

## Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung .....	1
2.	Wissenschaftliche Erkenntnisse .....	2
2.1	Einsatz von Simulationsprogrammen bei der Entwicklung prozeßtechnischer Anlagen .....	2
2.2	Bisher realisierte verfahrenstechnische Programmsysteme mit wissensbasierten Funktionen .....	3
2.2.1	Wissensbasierte Prozeßsynthese .....	3
2.2.2	Wissensbasierte Generierung von Simulationsmodellen .....	3
2.2.3	Wissensbasierte Generierung numerischer Komponenten für Simulationsprogramme .....	4
2.3	Bisher verfolgte softwaretechnische Ansätze für wissensbasierte Funktionen verfahrenstechnischer Programmsysteme .....	6
2.4	Kombinationsmöglichkeiten für wissensbasierte und numerische Funktionen eines Simulationssystems .....	7
2.5	Klassifikation wissensbasierter Modellierungstechniken .....	9
2.5.1	Generische Operationen .....	9
2.5.2	Entwerfen und Verfeinern .....	11
2.5.3	Hierarchische Klassifizierung .....	12
2.5.4	Aufbau, Konstruktion und Test von Hypothesen .....	13
2.5.5	Wissensbasierte Informationsflußsteuerung .....	15
3.	Wissensbasierte Funktionen zur Unterstützung der Simulationsanwender .....	16
3.1	Modellbildung .....	16
3.1.1	Fließbilderstellung .....	16
3.1.2	Definition des zu analysierenden Lastfalls .....	20
3.2	Simulationsrechnung .....	22
3.3	Analyse und Visualisierung der Simulationsergebnisse .....	23
3.3.1	Wissensbasierte Prüfung der numerischen Parameter .....	23
3.3.2	Wissensbasierte Prüfung der physikalischen Randbedingungen .....	24
3.3.3	Visualisierung und Analyse der Rechenergebnisse .....	25
4.	Eine neue, modulare Programmarchitektur zur Integration wissensbasierter Funktionen in ein Simulationssystem .....	26
4.1	Identifikation erforderlicher Wissensrepräsentationen .....	26
4.2	Implementierungswerkzeuge und Systemarchitektur .....	28
4.2.1	Funktionsschichten der Multiprozeßarchitektur .....	31

4.2.2	Funktionssynchronisation zwischen den Prozessen .....	32
4.2.3	Kommunikationsprotokoll .....	34
4.3	<b>Object-Sim</b> - ein objektorientierter Simulationscode für dynamische Prozeßsimulationen .....	37
4.3.1	Simulationsverfahren .....	38
4.3.1.1	Numerische Verfahren .....	38
4.3.1.2	Gegenüberstellung der Verfahren .....	40
4.3.1.3	Ausgewählte Technik .....	41
4.3.2	Simulationsablauf bei <b>Object-Sim</b> .....	41
4.3.2.1	Initialisierung .....	42
4.3.2.2	Iterationsschritt .....	42
4.3.2.3	Integrationsschritt .....	44
4.3.2.4	Regelschritt .....	45
4.3.3	Konzeption der Implementierung .....	46
4.3.4	Objekthierarchie von <b>Object-Sim</b> .....	51
4.3.5	Klassenhierarchie von <b>Object-Sim</b> .....	57
4.4	Implementierung des Wissensmoduls <b>S<sup>3</sup>ExE</b> .....	59
4.4.1	Anforderungen an die Implementierungstechnik der wissensbasierten Funktionen .....	59
4.4.1.1	Anforderungen an die fallbasierten Funktionen .....	59
4.4.1.2	Anforderungen an die regelbasierten Funktionen .....	61
4.4.1.2.1	Regelverkettungsverfahren .....	62
4.4.1.2.2	In Regeln verfügbare Funktionen und Operatoren .....	64
4.4.2	Technische Realisierung des Wissensmoduls <b>S<sup>3</sup>ExE</b> .....	64
4.4.2.1	Implementierung der Fälle .....	64
4.4.2.2	Implementierung der Regeln und Verkettungsverfahren .....	66
4.4.2.3	Programmarchitektur von <b>S<sup>3</sup>ExE</b> und Benutzungsoberfläche .....	67
4.4.2.4	Interaktion der Programmsysteme <b>S<sup>3</sup>ExE</b> und <b>Object-Sim</b> .....	71
5.	Anwendungsbeispiel .....	74
5.1	Simuliertes System .....	74
5.2	Wissensbasierte Fehleranalyse .....	77
5.2.1	Meldungen des Simulationssystems und deren Verarbeitung .....	77
5.2.1.1	Bestätigungsmeldungen .....	77
5.2.1.2	Meldungen schwerwiegender Fehler .....	77

