

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problematik der thermischen Abfallbehandlung	1
1.2	System- und Handlungsmodelle	4
1.3	Intention der Vorgehensweise	5
2	Modellierung (technischer) Systeme	9
2.1	Systemdefinitionen	9
2.1.1	Systemeigenschaften	11
2.2	Steuerung / Kontrolle von Systemen	12
2.3	Prinzipielle Vorgehensweise zur Systemmodellierung	13
2.3.1	Verfahren zur Datenvorverarbeitung	15
2.3.2	Verfahren zur Datenanalyse/Segmentierung	16
2.3.3	Klassische Modellierungsmethoden	19
2.3.3.1	Die analytische (theoretische) Modellierung	19
2.3.3.2	Die experimentelle Modellierung (Identifikation)	19
2.3.3.3	Gegenüberstellung theoretische / experimentelle Modellierung	20
2.3.4	Die heuristische Modellierung	21
2.3.5	Systemmodellierung - Zusammenfassung	25
3	Bewertung von KI-Methoden zur Modellierung	26
3.1	Wissensrepräsentation	26
3.1.1	Elementare Wissensrepräsentationsformen	27
3.1.1.1	Merkmalsvektoren	27
3.1.1.2	Parameter in algebraischen Ausdrücken	27
3.1.2	Logiken	28
3.1.2.1	Klassische (zweiwertige) Logik	28
3.1.2.2	Fuzzy Logik	28
3.1.2.3	Fuzzy Control	29
3.1.3	Regeln	30
3.1.4	Strukturierte Objekte	31
3.1.4.1	Semantische Netze	31
3.1.4.2	Rahmen (Frames) / Skripten (Skripts)	32

3.1.4.3	Objektorientierte Ansätze	33
3.1.5	Constraints	34
3.1.6	Wissensrepräsentation - Zusammenfassung	35
3.2	Methoden des maschinellen Lernens zur Modellierung	37
3.2.1	TDIDT - Verfahren	39
3.2.2	Die Versionenraum - Methode	39
3.2.3	BACON.x	40
3.2.4	AQ11 und der AQ-Algorithmus	41
3.2.5	Begriffliche Ballung - CLUSTER/2	42
3.2.6	EPAM, UNIMEM, COBWEB und CLASSIT	43
3.2.7	Symbolische Lernverfahren - Zusammenfassung	46
3.2.8	Neuronale Netze	48
3.2.8.1	Subsymbolische Repräsentationen und parallele Verarbeitung	48
3.2.8.2	Automatische Lernfähigkeit interner Repräsentationen	49
3.2.8.3	Identifikation dynamischer Systeme durch neuronale Netze	50
3.2.8.4	Neuronale Netze - Zusammenfassung	51
3.2.9	Genetische Algorithmen	52
3.2.10	Methoden des maschinellen Lernens zur Modellierung- Zusammenfassung	54
4	Ansätze aus der Lernpsychologie	56
4.1	Kopplung von Umweltreiz und Verhaltensweise	57
4.1.1	Pawlow und das klassische Konditionieren	57
4.1.2	Thorndike und das Lernen durch Versuch und Irrtum	57
4.1.3	Guthrie und die Kontiguitätstheorie	58
4.1.4	Skinner und das Operante Konditionieren	59
4.1.5	Reiz-Reaktions-Theorien - Zusammenfassung	59
4.2	Problemtypen und Problemlösungsstrategien (Dörner)	61
4.2.1	Problemtypen	61
4.2.2	Allgemeine Überlegungen zum Problemlösen	62
4.2.3	Die Abbildung von Realitätsbereichen im Gedächtnis	64
4.2.4	Heurismen	65
4.2.5	Die Organisation der heuristischen Struktur	66
4.2.6	Strategien zur Lösung von Interpolationsproblemen	67
4.2.7	Problemtypen und Problemlösungsstrategien - Zusammenfassung	69

