

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	III
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	V
KAPITEL 1: EINLEITUNG	1
1.1 ZIELSETZUNG.....	5
1.2 AUFBAU DER ARBEIT.....	6
KAPITEL 2: MECHATRONISCHE SYSTEME	9
2.1 MECHATRONIK.....	9
2.2 ENTWICKLUNGSPROZESS.....	12
2.3 ZUSAMMENFASSUNG.....	24
KAPITEL 3: STAND DER TECHNIK	27
3.1 VDI-RICHTLINIE 2222.....	27
3.2 FUNKTIONS- UND WIRKSTRUKTURMODELLIERUNG (PAHL/BEITZ).....	30
3.3 MODELLIERUNG DER PRINZIPLÖSUNG (KALLMEYER).....	31
3.4 KONZIPIERUNG MECHATRONISCHER PRODUKTE (FLATH).....	34
3.5 PROJEKT „iViP“.....	35
3.6 FUNKTIONSSTRUKTURENTWICKLUNG INNOVATIVER PRODUKTE (LANGLOTZ).....	36
3.7 SEMANTISCHE FUNKTIONSMODELLIERUNG (PURI).....	36
3.8 FUNKTIONS- UND WIRKSTRUKTURVERARBEITUNG BEIM KONZIPIEREN (KUTTIG).....	37
3.9 FUNKTIONSMODELLIERUNG ALS GRUNDLAGE ZUR GESTALTFINDUNG (HÜBER).....	38
3.10 FUNKTIONSMODELLIERUNG UND LÖSUNGSFINDUNG MECHATRONISCHER PRODUKTE (HUANG).....	39
3.11 MODELLIERUNG MIT DER SYSML.....	40
3.12 SCHEMEBUILDER.....	42
3.13 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND HANDLUNGSBEDARF.....	42
KAPITEL 4: BEISPIELHAFT DARSTELLUNG DES ENTWICKELTEN ANSATZES	45
4.1 ALLGEMEINE ANNAHMEN.....	45
4.2 BEISPIEL: ABSTANDSKONTROLLE.....	46
4.3 ZUSAMMENFASSUNG.....	54
KAPITEL 5: FUNKTIONSMODELLIERUNG	57
5.1 ANFORDERUNGEN AN DIE FUNKTIONSBSCHREIBUNG.....	57
5.2 ABGRENZUNG VON FUNKTIONSHIERARCHIE UND FUNKTIONSSTRUKTUR.....	57
5.3 AUFBAU DER FUNKTIONSHIERARCHIE.....	59
5.4 FUNKTIONSBSCHREIBUNG.....	60
5.5 WAHL DER SUBSTANTIVE UND VERBEN.....	62
5.6 BEZIEHUNGEN INNERHALB DER SUBSTANTIVE UND INNERHALB DER VERBEN.....	64
5.7 HILFSFUNKTIONEN.....	66
5.8 STATUS EINER FUNKTION.....	67
5.9 KORREKTE FUNKTIONSBSCHREIBUNG.....	68
5.10 FORMALISIERUNG.....	68
5.11 ZUSAMMENFASSUNG.....	69
KAPITEL 6: SYSTEMSTRUKTUR	71
6.1 ANFORDERUNGEN AN DIE SYSTEMSTRUKTURMODELLIERUNG.....	71
6.2 SYSTEMSTRUKTUR.....	72
6.3 SYSTEMELEMENTE.....	72
6.4 FUNKTIONSERFÜLLUNG.....	74
6.5 ABHÄNGIGKEITEN.....	75
6.6 ATTRIBUTE.....	76
6.7 PORTS.....	79

6.8	VERBINDUNGEN.....	84
6.9	HIERARCHISCHE SYSTEMELEMENTE.....	86
6.10	ZUSAMMENFASSUNG	89
KAPITEL 7: SYSTEMELEMENTSUCHE		91
7.1	AUSGANGSSITUATION.....	91
7.2	ANFORDERUNGEN AN DIE SYSTEMELEMENTSUCHE	91
7.3	BIBLIOTHEK VON SYSTEMELEMENTEN	92
7.4	ALLGEMEINE BESCHREIBUNG DES SUCHALGORITHMUS	95
7.5	EINSATZ VON GRAPHTRANSFORMATIONSREGELN	97
7.6	FORMALE BESCHREIBUNG DES SUCHALGORITHMUS	101
7.7	ZUSAMMENFASSUNG	118
KAPITEL 8: KONSISTENZ DER MODELLE		119
8.1	ABHÄNGIGKEITEN ZWISCHEN FUNKTIONSHIERARCHIE UND SYSTEMSTRUKTUR.....	119
8.2	ANLEGEN VON FUNKTIONEN	124
8.3	LÖSCHEN VON FUNKTIONEN.....	127
8.4	VERSCHIEBEN VON FUNKTIONEN.....	131
8.5	ANLEGEN VON SYSTEMELEMENTEN	132
