
AutoUni – Schriftenreihe

Band 123

Reihe herausgegeben von/Edited by
Volkswagen Aktiengesellschaft
AutoUni

Die Volkswagen AutoUni bietet Wissenschaftlern und Promovierenden des Volkswagen Konzerns die Möglichkeit, ihre Forschungsergebnisse in Form von Monographien und Dissertationen im Rahmen der „AutoUni Schriftenreihe“ kostenfrei zu veröffentlichen. Die AutoUni ist eine international tätige wissenschaftliche Einrichtung des Konzerns, die durch Forschung und Lehre aktuelles mobilitätsbezogenes Wissen auf Hochschulniveau erzeugt und vermittelt.

Die neun Institute der AutoUni decken das Fachwissen der unterschiedlichen Geschäftsbereiche ab, welches für den Erfolg des Volkswagen Konzerns unabdingbar ist. Im Fokus steht dabei die Schaffung und Verankerung von neuem Wissen und die Förderung des Wissensaustausches. Zusätzlich zu der fachlichen Weiterbildung und Vertiefung von Kompetenzen der Konzernangehörigen, fördert und unterstützt die AutoUni als Partner die Doktorandinnen und Doktoranden von Volkswagen auf ihrem Weg zu einer erfolgreichen Promotion durch vielfältige Angebote – die Veröffentlichung der Dissertationen ist eines davon. Über die Veröffentlichung in der AutoUni Schriftenreihe werden die Resultate nicht nur für alle Konzernangehörigen, sondern auch für die Öffentlichkeit zugänglich.

The Volkswagen AutoUni offers scientists and PhD students of the Volkswagen Group the opportunity to publish their scientific results as monographs or doctor's theses within the "AutoUni Schriftenreihe" free of cost. The AutoUni is an international scientific educational institution of the Volkswagen Group Academy, which produces and disseminates current mobility-related knowledge through its research and tailor-made further education courses. The AutoUni's nine institutes cover the expertise of the different business units, which is indispensable for the success of the Volkswagen Group. The focus lies on the creation, anchorage and transfer of new knowledge.

In addition to the professional expert training and the development of specialized skills and knowledge of the Volkswagen Group members, the AutoUni supports and accompanies the PhD students on their way to successful graduation through a variety of offerings. The publication of the doctor's theses is one of such offers. The publication within the AutoUni Schriftenreihe makes the results accessible to all Volkswagen Group members as well as to the public.

Reihe herausgegeben von/Edited by

Volkswagen Aktiengesellschaft

AutoUni

Brieffach 1231

D-38436 Wolfsburg

<http://www.autouni.de>

Weitere Bände in der Reihe <http://www.springer.com/series/15136>

Jan Hasenpusch

Methodik zur Beurteilung eigenschaftsoptimierter Karosseriekonzepte in Mischbauweise

 Springer

Jan Hasenpusch
Wolfsburg, Deutschland

Zugl.: Dissertation, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, 2018

Die Ergebnisse, Meinungen und Schlüsse der im Rahmen der AutoUni – Schriftenreihe veröffentlichten Doktorarbeiten sind allein die der Doktorandinnen und Doktoranden.

AutoUni – Schriftenreihe
ISBN 978-3-658-22226-0 ISBN 978-3-658-22227-7 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-22227-7>

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

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2018

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Methodik zur Beurteilung eigenschaftsoptimierter Karosseriekonzepte in Mischbauweise

Von der Fakultät für Maschinenbau
der Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig

zur Erlangung der Würde

eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing)

genehmigte Dissertation

von: M.Sc. Jan Hasenpusch

aus: Braunschweig

eingereicht am: 06.10.2017

mündliche Prüfung am: 14.02.2018

Vorsitz:

Prof. Dr.-Ing. Klaus Dröder

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. Thomas Vietor

Prof. Dr.-Ing. Christian Weber

*„The man with a new idea is a Crank
until the idea succeeds.“,*
Mark Twain

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit in der Konzernforschung der Volkswagen AG und in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Konstruktionstechnik der Technischen Universität Braunschweig. Die in der Zeit und der Kooperation entstandenen Veröffentlichungen [HHV15, CHI⁺15, HHV16a, HHV16b] fließen in das Ergebnis mit ein.

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. Thomas Vietor für die wissenschaftliche Betreuung der Arbeit. Der regelmäßige konstruktive Austausch war eine wichtige Voraussetzung für das erfolgreiche Verfassen dieser Arbeit. Auch den Mitarbeitern des Instituts für Konstruktionstechnik gilt mein Dank für Ihre Unterstützung, stellvertretend sei hier Anja Cudok genannt.

Prof. Dr. Christian Weber danke ich für die Übernahme des Zweitreferats und den gemeinsamen fachlichen Austausch, vor allem zu seinem Ansatz des Characteristics-Properties Modelling, der als eine Grundlage für diese Arbeit dient.

Innerhalb der Volkswagen AG gilt neben den vielen Diskussionspartnern aus der Konzernforschung vor allem meinem Betreuer Dr. Andreas Hillebrand großer Dank für die inhaltliche Betreuung und persönliche Motivation. Darüber hinaus danke ich allen Kollegen aus meiner Unterabteilung und meinen Vorgesetzten, dass Sie mir die Arbeit im Rahmen meiner Tätigkeit ermöglicht und mich aktiv unterstützt haben.

Aus den Fachbereichen und Marken der Volkswagen AG bedanke ich mich für das entgegen gebrachte Interesse an dem Thema und die vielen anregenden Diskussionen. Ebenso bedanke ich mich bei den vielen aktiven und ehemaligen Doktoranden des Volkswagen Doktorandenkollegs für ihre Unterstützung.

Für den Beitrag an meiner Arbeit danke ich den von mir betreuten Studenten Christoph Meyer, Joost Luscher, Tanja Restle, Bartosz Szydlowski, Florian Koch und Lennart Tasche für ihr hohes Engagement bei der Erarbeitung ihrer Abschlussarbeiten [Mey15, Lus15, Res16, Szy16, Koc16, Tas17], hauptsächlich im Rahmen der Umsetzung der Anwendungen. Gerhard-Johannes Meier und Nils Störmer danke ich für ihren Einsatz bei der Gestaltung weiterführender Prozesse [Mei17, Stö17].

