

Fabian Hehl

# Resiliente Baukastengestaltung durch Risikomanagement in der Automobilindustrie





# Resiliente Baukastengestaltung durch Risikomanagement in der Automobilindustrie

## Resilient Modular System Design through Risk Management in the Automotive Industry

Von der Fakultät für Maschinenwesen  
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen  
zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Ingenieurwissenschaften  
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Fabian Hehl

### **Berichter/in:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Achim Kampker, MBA  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Burggräf, MBA

Tag der mündlichen Prüfung: 11. Mai 2022



# ERGEBNISSE AUS DER ELEKTROMOBILPRODUKTION

**Fabian Hehl**

Resiliente Baukastengestaltung durch  
Risikomanagement in der Automobilindustrie

**Herausgeber:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Achim Kampker, MBA

Band 21



**RWTH**AACHEN  
UNIVERSITY

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

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

Fabian Hehl:

Resiliente Baukastengestaltung durch Risikomanagement in der Automobilindustrie

1. Auflage, 2022

Apprimus Verlag, Aachen, 2022

Wissenschaftsverlag des Instituts für Industriekommunikation und Fachmedien  
an der RWTH Aachen

Steinbachstr. 25, 52074 Aachen

Internet: [www.apprimus-verlag.de](http://www.apprimus-verlag.de), E-Mail: [info@apprimus-verlag.de](mailto:info@apprimus-verlag.de)

ISBN 978-3-98555-094-4

D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2022)

# Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit im Bereich Baukastenmanagement in der Gesamtfahrzeugentwicklung bei der BMW AG. Die Arbeit wurde dabei von Herrn Prof. Dr.-Ing. Achim Kampker, MBA am Lehrstuhl für Production Engineering of E-Mobility Components (PEM) der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen wissenschaftlich betreut.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Peter Burggräf, MBA, Inhaber des Lehrstuhls für International Production Engineering and Management (IPEM) der Universität Siegen und Mitgeschäftsführer der Abteilung Fabrikplanung am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen und Produktionstechnik (WZL) der RWTH Aachen, danke ich neben der Übernahme des Koreferats für die wissenschaftliche Unterstützung, Förderung sowie für das Vertrauen in meine Person. Darüber hinaus danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Jochen Büchs, Inhaber des Lehrstuhls für Bioverfahrenstechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Die Promotionszeit wäre nicht derart lehrreich, bereichernd und persönlich fördernd gewesen ohne die vielen tollen Kollegen und Menschen, die ich während meiner Zeit bei der BMW Group, am PEM der RWTH Aachen sowie am IPEM der Universität Siegen kennenlernen durfte. Ich möchte mich hier besonders bei meinen Betreuern Herrn Bernhard Freyer und Herrn Dr.-Ing. Matthias Dannapfel für die fachliche Betreuung, die persönliche Unterstützung und die zahlreichen Diskussionen bedanken. Die Motivation und Anregungen durch Herrn Bernhard Freyer in den frühen Phasen als auch beim Aufbau der Dissertation leisteten einen maßgeblichen Beitrag für die Realisierung dieser Arbeit. Des Weiteren möchte ich meinen Arbeitskollegen und Doktoranden der BMW AG für die wertvollen Impulse danken. Hierbei möchte ich speziell Dr.-Ing. Sebastian Krems, Dr.-Ing. Tim Weißer, Dr.-Ing. Mohammad Chamas, Dr.-Ing. Felix Schumacher und Dr. rer. nat. Nina Kauffmann hervorheben. In euch habe ich herausragende Freunde gefunden. Der kontinuierliche thematische und persönliche Austausch war stets von Fortschritt geprägt und gleichermaßen bereichernd.

Mein größter Dank gebührt meiner Familie. Meine Eltern Hedwig und Heiner Hehl haben mich stets auf meinem Lebensweg unterstützt, mir diesen in schwierigen Situationen geebnet und mich in dem bestärkt, was ich mir vorgenommen habe. Mein Bruder Christoph stand mir stets mit guten Ratschlägen zur Seite. Euch widme ich diese Arbeit.

München, im Mai 2022

Fabian Hehl



# Inhaltsübersicht

<b>Inhaltsübersicht</b> .....	<b>I</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>VII</b>
<b>Abkürzungen</b> .....	<b>XI</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Summary</b> .....	<b>XV</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Motivation.....	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit.....	4
1.3 Konzeption des Forschungsprozesses.....	5
1.4 Aufbau der Arbeit.....	10
<b>2 Forschungsgegenstand Baukastengestaltung</b> .....	<b>13</b>
2.1 Technische Systeme.....	13
2.2 Produktarchitekturen.....	19
2.3 Baukästen und deren Gestaltung.....	28
2.4 Handlungsbedarf aus der Praxis.....	35
<b>3 Analyse bestehender Ansätze zur resilienten Baukastengestaltung</b> .....	<b>47</b>
3.1 Risikomanagement für Baukästen.....	47
3.2 Stand der Forschung zur resilienten Baukastengestaltung.....	66
3.3 Zwischenfazit: Forschungsbedarf zur resilienten Baukastengestaltung.....	88
<b>4 Konzeption der resilienten Baukastengestaltung</b> .....	<b>91</b>
4.1 Betrachtung methodologischer Grundlagen.....	91
4.2 Anforderungen an den modellbasierten Ansatz.....	94
4.3 Grobkonzept der resilienten Baukastengestaltung.....	98
4.4 Zwischenfazit: Konzeption der resilienten Baukastengestaltung.....	120
<b>5 Detaillierung der resilienten Baukastengestaltung</b> .....	<b>121</b>
5.1 Bestimmung verblockungskritischer Baukästen im Gesamtsystem Produkt.....	122
5.2 Identifikation von Risiken für verblockungskritische Baukästen.....	139
5.3 Analyse von Risiken für verblockungskritische Baukästen.....	150

---

5.4	Bewertung von Risiken für verblockungskritische Baukästen .....	174
5.5	Behandlung von Risiken für verblockungskritische Baukästen .....	198
5.6	Zwischenfazit: Detaillierung der resilienten Baukastengestaltung .....	235
<b>6</b>	<b>Demonstration und kritische Reflexion .....</b>	<b>237</b>
6.1	Anwendung der resilienten Baukastengestaltung .....	237
6.2	Kritische Reflexion der Anwendungserfahrung .....	248
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>253</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>259</b>
<b>A</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>281</b>
A.1	Kennzahlensteckbriefe .....	281

