

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	IX
Abkürzungsverzeichnis.....	XI
1 Motivation zur Forschung.....	1
1.1 Hintergrund	1
1.2 Zielsetzung	2
2 Angewandte Forschungsmethodik im Rahmen der Arbeit.....	5
2.1 DRM – Design Research Methodology	5
2.2 Anwendung von DRM zur Erreichung des Forschungsziels	8
3 Komplexitätsbeherrschung als Herausforderung.....	11
3.1 Komplexitätssteigerung im Automobil	12
3.1.1 Verständnis von Komplexität.....	12
3.1.2 Technologie und gesetzesbedingte Komplexitätssteigerung im Automobil	15
3.2 Prozessbezogene Standards und Regularien für Fahrzeugneuzulassungen	18
3.2.1 ISO/IEC/IEEE 15288:2015 – System- und Software-Engineering – Systemlebenszyklus	18
3.2.2 ISO 15504 – Automotive SPICE	20
3.3 Systems Engineering zur Komplexitätsbeherrschung.....	24
3.3.1 Begriffserklärung Systems Engineering	24
3.3.2 Voraussetzungen für die Nutzung von Systems Engineering	28
3.4 Heutige Produktentwicklungen in der Automobilbranche.....	29
3.4.1 Produktentstehungsprozesse in der Automobilentwicklung	29
3.4.2 Methoden und Tools in der Automobilentwicklung	32
3.5 Zusammenfassung und Problemanalyse	33
4 Ansätze zur Einführung von Systems Engineering.....	41
4.1 Produktentwicklungsmethoden und Vorgehensmodelle.....	42

4.1.1	VDI 2221 – Entwicklung technischer Produkte und Systeme.....	42
4.1.2	VDI 2206 – Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer Systeme (CPMS).....	45
4.1.3	iPeM – Integriertes Produktentstehungsmodell	47
4.1.4	MVM – Münchner Vorgehensmodell.....	50
4.1.5	CONSENS – CONceptual design Specification technique for the ENgineering of complex Systems.....	52
4.1.6	Rahmenwerk zur Integration des modellbasierten Systems Engineering in der Produktentstehung mechatronischer Systeme	54
4.1.7	FORFLOW – Flexible Prozessunterstützung in der Produktentwicklung	56
4.2	Sprachen für die Prozessbeschreibung.....	59
4.2.1	UML – Unified Modeling Language	60
4.2.2	NPT – Netzplantechnik	62
4.2.3	EPK – Ereignisgesteuerte Prozesskette.....	64
4.2.4	BPMN – Business Process Model and Notation.....	66
4.3	Zusammenfassung und Handlungsbedarf	68
5	Präliminarien.....	73
5.1	Verwendete BPMN Sprachelemente	73
5.2	Ansätze zur Erweiterung des BPMN Standards	77
5.3	Methodik zur automatisierten Prozessverifikation nach HERBERT.....	80
5.3.1	Probabilistic Model Checking.....	80
5.3.2	Markov-Entscheidungsprozesse.....	82
5.3.3	PRCTL – Probabilistic Reward Computation Tree Logic	84
6	Design Rahmenwerk.....	87
6.1	Prozess – Referenz – Modell	88
6.1.1	Phase 1 – Setzen der Pyramide	88
6.1.2	Phase 2 – Neutralisierung der Sprache	90
6.2	Prozess – Tailoring zum ereignisgesteuerten Ansatz (eBPMN).....	91
6.2.1	Phase 3 – Logische Abhängigkeiten	91
6.2.2	Phase 4 – Meilensteindurchgängigkeit	93
6.3	Ausführbare Systems Engineering Prozesse.....	96

6.3.1	Phase 5 – Stochastisches Design mit erweitertem ereignisgesteuerten Ansatz (eBPMN+).....	97
6.3.2	Phase 6 – Konformität mit Systems Engineering (KoSE)	98
6.4	Automatisierte Prozessverifikation und -validation.....	102
6.4.1	Phase 7 – Algorithmen zur automatisieren Prozess-V&V	103
6.4.2	Phase 8 – Rollenbasierte Prozess- V&V	113
7	Der verifizierbare Produktentstehungsprozess.....	117
7.1	Anwendung des Rahmenwerks an einen automobilen Anwendungsfall	117
7.1.1	Methodisches Vorgehen – Phase 1 bis 5	119
7.1.2	Prototypenanfertigung KoSE-Matrix – Phase 6.....	121
7.1.3	Prototypenanfertigung SMC4PEP – Phase 7	123
7.1.4	Prototypenanfertigung COMBOT – Phase 8	129
7.2	Anforderungserfüllung durch das Design Rahmenwerk.....	132
7.3	Kritische Betrachtung.....	134
8	Schlussbetrachtung	137
8.1	Zusammenfassung.....	137
8.2	Ausblick	138
	Literaturverzeichnis.....	141
	Lebenslauf.....	155