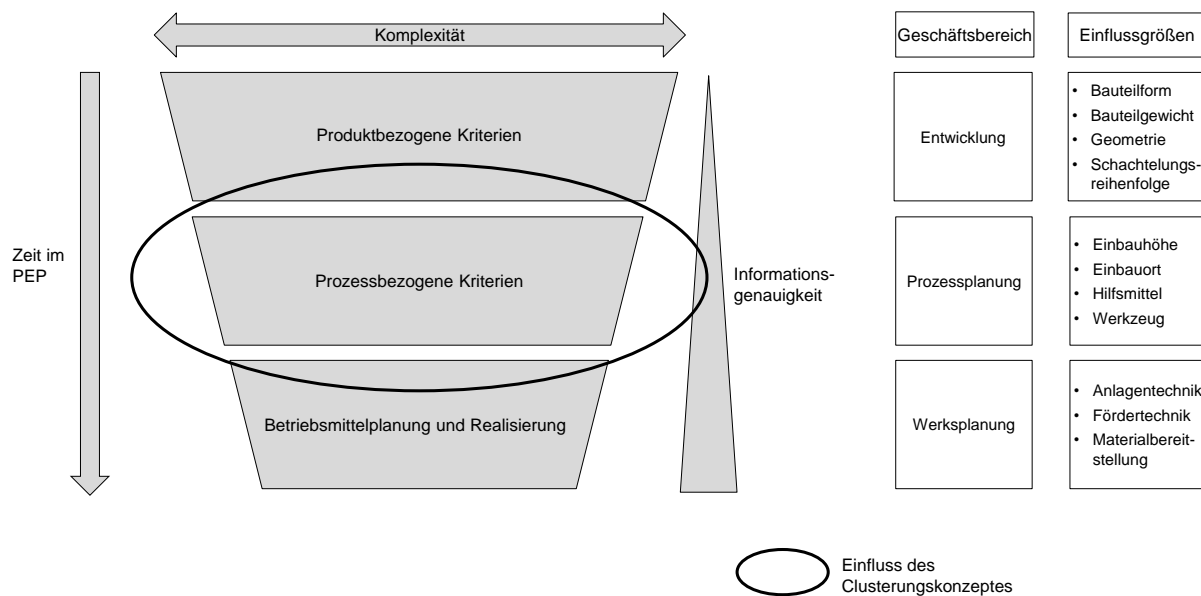


Abbildung 5-4: Der Einfluss des Clusterungskonzeptes

Durch die Clusterung besteht die Möglichkeit eine vereinfachte und nach gewissen Kriterien optimierte Vorplanung der Fahrzeugendmontage durchzuführen. Aktuelle Planungsmethoden sehen lediglich eine bauteilfokussierte Vorplanung der Fahrzeugendmontage vor, sodass immer Bauteil für Bauteil sukzessive eingeplant wird. Mit Hilfe der Clusterung besteht die Möglichkeit gleiche Teilefolgen und gleiche Werkzeuge oder gleiche Höhenkurven im Vorfeld zu berücksichtigen. So ist eine nach gewissen Kriterien optimierte Vorplanung möglich und es muss ausschließlich die konkrete Ausplanung der Arbeitsstationen erfolgen. Im Idealfall unterscheiden sich die produktspezifischen Eigenschaften zwischen den Fahrzeugprojekten ausschließlich in Größe und Gewicht des Bauteils, nicht aber in der Fügerangfolge, in der Positionierung oder im Handling. Wenn dies der Fall ist, ist eine Übertragung von Montagevorgängen von einem auf das andere Projekt möglich, sodass die Planungszeit je Projekt durch Nutzung von optimierten und standardisierten Montageprozessen reduziert werden kann.

5.3 Selektion der Bauteile

Laut Altemeier gibt es in der Fahrzeugendmontage zu den 25.000 Bauteilen mehr als 5.000 Arbeitsvorgänge mit insgesamt ca. 12,5 Millionen Beziehungen [ALTE09, S.37]. Da diese nicht alle auf einmal aufgenommen werden können, muss mit einer Systematik vom Groben ins Feine geplant werden.

Um eine systematische Erfassung der Bauteile zu ermöglichen, ist eine Selektion der Bauteile im Vorfeld unabdingbar. Hierfür werden zunächst alle Bauteile in die drei Kategorien A-, B-

und C-Bauteile untergliedert, wobei die Nomenklatur nicht der gängigen A,B,C-Analyse [vgl. Abschnitt 2.2.1] entspricht, sondern sich auf die in Abbildung 5-5 aufgeführten Rahmenbedingungen bezieht. Eine Übertragung der gängigen Nomenklatur ist nicht möglich, da die Auswirkungen eines Bauteils auf die Montage nicht immer im direkten Zusammenhang zu dem monetären Gegenwert des Bauteils stehen, sondern sich aufgrund des Einbauprozesses ergeben und damit die notwendigen Gesamtinvestitionen beeinflussen.

	A-Bauteil	B-Bauteil	C-Bauteil	Bemerkung
Zum Verbau wird eine ortsfeste Anlage benötigt	X			Zusätzlich werden investitionsträchtige Handheld-Geräte, z.B. für die Inbetriebnahme als „ortsfeste Anlage“ deklariert
Investitionsträchtig in Bezug auf den Manipulator oder das benötigte Werkzeug	X			
Auswirkung auf das Layout und den Vorranggraphen (keine Anlage / Manipulator)		X		
Direkter Bezug zu den A-Bauteilen		X		
Geringe Auswirkung auf das Layout und den Vorranggraphen			X	

Abbildung 5-5: Eine neue Definition von A-, B-, C-Bauteilen

Ein A-Bauteil ist demnach ein Bauteil, für dessen Einbau eine ortsfeste Anlage benötigt wird oder dessen Einbau nur mit einem investitionsträchtigen Manipulator erfolgen kann. Dies sind in der Regel die Hauptbetriebsmittel der Fahrzeugendmontage, also beispielsweise die Hochzeit, der Cockpiteinbau oder aber der Räderanbau. Zu den A-Bauteilen können auch noch die Prozessschritte Medienbefüllung und Inbetriebnahme der Steuergeräte gezählt werden, da für deren Durchführung die Anschaffung von investitionsträchtigen Anlagen oder einer Vielzahl von mobilen Programmiergeräten notwendig ist.

Kategorie B-Bauteile sind Bauteile, die entweder in direktem Zusammenhang zu den A-Bauteilen stehen oder aber aufgrund der Bauteilgröße Auswirkungen auf die Layoutgestaltung haben. Bauteile, die im direkten Zusammenhang zu den A-Bauteilen stehen, sind zum Beispiel die Säulenverkleidung der A-Säule, deren Montage erst nach dem Cockpiteinbau und vor dem Scheibeneinbau möglich ist, aber auch die Mittelkonsole, die zwischen Teppicheinbau und Sitzeinbau montiert werden muss. Bauteile, die aufgrund ihrer Größe Auswirkungen auf die Layoutgestaltung haben, sind zum Beispiel die Stoßfänger, aber auch die optionale Dachreling.

Zu den C-Bauteilen gehören die restlichen Bauteile, die nur eine geringe bis keine Auswirkung auf das Layout haben und in keinem Zusammenhang zu den A-Bauteilen stehen. Klassische C-Bauteile sind Halter, Stopfen und Dämmmaterialien.

Im Zentrum der Analyse stehen die A-Bauteile, da diese durch die Installation einer Anlage den größten Einfluss auf die Montagestruktur haben. Die A-Bauteile bilden somit die Monumente der Fahrzeugendmontage und sind bestimmend für die Auslegung von investitionsträchtigen Betriebsmitteln. Folglich sind diese Bauteile zuerst zu beschreiben und zu katalogisieren. Im Folgenden sollten zunächst die Kategorie B-Bauteile und dann die Kategorie C-Bauteile aufgenommen und beschrieben werden. Bei den B-Bauteilen sind zunächst diese zu beschreiben, die in einem direkten Zusammenhang zu den Kategorie A-Bauteilen stehen. Im Anschluss sind dann die weiteren B-Bauteile zu beschreiben, wobei die Kausalkette logisch fortgeführt werden sollte. Folglich sind als nächste Bauteile diese zu beschreiben, die in direkter Abhängigkeit zu den bereits beschriebenen B-Bauteilen stehen, um in einem letzten Schritt die restlichen B-Bauteile beschreiben zu können. Die Einbaudauer und die Auswirkungen auf die Montage sind bei den C-Bauteilen in der Regel eher gering, sodass diese bei der detaillierten Ausplanung der Arbeitsplätze zur idealen Auslastung eines Mitarbeiters genutzt werden können und keiner priorisierten Betrachtung im Rahmen dieser Arbeit unterliegen.

5.4 Parameter zur Montagevorranggraphenentwicklung

Bei der Vorranggraphenentwicklung wird zunächst die Fügerangfolge der Bauteile zu Grunde gelegt. Diese Eigenschaften lassen sich aus den Bedingungen jeden Bauteils hinsichtlich seines frühesten und spätesten Einbauzeitpunktes ableiten [vgl. Abbildung 5-2]. Bei den zu definierenden Einbauzeitpunkten kann es vorkommen, dass keine konkrete 1:1 Zuordnung stattfinden kann, sondern eine n:1 oder 1:n Zuordnung vorliegt.

Bei einer n:1 Beziehung hängt der Verbau eines Bauteils von „n“ anderen Bauteilen ab. Dieses Bauteil kann somit erst verbaut werden, wenn alle „n“ anderen Bauteile verbaut sind. Die graphische Darstellung der Fügerangfolge ist an dieser Stelle nach hinten geschlossen, wie in Abbildung 5-6 zu sehen ist.

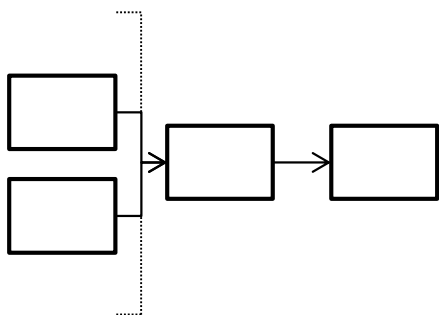


Abbildung 5-6: Die Fugerangfolge bei n:1 Beziehungen

Bei einer 1:n Zuordnung liegt genau der entgegengesetzte Fall vor. Es folgen auf ein Bauteil „n“ weitere Bauteile, somit entsteht ein nach hinten geöffneter Graph, wie die folgende Abbildung veranschaulicht.

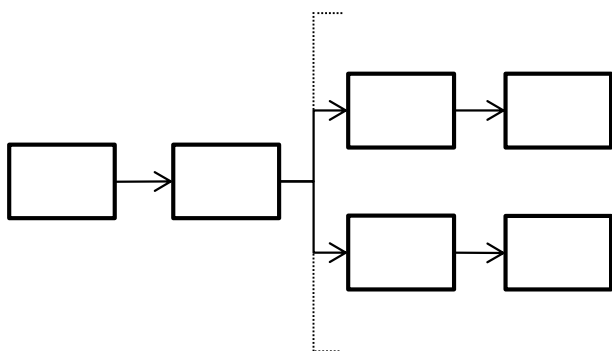


Abbildung 5-7: Die Fugerangfolge bei 1:n Beziehungen

Neben der Analyse, ob eine 1:1, eine 1:n oder eine n:1 Beziehung vorliegt, ist es notwendig die für den Verbau notwendigen Prozesse inklusive der Prozesszeit zu kennen. Insbesondere die Prozesszeit wird benötigt, um aus der Fugerangfolge einen Vorranggraphen mit den jeweiligen Teilumfängen zu erzeugen. Unter Beachtung der Montageprozesse ist es somit möglich den Vorranggraphen zu definieren, um so bei den geschlossenen Graphen den frühesten Beginn eines Montageprozesses ermitteln zu können. Dauert der Einbauprozess von Teil A beispielsweise doppelt so lange wie der bei Teil B, muss dies bei der Planung und dem Mapping berücksichtigt werden.

Neben den geöffneten und geschlossenen Graphen existieren auch oftmals Parallelprozesse im Vorranggraphen, also eine Kombination von geöffneten und geschlossenen Graphen.

Parallelprozesse entstehen, wenn ein Bauteil mehrere Bauteile oder Montageprozesse als Nachfolgeäste hat und diese sich nach einer Abfolge von Montageschritten bei einem einzigen Bauteil oder Montageprozess wieder treffen. In dem folgenden Beispiel sind im

oberen Pfad zwei und im unteren Pfad vier unterschiedliche Prozesse notwendig ehe ein weiteres Bauteil eingebaut werden kann. Ein praktischer Anwendungsfall im Rahmen der Fahrzeugendmontage könnte zum Beispiel die Verlegung des Kabelstrangs im Motorraum (oberer Pfad) und die Verlegung des Kabelstrangs im Innenraum (unterer Pfad) sein, die beide erst nach Verbau des Cockpits erfolgen können, jedoch vor der Hochzeit beendet sein müssen. Beide Bauteile/Montageschritte sind in unterschiedlichen Bauräumen des Fahrzeuges und können losgelöst voneinander betrachtet werden, jedoch verfügen beide über denselben Vorgänger und denselben Nachfolger. Durch die unterschiedlichen Bauräume und der Unabhängigkeit der Pfade untereinander können die darin enthaltenen Prozesse parallel und sogar ggfs. in derselben Station durchgeführt werden.

Der Vorranggraphenzweig eines Parallelprozesses der eine längere Prozesszeit aufweist, wird als kritischer Pfad bezeichnet, da von dessen Dauer die folgenden Prozesse abhängen. Somit ist für die Identifikation des kritischen Pfades das Wissen über die Montagezeiten je Bauteil besonders relevant.

In Abbildung 5-8 sind exemplarische Parallelprozesse und deren Verbaudauer aufgezeigt, aus der sich der kritische Pfad ergibt.

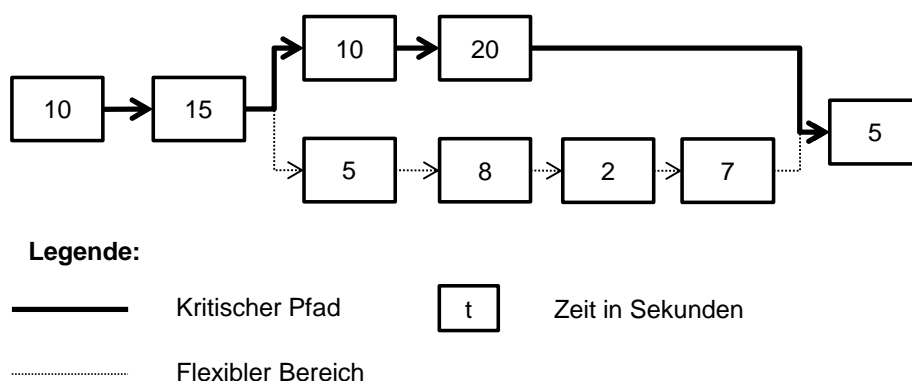


Abbildung 5-8: Exemplarisch aufgeführte Parallelprozesse im Vorranggraphen

Sobald die Fügerangfolge und die Prozesszeit von allen Bauteilen bekannt sind, kann zunächst der Vorranggraph und im Anschluss der kritische Pfad der gesamten Fahrzeugendmontage ermittelt werden. Der kritische Pfad beschreibt die mindestens benötigte Montagezeit für das Fahrzeug, sofern alle identifizierten Parallelprozesse auch parallel durchgeführt werden. In der Konsequenz kann auch die Mindestanzahl an Takten definiert werden, die von der jeweiligen Taktzeit der Montagelinie abhängt. Die Taktzeit beschreibt dabei die maximal zur Verfügung stehende Zeit in einer Montagestation, bis das Produkt die Station wieder verlässt. Dabei kann diese Taktzeit je nach Anordnungsform konstant sein (Linienform) oder aber sich bedarfsgerecht verändern (Werkstattfertigung). Sie wird stets am

Kundentakt orientiert, der die vom Kunden gewünschte Menge in das Verhältnis zur verfügbaren Arbeitszeit setzt.

$$Taktzeit = \frac{\text{Verfügbare Arbeitszeit pro Jahr}}{\text{Stückzahl pro Jahr}} \quad (\text{Gl. 1.1})$$

Laut REFA gilt folgende Definition der Taktzeit: „Taktzeit – auch Arbeitstakt oder Takt genannt- ist die Zeit in der jeweils eine Mengeneinheit fertig gestellt wird, damit das Fließsystem die Soll—Mengenleistung erbringt.“[REFA85, S.282] Diese Definition ist in der o.g. Gleichung 1.1 sehr gut erkennbar, da dort die Taktzeit auf Basis der gewünschten Stückzahl und der verfügbaren Arbeitszeit definiert wird.

Für die Berechnung der Taktanzahl entlang des kritischen Pfades wird folgende Gleichung zu Grunde gelegt, die die Montagezeit des kritischen Pfades in Verbindung zur Taktzeit stellt:

$$\text{Anzahl Takte (kritischer Pfad)} = \frac{\text{Montagezeit des kritischen Pfades}}{\text{Taktzeit}} \quad (\text{Gl. 1.2})$$

Bei der Ermittlung der idealen Anzahl Takte entlang des kritischen Pfades gibt es keine Begrenzung wie viele Mitarbeiter höchstens in einer Montagestation arbeiten dürfen. Durch die angenommene vollständige Parallelisierung von Tätigkeiten die nicht im kritischen Pfad enthalten sind, kann es dazu kommen das vier oder mehr Mitarbeiter in einer Montagestation arbeiten müssen. In der Praxis ist eine solche dichte Belegung in einer Montagestation oft nicht umsetzbar, da diese den Montageprozess behindern würde oder aber eine Bereitstellung des Materials nicht möglich ist. In Folge dessen werden in der Realität mehr Stationen benötigt als der kritische Pfad vorgibt. Diese werden über die gesamte Montagezeit des Fahrzeuges in der Endmontagelinie, der Taktzeit und der Anzahl an Mitarbeitern je Station bestimmt.

$$\text{Anzahl Takte (Gesamt)} = \frac{\text{Gesamte Montagezeit des Fahrzeuges in der Endmontage}}{\text{Taktzeit*Anzahl Mitarbeiter je Takt}} \quad (\text{Gl. 1.3})$$

Durch eine vorher definierte Anzahl an Mitarbeitern je Takt besteht die Möglichkeit die daraus resultierende Werkerdichte festzulegen und somit unter dem Fokus der prozesssicheren Durchführbarkeit die Anzahl der Takte einer Montagelinie zu definieren. Die Anzahl an Mitarbeitern je Takt schwankt in der Industrie zwischen zwei und drei im Durchschnitt. Aus der Anzahl benötigter Takte und der Länge eines Taktes lässt sich die Länge der Montagelinie bestimmen. Dabei ist zwischen der minimalen Länge (entlang des

kritischen Pfades) und der geplanten Länge (Gesamte Montagezeit des Fahrzeuges) zu unterscheiden.

$$\text{Länge der Montagelinie} = \text{Anzahl Takte (kritischer Pfad/Gesamt)} \times \text{Länge eines Taktes} \quad (\text{Gl. 1.4})$$

Nachdem nun die Anzahl der Montagetakte bekannt ist, kann basierend auf dem Vorranggraphen eine Montagereihenfolge erzeugt werden, die auf die zur Verfügung stehenden Montagestationen der Fahrzeugendmontage verteilt wird. Durch die im Vorranggraphen vorliegenden Parallelprozesse gibt es an einigen Stellen keine eindeutig vorgegebene Montagereihenfolge, sondern es gibt verschiedene mögliche Szenarien, die mit Hilfe der produkt- und prozessbezogenen Rahmenbedingungen optimal definiert werden können. Diese Möglichkeiten entstehen, da verschiedene parallele Äste Montageumfänge in einem Bauraum aufweisen können, diese jedoch in keiner Abhängigkeit zueinander stehen. Infolgedessen müssen beim Mapping diese Vorgänge in eine Reihenfolge gebracht werden, wie bereits in Abbildung 2-35 beschrieben wurde. Dabei können beispielsweise Parallelprozesse zwischen den Kategorie A-Bauteilen aber auch um diese herum entstehen, sodass eine Verteilung der B-Bauteile wahlweise vor oder nach dem A-Bauteil erfolgen kann. Zur Optimierung der Reihenfolge sollen die zu entwickelnden Montagecluster genutzt werden, deren optimale Ausplanung auf die produkt- und prozessbezogenen Parameter erfolgt und in dem folgenden Unterkapitel beschrieben wird. Eine erste exemplarische Verteilung auf die einzelnen Takte eines Teilbereiches der Fahrzeugendmontage ist in Abbildung 5-9 zu sehen.

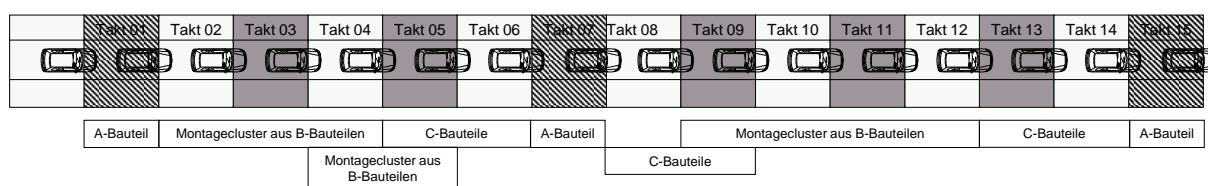


Abbildung 5-9: Eine Verteilung der A- und B-Bauteile in der Montagelinie [WEID15, S.228]

5.5 Möglichkeiten zur Bildung von Montageclustern

Der aufgestellte Vorranggraph bildet die Basis anhand dessen die Clusterung der Bauteilumfänge vorgenommen werden kann. Diese kann wie in Kapitel 4 beschrieben nach unterschiedlichen Kriterien durchgeführt werden. Dabei sind stets die je Bauteil zugeordneten prozessbezogenen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen.

Ein erstes Clusterungskriterium ist der in Abschnitt 4.2.1 beschriebene Einbauort, in dem das Bauteil montiert wird. Es könnten somit alle Bauteile, die eine physische Abhängigkeit aufweisen oder aber aufgrund der Lage im Vorranggraphen zur selben Zeit verbaut werden können und in dem gleichen Bauraum montiert werden in ein sogenanntes Bauraumcluster zusammengefasst werden. Sollte dieses Cluster noch zu groß ausfallen oder kein zielführendes Ergebnis beinhalten, besteht die Möglichkeit der weiteren Untergliederung der Bauräume analog Abbildung 4-3 in 15 Bauräume.

Aufgrund der unterschiedlichen Einbauhöhen kann dieses Cluster trotz der Montage im selben Bauraum zu unmöglichen oder ergonomisch ungünstigen Arbeitsprozessen kommen. Von daher empfiehlt es sich neben dem Bauraumcluster auch ein Höhencluster einzuführen. Mit Hilfe dieser beiden Cluster kann das in Abschnitt 4.2.2 beschriebene Gitternetz über das Fahrzeug gelegt werden und eine detaillierte Beschreibung des Einbauortes erfolgen. Dieses Gitternetz ist exemplarisch in Abbildung 5-10 dargestellt:

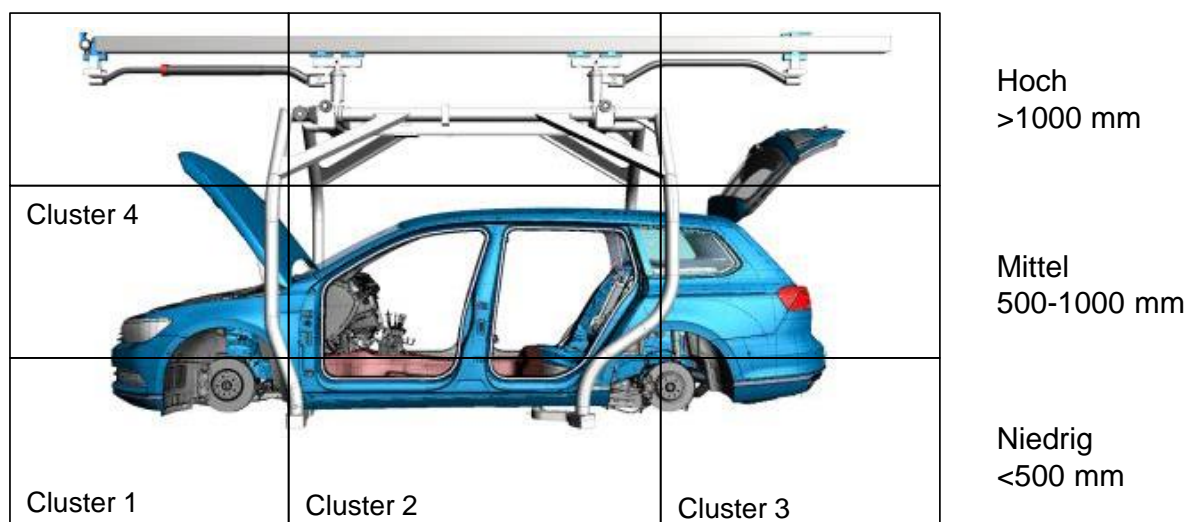


Abbildung 5-10: Das Gitternetz am Fahrzeug zur Erzeugung von Montageclustern

Dieses Gitternetz kann zusätzlich um montagerelevante Hilfsmittel oder Werkzeuge erweitert werden, es besteht aber auch die Möglichkeit ein rein auf Hilfsmittel / Werkzeuge basierendes Montagecluster zu erzeugen.

Insbesondere die singuläre Clusterung nach Werkzeugen oder Hilfsmitteln ermöglicht eine potenzielle Reduzierung von Investitionsaufwendungen bei der Beschaffung von neuen Werkzeugen bzw. Hilfsmitteln. Darüber hinaus können Werkzeug-/Hilfsmittel-Cluster unter Einfluss einer Konstruktionsänderung eine Reduzierung von Mehrfachbeschaffungen aufzeigen. Es könnte zum Beispiel durch konstruktive Änderungen am Fahrzeug oder am Bauteil die Lage von Verschraub-Punkten verändert werden, um so reine Verschraub-Takte

gewährleisten zu können. Hierdurch würden die Investitionen für Schraubtechnik auf das konstruktiv benötigte Minimum reduziert werden. Mögliche daraus resultierende Auswirkungen auf weitere Montagecluster müssten im Nachgang analysiert und gemäß der in Unterkapitel 5.7 beschriebenen Bewertungskriterien für die Montagecluster bewertet werden. Weitere Clusterungsmöglichkeiten ergeben sich aus den in Abschnitt 4.2.4 beschriebenen zusätzlichen Bauteilrestriktionen. Beispielsweise könnte zur Logistikoptimierung eine Clusterung und damit Bündelung der GLT-, KLT- oder JIS- / JIT-Umfänge erfolgen. Dabei hat insbesondere eine Bündelung von JIS- / JIT-Umfängen oder von Umfängen mit gleichen Wiederbeschaffungszeiträumen eine optimierte Anlieferung zur Folge, da Sequenzen mit gleichen Inhaltsvielfachen gebildet werden können und so die Anlieferung zyklisch und gebündelt erfolgen kann.

Die Abbildung 5-11 zeigt eine exemplarische Übersicht denkbarer Clusterungsmöglichkeiten, die je nach Anwendungsfall und Priorisierung in dem Unternehmen gewählt werden müssen.



Abbildung 5-11: Eine Übersicht über eine Auswahl von Clusterungsmöglichkeiten

5.6 Restriktionen bei der Clusterung

Neben den in Unterkapitel 5.5 beschriebenen Möglichkeiten zur Bildung von Montagecluster gibt es auch Restriktionen, die bei der Clusterung von Montageumfängen eingehalten werden müssen.

5.6.1 Restriktionen aufgrund bestehender Infrastruktur

Bei bestehenden Fabriken liegen bereits fest installierte Anlagen, die zum Verbau der Kategorie A-Bauteile verwendet werden, vor. Eine Flexibilität in Bezug auf die Verschiebbarkeit dieser Anlagen ist demnach nicht gegeben und muss bei der Verteilung der Montageinhalte berücksichtigt werden.

Eine Restriktion, die durch die bestehende Fördertechnik in einer Fabrik aufkommen kann, ist die Möglichkeit der Höhenflexibilität. Einige Fabriken sind mit Power-&-Free Anlagen ausgestattet, die ein unveränderbares Höhenprofil vorgegeben haben. Power-&-Free Anlagen sind Schleppkreisförderer, bei denen die Gehänge durch eine Mitnahmekette aufgenommen werden und dann durch den Montagebereich geschleppt werden. Der Höhenverlauf ist durch die Konstruktion der Gehängemitnahme festgelegt und im Gegensatz zu einer elektronischen Hängbahn nicht veränderbar. Der Höhenverlauf bei der Power-&-Free Anlage ist durch das Höhenprofil der Free-Schiene definiert, auf derer die Gehänge geschleppt werden. Eine EHB hingegen verfügt über eine eigene Höhenverstellung je Gehänge, sodass ohne Eingriff in die Schiene die Hubhöhe des Gehänges kurzfristig verändert werden kann. Folglich könnten Höhencluster einen größeren Montageinhalt aufweisen als durch die vorliegende Fördertechnik ableistbar ist. Demnach wäre dieses Cluster zwar in der Theorie denkbar, jedoch in der Praxis nicht umsetzbar. Die Abbildung 5-12 zeigt exemplarisch den Aufbau einer Power-&-Free Anlage.