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsübersicht</b> .....	<b>I</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>VII</b>
<b>Abkürzungen</b> .....	<b>XI</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Summary</b> .....	<b>XV</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Motivation.....	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit.....	4
1.3 Konzeption des Forschungsprozesses .....	5
1.4 Aufbau der Arbeit.....	10
<b>2 Forschungsgegenstand Baukastengestaltung</b> .....	<b>13</b>
2.1 Technische Systeme .....	13
2.1.1 Eigenschaften, Merkmale und Anforderungen .....	13
2.1.2 Definition System .....	14
2.1.3 Funktionale und räumliche Abhängigkeiten .....	18
2.2 Produktarchitekturen .....	19
2.2.1 Definition Produktarchitektur .....	20
2.2.2 Grundtypen von Produktarchitekturen.....	22
2.2.3 Erzeugung produktübergreifender Kommunalitäten .....	24
2.3 Baukästen und deren Gestaltung .....	28
2.3.1 Definition Baukasten .....	29
2.3.2 Phasen des Baukastenentwicklungsprozesses.....	30
2.3.3 Potenziale durch Baukästen .....	32
2.3.4 Technische Änderungen.....	34
2.4 Handlungsbedarf aus der Praxis.....	35
2.4.1 Herausforderungen bei der Baukastengestaltung in der Automobilindustrie .....	35
2.4.2 Präzisierung der Herausforderungen durch Studienergebnisse .....	39
2.4.3 Handlungsbedarf zum Umgang mit Risiken in der Baukastengestaltung.....	45
<b>3 Analyse bestehender Ansätze zur resilienten Baukastengestaltung</b> .....	<b>47</b>
3.1 Risikomanagement für Baukästen.....	47

3.1.1	Begriff des Risikos .....	47
3.1.2	Grundlagen des Risikomanagements .....	55
3.1.3	Zwischenfazit: Risikomanagement für Baukästen .....	65
3.2	Stand der Forschung zur resilienten Baukastengestaltung .....	66
3.2.1	Würdigende Untersuchung bestehender Ansätze .....	68
3.2.2	Auswahl integrierbarer Bausteine .....	78
3.3	Zwischenfazit: Forschungsbedarf zur resilienten Baukastengestaltung .....	88
<b>4</b>	<b>Konzeption der resilienten Baukastengestaltung .....</b>	<b>91</b>
4.1	Betrachtung methodologischer Grundlagen .....	91
4.1.1	Definition und Bestandteile eines modellbasierten Ansatzes .....	91
4.1.2	Grundlagen der Modelltheorie .....	92
4.2	Anforderungen an den modellbasierten Ansatz .....	94
4.2.1	Formale Anforderungen .....	94
4.2.2	Inhaltliche Anforderungen .....	95
4.2.3	Lösungsthese zur resilienten Baukastengestaltung .....	97
4.3	Grobkonzept der resilienten Baukastengestaltung .....	98
4.3.1	Bestimmung von verblockungskritischen Baukästen .....	100
4.3.2	Risikoidentifikation für verblockungskritische Baukästen .....	104
4.3.3	Risikoanalyse für verblockungskritische Baukästen .....	106
4.3.4	Risikobewertung für verblockungskritische Baukästen .....	110
4.3.5	Risikobehandlung für verblockungskritische Baukästen .....	114
4.4	Zwischenfazit: Konzeption der resilienten Baukastengestaltung .....	120
<b>5</b>	<b>Detaillierung der resilienten Baukastengestaltung .....</b>	<b>121</b>
5.1	Bestimmung verblockungskritischer Baukästen im Gesamtsystem Produkt .....	122
5.1.1	Selektion und Beschreibung relevanter Kennzahlen .....	123
5.1.2	Aufbau des Kennzahlensystems .....	131
5.1.3	Identifikation von und Umgang mit Ausreißern .....	135
5.1.4	Bestimmung relevanter Baukästen .....	138
5.2	Identifikation von Risiken für verblockungskritische Baukästen .....	139
5.2.1	Bestimmung von Risikofaktoren .....	140
5.2.2	Einsatz methodischer Verfahren zur Identifikation von Risiken .....	144
5.2.3	Beschreibung von Risiken .....	147
5.3	Analyse von Risiken für verblockungskritische Baukästen .....	150
5.3.1	Attribution verblockungskritischer Baukästen .....	151
5.3.2	Risikoanalyse innerhalb von verblockungskritischen Baukästen .....	158
5.3.3	Risikoanalyse im Gesamtsystem Produkt .....	164

---

5.4	Bewertung von Risiken für verblockungskritische Baukästen.....	174
5.4.1	Bemessung von Risikoparametern.....	174
5.4.2	Risikobewertung im Gesamtsystem Produkt.....	183
5.4.3	Priorisierung der bewerteten Risiken.....	192
5.5	Behandlung von Risiken für verblockungskritische Baukästen.....	198
5.5.1	Erarbeitung von Risikobehandlungsstrategien.....	199
5.5.2	Betriebswirtschaftliche Auswertung von Risikobehandlungsstrategien.....	209
5.5.3	Beschreibung ermittelter Kostenarten.....	221
5.5.4	Quantifizierung von Risikobehandlungsstrategien.....	226
5.6	Zwischenfazit: Detaillierung der resilienten Baukastengestaltung.....	235
<b>6</b>	<b>Demonstration und kritische Reflexion.....</b>	<b>237</b>
6.1	Anwendung der resilienten Baukastengestaltung.....	237
6.2	Kritische Reflexion der Anwendungserfahrung.....	248
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>253</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>259</b>
<b>A</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>281</b>
A.1	Kennzahlensteckbriefe.....	281



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Beispieldarstellung des Sachverhaltes der Verblockung .....	3
Abbildung 1-2: Einordnung der Wissenschaftssystematik.....	6
Abbildung 1-3: Heuristischer Bezugsrahmen .....	7
Abbildung 1-4: Forschungsprozess der vorliegenden Arbeit .....	9
Abbildung 1-5: Aufbau der Arbeit .....	10
Abbildung 2-1: Aufbau einer Anforderung .....	14
Abbildung 2-2: Grundlagen des Systemdenkens.....	15
Abbildung 2-3: Kombination der Systemkonzepte .....	17
Abbildung 2-4: Funktionale Abhängigkeiten .....	18
Abbildung 2-5: Geometrische Abhängigkeiten.....	19
Abbildung 2-6: Aufbau von Produktarchitekturen.....	22
Abbildung 2-7: Klassifizierung von Produktarchitekturen .....	24
Abbildung 2-8: Arten der Modularität .....	28
Abbildung 2-9: Baukastenentwicklungsprozess.....	31
Abbildung 2-10: Differenzierung der Gestaltungsstrategien.....	33
Abbildung 2-11: Herausforderungen im Fallbeispiel A .....	37
Abbildung 2-12: Herausforderungen im Fallbeispiel B .....	38
Abbildung 2-13: Erzielung betriebswirtschaftlicher Vorteile durch Skaleneffekte .....	40
Abbildung 2-14: Änderungskosten über den Lebenszyklus.....	41
Abbildung 2-15: Systematische Methodik für zukünftige Rahmenbedingungen.....	43
Abbildung 2-16: Spannungsfeld zwischen Planungssicherheit und Flexibilität .....	44
Abbildung 2-17: Herausforderungen von Baukästen in einem hochdynamischen Umfeld .....	45
Abbildung 3-1: Entscheidungsbezug von Unsicherheit und Risiko .....	49
Abbildung 3-2: Aspekte der unvollkommenen Information .....	50
Abbildung 3-3: Begriffe von Chance und Risiko als mögliche zukünftige Zielabweichung .....	53
Abbildung 3-4: Risikomanagementprozess.....	59
Abbildung 3-5: Vorgehen systematische Literaturrecherche .....	68
Abbildung 4-1: Bestandteile eines modellbasierten Ansatzes.....	91
Abbildung 4-2: Phasen der Modellierung .....	93
Abbildung 4-3: Inhaltliches Anforderungsprofil für die resiliente Baukastengestaltung.....	96
Abbildung 4-4: Gesamterkenntnis der resilienten Baukastengestaltung .....	100
Abbildung 4-5: Konzept zur Bestimmung verblockungskritischer Baukästen .....	101
Abbildung 4-6: Auswahl verblockungskritischer Baukästen .....	103
Abbildung 4-7: Vorgehen zur Identifikation von Risiken für verblockungskritische Baukästen ....	104
Abbildung 4-8: Zeitliche Charakteristika von Verfahren zur Risikoidentifikation.....	106
Abbildung 4-9: Merkmalsklassifizierung mechatronischer Baukästen.....	107
Abbildung 4-10: Risikoauswirkungen aufgrund von räumlichen Abhängigkeiten .....	109
Abbildung 4-11: Bemessung des Risikoparameters Auswirkungen einer Verblockung.....	112
Abbildung 4-12: Konzept zur Priorisierung von Risiken.....	114
Abbildung 4-13: Vorgehen zur Behandlung von Risiken .....	115

