

Inhalt

| | | |
|----------|--|----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Motivation..... | 2 |
| 1.2 | Modellbildung, eine Entwurfstechnik für mechatronische Systeme | 6 |
| 2 | Modellvorstellungen und Stand der Technik | 9 |
| 2.1 | Modelle in der Mechatronik | 10 |
| 2.1.1 | Topologische Modelle | 11 |
| 2.1.2 | Mathematische Modelle | 12 |
| 2.1.3 | Modellbildungswerkzeuge zum Entwurf mechatronischer Systeme | 12 |
| | A. Kombination von Werkzeugen | 13 |
| | A.1 Werkzeuge der Einzeldomänen | 13 |
| | A.2 Modellintegration..... | 16 |
| | B. Multidomänenansätze | 18 |
| | C. Zusammenfassung | 19 |
| 2.2 | Modellvorstellungen der Konstruktionssystematik | 20 |
| 2.2.1 | Nutzung struktureller Zusammenhänge im Entwurfsprozeß..... | 21 |
| 2.2.2 | Vorschlag einer erweiterten Wirkstruktur | 22 |
| 2.2.3 | Nutzung topologischer fachspezifischer Modelle als Entwurfsbasis | 23 |
| 2.3 | Modell der Objektorientierung | 23 |
| 2.3.1 | Objektmodell | 24 |
| | A. Abstraktion | 24 |
| | B. Kapselung | 25 |
| | C. Modularität | 25 |
| | D. Hierarchie | 25 |
| 2.3.2 | Objektorientierte Programmierung..... | 27 |
| | A. Objektorientierte Programmiersprachen..... | 27 |
| | B. Objekte..... | 28 |
| | C. Klassen..... | 28 |
| | D. Metaklassen | 28 |
| | E. Beziehungen zwischen Klassen und Objekten | 29 |
| | F. Verhalten und das Versenden von Botschaften..... | 29 |
| 2.3.3 | Objektorientierte Softwareentwurfsmethodiken | 30 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3 | Objektmodell des Mechatronikdesigns (OMD) | 35 |
| 3.1 | Domänenmodell der Mechatronikmodellbildung | 37 |
| 3.2 | Organisationsprinzipien objektorientierter Mechatronikmodelle | 41 |
| 3.2.1 | Koordinierte 3-Ebenen-Modellbildung | 41 |
| 3.2.2 | Modular-hierarchische Modellbildung mechatronischer Systeme | 43 |
| 3.2.3 | Objektorientierte Modellbildung mechatronischer Systeme | 47 |
| | A. Objective-DSS-Metaklassen | 47 |
| | B. Objective-DSS-Klassen | 50 |
| | C. Kommunikation von Objekten mit Hilfe von Botschaften | 51 |
| | D. Sharing von Bauelementklassen in Objective-DSS | 52 |
| 3.3 | Graphenbasierte Repräsentation, Analyse und Transformation mechatronischer Systeme | 54 |
| 3.4 | Workflowmodell für den Entwurf mechatronischer Systeme | 57 |
| 3.4.1 | Schnittstellenobjekte der Workflowprozesse | 59 |
| 3.4.2 | Modelle | 60 |
| | A. Anforderungsmodelle | 60 |
| | B. Analysemodelle | 61 |
| | C. Modular-hierarchische topologieorientierte Systemmodelle | 61 |
| 3.4.3 | Workflowprozesse und ihre Modelle | 63 |
| | A. Querverbindungen zur objektorientierten Modellbildung mechatr. Systeme | 64 |
| | B. Graphische Notation der Workflowprozeßmodelle | 65 |
| | C. Entwicklungsprozeß | 65 |
| | D. Entwurfsprozeß | 67 |
| | E. Modellbildungsprozeß | 67 |
| 4 | Mehrkörpersysteme und -formalismen | 71 |
| 4.1 | Mehrkörpersysteme | 72 |
| 4.1.1 | Topologie von Mehrkörpersystemen | 74 |
| 4.1.2 | Kinematische Bindungen in Mehrkörpersystemen | 76 |
| 4.2 | Mehrkörpersystemformalismen | 76 |
| 4.2.1 | Verwendete MKS-Formalismen und ihre Vor- und Nachteile | 78 |
| 4.3 | Formalismus der dynamischen Bindungen | 83 |
| 4.3.1 | Allgemeines | 83 |
| 4.3.2 | Mathematische Beschreibung der Mehrkörpersystembauelemente | 87 |
| | A. Starre Körper | 87 |
| | B. Umgebungsmodelle | 90 |
| | C. Bindungen | 91 |
| | D. Bindungs-/Bauteil-Konnektoren | 93 |
| | E. Mechanische Aktoren | 94 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5 | Domänenbasierte Modellbildung mit Objective-DSS..... | 95 |
| 5.1 | Grundaufbau von Objective-DSS-Beschreibungselementen..... | 96 |
| 5.1.1 | Modellklassen in Objective-DSS | 98 |
| | A. Klassendefinition | 100 |