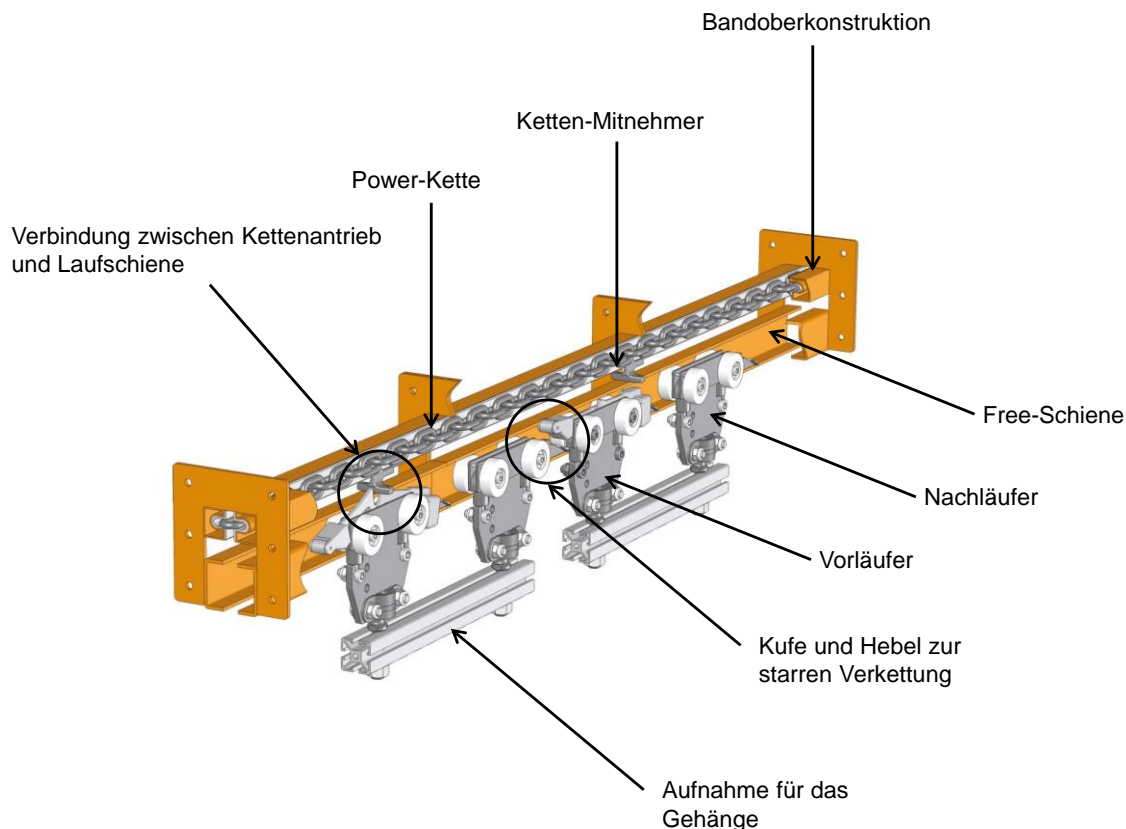


Abbildung 5-12: Der technische Aufbau einer Power-&-Free Anlage [COND16]

Eine weitere Restriktion kann auch der zur Verfügung stehende Platz im Materialanstellstreifen sein, der eine Kombination von mehreren voluminösen Bauteilen in einem Cluster erst durch kostenintensive Lösungen möglich macht. Weitere Einschränkungen aufgrund des Materialanstellstreifens könnten sich auf bauraumfokussierte Cluster auswirken, da bei ausschließlich einseitiger Materialbereitstellung eine Materialversorgung auf die nicht belieferbare Seite erschwert wird. Diese Auswirkungen können selten von vornherein berücksichtigt werden, sondern zeigen sich zumeist erst bei der Verteilung der Montagecluster auf die einzelnen Arbeitsplätze.

5.6.2 Restriktionen aufgrund prozessualer Vorgaben

Bei der Clusterung und der anschließenden Verteilung der Montagecluster auf die Arbeitsplätze ist auf die vorliegende Taktzeit des jeweiligen Werkes zu achten. Bei einer Taktzeit von z. B. 60 Sekunden und Umfängen in einem Montagecluster von z. B. 70 Sekunden ist eine Verteilung der Clusterungsumfänge auf zwei Arbeitsplätze notwendig. Diese Verteilung hat eine sehr geringe Auslastung eines Montagemitarbeiters zur Folge,

sodass über eine alternative Clusterungsmöglichkeit nachgedacht werden muss. Weiterführend können die geclusterten Bauteile im Sinne des Design for Manufacturing and Assembly überarbeitet werden, sodass eine Einhaltung der Taktzeit dennoch realisiert werden kann. Sollten beide Möglichkeiten keinen Erfolg bringen, sind dem Cluster bzw. dem Montagemitarbeiter weitere Tätigkeiten, beispielsweise C-Bauteile, hinzuzufügen, um eine höhere Mitarbeiterauslastung zu ermöglichen.

Neben den Auswirkungen der Taktzeit auf die Montagecluster können auch regionale Beschränkungen im Bereich der Sicherheit oder der Prozessbeschreibung relevante Auswirkungen auf die Gestaltung der Montagecluster haben. Beispielsweise müssen aufgrund bestehender Explosionsgefahr im Bereich der Betankung Gefährdungsbeurteilungen und Schutzmaßnahmen für die Mitarbeiter durchgeführt werden, die zu Einflüssen in der Montagegestaltung führen können. [BETR15] Im Bereich der prozessualen Restriktionen ist bei der Planung von Montagevorgängen nach der Medienbefüllung zu beachten, dass aufgrund der sich im Fahrzeug befindlichen Flüssigkeiten eine Neigung des Fahrzeuges nur in bestimmten Neigungsgrenzen möglich ist.

Weitere prozessuale Restriktionen beziehen sich auf den Umgang mit Hochvoltbauteilen, von denen eine erhöhte Gefährdung ausgehen kann. Diese sind wie bereits in Unterkapitel 4.1 beschrieben in dem Arbeitsschutzgesetz §§ 3+13 und der deutschen gesetzlichen Unfallversicherung 8686 (BGV A3 §§ 3+5 (BGI 8686)) abgebildet und sorgen dafür, dass bei gewissen Montageschritten analog der o. g. Gefährdungsbeurteilung nur eine Person am Fahrzeug arbeiten darf und diese spezielle Schulungen absolviert haben muss.

Da sich aufgrund der Restriktionen bei Clusterungskriterien einige Clusterungsmöglichkeiten gegenseitig ausschließen und so eine Priorisierung der einzelnen Clusterungskriterien erfolgen muss, werden in dem folgenden Unterkapitel die Clusterungsergebnisse auf ihren Nutzen hin bewertet, sodass eine Empfehlung der Rangfolge zur Erzeugung der Montagecluster erfolgen kann.

5.7 Bewertung der Clusterungsmöglichkeiten

Wie in den vorangegangenen Unterkapiteln beschrieben, gibt es eine Vielzahl an Clusterungsmöglichkeiten, aber auch an zu beachtenden Restriktionen. In diesem Unterkapitel sollen nun die daraus resultierenden Montagecluster bewertet, priorisiert und abschließend in einer Bewertungsmatrix dargestellt werden. Anhand der Bewertungsmatrix besteht die Möglichkeit ein für den jeweiligen Anwendungsfall optimales Montagecluster zu erhalten.

5.7.1 Bewertungskriterien

Als feste Rahmenbedingungen sind die konstruktiven Gegebenheiten des Produktes gesetzt, anhand derer die Montagereihenfolge und darauf aufbauend der Vorranggraph beschrieben werden kann. Die aus den einzelnen Kriterien [vgl. Abbildung 5-11] erzeugbaren Cluster können unterschiedliche Dimensionen hinsichtlich der Anzahl an Bauteilen in einem Cluster, der Montagezeit des Clusters oder aber der Anzahl an Bauräumen, die durch ein Cluster abgebildet werden, zur Folge haben. Jede Dimension und jede Clusterung hat unterschiedliche Auswirkungen auf die Montage, sodass ein Vergleich und eine damit verbundene Bewertung der entstandenen Montagecluster notwendig ist, um die ideale Herangehensweise zur Erstellung der Cluster zu identifizieren.

Hierfür werden verschiedene Bewertungskriterien eingeführt, die in dem folgenden Abschnitt priorisiert werden und auf deren Basis eine Bewertung der Clusterungsergebnisse durchgeführt wird.

Die Bewertungskriterien für die Cluster sind Verschiebbarkeit, Realisierbarkeit, Wirtschaftlichkeit und die Auswirkungen auf die Prozessplanung und werden im Folgenden erläutert.

Verschiebbarkeit:

Das Ziel der Clusterung ist eine Reduzierung der Komplexität in der Planung von Fahrzeugmontageprozessen unter Berücksichtigung der bauteilspezifischen Eigenschaften. Dabei sind neben dem Produkt auch die örtlichen Produktionsgegebenheiten mit in die Analyse einzubeziehen, sodass es zu zusätzlichen Einschränkungen bei der Einplanung von Montageprozessen kommen kann. Infolgedessen müssen die Montagecluster möglichst flexibel in der Montage verschiebbar sein, um eine optimale Verteilung unter Berücksichtigung der produkt- aber auch produktionsspezifischen Gegebenheiten zu ermöglichen. Die Verschiebbarkeit eines Montageclusters hängt von zwei verschiedenen Parametern ab. Dies ist zum einen die Anzahl an Bauteilen je Cluster, da diese mit der dafür notwendigen Materialbereitstellungsfläche korreliert und zum anderen ist es die Montagedauer die der Montageprozess des Bauteils mit sich bringt. Bei der idealen Größe eines Montageclusters sind demnach diese beiden Eigenschaften zu berücksichtigen, um flexible Einplanung des Montageclusters zu gewährleisten. Je größer die Anzahl der Bauteile in einem Montagecluster ausfällt, desto komplizierter wird die Materialbereitstellung und infolgedessen auch eine mögliche Realisierbarkeit (vgl. folgendes Kriterium). Bei einem großen Montagezeitanteil in einem Montagecluster ist eine Verschiebung und damit eine optimale Verteilung von Montageinhalten in der Montagelinie nicht mehr gegeben. Daher ist die ideale Größe eines

anzustellen. Somit wäre dieses Clusterungskriterium für das vorliegende Projekt in dem Werk nicht umsetzbar, obwohl eine gewisse Verschiebbarkeit vorhanden ist. Gleiches gilt auch für Höhencluster, die aufgrund von bestehender Fördertechnik, z. B. den o. g. Power-&-Free-Anlagen, so nicht umsetzbar sind.

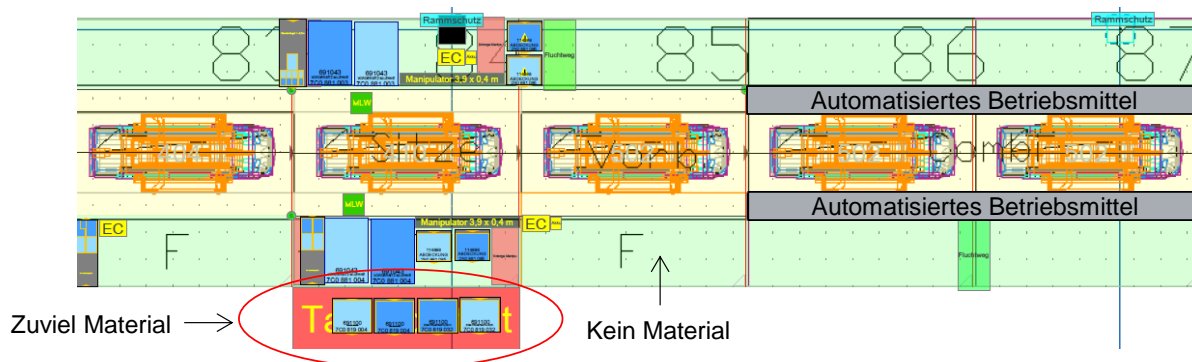


Abbildung 5-14: Schwierigkeiten bei der Materialanstellung

Wirtschaftlichkeit:

Ein weiteres wichtiges Kriterium zur Bewertung der Montagecluster sind die wirtschaftlichen Effekte, die auf die Clusterung entfallen. Hierzu zählen mehrere Parameter, die einen direkten und einen indirekten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung haben.

Der direkte Einfluss sind die Abhängigkeiten, die sich unmittelbar aus der Clusterung ergeben, wie zum Beispiel die aus den Clustern resultierenden Hubbewegungen der Fördertechnik. Je mehr nennenswerte Hubbewegungen zwischen zwei Takten vorliegen, desto mehr Fahrzeiten sind in den Takten vorzuhalten und desto geringer fällt die nutzbare Zeit je Takt aus. Nennenswerte Hubbewegungen sind Höhendifferenzen von ca. 50cm und mehr zwischen zwei Takten, sodass für die Fahrzeit zwischen der Ausgangshöhe und der gewünschten finalen Höhe aus Sicherheitsgründen keine Arbeiten am Fahrzeug durchgeführt werden können und sich daher die zur Verfügung stehende nutzbare Montagezeit im Takt reduziert. Bei kleineren Höhendifferenzen hingegen kann während der durchgeführten Hubbewegung am Fahrzeug gearbeitet werden, sodass diese zunächst von keinem Interesse sind.

Ein weiterer direkter Einfluss durch Montagecluster kann in den Investitionen verzeichnet werden. Clusterungen können, wie bereits beschrieben, die Mehrfachverwendung von Werkzeugen oder Hilfsmitteln zur Folge haben, sodass Erstinvestitionen eingespart werden können und zusätzlich die laufenden Kosten reduziert werden.

Einen indirekten Einfluss können die Cluster auf die Dimensionierung der Montagelinie haben. Unter Umständen kann durch die Clusterung und damit die Einplanung der Bauteile in

die Montage selbige in der Länge eingekürzt werden, da eine effizientere Anordnung der Bauteile ermöglicht wird. Sofern es sich um eine neue Fabrik handelt, ist somit eine Reduzierung der zu installierenden Takte denkbar. Bei bestehenden Fabriken kann eine Kürzung der Montagelinie um entstehende Leertakte in Betracht gezogen werden, um so die laufenden Kosten im Betrieb und die Durchlaufzeit des Fahrzeuges zu reduzieren. Die Durchlaufzeit beschreibt die Zeitspanne zwischen Einlauf der lackierten Karosserie in die Montage und dem letzten Montageprozess, sodass das Fahrzeug im Anschluss daran die Produktion verlassen kann.

Planungsthemen:

Neben den bereits genannten Effekten zieht die Clusterung von Montageumfängen auch Konsequenzen in der projektspezifischen und projektübergreifenden Planung nach sich. Beispielsweise ermöglicht die Clusterung eine reduzierte Planungszeit für die Feinplanung der Arbeitsplätze, da bereits eine grobe Vorplanung und Verteilung von Bauteilen auf bestimmte Arbeitsplätze nach vorher definierten Kriterien vorliegt. Da die grobe Vorplanung schon zu einer früheren Phase im PEP erfolgt ist, kann analog der Ausführungen aus Unterkapitel 5.2 eine effizientere Detailplanung erfolgen. Zudem besteht die Möglichkeit bei fest definierten, standardisierten Clustern bereits ideal geplante Prozesse für die Montagemitarbeiter auf andere Standorte oder in andere Projekte zu überführen, um so Synergieeffekte heben zu können.

Unter Berücksichtigung der standortspezifischen Taktzeit und der Einbaudauer des Montageclusters kann eine erste Einschätzung zur Auslastung des Clusters und folglich des Mitarbeiters durchgeführt werden.

Durch die definierte Einbaudauer je Montagecluster sowie der konkreten Beschreibung des Einbauortes über das Koordinatennetz des Fahrzeuges während des Einbauzustandes und der zur Verfügung stehenden Hilfsmittel / Werkzeuge ist auch eine erste frühzeitige Abschätzung des Clusters in Bezug auf die ergonomische Belastung für den Mitarbeiter möglich.

Eine Übersicht über die Bewertungskriterien und die jeweiligen Ausprägungen des Bewertungskriteriums ist der folgenden Abbildung zu entnehmen.

Bewertungskriterium	Kennzahl	Messgröße	Beschreibung
Verschiebbarkeit	Anzahl Bauteile	Anzahl	Anzahl der Bauteile die in das Cluster aufgenommen werden
	Montagezeit	Minuten	Gesamte Montagezeit der im Cluster vorliegenden Bauteile
Realisierbarkeit	Anzahl großer Bauteile	Anzahl	Summe der Bauteile bei denen eine Seitenlänge mind. 1 Meter aufweist
	Anstellungskonzept	Ja / Nein	Auswirkungen aufgrund eines gesonderten Anstellungskonzeptes
Wirtschaftlichkeit	Hubbewegungen	Anzahl + Meter	Summe der Hubbewegungen die aufgrund der Clusterung entstehen
	Erstinvestition durch Hilfsmittel / Werkzeug	Euro	Summe der Erstinvestitionen die durch das Montagecluster entstanden sind
	Länge Montagelinie	Fläche	Gesamte Länge der Montagelinie
Planungsthemen	Reduzierung Planungszeit durch Mehrfachverwendung des Clusters	Ja / Nein	Bei einer Übertragbarkeit des Clusters in ein weiteres Fahrzeugprojekt kann die notwendige Planungszeit eingespart werden
	Auslastung je Cluster	Prozent	Auslastung unter Zuhilfenahme der vorliegenden Taktzeit
	Ergonomie Tendenz	Ergonomie Punkte nach dem EAWS-Verfahren	Ergonomische Früh-Bewertung des Montageclusters

Abbildung 5-15: Eine Übersicht der Bewertungskriterien

5.7.2 Priorisierung der Kriterien

Zur Priorisierung der Bewertungskriterien wird auf Basis der in Abbildung 5-15 aufgeführten Bewertungskriterien ein paarweiser Vergleich durchgeführt. Dabei werden in einer Matrix alle Kennzahlen direkt miteinander verglichen, wobei die in der Zeile stehende Kennzahl die Basis bildet und die Spaltenkennzahl dagegen gemessen wird. Wenn das Zeilenkriterium höher gewichtet ist, wird in die Kreuztabelle eine „1“ eingetragen. Ist das Spaltenkriterium hingegen priorisiert, wird in die Zelle eine „0“ eingetragen. Aus der Summe der jeweiligen Zellenwerte einer Zeile ergibt sich die Gesamtpriorisierung des Kriteriums. Der Wert kann aufgrund der zehn gewählten Kriterien und dem Ausschluss des Eigenvergleichs bei maximal neun liegen. Demnach ist die Relevanz eines Kriteriums anhand der Höhe der Summe zu messen.

Bewertungs-kriterium	Verschiebbarkeit		Realisierbarkeit		Wirtschaftlichkeit			Planungsthemen			Ergebnis		
	Anzahl Bauteile	Montagezeit	Anzahl großer Bauteile	Anstellungs-konzept	Hub-bewegungen	Erst-investition durch Hilfsmittel/ Werkzeug	Länge der Montagelinie	Reduzierung Planungszeit durch Mehrfach-verwendung des Clusters	Auslastung je Cluster	Ergonomie Tendenz	Summe	Summe des Bewertungskriteriums	Durchschnitt des Bewertungskriteriums
Verschiebbarkeit	Anzahl Bauteile	X	0	1	1	0	0	0	0	1	4	9	4,5
	Montagezeit	1	X	1	1	0	0	0	0	1	5		
Realisierbarkeit	Anzahl großer Bauteile	0	0	X	1	0	0	0	0	0	2	4	2
	Anstellungs-konzept	0	0	0	X	1	0	0	0	1	2		
Wirtschaftlichkeit	Hubbewegungen	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0	13	4,33
	Erstinvestition durch Hilfsmittel/ Werkzeug	1	1	1	1	1	X	0	0	1	6		
Planungsthemen	Länge der Montagelinie	1	1	1	1	1	X	0	0	1	7	19	6,33
	Reduzierung Planungszeit durch Mehrfach-verwendung des Clusters	1	1	1	1	1	1	X	1	1	9		
Ergonomie Tendenz	Auslastung je Cluster	1	1	1	1	1	1	0	X	1	8	2	X
	Ergonomie Tendenz	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2		

Abbildung 5-16: Die Priorisierung der Bewertungskriterien

Aus dem durchgeführten paarweisen Vergleich ergibt sich, dass das Kriterium „*Reduzierung Planungszeit durch Mehrfachverwendung*“ die höchste Priorität hat und mit dem Kriterium „*Auslastung je Cluster*“ den Ausschlag bei der Clusterbildung geben sollte. Diese beiden Kriterien verfolgen das Ziel einer idealen Ausplanung der Fahrzeugendmontage bei gleichzeitiger Reduzierung einzusetzender Planungskapazitäten. Insbesondere eine Übertragung eines Montageclusters von einem Projekt auf das nächste kann die Planungszeit reduzieren und so die Komplexität in der Planung reduzieren. Bei einer gleichzeitig hohen Auslastung der Arbeitsplätze innerhalb des Montageclusters kann das Ziel einer idealen und effizienten Montage verfolgt werden. Vor diesem Hintergrund sind diese beiden Kriterien die wichtigsten für eine Umsetzung des idealen Montageclusters.

Weitere priorisierte Kriterien auf Basis des paarweisen Vergleichs sind die „*Länge der Montagelinie*“ und „*Erstinvestition durch Hilfsmittel*“. Diese beiden Kriterien zielen stark auf die Reduzierung von Investitionen ab und sind daher für einen im gesamtheitlich wirtschaftlichen Kontext von hoher Relevanz. Bei einer Verlängerung der Montagelinie durch die Erzeugung von Montageclustern wären zusätzliche Investitionen notwendig, sofern die Verlängerung aufgrund der örtlichen Gegebenheiten überhaupt realisiert werden kann. Zudem erhöht sich bei einer Linienverlängerung die Durchlaufzeit, wodurch eine höhere Kapitalbindung, aber auch eine geringe Reaktionsfähigkeit bei Änderungen vorliegt. Demgegenüber steht als investitionsreduzierendes Kriterium die Bündelung von Hilfsmitteln in einem Montagecluster. Kann durch eine intelligente Clusterung die Beschaffung zusätzlicher oder redundanter Hilfsmittel vermieden werden, sinken die Erstinvestitionen und die Montageprozesse können bei einem Hilfsmittel gebündelt werden.

Bei der Priorisierung ergibt sich für die beiden Kriterien „*Anzahl Teile*“ und „*Montagezeit*“ eine eher durchschnittliche Bedeutung. Dies hängt damit zusammen, dass die Auslastung eines Clusters als wichtiger angesehen wird als die sich darin befindliche Anzahl der Teil oder die Montagezeit. Zwar bilden die Anzahl der Teile und auch die Montagezeit die Grundlage für die Auslastung je Arbeitsplatz, jedoch lässt sich durch die Erzeugung eines Clusters weder die Anzahl der Teile insgesamt noch die Montagezeit verändern. Es kann durch eine gute Kombination der Input-Größen eine Erhöhung der Auslastung erzielt werden, die wiederum für eine wirtschaftliche Auslegung der Montagelinie notwendig ist.

Der Einfluss einer „*Ergonomie Tendenz*“, aber auch die „*Anzahl großer Bauteile*“ sowie das „*Anstellungskonzept*“ spielen bei der Gestaltung der Cluster eine untergeordnete Rolle. Diese drei Kenngrößen wurden bei der Priorisierung als Randbedingungen identifiziert. Die demographische Entwicklung, aber auch Studien der Arbeitsmedizin zeigen immer mehr die

Relevanz von ergonomisch gut ausgestalteten Arbeitsplätzen auf. Jedoch kann durch die Clusterbildung keine Ergonomieanalyse ersetzt werden oder aber eine Vermeidung von ergonomisch ungünstigen Arbeitsplätzen entstehen. Die Anzahl der großen Bauteile die eine Auswirkung auf die Montagecluster haben, sind in dem vorliegenden Fall der Fahrzeugendmontage als gering einzustufen, sodass auch dieses Kriterium einen geringen Stellenwert verzeichnet. Die Auswirkungen eines Montageclusters auf das Anstellungskonzept können im Vergleich zu den anderen Kriterien vernachlässigt werden, da sich die Auswirkungen mit geänderten Behälterkonzepten oder aber geänderte Bereitstellsequenzen reduzieren lassen. Diese Auswirkungen sind im Vergleich zu einer verminderten Durchlaufzeit oder aber einer verminderten Auslastung als sehr gering einzustufen.

Die Anzahl der „*Hubbewegungen*“ spielt, trotz der aus häufigen Höhenwechseln entstehenden Einschränkungen, keine Rolle bei der Clusterung der Montageumfänge. Dies hängt mit der geringen Anzahl an Bauteilen zusammen die sich in den extremen Bereichen der Höhenkurven (bspw. Unterbodentätigkeiten oder Montageprozesse auf dem Dach) befinden. Aufgrund dieser Mengen- und Montagezeitverhältnisse der extremen Bauteile spielt das Höhencluster nur eine untergeordnete Rolle bei der Priorisierung von Montageclustern. Zudem liegt an einigen Standorten die beschriebene Power-&-Free-Technik vor, sodass eine Verteilung dieser Tätigkeiten bereits im Vorfeld vorgegeben ist und entstehende Höhencluster bereits vorgegeben sind.

Auf Basis der Einzelbewertungen kann auch eine Bewertung für die vier Hauptkriterien abgegeben werden. Aufgrund der unterschiedlichen Anzahl an Einzelkriterien je Hauptkriterium werden die bewerteten Ergebnisse normiert, sodass sich folgende Rangfolge ergibt:

1. Planungsthemen
2. Verschiebbarkeit
3. Wirtschaftlichkeit
4. Realisierbarkeit

Dass das Hauptkriterium „*Planungsthemen*“ den Schwerpunkt bei der Erzeugung von Clustern bildet, erscheint aufgrund der Einzelwertung logisch. Die beiden Kriterien „*Reduzierung Planungszeit durch Mehrfachverwendung*“ und „*Auslastung je Cluster*“ bilden wie bereits beschrieben die wichtigsten Kriterien zur Erzeugung eines Montageclusters. Das jedoch die „*Verschiebbarkeit*“ vor der „*Wirtschaftlichkeit*“ angeordnet wird, ist aufgrund der

Einzelergebnisse zunächst verwunderlich. Dies hängt sowohl mit dem sehr schlechten Abschneiden des Kriteriums „*Hubbewegungen*“ als auch der Tatsache zusammen, dass das Hauptkriterium „*Verschiebbarkeit*“ nur zwei Kriterien aufweist und das Hauptkriterium „*Wirtschaftlichkeit*“ drei Kriterien unter sich vereint. Die Mischung aus den drei Kriterien und dem schlechten Abschneiden der „*Hubbewegungen*“ lässt das Hauptkriterium „*Wirtschaftlichkeit*“ in der Gesamtbewertung schlechter dastehen, als das Kriterium „*Verschiebbarkeit*“. Das Hauptkriterium „*Realisierbarkeit*“ spielt in der Gesamtbewertung wie in den Einzelbewertungen nur eine untergeordnete Rolle, da die Auswirkungen von Montagecluster auf das Anstellungskonzept als gering eingestuft werden und die Anzahl großer Bauteile in der Fahrzeugendmontage eine untergeordnete Rolle spielt.

Aus der ermittelten Priorisierung der Kriterien ergibt sich eine Differenz bei der Betrachtung der Einzelkriterien und der gruppierten Kriterien. Dies ist insbesondere bei dem Kriterium „*Wirtschaftlichkeit*“ zu sehen, bei dem die beiden Unterkriterien „*Länge der Montagelinie*“ und „*Erstinvestition durch Hilfsmittel*“ eine bedeutende Rolle einnehmen, hingegen das Kriterium „*Hubbewegungen*“ keine Beachtung findet und so die Gesamtbewertung des Kriteriums „*Wirtschaftlichkeit*“ stark negativ beeinflusst. Vor diesem Hintergrund erscheint eine Betrachtung der einzelnen Kriterien im Vergleich zu einer aggregierten Betrachtung sinnvoller. Dies hängt vor allem mit der geringen Kriterienanzahl je Hauptkriterium zusammen, wodurch der Einfluss eines Kriteriums auf die zusammenfassende Darstellung großen Einfluss nimmt und diese somit verfälschen kann.