Mein besonderer Dank gilt meiner Familie und meinen Freunden für ihre Unterstützung und ihren Verzicht. Ohne ihren Zuspruch wäre die Erstellung dieser Arbeit nicht möglich gewesen.

Ich widme die vorliegende Arbeit meinen Eltern Nela und Walter
und meiner Frau Swantje.

Vielen Dank!

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XV
Tabellenverzeichnis	XIX
Symbolverzeichnis	XXI
Abkürzungsverzeichnis	XXIII
Begriffsverzeichnis	XXVII
1 Einleitung	1
1.1 Ziel der Arbeit	4
1.2 Aufbau der Arbeit	5
2 Stand der Forschung und Technik	7
2.1 Produktentwicklungsprozesse	8
2.1.1 Systeme, Modelle und Prozesse	12
2.1.2 Characteristics-Properties Modelling	12
2.2 Anforderungen und Eigenschaften im Produktentwicklungsprozess	16
2.3 Methoden und Hilfsmittel im Produktentwicklungsprozess	18
2.3.1 Methoden und Hilfsmittel zur Ideengenerierung	19
2.3.2 Methoden und Hilfsmittel zur Bewertung und Auswahl	21
2.4 Effektivitäts- und Effizienzsteigerung von Produktentwicklungsprozessen	23
2.4.1 Wissensmanagement	24
2.4.2 Knowledge Based Engineering	28
2.4.3 Model Based Systems Engineering	33
2.4.4 Diskussion der Konzepte zur Effektivitäts- und Effizienzsteigerung	36
3 Planung der Methodik	49
3.1 Handlungsbedarf, Ziele und Vorgehen in der vorliegenden Arbeit	50
3.2 Ableiten von Teilaufgaben, Zielen und Anforderungen	52
3.2.1 Entwicklung von Karosseriekonzepten in der frühen Phase	53
3.2.2 Teilaufgaben und Teilziele	57
3.2.3 Anforderungen	60
3.3 Ausarbeiten des grundlegenden Prozesses	63
3.3.1 Eingangsdaten	66
3.3.2 Prozessschritt Analyse	67
3.3.3 Prozessschritt Synthese	70
3.3.4 Prozessschritt Evaluation	74
3.3.5 Ausgabedaten	75
3.4 Zusammenfassung Vorgehen und grundlegender Prozess	76

4	Entwicklung der Methodik: Erhebung, Analyse und Strukturierung von Wissen	81
4.1	Grundlagen zur Prozessumsetzung und Anwendungsentwicklung	82
4.1.1	Prozessumsetzung	82
4.1.2	Vorgehensmodelle in der Softwareentwicklung	87
4.1.3	Entwicklungsumgebungen und Programmiersprachen	88
4.1.4	Grundlagen zur Datenbankentwicklung	89
4.2	Fahrzeugtechnische Grundlagen	92
4.3	Karosseriespezifische Grundlagen	94
4.3.1	Strukturen	95
4.3.2	Materialien	96
4.3.3	Fügeverfahren	99
4.4	Grundlagen zur Ermittlung von Eigenschaften	101
4.4.1	Technische Eigenschaften	101
4.4.2	Wirtschaftliche Eigenschaften	104
4.4.3	Ökologische Eigenschaften	105
5	Entwicklung der Methodik: Ausdetaillieren des Prozesses	107
5.1	Synthese	108
5.1.1	Erster Hauptschritt: Topologieauswahl	108
5.1.2	Zweiter Hauptschritt: Konzeptgenerierung	113
5.2	Analyse und Evaluation	118
5.2.1	Erste Stufe: Gewicht, Kosten und Standardfügeverfahren	122
5.2.2	Zweite Stufe: Fertigungszeit und LCA	129
5.2.3	Dritte Stufe: FEM-Simulation	131
5.3	Zusammenfassung des detaillierten Prozesses	140
6	Entwicklung der Methodik: Umsetzen des Prozesses in Anwendungen	143
6.1	Anwendungen in der Synthese	145
6.1.1	Erster Hauptschritt: Topologieauswahl	145
6.1.2	Zweiter Hauptschritt: Konzeptgenerierung	148
6.2	Anwendungen in der Analyse und Evaluation	152
6.2.1	Erste und zweite Stufe: Gewicht, Kosten, Standardfügeverfahren, Fertigungszeit und LCA	153
6.2.2	Dritte Stufe: FEM-Simulationen	156
6.3	Datenmanagement	158
6.4	Zusammenfassung und Randbedingungen der Umsetzung	160
7	Validierung der Methodik und ihrer Anwendungen	163
7.1	Anwendungen in der Synthese	164
7.1.1	Erster Hauptschritt: Topologieauswahl	164
7.1.2	Zweiter Hauptschritt: Konzeptgenerierung	167

7.2	Anwendungen in der Analyse und der Evaluation	170
7.2.1	Erste und zweite Stufe: Gewicht, Kosten, Standardfügeverfahren, Fertigungszeit und LCA	170
7.2.2	Dritte Stufe: FEM-Simulationen	172
7.3	Datenmanagement	177
7.4	Gesamtsystem	178
8	Implementierung der Methodik und ihrer Anwendungen	183
8.1	Verwaltung, Pflege und Aktualisierung	184
8.2	Weitere Verwendung und Schnittstellen	186
9	Zusammenfassung und Ausblick	191
9.1	Zusammenfassung	191
9.2	Ausblick	194
	Verzeichnis eigener Veröffentlichungen	197
	Verzeichnis betreuter studentischer Arbeiten	199
	Literaturverzeichnis	201
A	Methoden und Hilfsmittel im Entwicklungsprozess	211
A.1	Ansätze zur Beschreibung des Entwicklungsprozesses	211
A.2	Requirement Engineering	212
A.3	Methoden und Hilfsmittel	213
A.4	TOTE-Schema	217
B	Wissensmanagement	219
C	Produktmodelle	223
C.1	Analysen in Abhängigkeit von Eingangsdaten	223
C.2	Herleitung Formel Bauteilschwerpunkt	224
D	Ergänzung der Erhebung, Analyse und Strukturierung des Wissens	227
D.1	Vorgehensmodelle Softwareentwicklung	227
D.2	Datenbankmodelle	228
D.3	Parameter für die Datenbank	229
E	Umsetzung	235
E.1	SQL-Datenbank	235
E.2	GUI für Interaktionen	238
E.3	Automatisierte Geometriemodellerstellung	240
E.4	VBA-Code-Beispiel	241