Abbildung 4-14: Übersicht Risikobehandlungsstrategien .....	116
Abbildung 4-15: Vergleich der Risikobehandlungsstrategien .....	117
Abbildung 4-16: Berechnung Kapitalwerte Risikobehandlungsstrategie 3 .....	119
Abbildung 5-1: Vorgehensweise zur resilienten Baukastengestaltung .....	121
Abbildung 5-2: Bestimmung verblockungskritischer Baukästen im Gesamtsystem Produkt .....	122
Abbildung 5-3: Bewertung der selektierten Kennzahlen .....	124
Abbildung 5-4: Ermittlung des Konzeptdivergenz-Faktors .....	128
Abbildung 5-5: Aufbau des Profils der Integrationskomplexität .....	130
Abbildung 5-6: Zuordnung der Kennzahlen zur Ordinate und Abszisse des Rechensystems .....	132
Abbildung 5-7: Beispielhafte Einordnung im Verblockungs-Kritikalitäts-Portfolio .....	135
Abbildung 5-8: Kennzeichnung von Ausreißern im Verblockungs-Kritikalitäts-Portfolio .....	138
Abbildung 5-9: Auswahl verblockungskritischer Baukästen .....	139
Abbildung 5-10: Identifikation von Risiken für verblockungskritische Baukästen .....	140
Abbildung 5-11: Übersicht über die Risikofaktoren .....	141
Abbildung 5-12: Verfahren zur Identifikation von Risiken .....	145
Abbildung 5-13: Zeitliche Charakteristika von Verfahren zur Risikoidentifikation .....	146
Abbildung 5-14: Übersicht Fehler-Ursachen-Analyse von Risiken .....	148
Abbildung 5-15: Übersicht der Risiko-Baukasten-Kardinalitäten .....	149
Abbildung 5-16: Analyse von Risiken für verblockungskritische Baukästen .....	150
Abbildung 5-17: Vorgehensweise Erfassung von Baukastenmerkmalen .....	152
Abbildung 5-18: Merkmalsklassifizierung mechatronischer Baukästen .....	153
Abbildung 5-19: Baukastenmerkmale der Dimension Relation .....	155
Abbildung 5-20: Beispielhafte Spezifizierung der Ausprägungen von Baukastenmerkmalen .....	156
Abbildung 5-21: Abbildung ermittelter Abhängigkeiten .....	160
Abbildung 5-22: Zuordnung von Risiken zu Baukastenmerkmalen .....	161
Abbildung 5-23: Vorgehensweise Anpassung der Attribution aufgrund des Risikos .....	163
Abbildung 5-24: Auswirkungen des Risikos innerhalb des verblockungskritischen Baukastens .....	164
Abbildung 5-25: Vorgehen zur Risikoanalyse im Gesamtsystem Produkt .....	165
Abbildung 5-26: Erfassung der Risikoauswirkungen bei funktionalen Abhängigkeiten .....	166
Abbildung 5-27: Formalisierung der von funktionalen Abhängigkeiten betroffenen Baukästen .....	167
Abbildung 5-28: Risikoauswirkungen aufgrund von räumlichen Abhängigkeiten .....	169
Abbildung 5-29: Vorgehensweise bei Zielkonflikten räumlicher Abhängigkeiten .....	171
Abbildung 5-30: Erstellung von Verblockungsübersichten je Risiko .....	173
Abbildung 5-31: Bewertung von Risiken für verblockungskritische Baukästen .....	174
Abbildung 5-32: Möglichkeiten der Risikobemessung .....	175
Abbildung 5-33: Bemessung des Risikoparameters Eintrittswahrscheinlichkeit .....	178
Abbildung 5-34: Auswirkungskriterien einer Verblockung .....	180
Abbildung 5-35: Bemessung des Risikoparameters Auswirkungen einer Verblockung .....	183
Abbildung 5-36: Exemplarische Bewertung des Auswirkungskriteriums Herstellkosten .....	186
Abbildung 5-37: Erstellung von Bewertungsübersichten je Risiko .....	189
Abbildung 5-38: Beispielhafte Einordnung von Risiken in der Risikoeinstufungsmatrix .....	195
Abbildung 5-39: Akzeptanzgrenze für Risiken in der Risikoeinstufungsmatrix .....	196
Abbildung 5-40: Priorisierung von Risiken in der Risikoeinstufungsmatrix .....	197
Abbildung 5-41: Auswahl der geeignetsten Risikobehandlungsstrategie .....	198