Für die Erstellung und Bewertung eines Montageclusters sind demnach folgende Kriterien in absteigender Reihenfolge wichtig:

1. Reduzierung Planungszeit durch Mehrfachverwendung des Cluster
2. Auslastung je Cluster
3. Länge der Montagelinie
4. Erstinvestition durch Hilfsmittel / Werkzeug
5. Anzahl Bauteile je Cluster
6. Montagezeit
7. Ergonomie Tendenz
8. Anzahl großer Bauteile
9. Anstellungskonzept
10. Hubbewegungen

5.8 Fazit

In diesem Kapitel wurde auf Basis der Anforderungen ein Clusterungskonzept zur Komplexitätsreduzierung in der Fahrzeugendmontageplanung entworfen. Dabei wurden zunächst aus den vorher gestellten Anforderungen Prämissen und Eingangsgrößen für das Clusterungskonzept abgeleitet, um eine praktische Umsetzbarkeit des Konzeptes zu ermöglichen (vgl. Unterkapitel 5.1). Darauf aufbauend wurde der Einfluss des Clusterungskonzeptes sowie dessen Vorgehensweise beschrieben, welche auf einer kriterienbezogenen Bauteilbeschreibung eines Fahrzeugprojektes beruht. Dieser Kriterienkatalog ermöglicht es unter Berücksichtigung der Aufbaureihenfolge Bauteile mit gleichen Eigenschaften in logische Montagecluster zu überführen. Für eine effiziente Bauteilauswahl in einem Fahrzeugprojekt wurde in Unterkapitel 5.3 eine Selektion der Bauteile anhand einer Einteilung in Kategorie A-, B- und C-Bauteile beschrieben. Auf Basis der je Bauteil definierten Fügerangfolge ist es möglich einen für das Fahrzeugprojekt gültigen Vorranggraphen zu beschreiben und diesen als erweiterte Eingangsgröße für die folgende Clusterung zu nutzen. Die Erzeugung der Montagecluster ist nach verschiedenen produkt- und prozessbezogenen Rahmenbedingungen möglich, wie in Unterkapitel 5.5 beschrieben wurde. Dabei unterliegt eine Clusterung gewissen Restriktionen, die sich aus den Montageprozessen, aber auch der bestehenden Infrastruktur und den generellen Rahmenbedingungen des Standortes ergeben. Nach der Erzeugung der Montagecluster und einem Abgleich dieser mit den übergreifenden Restriktionen können die verbliebenen Montagecluster einer Bewertung und Priorisierung unterzogen werden. Durch die unterschiedliche Herangehensweise bei der Clusterung ist es möglich, dass sich gegeneinander ausschließende Montagecluster ergeben. Diese sind gemäß der in Unterkapitel 5.7 durchgeführten Priorisierung gegeneinander abzuwägen und das höher priorisierte Cluster ist entsprechend vorzuziehen.

Dieses Vorgehen unterscheidet sich von den anderen Konzepten zur Reduzierung der Komplexität, da es einen starken Fokus auf die Kombination der verschiedenen bauteil- und prozessbezogenen Eigenschaften der Fahrzeugendmontage legt und keine singuläre Betrachtung durchführt. Die bisher veröffentlichten produktseitigen Maßnahmen zur Reduzierung der Komplexität beziehen sich lediglich auf das Produkt und eine größtmögliche Übertragung von Gleichteilen von einem Produkt in das nächste. Dabei werden entweder Plattformen entwickelt, die von verschiedenen Produkten gleichermaßen genutzt werden können. Es können aber auch Module erzeugt werden, die in sich geschlossen sind und so in die unterschiedlichsten Produkte übertragen werden können. Zudem kann über eine festgelegte Anzahl und Ausprägung an Bauteilen in Form eines Baukastens eine vordefinierte Zahl an Kombinationsmöglichkeiten und damit auch die Höhe der Komplexität bestimmt werden. Bei den prozessbezogenen Maßnahmen zur Reduzierung der Komplexität werden vorrangig die Bauteilverbindungen betrachtet. Es wird dabei entweder von der Verbindung

eines Bauteils zum nächsten im Form des Vorranggraphen bzw. der Montagereihenfolge ausgegangen oder aber es wird eine standardisierte Reihenfolge von Bauteilen definiert. Dabei werden aber in keiner Form weitere Rahmenbedingungen des Montageprozesses wie die Einbauhöhe, der Bauraum, definiert und es findet auch keine Einbeziehung der Betriebsmittel statt.

Das hier vorgestellte Clusterungskonzept ist ein ganzheitlicher Ansatz beginnend von der Produktanalyse über den Montageprozess bis hin zum Betriebsmittel, der unter Einbeziehung aller Eigenschaften eine optimale Vorplanung einer Montagelinie ermöglichen soll. Das Konzept beginnt mit der systematischen Auswahl von montagerelevanten Bauteilen unter Berücksichtigung der Aufbaureihenfolge. Geht dann über in die Aufnahme der montageprozessrelevanten Eigenschaften, woraufhin eine ideale Abfolge definiert und schlussendlich daraufhin geclustert werden kann. Bei einem Abgleich der Clusterung in verschiedenen Projekten und der Identifikation gleicher Montagecluster, können diese als Standardcluster definiert und bereits im Vorfeld für jedes Projekt festgelegt werden. Somit können analog zu den Modulen oder Plattformen auch ganze Montagecluster mit definierten und geplanten Prozessen und Betriebsmitteln übertragen werden. Infolgedessen kann die Komplexität des Planungsprozesses und die damit verbundene Planungszeit reduziert werden. Die folgende Abbildung fasst das Kapitel und das Vorgehen des Konzeptes zur Veranschaulichung zusammen.

6 Validierung der Methode

Nachdem in Kapitel 5 die Methode zur Erzeugung von Montageclustern beschrieben wurde, wird in dem folgenden Kapitel diese Methode an mehreren Realbeispielen validiert. Dabei wird zunächst das Vorgehen analog der in Kapitel 5 beschriebenen Schritte kurz aufgezeigt, um dann die praktischen Anwendungsfälle zu skizzieren. Im Anschluss erfolgt eine Bewertung der Clusterungsmöglichkeiten in den Anwendungsfällen sowie des Clusterungsansatzes im Allgemeinen. Daran angrenzend wird eine softwareseitige Umsetzung des Clusterungskonzept sowie eine dazugehörige prototypische Umsetzungsmöglichkeit skizziert. Das Kapitel schließt mit einem Fazit, in dem der praktische Anwendungsfall final zusammengefasst wird.

6.1 Vorgehen

Zur Validierung der Methode wurden drei Fahrzeugprojekte ausgewählt, um einen Vergleich der projektspezifischen Cluster zu ermöglichen und so die Übertragbarkeit der Methode auf unterschiedlichste Anwendungsfälle zu überprüfen. Wie bereits in Kapitel 2 beschrieben, ist die Nutzung von Synergieeffekten in der Fahrzeugendmontage durch eine konsequent umgesetzte Gleichteilstrategie bei den Fahrzeugmodellen auf Basis der Baukastensystematik am größten. Vor diesem Hintergrund fokussiert sich die Auswahl der Fahrzeugprojekte auf Modelle, die der Baukastensystematik unterliegen und somit den aktuellsten Entwicklungsstand wiedergeben. Dadurch können auch projektübergreifende Gleichteile bei der Clusterung mitbetrachtet werden und so deren Auswirkungen auf die Erzeugung von Montageclustern besser beurteilt werden.

Nachdem die Auswahl auf die drei zu betrachtenden Fahrzeugprojekte gefallen ist, müssen die zu montierenden Bauteile gemäß der Definition aus Unterkapitel 5.3 nach A-; B-; C-Bauteil klassifiziert werden. Dabei werden zunächst die Kategorie A-Bauteile definiert und deren Abhängigkeiten zueinander beschrieben, um einen Überblick über die Bauteile mit den größten, teilweise auch strukturell bedingten Auswirkungen zu haben. Darauf aufbauend ist es möglich die Kategorie B-Bauteile festzulegen, wobei gemäß Unterkapitel 5.3 zunächst die B-Bauteile beschrieben werden können, die in direkter Abhängigkeit zu den Kategorie A-Bauteilen stehen. Erst danach ist eine Definition der restlichen Kategorie B-Bauteile möglich. Die bis dahin nicht betrachteten Bauteile sind Bauteile der Kategorie C, die in diesem Fall zunächst nicht in das Modell einfließen werden, sondern für die finale Linienastaktung genutzt werden sollen.

In dem folgenden Schritt sind die in Kapitel 4 beschriebenen prozessbezogenen Restriktionen je Bauteil zu definieren und aufzuführen. In diesem Schritt erfolgt zunächst eine

Beschreibung der Kategorie A-Bauteile. Die Reihenfolge der weiteren Bauteilbeschreibungen ist analog dem Vorgehen zur Identifikation der B-Bauteile zu sehen, wobei zunächst die B-Bauteile mit Informationen versehen werden, die in einem direkten Zusammenhang zu Kategorie A-Bauteilen stehen. Erst dann können die Informationen für die restlichen B-Bauteile beschrieben und zugewiesen werden. Eine Analyse der C-Bauteile entfällt für diesen Validierungsfall, kann jedoch grundsätzlich jederzeit nachgeholt werden.

Kategorie	Bauteilname	
A	Cockpit-Einbau	
Manipulator	Einbauhöhe	Logistikvorgaben
Ja	niedrig	JIS
Bauraum	Fördertechnik	Max. Einbaudauer
Vorne	Skid oder EHB	120 Sekunden
Frühestens nach		Spätestens vor
Motorraumleitungsstrang		Innenraumleitungsstrang

Abbildung 6-1: Eine exemplarisch ausgefüllte Eingabematrix am Beispiel des Cockpit-Einbaus

Als letzter Schritt werden bekannte Betriebsmittelrestriktionen an die jeweiligen Bauteile angefügt, sodass alle vorliegenden Informationen hinsichtlich des Produktes, des Prozesses und des Betriebsmittels den Bauteilen zugeordnet werden.

Dieses Vorgehen ist für jedes Fahrzeugprojekt systematisch und separat anzuwenden. Die Erzeugung der Montagecluster erfolgt nach den drei Haupteinflussgrößen des Prozesses, sodass zunächst nach dem Bauraum, dann nach der Einbauhöhe und als letzte Möglichkeit nach den Werkzeugen / Hilfsmitteln geclustert wird. Der Vergleich der Fahrzeugprojekte und der Methodik erfolgt anhand von zwei Kriterien. Zunächst werden die Vorranggraphen miteinander verglichen und die Unterschiede aufgezeigt, um so eine Aussage zu den gewählten Clusterungskriterien und den daraus resultierenden Montageclustern vor dem Hintergrund der in Unterkapitel 5.7 durchgeführten Priorisierung zu ermöglichen (vgl. Abschnitt 6.5.1). Im Anschluss werden dann die unterschiedlichen Montagecluster miteinander verglichen, um so eine Übertragbarkeit von Montageclustern zwischen verschiedenen Projekten ermöglichen zu können (vgl. Abschnitt 6.5.2). Dies geschieht vorrangig anhand der Priorisierung aus Unterkapitel 5.7 mit dem Fokus der Übertragbarkeit zwischen den Projekten und der Auslastung der einzelnen Montagecluster, um so den Nutzen der Montagecluster zu erhöhen.

6.2 Anwendungsszenario 1

6.2.1 Ausgangslage

Im vorliegenden Anwendungsszenario 1 wurde sich für ein Fahrzeug entschieden, welches auf einer Baukastensystematik beruht, die bereits für verschiedene Modelle (Kombi, Sportversion, Hybridantrieb, Elektroantrieb, etc.) genutzt und seit einigen Jahren produziert wird. Das ausgewählte Fahrzeugmodell wird an vier Standorten gefertigt, sodass neben den Modellspezifika auch die Standortspezifika einen unterschiedlichen Einfluss auf die Clusterung haben können.

Aus dieser Auswahl an Modellen und Standorten wurde sich für ein durchschnittliches Kundenfahrzeug mit Verbrennungsmotor und fünf Türen an einem Standort mit einer Taktzeit von 60 Sekunden entschieden, um eine spezifische Analyse zu ermöglichen. Das Fahrzeug wird dabei im lackierten Zustand in die Fahrzeugendmontage überführt und verlässt diese als vollständig montiertes und mit sämtlichen Flüssigkeiten wie Benzin, Kühlwasser, etc. befülltes Fahrzeug. Dabei stehen dem Mitarbeiter je Takt 60 Sekunden Montagezeit im Fließbetrieb zur Verfügung. Das Fahrzeug durchläuft unterschiedliche Bereiche der Fahrzeugendmontage, die durch verschiedene Fördertechniken voneinander getrennt sind. Jede Station ist individuell höhenverstellbar, sodass an jeder Station die in Abschnitt 4.2.2 beschriebene Einbauhöhe exakt eingestellt werden kann. Es existieren bereits einige festinstallierte Betriebsmittel, die die Fahrzeugendmontage wie in Abschnitt 2.1.3 beschrieben in einzelne Bereiche unterteilen. Diese Untergliederung wird durch verschiedene Fördertechniken zwischen den ortsfesten Anlagen unterstützt, sodass sich voneinander losgelöste Bereiche, sogenannte Bandabschnitte, ergeben. Diese Bandabschnitte haben als Rahmenbedingung des Werkes möglicherweise einen Einfluss auf die Realisierbarkeit der Montagecluster.

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über alle Rahmenbedingungen, die sich aus dem Fahrzeugprojekt ergeben.

Rahmenbedingungen des Fahrzeugprojektes	
Anzahl Produktionsstandorte	4
Anzahl Derivate	6
Vorliegende Fördertechnik	EHB, Skid
Höhenverstellbarkeit der Fördertechnik	Ja
Vorliegende Taktzeit (Kundentakt)	60 Sekunden
Anzahl der benötigten ortsfesten Anlagen (A-Bauteile)	21

Abbildung 6-2: Die Rahmenbedingungen des Anwendungsszenarios 1

6.2.2 Auswahl von Bauteilen und Zuweisung der prozessrelevanten Informationen

Gemäß dem definierten Vorgehen werden zunächst die Kategorie A-Bauteile aus dem vorliegenden Fahrzeugprojekt identifiziert. Insgesamt existieren 21 Kategorie A-Bauteile respektive Prozesse. Dabei handelt es sich unter anderem um den Einbau des Dachsystems, den Einbau des Cockpits, das Kleben der Front- und Heckscheibe, die Hochzeit, den Einbau des Frontends, aber auch der Räder- sowie der Sitzeinbau. Neben diesen Bauteilen zählen auch noch die Medienbefüllung und die Inbetriebnahmeprozesse der Steuergeräte zu den Kategorie A-Bauteilen, da für die Durchführung dieser Prozesse erhebliche Investitionen in die Anlagentechnik notwendig sind.

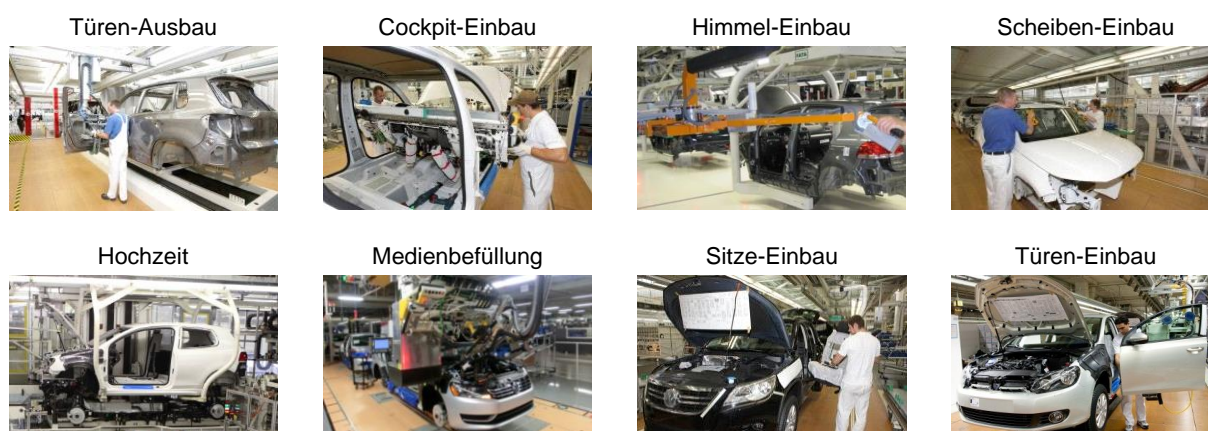


Abbildung 6-3: Übersicht möglicher A-Bauteile und Prozesse

Im Anschluss werden die Kategorie B-Bauteile identifiziert, die in direkter Abhängigkeit zu den Kategorie A-Bauteilen stehen, gefolgt von den restlichen Kategorie B-Bauteilen. Dabei werden deren Abhängigkeiten zueinander aufgezeigt und beschrieben. Bei den Kategorie B-Bauteilen konnten insgesamt 67 Bauteile identifiziert werden, wobei einige wie zum Beispiel die Säulenverkleidungen einmal für Fahrer- und einmal für Beifahrerseite aufgeführt werden. Bei einer Doppelbetrachtung, die aufgrund der zu beschreibenden Bauräume notwendig ist, steigt somit die Zahl der Kategorie B-Bauteile auf 91.

Die Abbildung 6-4 liefert einen Überblick über eine exemplarische Auswahl von Kategorie B-Bauteilen.



Abbildung 6-4: Eine exemplarische Übersicht ausgewählter B-Bauteile des Anwendungsszenarios 1

Alle weiteren Bauteile wie Stopfen, Halter, Klebepads, aber auch Schläuche zählen zu den Kategorie C-Bauteilen, die den Rest der zu montierenden Teile bilden, jedoch zunächst nicht betrachtet werden.

Im nun folgenden Schritt werden die notwendigen prozessrelevanten Restriktionen für die Bauteile beginnend mit den Kategorie A-Bauteilen beschrieben. Gemäß der Abbildung 5-2 respektive 6-1 werden von jedem Bauteil die relevanten Informationen aufgenommen und kategorisiert. Die anschließende Analyse der Kategorie B-Bauteile führt zu einer Vervollständigung des Datenmodells. Insgesamt konnten 60% der konstruktivbedingten Montagezeit der Hauptlinie über dieses Vorgehen aufgenommen und eingeteilt werden.

Die im Fischgrätprinzip angeordneten Vormontagen werden in dem Clusterungskonzept nicht mitbetrachtet, da deren Ergebnis, bspw. das vollständig montierte Cockpit, bereits als Bestandteil des Clusterungskonzeptes aufgeführt wurde. Diese Bauteile werden dem Modularisierungsansatz zugewiesen und es besteht je nach Fahrzeugprojekt die Möglichkeit einer internen Vormontage dieses Moduls oder aber einem Zukauf des Moduls über die Lieferantenstruktur. Eine separate Analyse für jede Vormontage gemäß dieses

Clusterungskonzeptes ist dennoch grundsätzlich möglich, jedoch nicht Bestandteil dieser Arbeit.

6.2.3 *Generierung eines Vorranggraphen*

Die Generierung des Vorranggraphen erfolgt nach dem klassischen Prinzip über die Vorgänger- und Nachfolgerbeziehung unter Berücksichtigung der benötigten Montagezeit je Montageschritt. Diese Informationen sind Bestandteil der Bauteilbeschreibung, sodass im folgenden Schritt auf Basis dieser Informationen eine grafische Visualisierung des Vorranggraphen ermöglicht wird.

Bei der Erstellung wird deutlich, dass in dem Vorranggraphen dieses Anwendungsfalls einige 1:1, aber auch 1:n und n:1 Beziehungen vorliegen und einige Äste ohne Nachfolger enden. Es liegen somit insgesamt drei Wege im Vorranggraphen vor, die sich am Anfang aufgabeln und im Laufe der Zeit wieder zueinanderfinden und anhand derer der kritische Pfad identifiziert werden muss. Zur Identifikation des kritischen Pfades bei den Parallelprozessen können auf Basis der Zeitanteile je Montageschritt die Gesamtzeitanteile für die Parallelprozesse beschrieben werden und somit kann der zeitkritische Weg identifiziert werden. Diese Identifikation ist notwendig, um mögliche Freiheitsgrade bei der Verschiebung von Bauteilen erkennen zu können und um Potenziale bei der Auslegung der Montagecluster besser sichtbar zu machen. Die folgende Abbildung zeigt den Vorranggraphen mit den A- und B-Bauteilen sowie mit dem kritischen Pfad des Anwendungsszenarios 1 auf. Der kritische Pfad weist einen Parallelprozess auf, da wie beschrieben B-Bauteile symmetrisch an der linken wie auch an der rechten Seite verbaut werden und aufgrund der gleichen Montagedauer in beiden Fällen keine Präferenz hinsichtlich einer der beiden Prozesse vorliegt.

6.2.4 Erzeugung von Montageclustern

Bei der Erzeugung der Montagecluster werden zunächst alle Bauteile, die denselben Bauraum aufweisen und in direkter Abhängigkeit zueinanderstehen zu Montageclustern zusammengeführt. Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch einige der 21 Bauraum-Cluster auf, die sich aus dieser Clusterungsweise ergeben haben.

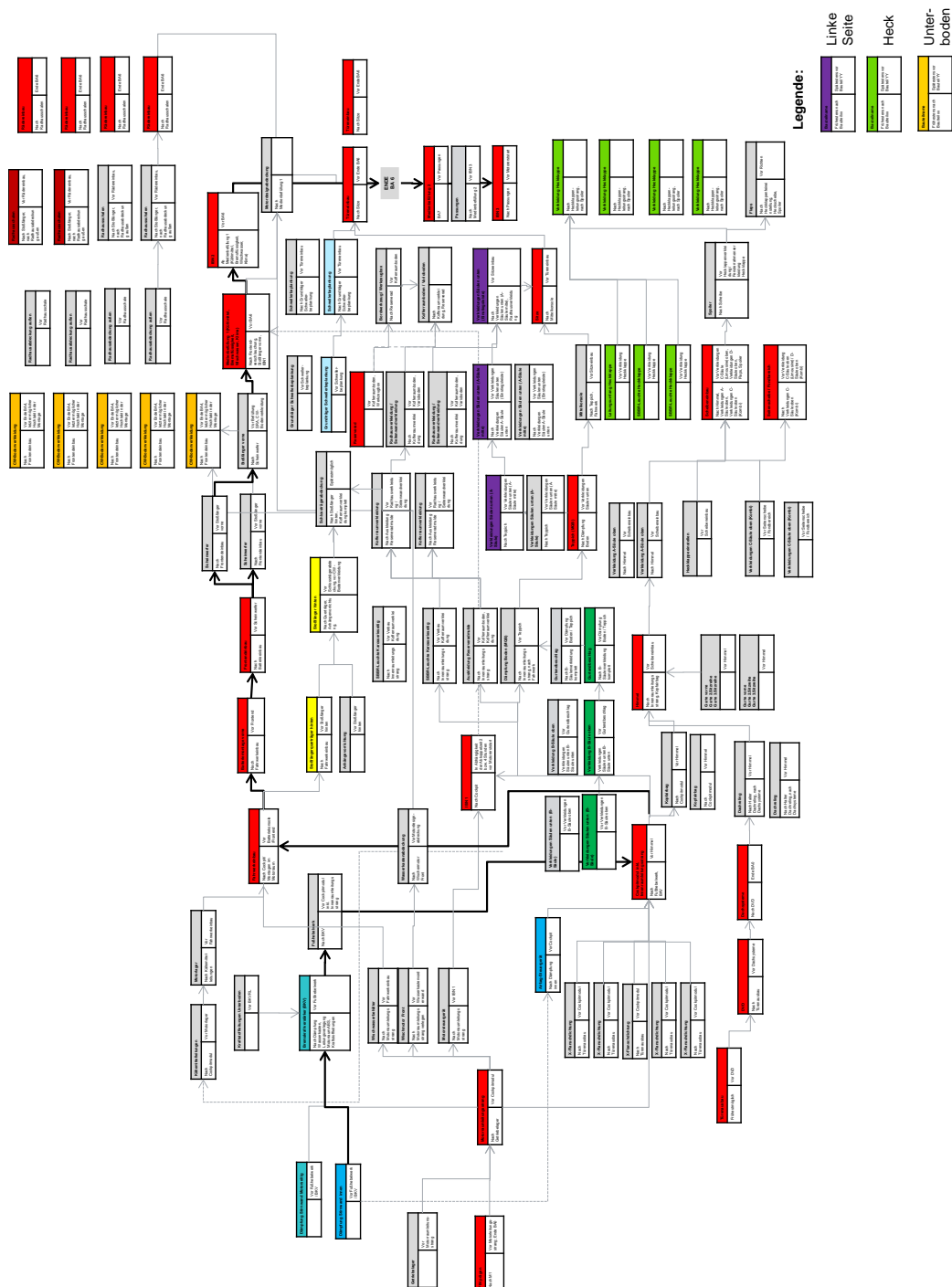


Abbildung 6-6: Mögliche Bauraum-Cluster für das Anwendungsszenario 1

In einem zweiten Ansatz werden die Bauteile anhand der Einbauhöhen zu Montageclustern zusammengeführt. Dies hat zur Folge, dass sich ein vorher nicht bekanntes Cluster herauskristallisiert hat. Dieses Cluster erfüllt die grundlegenden Rahmenbedingungen der Montagecluster und weist insgesamt fünf Bauteile auf. Dieses Montagecluster wird als neues Montagecluster aufgenommen und im Unterkapitel 6.5 mit den weiteren Montageclustern verglichen.

In der dritten Runde der Clusterbildung werden Montagecluster anhand der Hilfsmittel und Werkzeuge gebildet. Es werden somit alle Bauteile, die gleiche Hilfsmittel und Werkzeuge für den Einbau benötigen, in einem Montagecluster zusammengeführt. Dabei ist zu erkennen, dass viele Bauteile zwar dieselben Hilfsmittel aufweisen, aber nicht in physischen Abhängigkeiten zueinander stehen. Unter Betrachtung der Montagezeiten aus dem Vorranggraph konnten einige Cluster von Bauteilen erzeugt werden, die bislang keiner Clusterung unterzogen werden konnten. Zur Überprüfung der Umsetzbarkeit dieser Cluster wird zusätzlich noch das Kriterium Bauraum mit angegeben. Eine Betrachtung dieses Kriteriums führt dazu, dass sich in einigen Montageclustern Bauteile in mehreren Bauräumen befinden und so der Mitarbeiter erheblich mehr Laufwege absolvieren muss, dafür aber eine Einsparung von zusätzlichen Werkzeugen und Hilfsmitteln erzielt werden kann. Eine Einschränkung seitens der Einbauhöhe konnte für diesen Fall nicht identifiziert werden.

In der folgenden Abbildung sind die möglichen Cluster aus den drei verschiedenen Clusterungsschritten übersichtshalber aufgeführt. In den drei Hauptspalten sind die jeweiligen Clusterungsschritte aufgeführt. Die je Clusterungsschritt entstandenen Montagecluster werden durch die Anzahl der Bauteile in der jeweils ersten Spalte, die zur Montage des Clusters benötigte Montagezeit in der zweiten Spalte und die Spiegelbarkeit des Clusters in der dritten Spalte beschrieben. Spiegelbarkeit bedeutet, dass dieses Montagecluster sowohl auf der linken und der rechten Fahrzeugseite vorliegt und die Montageprozesse identisch sind. Infolgedessen wurde das jeweilige Cluster nur einmal aufgeführt und mit dem Zusatz Spiegelbarkeit versehen. Wie der Abbildung 6-7 zu entnehmen weisen die Cluster eine Größe zwischen zwei und zwölf Bauteile auf, wobei die Montagezeit zwischen 42,95 Sekunden und 454,75 Sekunden je Cluster liegt und damit stark zwischen den Clustern schwankt. Der Großteil der Montagecluster weist jedoch zwei bis fünf Bauteile und eine Montagezeit zwischen 60 und 120 Sekunden auf.

1. Clusterungsschritt (Bauraum)				2. Clusterungsschritt (Einbauhöhe)				3. Clusterungsschritt (Werkzeuge)			
Anzahl Teile	Montage zeit (s)	Spiegel- barkeit	Aus- lastung	Anzahl Teile	Montage zeit (s)	Spiegel- barkeit	Aus- lastung	Anzahl Teile	Montage zeit (s)	Spiegel- barkeit	Aus- lastung
2	81,59	Nein	67,99%	5	100,72	Ja	83,93%	5	258,48	Nein	86,16%
2	62,56	Nein	104%					2	60	Ja	100%
6	108,22	Nein	90,18%								
12	454,75	Nein	94,74%								
3	94,23	Ja	78,52%								
2	42,95	Ja	71,58%								
4	57,77	Ja	96,28%								
3	149,58	Nein	83,1%								
2	85,75	Nein	74,46%								
4	78,17	Nein	65,14%								
2	133,46	Nein	74,14%								
4	104,1	Ja	86,75%								
2	56,34	Ja	93,9%								
3	121,22	Ja	101%								
2	87,8	Ja	73,17%								
2	60	Ja	100%								
5	273,02	Nein	91%								
3	137,1	Nein	76,17%								
2	118,37	Nein	98,64%								
2	51,08	Nein	85,13%								
2	120,16	Nein	100%								

Abbildung 6-7: Die Ergebnisse der drei Clusterungsschritte des Anwendungsszenarios 1

Gemäß der Bewertung aus Kapitel 5.7 ist das wichtigste Kriterium eines Montageclusters die Übertragung auf ein weiteres Projekt. Deshalb wird nun ein zweites Anwendungsszenario beschrieben, um so einen Abgleich zwischen den projektspezifischen Clustern zu ermöglichen und ideale, übertragbare Montagecluster finden zu können.

