

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis von Abkürzungen und Nomenklatur.....	ix
1 Einleitung	1
1.1 Zielstellung und Anspruch	3
1.2 Strukturierung.....	4
2 Validierung von Produktentwürfen mechatronischer Systeme.....	6
2.1 Grundlagen multiphysikalischer Simulation und Modelle	7
2.1.1 Bedeutung der Simulation für die Validierung von Produktentwürfen	7
2.1.2 UML-Darstellung objektorientierter Architekturen	9
2.1.3 Modelica-Werkzeuge	10
2.1.4 FMI-Standard.....	12
2.2 Motivation für Simulationskonfiguratoren	15
2.2.1 Steigende Produktkomplexität	15
2.2.2 Entwicklungsprozess fortgeschrittener mechatronischer Systeme	16
2.2.3 Notwendige Merkmale von Simulationskonfiguratoren	20
2.2.4 Übersicht bestehender Ansätze zur methodischen Integration von Simulation in die Entwicklungsumgebung..	26
2.3 Flexibel konfigurierbare und adaptive Simulationsmodelle	29
2.3.1 Objektorientierte Simulationsmodelle als Wegbereiter zur virtuellen Entwurfsvalidierung	29
2.3.2 Flexible objektorientierte Modelle	30
2.3.3 Kopplung von Modellen.....	34
2.3.4 Multiphysikalische Modelle als Umgebung für Hardware-in-the-Loop-Tests	37

2.3.5	Dynamische Vernetzung von Modellen	39
2.3.6	Modellierungsmethodik	42
2.4	Fazit	44
3	Längsdynamik- und Energieuntersuchung von Triebzügen	46
3.1	Stand der Forschung	47
3.1.1	Dynamiksimulation	48
3.1.2	Energetische Betriebsoptimierung	52
3.2	Anregung der Längsdynamik von Triebzügen	53
3.2.1	Zusammenhang zwischen Kraft und Bewegung	54
3.2.2	Fahrwiderstände	56
3.2.3	Grundlagen des Antriebs	57
3.2.4	Grundlagen des Bremssystems	58
3.2.5	Leittechnik	60
3.3	Längsschwingungen in Triebzügen	61
3.3.1	Schwingfähige Bauteile in Zügen	61
3.3.2	Herleitung der Bewegungsgleichungen	64
3.4	Fazit	72
4	Konzeption eines Metamodells für Simulationskonfiguratoren	74
4.1	Erzeugnisgliederung für Simulationsmodelle fortgeschrittener mechatronischer Systeme	75
4.1.1	Metamodell eines Basismodells	75
4.1.2	Anwendungsbeispiel: Basismodell für Triebzüge	79
4.2	Effiziente Konfigurierung von Varianten	80
4.2.1	Metamodell für die effiziente Konfigurierung von Varianten	80
4.2.2	Anwendungsbeispiel: Konfiguration unterschiedlicher Zugtypen	82

4.3	Variable Modellkomplexität	85
4.3.1	Metamodell für variable Modellkomplexität	85
4.3.2	Anwendungsbeispiel: variable Waggonanzahlen im Zugmodell.....	86
4.4	Schnittstellenintegration zur Modellkopplung.....	88
4.4.1	Metamodell für Schnittstellen zur Modellkopplung.....	90
4.4.2	Anwendungsbeispiel: Auftrennung des Waggonmodells in Steuerung und umgebende multiphysikalische Modelle ..	92
4.5	Anbindung von Modulen über ein Feldbusmodell	93
4.5.1	Metamodell für das Feldbusmodell.....	93
4.5.2	Anwendungsbeispiel: Integration eines TCN-Modells	96
4.6	Prozess der Strukturierung multiphysikalischer Simulationskonfiguratoren.....	98
4.7	Fazit.....	102
5	Evaluierung des Metamodells anhand eines Simulationskonfigurators für Triebzüge	105
5.1	Fähigkeit zur Darstellung physikalischer Effekte	105
5.1.1	Methodik und Anforderungen	106
5.1.2	Bewertung des Schwingverhaltens	109
5.2	Potentiale aufgrund der Konfigurationsmöglichkeiten.....	122
5.2.1	Gesteigerte Komplexität bei der Untersuchung des Schwingverhaltens	123
5.2.2	Simulation des Steuerungsverhaltens	128
5.2.3	Konfiguration von HiL-Anwendungen	137
5.3	Fazit.....	143
6	Zusammenfassung und Ausblick.....	147
7	Summary and outlook.....	151
	Literaturverzeichnis.....	155