Abbildung 5-42: Übersicht Risikobehandlungsstrategien.....	200
Abbildung 5-43: Relevante Meilensteine für Risikobehandlungsstrategien .....	201
Abbildung 5-44: Maßnahmen keine aktive Risikobehandlung .....	202
Abbildung 5-45: Maßnahmen korrektive Risikobehandlung .....	203
Abbildung 5-46: Gestaltung von Risikostrukturen in Baukästen durch präventive Maßnahmen .....	204
Abbildung 5-47: Maßnahmen der präventiven Risikobehandlung mit präventivem Verbau.....	206
Abbildung 5-48: Maßnahmen der präventiven Risikobehandlung mit reaktivem Verbau.....	207
Abbildung 5-49: Vergleich der Risikobehandlungsstrategien.....	209
Abbildung 5-50: Überblick zur Auswahl der geeignetsten Risikobehandlungsstrategie .....	210
Abbildung 5-51: Betriebswirtschaftliche Verläufe Eintritt Risiko.....	211
Abbildung 5-52: Betriebswirtschaftlicher Verlauf Risikobehandlungsstrategie 1 Eintritt Risiko .....	212
Abbildung 5-53: Betriebswirtschaftlicher Verlauf Risikobehandlungsstrategie 2 Eintritt Risiko .....	214
Abbildung 5-54: Betriebswirtschaftlicher Verlauf Risikobehandlungsstrategie 3 Eintritt Risiko .....	216
Abbildung 5-55: Betriebswirtschaftlicher Verlauf Risikobehandlungsstrategie 4 Eintritt Risiko .....	218
Abbildung 5-56: Betriebswirtschaftliche Verläufe Nichteintritt Risiko.....	219
Abbildung 5-57: Betriebswirtschaftlicher Verlauf Risikobehandlungsstrategie Nichteintritt Risiko .....	220
Abbildung 5-58: Berechnung Kapitalwerte Risikobehandlungsstrategie 1.....	229
Abbildung 5-59: Berechnung Kapitalwerte Risikobehandlungsstrategie 2.....	230
Abbildung 5-60: Berechnung Kapitalwerte Risikobehandlungsstrategie 3.....	232
Abbildung 5-61: Berechnung Kapitalwerte Risikobehandlungsstrategie 4.....	234
Abbildung 6-1: Auszug der Ergebnisse der Ausreißeranalyse.....	238
Abbildung 6-2: Verblockungs-Kritikalitäts-Portfolio nach der Ausreißeranalyse .....	239
Abbildung 6-3: Auszug der Risikoliste des Baukastens intelligenter Stromverteiler .....	241
Abbildung 6-4: Ursache-Fehler-Analyse Beispielrisiko intelligenter Stromverteiler .....	242
Abbildung 6-5: Auszug Risikoauswirkungen innerhalb des intelligenten Stromverteilers.....	243
Abbildung 6-6: Verblockungsübersicht Anschluss einer zusätzlichen elektrischen Wärmepumpe. ....	244
Abbildung 6-7: Priorisierung der Risiken in der Risikoeinstufungsmatrix .....	245
Abbildung 6-8: Gegenüberstellung der Kapitalwerte der Risikobehandlungsstrategien.....	248
Abbildung 9-1: Betriebswirtschaftliche Wertigkeit .....	281
Abbildung 9-2: Release-Zyklus-Faktor .....	282
Abbildung 9-3: Durchschnittliche Änderungsrate.....	283
Abbildung 9-4: Profil der Integrationskomplexität .....	284
Abbildung 9-5: Anzahl an Innovationen.....	285
Abbildung 9-6: Durchschnittliche Änderungskosten .....	286
Abbildung 9-7: Leuchtturmcharakter .....	287
Abbildung 9-8: Vergabedauer.....	288
Abbildung 9-9: Anzahl Schnittstellen .....	288
Abbildung 9-10: Komplexitätskostenprofil.....	289
Abbildung 9-11: Anzahl bedienender Produkte .....	290
Abbildung 9-12: Baureihenübergreifender Verwendungsgrad .....	290
Abbildung 9-13: Kommunalitätsgrad.....	291
Abbildung 9-14: Bedeutsamkeit des Bauraums .....	291
Abbildung 9-15: Durchschnittliche Innovationsdauer .....	292



## Abkürzungen

AAE	Anzahl der Änderungen
AG	Aktiengesellschaft
Ausg	Ausgehend
BMW	Bayerische Motoren Werke
BW	Betriebswirtschaftliche Wertigkeit
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
CFR	Changes-to-Function Ratio
CI	Coupling Index
CMEA	Change Mode and Effects Analysis
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
COGS	Cost of Goods Sold
CPI	Change Propagation Index
CPN	Change Potential Number
d.h.	das heißt
DACH	Deutschland, Österreich und Schweiz
DAER	Durchschnittliche Änderungsrate
DIN	Deutsches Institut für Normung
DMM	Domain Mapping Matrizen
DOF	Degrees of Freedom
DSM	Domain Structure Matrix
E/E	Elektrik/Elektronik
Eing	Eingehend
engl.	Englisch
ERP	Enterprise Resource Planning
ESM	Engineering System Matrix
Et al.	et alii
F&E	Forschung und Entwicklung
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
GBZ	Gesamtbewertungszahl
GVI	Generational Variety Index

---

HK	Herstellkosten
IKB	Integrationskomplexitätsprofil
ISO	International Standards Organization
IT	Informationstechnologie
KDF	Konzept-Divergenz-Faktor
km/h	Kilometer pro Stunde
kWh	Kilowattstunde
MD	mittlere absolute Abweichung vom Median
n	Stückzahl
Nm	Newtonmeter
NPV	Net Present Value
PIK	Profil der Integrationskomplexität
PKD	Profil der Konzeptdivergenz
RPZ	Risikoprioritätszahl
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule
RZF	Release-Zyklus-Faktor
S.	Seite
SAE	Society of Automotive Engineers
SUV	Sports Utility Vehicle
USB	Universal Serial Bus
vgl.	vergleich
VKP	Verblockungs-Kritikalitäts-Portfolio
VKZ	Verblockungs-Kritikalitäts-Zahl
WLTP	Worldwide Harmonized Light-Duty Test Procedure
z.B.	zum Beispiel

## Zusammenfassung

In der Dichotomie zwischen „Economies of Scale“ und „Economies of Scope“ verwenden Unternehmen in der Automobilindustrie Baukästen, um die Komplexität umfangreicher Produktprogramme zu beherrschen und durch Skaleneffekte betriebswirtschaftliche Vorteile zu erzielen. Eine wesentliche Herausforderung bei Produktbaukästen sind technische Änderungen, welche die Skaleneffekte von Baukästen während der Vergabedauer reduzieren. Dies gilt insbesondere für Baukästen in einem hochdynamischen Umfeld. Ein hochdynamisches Umfeld führt zu einer hohen Veränderlichkeit der betroffenen Baukästen, ihrer Abhängigkeiten zu anderen Baukästen und den Anforderungen, die über die Vergabedauer erfüllt werden müssen. Sind Baukästen durch räumliche und funktionale Abhängigkeiten im Produkt Fahrzeug stark vernetzt, so ist das Gesamtsystem Fahrzeug und das den Baukasten verwendende Fahrzeugportfolio im Falle einer technischen Änderung ein inflexibles Konstrukt. Dieser Sachverhalt wird als Verblockung bezeichnet. Die Auswirkungen einer Verblockung sind zum einen hohe Änderungs- und Abbruchkosten aufgrund räumlicher und funktionaler Beziehungen. Zum anderen ist es möglich, dass aufgrund fehlender technischer Rahmenbedingungen oder betriebswirtschaftlicher Gründe keine technischen Änderungen vorgenommen werden können, was zu einer verzögerten Reaktionsfähigkeit auf Risiken führt. Die daraus resultierende mangelnde Kundenorientierung kann wiederum zu Stückzahlverlusten an den Wettbewerb führen. Die bestehenden Baukastenentwicklungsprozesse sind weitgehend statisch und integrieren die Risiken eines hochdynamischen Umfelds nicht ausreichend.

Das Ziel der Arbeit besteht folglich darin, einen modellbasierten Ansatz zu entwickeln, um verblockungskritische Baukästen resilient zu gestalten, indem Risiken systematisch identifiziert, analysiert, bewertet und behandelt werden. Durch den entwickelten modellbasierten Ansatz werden Unternehmen in der Automobilindustrie dazu befähigt, dem Endkunden zusätzliche Funktionen über die Vergabedauer dieser Baukästen anzubieten sowie technische Änderungen und dadurch Abbruch- und Änderungskosten zu vermeiden bzw. zu minimieren.