6.3 Anwendungsszenario 2

6.3.1 Ausgangslage

Nachdem im vorangegangenen Unterkapitel bereits ein erstes Fahrzeugprojekt, welches auf der Baukastensystematik beruht, analysiert worden ist, wird in diesem zweiten Anwendungsszenario ein weiteres Fahrzeugprojekt analysiert, das derselben Fahrzeugklasse angehört und ebenfalls die Baukastensystematik nutzt. Bei diesem Fahrzeugprojekt handelt es sich nicht um ein anderes Modell des Anwendungsszenarios 1, sondern um ein gänzlich anderes Fahrzeug. Dieses Fahrzeug wird von einer anderen Marke entwickelt und verfügt

über eine geringere Anzahl an Derivaten und Produktionsstandorten, als das aus dem vorangegangenen Anwendungsszenario.

Es wird sich für das Anwendungsszenario 2 analog des Anwendungsszenarios 1 für ein durchschnittliches Kundenfahrzeug mit Verbrennungsmotor und fünf Türen entschieden. Dieses Fahrzeug wird genau wie im Anwendungsszenario 1 als lackierte Rohkarosse in die Fahrzeugendmontage übergeben und verlässt diese im selben Zustand wie das Fahrzeug aus Anwendungsszenario 1. Bei der vorliegenden Fabrik wird ebenfalls alle 60 Sekunden das Fahrzeug eine Montagestation weitergeführt und es durchläuft unterschiedliche Bereiche der Fahrzeugendmontage, die analog Anwendungsszenario 1 durch verschiedene Fördertechniken in Bandabschnitte unterteilbar ist. Jede Montagestation ist dabei wie im Anwendungsszenario 1 individuell höhenverstellbar, sodass auch in diesem Fall an jeder Station die in Abschnitt 4.2.2 beschriebene Einbauhöhe exakt eingestellt werden kann.

Die im Vergleich zu Anwendungsszenario 1 veränderte Ausgangslage ist in der folgenden Abbildung zu erkennen.

Rahmenbedingungen des Fahrzeugprojektes	
Anzahl Produktionsstandorte	2
Anzahl Derivate	6
Vorliegende Fördertechnik	EHB, Skid
Höhenverstellbarkeit der Fördertechnik	Ja
Vorliegende Taktzeit (Kudentakt)	60 Sekunden
Anzahl der benötigten ortsfesten Anlagen (A-Bauteile)	22

Abbildung 6-8: Die Rahmenbedingungen des Anwendungsszenarios 2

6.3.2 Auswahl von Bauteilen und Zuweisung der prozessrelevanten Informationen

Die Auswahl der Bauteile erfolgt analog der beschriebenen Herangehensweise, sodass zunächst alle Kategorie A-Bauteile identifiziert werden. Der Abgleich zu dem Anwendungsszenario 1 zeigt, dass in beiden Projekten die Kategorie A-Bauteile in der Summe nahezu deckungsgleich sind, lediglich ein A-Bauteil ist in dem Anwendungsszenario 2 hinzugekommen. Im Anschluss daran werden alle Kategorie B-Bauteile identifiziert und mit dem ersten Anwendungsszenario verglichen. Auch hier ist das

Ergebnis sehr ähnlich. Es handelt sich in dem zweiten Szenario um 83 B-Bauteile, wohingegen im ersten Anwendungsszenario 91 B-Bauteile identifiziert worden sind. Bei dem Abgleich der B-Bauteile zeigt sich, dass es sich in beiden Fällen um nahezu dieselben B-Bauteile handelt und ausschließlich die Zuweisung der Restriktionen über große oder weniger große Differenzen entscheidet. Die Anzahl der C-Bauteile wurde in beiden Szenarien nicht bestimmt, da diese in der Clusterungsbetrachtung zunächst keine Rolle spielen.

In dem nächsten Schritt werden erneut die Rahmenbedingungen analog des Kriterienkataloges beginnend bei den A-Bauteilen und weiter übergehend zu den direkt angrenzenden und dann zu den restlichen B-Bauteilen beschrieben.

Bei einem weiterführenden Abgleich der Kategorie B-Bauteile zeigt sich, dass bis auf zwei gegenläufige Fügeangfolgen nur Differenzen in der Einbaudauer vorliegen. Bei den gegenläufigen Fügeangfolgen muss bei dem Anwendungsszenario 1 das Bauteil A vor dem Bauteil B verbaut werden. In dem Anwendungsszenario 2 ist die Fügeangfolge genau umgedreht, sodass zunächst Bauteil B und dann Bauteil A verbaut werden muss. Daraus resultieren leichte Veränderungen im Vorranggraphen, wie im folgenden Unterkapitel zu sehen ist.

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über eine Auswahl identifizierter B-Bauteile.

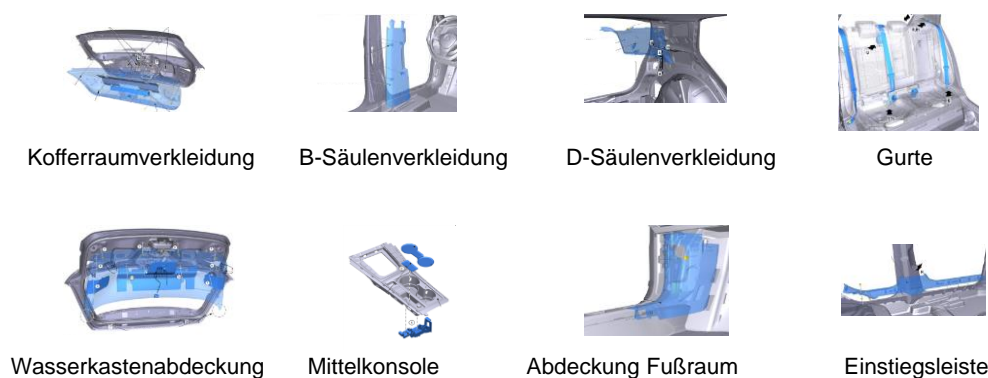


Abbildung 6-9: Eine exemplarische Übersicht ausgewählter B-Bauteile des Anwendungsszenarios 2

6.3.3 Generierung eines Vorranggraphen

Bei der Generierung des Vorranggraphen wird wie in dem vorangegangenen Kapitel auf die Vorgänger- und Nachfolger-Beziehungen eingegangen. Auf deren Basis sowie den Montagezeiten wird ein Vorranggraph erzeugt, der sich von dem in Anwendungsszenario 1 ein wenig unterscheidet. Dies liegt insbesondere an dem zusätzlichen A-Bauteil und der leicht differierenden Anzahl an B-Bauteilen. Dazu kommt noch die umgekehrte Fügeangfolge der

in Abschnitt 6.3.2 beschriebenen Bauteile. Da jedoch diese Bauteile keinen elementaren Einfluss auf den Vorranggraphen haben, sind die Veränderungen im Vorranggraphen auch eher als geringfügig anzusehen, wie die folgende Abbildung zeigt.

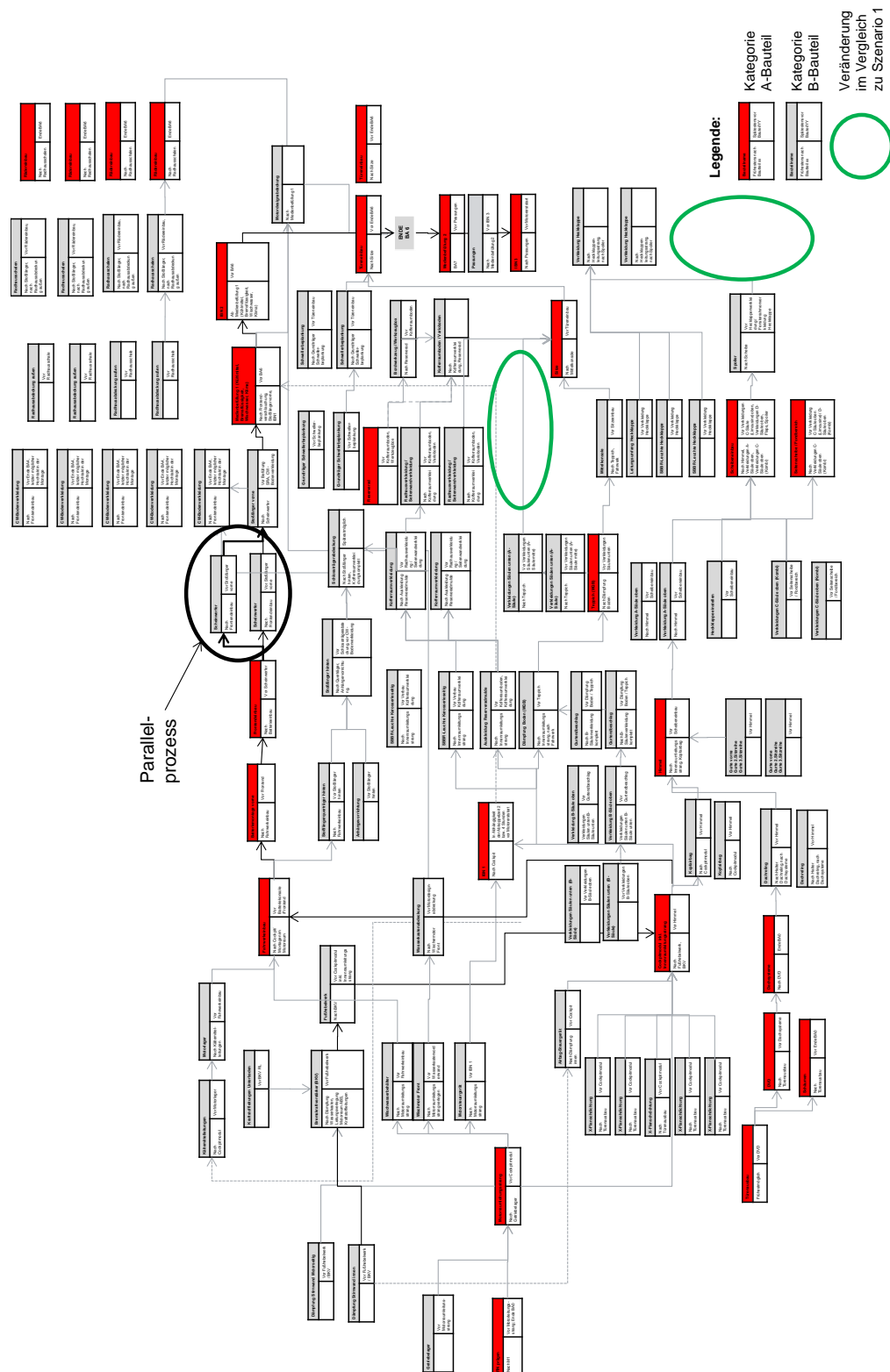


Abbildung 6-10: Der Vorranggraph des Anwendungsszenarios 2

Bei der Identifikation des kritischen Pfades wird analog des Anwendungsszenarios 1 vorgegangen und es wird anhand der Montagezeiten je Bauteil die zeitlich längste Abfolge identifiziert. Dabei stellt sich heraus, dass auch der kritische Pfad kaum Unterschiede zu dem Anwendungsszenario 1 aufweist und es ebenfalls einen Parallelprozess aufgrund von symmetrisch angeordneten Bauteilen gibt, wie der vorangegangenen Abbildung zu entnehmen ist.

6.3.4 Erzeugung von Montageclustern

Die Erzeugung der Montagecluster wird analog des Anwendungsszenarios 1 anhand von drei verschiedenen Restriktionen durchgeführt.

Zunächst werden alle Bauteile, die in physischer Abhängigkeit zueinander stehen und denselben Bauraum aufweisen, zu Bauraumclustern zusammengefasst. Die daraus entstehenden Cluster weisen nahezu dieselben Dimensionen wie die des Anwendungsszenarios 1 auf, sodass diese Vorgehensweise bei zwei Projekten zu einem sehr identischen Ergebnis kommt. Die Unterschiede liegen in den Montagezeiten der einzelnen Prozesse, jedoch nicht in der Auswahl der Bauteile für das Cluster.

Als zweite Clusterungsmöglichkeit werden die Bausteine anhand der Einbauhöhe zu Höhenclustern zusammengefasst, aus dem sich wie im Anwendungsszenario 1 ein neues, vorher nicht bekanntes Montagecluster generieren lässt. Das von den Rahmenbedingungen optimal ausfallenden Höhencluster wird analog des Anwendungsszenarios 1 in Unterkapitel 6.5 mit den weiteren Clustern auf Umsetzbarkeit verglichen.

Im letzten Schritt werden erneut Cluster auf Basis von Hilfsmitteln und Werkzeugen erstellt. In diesem Fall konnten auch wieder Montagecluster identifiziert werden, bei denen die Bauteile nicht in unmittelbarer Abfolge zueinander stehen, aber durch eine Clusterung und eine Mehrfachverwendung von Hilfsmitteln oder Werkzeugen möglich ist. Wie im Anwendungsszenario 1 ist eine Umsetzung aufgrund der zeitlichen Abfolgen im Vorranggraphen möglich, sodass diese Cluster zunächst gebildet und einer anschließenden Bewertung unterzogen werden können.

Eine Übersicht der Montagecluster untergliedert nach den drei Clusterungsschritten und den jeweiligen Charakteristika (Anzahl Teile je Cluster, Montagezeit des Clusters und Spiegelbarkeit) ist in Analogie zur Abbildung 6-7 in der folgenden Abbildung 6-11 dargestellt.

1. Clusterungsschritt (Bauraum)				2. Clusterungsschritt (Einbauhöhe)				3. Clusterungsschritt (Werkzeuge)			
Anzahl Teile	Montagezeit (s)	Spiegelbarkeit	Auslastung	Anzahl Teile	Montagezeit (s)	Spiegelbarkeit	Auslastung	Anzahl Teile	Montagezeit (s)	Spiegelbarkeit	Auslastung
2	77,08	Nein	64,23%	6	107,87	Ja	89,89%	5	252	Nein	84%
2	58,6	Nein	97,66%					2	60	Ja	100%
6	135,98	Nein	75,54%								
12	378,74	Nein	90,18%								
2	122,8	Ja	102%								
2	44,21	Ja	73,68%								
4	63,66	Ja	106%								
3	163,98	Nein	91,1%								
2	77,69	Nein	64,74%								
2	62,12	Nein	103%								
2	126,15	Nein	105%								
3	58,2	Ja	97%								
2	55,97	Ja	93,28%								
3	96,7	Ja	80,58%								
2	136,08	Ja	75,6%								
2	60	Ja	100%								
5	266,99	Nein	88,99%								
1	23,44	Nein	39,07%								
2	118,37	Nein	98,64%								
2	51,08	Nein	85,13%								
2	119,26	Nein	99,38%								

Abbildung 6-11: Die Ergebnisse der drei Clusterungsschritte des Anwendungsszenarios 2

Bei der Erzeugung der Montagecluster des Anwendungsszenarios 2 zeigt sich, dass in vielen Fällen dieselben Montagecluster wie bei dem Anwendungsszenario 1 identifiziert werden konnten. Diese unterscheiden sich lediglich in Nuancen hinsichtlich der Montagezeit und teilweise der benötigten Hilfsmittel. Der konkrete Vergleich der identifizierten Montagecluster erfolgt im Unterkapitel 6.5

Aufgrund der vielen Parallelen zwischen den beiden Fahrzeugprojekten wird ein drittes Fahrzeugprojekt gewählt, dass diese Übereinstimmungen bestätigen oder widerlegen kann.

6.4 Anwendungsszenario 3

6.4.1 Ausgangslage

Das dritte analysierte Fahrzeugmodell basiert ebenfalls auf der Baukastenstrategie, wird jedoch einer anderen Fahrzeugklasse zugeordnet als die ausgewählten Fahrzeuge aus dem Anwendungsszenario 1 und dem Anwendungsszenario 2. Bei diesem Fahrzeug gibt es auch deutlich weniger Derivate als bei den Fahrzeugen aus den beiden vorherigen

Anwendungsszenarien. Es existieren beispielsweise kein rein elektrisch angetriebenes Derivat und auch der Kombi ist nicht als Derivat verfügbar. Die Auswahl an höher- oder tiefergelegten Sondermodellen ist bei diesem Fahrzeugprojekt vorhanden, jedoch in deutlich kleinerem Ausmaß als bei den Fahrzeugprojekten des Anwendungsszenarios 1 und 2.

Das für die Analyse zugrunde gelegte Fahrzeugmodell ist ein Fahrzeug mit durchschnittlicher Kundenausstattung und mit einem Benzinmotor, sodass eine Vergleichbarkeit zu den bisherigen Anwendungsszenarien sichergestellt wird. Auch in diesem Anwendungsfall wird eine lackierte Karosserie an die Fahrzeugendmontage übergeben und das vollständig montierte und mit sämtlichen Flüssigkeiten betankte Fahrzeug verlässt die Fahrzeugendmontage und damit auch den Betrachtungsumfang dieses Clusterungskonzeptes. Das Fahrzeug wird an einem Standort gefertigt, bei dem die Taktzeit etwas unter 60 Sekunden liegt und damit die zur Verfügung stehende Zeit je Takt auch etwas geringer ausfällt als in den Anwendungsszenarios 1 und 2. Das Fahrzeug durchläuft auch in diesem Fall unterschiedliche Bereiche der Fahrzeugendmontage, die sich durch jeweils andere Fördertechniksysteme voneinander abgrenzen. Entgegen der bereits beschriebenen Anwendungsszenarios ist in diesem Fall nicht jede Station individuell höhenverstellbar, sondern es liegen die in Abschnitt 5.6.1 beschriebenen Power-&-Free Förderer mit vorgegebenem Höhenprofil vor. Wie auch in den anderen beiden Anwendungsszenarios sind in dieser Montagehalle bereits einige festinstallierte und damit unbewegliche Betriebsmittel vorhanden, sodass hierdurch und durch die Fördertechnik eine Unterteilung der Fahrzeugendmontage in verschiedene Bandabschnitte erfolgen kann.

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über alle Rahmenbedingungen die sich aus dem vorliegenden Fahrzeugprojekt ergeben.

Rahmenbedingungen des Fahrzeugprojektes	
Anzahl Produktionsstandorte	2
Anzahl Derivate	2
Vorliegende Fördertechnik	Power&Free, Skid
Höhenverstellbarkeit der Fördertechnik	Ja
Vorliegende Taktzeit (Kudentakt)	56 Sekunden
Anzahl der benötigten ortsfesten Anlagen (A-Bauteile)	21

Abbildung 6-12: Die Rahmenbedingungen des Anwendungsszenarios 3

6.4.2 Auswahl von Bauteilen und Zuweisung der prozessrelevanten Informationen

Bei der Auswahl der Bauteile werden wie in den beiden vorangegangenen Anwendungsszenarien zunächst die Kategorie A-Bauteile identifiziert und die Abhängigkeiten dieser Bauteile zueinander aufgezeigt. Dabei konnten in diesem Projekt insgesamt 21 Kategorie A-Bauteile identifiziert werden und damit exakt genauso viele wie bei dem Anwendungsszenario 1. Die daran anschließende Identifikation der Kategorie B-Bauteile hat eine Summe von insgesamt 82 Kategorie B-Bauteilen ergeben. Damit liegt die Anzahl der Kategorie B-Bauteile nur marginal unter derer der anderen beiden Anwendungsszenarien. Bei dem Abgleich der Bauteile und den zugeordneten Fügerangfolgen konnte ein sehr hoher Gleichheitsgrad mit dem Anwendungsszenario 1 identifiziert werden, der sich auch in dem im folgenden Abschnitt erzeugten Vorranggraphen wiederfinden lässt.

Bei der Festlegung der einzelnen Rahmenbedingungen zu den jeweiligen Bauteilen fällt auf, dass bei den zunächst betrachteten Kategorie A-Bauteilen keine Unterschiede zu dem Anwendungsszenario 1 vorliegen. Lediglich liegt bei einigen Kategorie B-Bauteilen die Montagedauer von gleichen Bauteilen unter der aus den beiden anderen Szenarien. Die bei diesem Projekt vorliegende verminderte Taktzeit korreliert somit mit der verringerten Einbaudauer je Bauteil. Die weiteren Rahmenbedingungen der einzelnen B-Bauteile sind jedoch nahezu identisch zu den beiden Anwendungsszenarien 1 und 2, sodass sich aufgrund des Einbauprozesses keine relevanten Veränderungen ergeben.

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die Kategorie B-Bauteile des dritten Anwendungsszenarios.



Abbildung 6-13: Eine exemplarische Übersicht ausgewählter B-Bauteile des Anwendungsszenarios 3

6.4.3 Generierung eines Vorranggraphen

Bei der Generierung des Vorranggraphen konnte sehr stark auf dem Vorranggraph aus dem Anwendungsszenario 1 aufgebaut werden, da sich die Bauteile und die Fügerangfolgen der

Fahrzeugprojekte kaum voneinander unterscheiden, obwohl es sich um Fahrzeuge aus verschiedenen Fahrzeugklassen handelt. Der Entfall einiger Bauteile lässt den Vorranggraphen des Anwendungsszenarios 3 etwas schlanker und kleiner ausfallen als der aus dem Anwendungsszenario 1. Jedoch ist die Grundstruktur gleich geblieben, wie die folgende Abbildung sehr gut darstellt.

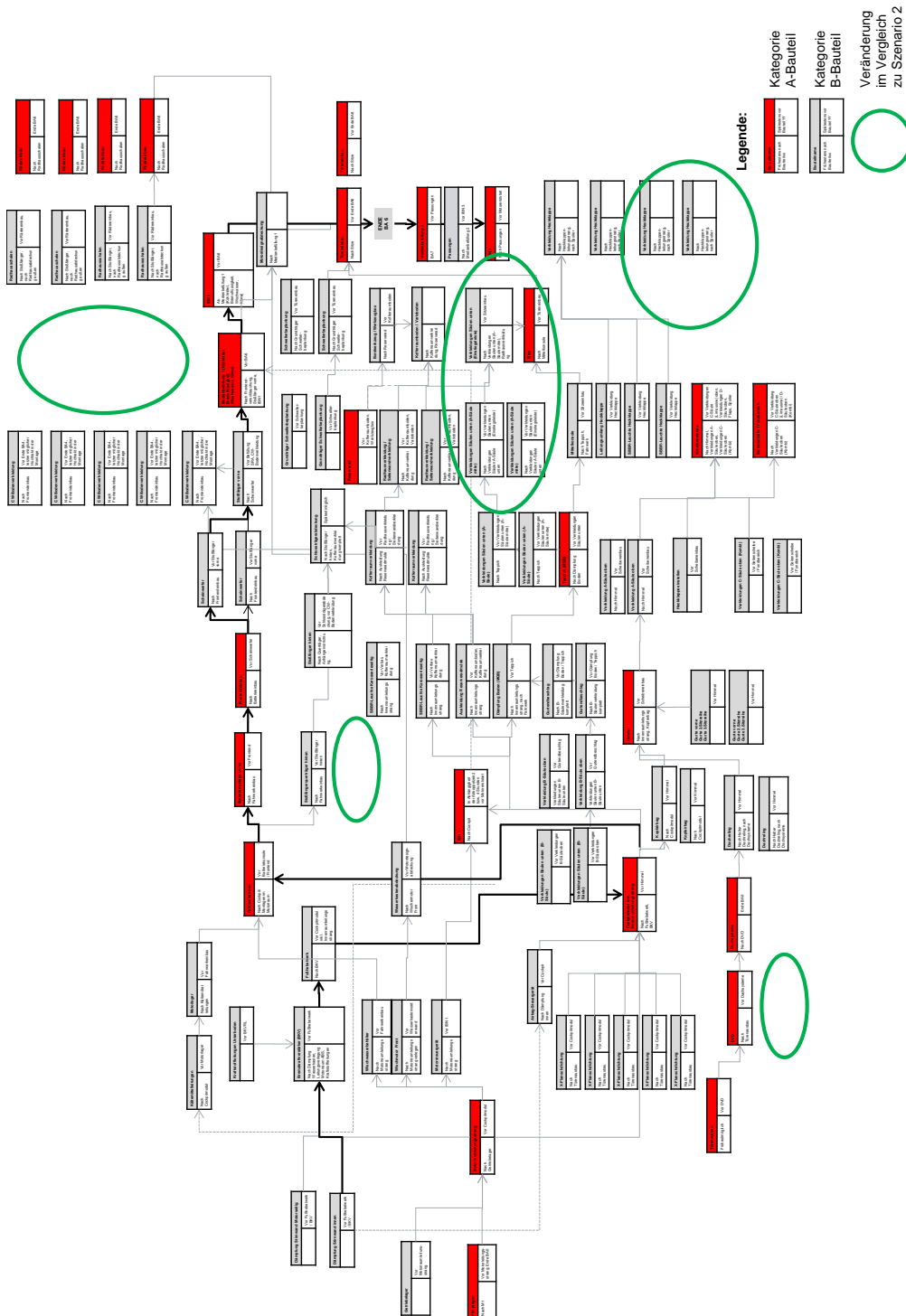


Abbildung 6-14: Der Vorranggraph des Anwendungsszenarios 3

Für die Identifikation des kritischen Pfades wurden erneut die Montagezeiten je Bauteil den Teilen zugeordnet und darauf aufbauend die längste zusammenhängende Montagezeit gesucht. Der dabei zurückgelegte Weg innerhalb des Vorranggraphen ist wiederum deckungsgleich zu dem Anwendungsszenario 1 und 2, jedoch ist die Länge des kritischen Pfades etwas kürzer als bei den anderen beiden Szenarien. Dies hängt unter anderem mit dem produktbedingten Entfall einiger Bauteile, die nicht in dem Anwendungsszenario 3 verbaut werden müssen, und der verminderten Montagedauer einzelner Bauteile zusammen. Da sich der kritische Pfad inhaltlich jedoch kaum von den anderen beiden Anwendungsszenarien unterscheidet, liegt auch ein ähnliches Flexibilisierungspotenzial bei den Bauteilen, die kein Bestandteil des kritischen Pfades sind, vor. Der kritische Pfad ist analog der vorangegangenen Beispiele in der Abbildung 6-14 dargestellt.

6.4.4 Erzeugung von Montageclustern

Damit ein Abgleich zwischen den drei Anwendungsszenarien möglich ist, wird auch in diesem Fall die bereits in den vorherigen Beispielen angewendete Vorgehensweise zur Erzeugung von Montageclustern zugrunde gelegt.

Zunächst werden die Montagecluster nach dem Bauraum der zu montierenden Bauteile gebildet. Dabei zeigt sich, dass in sehr ähnlichen Bereichen und Dimensionen des Vorranggraphen wie bei den obigen Anwendungsszenarien die Cluster gebildet werden können. Die daraus resultierenden 19 Montagecluster sind inhaltlich und von der Größe her sehr ähnlich zu den bekannten Montageclustern aus den bisherigen Anwendungsszenarien 1 und 2.

Die im zweiten Schritt aufgrund der Einbauhöhe erzeugten Montagecluster sind für eine konkrete Verwendung zu groß, da sie nahezu den kompletten Vorranggraphen abbilden. Diese Erkenntnis gilt mit Ausnahme von einem Montagecluster für alle „Höhencluster“ des dritten Anwendungsszenarios. Dieses auszunehmende Höhencluster weist ähnliche Arbeitsinhalte wie in den vorangegangenen Anwendungsszenarien auf, unterscheidet sich jedoch durch konstruktive Differenzen in der Bauteilauslegung und daraus resultierenden Montagezeitabweichungen.

Die dritte Möglichkeit der Montageclusterbildung über die Clusterung nach Werkzeugen und Hilfsmitteln erzeugt, wie bereits bekannt, Montagecluster, die über die physischen Abhängigkeiten der Bauteile hinausgehen. Auch in diesem Fall können einige Cluster aufgrund der Montagezeiten und der Parallelisierbarkeit im Vorranggraph technisch umgesetzt werden.

Die in diesem Anwendungsszenario erzeugten Montagecluster sind der folgenden Abbildung zu entnehmen.