4.3	Theoretische Ansätze zum «Wissenserwerb»	70
4.3.1	Bewertung der theoretischen Ansätze zum Wissenserwerb	71
4.4	Das Prinzip der heuristischen Modellierung	73
5	Das Konzept des C³R-Systems	76
5.1	Erfassung der Systemdaten (Meßwerte)	79
5.2	Verarbeitung der Meßwerte	80
5.2.1	Datenvorverarbeitung: Glättung/Filterung der Meßwertkurven	80
5.2.1.1	Beschreibung des Verfahrens der gleitenden Mittelung mit Begrenzung	81
5.2.1.2	Bemerkungen zu dem dargestellten Verfahren	82
5.2.2	Segmentierung - Bestimmung von Segmentierungspunkten	83
5.2.2.1	Die Form der Repräsentation der signifikanten Muster	85
5.2.3	Algorithmische Beschreibung der Segmentierung	86
5.3	Verarbeitung der signifikanten Muster	87
5.3.1	Speicherung / Verwaltung der signifikanten Muster	87
5.3.2	Form der Repräsentation der Relationen	87
5.3.3	Die Bildung kausaler Relationen	87
5.4	Verarbeitung (Strukturierung) der Relationen	91
5.4.1	Exkurs: Ein iteratives (eindimensionales) Clusterverfahren	92
5.4.2	Inkrementeller Aufbau der C ³ R-Kausalitätsbäume	94
5.4.2.1	Bemerkungen zur Strukturierung der gleichartigen Relationen	98
5.5	Interpretation der C ³ R-Kausalitätsbäume	100
5.5.1	Bewertung der Blätter eines C ³ R-Kausalitätsbaumes	100
5.5.2	Auslösung von Interpretationsschritten	101
5.5.3	Bildung prototypischer Kausalitätsaussagen	102
5.6	Verarbeitungsschritte oberhalb der Lernkomponente	103
5.6.1	Verarbeitung der prototypischen Kausalitätsaussagen	103
5.6.2	Darstellung der gelernten Systemstruktur und des abgeleiteten System- verhaltens	106
5.6.2.1	Aufbau eines Kausalitätssgraphen	106
5.6.2.2	Aufbau der Menge der Transformationsregeln	108
5.6.3	Einbindung von Problemlösungsprozessen	109
5.6.4	Versionenführung/Protokollierung	110
5.7	Die adaptiven dynamischen Systemparameter	111
5.7.1	Abhängigkeitsbeziehungen der Systemparameter	112

5.7.2	Der Glättungsparameter	113
5.7.3	Der Veränderungsparameter	113
5.7.4	Der Zeithorizont	114
5.7.5	Der Clusterparameter	114
5.7.6	Die Hystereseffunktion.....	115
5.7.7	Der Einsatz der Systemparameter zur Fokussierung	116
5.7.8	Bemerkungen zur Realisierung des dargestellten Konzeptes	118
5.8	Systeminitialisierung / Benutzervorgaben	120
6	Analyse des C³R-Systems	122
6.1	Komplexität des C ³ R-Systems	122
6.1.1	Zeitkomplexität	123
6.1.1.1	Glättung/Filterung der Meßwertkurven	123
6.1.1.2	Segmentierung (Musterbildung)	124
6.1.1.3	Relationenbildung	124
6.1.1.4	Verarbeitung/Strukturierung der Relationen (C ³ R-Kausalitätsbäume)	126
6.1.1.5	Interpretation der C ³ R-Kausalitätsbäume	127
6.1.1.6	Zeitkomplexität - Zusammenfassung	128
6.1.2	Speicherplatzbedarf	129
6.1.3	Experimentelle Komplexitätsabschätzungen	131
6.2	Stärken, Schwächen, Grenzen des C ³ R-Systems	134
7	Empirische Ergebnisse des C³R-Systems	137
7.1	Beispiel «Kühlhausexperiment»	137
7.1.1	Problemstellung	137
7.1.2	Experimentelle Ergebnisse des C ³ R-Systems.....	139
7.1.3	«Kühlhausexperiment» - Zusammenfassung	144
7.2	Beispiel KfK Pilotanlage TAMARA	145
7.2.1	Beschreibung der Müllverbrennungsanlage TAMARA	145
7.2.2	Experimentelle Ergebnisse des C ³ R-Systems.....	146
7.2.3	Interpretation der Ergebnisse des TAMARA-Experimentes	149
7.2.4	Pilotanlage TAMARA - Zusammenfassung	151
7.3	Potentielle Einsatzgebiete des C ³ R-Systems	152

8 Zusammenfassung	155
8.1 Ausblick und Perspektiven	160
Anhang A	161
Anhang B	167
Literatur	168