Abbildungsverzeichnis

1.1	Entscheidungssicherheit und Kosten im Entwicklungsprozess	2
1.2	Übersicht der zu entwickelnden Methodik	5
1.3	Überblick des Aufbaus der vorliegenden Arbeit	6
2.1	Gliederung des zweiten Kapitels	8
2.2	Stage-Gate-Prozesse in unterschiedlichen Generationen	10
2.3	Zusammenhang Produktentwicklung und Lebenszyklus	11
2.4	Übersicht Characteristics-Properties Modelling	13
2.5	Synthese und Analyse im Property-Driven Development	14
2.6	Regelkreis im Property-Driven Development	15
2.7	Lebenszyklus im Property-Driven Development	16
2.8	Muenchner Methodenmodell	19
2.9	Methodenuebersicht Kreativitaetstechniken	20
2.10	Entscheidungshilfe Auswahl von Methoden zur Bewertung und Auswahl	22
2.11	Magisches Dreieck im Projektmanagement	24
2.12	Wissenstreppe mit Reifegraden	26
2.13	Kernprozesse im Wissensmanagement	26
2.14	Zielsystem des Wissensmanagements	27
2.15	Einordnung von PDM-/PLM-Systemen im PDD	29
2.16	Vorgehensweise Phasenmodell KBE-Anwendung	30
2.17	Todesspirale einer KBE-Anwendung	33
2.18	Systemmodell im Model Based Systems Engineering	34
2.19	MVPE-Vorgehensmodell	35
3.1	Gliederung des dritten Kapitels	49
3.2	Vorgehen in der vorliegenden Arbeit	52
3.3	Schematischer Ablauf Lösungsvariantengenerierung	55
3.4	Schematischer Produktentwicklungsprozess von Karosseriekonzepten	57
3.5	Funktion der Methodik	58
3.6	Teilziele der Methodik	60
3.7	Wissensbasierte Produktentwicklung	65
3.8	Grundaufbau des Prozesses	65
3.9	Ausgewählte Eigenschaftsthemen in der frühen Phase	66
3.10	Eingangsdaten für den Prozess	68
3.11	Analysen für die Ermittlung der Eigenschaften	69
3.12	Synthese-Schritt von geforderten Eigenschaften zu Merkmalen	71
3.13	Zweiter Hauptschritt der Synthese	73
3.14	Auswirkung eines automatisierten Synthese-Schritts auf den Prozess	73
3.15	Prozess mit mehrstufiger Evaluation	75
3.16	Ausgabedaten und Datenmanagement im Prozess	76
3.17	Zusammenfassung grundlegender Prozess	78

3.18	Nutzen beim schematischen Ablauf Lösungsvariantengenerierung	79
4.1	Gliederung des vierten Kapitels	81
4.2	Übersicht Prozessumsetzung Architektur Gesamtsystem	84
4.3	Übersicht Kopplungsmöglichkeiten Anwendungen	85
4.4	Übersicht Kopplung mit Middleware	86
4.5	Vorgehensmodelle in der Softwareentwicklung	87
4.6	Softwareentwicklung mit CASE	88
4.7	Phasenmodell Datenbankentwicklung	90
4.8	Beispiel eines Entity-Relationship-Modells	91
4.9	Wesentliche Parameter einer Struktur am Beispiel Fahrzeugschweller	97
4.10	Einteilung von Legierungen	98
4.11	Einfluss Fügeverfahren auf Fügestellen	100
4.12	Übersicht Lebenszykluskosten	104
4.13	Übersicht Wirkungskategorien LCA	106
5.1	Gliederung des fünften Kapitels	107
5.2	Auswirkung Antriebsstrang auf Topologie der Karosseriebauteile	109
5.3	Maßkette Fahrzeuglänge	110
5.4	Regressionsanalyse L105 und 103	110
5.5	Bauraum Schweller	112
5.6	Erster Hauptschritt der Synthese	113
5.7	ERM der Datenbanktabellen	114
5.8	Anpassung der Strukturen an den Bauraum	115
5.9	Erster und zweiter Teilschritt des zweiten Hauptschritts der Synthese	116
5.10	Zweiter Hauptschritt der Synthese	117
5.11	Eigenschaften der mehrstufigen Analyse und Evaluation	121
5.12	Gesamtprozess mit dreistufiger Analyse und Evaluation	123
5.13	Geometrieabhängige Gewichtsabschätzung	124
5.14	Momentengleichgewicht zur Schätzung der Lage des Schwerpunktes	126
5.15	Lösungsraum Materialkosten und Gewicht	129
5.16	Datenblatt Bewertung zweite Stufe	132
5.17	Automatisierte Modellerstellung mit <i>SFE Concept</i> Bibliothek	133
5.18	Automatisierte Modellerstellung Prozessablauf	135
5.19	Automatisierte Modellerstellung visualisiert	136
5.20	Berechnungsmodellerstellung	138
5.21	Ergänzende Informationen Bewertung dritte Stufe	140
6.1	Gliederung des sechsten Kapitels	143
6.2	Prozessumsetzung mit einer Task- und Workflowsteuerung	145
6.3	Umsetzung Gleichungssystem Maßkonzept	146
6.4	Umsetzung Bauraumableitung	147
6.5	Umsetzung Bestimmung Position	147
6.6	Logischer Entwurf Datenbank zweiter Hauptschritt Synthese	149