1. Clusterungsschritt (Bauraum)				2. Clusterungsschritt (Einbauhöhe)				3. Clusterungsschritt (Werkzeuge)			
Anzahl Teile	Montagezeit (s)	Spiegelbarkeit	Auslastung	Anzahl Teile	Montagezeit (s)	Spiegelbarkeit	Auslastung	Anzahl Teile	Montagezeit (s)	Spiegelbarkeit	Auslastung
2	68,19	Nein	60,88%	5	54,75	5	97,76%	5	258,48	Nein	92,31%
2	56,4	Nein	100%					2	60	Ja	53,57%
6	231,96	Nein	82,84%								
12	205,5	Nein	91,74%								
3	105,06	Ja	93,80%								
4	54,75	Ja	97,76%								
3	168,14	Nein	100%								
2	15,84	Nein	28,29%								
4	62,3	Nein	55,62%								
2	139,83	Nein	83,23%								
3	67,2	Ja	60%								
2	27,6	Ja	49,29%								
3	50,2	Ja	89,64%								
2	99,96	Ja	89,25%								
2	60	Ja	53,57%								
5	211,83	Nein	94,57%								
2	92,6	Nein	82,68%								
2	47,9	Nein	85,54%								
2	141,64	Nein	84,31%								
2	68,19	Nein	60,88%								
2	56,4	Nein	100%								

Abbildung 6-15: Die Ergebnisse der drei Clusterungsschritte des Anwendungsszenarios 3

6.5 Abgleich der drei Anwendungsszenarien

6.5.1 Vergleich der drei Vorranggraphen

Bei dem Vergleich der drei Vorranggraphen fällt auf, dass sich alle Anwendungsszenarien in der Grundausslegung sehr ähneln und auch der kritische Pfad entlang des Vorranggraphen denselben Weg über alle drei Anwendungsszenarien hinweg zeichnet. Dabei unterscheidet sich zwar die Dauer der Arbeitsinhalte im kritischen Pfad und an wenigen Stellen auch die Anzahl an Teile, jedoch ist eine grundsätzlich gleiche Anordnung im Vorranggraphen über alle Szenarien zu erkennen.

Es existieren jedoch zwischen den Anwendungsszenarien auch geringfügige Unterschiede, die auf die zu verbauenden Teile zurückzuführen sind. Dabei muss zwischen zwei grundlegenden

Differenzen in den jeweiligen Vorranggraphen unterschieden werden. Zum einen handelt es sich dabei um Bauteile, die keine Nachfolger im Sinne des Vorranggraphen aufweisen und somit jeweils an dem Ende des jeweiligen Astes im Vorranggraph eines Anwendungsszenarios identifiziert werden können. Diese zu verbauenden Teile sind Spoiler bzw. Aerodynamik verbessernde Bauteile, die nur bei einem der drei Modelle separat montiert werden müssen. Bei den anderen beiden Fahrzeugen entfallen diese Bauteile bzw. sind diese bereits in einem anderen Bauteil integriert, wodurch eine separate Montage entfällt. Zum anderen bestehen noch Differenzen an wenigen Stellen im Vorranggraph, da die Anzahl der zu verbauenden Teile zwischen den Fahrzeugprojekten differiert. Bei dem Anwendungsszenario 2 ist nur ein Verbau von einem Bauteil notwendig, hingegen müssen bei den Anwendungsszenarien 1 und 3 an gleicher Stelle drei Bauteile verbaut werden, um denselben Zustand im Hinblick auf Optik und Funktion zu erhalten. Dieser Effekt der Mehrfachteilung eines Bauteils tritt zwischen den Anwendungsszenarien an einigen Stellen auf und kann durch die benötigte Montagezeit zur Erzeugung eines einheitlichen Zielzustandes beschrieben werden. Jedoch können sich durch diese Mehrfachteilung eines Bauteils in verschiedene Bauteile auch unterschiedliche Montagecluster ergeben bzw. der Inhalt der Montagecluster kann sich dadurch in der Summe der Teile ändern, wie im folgenden Abschnitt auch beschrieben wird.

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Mischgraphen des Anwendungsszenarios auf.



Abbildung 6-16: Ein Vergleich der drei Vorranggraphen aus den Anwendungsszenarien in Form eines Mischgraphen

Insgesamt resultieren aus den drei Anwendungsszenarien bei einer Taktzeit von 60 Sekunden rechnerisch jeweils 29 Montagestationen entlang des kritischen Pfades. Sollte eine vollständige Parallelisierung sämtlicher Tätigkeiten möglich sein und kein Einfluss seitens der Betriebsmittel oder der Rahmenbedingungen des Werkes vorliegen, reicht diese Anzahl an Montagetakten zur Produktion des Fahrzeuges aus. In der Praxis ist dies aber kaum umsetzbar, da beispielsweise bei der Hochzeit keine Arbeiten parallel ausgeführt werden können, gleiches gilt für den Scheibeneinbau, etc.. Aus diesem Grund handelt es sich bei diesen 29 Montagestationen um eine rein rechnerische Bilanz und weniger um eine realisierbare Größe.

6.5.2 Vergleich der Montagecluster

Wie bereits durch den vorangegangenen Abschnitt erkennbar wurde, liegen die drei Fahrzeugprojekte bei ihren Vorranggraphen nur an ein paar Stellen inhaltlich auseinander. Infolgedessen sind auch die generierten Montagecluster in sehr ähnlicher Dimensionierung und Form erkennbar. Dies trifft nicht nur auf die nach dem Bauraum erzeugten Montagecluster zu, sondern auch auf die Höhencluster und die Montagecluster die anhand des Werkzeuges und / oder des Hilfsmittels erzeugt worden sind.

Bei dem Vergleich wird analog der Vorgehensweise zur Erzeugung in drei unterschiedlichen Schritten vorgegangen, sodass zu jeder Clusterungsmöglichkeit ein Vergleich der Montagecluster durchgeführt werden kann.

Die Erzeugung von Montageclustern auf Basis des Bauraums ermöglichen in allen drei Anwendungsszenarien eine ähnliche Zahl und einen ähnlichen Inhalt der Montagecluster. Dabei unterscheiden sich die Montagecluster lediglich im Hinblick auf die Montagezeit je Cluster und aufgrund der Teilung einzelner Bauteile in mehrere kleinere Bauteile auch in der Anzahl der Bauteile innerhalb des Clusters. Durch die teilweise vorliegenden Unterschiede in der Ausstattung der Fahrzeugprojekte sind insbesondere in dem Anwendungsszenario 1 und dem Anwendungsszenario 2 Montagecluster mit umfangreicheren Inhalten wie zum Beispiel in dem Cluster Nr. 4 und 14 zu erkennen. Grundlegend kann jedoch bei einem Abgleich der Montagecluster zwischen den drei Fahrzeugprojekten kein fundamentaler Unterschied festgestellt werden, sodass eine Übertragbarkeit der Cluster auf andere Fahrzeugprojekte nach diesem Clusterungskriterium grundsätzlich denkbar erscheint.

Nummer	Anwendungsszenario 1				Anwendungsszenario 2				Anwendungsszenario 3			
	Anzahl Teile	Montagezeit (s)	Spiegelbarkeit	Auslastung	Anzahl Teile	Montagezeit (s)	Spiegelbarkeit	Auslastung	Anzahl Teile	Montagezeit (s)	Spiegelbarkeit	Auslastung
1.	2	81,59	Nein	67,99%	2	77,08	Nein	64,23%	2	68,19	Nein	60,88%
2.	2	62,56	Nein	104%	2	58,6	Nein	97,66%	2	56,4	Nein	100%
3.	6	108,22	Nein	90,18%	6	135,98	Nein	75,54%	6	231,96	Nein	82,84%
4.	12	454,75	Nein	94,74%	12	378,74	Nein	90,18%	12	205,5	Nein	91,74%
5.	3	94,23	Ja	78,52%	2	122,8	Ja	102%	3	105,06	Ja	93,80%
6.	2	42,95	Ja	71,58%	2	44,21	Ja	73,68%	-	-	-	-
7.	4	57,77	Ja	96,28%	4	63,66	Ja	106%	4	54,75	Ja	97,76%
8.	3	149,58	Nein	83,1%	3	163,98	Nein	91,1%	3	168,14	Nein	100%
9.	2	85,75	Nein	74,46%	2	77,69	Nein	64,74%	2	15,84	Nein	28,29%
10.	4	78,17	Nein	65,14%	2	62,12	Nein	103%	4	62,3	Nein	55,62%
11.	2	133,46	Nein	74,14%	2	126,15	Nein	105%	2	139,83	Nein	83,23%
12.	4	104,1	Ja	86,75%	3	58,2	Ja	97%	3	67,2	Ja	60%
13.	2	56,34	Ja	93,9%	2	55,97	Ja	93,28%	2	27,6	Ja	49,29%
14.	3	121,22	Ja	101%	3	96,7	Ja	80,58%	3	50,2	Ja	89,64%
15.	2	87,8	Ja	73,17%	2	136,08	Ja	75,6%	2	99,96	Ja	89,25%
16.	2	60	Ja	100%	2	60	Ja	100%	2	60	Ja	53,57%
17.	5	273,02	Nein	91%	5	266,99	Nein	88,99%	5	211,83	Nein	94,57%
18.	3	137,1	Nein	76,17%	1	23,44	Nein	39,07%	-	-	-	-
19.	2	118,37	Nein	98,64%	2	118,37	Nein	98,64%	2	92,6	Nein	82,68%
20.	2	51,08	Nein	85,13%	2	51,08	Nein	85,13%	2	47,9	Nein	85,54%
21.	2	120,16	Nein	100%	2	119,26	Nein	99,38%	2	141,64	Nein	84,31%

Abbildung 6-17: Ein Vergleich des ersten Clusterungsschrittes (Bauraum)

Die Erzeugung der Montagecluster anhand der Einbauhöhe hat über die drei Anwendungsszenarien hinweg ein inhaltsgleiches Montagecluster hervorgebracht, das sich ausschließlich in der Montagezeit und zum Teil in der Anzahl an Bauteilen zwischen den Anwendungsszenarien unterscheidet. Dies liegt an der Bauteilkonstruktion und an einer unterschiedlichen Anzahl an Verbindungselementen, die zur Erzeugung ein und desselben Montagezustandes notwendig sind. Da dieses Cluster ähnliche Bauteile wie das Bauraumcluster aufweist, stehen diese beiden Montagecluster in Konkurrenz zueinander. Über die im folgenden Unterkapitel vorgenommene Bewertung kann eine Entscheidung zur Priorisierung des Clusters erzielt werden.

Nummer	Anwendungsszenario 1				Anwendungsszenario 2				Anwendungsszenario 3			
	Anzahl Teile	Montagezeit (s)	Spiegelbarkeit	Auslastung	Anzahl Teile	Montagezeit (s)	Spiegelbarkeit	Auslastung	Anzahl Teile	Montagezeit (s)	Spiegelbarkeit	Auslastung
1.	5	100,72	Ja	83,93%	6	107,87	Ja	89,89%	5	54,75	Ja	97,76%

Abbildung 6-18: Ein Vergleich des zweiten Clusterungsschrittes (Einbauhöhe)

Die zuletzt betrachtete Möglichkeit zur Erzeugung von Montageclustern ist die Clusterung nach Hilfsmitteln und / oder Werkzeugen. Hierbei konnten in den drei Anwendungsszenarien auch erneut sehr ähnliche Montagecluster identifiziert werden. Die identifizierten Cluster weisen in allen drei Szenarien oftmals keine physische Abhängigkeit der Bauteile zueinander auf, sodass die umliegenden Prozesse exakt auf die Ausgestaltung dieser Montagecluster angepasst werden müssen. Jedoch können durch diese Clusterung die Investitionen und laufenden Kosten reduziert werden.

Nummer	Anwendungsszenario 1				Anwendungsszenario 2				Anwendungsszenario 3			
	Anzahl Teile	Montagezeit (s)	Spiegelbarkeit	Auslastung	Anzahl Teile	Montagezeit (s)	Spiegelbarkeit	Auslastung	Anzahl Teile	Montagezeit (s)	Spiegelbarkeit	Auslastung
1.	5	258,48	Nein	86,16%	5	252	Nein	84%	5	258,48	Nein	92,31%
2.	2	60	Ja	100%	2	60	Ja	100%	2	60	Ja	53,57%

Abbildung 6-19: Ein Vergleich des dritten Clusterungsschrittes (Werkzeug / Hilfsmittel)

6.6 Bewertung der einzelnen Clusterungsmöglichkeiten

Bei den drei Vorgehensweisen zur Erzeugung der Montagecluster hat sich gezeigt, dass insbesondere zunächst die Clusterung nach Bauräumen die zielführendste Vorgehensweise ist. Dadurch konnten Montagecluster identifiziert werden, bei denen die Bauteile in direkter Abhängigkeit zueinander stehen, aber auch solche, bei denen keine direkte Abhängigkeit im Sinne der Verbaureihenfolge erkennbar ist. Zudem ist bei dem Abgleich der drei Anwendungsszenarien deutlich geworden, dass diese Clusterung unabhängig von dem vorliegenden Fahrzeugprojekt ein sehr ähnliches Ergebnis von Montageclustern liefert. Somit kann insbesondere die wichtigste Forderung hinsichtlich der Reduzierung der Planungszeit durch eine Mehrfachverwendung der Cluster über verschiedene Fahrzeugprojekte erfüllt werden. Auch die Auslastung der identifizierten Montagecluster liefert ein gutes Ergebnis, da die Montagedauer in der Regel ein Vielfaches der durchschnittlichen Taktzeit von 60 Sekunden aufweist. Die durchschnittliche Mitarbeiterauslastung dieser Montagecluster liegt bei ca. 87% und weist damit einen sehr hohen Wert auf. Lediglich bei einigen Montageclustern, deren Umfänge sich über zwei Takte verteilen, sind in einigen Fällen eher geringe Auslastungen von 65% zu erkennen. Ein Montagecluster weist in einem spezifischen Fall sogar nur eine Auslastung von 26% aus, es handelt sich aber dabei um einen produktbedingten Sonderfall. Dieser müsste dann entweder durch positive Produktbeeinflussungen im Sinne des Design for Manufacturing and Assembly oder aber

durch die Addition weiterer Tätigkeiten, z.B. Verbau von C-Bauteilen, positiv beeinflusst werden.

Bei der zweiten Möglichkeit der Montageclusterbildung auf Basis von Einbauhöhen waren die erzeugten Cluster sowohl im Hinblick auf die Anzahl der enthaltenen Teile als auch im Hinblick auf die Montagezeit zu groß. Dies hängt mit den sehr häufig vorkommenden niedrigen Einbauhöhen zusammen, die mit weit über 50% den größten Teil der betrachteten Inhalte der Fahrzeugendmontage ausmachen. Lediglich bei der mittleren Einbauhöhe hat diese Clusterungsmöglichkeit neue Erkenntnisse geliefert und ein Montagecluster erzeugt, welches vorher nicht oder nur zum Teil betrachtet wurde. Die Zusammenführung dieser Bauteile in einem Cluster hat eine Reduzierung der Hubbewegung in der Fahrzeugendmontage zur Folge und ist somit im Vergleich zu den Bauraumclustern mit denen es in Konkurrenz steht zu priorisieren.

Eine Reduzierung der Erstinvestitionen bei den Hilfsmitteln und Werkzeugen konnte insbesondere durch die dritte Möglichkeit der Montageclusterbildung erzielt werden. Hierbei wurden zwar einige technisch nicht realisierbare Montagecluster erzeugt, jedoch wurden ebenfalls Montagecluster erzeugt, die technisch realisierbar sind, ein Vielfaches der Taktzeit aufweisen und über alle drei Fahrzeugprojekte nahezu deckungsgleich sind. Somit kann eine Übertragbarkeit auf andere Fahrzeugprojekte im Sinne der standardisierten Cluster gewährleistet werden.

Hinsichtlich der Länge der Montagelinie konnte durch keine der drei Vorgehensweisen bei der Clusterbildung ein positiver Einfluss abgeleitet werden, da sich durch die Clusterung keine Reduzierung der Montagezeit ergeben hat und ebenfalls kein Einfluss auf den kritischen Pfad in der Verbaureihenfolge möglich war. Durch die nur sehr geringe Anzahl an großen Bauteilen konnte zudem bei keinem der drei Clusterungsmöglichkeiten ein signifikanter Einfluss der Materialanstellung festgestellt werden.

Eine frühzeitige Abschätzung der Ergonomietendenz ist erstmal nur durch potenzielle Überkopftätigkeiten möglich. Diese werden sowohl durch die erste als auch durch die zweite Vorgehensweise zur Montageclustererzeugung dargestellt, sodass für diese Fälle z. B. eine Mensch-Roboter-Kooperation betrachtet und entwickelt werden kann, um ergonomisch ungünstige Tätigkeiten für die Mitarbeiter frühzeitig vermeiden zu können.

Zum Abschluss kann somit festgehalten werden, dass jede der drei Vorgehensweisen zur Montageclusterbildung einen positiven Effekt mit sich bringt. Der größte Effekt und Abdeckungsgrad kann bisweilen durch das Heranziehen des Bauraums erzeugt werden. Dennoch haben auch die beiden weiteren Vorgehensweisen gezeigt, dass eine andere

Betrachtung der Bauteilkriterien neue und vorteilsbringende Montagecluster identifizieren kann.

6.7 Softwareseitige Umsetzung und Überprüfung

Aufgrund der Vielzahl an Teilen, die in dem Anwendungsfall den Kategorie A- und B-Bauteilen zugewiesen wurden, und der damit verbundenen Abdeckung der Fahrzeugendmontage ist eine digitale Umsetzung prozesssicherer und schneller adaptierbar als die weitere analoge Verfolgung dieses Vorgehens.

6.7.1 Einordnung der Software TeamCenter in den PLM-Gesamtzusammenhang

Zur digitalen Umsetzung des Clusterungskonzeptes und damit zur Überprüfung der Vorgehensweise stehen aus dem Product-LifeCycle-Management (PLM) Repertoire der Firma Siemens die Process-Designer Software TeamCenter (TC) in der Version 10 und die PLM-Lösung von Delmia zur Implementierung zur Verfügung. PLM-Lösungen sind durch Entwicklungen in der Digitalen Fabrik entstanden und verfolgen das Ziel eine digitale Abbildung über den gesamten PEP zu ermöglichen [BRACH11, S.58]. Das Ziel der Digitalen Fabrik wird in der VDI-Richtlinie 4499 als „...die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt“ beschrieben [VDI08]. Klassische Werke in diesem Bereich sind unter anderem Kühn, Bracht et al., und Schack [KUEH06; SCHA08; BRAC11]. Vor der Einführung der Digitalen Fabrik gab es zur digitalen Absicherung, neben den Lösungen die sich ausschließlich auf den Bereich der Entwicklung eines Produktes beziehen, andere, die sich mit der Fabrikgestaltung und den damit verbundenen Ressourcen beschäftigen und weitere die zur digitalen Prozessgestaltung entwickelt wurden. Im Rahmen der Digitalen Fabrik werden diese einzelnen Software-Lösungen miteinander verbunden und es entsteht somit ein digitaler Abdruck der Fabrik und der damit verbundenen Prozesse. Die derzeitigen PLM-Lösungen gehen noch einen Schritt weiter und decken die Prozesse nach der Produktentstehung, also die Prozesse bei dem Kunden ab. Beispielsweise sind hier Reparaturprozesse zu nennen. Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch den Anwendungsbereich und die damit verbundenen Elemente des PEP auf.

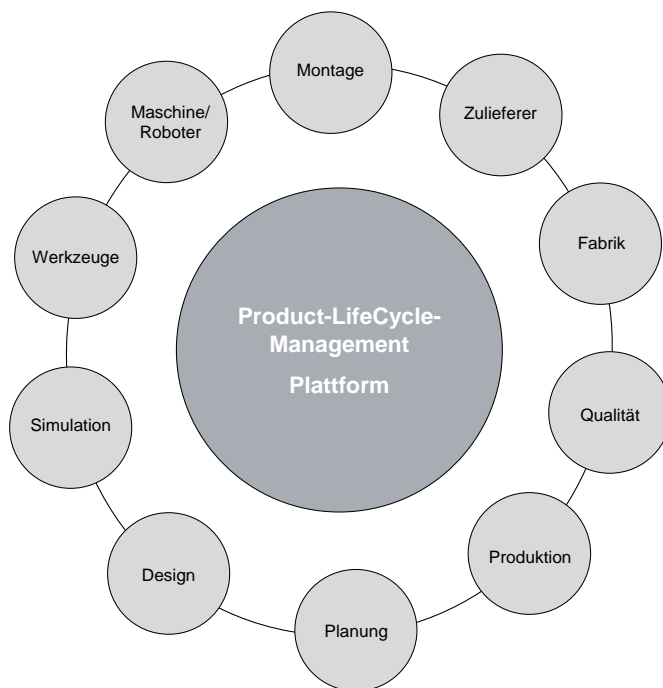


Abbildung 6-20: Die PLM Plattform [in Anlehnung an SIEM16]

Eine ausführliche Betrachtung für die Produktionsprozesse unter Verwendung der PLM-Lösungen von Siemens ist bei Arnhold zu finden, der sich auf digitale Produktionsprozesse variantenreicher Produkte bezieht, sodass von einer detaillierten Beschreibung für diese Fälle mit dem Verweis auf die Quelle Abstand genommen werden kann [ARNH13].

Aufgrund der Komplexität eines Fahrzeuges und der zur Verfügung stehenden Daten wird die Software TeamCenter von Siemens ausgewählt. Diese ermöglicht neben einer Stücklistengenerierung auch die automatische Erzeugung von Prozess- und Layoutbeschreibungen. Diese Software zeichnet sich dabei insbesondere durch die Verknüpfung von Objekteigenschaften mit einem Bauteil aus, wie es in diesem Konzept verfolgt wird. Dabei kann in dieser Software jedem Bauteil, welches als Objekt angelegt wurde, eine beliebige Anzahl an Eigenschaften zugewiesen werden. Diese Eigenschaften können dann im weiteren Verlauf der Fahrzeugplanung berücksichtigt und in die Planung integriert werden. Zudem kann mit Hilfe von TeamCenter neben der digitalen Planung auch ein Vorranggraph erstellt werden, sodass die technisch notwendige Abfolge und die direkten Abhängigkeiten zu jeder Zeit sichtbar gemacht werden können. Durch eine leichte Modifikation der Software besteht die Möglichkeit den hohen Gleichteilegrad der Fahrzeugprojekte in der Software abzubilden und so jederzeit eine Referenz eines Projektes zu der standardisierten Montagereihenfolge oder zu standardisierten Montageclustern darzustellen.

6.7.2 Die verwendete Software Siemens TeamCenter Version 10

Die Software TC ist eine datenbankbasierte Planungssoftware aus der Form des Process Designers, die auf einem dreigliedrigen Modell von Produkt-Prozess-Ressource/Betriebsmittel beruht, wie die folgende Abbildung zeigt. Dabei kann auf Basis einer fahrzeugbezogenen Stückliste eine Prozessplanung bis hin zu einer sekundengenauen Einplanung der Montageumfänge und der Ausgestaltung der Betriebsmittel erfolgen.

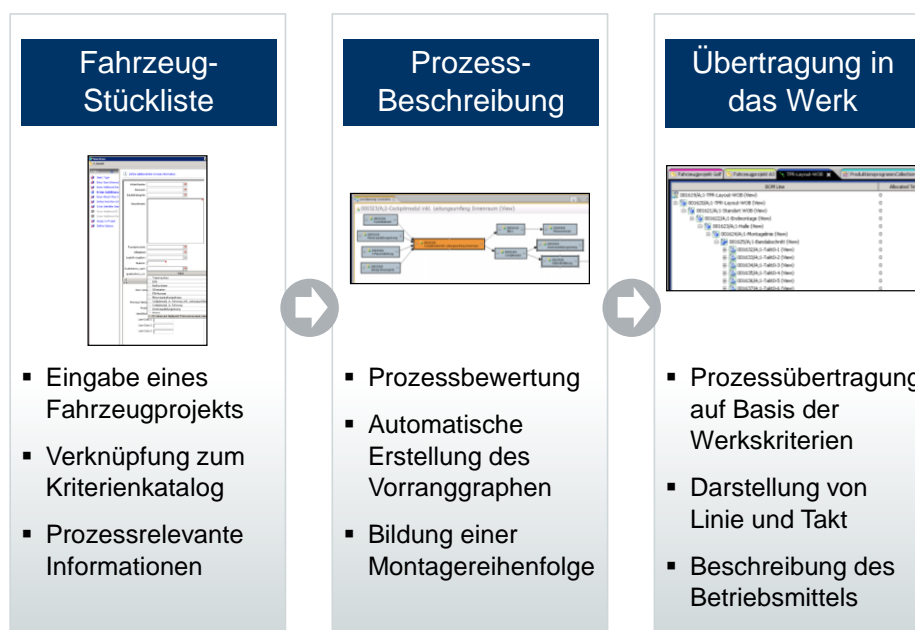


Abbildung 6-21: Vom Produkt über den Prozess zum Betriebsmittel

Die Software greift dabei auf bestehende Stücklisten (das **Produkt**) zurück, wobei es auch möglich ist eine eigens für das Projekt notwendige Stückliste zu erstellen. Die Bauteile der Stückliste sind mit Konstruktionszeichnungen in 2D- oder 3D-Ansichten verknüpft und mit den für die Planung relevanten Informationen versehen. Auf Basis der Stückliste, bei der die bestehenden Varianten eines Bauteils hinterlegt werden können, besteht die Möglichkeit eine **Prozessbeschreibung** inklusive eines Vorranggraphen zu erstellen. Bei dem Vorranggraphen kann zwischen einem einfachen- oder einem Misch-Graphen unterschieden werden (vgl. hierzu Abschnitt 2.6.1), wobei in der Regel die Maximalausstattung angezeigt wird und im Falle einer Reduzierung der Umfänge diese in der Prozessbeschreibung entfällt. Bei der Prozessplanung kann auf gängige Zeitanalyseverfahren wie das Methods-Time-Measurement (MTM) Verfahren zurückgegriffen werden. Dabei werden jedem Montageprozess die dafür notwendigen Zeitanteile zugewiesen, sodass eine explizite Prozessbeschreibung mit der dazugehörigen Montagedauer erfolgen kann. Die Montageprozesse können dann in die

vorhandene Werksstruktur übertragen und folglich den einzelnen Montagetakten zugewiesen werden. Nach der Übertragung in die Werksstruktur und der Zuweisung der Prozesse zu den Montagetakten kann ein Line Balancing erfolgen. Unter dem Begriff Line Balancing wird die Ausplanung der Montagelinie mit dem Fokus der höchstmöglichen Mix-Auslastung je Montagetak bzw. Mitarbeiter verstanden. Im Anschluss können dann die Arbeitsstationen mit den notwendigen **Ressourcen** oder auch **Betriebsmitteln** verknüpft werden, die hierfür ideal an den geplanten Prozess angepasst oder entwickelt werden. [ARNH13, S.66ff]

Um das Vorgehen des Clusterungskonzeptes und die Software TeamCenter in Einklang zu bringen, mussten vor der Anwendung Änderungen an den Standardelementen der Software durchgeführt werden. Dabei gilt es insbesondere im Bereich der Stückliste die beschriebenen Restriktionen als zusätzliche Informationen aufzunehmen und somit die Umsetzung des Clusterungskonzeptes besser zu ermöglichen. Eine konkrete Beschreibung der Anpassung sowie des Vorgehens im Rahmen dieser Arbeit ist Bestandteil des folgenden Unterkapitels.

6.8 Umsetzung des Anwendungsfalls in TeamCenter

Da es sich bei der Software TeamCenter um eine datenbankbasierte Planungssoftware handelt, arbeitet diese mit Grundelementen und –objekten, die in der Datenbank abgelegt werden. Hierfür existiert in TeamCenter bereits ein standardisiertes Item, also ein Objekt das mit Informationen gespeist werden kann. Dieses standardisierte Item hat einen sehr eingeschränkten Informationsgehalt, da es lediglich eine Eingabe des Bauteilnamens erlaubt und diesem dann eine einmalige Identifikationsnummer für die Datenbank zuordnet. [KLET08, S.11] Dieses grundlegende Item ist für den hiesigen Anwendungsfall nicht ausreichend, sodass die drei Items „A-Bauteil“, „B-Bauteil“ und „C-Bauteil“ von diesem Grunditem abgeleitet werden müssen. Diese neu generierten Items werden mit einer Eingabemaske versehen, die die bereits bekannten Informationen aus Kapitel 4 beinhaltet. Der Bauteilname muss als nach einer definierten, einheitlichen Semantik von dem Nutzer eingegeben werden, wohingegen die Informationen nach Bauraum, Arbeitshöhe, Fördertechnik, Logistikvorgaben und den frühesten und spätesten Einbaupunkt als DropDown Menü angelegt werden. Sobald ein neues Bauteil von dem User in das System eingetragen wird, erscheint es automatisch in dem Auswahlmenü für den frühesten und spätesten Einbaupunkt aller Bauteile, sodass die Auswahlmöglichkeit für den Nutzer stetig steigt und eine korrekte Beschreibung der Schachtelungsreihenfolge möglich ist. Die folgende Abbildung zeigt die Eingabemaske für das A-Bauteil auf, bei dem exemplarisch das DropDown Menü für den frühesten Einbaupunkt geöffnet wurde.