| | B. Schnittstellendefinition..... | 101 |
| | C. Implementierung..... | 103 |
| | D. Verhalten | 103 |
| | E. Beispiel: Objektorientierte Modellbildung von Eingrößenreglern..... | 104 |
| 5.1.2 | Parametrisierungen (<i>ParametrizationOdss</i>)..... | 107 |
| 5.1.3 | Mathematische Objekte und Gleichungen | 109 |
| 5.2 | Bauelementklassen regelungstechnischer, gleichungsorientierter Systeme | 113 |
| 5.2.1 | Nichtlineare Zustandsraumbeschreibung (<i>StateSpaceOdss</i>)..... | 113 |
| 5.2.2 | Lineare Zustandsraumbeschreibung (<i>LinearStateSpaceOdss</i>)..... | 116 |
| 5.2.3 | Kennlinien und -felder (<i>Table2dOdss</i> und <i>Table3dOdss</i>) | 118 |
| 5.3 | Bauelementklassen der Mehrkörperdynamik | 119 |
| 5.3.1 | Starre Körper (<i>RigidBodyMbs</i>)..... | 121 |
| 5.3.2 | Umgebungsmodelle (<i>EnvironmentMbs</i>)..... | 125 |
| 5.3.3 | Gelenke (<i>JointMbs</i> und <i>JointSpringDamperMbs</i>)..... | 129 |
| | A. Gelenke der Klasse <i>JointMbs</i> | 130 |
| | B. Gelenke der Klasse <i>JointSpringDamperMbs</i> | 133 |
| 5.3.4 | Bindungs-/Bauteil-Konnektoren (<i>PartPairConnectorMbs</i>)..... | 134 |
| 5.3.5 | Mechanische Aktoren (<i>ActuatorMbs</i>)..... | 138 |
| 5.4 | Hierarchische Elemente | 141 |
| 5.4.1 | Topologiediagrammelemente (<i>MechatronicHcsOdss</i>) | 141 |
| 5.4.2 | Blockdiagrammelemente (<i>MathematicHcsOdss</i>)..... | 145 |
| 6 | Graphenbasierte Repräsentation, Analyse und Transformation mechatronischer Systeme..... | 149 |
| 6.1 | Graphen und Algorithmen | 150 |
| 6.2 | Modular-hierarchische Graphen | 153 |
| 6.3 | Systemtopologie und -hierarchie | 154 |
| 6.4 | Ableitung domänenspezifischer Teilsysteme | 156 |
| 6.5 | Bestimmung kinematischer Schleifen in Mehrkörpersystemen | 158 |
| 6.6 | Berechnung der Absolutkoordinaten in Mehrkörpersystemen | 161 |
| 6.7 | Ableitung des mathematischen Modells | 161 |
| 6.7.1 | Konzeptionelle Gesichtspunkte..... | 163 |
| 6.7.2 | Anmerkungen zum implementierten Ableitungsformalismus | 164 |
| 6.7.3 | Struktur des Ableitungsalgorithmus..... | 166 |
| 6.7.4 | Ableitung des mathematischen Modells der Mehrkörperteilsysteme | 168 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 7 | Anwendungsbeispiele | 171 |
| 7.1 | OMD-basierte Werkzeuge | 172 |
| 7.1.1 | Die Modellbildungsumgebung MOOMo | 173 |
| 7.1.2 | Graphikunterstützte Modellbildung mit Visual-MOOMo | 174 |
| 7.1.3 | Applikationsspezifische Oberflächen | 175 |
| 7.2 | Anwendungsbeispiel: Aktiv und passiv gefederte McPherson-Radaufhängung | 177 |
| 7.3 | Anwendungsbeispiel: Educational-Truck (EduTruck) | 184 |
| 7.3.1 | Ableitung effizienter mathematischer Modelle für den EduTruck | 186 |
| 7.3.2 | Analyse- und Synthesergebnisse für den EduTruck | 188 |
| 8 | Zusammenfassung und Ausblick | 191 |
| 8.1 | Zusammenfassung | 191 |
| 8.2 | Ausblick | 194 |
| | Anhang A: Bindungen in Mehrkörpersystemen | 197 |
| A.1 | Drehgelenk mit einem Freiheitsgrad | 197 |
| A.2 | Schubgelenk mit einem Freiheitsgrad | 197 |
| A.3 | Ebene Führung | 198 |
| A.4 | Kardangelenk | 199 |
| A.5 | Kugelgelenk | 199 |
| A.6 | Dreh-Schub-Gelenk | 200 |
| A.7 | Freies Gelenk | 201 |
| A.8 | Starre Bindung | 202 |
| | Anhang B: Koordinatentransformationen der Rotation | 203 |
| B.1 | Kardanwinkel | 205 |
| B.2 | Eulerwinkel | 208 |
| B.3 | Quaternionen | 210 |
| | Anhang C: Der inkrementelle Objective-DSS-Compiler | 217 |
| C.1 | Spezifikation der Syntax in EBNF | 218 |
| C.2 | Grammatik der Beschreibungssprache Objective-DSS | 219 |
| C.3 | Binäre Operatoren in Objective-DSS | 223 |
| C.4 | Ergänzungen zur Syntax von Objective-DSS-Script | 223 |
| | Glossar | 225 |
| | Literatur | 229 |
| | Stichwortverzeichnis | 241 |