8.6	ZUWEISEN VON SYSTEMELEMENTEN ZU FUNKTIONEN	134
8.7	ERGÄNZEN VON HILFSFUNKTIONEN	136
8.8	LÖSCHEN VON ZUWEISUNGEN	139
8.9	VERSCHIEBEN VON ZUWEISUNGEN.....	142
8.10	VERSCHIEBEN VON HILFSFUNKTIONEN.....	144
8.11	LÖSCHEN VON SYSTEMELEMENTEN.....	145
8.12	LÖSCHEN VON HILFSFUNKTIONEN	147
8.13	STATUSVERGABE.....	147
8.14	BEURTEILUNG DER KONSISTENZSICHERUNG	151
8.15	ZUSAMMENFASSUNG	153
KAPITEL 9: WERKZEUGUNTERSTÜTZUNG		155
9.1	ENTWICKLUNGSUMGEBUNG ECLIPSE	155
9.2	FUNKTIONS-HIERARCHIE-EDITOR	156
9.3	SYSTEMSTRUKTUR-EDITOR	158
9.4	GEMEINSAMER EINSATZ DER EDITOREN.....	160
KAPITEL 10: ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....		163
10.1	ZUSAMMENFASSUNG	164
10.2	AUSBLICK.....	165
ANHANG: LAUFZEITBETRACHTUNG		167
LITERATURVERZEICHNIS.....		171

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Vorgehen bei der Modellierung der Systemstruktur	6
Abbildung 2:	Synergie aus dem Zusammenwirken verschiedener Disziplinen [Ise99].....	10
Abbildung 3:	Grundstruktur eines mechatronischen Systems (MFM).....	10
Abbildung 4:	Hierarchische Struktur mechatronischer Systeme (aus [VDI04]).....	11
Abbildung 5:	Mauerndenken nach Ehrlenspiel	12
Abbildung 6:	Entwicklung von Geräten mit Steuerung durch Mikroelektronik [VDI94] .	14
Abbildung 7:	Das V-Modell als Makrozyklus (aus [VDI04]).....	16
Abbildung 8:	Tätigkeiten beim Systementwurf (aus [VDI04]).....	17
Abbildung 9:	Das Shuttle des railcab-Projektes	19
Abbildung 10:	Partialmodelle zur Beschreibung der Prinziplösung s.o. Systeme	20
Abbildung 11:	Vorgehen beim Hardware/Software Codesign [Tei97, S. 21]	21
Abbildung 12:	Partitionierung nach Lippold [Lip00, S. 78]	23
Abbildung 13:	Möglichkeiten der Kostenbeeinflussung [Ehr95, S. 588]	25
Abbildung 14:	Schrittweise Abstraktion der Gesamtfunktion (aus [VDI97]).....	28
Abbildung 15:	Funktionszerlegung nach Pahl/Beitz [PB03, S. 43]	28
Abbildung 16:	Funktionsstruktur der Hauptfunktion Stoff speichern (aus [VDI 97]).....	29
Abbildung 17:	Allgemeine Funktionen und entsprechend zugeordnete Lösungen.....	29
Abbildung 18:	Funktionsstruktur nach Pahl/Beitz [PB03, S. 229]	30
Abbildung 19:	Funktionshierarchie der Gesamtfunktion „Bremsen (mit ABS)“	31
Abbildung 20:	Funktionsstruktur der Funktion "Bremsen (mit ABS)".....	32
Abbildung 21:	Systemelemente der Wirkstruktur	32
Abbildung 22:	Systemstruktur für das ABS-Bremssystem	33
Abbildung 23:	Prinziplösung nach Kallmeyer	34
Abbildung 24:	Zustände nach Flath	34
Abbildung 25:	Störzustände nach Flath [Fla01, S. 90/91]	35
Abbildung 26:	Taxonomie des Verbs "ändern" nach Puri [Pur03, S. 88]	37
Abbildung 27:	Feder/Dämpfer System, modelliert mit der SysML	41
Abbildung 28:	Abstandskontrolle.....	46
Abbildung 29:	Erste Funktionshierarchie.....	47