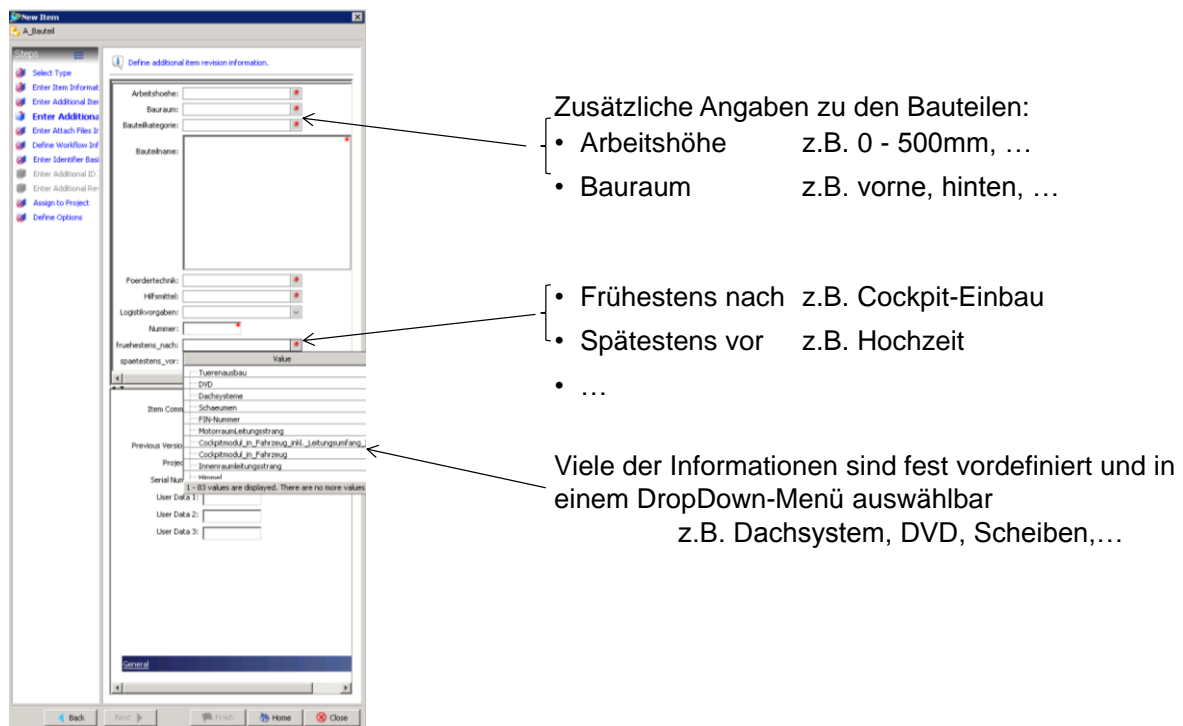


Abbildung 6-22: Die Eingabemaske für das Kategorie A-Bauteil

Nachdem alle Bauteile über diese Maske in die Datenbank abgelegt wurden, existiert eine Stückliste des vorliegenden Projektes. In der Bill-of-Material-Line (BOM-Line), welche die Stückliste darstellt, sind alle Objekte mit den bisher zugewiesenen Eigenschaften und Restriktionen hinterlegt. Zusätzlich zu den bisher beschriebenen Restriktionen besteht die Möglichkeit eine Variantenbeziehung zu hinterlegen, da es bei einigen Objekten, zum Beispiel bei den Säulenverkleidungen, verschiedene Ausprägungen gibt, die keine Auswirkung auf die Montage, hingegen aber auf den Bereitstellprozess aufweisen. Neben diesen für den Einbauprozess irrelevanten Ausprägungen einer Variante besteht auch die Möglichkeit, dass ein Bauteil beispielsweise nur bei einem speziellen Derivat verbaut werden kann. Zum Beispiel wird eine Hochvoltbatterie nur bei einem Elektrofahrzeug oder einem Hybridfahrzeug verbaut. Ein weiteres Beispiel für Variantenbedingungen, die eine Auswirkung auf die Montagezeit haben, sind die für Limousine und Kombi unterschiedlich gestalteten Kofferraum- und Heckklappenverkleidungen. Für das spätere Line Balancing ist diese Variantenbedingung essentiell, da unter Berücksichtigung der Häufigkeiten eines Derivates die gemittelte Auslastungszeit des Montagemitarbeiters bestimmt wird und daher jedem Bauteil die Information bzgl. der Variantenbedingung angehängt werden muss. Diese Informationen können nun mit der Stückliste eines Fahrzeugprojektes und einem Standort verknüpft werden, beeinflussen dabei aber eher die spätere Austaktung der Montagearbeitsplätze und weniger die Clusterbildung. Die für die Clusterung notwendigen

Parameter können in der BOM-Line beliebig angeordnet werden, wobei eine nach der Wichtigkeit absteigende Anordnung von der Arbeitshöhe über den Bauraum, die Fördertechnik bis hin zu dem Werkzeug zu empfehlen ist.

Fahrzeug-
Bauteilname Projekt Bauteileigenschaften

BOM Line	Variant Conditions	Arbeitshoehe	Bauraum	Bauteilname	Bauteilk...	Hilfsmittel	Foerdert...	fruehestens_nach	spaetest...	Nummer	Logistkivorgaben	Item Descri
000167/A;1-Bandabschnitt 0 (View)												
000174/A;1-Tuereausbau	Fahrzeugmodell = VW Golf	Niedrig (0-50...	Seite links	Tuereausbau ...	A-Bauteil	Ja	Lackskid	Tuereausbau	DVD	3602	Sequenz	
000176/A;1-DVD	Fahrzeugmodell = VW Golf	Niedrig (0-50...	Innenraum	Dachverstärk...	A-Bauteil	Ja	Lackskid	Tuereausbau	Dach syst...	4510	GLT	
000177/A;1-Dachsysteme (PASD,...	Fahrzeugmodell = VW Golf	Niedrig (0-50...	Innenraum	Dachsysteme ...	A-Bauteil	Ja	Lackskid	Dachsysteme	Ende BAO	3201	Sequenz	
000179/A;1-FIN-Nr. prägen (view)	Fahrzeugmodell = VW Golf	Niedrig (0-50...	Front	FIN-Nr. prägen	A-Bauteil	Ja	Lackskid	MI	Motorrau...	3305		
000209/A;1-X-Flanschdichtung	Fahrzeugmodell = VW Golf	Niedrig (0-50...	Seite links	X-Flanschdich...	B-Bauteil	Nein	Lackskid	Tuereausbau	Cockpitm...	3608	GLT	
000210/A;1-Leitungsumfang Heck...	Fahrzeugmodell = VW Golf	Niedrig (0-50...	Heck	Leitungsumfa...	B-Bauteil	Nein	Lackskid	Leitungsumfang ...	Verkleidu...	5010	Sequenz	
000168/A;1-Bandabschnitt 1 (View)												
000169/A;1-Bandabschnitt 2 (View)												
000170/A;1-Bandabschnitt 3 (View)												

Abbildung 6-23: Die Stückliste des Fahrzeugprojektes

Bereits zu diesem Zeitpunkt kann eine Unterteilung der Fahrzeugendmontage in Bandabschnitte auf Basis der lokalen Gegebenheiten erfolgen. Aus dem in Abschnitt 6.2.3 beschriebenen Vorranggraphen wurde eine Verbaureihenfolge erzeugt, bei der die im Werk vorliegende Fördertechnik bereits mit berücksichtigt worden ist. Auf Basis dieser fahrzeugspezifischen Stückliste und den bekannten Restriktionen kann nun eine Prozessplanung, also die eigentliche Montageplanung für das Projekt, erfolgen. Dabei wird die BOM-Line in eine standardisierte Prozessstruktur überführt. Idealerweise beginnt die Struktur bei dem Produktionsstandort, geht über das Gewerk, in diesem Fall die Endmontage, über die Hallenbezeichnung, in der die zu betrachtende Endmontage angesiedelt ist, der Endmontage-Linie, für den Fall dass in einer Halle zwei unterschiedliche Montagelinien verlaufen, bis hin zu dem Bandabschnitt. Die Übertragung der Informationen aus der BOM-Line in die standardisierte Prozessstruktur findet nach kleinen Anpassungen in der Software Teamcenter automatisiert statt. Das Ergebnis der Übertragung ist in Abbildung 6-24 auszugsweise dargelegt.

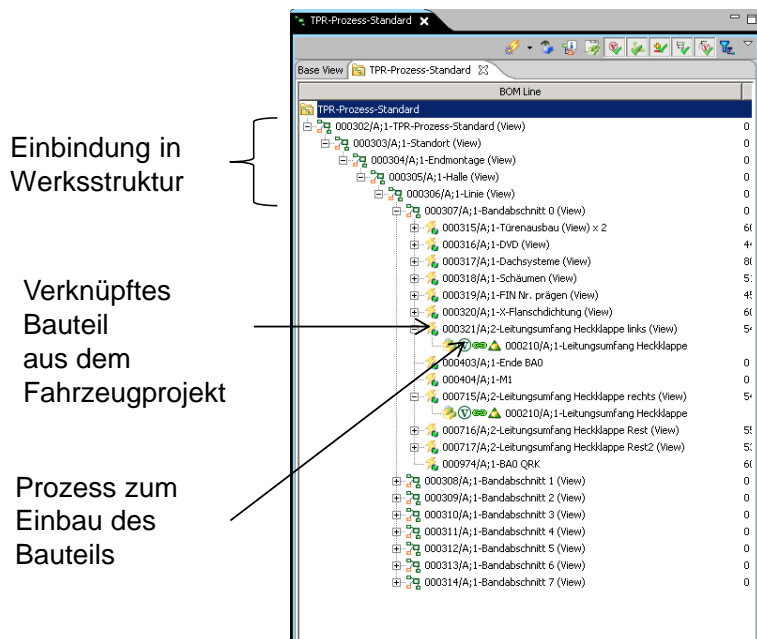


Abbildung 6-24: Die Prozessstruktur in TeamCenter

Durch die Verwendung der Software können jedem Bauteil die Bauteilzeichnungen sowie von der Entwicklung vorgegebene Montagehinweise als Anlage angehängt werden. Diese spezifischen Montagehinweise wurden bisher nicht in dem Clusterungskonzept berücksichtigt und können zum Beispiel die Schraubreihenfolge bei mehr als drei Verschraubungen sein, um das korrekte Anziehmoment und den passgenauen Sitz des Bauteils gewähren zu können. Sofern bereits Hilfsmittel zum Einbau des Bauteils vorliegen, besteht die Möglichkeit die Fotos oder Zeichnungen ebenfalls an das Bauteil mit anzuhängen. Insbesondere bei den Kategorie A-Bauteilen sind diese Informationen in Form von technischen Zeichnungen und Funktionszeichnungen für das jeweilige Betriebsmittel notwendig.

In dieser Prozessstruktur ist es nun möglich jedem Bauteil bzw. jeder Bauteilvariante eine definierte Arbeitsbeschreibung mit konkreten Arbeitsinhalten, sogenannten Operationen, zuzuweisen. Diese Operationen können detailliert nach MTM beschrieben und dann mit einer Montagezeit verknüpft werden, sodass die Dauer des Einbauprozesses bekannt ist. Diese Prozessstruktur wird nun in eine Layoutstruktur übertragen, die exakt denselben Aufbau wie die Prozessstruktur hat, jedoch die werkspezifische Anzahl der zur Verfügung stehenden Montagetakete beinhaltet. Dabei wird jedem Bandabschnitt eine fest definierte Anzahl an Takten zugewiesen, die sich aus den vorgegebenen Strukturen des Werkes ergeben. Es wird zudem angenommen, dass in jedem Takt standardisiert zwei Mitarbeiter stehen können, um unnötige Kollisionen der Werker zu vermeiden. In Abbildung 6-25 ist diese Layoutstruktur zu sehen.

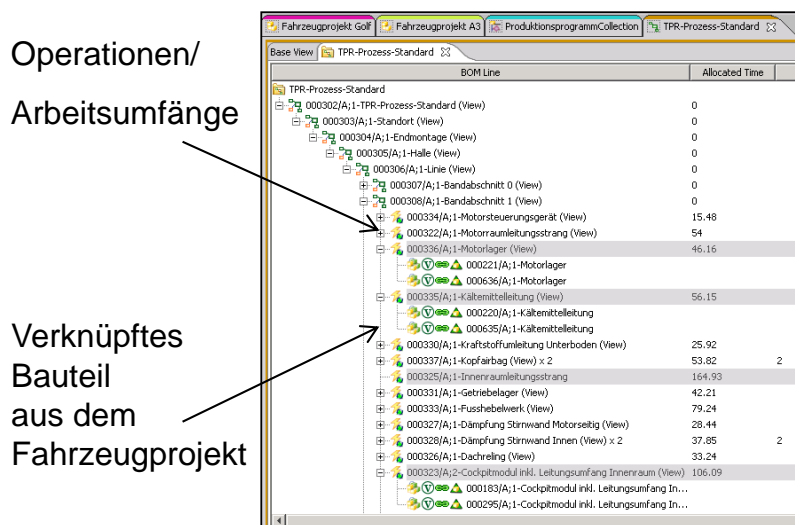


Abbildung 6-25: Die Layoutstruktur in TeamCenter

Die in der Prozessstruktur beschriebenen Vorgänge werden auf Basis der analysierten Zeiten auf die Mitarbeiter des Bandabschnittes verteilt, es erfolgt somit das Line Balancing. Sofern die Prozessdauer geringer ist als die Taktzeit, besteht die Möglichkeit weitere Tätigkeiten gemäß des Vorranggraphen und unter Berücksichtigung der Bauteileigenschaften auf die Mitarbeiter zu verteilen. Wohingegen bei einer Überschreitung der Taktzeit eine Aufteilung der Inhalte auf mehrere Mitarbeiter notwendig ist. Die Auslastung der Mitarbeiter wird durch eine plakative Darstellung in der Software gut ersichtlich, wobei eine Überlastung in rot erscheint und eine Unterschreitung der zur Verfügung stehenden Taktzeit als leerer Raum erkennbar ist. (vgl. hierzu Abbildung 6-26)

Verbleibender Arbeitsinhalt bei nicht ausgelasteten Takten

Farbliche Darstellung der Überlastung + Zeitanteil

Freier Arbeitsplatz

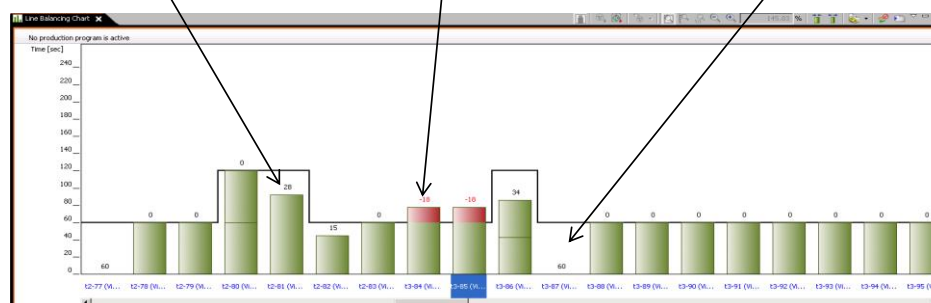


Abbildung 6-26: Eine Über- und Unterschreitung der Taktzeit

Eine Unter- oder Überschreitung der Taktzeit kann auch partiell durch einzelne Modellvarianten erfolgen, sodass bei einer geringen Einbaurrate der Ausstattung eine

Überlastung des Mitarbeiters in Kauf genommen werden kann. Dies gilt nur sofern die nachfolgenden Fahrzeuge eine Unterschreitung der Taktzeit zur Folge haben und der Mitarbeiter im Durchschnitt nicht mehr Montageinhalte als die ihm zur Verfügung stehende Taktzeit durchführen muss. Dieses Vorgehen ist auch als Driften bekannt und wird von Halubek als eine grundlegende Methode zur idealen Ausplanung der Fahrzeugendmontage angesehen. Eine detaillierte Ausführung zum Driften eines Mitarbeiters und der idealen Ausplanung seiner Arbeitsinhalte ist in seiner Arbeit zu finden und wird daher im Folgenden nicht weiter betrachtet [HALU13]. Die dabei entstehenden variantenabhängigen Spitzen sind im Auslastungsdiagramm als kleine blaue Säule dargestellt. Die angezeigte durchschnittliche Auslastung des Mitarbeiters beruht auf den zugrunde gelegten Einbauraten der jeweiligen Varianten, sodass die ermittelte durchschnittliche Auslastung nicht über der Taktzeit liegen sollte.

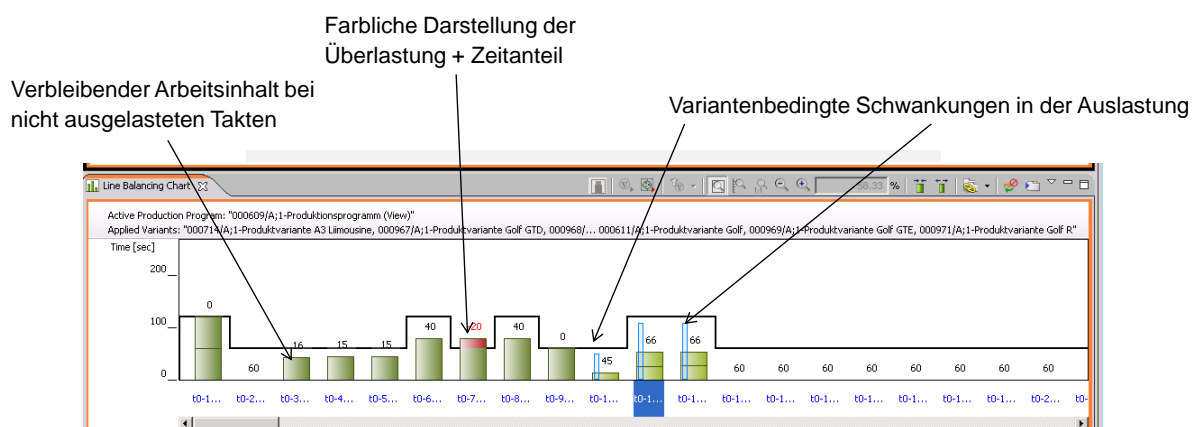


Abbildung 6-27: Die Darstellung der Variantenbedingungen im Line Balancing

Neben den Informationen hinsichtlich einer Unter- und Überschreitung der Taktzeit sind bei der Layoutdarstellung auch die in der Eingabemaske abgefragten Vorranggrapheneigenschaften hinterlegt, sodass die direkten Abhängigkeiten eines Bauteils zu den angrenzenden Bauteilen angezeigt werden können. Mit einem Klick auf das zu untersuchende Bauteil öffnet sich eine Maske mit den direkten Abhängigkeiten des Bauteils zu den umliegenden Bauteilen. Die Abhängigkeiten der angrenzenden Bauteile können dann über den Klick auf das „+“ Zeichen ebenfalls angezeigt und so sukzessive ein Vorranggraph aufgebaut werden. (vgl. hierzu Abbildung 6-28)

Vorheriges Bauteil Nachfolgendes Bauteil

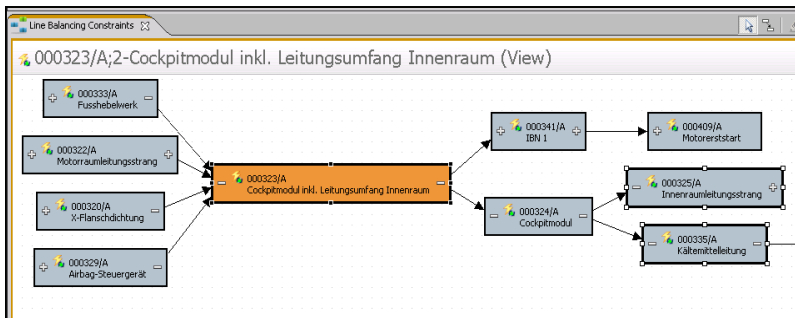
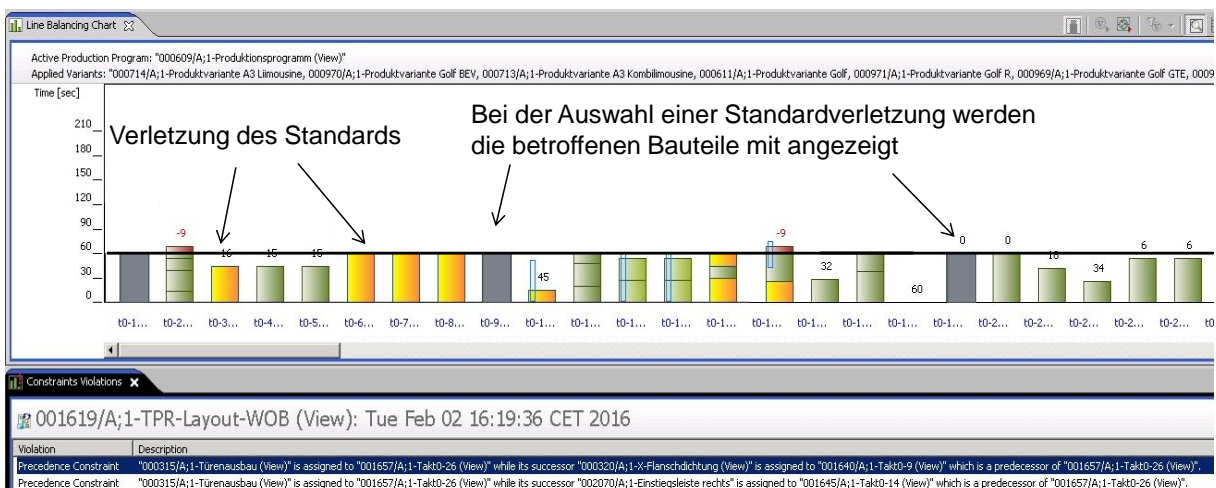


Abbildung 6-28: Darstellung der direkten Abhängigkeiten der Bauteile in TeamCenter

Bei der Verschiebung von Bauteilen innerhalb der Montagelinie oder innerhalb eines Bandabschnittes kann es zu Verletzungen der Vorranggraphbeziehungen kommen, sodass eine Einplanung von technisch nicht realisierbaren Szenarien durchgeführt wird. Auf Basis der bereits hinterlegten Vorranggraphbeziehungen ist durch eine Überprüfung sofort ersichtlich, ob die Planung den technischen Bedingungen des Produktes genügt. Verletzungen des Vorranggraphen werden im Auslastungsdiagramm als gelbe Säulen angezeigt. In dem darunter liegenden Textfeld sind die konkreten Verletzungen der Aufbaureihenfolge textuell mit Hinweis auf den Montagetak und den Klarnamen des Bauteils beschrieben. (vgl. hierzu Abbildung 6-29)



Textuelle Beschreibung der Verletzung des Vorranggraphen

Abbildung 6-29: Die Darstellung der Vorranggraphverletzungen

Dieses Vorgehen ist mit wenigen Anpassungen der PLM-Software Teamcenter bereits umsetzbar, sodass zu einer sehr frühen Zeit im PEP bereits die technische Realisierbarkeit einer Fahrzeugmontage am Standort überprüft werden kann.

Die in der theoretischen Beschreibung identifizierten Montagecluster weisen über die drei Anwendungsszenarien hinaus nahezu gleiche Bauteile auf und können somit als standardisierte Montagecluster betrachtet werden. Dies hat zur Folge, dass in jedem Fahrzeugprojekt diese standardisierten Clustern genutzt werden können und die dazu beschriebenen Prozesse lediglich einmal optimal geplant, beschrieben und dokumentiert werden müssen, um sie in jedes Projekt zu übertragen. Somit kann die Planungszeit erheblich reduziert werden und es können bereits bestehende Werkzeuge, Hilfsmittel, etc. über verschiedene Projekte hinweg genutzt und weiterentwickelt werden. Jedes neue Fahrzeugprojekt kann folglich diese Cluster übernehmen und in die jeweilige Werksstruktur übertragen. Die Zuordnung der Bauteile zu den Montageclustern erfolgt bei der Eingabe der Bauteile in der Stückliste. Dabei erkennt das Programm anhand des eingegebenen Bauteilnamen automatisch, dass es sich bei dem neu angelegten Bauteil um ein Bauteil eines Montageclusters handelt. Folglich werden die fest definierten Parameter, wie die Einbaurestriktionen und die Montagedauer automatisiert gefüllt. Der Nutzer muss diese lediglich visuell überprüfen und nicht eigenständig einpflegen. Damit eine Trennung der Bauteile aus dem Cluster hinaus vermieden wird, werden die Prozesse im Line Balancing als ideal ausgeplante Montagearbeitsplätze analog der folgenden Abbildung dargestellt. Dadurch können die bereits ideal geplanten Prozesse in jedem Projekt berücksichtigt werden und dem Nutzer wird eine visuelle Rückmeldung zu den hinterlegten Montageclustern gegeben, die folglich nicht mehr analysiert und betrachtet werden müssen.

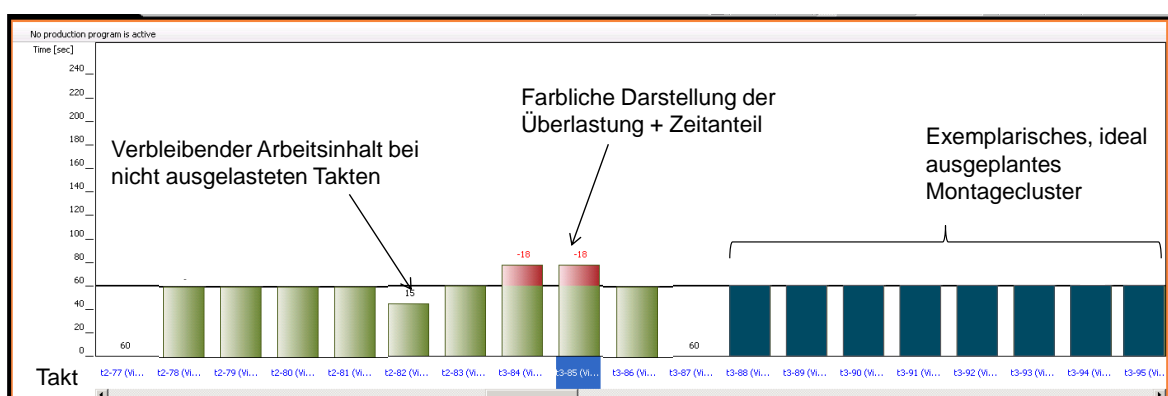


Abbildung 6-30: Die Darstellung des idealen Montageclusters im Line Balancing

Aus der standardisierten Übertragung ideal ausgeplanter Montagecluster in jedes neue Projekt resultieren detailliert vorgeplante Montagelinien, sodass der Montageplaner deutlich

effizienter arbeiten kann. Diese effizientere Planung liegt vor allem an der geringen Anzahl zu planender Prozesse, sodass in Folge dessen der Montageplaner nur noch eine begrenzte Zahl an Prozessschritten verschwendungsfrei ausplanen muss. Gleichzeitig ermöglichen diese Montagecluster eine Kombination unterschiedlicher Fahrzeuge in einer Montagelinie ohne einen erheblichen Mehraufwand in der Planung zu generieren.

Sollten die örtlichen Rahmenbedingungen der Fabrik eine Umsetzung der Montagecluster nicht ermöglichen, so ist dies in dem Bereich der Layoutstruktur sofort ersichtlich. Sind beispielsweise fest vorgegebene Höhenverläufe in der Fahrzeugendmontage aufgrund der bestehenden Fördertechnik vorhanden, wird dem Montageplaner dies durch eine direkte Gegenüberstellung der Soll-Höhenwerte für den Verbau und der Ist-Höhenwerte der Fabrik angezeigt. Bei Schwierigkeiten mit der Realisierung besteht die Möglichkeit das Montagecluster innerhalb der Rahmenbedingungen zu verschieben, oder aber als letzte Lösung das Montagecluster wieder aufzulösen. Dies hätte zur Folge, dass eine bauteilbezogene und damit deutlich zeitintensivere Planung der Montagelinie erfolgen muss.

6.9 Fazit

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln die Einflussgrößen und Anforderungen an das Clusterungskonzept in der theoretischen Form beschrieben worden sind sowie eine Entwicklung des Clusterungskonzepts stattgefunden hat, konnte in diesem Kapitel eine praktische Anwendung vollzogen werden. Dabei haben insbesondere die drei Anwendungsszenarien Aufschluss über die praktische Umsetzung des theoretischen Konzeptes gegeben.