6.7	Erweitertes ERM erste und zweite Abfrageprozedur	152
6.8	Umsetzung Eingabe Grenzwerte erste Stufe Analyse und Evaluation	154
6.9	Umsetzung Auswahl Fügeverfahren	155
6.10	Inhalt SFE Concept Bibliothek	157
6.11	Ergebnis automatisierte Geometriemodellerstellung	157
6.12	Statische Torsionslast bei FEM-Modell	158
6.13	Prozessdarstellung COSP	160
7.1	Gliederung des siebten Kapitels	164
7.2	Abweichungen in der Skalierung der Bauteile in den Bauraum	168
7.3	Vergleich Referenzmodell mit automatisiert erstelltem FEM-Modell	173
7.4	Auswirkungen Fehler in Eingangsdaten Geometriemodellerstellung	174
7.5	Vergleich statische Belastungen	175
7.6	Vergleich dynamische Torsionssteifigkeit	176
7.7	Vergleich Modalanalyse	176
8.1	Gliederung des achten Kapitels	183
8.2	Beurteilung Verhalten frühe Phase	187
8.3	Prozess von CAD- zu FEM-Modellen	188
8.4	Vergleich CAD-Modell und FEM-Modell	188
8.5	Fahrzeug mit Komponenten für Crash	189
9.1	Gliederung des neunten Kapitels	191
A.1	Mehrstufige Evaluation mit unterschiedlicher Gewichtung	216
A.2	TOTE-Schema	217
B.1	Spirale des Wissens	220
B.2	Gliederung KBE, PDM und CAD	221
C.1	Einfache Analysen in Abhängigkeit von Eingangsdaten	223
C.2	Aufwendige Analysen in Abhängigkeit von Eingangsdaten	224
C.3	Bestimmung Bauteilschwerpunkt	225
D.1	Verbindung zwischen zwei Querschnitten	229
E.1	Ablauf Fügegruppenerstellung	235
E.2	Beispielhafter Ausschnitt Code erste Abfrageprozedur	236
E.3	Erster beispielhafter Ausschnitt Code zweite Abfrageprozedur	237
E.4	Zweiter beispielhafter Ausschnitt Code zweite Abfrageprozedur	237
E.5	Startseite COSP	238
E.6	GUI erster Hauptschritt Synthese	238
E.7	Umsetzung Auswahl erste Stufe Analyse und Evaluation	239
E.8	GUI Datenverwaltung COSP	239
E.9	Austauschdatei Positionen und Bauräume der Bauteile	240
E.10	Austauschdatei Geometrie, Material und Füge-technik der Bauteile	240

E.11 Topologie Bauteile mit Punkten	241
E.12 FEM-Modelle verschiedener Durchläufe	241
E.13 Beispielhafter Ausschnitt Code geometrieabhängige Gewichtsabschätzung . .	242

Tabellenverzeichnis

2.1	Konzepte zur Effektivitäts- und Effizienzsteigerung - Teil 1	39
2.2	Konzepte zur Effektivitäts- und Effizienzsteigerung - Teil 2	42
2.3	Konzepte zur Effektivitäts- und Effizienzsteigerung - Teil 3	45
2.4	Konzepte zur Effektivitäts- und Effizienzsteigerung - Teil 4	47
3.1	Anforderungen für die Methodik - Teil 1	61
3.2	Anforderungen für die Methodik - Teil 2	63
5.1	Vergleich der Analysen	119
7.1	Vergleich Ergebnis Maße und Bauräume	166
7.2	Vergleich geometrieabhängige Gewichtsabschätzung	170
7.3	Überprüfung der Anforderungen für die Methodik - Teil I	181
8.1	Überprüfung der Anforderungen für die Methodik - Teil II	186

Symbolverzeichnis

ρ_{BTk}	Materialdichte
A_{BTk}	Flächeninhalt des Bauteils
a_{FSh}	Länge der Fügestelle
$a_{FVa,Abstand}$	Abstand zwischen den Fügepunkten
$a_{FVa,Rand}$	Randabstand des Fügeverfahrens
A_j	Flächeninhalt zwischen zwei Querschnitten
a_j	Abstand zwischen zwei Querschnitten
A_{QSj}	Flächeninhalt eines Bauraums
$BTBR1$	Bauraum in 1-Richtung des Bauteils BT
$BTBR2$	Bauraum in 2-Richtung des Bauteils BT
$BTBR3$	Bauraum in 3-Richtung des Bauteils BT
g_{Kb}	Gewichtung eines Kriteriums
GW_{LVp}	Gewichteter Wert
GW_{max}	Maximal erreichbarer gewichteter Wert
l_{gesQSj}	Gesamtlänge zwischen den Punkten eines Querschnitts
l_i	Länge zwischen den Punkten
m_{BTk}	Gewicht des Bauteils
$m_{Differenz}$	Wertspanne gesamt
$m_{LVp,max}$	Maximaler Wert der Lösungsvarianten
$m_{LVp,min}$	Minimaler Wert der Lösungsvarianten
m_{LVp}	Gewicht einer Lösungsvariante Bauteils
$m_{Wertspanne}$	Wertspanne eines Wertebereichs
MK_{LVp}	Materialkosten einer Lösungsvariante
MP_M	Materialpreisen
$n_{FSh,P}$	Zahl der Fügepunkte je Fügestelle
n_{PSB}	Anzahl der Wertebereiche
$n_{Standard,LVp}$	Zahl der Fügstellen mit Standardfügeverfahren

NW_{LVp}	Nutzwert
P_i	Punkte i eines Querschnitts
$P_{LVp,Kb}$	Punkte für Lösungsvarianten eines Kriteriums
$p_{Standard,LVp}$	Zahl der Fügstellen mit Standardfügeverfahren
QS_j	Querschnitte j von 1 bis m
r_{BTk}	Verhältnis des ersten und letzten Querschnitts
t_{BTk}	Blechstärke
$t_{FSh,N}$	Prozesszeit Fügestelle mit Naht
$t_{FSh,P}$	Prozesszeit Fügestelle gepunktet
t_{FVa}	Prozesszeit des Fügeverfahrens
t_{LVp}	Fertigungszeit
v_{BTk}	Lage des Bauteilschwerpunktes
v_{QSj}	Position der Bauraumquerschnitte
$XBTQS_j$	x-Position Referenzpunkt des Querschnitts j des Bauteils BT
X_{BTk}	Lage des Bauteilschwerpunktes in X
X_{LVp}	Lage des Fahrzeugschwerpunktes in X
$YBTQS_j$	y-Position Referenzpunkt des Querschnitts j des Bauteils BT
$ZBTQS_j$	z-Position Referenzpunkt des Querschnitts j des Bauteils BT