Der modellbasierte Ansatz zur resilienten Baukastengestaltung gliedert sich in fünf Teilmodelle. Ziel des ersten Teilmodells ist es, die Verblockungskritikalität von Baukästen anhand von Kennzahlen zu bestimmen. Im zweiten Teilmodell werden Risiken für Baukästen anhand von Risikofaktoren unter Verwendung methodischer Verfahren systematisch identifiziert und beschrieben. Darauf aufbauend werden im dritten Teilmodell die Auswirkungen von Risiken innerhalb von verblockungskritischen Baukästen und im Gesamtsystem Produkt analysiert. Im vierten Teilmodell werden die aus den Risiken resultierenden Verblockungen anhand von Risikoparametern bewertet und priorisiert. Das abschließende fünfte Teilmodell umfasst die Entscheidung über die für ein bestimmtes Risiko zu verfolgende Risikobehandlungsstrategie nach betriebswirtschaftlichen Aspekten.



## Summary

In the dichotomy between economies of scale and economies of scope, companies in the automotive industry use modular systems to manage the complexity of extensive product programs and to achieve economic advantages through economies of scale. A major challenge with modular systems is technical changes that reduce the economies of scale of modular systems during the contracting period. This is especially true for modular systems in a highly dynamic environment. A highly dynamic environment leads to a high variability of the affected modular systems, their relations to other modular systems and the requirements that have to be fulfilled over the award period. If modular systems are strongly interconnected by spatial and functional dependencies in the vehicle, the overall vehicle system and the vehicle portfolio that uses the modular system is an inflexible construct in the event of a technical change. This situation is referred to as blocking. The effects of blocking are, on the one hand, high modification and demolition due to spatial and functional dependencies. On the other hand, it is possible that technical changes cannot be made due to a lack of technical framework conditions or for economic reasons, resulting in a delayed responsiveness to risks. The resulting lack of customer focus may in turn lead to unit losses to the competition. The existing modular development processes are largely static and do not sufficiently integrate the risks of a highly dynamic environment.

Consequently, the objective of this thesis is to develop a model-based approach to make blocking-critical modular systems resilient by systematically identifying, analyzing, evaluating and treating risks. The developed model-based approach will enable companies in the automotive industry to offer additional functions to the end customer over the lifetime of these modular systems and to avoid or minimize technical changes and thus modification and demolition costs.

The model-based approach to resilient modular system design is divided into five submodels. The aim of the first submodel is to determine the blocking criticality of modular systems based on key figures. In the second submodel, risks for modular systems are systematically identified and described based on risk factors using methodical procedures. Building on this, the third submodel analyzes the effects of risks within blockage-critical modular systems and in the overall product system. In the fourth submodel, the blockages resulting from the risks are evaluated and prioritized based on risk parameters. The final fifth submodel covers the decision on the risk treatment strategy to be pursued for a specific risk according to economic aspects.



# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

In den letzten Jahrzehnten hat sich die Produktvielfalt in der Automobilindustrie aus verschiedenen Gründen erhöht. Seit den 1990er Jahren befindet sich die Automobilindustrie in den etablierten Absatzmärkten, wie Europa und Nordamerika, in einem Verdrängungswettbewerb. Dabei sind Marktanteile nur auf Kosten der Mitbewerber erzielbar.<sup>1</sup> Die Automobilhersteller versuchen dem entgegenzuwirken, indem sie ihre eigenen Produkte durch Produktinnovationen von der Konkurrenz abheben und somit beim Kunden Alleinstellungsmerkmale aufbauen.<sup>2</sup> Als Folge dieses Trends werden die Produktlebenszyklen stetig verkürzt, die gesättigten Märkte aufgrund individueller Kundenanforderungen in Teilmärkte aufgeteilt und neue Marktsegmente erschlossen, was zu einer Erhöhung der Produktvielfalt führt.<sup>3</sup> Die deutschen Automobilhersteller sind diesem Verdrängungswettbewerb in den vergangenen zehn Jahren in den aufstrebenden Absatzmärkten, wie China und Indien, entgangen und konnten dort oft zweistellige Wachstumsraten erreichen.<sup>4</sup> Mit wachsendem Wissen und Qualitätsverständnis der lokalen Automobilhersteller steigt jedoch auch in diesen Absatzmärkten der Wettbewerbs- und Kostendruck und somit das Risiko, Marktanteile zu verlieren.<sup>5</sup> Dies führt zu einer weiteren Differenzierung der Produkte und verschärft die oben beschriebene Problematik der steigenden Produktvielfalt zusätzlich.

Um den Herausforderungen, wie der Erhaltung der Innovationsführerschaft bei kürzer werdenden Produktlebenszyklen, der Beherrschung der Variantenvielfalt und dem internationalen Kostendruck gerecht zu werden, strukturieren die Unternehmen ihre Produkte in Form von Baukästen.<sup>6</sup> Baukästen stellen einen Ansatz zur Beherrschung des Spannungsfeldes zwischen den „Economies of Scale“ und „Economies of Scope“ dar und sind besonders in der Automobilindustrie verbreitet. Das Ziel der „Economies of Scale“ ist die Generierung von Kostendegressions- und Lerneffekten sowie Automatisierung, wogegen bei den „Economies of Scope“ der Fokus auf der Entwicklung kundenspezifischer Produkte liegt, die nur mit erhöhter Produkt- und Prozesskomplexität realisierbar sind.<sup>7</sup> Durch Kombinationen der Baukästen können so nahezu individuell konfigurierbare Produkte bei gleichzeitig reduzierter interner Variantenvielfalt erzeugt werden. Damit lassen sich über die gesamte Produktpalette hinweg Skaleneffekte

---

<sup>1</sup> Vgl. Hung Vo (2016), Die Automobilindustrie und die Bedeutung innovativer Industrie 4.0 Technologien, S. 19; Thoma et al. (2015), Emerging new product development methodology for the automobile industry, S. 19ff.

<sup>2</sup> Vgl. Farhana et al. (2015), Design Driven Innovation as a Differentiation Strategy, S. 26; Talay et al. (2014), Coevolutionary Dynamics of Automotive Competition, S. 61

<sup>3</sup> Vgl. Ferreira et al. (2017), Product lifecycle management in knowledge intensive collaborative environments, S. 1474; Hab et al. (2013), Projektmanagement in der Automobilindustrie, S. 8; Schönmann (2012), Produktentwicklung in der Automobilindustrie, S. 2

<sup>4</sup> Vgl. BMW Group Geschäftsberichte 2008-2018; Daimler AG Geschäftsberichte 2008-2018; Audi AG Geschäftsberichte 2008-2018

<sup>5</sup> Vgl. Lynch et al. (2016), Knowledge and innovation in emerging market multinationals: The expansion paradox, S. 1596

<sup>6</sup> Vgl. Kampker et al. (2014), Assessment and Configuration of a Product Production System, S. 147; Barbosa et al. (2017), Exploratory analysis of the variables prevailing on the effects of product modularization on production volume and efficiency, S. 678; Piran et al. (2016), Product modularization and effects on efficiency, S. 1

<sup>7</sup> Vgl. Schuh et al. (2011), Integrative Konfigurationslogik für Produkt-Produktionssysteme, S. 87

erzielen.<sup>8</sup> Um diese Skaleneffekte zu maximieren, müssen die Baukästen möglichst lange und in vielen Fahrzeugderivaten verbaut werden<sup>9</sup>, eine möglichst geringe Anzahl an technischen Änderungen erfahrung<sup>10</sup> und gleichzeitig über deren Vergabedauer<sup>11</sup> dem Stand der Technik entsprechen<sup>12</sup>.