Abbildung 30:	Funktion "Bremskraft erzeugen".....	48
Abbildung 31:	In der Bibliothek abgelegtes Systemelement inkl. Realisierungsbeziehung	49
Abbildung 32:	Funktionshierarchie der Gesamtfunktion "Abstand kontrollieren".....	50
Abbildung 33:	Erfüllungsbeziehungen (Ausschnitt).....	52
Abbildung 34:	Beschreibung des Systemelements "Hydraulikzylinder".....	52
Abbildung 35:	Systemstruktur der Abstandskontrolle (Ausschnitt)	53
Abbildung 36:	Beispiel einer Funktionshierarchie.....	58
Abbildung 37:	Beispiel einer Funktionsstruktur	59
Abbildung 38:	Baumstruktur der Funktionshierarchie.....	60
Abbildung 39:	Funktionsaufbau	61
Abbildung 40:	Beispiel einer Funktion	62
Abbildung 41:	Beispiele für äquivalente Substantiv- bzw. Verbgruppen.....	65
Abbildung 42:	Konkrete Substantiv- und Verbgruppen.....	66
Abbildung 43:	Notation der Hilfsfunktionen	67
Abbildung 44:	Klassendiagramm zur Beschreibung der Funktionen.....	68
Abbildung 45:	Graphische Darstellung eines Systemelements.....	73
Abbildung 46:	Meta-Modell der Systemstruktur (Ausschnitt).....	73

Abbildung 47:	Klassendiagramm zur Beschreibung der Realisierungsmöglichkeiten	75
Abbildung 48:	Zuweisung von Attributen und Ausprägungen (Schematische Darstellung).....	78
Abbildung 49:	UML-Klassendiagramm zur Beschreibung von Attributen	78
Abbildung 50:	Eigenschaften eines Ports am Beispiel des Systemelements „Pumpe“.....	82
Abbildung 51:	Graphische Darstellung eines Systemelements mit Port.....	82
Abbildung 52:	UML-Klassendiagramm zur Beschreibung von Ports	83
Abbildung 53:	Beispiel einer Systemstruktur (Ausschnitt).....	85
Abbildung 54:	Graphische Darstellung eines Energieflusses	85
Abbildung 55:	Graphische Darstellung eines Stoffflusses	85
Abbildung 56:	Graphische Darstellung eines Informationsflusses	85
Abbildung 57:	UML-Klassendiagramm zur Modellierung von Verbindungen	86
Abbildung 58:	Hierarchisches Systemelement (Beispiel).....	88
Abbildung 59:	Hierarchisches Systemelement (offen).....	89
Abbildung 60:	Hierarchisches Systemelement (geschlossen).....	89
Abbildung 61:	Zuweisung von Funktionen zu einem Systemelement.....	93
Abbildung 62:	Zuweisung von Attributen zu einem Systemelement.....	94
Abbildung 63:	Datenmodell zur Formalisierung der Suche.....	94
Abbildung 64:	Ablauf der Systemelementsuche	97
Abbildung 65:	Beispiel für die Funktionsweise von Story-Pattern.....	99
Abbildung 66:	Story-Pattern Beispiel mit gebundenen Objekten	100
Abbildung 67:	Story-Diagramm Beispiel.....	101
Abbildung 68:	Story-Diagramm des Suchalgorithmus	103
Abbildung 69:	Konkretere Verben ermitteln.....	104
Abbildung 70:	Vorgehen bei der Methode checkChildren(SearchResult).....	105
Abbildung 71:	Input-Substantive berücksichtigen	106
Abbildung 72:	Ermittlung konkreter Gruppen	107
