

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung .....</b>	<b>v</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>vii</b>
<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>i</b>
<b>Abkürzungen.....</b>	<b>v</b>
<b>Tabellen .....</b>	<b>vii</b>
<b>Abbildungen.....</b>	<b>viii</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation und Problemstellung .....	1
1.2 Zielsetzung .....	4
1.3 Vorgehensweise und Forschungsdesign.....	6
<b>2 Rahmenbedingungen.....</b>	<b>10</b>
2.1 Stand der Forschung.....	11
2.1.1 Produktlebenszyklus.....	11
2.1.2 Digital Model .....	15
2.1.3 Prototypen .....	24
2.1.4 Digital Twin .....	29
2.2 Stand Volkswagen Nutzfahrzeuge (Versuchsumgebung) .....	33
2.2.1 Produktlebenszyklus.....	35
2.2.2 Digital Model .....	37
2.2.3 Prototypen .....	40
2.3 Zusammenfassung und Erkenntnisinteresse .....	42
<b>3 Synthese .....</b>	<b>44</b>
3.1 Randbedingungen .....	45
3.2 Entwicklung eines Framework.....	47
3.2.1 Entwicklungs eines Framework auf Ebene des Produktlebenszyklus.....	48
3.2.2 Entwicklungs eines Framework auf Ebene des Digital Model.....	48
3.2.3 Entwicklungs eines Framework auf Ebene der Prototypen.....	49

3.2.4 Zusammenfügen der Ebenen zu einem Framework .....	49
3.3 Anforderungsanalyse .....	52
3.3.1 Anforderung 1: Prototypen mit Komponenten fremder Produktfamilien..	55
3.3.2 Anforderung 2: Erweiterung einer Integrationsstufe um neue Varianten	57
3.3.3 Anforderung 3: Wahlweise Übernahme neuer Mechanikkomponenten des Digital Model in die Prototypen .....	59
3.3.4 Anforderung 4: Wahlweise Übernahme neuer Elektrik/Elektronik-Hardwarekomponenten des Digital Model in die Prototypen.....	63
3.3.5 Anforderung 5: Wahlweise Übernahme neuer Elektrik/Elektronik-Softwarekomponenten des Digital Model in die Prototypen .....	66
3.3.6 Anforderung 6: Wahlweise Übernahme neuer Zieldatencontainern im Digital Model in die Prototypen .....	68
3.3.7 Anforderung 7: Wahlweise Übernahme des Variantenmanagements aus dem Digital Model in die Prototypen .....	70
3.4 Datensammlung Instanziierungsmethode .....	72
3.4.1 Instanziierungsmethode 1: Produktstruktur des Digital Model als Basis .	74
3.4.2 Instanziierungsmethode 2: Produktstruktur-Freeze zu Beginn einer Integrationsstufe .....	76
3.4.3 Instanziierungsmethode 3: Produktstruktur-Freeze am Ende einer Integrationsstufe .....	78
3.4.4 Instanziierungsmethode 4: Sukzessiver Aufbau der Produktstruktur.....	80
3.5 Datenanalyse der Instanziierungsmethoden in Versuchsumgebung.....	82
3.5.1 Datenanalyse der Instanziierungsmethode 1: Produktstruktur des Digital Model als Basis .....	83
3.5.2 Datenanalyse der Instanziierungsmethode 2: Produktstruktur-Freeze zu Beginn einer Integrationsstufe .....	85
3.5.3 Datenanalyse der Instanziierungsmethode 3: Produktstruktur-Freeze am Ende einer Integrationsstufe .....	87
3.5.4 Datenanalyse der Instanziierungsmethode 4: Sukzessiver Aufbau der Produktstruktur.....	88
3.5.5 Zusammenfassung und Dateninterpretation.....	90
3.6 Entwicklung einer Instanziierungsmethode .....	91
3.6.1 Entwicklung einer Instanziierungsmethode auf Ebene des Produktlebenszyklus .....	93
3.6.2 Entwicklung einer Instanziierungsmethode auf Ebene des Digital Model	98
3.6.3 Entwicklung einer Instanziierungsmethode auf Ebene der Prototypen. .	100
3.6.4 Zusammenfassung .....	101

3.7 Validierung der Instanziierungsmethode anhand der Anforderungen .....	105
3.7.1 Validierung Anforderung 1: Prototypen mit Komponenten fremder Produktfamilien .....	105
3.7.2 Validierung Anforderung 7: Wahlweise Übernahme des Variantenmanagements im Digital Model in die Prototypen.....	106
3.7.3 Zusammenfassung .....	108
3.8 Optimierung der Instanziierungsmethode auf Basis der Validierung .....	109
3.8.1 Optimierung 1: Komponenten fremder Produktfamilien .....	109
3.8.2 Optimierung 2: Übernahme von Änderungen im Variantenmanagement	113
3.8.3 Optimierung 3: Keine Übernahme von Änderungen im Variantenmanagement.....	114
3.9 Abschließende Validierung der optimierten Instanziierungsmethode .....	117
<b>4 Abstraktion der Synthese.....</b>	<b>119</b>
4.1 Propositio major: Bei Volkswagen Nutzfahrzeuge kann mithilfe des in dieser Arbeit hergeleiteten Ansatzes ein Digital Twin in der As Designed-Phase dynamisch instanziert werden .....	119
4.2 Propositio minor: Volkswagen Nutzfahrzeuge ist repräsentativ für die Grundgesamtheit der Automobilindustrie .....	120
4.2.1 Analyse der ursächlichen Merkmale und Ausprägungen des Forschungsbedarfs .....	120
4.2.2 Überprüfung der Verteilung der Merkmalsausprägungen in der Automobilindustrie .....	122
4.3 Conclusio: In der Automobilindustrie kann mithilfe dem in dieser Arbeit hergeleiteter Ansatz ein Digital Twin in der As Designed-Phase dynamisch instanziert werden .....	127
<b>5 Kritische Würdigung .....</b>	<b>129</b>
5.1 Kritische Würdigung der Modifikation der <i>Spiral of Applied Research</i> .....	129
5.2 Kritische Würdigung des induktiven Forschungsansatzes dieser Arbeit ..	133
5.3 Zusammenfassung.....	135
<b>6 Fazit und Ausblick.....</b>	<b>136</b>
6.1 Fazit .....	136
6.1.1 Fazit zur ersten Zielsetzung: Relevanz und Erkenntnisinteresse zur Instanziierung von Digital Twins in der As-Designed-Phase .....	137
6.1.2 Fazit zur zweiten Zielsetzung.....	141
6.1.3 Fazit zur dritten Zielsetzung.....	145

<b>6.2 Ausblick.....</b>	<b>149</b>
6.2.1 Ausblick Instanziierung: Hardwaregetriebene Prozesse.....	150
6.2.2 Ausblick Anwendung: Anwendungsfallbezogene Daten .....	151
6.2.3 Ausblick Feedback: Rekonfiguration.....	152
6.2.4 Ausblick In-The-Loop: Integration MBSE.....	153
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>155</b>
<b>Betreute Abschlussarbeiten .....</b>	<b>162</b>
<b>Lebenslauf.....</b>	<b>163</b>