Hieraus wird deutlich, dass die Gestaltung von Baukästen nicht nur Vorteile aufweist, sondern auch Herausforderungen mit sich bringt. So reduzieren technische Änderungen die Skaleneffekte der Baukästen<sup>13</sup> und besitzen vor allem Relevanz für Baukästen, die sich in einem hochdynamischen Umfeld befinden. Ein hochdynamisches Umfeld kennzeichnet sich im Kontext der vorliegenden Arbeit durch eine hohe Veränderlichkeit der betroffenen Baukästen, deren Beziehungen zu weiteren Baukästen und zu erfüllenden Anforderungen über die Vergabedauer. Dies führt über die Vergabedauer der betroffenen Baukästen zu einer Vielzahl an neuen bzw. erweiterten Anforderungen und somit zu einer großen Anzahl an Änderungen. Diese hohe Veränderlichkeit eines Baukastens ist somit oftmals gleichermaßen ein Indikator für eine hohe Innovativität des Baukastenumfelds. In der Automobilindustrie zählen hierzu aktuell Baukästen, die beispielsweise für autonome Fahrfunktionen benötigt werden.

In der Folge des technischen Fortschritts ist des Weiteren eine zunehmende, in die Baukästen zu integrierende Funktionsanzahl zu nennen.<sup>14</sup> Dabei nimmt der zur Verfügung stehende Bauraum im Fahrzeug jedoch nicht zu. Dies führt zu einer zunehmenden Funktionsintegration in die Baukästen, wodurch die jeweiligen Baukästen immer stärker im Gesamtsystem Fahrzeug vernetzt werden.<sup>15</sup> Daraus resultiert eine Vielzahl an räumlichen und funktionalen Interdependenzen zu weiteren Baukästen, die in der Regel unterschiedliche Lebenszyklen besitzen. So weisen beispielsweise Elektrik/Elektronik-Baukästen weitgehend kürzere Lebenszyklen auf als rein mechanische Baukästen.<sup>16</sup> Die Vielzahl an räumlichen und funktionalen Interdependenzen sowie unterschiedliche Baukastenlebenszyklen erschweren im Falle einer technischen Änderung deren Umsetzung im Gesamtsystem Fahrzeug. Dies wird in der vorliegenden Arbeit als Verblockung bezeichnet (vgl. Abbildung 1-1). Aufgrund der räumlichen und funktionalen Interdependenzen können im Falle einer technischen Änderung weitere Baukästen von Änderungs- und Abbruchkosten betroffen sein.<sup>17</sup> Infolgedessen entstehen oftmals hohe nachträgliche Änderungs- und Abbruchkosten in der Entwicklung und beim Lieferanten sowie zusätzliche Baukastenvarianten. Die technischen Änderungen werden oftmals während der Lebenszyklen der betroffenen Baukästen durchgeführt. Die Folge daraus sind nicht realisierbare Skaleneffekte der Baukästen.<sup>18</sup>

<sup>8</sup> Vgl. Zhang et al. (2017), Linking supply chain quality integration with mass customization and product modularity, S. 1

<sup>9</sup> Vgl. Weiser et al. (2016), Complexity Assessment of Modular Product Families, S. 596

<sup>10</sup> Vgl. Bauer et al. (2015), Determination of the required product platform flexibility from a change perspective, S. 20; Jose et al. (2005), Modular and platform methods for product family design, S. 375 f.

<sup>11</sup> Die Vergabedauer beschreibt in der vorliegenden Arbeit die vertraglich festgelegte Dauer, über die anforderungstechnisch detailliert beschriebene Baukästen unter klar definierten Kriterien, wie zum Beispiel der Stückzahl über die Laufzeit und dem Preis von einem ausgewählten Lieferanten produziert und geliefert werden.

<sup>12</sup> Vgl. Lau (2011), Critical success factors in managing modular production design, S. 179

<sup>13</sup> Vgl. Burggräf et al. (2019), Data on the current state of modular systems in a highly dynamic environment, S. 8

<sup>14</sup> Vgl. Hüttenrauch et al. (2008), Effiziente Vielfalt, S. 85 ff.

<sup>15</sup> Vgl. Vickery et al. (2016), Product Modularity, Process Modularity, and New Product Introduction Performance, S. 753

<sup>16</sup> Vgl. Brandt (2016), Architekturgesteuerte Elektrik/Elektronik Baukastenentwicklung im Automobil, S. 22

<sup>17</sup> Vgl. Eckert et al. (2004), Change and customisation in complex engineering domains, S. 10; Pasche et al. (2012), Organising for modularity in dynamic markets, S. 14

<sup>18</sup> Vgl. Amoscht (2011), Beherrschung von Komplexität bei der Gestaltung von Baukastensystemen, S. 122