Abkürzungsverzeichnis

ADT	Axiomatic Design Theory for Systems
AF	Anforderung
AKT	Autogenetische Konstruktionstheorie
AP	Acidification Potential
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
bzgl.	bezüglich
C	Characteristics (Merkmale)
C-K	Concept-Knowledge
CAD	Computer-Aided Design
CASE	Computer-Aided Software Engineering
CFK	Carbonfaserverstärkter Kunststoff
COSP	Co-Simulationsplattform
CP	Complexphasenstahl
CPM	Characteristics-Properties Modelling
DB	Datenbank
DBMS	Datenbankmanagementsystem
DCL	Data Control Language
DDL	Data Description Language
DF	Data Filtering
DML	Data Manipulation Language
DP	Dualphasenstahl
DRM	Digital Right Management
EAI	Enterprise Application Integration
EC	External Conditions (Äußere Randbedingungen)
ERM	Entity-Relationship-Modell
EU	Europäische Union
FBS	Function-Behaviour-Structure

FEM	Finite-Elemente-Methode
GCIE	Global Carmanufactures Information Exchange
GUI	Graphical User Interface (Grafische Benutzeroberfläche)
GWP	Global Warming Potential
IDE	Integrated Development Environment
KBE	Knowledge Based Engineering
KBS	Knowledge Based System
KEA	Kumulierter Energieaufwand
KTL	Kathodische Tauchlackierung
LC	Life Cycle
LCA	Life Cycle Assessment
LCC	Life Cycle Costing
MBSE	Model Based Systems Engineering
MG	Magnesium
MLB	Modularer Längs Baukasten
MQB	Modularer Quer Baukasten
MVPE	Modell basierte virtuelle Produktentwicklung
NP	Nitrification Potential
NVH	Noise Vibration Harshness
NWA	Nutzwertanalyse
ODP	Ozon Depletion Potential
OHLF	Open Hybrid Lab Factory
ONT	OverNight-Testing (Programmname)
P	Properties (Ist-Eigenschaften)
PDD	Property-Driven Development
PDM	Produktdaten Management
PDP	Product Development Process
PL	Life-Cycle Properties (Lebenszyklus Eigenschaften)
PLM	Product Lifecycle Managment

PR	Required Properties (Geforderten Eigenschaften)
POCP	Photochemical Ozone Creation Potential
QBE	Query by Example
QUEL	Query Language
R	Relations (Beziehungen)
RE	Requierevements Engineering
SgRP	Seating Reference Point
SQL	Structured Query Language
SysML	Systems Modeling Language
TCO	Total Cost of Ownership
TOTE	Test-Operate-Test-Exit
TRIP	Transformation Induced Plasticity Stahl
TWIP	TWinning Induced Plasticity Stahl
UML	Unified Modeling Language
VDL	View Definition Language
VBA	Visual Basic for Applications

Begriffsverzeichnis

Abfragesprache In der Datenbankentwicklung werden Abfragesprachen dazu verwendet, um mit Hilfe des DBMS auf die Datenbank zuzugreifen, z.B. SQL. Sie vereinen die Funktionen der Sprachen, über die das DBMS verfügt.

Analyse Mit Hilfe von Methoden und Werkzeugen auf Basis von Produktmodellen werden die, aus den Merkmalsausprägungen resultierenden, Eigenschaften untersucht. Dieser Schritt wird als Analyse im PDD bezeichnet. [VBWZ09]

Anthropometrie Unter dem Begriff Anthropometrie werden die Maße des Menschen verstanden. Sie sind für die Auslegung des Fahrzeugs von entscheidender Bedeutung. [GN06]

Architektur Die Architektur einer Anwendung beschreibt deren Aufbau. Weit verbreitet ist die Client/Server-Architektur. Die besteht aus der Applikation und einer Datensammlung. Die Applikation besteht wiederum einer Präsentationsschicht und einer Funktionalität. Dagegen beschreibt die Architektur des Gesamtsystems die Kopplung von Anwendungen untereinander und mit dem Prozess, bspw. per Taskflowsteuerung. [Vog06]

Attribut In einer relationalen Datenbank bezeichnet ein Attribut, welche Eigenschaften und Merkmale in einer Tabelle aufgeführt werden. [Mei10]

Benchmarking Analysen eines Umfeldes werden als Benchmarking bezeichnet. Damit werden wichtigen Kenngrößen in einem Umfeld identifiziert und miteinander verglichen. [Lin09]

Bestimmtheitsmaß Das Bestimmtheitsmaß gibt an, wie gut die funktionale Beziehung die tatsächliche Streuung bei einer Datenerhebung trifft. Es beschreibt damit die Güte des in der Regressionsanalyse ermittelten Zusammenhangs. [FKPT07]

Compiler Der Compiler übersetzt den in einer Programmiersprache geschriebenen Programmcode in eine von Maschinen lesbaren Code. [ULSA08]

Conjunction Conjunction beschreibt die Speicherung von neuem Wissen, das der Entwickler in seinem Wissensraum speichert, [HW03].

Datenbank Nach Schicker ist eine Datenbank „eine Sammlung von Daten, die untereinander in einer logischen Beziehungen stehen und von einem eigenen Datenbankverwaltungssystem [...] verwaltet werden“, [Sch14, S.3].

Derivat Tesch [Tes10] definiert ein Derivat als Karosserievariante innerhalb einer Produktfamilie. Außerhalb der Karosserie kann dies auch als Variante eines Fahrzeugs einer Produktfamilie gesehen werden. Auf die Karosserie bezogen hat der Volkswagen *Golf* das Derivat Volkswagen *Golf Variant*. Bezogen auf die Ausstattungen werden die Derivate des *Golf* mit *Highline*, *GTI* oder *R* bezeichnet.

