AutoUni – Schriftenreihe

Jan Hasenpusch

Methodik zur Beurteilung eigenschaftsoptimierter Karosseriekonzepte in Mischbauweise

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 knew 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

2018

„*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 Sofwareentwicklung . . . 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 Sofwareentwicklung 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 Lebenzykluskosten 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 *SFE Concept* 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 Fügetechnik 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 Fügestellen mit Standardfügeverfahren

NW_{LVp}	Nutzwert
P_i	Punkte i eines Querschnitts
$P_{LVp,Kb}$	Punkte für Lösungsvarianten eines Kriteriums
$p_{Standard,LVp}$	Zahl der Fügestellen 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
$XBTQSj$	x-Position Referenzpunkt des Querschnitts j des Bauteils BT
X_{BTk}	Lage des Bauteilschwerpunktes in X
X_{LVp}	Lage des Fahrzeugschwerpunktes in X
$YBTQSj$	y-Position Referenzpunkt des Querschnitts j des Bauteils BT
$ZBTQSj$	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 Nutrification 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 Managament

PR Required Properties (Geforderten Eigenschaften)

POCP Photochemical Ozone Creation Potential

QBE Query by Example

QUEL Query Language

R Relations (Beziehungen)

RE Requierements 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 relationen 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 Nutrification 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 Farbfüllbilder 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 seien 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].

Srum Scrum bezeichnet, wie Exterme 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 ein 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 CO_2-Äquivalente umgerechnet. [Her10]

Tupel In einer relationen 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]