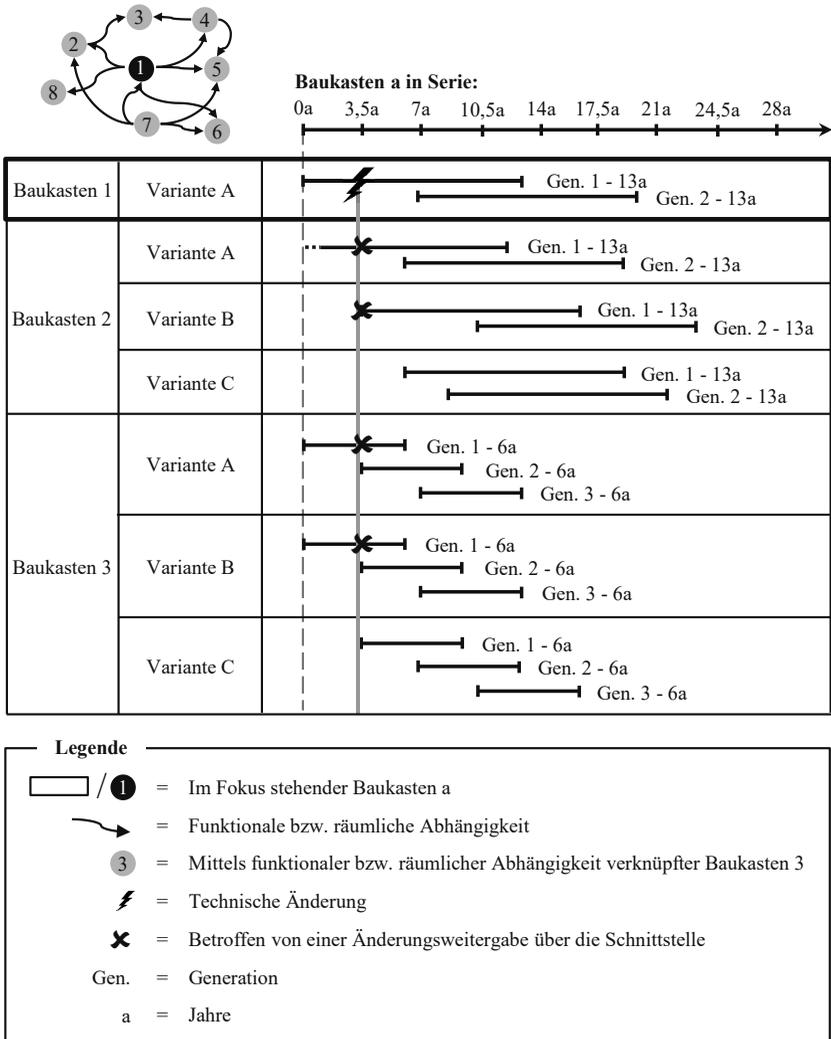


Abbildung 1-1: Beispieldarstellung des Sachverhaltes der Verblockung

Weiterhin ist es aufgrund der Verblockungen ebenso möglich, dass keine oder zeitlich verzögerte Änderungen, zum Beispiel erst zur nächsten Baukasten- bzw. Produktgeneration, durchführbar sind. Ursachen hierfür sind zum einen fehlende Möglichkeiten hinsichtlich einer Umsetzung dieser technischen Änderungen bei verblockten Baukästen, da beispielsweise die benötigten Bauräume für die technischen Änderungen nicht mehr vorhanden sind. Zum anderen besteht die Möglichkeit, dass aufgrund der Verblockungen der Aufwand den Nutzen deutlich überwiegt und aus diesem Grund eine technische Änderung betriebswirtschaftlich nicht vertretbar ist. Angesichts dieser Auswirkungen der Verblockung erhöht

sich die Reaktionszeit auf Risiken<sup>19</sup>. Die daraus entstehende mangelnde Kundenorientierung resultiert in Stückzahlverlusten an den Wettbewerb.<sup>20</sup> Dabei wird die tatsächlich benötigte Reaktionszeit immer kürzer und das Ergebnis ist, dass Unternehmen mit dem Problem von Reaktionszeitlücken konfrontiert sind, wenngleich Innovationen und schnelles Reagieren auf Risiken entscheidend für den wirtschaftlichen Erfolg und das Überleben eines Unternehmens sind.<sup>21</sup>

Um als Unternehmen die erhöhte Komplexität bei der Gestaltung von verblockungskritischen Baukästen beherrschen und langfristig erfolgreich bleiben zu können, sind neue Ansätze für die Gestaltung des Gesamtsystems Fahrzeug erforderlich. Die gegenwärtigen Prozesse sind derzeit weitgehend statisch und integrieren die Risiken eines hochdynamischen Umfelds nicht ausreichend. So beschäftigen sich existierende Ansätze in der Literatur vorwiegend mit dem Endprodukt oder befassen sich in diesem Kontext vorwiegend mit der Fragestellung, welche Komponenten optimal als Baukästen unter bestimmten Gegebenheiten verwendet werden können. Ein Ansatz, der die Risiken von verblockungskritischen Baukästen in Symbiose mit der Weiterentwicklung der Lösungsräume im Gesamtsystem Fahrzeug berücksichtigt, existiert bis heute nicht. An dieser Stelle setzt die vorliegende Arbeit an.

## 1.2 Zielsetzung der Arbeit

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Herausforderungen liegt die Zielsetzung der Arbeit in einer resilienten Baukastengestaltung, um Risiken von verblockungskritischen Baukästen aktiv gestalten oder schnell darauf reagieren zu können. Als Resilienz wird die Fähigkeit von Systemen bezeichnet, die Veränderungen eines dynamischen Umfeldes durch Anpassung oder Widerstandsfähigkeit zu bewältigen.<sup>22</sup> Durch eine resiliente Baukastengestaltung soll es möglich werden, dem Endkunden zusätzliche Funktionen über die Vergabedauer dieser Baukästen anzubieten sowie technische Änderungen und dadurch Abbruch- und Änderungskosten zu vermeiden bzw. zu minimieren.

Um diese Zielsetzung zu erreichen, sollen im Rahmen der Arbeit Aspekte des Risikomanagements zur systematischen Identifikation, Analyse und Bewertung von Risiken adaptiert sowie Risikobehandlungsstrategien für die Behandlung von Risiken für verblockungskritische Baukästen entwickelt werden. Auf Grundlage der erarbeiteten Risikobehandlungsstrategien für die Risikobehandlung soll eine unternehmerische Entscheidung über die am besten geeignete Risikobehandlungsstrategie getroffen werden können. Zur Sicherstellung der Finanzierbarkeit einer möglichen Berücksichtigung von Risiken und vor dem Hintergrund der Ausführungen in Kapitel 1.1 liegt der Fokus auf verblockungskritischen Baukästen. Das sind architekturrelevante Baukästen, die sich in einem hochdynamischen Umfeld befinden. In Verbindung mit Prozessen aus der Baukastenentwicklung soll auf Basis der vorliegenden Informationen

---

<sup>19</sup> Rahmenbedingungen sind Bedingungen, die von außerhalb des betrachteten Systems oder Vorgangs vorgegeben werden. Vgl. Waas (2012), *Dynamic Capabilities, die Ressourcenbasis und die Veränderung in Unternehmen*, S. 13

<sup>20</sup> Vgl. Ferrarese et al. (2014), *Time-to-need*, S. 816

<sup>21</sup> Vgl. Kampker et al. (2020), *Elektromobilität*, S. 666; Shiu et al. (2017), *Innovation Management for Products and Processes in the Automobile Industry*, S. 192; Fricke et al. (2005), *Design for changeability (DfC): Principles to enable changes in systems throughout their entire lifecycle*, S. 343 f.; Bleicher (2011), *Das Konzept Integriertes Management*, S. 56 ff.; Burggräf et al. (2019), *Data on the current state of modular systems in a highly dynamic environment*, S. 8 f.; Burggräf et al. (2020), *Knowledge-based problem solving in physical product development*, S. 1

<sup>22</sup> Vgl. Heinicke (2017), *Resilienzorientierte Beurteilung von Produktionsstrukturen*, S. 7

ein modellbasierter Ansatz für eine resiliente Baukastengestaltung entwickelt werden. Der Fokus liegt auf der Anwendung in der Automobilindustrie.

Die Zielsetzung der Arbeit lässt sich insofern wie folgt formulieren:

Zielsetzung dieser Arbeit ist die Entwicklung eines modellbasierten Ansatzes zur systematischen Identifikation, Analyse, Bewertung und Behandlung von Risiken für verblockungskritische Baukästen. Dies ermöglicht die Darstellung von kundenwerten Funktionen sowie eine schnelle Reaktion auf eingetretene Risiken über den Lebenszyklus dieser Baukästen und darüber hinaus eine Minimierung von Änderungs- und Abbruchkosten.