- Disjunction** Disjunction bezeichnet das Transfer des Wissens von dem Wissensraum in den Konzeptraum zur Entwicklung von Lösungen, [HW03].
- Eigenschaft** Das Verhalten eines Produktes wird durch seine Eigenschaften beschrieben. Diese resultieren aus den Merkmalen und können daher nicht direkt beeinflusst werden. Eigenschaften sind bspw. Funktionen, Sicherheit, Kosten oder Umweltwirkungen, [VBWZ09].
- Entität** Im Rahmen der Datenbankentwicklung wird eine Entität als ein eindeutig identifizierbares Objekt definiert. Entitäten können Eigenschaften zugeordnet werden. [Sch14]
- Entity-Relationship-Modell** Die Beziehungen zwischen Entitäten und deren Eigenschaften werden in Entity-Relationship-Modellen dargestellt. Zum Beispiel können die Arten von Beziehungen und die abhängigen Eigenschaften visualisiert werden. Das Modell ist daher ein Hilfsmittel in der Datenbankentwicklung. [Sch14]
- Eutrophierung** Bei der Eutrophierung wird der Nährstoff-Eintrag mittels Phosphat beurteilt. Bezeichnet wird die Eutrophierung als Nitrification Potential (NP). [Her10]
- Evaluation** Nach der Sammlung aller Eigenschaften im PDD wird die Evaluation durchgeführt. Die Übereinstimmungen und Abweichungen der ermittelten im Vergleich zu den geforderten Eigenschaften werden in diesem Schritt festgestellt. [VBWZ09]
- Explizites Wissen** siehe Wissen.
- Extreme Programming** Extreme Programming bezeichnet, wie Scrum, ein Vorgehen der agilen Softwareentwicklung. Die Entwicklung folgt definierten Regeln und losgelöst von statischen Vorgehensmodellen, um agil auf neue Anforderungen reagieren zu können. [SBK14]
- Fachbereich** Auf Themen spezialisierte Organisationseinheiten und auch deren Zusammenschlüsse in einem Unternehmen werden u.a. als Fachbereich bezeichnet.
- Gate** Ein Gate ist ein Zeitpunkt im Entwicklungsprozess, an dem die erarbeiteten Informationen gesammelt werden und darauf basierend eine Entscheidung für den weiteren Verlauf der Entwicklung getroffen wird, [Coo88].
- Hilfsmittel** Ein Hilfsmittel ist ein Werkzeug, das bei der Methodenanwendung unterstützt, [Lin09].
- Implizites Wissen** siehe Wissen.
- Integrationstechnologie** Für die Kopplung von zwei Anwendungen gibt es unterschiedliche Integrationstechnologien, bspw. über ein weitere Präsentationsschicht oder die Anwendungserweiterung. [Vog06]
- Knowledge Based Engineering (KBE)** Im Entwicklungsprozess werden die eingesetzten Methoden und Hilfsmittel aus dem Wissensmanagement unter dem Begriff Knowledge Based Engineering (KBE) zusammengefasst, [VDI15].

Konzeptraum Der Konzeptraum umfasst in der C-K-Theory die Entwicklung von Lösungen, siehe Anhang A.1. Sie basiert auf dem Wissen aus dem Wissensraum durch den Entwickler. Bei der Entwicklung entsteht neues Wissen, das der Entwickler in seinem Wissensraum speichert. Dieser Prozess wird als Conjunction bezeichnet. [HW03]

Lösungsmuster Lösungsmuster sind bekannte Merkmalskombinationen. Dabei werden realisierbare und nicht realisierbare Lösungsmuster unterschieden. Ausschlaggebend dafür sind die Abhängigkeiten der Merkmale untereinander. Neue Lösungen entstehen nur, wenn Lösungsmuster auf eine neu miteinander kombiniert werden oder wenn neue Lösungsmuster entwickelt werden. [Web11]

Maßkonzept Ein Maßkonzept stellt die wesentlichen Maße eines Fahrzeuges dar. Es ist Bestandteil eines Fahrzeugkonzeptes und wird im Entwicklungsverlauf detaillierter ausgestaltet. [BS13]

Merkmal Die Gestalt eines Produktes wird durch seine Merkmale beschrieben. Diese definieren das Produkt durch Struktur, räumliche Anordnung der Komponenten, Formen, Abmessungen, Werkstoffe und Oberflächendaten. Diese Parameter kann der Konstrukteur direkt ändern, die Eigenschaften resultieren aus den Merkmalen, [VBWZ09].

Methode Eine Methode ist die „Beschreibung eines regelbasierten und planmäßigen Vorgehens, nach dessen Vorgabe bestimmte Tätigkeiten auszuführen sind, um ein gewisses Ziel zu erreichen“, [Lin09, S.57].

Methodik „Planmäßige Verfahrensweise zur Erreichung eines bestimmten Ziels nach einem Vorgehensplan unter Einschluss von Strategien, Methoden, Werkzeugen und Hilfsmitteln.“, [Ehr09, S.694]

Middleware Middleware und Enterprise Application Integration (EAI)-Tools bezeichnen Integrationstechnologien zur Kopplung von Anwendungen. [Vog06]

Model Based Systems Engineering (MBSE) „Model-based Systems Engineering ist die formalisierte Anwendung von Modellbildung, um die Aktivitäten der Anforderungserfassung, Entwicklung, Verifikation und Validierung eines Systems, beginnend von der Konzeptphase, über die Entwicklungsphase bis zu späteren Lebenszyklusphasen zu unterstützen“, [ERZ14, S.81].

Mittelflächenmodell In einem Mittelflächenmodell werden die Strukturen mit einer Fläche dargestellt. Diese liegt bezogen auf die Wandstärke einer Struktur in deren Mitte. Sind die Strukturen in einem Bereich überlappend, so werden die jeweils halben Wandstärken der Strukturen für die Positionierung der Mittelflächen zueinander verwendet.

Nummerierungskonvention Bei der Erstellung von Berechnungsmodellen werden baugruppenspezifische Nummerierungskonventionen berücksichtigt, um gezielt damit arbeiten zu können. Zum Beispiel können Baugruppen ausgetauscht und Ergebnisse gezielt ausgewertet werden.

Ontologie In Bezug auf semantische Netze werden die dort verwendbaren Begriffe und Beziehungen unter Ontologie zusammengefasst, [Con10].