## VII

5.2.1.3	Normale Fehlermeldungen .....	78
5.2.2	Fallbasierte Auswertung .....	80
5.2.3	Regelbasierte Auswertung .....	81
5.3	Grafische Darstellung und wissensbasierte Auswertung der Simulationsergebnisse .....	83
5.4	Berücksichtigung von Konstruktionswissen bei der wissensbasierten Auswertung von Simulationsergebnissen .....	86
6.	Erweiterung der wissensbasierten Methode - Akkumulation von Wissen für die Prozeßdiagnose im Anlagenbetrieb .....	88
6.1	Verallgemeinerung der Wissensmodellierung für zusätzliche Anwendungsgebiete .....	90
6.1.1	Erweiterung der Wissensrepräsentationen - Modellierung von Wissen über eine Anlage und deren Betriebsverhalten .....	90
6.1.2	Modellierung von Betriebsgrenzen für Baukomponenten einer Anlage .....	93
6.2	Implementierung des Bedingungsterminterpreters .....	94
6.3	<i>Test-Reporter</i> - ein objektorientiertes Meßdatenerfassungssystem .....	96
6.3.1	Nutzung der Programmschnittstellen zwischen Wissensmodul und Simulationssystem für ein Meßdatenerfassungsprogramm .....	96
6.3.2	Programmkonzeption und -architektur .....	97
6.3.3	Anwendungsbeispiel .....	101
7.	Erforderliche Funktionalitäten für eine wissensbasierte, teilautonome Anlagensteuerung .....	104
7.1	Modellierung der Auswirkungen eines detektierten Fehlers für den weiteren Anlagenbetrieb durch Simulation .....	104
7.2	Implementiertes Szenario .....	106
7.3	Kritische Bewertung der vorgestellten Technik .....	109
7.4	Erweiterungsmöglichkeiten des Verfahrens .....	112
7.4.1	Modellbasierte Inferenzmethoden für verfahrenstechnische Systeme .....	112
7.4.2	Zustandsdiagnose und Auswahl der Fehlerkorrekturmaßnahmen für ein autonomes Anlagensteuerungssystem .....	115
7.4.2.1	Erweiterung der Wissensmodellierung - Rückwärtsverkettung für Zustandsanalyse .....	115
7.4.2.2	Generierung der Steuerparameter .....	116
7.4.2.3	Korrektheit des durch Simulation nachmodellierten Fehlerzustands .....	117

## VIII

7.4.2.4	Verifikationsfunktionen für die Fehlerdiagnose	117
7.4.3	Abgrenzung zwischen Fehlerdiagnose-/Fehlerkorrektur- systemen und der Regelungstechnik einer Anlage	118
8.	Schulung von Bedienungspersonal	120
9.	Diskussion und Ausblick	124
10.	Zusammenfassung	126
<b>Anhang</b>		129
A	Kommunikationsprotokoll	129
B	<i>Object-Sim</i> Eingabedatei	133
C	Klassenhierarchie von <i>Object-Sim</i>	146
D	Implementierung eines Regelsystems auf der Basis von Streams	148
E	Thermodynamische Modellierung der Komponenten der simulierten Treibstoffördersysteme	151
E.1	Modellierung der Druckgasflaschen	151
E.2	Modellierung der Leitungen	152
E.3	Die Rohrvereinigug	153
E.4	Modellierung des Druckgasfilters	153
E.5	Modellierung der Druckregler	153
E.6	Die Verzweigung in Oxidator- und Brennstoffstrang	154
E.7	Modellierung der Treibstofftanks	154
E.7.1	Das Differentialgleichungssystem	154
E.7.2	Die Thermodynamik des Oxidatortanks	156
E.7.3	Die Thermodynamik des Brennstofftanks	159
E.7.4	Die Thermodynamik der Tanks beim Blowdown	160
E.8	Stoffdatenparameter	161
<b>Literatur</b>		162