Der dabei entstandene Abgleich der verschiedenen Fahrzeugprojekte hat die praktische Umsetzbarkeit des Konzeptes bestätigt und es konnten erhebliche Synergien zwischen den Fahrzeugprojekten identifiziert werden. Dabei hat sich gezeigt, dass eine Clusterung über den Bauraum in dem Fahrzeug die größten Übereinstimmungen zwischen den verschiedenen Fahrzeugprojekten bringen kann. Eine zusätzliche Clusterung hinsichtlich der Einbauhöhe und der Hilfsmittel bzw. Werkzeuge ermöglicht es, projektübergreifende positive Aspekte für die Fahrzeugendmontage herauszustellen. Die drei Anwendungsszenarien haben einen Überdeckungsgrad von circa 40% der Hauptlinie in der Fahrzeugendmontage aufgezeigt, sodass anhand der identifizierten Cluster dieser Gleichanteil an Prozessabfolgen über alle Fahrzeugprojekte standardisiert werden kann. Bei der Analyse haben sich zwischen den Fahrzeugprojekten Differenzen in der Montagezeit ergeben, diese hängen an einigen Stellen mit den Größenunterschieden der Bauteile und an anderen Stellen mit leicht veränderten Befestigungskonzepten zusammen. Im Sinne der idealen Vereinheitlichung sollte es das Ziel sein diese Differenzen zwischen den Projekten zu eliminieren, um nicht nur die Bauteile in

den Clustern standardisiert beschreiben zu können, sondern auch die dazugehörigen Prozesse nur noch einmalig planen zu müssen, um eine 100%ige Übertragbarkeit in alle Projekte gewährleisten zu können.

Die folgende Implementierung in eine PLM-Software ist die logische Konsequenz der ganzheitlichen Weiterverfolgung dieses Ansatzes. Denn wenn bereits die Bauteile und in einigen Fällen sogar die dazugehörigen Prozesse einheitlich aufgebaut sind, ist der Nutzen insbesondere durch eine digitale Weiterverfolgung am größten. Durch den stücklistenbasierten Ansatz, bei dem bereits frühzeitig die Verbaurestriktionen hinterlegt werden, kann eine Übertragbarkeit in die verschiedenen Projekte gewährleistet werden. Dabei ist es notwendig, dass die bereits als standardisierbar identifizierten Montagecluster in jedem Projekt als Ausgangsbasis zur Verfügung stehen. Diese sollten nach Möglichkeit nicht mehr veränderbar sein und nur noch marginale Anpassungen aufgrund der Teilenummer je Bauteil und der zum Verbau benötigten Verbindungselemente erlauben. Der in der Software mögliche Abgleich eines jeden Projektes zu der standardisierten Verbaureihenfolge und den festgelegten Montageclustern unterstützt eine ganzheitliche Umsetzung dieser Methode.

Neben diesen Vorteilen gibt es auch einige Schwierigkeiten bei der Umsetzung des Clusterungskonzeptes, die kurz aufgeführt werden sollten. Zum einen ist bei den standardisierten Montageclustern eine intensive Vorarbeit notwendig, um diese festzulegen und eine Umsetzbarkeit in den unterschiedlichen Fahrzeugprojekten zu ermöglichen. Eine Veränderung der Montagereihenfolge eines Fahrzeuges hätte folglich direkte Konsequenzen auf die Montagecluster und damit auf die Übertragbarkeit der Cluster in die verschiedenen Projekte. Somit ist bei der Fahrzeuggestaltung stark zwischen technisch notwendigen Veränderungen und Veränderungen aufgrund des Designs, etc. zu unterscheiden und die daraus resultierenden Risiken sind dementsprechend abzuwägen. Bei technischen Veränderungen von Bauteilen handelt es sich um Veränderungen die aufgrund des technologischen Fortschrittes oder aufgrund von zusätzlicher Funktion/Ausstattung für den Kunden notwendig sind. Veränderungen aufgrund des Designs erzeugen zunächst beim Kunden keinen Mehrwert. Im Sinne einer effizient bleibenden Produktion sollten sowohl eine konstante Montagereihenfolge, als auch konstant bleibende Montagecluster zwischen den Fahrzeugprojekten sichergestellt werden.

Neben dieser grundlegenden Schwierigkeit bei Produktweiterentwicklungen ist auch die praktische Realisierbarkeit in der PLM-Software mit einigen Hindernissen verbunden. Insbesondere die personelle Verantwortung für die Eingabe der Verbaurestriktionen und der prozessrelevanten Informationen muss in dem Unternehmen geklärt werden. Oftmals verfügen die Entwicklungsingenieure nicht über das notwendige Prozess-Know-How in der Fahrzeugendmontage, sodass ein Mitarbeiter aus der operativen Planung mit hinzugezogen

werden muss. Dies ist aufgrund der in Abschnitt 2.1.4 beschriebenen Aufgabenteilung im PEP oftmals schwierig und kann zu ungeklärten Verantwortlichkeiten führen. Insbesondere die frühe Pflege der Montagereihenfolge kann bei mangelndem Wissen der Fahrzeugentwicklung zu den Montageprozessen nicht durchgeführt werden, sodass eine Umsetzung und Übertragung der Cluster ggfs. erst zu einem späteren Zeitpunkt im PEP überprüft werden kann. Dieser Zeitpunkt liegt aufgrund des Wissens zu den Montageprozessen in der Verantwortung der Planung, sodass Änderungen im Produkt zur Beibehaltung bestehender Cluster durch den Zeitpunkt im PEP nicht oder nur schwer möglich sind.

Wenn die Hürden jedoch erfolgreich überwunden werden, ist dieses Clusterungskonzept ein mehrwertbringender Ansatz zur Erhöhung der Planungseffizienz und der wirtschaftlichen Auslegung von Mehr-Marken und Mehr-Modell-Standorten.

7 Zusammenfassung und Ausblick

7.1 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde ein neuartiges Clusterungskonzept für die Fahrzeugendmontage entwickelt, um die Komplexität in der Planung der Fahrzeugendmontage zu reduzieren. Dabei wurde auf Basis des Vorranggraphen und der Anforderungen seitens des Einbauprozesses eine Methodik zur logischen Zusammenführung einzelner Bauteile entwickelt. Diese daraufhin entstehenden Montagecluster wurden hinsichtlich verschiedener Kriterien bewertet, um die ideale Herangehensweise und Ausgestaltung eines Montageclusters beschreiben zu können.

Nachdem zu Beginn die praktische Problemstellung beschrieben wurde, wurden im zweiten Kapitel die Grundlagen für die vorliegende Arbeit geschaffen. Dabei galt es nicht nur wichtige Begrifflichkeiten im Rahmen der Fahrzeugendmontage zu definieren, es wurden auch eine charakteristische Einordnung der Fahrzeugendmontage und eine Beschreibung der Inhalte der Fahrzeugendmontage durchgeführt, sodass eine Abgrenzung zu den vor- und nachgelagerten Produktionsschritten, aber auch der angrenzenden Schritte im PEP möglich war. Zudem wurde im zweiten Kapitel die Entwicklung der Komplexität in der Fahrzeugindustrie beschrieben, die in eine Analyse der bestehenden produktseitigen Maßnahmen zur Komplexitätsreduktion gemündet ist. Bei den produktseitigen Maßnahmen wurden die Plattformkonzepte, die Modularisierungskonzepte, aber auch die Baukastenstrategie anhand theoretischer Beispiele sowie anhand von Beispielen innerhalb und außerhalb der Automobilindustrie beschrieben. Die daran angrenzende Beschreibung der prozessseitigen Maßnahmen zur Komplexitätsreduktion beinhaltet neben der Standardisierung auch die Erzeugung von Vorranggraphen und Montagereihenfolge. Für eine Implementierung dieser produkt- und prozessseitigen Maßnahmen in die Projekte bedarf es einer Montageplanung, deren Ansätze sowohl aus Sicht der Forschung als auch aus Sicht der Industrie beschrieben worden sind. Das abschließende Fazit des zweiten Kapitels fasst die Inhalte kurz zusammen und bildet die Überleitung zum dritten Kapitel, in dem der Handlungsbedarf für die Fahrzeugendmontage aufgezeigt wird.

In dem dritten Kapitel wird der vorliegende Forschungsbedarf zur Komplexitätsreduktion in der Fahrzeugendmontageplanung aufgezeigt. Dieser beruht auf der in Kapitel 2 durchgeführten Analyse zu bestehenden Methoden und Werkzeugen und beinhaltet eine erste kurze Beschreibung des zu untersuchenden Gegenstandes. Der identifizierte Forschungsstand basiert auf den derzeit fehlenden Methoden zur Identifikation logischer Bauteilgruppierungen in der Fahrzeugendmontage. Bisherige Lücken bei der Begriffsdefinition, die für eine spätere Analyse und Abgrenzung des Clusterungskonzeptes notwendig sind, werden in Kapitel 2

aufgezeigt. Die für diese Arbeit notwendige Definition des Montageclusters erfolgt in Kapitel 3, wobei eine Abgrenzung zu den bestehenden Begrifflichkeiten der Plattform, des Moduls und des Baukastens vorgenommen wird.

Die Anforderungen, die auf das zu entwickelnde Clusterungskonzept einwirken, wurden im Kapitel 4 beschrieben. Die Beschreibung wurde analog der in Kapitel 2 durchgeführten Unterteilung in produkt- und prozessrelevante Anforderungen durchgeführt und um weitere Anforderungen seitens der Betriebsmittel erweitert.

Das anschließende Kapitel 5 beinhaltet die Entwicklung des Clusterungskonzeptes beginnend bei den Prämissen, die für eine erfolgreiche Durchführung eingehalten werden müssen. Anschließend findet eine Abgrenzung der Einflussnahme des Konzeptes in Bezug auf den PEP und die dazugehörigen Geschäftsbereiche statt. Durch den aktuellen Forschungsstand bezieht sich das Clusterungsmodell vorrangig auf die Prozessplanung und Prozessdurchführung, wobei auch leichte Auswirkungen auf die vorgelagerte Produktentwicklung und die nachgelagerte Betriebsmittelplanung erkennbar sind. Die Selektion der Bauteile durchläuft ein stringentes Muster, welches auch zur Erstellung des Vorranggraphen verwendet werden sollte und die Grundeinflussgrößen der Bauteile auf den Einbauprozess beschreibt. Die Möglichkeit der Clusterung und die Restriktionen, auf die bei der Clusterung der Montageinhalte geachtet werden muss, werden im Folgenden kurz beschrieben, bevor eine Bewertung der idealen Montagecluster eingeführt wird. Die Bewertung hat gezeigt, dass der besondere Fokus auf der Mehrfachverwendung von Montageclustern liegt, um die Planungszeit und Komplexität zu reduzieren und die Effizienz von Mehr-Modell-Standorten zu erhöhen. Das Kapitel 5 endet mit einem Fazit, dass die wichtigsten Erkenntnisse zusammenfasst und eine Überleitung zur folgenden Validierung bildet.

In Kapitel 6 wird zunächst kurz das Vorgehen für die Validierung sowie die Auswahl der einzelnen Fahrzeugprojekte erläutert, ehe das Clusterungskonzept an drei gänzlich verschiedenen Fahrzeugprojekten überprüft wird. Die Analyse der drei Fahrzeugprojekte hat sehr ähnliche Vorranggraphen ergeben, sodass bei der Erzeugung der Montagecluster auch sehr ähnliche Ergebnisse erzielt werden konnten. Für die Erzeugung wurden drei verschiedene Kriterien gewählt, sodass bei einem finalen Vergleich der drei Fahrzeugprojekte gleiche oder sehr ähnliche Cluster identifiziert werden konnten. Somit wurde ein Standardisierungspotenzial und damit eine Komplexitätsreduzierung in der Planung der Fahrzeugendmontage durch eine einmalige Planung eines Montageclusters und dessen Übertragung in verschiedene Projekte ermöglicht. Mit der vorgestellten softwaretechnischen Implementierung kann diese Planung automatisiert übernommen werden, sodass sich der Planungsaufwand erheblich reduziert. Zusätzlich wird eine einfache Bedienbarkeit für den Montageplaner gewährleistet. Der Abgleich des Planungsergebnisses zu der idealisierten

Ausgangsbasis ermöglicht zusätzlich die frühzeitige Fehlervermeidung, infolgedessen stabilere Fahrzeuganläufe und effizientere Mehr-Modell-Standorte möglich sind.

7.2 Ausblick

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich ausschließlich mit der Fahrzeugendmontageplanung aus Sicht eines Automobilherstellers. Eine mögliche Übertragbarkeit dieser Methodik auf andere Branchen hat im Rahmen dieser Arbeit nicht stattgefunden. Es ist aber davon auszugehen, dass die Methodik in allen anderen Branchen angewendet werden kann und lediglich eine Adaption bei den Eigenschaften der Clusterungskriterien vorgenommen werden muss. Bei den Montageprozessen eines jeden Produktes handelt es sich gemäß Abbildung 2-1 um einheitlich definierte Vorgänge die bei der Montage von jedem Produkt durchgeführt werden müssen.

Bei der softwareseitigen Umsetzung hat sich gezeigt, dass die notwendigen Informationen so früh wie möglich in das System eingepflegt werden müssen. Dies hat zur Folge, dass die reine Planungsaufgabe nicht mehr trennscharf analog des PEP gesehen werden darf, sondern bereits in der Entwicklungsphase mit den ersten Schritten zur ganzheitlichen Prozessplanung begonnen werden muss. Eine Implementierung dieses Systemgedankens bedarf deutlich mehr als nur der Einführung einer Softwarelösung. Es muss seitens des einführenden Unternehmens auf die Notwendigkeit der Nutzung und der sauberen Pflege des Systems hingewiesen werden. Hierfür ist eine Implementierung der Vorgehensweise in die Arbeitsprozesse notwendig und muss in allen relevanten Bereichen des Unternehmens sichergestellt werden. Denn dieses Clusterungskonzept und die generelle Umsetzung der auf Einflussgrößen basierenden Fahrzeugendmontageplanung ist nur mit höchster Disziplin in allen Bereich des Unternehmens durchführbar. Jedoch kann ein Unternehmen bei einer ganzheitlichen Umsetzung dieses Konzeptes den Planungsaufwand erheblich zu reduzieren und die Produktivität an Mehr-Modell-Standorten deutlich erhöhen.

Neben der praktischen Überprüfung dieses Konzeptes bei anderen OEMs und in anderen Branchen besteht zudem die Möglichkeit einen Algorithmus zu entwickeln, der auf Basis gewisser Eingangs- und Zielkriterien eine mögliche Clusterungsstrategie über die verschiedenen Fahrzeugprojekte aufdeckt und entwickelt. Somit würde die Chance bestehen innerhalb kürzester Zeit die aufgedeckten Potentiale zu heben und die Anwendbarkeit noch nutzerfreundlicher zu gestalten oder auf kurzfristige konstruktive Änderungen besser reagieren zu können.

8 Literaturverzeichnis

- [ALTE09] Altemeier, S.: *Kostenoptimale Kapazitätsbestimmung in einer getakteten Variantenfließfertigung*, Universität Paderborn, 2009.
- [ANDR06a] Andres, M.-J., 2006: Die optimale Varianz, in: Brandeins 01/06, S.65-69.
- [ANDR06b] Andreßen, T.: *System Sourcing – Erfolgspotenziale der Systembeschaffung*, Wiesbaden: DUV Verlag, 2006.
- [ARNH13] Arnhold, D.: *Digitale Produktionsprozessplanung variantenreicher Produkte unter Berücksichtigung von intervallbasierten Eingangsdaten*, Aachen, Shaker Verlag, 2013.
- [ARNO11] Arnoscht, J., et.al.: *Individualisierte Produktion*, In: Brecher, C.: *Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer*, Berlin u.a.: Springer Verlag, 2011, S.83-255.
- [BALD97] Baldwin, C.B., Clark, K.B.: *Managing in an Age of Modularity*, In: Harvard Business Review, September-October, 1997, S.84-93.
- [BENE99] Benett, S.: *Komplexitätsmanagement in der Investitionsgüterindustrie*, Dissertation an der Universität St.Gallen (HSG), 1999.
- [BERG04] Berger, B.: *Modularisierung und Wissen in der Produktentwicklung – Ein Beitrag zur einheitlichen Aufbereitung und individuellen Nutzung in Lehre und Praxis*, Düsseldorf: VDI Verlag, 2004.
- [BERN93] Bernhart, W.: *Beitrag zur Bewertung von Montagevarianten: Rechnergestützte Hilfsmittel zur kostenorientierten, parallelen Entwicklung von Produkt und Montagesystem*, Dissertation an der TH Karlsruhe, WBK Forschungsberichte 49, 1993.
- [BETR15] Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) – Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln, Ausfertigungsdatum: 03.02.2015.

- [BIEG71] Biegert, H.: *Die Baukastenbauweise als technisches und wirtschaftliches Gestaltungsprinzip*, Technische Universität Karlsruhe, 1971.
- [BOEH04] Böhme, M.: *Ein methodischer Ansatz zur parametrischen Produktmodellierung in der Fahrzeugentwicklung*, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 567, Düsseldorf: VDI-Verlag, 2004.
- [BOHN98] Bohn, M.: *Toleranzmanagement im Entwicklungsprozess – Reduzierung der Auswirkungen von Toleranzen auf Zusammenbauten der Automobil-Karosserien*, Dissertation an der Universität Karlsruhe, 1998.
- [BOOT11] Boothroyd, G., Dewhurst, P., Knight, W.A.: *Product Design for Manufacture and Assembly*, Third Edition, London, CRC Press, 2011.
- [BORN76] Bornmann, V.: *Zu konstruktionsmethodischen Vorgehen beim Konzipieren von Baukastensystemen*, Dissertation TH Ilmenau, 1976.
- [BORO61] Borowski, K.-H.: *Das Baukastensystem in der Technik*, Berlin: Springer Verlag, 1961.
- [BOSS08] Boss, W.: *Methodik zur Gestaltung und Bewertung von modularen Werkzeugen*, Aachen: Apprimus Wissenschaftsverlag, 2008.
- [BOUT97a] Boutellier, R., Dinger, H., Lee, H.: *Plattformen – ein Erfolgsfaktor im Wettbewerbsdruck*, in: Technische Rundschau, Nr. 37/38, 1997, S.58-61.
- [BOUT97b] Boutellier, R., Schuh, G., Seghezzi, H.D.: *Industrielle Produktion und Kundennähe – Ein Widerspruch*, in: Schuh, G., Wiendahl, H.-P.: *Komplexität und Agilität – Steckt die Produktion in der Sackgasse?*, Berlin, u.a., Springer Verlag, 1997, S.37-64.
- [BOYS05] Boysen, N.: *Variantenfließfertigung*, Wiesbaden, Deutscher Universitäts Verlag, 2005.
- [BRAC11] Bracht, U., Geckler, D., Wenzel, S.: *Digitale Fabrik – Methoden und Praxisbeispiele*, Heidelberg, Springer Verlag, 2011.

- [BROC11] Brocke, R.: *Konzept zur Komplexitätsbeherrschung in der Automobilindustrie*, Bericht Nr. 81 des Instituts für Konstruktionstechnik der TU Braunschweig, München, Dr. Hut Verlag, 2011.
- [BRUN12] Brunner, N., et.al.: *Plattformkonzept für die Montageplanung – Entwicklung standardisierter Montagesysteme in der Motorenproduktion*, In: ZWF Montagesysteme Jahrgang 107 Nr.11, München: Carl Hanser Verlag, 2012, S.825-830.
- [BRUE06] Brüggemann, C., et.al: *Modularisierung von Karosseriestrukturen*, In: ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 10/06, Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag, 2006, S.864-871.
- [BRUE07] Brüggemann, C., Eilert, U., Stieg, J.: *Ein Ansatz zur Modularisierung von Karosseriestrukturen*, In: 3. Braunschweiger Symposium Faszination Karosserie, Bietigheim-Bissingen: DKF, 2007, S.1-28.
- [BULL86] Bullinger, H.-J.: *Systematische Montageplanung – Handbuch für die Praxis*, München u.a.: Carl Hanser Verlag, 1986.
- [BULL99] Bullinger, H.-J.: *Turbulent times require creative thinking: New European concepts in production management*, in: International Journal of Production Economics 60-61, Stuttgart, 1999, S.9-27.
- [CHEW96] Chew, F.: *New Era: Million-Unit Platforms*, in Automotive News, 70.Jahrgang, Nr.5674, vom 08. August 1996, S.1 und S.37.
- [COND16] http://www.conductix.de/sites/default/files/downloads/PICT_09_08_25_Prinzip_Power_Free_with_carriage.jpg
- [CORS07] Corsten, H., Gössunger, R.: *Modularisierung von Dienstleistungen - Untersuchung am Beispiel der Logistikdienstleistung*, in: Gouthier, M.H.J., et. al: Service Excellence als Impulsgeber – Strategien, Management, Innovationen, Branche, Berlin, u.a., Springer Verlag, 2007, S. 163-185.

- [CORS09] Corsten, H., Dresch, K.-M., Gössinger, R.: *Prozess-Beziehungsmatrix als Grundlage für die Modularisierung von Dienstleistungen*, In: Gelbrich, K., Souren, R.: *Kundenintegration und Kundenbindung – Wie Unternehmen von ihren Kunden profitieren*, Wiesbaden: Gabler Verlag, 2009, S.95-108.
- [CUIP00] Cuiper, R.: *Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen*, Forschungsberichte IWB Band 143, München: Herbert Utz Verlag, 2000.
- [DANK04] Dankbaar, B.: *The NedCar Experience: The Confrontation of Dutch, Swedish and Japanese Ideas about Car Manufacturing*, in: Boyer, R., et al.: *Between Imitation and Innovation – The Transfer and Hybridization of Productive Models in the International Automobile Industry*, New York, Oxford Press, S.233-253.
- [DEUT89] Deutschländer, A.: *Integrierte rechnerunterstützte Montageplanung*, München: Carl Hanser Verlag, 1989.
- [DIN98] DIN-Norm 19233: *Prozessautomatisierung – Begriffe*, Berlin, Beuth Verlag, 1998.
- [DINE10] DIN EN ISO 7250-1: *Wesentliche Maße des menschlichen Körpers für die technische Gestaltung – Teil 1: Körpermaßdefinitionen und –messpunkte (ISO 7250-1:2008)*, Deutsche Fassung EN ISO 7250-1:2010.
- [DOMS93] Domschke, W., Scholl, S., Voß, S.: *Produktionsplanung*, Berlin u.a.: Springer Verlag, 1993.
- [DORA09] Doran, D., Hill, A.: *A review of modular strategies and architecture within manufacturing operations*, In: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers – Part D: Journal of Automobile Engineering*, Volume 223 (1), 2009, S.65-75.
- [DRUC90] Drucker, P.F.: *The emerging theory of manufacturing*, Harvard Business Review May-June, 1990, S.94-102.

- [DUDI10] Dudic, D.: *Modell für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktplanung und –entwicklung*, Heimsheim, Jost-Jetter Verlag, 2010.
- [DUER43] Dürr, A.: *Langfräsmaschinen im Baukastensystem*, Werkstattstechnik / Der Betrieb 37, Nr.6 , 1943, S.233-237.
- [ECKS11] Eckstein, H., Eichert, J. Waidmann, M.: *Prozessmodell zur Integration von Konstruktion und Montageplanung*, In: ZWF Montagesysteme Jahrgang 107 Nr.11, München: Carl Hanser Verlag, 2011, S.200-205.
- [EILE15] Eilers, J.: *Methodik zur Planung skalierbarer und rekonfigurierbarer Montagesysteme*, Aachen, Apprimus Verlag.
- [EISE12] Eisele, M., Weskamp, M., Kraus, M.: *NäGeMo - Die nächste Generation der Montageplanung*, In: Productivity management Nr. 17, No.5, 2012, S.35-38.
- [ERHA01] Erhardt, M.: *Netzwerkeffekte, Standardisierung und Wettbewerbsstrategie*, Wiesbaden: DUV Verlag, 2001.
- [EVER81] Eversheim, W., 1981: *Montage richtig planen - Methoden und Hilfsmittel zur rationellen Gestaltung der Montage in Unternehmen mit Einzel- und Serienfertigung*, Berichte aus dem Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der RWTH Aachen, Reihe 2 Nummer 45, VDI-Verlag, Düsseldorf.
- [FELD97] Feldmann, C.: *Eine Methode für die integrierte rechnergestützte Montageplanung*, Forschungsberichte IWB Band 104, München: Herbert Utz Verlag, 1997.
- [FIRC02] Firchau, N.L., et. al: *Methoden zu Variantenbeherrschung in der Produktentwicklung*, in: Franke, H.-J., et. al: *Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung*, München, Carl Hanser Verlag, 2002, S.52-84.
- [FIRC03] Firchau, N.L.: *Variantenoptimierende Produktgestaltung*, Göttingen, Civillier Verlag, 2003.

- [FOGL05] Fogl, F., et. al.: *MoSES – Baukastensystem für modulare Dienstleistungen*, In: Herrmann, T., Kleibeck, U., Krcmar, H.: *Konzepte für das Service Engineering - Modularisierung, Prozessgestaltung und Produktivitätsmanagement*, Heidelberg: Physica Verlag, 2005, S.85-100.
- [FORD23] Ford, Henry: *My Life and Work*, in Collaboration with Samuel Crowther, Garden City, New York, Doubleday Page & Company, 1923.
- [FRIE08] Friedrich, H.E., et.al.: *Werkstoffe und Bauweisen ermöglichen neue Fahrzeugkonzepte*, In: Schindler, V., Sievers, M.: *Forschung für das Auto*, Berlin u.a.: Springer Verlag, 2008, S.301-347.
- [FRIE13] Friedli, T., Schuh, G.: *Wettbewerbsfähigkeit der Produktion an Hochlohnstandorten*, 2. Auflage, Berlin u.a.: Springer Verlag, 2013.
- [FROM88] Frommherz, B., Hornberger, J.: *Automatische Erzeugung von Vorranggraphen*, in: Rembold, U., Warnecke, H.-J.: *Robotersysteme*, Zeitschrift für Informationstechnologie und Handhabungstechnik Nr.4, Berlin, u.a. Springer Verlag, 1988, S.145-152.
- [FROM90] Frommherz, B.J.: *Ein Roboteraktionsplanungssystem*, Berlin, Springer Verlag, 1990.
- [GANG93] Ganghoff, P.: *Wissensbasierte Unterstützung der Planung technischer Systeme - Konzeption eines Planungswerkzeuges und exemplarische Anwendung im Bereich der Montagesystemplanung*, WBK Forschungsberichte Nr.50 der TU Karlsruhe, 1993.
- [GERS03] Gershenson, J.K.: *Product modularity: definitions and benefits*, journal of engineering Design, Volume 14, Issue3, 2003, Seite 295-313.
- [GOEP12] Göpfert, I., Schulz, M.: *Strategien des Variantenmanagements als Bestandteil einer logistikgerechten Produktentwicklung*, In: Göpfert, I., et.al., *Automobillogistik*, Wiesbaden, Gabler Verlag, 2012, S.133-145.

- [GOEP00] Göpfert, J., Steinbrecher, M.: *Modulare Produktentwicklung leistet mehr – Warum Produktarchitektur und Produktorganisation gemeinsam gestaltet werden müssen*, In: Harvard Businessmanager, 22 Jahrgang, Heft 3/2000, S.20-32.
- [GREW95] Grewal, S., Tran, P., Bhaskare, A.: *Assembly Planning Software*, in: Annals of the CIRP Vol.44 Nr.1, 1995, S.1-6.
- [GROB82] Grob, R., Haffner, H.: *Planungsleitlinien Arbeitsstrukturierung*, Siemens AG, Berlin, 1982.
- [GROS97] Gross, W.: *Das Smart-Konzept*, in: VDI Berichte 1325: Deutscher Materialfluss-Kongress, Den Wandel fordern und fördern, 1997, S.43-53
- [GRUN02] Grunwald, S.: *Methoden zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung*, Forschungsberichte IWB Band 159, München, Herbert Utz Verlag, 2002.
- [GUEN06] Günthner, W.A., Wilke, M., Heinecker, M.: *Modulare Materialflusssysteme für wandelbare Fabrikstrukturen – Schlussbericht für den Zeitraum: 01.03.2004 bis 28.02.2006*, Lehrstuhl für Fördertechnik, Materialfluss, Logistik der TU München, 2006.
- [GUNZ08] Gunzenhauser, M.: *Platform Concepts for the Systems Business - Design and Development of Global Product Platforms*, Düsseldorf, VDI Verlag, 2008.
- [HACK97] Hackenberg, U., Hirtreiter, K., Rummel, C.: *Entwicklungs- und Produktionssynergien der Baukastentechnik*, in: ATZ – Automobiltechnische Zeitschrift, Sonderausgabe „Der neue Audi A6“, Vol. 99, Nr. 3, 1997. S.48-57.
- [HALL00] Haller, E., et. al.: *Leistungsabstimmung von PKW-Montagelinien*, In: Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering, Darmstadt, Vol. 49., Nr.1, 2000, S. 4-11.
- [HALU13] Halubek, P.: *Simulationsbasierte Planungsunterstützung für Variantenfließfertigungen*, Essen, Vulkan-Verlag, 2013.