Package Ein Package wird als „[...] *maßliches Zusammenspiel aller Baugruppen und Komponenten definiert* [...]“, [BS13, S.131].

Photochemische Oxidantienbildung Über Ethen werden bei dem Photochemical Ozone Creation Potential (POCP) die Ausstöße an Photooxidantien zusammengefasst. [Her10]

Post-Prozessor In der FEM-Berechnung stellt ein Post-Prozessor „*die verformte Struktur sowie die Dehnungen und Spannungen in einer Struktur dar. Hierzu werden Farbfillbilder benutzt, die sofort einen Überblick über die herrschenden Verhältnisse geben*“, [Kle12, S.6].

Pre-Prozessor „*Die Aufgabenstellung des Pre-Prozessors ist die Generierung eines berechenbaren FE-Modells, d.h. die Erzeugung eines sinnvollen Netzes, Zuweisung der Elementdaten [...] und der Materialwerte [...] sowie Einbringung der Kräfte und Randbedingungen*“, [Kle12, S.6].

Primär-Fremdschlüsselbeziehungen Mit Primär-Fremdschlüsselbeziehungen werden Daten in einer relationalen Datenbank miteinander in Beziehung gebracht. Auf diese Verbindungen greifen die Abfrageprozeduren zu. Sie wählen und kombinieren die Daten gezielt mit Hilfe algebraischer Operatoren. [Sch14, Kud15, Mei10]

Produktmodell Ein Produktmodell ist ein spezielles System (Teilsystem) zur Abstraktion eines komplexen realen Sachverhalts. Die Modellerstellung dient der transparenten Abbildung von Objekten, deren Zusammenhängen und ihrem Verhalten. Darunter fallen z.B. geometrische Modelle, deren Parameter miteinander verknüpft sein können und dann als parametrische Modelle definiert werden. Parametrische Modelle können auch Produktmodelle sein, die aus Formeln für die Abschätzung von Eigenschaften bestehen. [Ehr09, VBWZ09, FG13]

Prozess Lindemann definiert den Prozess als „[...] *ausgeführte Menge von Handlungen sowie deren Verknüpfung über Informations- und Materialflüsse, um ausgehend von einer Eingangssituation (Input) ein bestimmtes Ziel (Output) unter gegebenen Randbedingungen zu erreichen*.“, [Lin09, S.334].

Regressionsanalyse Bei einer Regressionsanalyse werden Zusammenhänge zwischen zwei Parametern untersucht. Auf Basis einer Datenerhebung werden die Parameter mit funktionalen Beziehungen (Regressionen) beschrieben. Dafür existieren u.a. lineare und nicht lineare Funktionen. [FKPT07]

Requirement Engineering Die Anforderungsentwicklung beinhaltet die Tätigkeiten *Ermittlung, Ergänzung, Überprüfung, Dokumentation* und *Abstimmung* von Anforderungen bzw. Forderungen an ein Produkt, [FG13, ERZ14, Ste10, Neh14, VHH⁺04].

- Scrum** Scrum bezeichnet, wie Extreme Programming, ein Vorgehen der agilen Softwareentwicklung. Die Entwicklung folgt definierten Regeln und losgelöst von statischen Vorgehensmodellen, um agil auf neue Anforderungen reagieren zu können. [SBK14]
- Semantische Netze** Semantische Netze bestehen aus Knoten und Kanten. Durch die Verbindungen von Knoten durch Kanten entsteht ein Netz, mit dem Objekte in Zusammenhang gebracht werden können. Die Kanten besitzen eine sinnbehaftete Bezeichnung. [Con10]
- Solver** Ein numerischen Gleichungslöser wird in der FEM als Solver bezeichnet. Er stellt Gleichungen aus Steifigkeit, Verschiebungen und Kräften aus dem Pre-Prozessor auf und löst sie bezüglich der Verschiebungen. [Kle12]
- Stage** Im Stage-Gate-Prozess nach Cooper wird unter Stage die Phase zwischen den Gates definiert. Sie dient der Erarbeitung der Informationen für die Gates. [Coo88]
- Stakeholder** Im Projektmanagement werden alle Projektbeteiligten als Stakeholder bezeichnet. Dazu gehören Personen, die durch das Ergebnis oder den Verlauf des Projektes betroffen sind. [DIN09a]
- Strak** Der Strak ist eine „mathematische Beschreibung der Designflächen“, [BS13]. Er ist hauptsächlich Design-getrieben, da Exterieur und Interieur-Flächen beschrieben werden, [BS13].
- Stratosphärischer Ozonabbau** Das Ozone Depletion Potential (ODP) wird mit Triflourmethan analog zum GWP berechnet. [Her10]
- Synthese** Nach der Festlegung geforderter Eigenschaften werden daraus mittels Synthese Merkmale mit ihren möglichen Ausprägungen abgeleitet. Dieser Prozessschritt beinhaltet die Untersuchung von Beziehungen zwischen den geforderten Eigenschaften und den Merkmalen. [VBWZ09]
- System** Im Allgemeinen besteht ein System aus mehreren Elementen, die untereinander und auch mit der Umgebung in Wechselwirkung stehen. Diese Elemente liegen in den Systemen in einer Struktur vor und führen zu spezifischen System-Eigenschaften bzw. dem Verhalten eines Systems. In der Produktentwicklung werden bei jeder Modellerstellung und -untersuchung Systeme erstellt, um einen komplexen realen Sachverhalt zweckmäßig zu abstrahieren. Dieses Vorgehen ist notwendig, um Produkte und ihr Verhalten transparent abzubilden. Ein System besitzt eine Systemgrenze, die definiert welche Elemente das System umfasst. Je nach System sind Elemente auch Teilsysteme die wiederum aus zusammenhängenden Elementen bestehen. [Avg07, Ehr09, VBWZ09, FG13]
- Systemmodell** Ein spezifisches im MBSE zur Anwendung kommendes zentrales System. Es beinhaltet Aspekte „der Anforderungen, der Struktur, des Verhaltens, der Parameter, des Kontexts, der Validierung und Verifikation oder anderer Charakteristiken“, [ERZ14, S.84].