Abbildung 73:	Filtern der Lösungen	109
Abbildung 74:	Ausgangssituation (Objektdiagramm).....	111
Abbildung 75:	Funktionsbeschreibung.....	112
Abbildung 76:	Objektstruktur inkl. Funktion.....	112
Abbildung 77:	Verben	113
Abbildung 78:	Ermitteln möglicher Systemelemente	114
Abbildung 79:	Input-Substantive	115
Abbildung 80:	Entfernen unnötiger Links.....	116
Abbildung 81:	Ergebnis.....	117
Abbildung 82:	Statusvergabe innerhalb der Funktionshierarchie	123
Abbildung 83:	UML-Klassendiagramm für die Konsistenzkontrolle	123
Abbildung 84:	Erstellen der Gesamtfunktion.....	125
Abbildung 85:	Anwenden der Graphtransmutationsregel "addRootFunction"	126
Abbildung 86:	Anlegen einer Teilfunktion	127
Abbildung 87:	Anwenden der Graphtransmutationsregel "addChildFunction"	127
Abbildung 88:	Löschen einer Teilfunktion	129
Abbildung 89:	Anwenden der Graphtransmutationsregel "deleteChildFunction"	129
Abbildung 90:	Löschen der Gesamtfunktion	130
Abbildung 91:	Anwenden der Graphtransmutationsregel "deleteRootFunction".....	131
Abbildung 92:	Verschieben einer Funktion innerhalb der Funktionshierarchie.....	132
Abbildung 93:	Anwenden der Graphtransmutationsregel "moveFunction"	132
Abbildung 94:	Anlegen von Systemelementen	134
Abbildung 95:	Anwenden der Graphtransmutationsregel "addSystemelement"	134
Abbildung 96:	Zuweisen von Systemelementen zu Funktionen	136
Abbildung 97:	Anwenden der Graphtransmutationsregel "assignSystemelement"	136

Abbildung 98:	Integration von Teilfunktionen.....	137
Abbildung 99:	Hilfsfunktionen zur Funktionshierarchie hinzufügen	138
Abbildung 100:	Anwenden der Graphtransformationsregel "addHelpfunctions"	139
Abbildung 101:	Aufheben einer Zuweisung	141
Abbildung 102:	Anwenden der Graphtransformationsregel "unassignSystemelement" ..	142
Abbildung 103:	Zuweisungen verschieben	143
Abbildung 104:	Anwenden der Graphtransformationsregel "moveAssignment"	143
Abbildung 105:	Verschieben von Hilfsfunktionen.....	144
Abbildung 106:	Anwenden der Graphtransformationsregel "moveHelpfunctions".....	145
Abbildung 107:	Löschen eines Systemelements	146
Abbildung 108:	Anwenden der Graphtransformationsregel "deleteSystemelement"	147
Abbildung 109:	Löschen der Hilfsfunktionen	147
Abbildung 110:	Manuelle Statusvergabe	148
Abbildung 111:	automatische Statusvergabe	150
Abbildung 112:	Konsistenzsicherung mit Hilfe von Graphtransformationsregeln	152
Abbildung 113:	Mögliche Aufrufreihenfolgen der spezifizierten Methoden.....	153
Abbildung 114:	Entwicklungsumgebung Eclipse	156
Abbildung 115:	Funktions-Hierarchie Editor (FH-Editor).....	157
Abbildung 116:	Systemstruktur-Editor (SyS-Editor).....	159
Abbildung 117:	Werkzeugunterstützung bei der Suche nach Systemelementen	160