Mit der Zielsetzung dieser Arbeit gehen die folgenden Teilziele einher:

- Erarbeitung eines Kennzahlensystems zur systematischen Bestimmung von verblockungskritischen Baukästen
- Identifikation, Analyse und Bewertung von Risiken für verblockungskritische Baukästen
- Behandlung von Risiken für verblockungskritische Baukästen anhand definierter Risikobehandlungsstrategien einschließlich einer monetären Auswertung dieser Risikobehandlungsstrategien zur Festlegung einer pro Risiko zu verfolgenden Risikobehandlungsstrategie

Zur Eingrenzung des Betrachtungsbereichs auf Basis des theoretischen Problems der Praxis und zur Ausrichtung des Forschungsprozesses empfiehlt KUBICEK die Formulierung grundlegender Forschungsfragen.<sup>23</sup> Auf Basis der dargestellten Zielsetzung lässt sich die grundlegende und handlungsleitende Forschungsfrage wie folgt formulieren:

*„Wie lassen sich verblockungskritische Baukästen durch Risikomanagement so gestalten, dass diese aus betriebswirtschaftlicher Sicht als resilient bezeichnet werden können?“*

Des Weiteren empfiehlt KUBICEK die Erstellung eines heuristischen Bezugsrahmens als Leitfaden der Forschungskonzeption. Dieser hat als Ziel den Ausdruck einer bestimmten theoretischen Perspektive oder Problemdefinition, die an dieser Stelle nicht in geschlossener und konsistenter Weise ausgearbeitet wird, sondern durch gezielte Fragen selbst problematisiert wird.<sup>24</sup> Diese Thematik wird im folgenden Kapitel weiter detailliert.

### 1.3 Konzeption des Forschungsprozesses

Die vorliegende Arbeit lässt sich entsprechend der Wissenschaftssystematik nach ULRICH UND HILL in den Bereich der Ingenieurwissenschaften ein- und somit den Realwissenschaften zuordnen. Die Realwissenschaften unterteilen sich in die reinen Grundlagenwissenschaften und die angewandten Handlungswissenschaften, wobei die Ingenieurwissenschaft den Brückenschlag zwischen beiden Disziplinen bildet (vgl. Abbildung 1-2). Das Ziel der Realwissenschaften orientiert sich dabei an der empirischen

---

<sup>23</sup> Vgl. Kubicek (1977), Heuristische Bezugsrahmen und heuristisch angelegte Forschungsdesign als Elemente einer Konstruktionsstrategie empirischer Forschung, S. 25

<sup>24</sup> Vgl. Kubicek (1977), Heuristische Bezugsrahmen und heuristisch angelegte Forschungsdesign als Elemente einer Konstruktionsstrategie empirischer Forschung, S. 18

Beschreibung, Gestaltung und Explikation der mit den Sinnen wahrnehmbaren Ausschnitten der Wirklichkeit.<sup>25</sup>

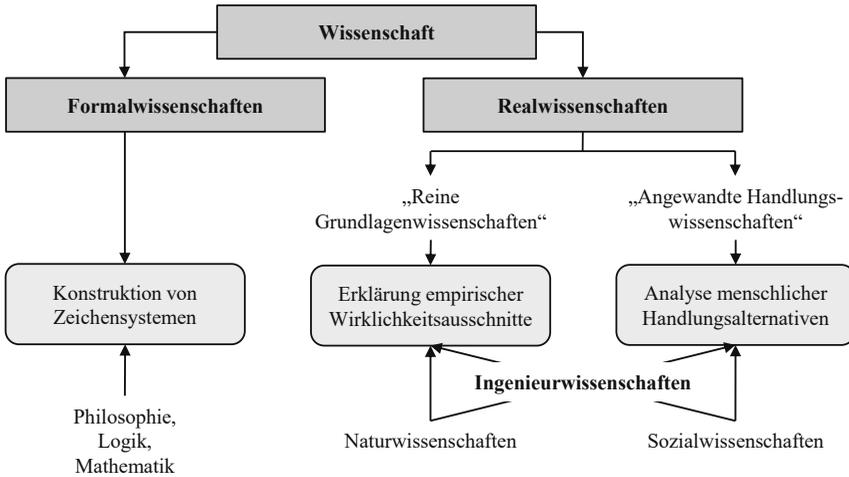


Abbildung 1-2: Einordnung der Wissenschaftssystematik<sup>26</sup>

Wie in den vorhergegangenen Kapiteln beschrieben, besitzen die Problemstellung und die Zielsetzung der Arbeit einen direkten Praxiszusammenhang. Damit verfolgt die Arbeit, aufgrund der Ausrichtung auf spezifische und praktische Ziele, eindeutig einen entscheidungsorientierten Ansatz und ist in den Bereich der angewandten Handlungswissenschaften einzuordnen.<sup>27</sup> Mit der Orientierung an der Lehre der wissenschaftlichen Methoden der empirischen Sozialforschung steht hier weniger der Zuwachs an Erkenntnissen, sondern der Gewinn an Verständnis als Maßstab für einen wissenschaftlichen Fortschritt im Fokus. Das Ziel ist somit die Beherrschung der Realität. Der Fortschritt beruht einerseits vor allem auf der Gewinnung kontraintuitiver Erkenntnisse. Andererseits können unbeabsichtigte Wirkungen geplanter Handlungen analysiert und Perspektiven mit dem Ziel der Erkennung von Gemeinsamkeiten aufgezeigt werden, die zuvor als kategorisch verschiedenartige Phänomene angesehen wurden.<sup>28</sup> Zur Realisierung des wissenschaftlichen Fortschrittes werden die theoretisch geleiteten Fragen an die Realität zum Mittel der Wahl erklärt und der Prozess durch systematisch erarbeitetes Erfahrungswissen begleitet.<sup>29</sup> Die im Kapitel 1.2 definierte Forschungsfrage bildet ein Abbild des Vorverständnisses des Forschers und soll auf Basis des forschungsmethodischen Vorgehens durch weitere Fragen an die Realität angereichert werden. Das hierbei gewonnene Wissen soll zu weiteren, das Verständnis erweiternden

<sup>25</sup> Vgl. Ulrich et al. (1976), Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre (Teil I), S. 305

<sup>26</sup> In Anlehnung an Ulrich et al. (1976), Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre (Teil I), S. 305

<sup>27</sup> Vgl. Schanz (2009), Wissenschaftsprogramme der Betriebswirtschaftslehre, S. 111 ff.

<sup>28</sup> Vgl. Kubicck (1977), Heuristische Bezugsrahmen und heuristisch angelegte Forschungsdesign als Elemente einer Konstruktionsstrategie empirischer Forschung, S. 7

<sup>29</sup> Vgl. Kubicck (1977), Heuristische Bezugsrahmen und heuristisch angelegte Forschungsdesign als Elemente einer Konstruktionsstrategie empirischer Forschung, S. 12