

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1	Objektorientierte Modellierung . . . . .	5
2.2	Differential-algebraische Gleichungen . . . . .	7
2.3	Die Modellierungs- und Simulationsumgebung <i>CAMex/Simex</i>	10
<b>3</b>	<b>Phänomenologische Systemanalyse</b>	<b>15</b>
3.1	Aufstellen und Aufbereiten der Systemgleichungen . . . . .	15
3.1.1	Modellgleichungen der Temperatur- und Strömungs- prozesse . . . . .	15
3.1.1.1	Temperaturprozesse . . . . .	16
3.1.1.2	Strömungsprozeß . . . . .	18
3.1.2	Normierung der Modellgleichungen . . . . .	20
3.2	Statische Kopplungen . . . . .	26
3.2.1	Problemstrukturierung . . . . .	26
3.2.2	Kopplungen zwischen Strömungs- und Temperaturprozeß	27
3.2.3	Kopplungen innerhalb des Strömungsprozesses . . . . .	29
3.2.4	Kopplungen zwischen Temperaturprozessen . . . . .	30
3.2.5	Kopplungen innerhalb einzelner Gleichungsterme . . . . .	33
3.3	Zeitverhalten . . . . .	35
3.4	Index-Problematik . . . . .	37
<b>4</b>	<b>Simulation differential-algebraischer Gleichungen</b>	<b>41</b>
4.1	Konsistente Initialisierung . . . . .	41
4.1.1	Ein wissensbasiertes Homotopieverfahren . . . . .	47
4.1.2	Reduktion der Modellordnung . . . . .	54
4.1.3	Anbindung von GAIO . . . . .	56
4.1.4	Ergebnisse . . . . .	57
4.2	Integrationsverfahren . . . . .	60
4.2.1	Konsistenz, Konvergenz und Stabilität . . . . .	61
4.2.2	BDF-, Runge-Kutta- und Extrapolationsverfahren . . . . .	64
4.2.3	Beispiele für Integrationsroutinen . . . . .	71
4.2.4	Ergebnisse . . . . .	77
4.3	Hybride Systeme . . . . .	85

---

4.3.1	Modellierung hybrider Systeme . . . . .	85
4.3.2	Simulation hybrider Systeme . . . . .	88
4.3.3	Hybride Systeme in <i>CAMex/Simex</i> . . . . .	93
4.3.4	Ergebnisse . . . . .	97
4.4	Nutzung von kennzahl-basiertem Systemwissen . . . . .	100
4.4.1	Modellierung kennzahl-basierten Systemwissens . . . . .	103
4.4.2	Verarbeitung des Prozeßwissens im Verlauf der Modellbildung . . . . .	106
4.4.3	Codegenerierung und Simulation . . . . .	108
4.4.4	Ergebnisse . . . . .	115
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>117</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>121</b>

# Tabellenverzeichnis

3.1	Normierte Systemgleichungen für den Strömungsprozeß . . .	24
3.2	Normierte Systemgleichungen für den Temperaturprozeß . . .	25
3.3	Charakterisierung der Betriebspunkte . . . . .	33
3.4	Kennzahlen und ihre Wertebereiche . . . . .	35
3.5	Durch “Wenn-Dann“-Regeln repräsentiertes Prozeßwissen . .	36
4.1	Ergebnisse der konsistenten Initialisierung . . . . .	60
4.2	Die stabilen BDF-Verfahren auf äquidistanten Gittern . . . . .	65
4.3	$A(\alpha)$ -Stabilität der BDF-Verfahren . . . . .	65
4.4	Stabilitätsgebiete von Extrapolationsverfahren . . . . .	69
4.5	Werte für $r_{jk}$ . . . . .	76
4.6	Werte für $s_{jk}$ . . . . .	76
4.7	Laufzeitanalyse für das Pendelmodell mit Index 2 . . . . .	81
4.8	Laufzeitanalyse für das Pendelmodell mit Index 1 . . . . .	81
4.9	Laufzeitanalyse bezogen auf die Anzahl der Unstetigkeiten . .	82
4.10	Funktions- und Jakobimatrixauswertungen . . . . .	83
4.11	Integrationszeit . . . . .	83
4.12	Simulation eines vollständigen Werkzeugmodells . . . . .	84
4.13	Anweisungen der “Wenn-Dann“-Regeln . . . . .	105
4.14	Mögliche Modellkonfigurationen . . . . .	113

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Vorgehen bei der Modellerstellung . . . . .	6
2.2	Aufbau der Modellierungsumgebung <i>CAMex</i> . . . . .	11
2.3	Aufbau der Simulationsumgebung <i>Simex</i> . . . . .	13
3.1	Schnittstellen des Temperaturmodells . . . . .	17
3.2	Hierarchische Gliederung der Kopplungsstrukturen . . . . .	26
3.3	Kopplungen zwischen Strömungs- und Temperaturprozeß . . . . .	27
3.4	Kopplungen innerhalb des Strömungsprozesses . . . . .	29
3.5	Kopplungen zwischen Temperaturprozessen . . . . .	31
3.6	Wärmeleitung im Fließkanal eines Breitschlitzwerkzeugs . . . . .	34
3.7	Extruder mit Werkzeug . . . . .	38
3.8	Durchsatzkopplung . . . . .	38
3.9	Kopplung Schmelze-Wand . . . . .	39
4.1	Lösung im Zustandsraum . . . . .	42
4.2	Standard-Homotopie (Beispiel) . . . . .	48
4.3	Versagen des Homotopieverfahrens (Beispiel) . . . . .	49
4.4	Anbindung von <b>GAIO</b> . . . . .	57
4.5	Nachträgliche Definition von Homotopieparametern (Beispiel) . . . . .	58
4.6	Der Aufbau des Algorithmus <b>BIGINDEX</b> . . . . .	74
4.7	Ausgabe des <b>GPROF</b> -Befehls . . . . .	78
4.8	Mathematisches Pendel . . . . .	79
4.9	Prinzipieller Ablauf der Simulation hybrider Systeme . . . . .	89
4.10	Prinzipielle Behandlung von Zustandsereignissen bei der Simulation . . . . .	90
4.11	Kenmlinie eines Zweipunktgliedes . . . . .	94
4.12	Wirkungsplan der Zweipunktkenmlinie mit Hysterese . . . . .	98
4.13	Verlauf der Ausgangsgrößen des Sinusgenerators und der Zweipunktkenmlinie mit Hysterese . . . . .	99
4.14	Aufbau der Simulationsumgebung <i>Simex</i> . . . . .	108
4.15	Beispiel zur Aktivierung von Oberflächen im Rahmen des "Monitorings" . . . . .	111