- Tailored Products** Halbzeuge mit variierender Wandstärke über ihren Verlauf werden als Tailored Products bezeichnet. [Fri13].
- Task** Ein Task beschreibt den kleinsten Teil eines Prozessschrittes, bei dem eine Anwendung ausgeführt wird. [Vog06]
- Taskflowsteuerung** Taskflowsteuerung bezeichnet das gemeinsame Ansteuern von Anwendungen für einen Prozessschritt. [Vog06]
- Topologie** Die Topologie wird als „die Lage und Anordnung von Strukturelementen“ bezeichnet. [Sch13, S.219].
- Treibhauseffekt** Unter Global Warming Potential (GWP) werden die Ausstöße von Kohlendioxid, Methan etc. zusammengefasst und in die CO₂-Äquivalente umgerechnet. [Her10]
- Tupel** In einer relationalen Datenbank bezeichnet ein Tupel den Datensatz eines Elements in Abhängigkeit der Attribute. [Mei10]
- Versauerung** Die Beeinflussung des pH-Wertes des Bodens wird in dem Acidification Potential (AP) bestimmt. Schwefeldioxid dient hier als Referenz. [Her10]
- Vorgehensmodell** Ein Vorgehensmodell beschreibt die Handlungsfolge und dient als Hilfe bei der Planung und Kontrolle von Prozessen, [Lin09].
- Weltausschnitt** In einer Datenbank werden Teile einer realen Welt dargestellt, diese werden als Weltausschnitt bezeichnet. [Kud15].
- Wissen** Wissen stellt vernetzte Informationen dar. Es gibt implizites und explizites Wissen. Implizites Wissen ist das persönliche Wissen einer Person. Es liegt in dem Kopf der Person vor, [Nor16]. Explizites Wissen ist nicht an Personen gebunden und liegt systematisch und formalisierbar vor, [VDI09b].
- Wissensmanagement** Wissensmanagement stellt und verwaltet Instrumente zur Steuerung, Entwicklung, Verteilung, Nutzung und Speicherung von Wissen unter strategischen und operativen Kriterien, [VDI09b, Fur14].
- Wissensraum** Der Wissensraum in der C-K-Theory umfasst das implizite Wissen des Entwicklers. Mit diesem entwickelt er im Konzeptraum Lösungen, genannt Disjunction, [HW03].
- Workflowsteuerung** Bei der Workflowsteuerung werden vom Prozess ausgehend die Anwendungen zentral angesteuert. [Vog06]

Inhaltsangabe

Restriktive Anforderungen von verschiedenen Stakeholdern, der steigende Wettbewerbsdruck und die zunehmende Digitalisierung im Fahrzeug erhöhen die Komplexität von Produktentwicklungsprozessen. Zielkonflikte drohen erst spät entdeckt zu werden. Das führt zu unerwünschten und teuren Iterationsschleifen, die vermieden werden können, wenn die Produktentwicklungsprozesse effizienter und effektiver gestaltet werden. Insbesondere in der frühen Phase ist das Informationsdefizit groß und die Gefahr gegeben, Zielkonflikte nicht wahrnehmen zu können. Mit Hilfe von Model Based Systems Engineering (MBSE) und Knowledge Based Engineering (KBE) haben bereits viele Konzepte versucht, einen Beitrag zur Effektivität und der Effizienz im Produktentwicklungsprozess zu leisten. Verschiedene Randbedingungen verhindern oft diesen Beitrag oder der Fokus liegt nur auf KBE oder MBSE.

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Entwicklung einer Methodik zur schnellen und ganzheitlichen Beurteilung der Auswirkung von Parametervariationen auf die Eigenschaften und Merkmale eines Produktes, am Beispiel von Karosseriekonzepten. Die Entwicklung wird systematisch unter Berücksichtigung von MBSE und KBE durchgeführt, um die Komplexität zu beherrschen und die Vorteile beider Strategien in der frühen Phase zu nutzen. Das Vorgehen wird von der Planungs- über die Entwicklungs- bis zur Validierungsphase beschrieben und Konzepte zur Einführung und der Verwaltung, Pflege und Aktualisierung werden entworfen. Die Grundlage ist eine Erweiterung des Characteristics-Properties Modelling (CPM) und Property-Driven Development (PDD). Daraus resultiert eine Methodik, die aus den Prozessschritten Synthese, Analyse und Evaluation besteht, die in einem MBSE-Gesamtsystem, bestehend aus wissensbasierten Teilsystemen, ablaufen. Karosseriekonzepte werden aus geforderten Eigenschaften generiert, analysiert und ganzheitlich bewertet.

Schlüsselworte

Methodik, Karosseriekonzepte, Synthese, Analyse, Evaluation, Merkmale, Eigenschaften

Abstract

Restrictive requirements from different stakeholders, the rising competitive pressure and increasing digitalisation in the vehicle raise the complexity of product development processes (PDP). Goal conflicts tend to be discovered late. That leads to unwanted and expensive iterative cycles which can be avoided if product development processes are designed more efficiently and more effectively. Especially in the early stages the information deficit is large and there is the risk of not being able to discover goal conflicts. With the aid of Model Based Systems Engineering (MBSE) and Knowledge Based Engineering (KBE) many concepts contribute to increasing the effectiveness and the efficiency in the PDP. Different constraints often prevent this contribution or focus solely on KBE or MBSE.

The present work describes the development of a methodology for the rapid and holistic assessment of the effect of parameter variations on the properties and characteristics of a product, at the example of vehicle body concepts. The development is carried out systematically with regard to MBSE and KBE in order to handle the complexity and also to use the advantages of both strategies at an early stage. The procedure is described from the planning through the development up to the validation phase and concepts for the implementation, the management, the care and the updating are composed. The basis is an enlargement of the Characteristics-Properties Modelling (CPM) and the Property-Driven Development (PDD). The result is a methodology based on the process steps of synthesis, analysis and evaluation which use a full MBSE-system, consisting of knowledge based subsystems. Vehicle body concepts are generated from the required properties, analyzed and evaluated holistically.

Keywords

Methodology, Body concepts, Synthesis, Analysis, Evaluation, Characteristics, Properties