- [HAUR01] Hauri, S.: *Stück für Stück: Neue Konstruktionsmöglichkeiten durch Modulbauweise*, in: Autotechnik, o.Jg., Heft 3, 2001, S.21.
- [HEGN28] Hegner, K.: *Wirtschaftlichkeit im Konstruieren*, Werkstatttechnik und Maschinenbau, Nr. 22, 1928.
- [HEIM05] Heim, G.: *Das komplett modularisierte Automobil am Beispiel des MOSAIC-Projekts*, In: Megaschritt Modularisierung, Tagung in Berlin, 2005.
- [HENZ95] Henze, A.: *Eisenzeit – Geschichte und Technik der Metallbaukästen*, in: Schwarz, H. / Henze, A. / Faber, M.; *Eisenzeit – Geschichte der Metallbaukästen*, Schriften des Spielzeugmuseums Nürnberg, Band 1, Nürnberg, 1995, S.35-94.
- [HOFE01] Hofer, A.P.: *Management von Produktfamilien – Wettbewerbsvorteile durch Plattformen*, Wiesbaden, DUV Verlag, 2001.
- [HOFE05] Hofer, A.P., Halman, J.I.M.: *The potential of layout platforms for modular complex products and systems*, In: Journal of Engineering Design, Vol. 16, No. 2, April 2005, Taylor & Francis Group Ltd., S.237-258
- [HOLW04] Holweg, M.; Pil, F.-K.: *The Second Century, Reconnecting Customer and Value Chain Through Build-To-Order*, B&T Verlag, 2004.
- [HRAC11] Hrachwy, R.O.: *VW führt den MQB ein*, In: Krafthand Heft 17, 2011, S.64-66.
- [HUCK90] Huck, M.: *Produktorientierte Montageablauf- und Layoutplanung für die Roboter montage*, Düsseldorf, VDI-Verlag, 1990.
- [ISO04] ISO/IEC: *ISO/IEC Guide 2 „Standardization and related activities - General vocabulary“*, Genua, International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission, 8th Edition, 2004.
- [JODL07] Jodlbauer, H.: *Produktoptimierung: Wertschaffende sowie kundenorientierte Planung und Steuerung*, 2. Auflage, Berlin u.a., Springer Verlag, 2007.

- [JONA00] Jonas, C.: *Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen*, Forschungsberichte IWB Band 145, München, Herbert Utz Verlag, 2000.
- [JUER13] Jürgens, U., et.al.: *Moderne Zeiten in der Automobilfabrik – Strategien der Produktionsmodernisierung im Länder- und Konzernvergleich*, Berlin, Springer Verlag 2013
- [KAMP11] Kampker, A., et. al.: *Künftige Montagestrukturen für Elektrofahrzeuge*, In: ATZ 111 Jahrgang 01/2011, Wiesbaden, Springer Vieweg Verlag, S.54-59.
- [KAPP76] Kappler, H.P.: *Die Elementverbindung im erdgeschossigen Baukastenhaus*, Wiesbaden, Bauverlag, 1976.
- [KARG02] Karg, H., le Claire, C.: *Modularisierung von Formhimmeln*, Ein Vortrag anlässlich der IIR Konferenz zum Thema „Dachsysteme“ vom 15.-16.10.2002 in Augsburg.
- [KIPP12] Kipp, T.: *Methodische Unterstützung der variantengerechten Produktgestaltung*, Hamburg, TUTech Verlag, 2012.
- [KISI06] Kisiel, R.: *Once-rigid assembly plants become flexible*, Automotive News, 7. August 2006.
- [KLET08] Klett, G.; et. al.: *Teamcenter Express – kurz und bündig*, Wiesbaden, Vieweg + Teubner Verlag, 2008.
- [KLIN10] Klindworth, H., Otto, C., Scholl, A.: *On a Learning Precedence Graph Concept for the Automotive Industry*; Working and Discussion Paper Series School of Economics and Business Administration Friedrich-Schiller-University Jena, Jenaer Schriften zur Wirtschaftswissenschaft, 2010
- [KLUG10] Klug, F.: *Logistikmanagement in der Automobilindustrie*, Berlin, Springer Verlag, 2010.
- [KLUG11] Kluge, S.J.: *Methodik zur fähigkeitsbasierten Planung modularer Montagesysteme*, Heimsheim, Jost-Jetter Verlag, 2011.

- [KOLL85] Koller, R.: *Konstruktionslehre für den Maschinenbau – Grundlagen des methodischen Konstruierens*, 2. Auflage, Berlin, Springer Verlag, 1985.
- [KONO03] Konold, P., Reger, H.: *Praxis der Montagetechnik: Produktdesign, Planung, Systemgestaltung*, Wiesbaden, Vieweg Verlag, 2. Überarbeitete und erweiterte Auflage, 2003.
- [KRAM11] Krammer, P., Neef, D., Plapper, P. : *Advanced Manufacturing Technologies for Generals Assembly*, SAE International 2011-01-1253, 2011.
- [KREB11] Krebs, R.: *Elektromobilität als Chance*, 13. Industrieforum, Wolfsburg, 2011.
- [KROK05] Kroker, J.: *Schnittstellensystematik für modulare Fahrzeugkarosserien*, Bericht Nr. 69 des Instituts für Konstruktionstechnik der Technischen Universität Braunschweig, Berlin, Logos Verlag, 2005.
- [KROP09] Kropik, M.: *Produktionsleitsysteme in der Automobilfertigung*, Berlin, Springer Verlag, 2009.
- [KRUS04] Krusche, T., et.al.: *Bewertung von Modularisierungsstrategien für unterschiedliche Fahrzeugkonzepte am Beispiel des Vorderwagen*, ATZ 10, Jahrgang 106, Wiesbaden, Springer Vieweg Verlag, 2004, S.928-933.
- [KRUE04] Krüger, A.: *Planung und Kapazitätsbestimmung stückzahlflexibler Montagesysteme*, Forschungsberichte IWB Band 186, München, Herbert Utz Verlag, 2004.
- [KUEH06] Kühn, W.: *Digitale Fabrik – Fabriksimulator für Produktionsplaner*, München, Hanser Verlag, 2006.
- [LANG01] Langner, J.; Truckenbrodt, A.: *MoCar - Die Modularisierung von Produkt und Produktion bei Daimler Chrysler*, SCGA-Seminar, Zürich. 2001
- [LETM02] Letmathe, P.: *Flexible Standardisierung – Ein dezentrales Produktionsmanagement-Konzept für kleine und mittlere Unternehmen*, Wiesbaden, Gabler Verlag, 2002.

- [LOTT94] Lotter, B., Schilling, W.: *Manuelle Montage – Planung, Rationalisierung, Wirtschaftlichkeit*, Düsseldorf, VDI Verlag, 1994.
- [LOTT12a] Lotter, B.: *Einführung*, In: Lotter, B., Wiendahl, H.-P.: *Montage in der industriellen Produktion - Ein Handbuch für die Praxis*, Berlin u.a., Springer Verlag, 2012, S.1-9.
- [LOTT12b] Lotter, B.: *Hybride Montagesysteme*, In: Lotter, B., Wiendahl, H.-P.: *Montage in der industriellen Produktion - Ein Handbuch für die Praxis*, Berlin u.a., Springer Verlag, 2012, S.167-194.
- [LOTT12c] Lotter, B.: *Manuelle Montage von Großgeräten*, In: Lotter, B., Wiendahl, H.-P.: *Montage in der industriellen Produktion - Ein Handbuch für die Praxis*, Berlin u.a., Springer Verlag, 2012, S.147-166.
- [LOTT12d] Lotter, B., Hartel, M.: *Planung und Bewertung von Montagesystemen*, In: Lotter, B., Wiendahl, H.-P.: *Montage in der industriellen Produktion - Ein Handbuch für die Praxis*, Berlin u.a., Springer Verlag, 2012, S.365-388.
- [MAYE93] Mayer, R.: *Strategien erfolgreicher Produktgestaltung – Individualisierung und Standardisierung*, Wiesbaden, DUV, 1993.
- [MERZ87] Merz, K.-P.: *Entwicklung einer Methode zur Planung der Struktur automatisierter Montagesysteme*, Dissertation der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 1987.
- [METZ77] Metzger, H.: *Planung und Bewertung von Arbeitssystemen in der Montage*, Schriftenreihe aus dem Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, Stuttgart, Hrsg. Warnecke, Dr. H.-J., Mainz, Krasskopf Verlag, 1977.
- [MEYE97] Meyer, M.H., Lehnerd, A.P.: *The Power of Product Platforms*, New York, The Free Press, 1997.
- [MINZ90] Minzu, V.; Bratcu, A.; Henrioud, J.: *Construction of the precedence graphs equivalent to a given set of assembly sequences*; In: *Proceedings of the 1999 IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning*, 14-19.

- [MOEß07] Mößmer, H./Schedlbauer, M./Günthner, W.: *Die automobile Welt im Umbruch*, in: *Neue Wege in der Automobillogistik*, Hrsg. von: Günthner, W., Berlin, Springer Verlag, 2007, S. 3–15.
- [MOTU08] Motus, D.: *Referenzmodell für die Montageplanung in der Automobilindustrie*, München, Herbert Utz Verlag, 2008.
- [MUEL00] Müller, M.: *Management der Entwicklung von Produktplattformen*, Dissertation an der Universität St. Gallen (HSG), Nr. 2388, 2000.
- [MUEL15a] Müller, R., et. al.: *Mit virtueller Planung zur effizienten Montage*, in: *Maschinenmarkt KW23 2015*, S.42-45
- [MUEL15b] Müller, R., et al.: *Methodology for planning and operating cyber-physical assembly systems*, in: *CF Oduoza, Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*, 2015, S. 312-319.
- [MUEL15c] Müller, R., et. al.: *Modell zur fähigkeitsbasierten Montageplanung - Fähigkeitsbasierte Bewertung von Produktänderungen am Beispiel der Motorenmontage*, in: *ZWF Montagesysteme Jahrgang 110 Nr.9*, München: Carl Hanser Verlag, 2015, S. 553-557.
- [MUEL15d] Müller, R., et. al.: *Mechatronische Module als Befähiger für einen durchgängigen Informationsfluss bei der Planung und dem Betrieb von Cyber-Physischen Montagesystemen*, in: *VDI Mechatronik Tagung 2015*, Dortmund den 12.03.-13.03.2015, S. 173-178.
- [NASV53] Nasvytis, A.: *Die Gesetzmäßigkeiten kombinatorischer Technik*, Wissenschaftliche Normung, Schriftreihe, herausgegeben mit dem Seminar für Technische Normung an der Technischen Hochschule Hannover, 1953.
- [NEUM96] Neumann, K.: *Produktions- und Operations-Management*, Berlin u.a., Springer Verlag, 1996.
- [NOSC89] Noschka, A.: *Gustav Lilienthal – (unbekannter) Erfinder berühmter Baukästen*, in: *Reichhard, H.J.: Gustav Lilienthal – Baumeister, Reformier, Flugtechniker*, Berlin, 1989, S.61-90.

- [OGEW14] Ogewell, V.: *Inside Daimler Mercedes Switch from Dassault Systemes to Siemens PLM and NX*, *Engineering.Com*, Veröffentlicht am 08.04.2014, <http://www.engineering.com/PLMERP/ArticleID/7438/Inside-Daimler-Mercedes-Switch-from-Dassault-Systemes-to-Siemens-PLM-and-NX.aspx>, Zuletzt aufgerufen am 02.12.2015.
- [O.V.95] o.V.: *Mehr Auto für die Mark*, in: *Automobil Produktion*, 9. Jahrgang, Ausgabe Februar 1995, S.26-34.
- [O.V.14] o.V.: *Zeitschrift Automobilwoche Ausgabe 23*, 3. November 2014, Oberpfaffenhofen, Crains Communications GmbH, S.1.
- [PARK92] Park, H.: *Rechnerbasierte Montageplanung in der Mittelserienfertigung*, Fortschritt-Berichte Reihe 2, Nr.246, Düsseldorf, VDI Verlag, 1992.
- [PILL98] Piller, F.T.: *Kundenindividuelle Massenproduktion: Die Wettbewerbsstrategie der Zukunft*, München, Carl Hanser Verlag, 1998.
- [PILL99] Piller, F.T., Waringer, D.: *Modularisierung in der Automobilindustrie: neue Formen und Prinzipien; Modular Sourcing, Plattformkonzepte und Fertigungssegmentierung als Mittel des Komplexitätsmanagements*, Aachen, Shaker Verlag, 1999.
- [PILL01] Piller, F.T.: *Mass customization – Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter*, Wiesbaden, DUV Verlag, 2001.
- [PINE93] Pine II, J.B.: *Mass Customization: The new frontier in Business Competition*, Harvard Business School Press, 1993.
- [RAMP95a] Rampersad, H.: *Concurrent design of product, process and robotic assembly system*, In: *Assembly Automation* 15, Nr.1, 1995, S.21-28.
- [RAMP95b] Rampersad, H.: *A Case Study in the Design of Flexible Assembly Systems*, In: *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems* Nr.7, 1995, S.225-286.

- [RAPP99] Rapp, T.: *Produktstrukturierung*, Dissertation an der Universität St. Gallen (HSG), Wiesbaden, Gabler Verlag, 1999.
- [REES93] Reese, J.: *Standardisierung, Typisierung, Normung*, in: Wittmann, W., Kern, W., Köhler, R., Küpper, H.-U., von Wysocki, K.: *Handwörterbuch der Betriebswirtschaft*, Teilband 3, Schäffer-Pöschel, Stuttgart, 5. Auflage, 1993, S.3940-3949.
- [REFA85] REFA Verband für Arbeitsgestaltung und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): *Methodenlehre des Arbeitsstudiums : Teil 3 Kostenrechnung, Arbeitsgestaltung*. München, Hanser Verlag, 1985.
- [REFA87] REFA: *Planung und Gestaltung komplexer Produktionssysteme*, REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (Hrsg.), München, Carl Hanser Verlag, 1987.
- [REIC89] Reichhard, H.J.: *Gustav Lilienthal 1849 – 1933 – eine biographische Skizze*, in: Reichhard, H.J.: *Gustav Lilienthal – Baumeister, Reformier, Flugtechniker*, Berlin, 1989, S. 9-32.
- [RICH06] Richter, M., 2006: *Gestaltung der Montageorganisation*, in: Lotter, B., Wiendahl, H.-P., 2006: *Montage in der industriellen Produktion - Ein Handbuch für die Praxis*, Springer Verlag, Berlin / Heidelberg, S.95-126.
- [RISS03] Risse, J.: *Time-to-Market-Management in der Automobilindustrie. Ein Gestaltungsrahmen für ein logistikorientiertes Anlaufmanagement*, Berlin, Haupt Verlag, 2003.
- [ROBE98] Robertson, D., Ulrich, K.: *Planning for Product Platforms*, in: Sloan Management Review, 39. Jahrgang, Nummer 4, Sommer 1998, S.19-31.
- [ROSC08] Roscher, J.: *Bewertung von Flexibilitätsstrategien für die Endmontage in der Automobilindustrie*, Dissertation am Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart, 2008.

- [RUDO07] Rudolf, H.: *Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie*, Forschungsberichte der IWB, Band 204, München, Herbert Utz Verlag, 2007.
- [RUPP07] Ruppert, T.: *Modularisierung des Verbrennungsmotors als strategische Option in der Motorenindustrie*, Dissertation, Kassel, 2007.
- [SANC96] Sanchez, R.: *Strategic Product Creation: Managing New Interactions of Technology, markets and Organizations*, European Management Journal, Vol. 14, Nr.2, April 1996, S.112-138.
- [SAND95] Sanderson, S., Uzumeri, M.: *Managing product families: The case of Sony Walkman*, in: Research Policy Nr.24, 1995, S.761-782.
- [SAWH98] Sawhney, M.S.: *Leveraged High-Variety Strategies: From Portfolio Thinking to Platform Tinking*, in: Journal of the Academy of Marketing Science, 26.Jahrgang, Nr. 1, 1998, S.54-61.
- [SCHA08] Schack, R.: *Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik*, München, Herbert UTZ Verlag, 2008.
- [SCHI91] Schimke, E.-F.: *Montageplanung – Methoden, Fallbeispiele, Praxiserfahrung*, Düsseldorf, VDI Verlag, 1991.
- [SCHM63] Schmidbauer-Jurascheck, B.: *Typenbeschränkung: Möglichkeiten und Grenzen für den Industriebetrieb*, Bern, Haupt Verlag, 1963.
- [SCHN97] Schneeweiß, C.: *Einführung in die Produktionswirtschaft*, 6. Auflage, Berlin u.a., Springer Verlag, 1997.
- [SCHO09] Schoeller, N.: *Internationales Komplexitätsmanagement am Beispiel der Automobilindustrie*, Dissertation eingereicht an der RWTH Aachen, Aachen, 2009
- [SCHO89] Scholz, W.: *Modell zur datenbankgestützten Planung automatisierter Montageanlagen*, München, Carl Hanser-Verlag, 1989

- [SCHU89] Schuh, G.: *Gestaltung und Bewertung von Produktvarianten*, VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 2, Nr.177, Düsseldorf, 1989.
- [SCHU00] Schuh, G., et.al.: *The Potential of Product Family Management based on Product Platform Concepts*, In: Silvalonganathan, S., Andrews PTJ, 2000, S.601-612.
- [SCHU12] Schuh, G. Lenders, M., Nußbaum, C.: *Produktarchitekturgestaltung*, In: Schuh, G.: *Innovationsmanagement - Handbuch Produktion und Management 3*, zweite, vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Berlin u.a., Springer Verlag, 2012, S.115-160.
- [SCHU92] Schuster, G.: *Rechnergestütztes Planungssystem für die flexibel automatisierte Montage*, IWB Forschungsberichte 55, TU München, 1992.
- [SCHW95] Schwarz, H.: *Groß und klein – Ingenieurskunst aus dem Baukasten*, in: Schwarz, H. / Henze, A. / Faber, M.: *Eisenzeit – Geschichte des Metallbaukastens*, Schriften des Spielzeugmuseums Nürnberg, Band 1, Nürnberg, 1995, S.9-34.
- [SEKO05] Sekolec, R.: *Produktstrukturierung als Instrument des Variantenmanagements in der methodischen Entwicklung modularer Produktfamilien*, Fortschrittsbericht VDI Reihe 16 Nr. 172, Düsseldorf, VDI Verlag, 2005.
- [SIEM16] http://www.plm.automation.siemens.com/de_de/plm/digital-manufacturing.shtml#lightview%26uri=tcm:73-3257%26title=Tecnomatix%20Overview%20-%20Tecnomatix%20Brochure%20-%204998%26docType=pdf
- [SIMO96] Simon, H.A.: *The Sciences of the Artificial*, Cambridge u.a., MIT Press, 1996.
- [SIMP01] Simpson, T.W., Maier, J.R.A., Misstree, F.: *Product Platform Design: Method and Application*, in *Research in Engineering Design*, Volume 13, Nr. 1, 2001, S.2-22.
- [SIMP14] Simpsons, T.W., et.al.: *Advances in Product Family and Product Platform Design*, New York, u.a., Springer Verlag, 2014.

- [SLAM04] Slama, S.: *Effizienzsteigerung in der Montage durch marktorientierte Montagestrukturen und erweiterte Mitarbeiterkompetenz*, Bamberg, Meisenbach Verlag, 2004.
- [SPUR97] Spur, G., Krause, F.-L.: *Das virtuelle Produkt – Management der CAD Technik*, München, Carl Hanser Verlag, 1997.
- [STAN97] Stanke, A., Berndes, S.: *Simultaneous Engineering als Strategie zur Überwindung von Effizienzsenken*, in: Bullinger, et al.: *Forschungs- und Entwicklungsmanagement – Simultaneous Engineering, Projektmanagement, Produktplanung, Rapid Product Development*, Wiesbaden, Springer Verlag, 1997, S.15-28.
- [STEF07] Steffen, D., Gausemeier, J.: *Modularisierung mechatronischer Systeme*, In: *Industrie-Management: Zeitschrift für industrielle Geschäftsprozesse* Nr. 23, Volume 6, Berlin, GITO Verlag, 2007, S.9-12.
- [STOF12] Stoffel, S., Amstad, F., Steinmann, R.M.: *Baukasten für betriebliche Gesundheitsförderung – Module für Gesundheit und Leistungsfähigkeit im (Berufs-)leben*, Aachen, Meyer und Meyer Verlag, 2012.
- [STRA06] Strauss, B.: *Plattformstrategie im Dienstleistungsbereich*, In: Bullinger, H.-J., Scheer, A.W.: *Service Engineering, Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen*, 3. Auflage, Berlin, Springer Verlag, 2006, S.321-340.
- [SUH07] Suh, E.S., de Weck, O.L., Chang, D.: *Flexible Product Platforms: Framework and Case Study*, in: *Research Engineering Design*, Volume 18, Nr. 2, August 2007, S.67-89.
- [TANN12] Tanneberger, V., Paetz, M.: *Modularisierung ermöglicht Individualisierung*, ATZ Extra November 2012, Wiesbaden, Springer Vieweg Verlag, 2012, S.64-70
- [THAL93] Thaler, K.: *Regelbasiertes Verfahren zur Montageablaufplanung in der Serienfertigung*, Berlin, Springer Verlag, 1993.
- [TOEN92] Tönshoff, H., Menzel, E., Park, H.: *A Knowledge-Based System for Automated Assembly Planning*, In: *Annals of CIRP* Vol.41 Nr.1, S.19-24.

- [TRUC01] Truckenbrodt, A.: *Modularized Cars- die Quadratur des Autos*, 18. Verkehrswissenschaftliche Tage, Dresden, 2001.
- [ULRI84] Ulrich, H.: *Management*, Paul Haupt Verlag, Bern, 1984.
- [ULRI95] Ulrich, K.T.: *The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm*, Research Policy, Nr.24, 1995, S.419-440.
- [ULRI00] Ulrich, K.T., Eppinger, S.D.: *Product Design and Development*, McGraw-Hill, 2nd Edition, 2000.
- [VANB07] Van Biesebroeck, J.: *Complementarities in automobile production*, Journal of Applied Econometrics 22(7), 2007, S. 1315 – 1345.
- [VDI78] Richtlinie VDI 2815: *Begriffe für die Produktionsplanung und –steuerung*, 1978.
- [VDI08] Richtlinie VDI 4499: *Digitale Fabrik*, 2008.
- [VERG98] Verges, R.: *Just-in-time-Modul Cockpit: Kundenorientierung ohne Kompromisse*, in: Pfohl, H.Chr.: Kundennahme Logistik – Wertschöpfend – Agil – Beziehungsorientiert, 13. Fachtagung der Deutschen Gesellschaft für Logistik, 16.Juni 1998 Darmstadt, Berlin, Erich Schmidt Verlag, S.137-164.
- [VOLL07] Vollstedt, T., Körner, S.: *Die Digitale Fabrik unterstützt bei der Planung der Endmontage*, In: Industrie-Management : Zeitschrift für industrielle Geschäftsprozesse, Berlin, 2007, S.60-62.
- [VWAG12] Volkswagen AG: *Der Baukasten für die Zukunft*, in: autogramm – Die Zeitung für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Marke Volkswagen, Ausgabe 1-2 2012, Wolfsburg. http://autogramm.volkswagen.de/01-02_12/standorte/standorte_01.html
- [VWAG15] Volkswagen AG: *7 Fragen zum MQB*: <http://magazin.volkswagen.at/7-fragen-modularer-querbaukasten.html>, 2015, Letzter Zugriff: 26.11.2015.
- [WALL09] Wallentowitz, H., Freialdenhoven, A., Olschewski, I.: *Strategien in der Automobilindustrie*, Wiesbaden, Vieweg + Teubner Verlag, 2009.

- [WALT14] Waltl, H., Wildemann, H.: *Modularisierung der Produktion in der Automobilindustrie*, München, Transfer-Centrum GmbH, 2014.
- [WEDE15] Wedeniwski, S.: *Mobilitätsrevolution in der Automobilindustrie – Letzte Ausfahrt digital!*, Berlin, Springer Verlag, 2015.
- [WEID14] Weidner, R.: *Wissensbasierte Planung und Beurteilung von Montagesystemen in der Luftfahrtindustrie*, Dissertation an der Universität der Bundeswehr Hamburg, 2014.
- [WEID15] Weidemann, U.. et.al: *Montagecluster in der Fahrzeugendmontage – Clusterung von Montageumfängen zur Strukturierung der Fahrzeugendmontage*, in: wt Werkstattstechnik online, Jahrgang 105, Heft 4, Düsseldorf, Springer-VDI Verlag, S.225-230.
- [WEIß00] Weiß, C.: *Methodengestützte Planung und Analyse von Endmontagelinien in der Automobilindustrie*, Wissenschaftliche Berichte des Instituts für Fördertechnik und Logistiksysteme der Universität Karlsruhe (TH), Band 51, 2000.
- [WIES96] Wiese, H., Geisler, M.: *Standardisierung*, in: Kern, W., Schröder, H.H, Weber J. Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Stuttgart, Schäffer-Poeschel, 2. Auflage 1996, S. 1897-1912.
- [WILD10] Wildemann, H.: *Neue Montagekonzepte*, In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 105. Jahrgang, Heft 4, München, 2010, S.316-322.
- [WILD11] Wildemann, H., 2011: *Neue Montagekonzepte für die Kleinserie*, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 106. Jahrgang, Heft 1-2, München, S.15-20.
- [WIRT02] Wirth, S., Schulz, R.: *Simulationsintegrierte Vorplanung von Montagesystemen*, In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 10/2002, Seite 525-531.
- [WITT12] Wittek, K.: *Standortübergreifende Programmplanung in flexiblen Produktionsnetzwerken der Automobilindustrie*, Wiesbaden, Springer Gabler Verlag, 2012.

- [WOHL98] Wohlgemuth-Schöller, E.: *Modulare Produktsystem*, Europäische Hochschulschriften Reihe V – Volks- und Betriebswirtschaft, Band 2445, Frankfurt am Main, Peter Lang Verlag, 1998.
- [WOLT95] Wolters, H.: *Modul- und Systembeschaffung in der Automobilindustrie – Gestaltung der Kooperation zwischen europäischen Herstellern und Zulieferbetrieben*, Wiesbaden, Gabler Verlag, 1995.
- [WOMA90] Womack, J.P., Jones, D.T., Roos, D.: *The machine that changed the world*, New York, Rawson Association, 1990
- [WUEP98] Wüpping, J.: *Logistikgerechte Produktstrukturen bei marktorientierter Variantenvielfalt*, In: IO Management Zeitschrift, 67 Nr. 1/2, 1998, S.76-81.
- [ZENN06] Zenner, C.: *Durchgängiges Variantenmanagement in der Technischen Produktplanung*, Schriftenreihe Produktionstechnik der Universität des Saarlandes, Band 37, Saarbrücken, 2006.
- [ZUEL03] Zülch, G., Müller, R., Vollstedt, T.: *Planung der Leistungsabstimmung für PKW-Getriebe mit Hilfe der Simulation*, in: Bayer, J., Collisi, T., Wenzel, S.: *Simulation in der Automobilproduktion*, Berlin, u.a., Springer Verlag, 2003, S.37-46.
- [ZWIR04] Zwirner, H., 2004: *Smart: Seiner Zeit voraus*, in: Radtke, P., Abele, E., Zielke, A.E., 2004: *Die smarte Revolution in der Automobilindustrie*, Ueberreuter Verlag, Frankfurt, S.32-38.

Internetquellen:

- [DUDE14a] Duden: *Definition Modul, Element, Lehreinheit*
http://www.duden.de/rechtschreibung/Modul_Element_Lehreinheit, letzter Zugriff: 14.04.2014.
- [DUDE14b] Duden: *Definition Cluster* <http://www.duden.de/rechtschreibung/Cluster>, letzter Zugriff: 14.04.2014

- [DUDE14c] Duden: *Definition Standard, Norm, Richtmaß, Güte*,
http://www.duden.de/rechtschreibung/Standard_Norm_Richtmasz_Guete, letzter
Zugriff: 14.04.2014.
- [GABL12a] Gabler, 2012a: Definition Massenproduktion,
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/massenproduktion.html> , Letzter
Zugriff: 19.11.2012.
- [GABL12b] Gabler 2012b: Definition Serienproduktion,
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/serienproduktion.html> , Letzter
Zugriff: 19.11.2012
- [SPEC12] Specht, M.: *Sparen auf bayrisch: BMW-Motoren mit drei statt sechs Zylindern*,
Handelsblatt vom 18.09.2012.