

Dipl.-Phys. Gerwald Lichtenberg, Hamburg

**Theorie und Anwendung
der qualitativen
Modellierung
zeitdiskreter dynamischer
Systeme durch
nichtdeterministische
Automaten**

Reihe **8**: Meß-, Steuerungs-
und Regelungstechnik Nr. **686**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Qualitatives Verhalten des Prozesses	8
2.1	Zeitdiskretes wertekontinuierliches System	8
2.2	Quantitatives Verhalten	8
2.3	Partitionierung der Signalräume	9
2.4	Nichtdeterminismus des qualitativen Verhaltens	11
2.5	Beschreibung des qualitativen Verhaltens	13
2.6	Restriktion und Projektion des Verhaltens	15
3	Problemstellungen	18
3.1	Probleme der Modellbildung	18
3.1.1	Abstraktionsproblem	18
3.1.2	Qualitatives Identifikationsproblem	18
3.2	Probleme der Prozeßüberwachung und -führung	20
3.2.1	Qualitatives Vorhersageproblem	20
3.2.2	Qualitatives Beobachtungsproblem	21
3.2.3	Qualitatives Diagnoseproblem	23
3.2.4	Qualitatives Steuerungsproblem	23
3.2.5	Qualitatives Regelungsproblem	24
4	Stand des Wissens	26
4.1	Ereignisdiskrete Systeme	26
4.2	Kontinuierliche Systeme	28
4.3	Hybride Systeme	30
4.4	Methoden der künstlichen Intelligenz	30
4.5	Vorarbeiten zum automatentheoretischen Ansatz	32
5	Automaten als qualitative Modelle	34
5.1	Nichtdeterministische Modelle	34
5.1.1	Nichtdeterministische Automaten	34
5.1.2	Zusammenhang zwischen qualitativem Modell und System	36
5.1.3	Nichtdeterministische qualitative Modelle	36
5.1.4	Unzutreffendes Verhalten	38
5.1.5	Zustandseigenschaft	39
5.2	Stochastische Modelle	40
5.2.1	Stochastik des qualitativen Verhaltens	40
5.2.2	Stochastische Automaten	42
5.2.3	Matrixdarstellung stochastischer Automaten	44
5.2.4	Stochastisches qualitatives Modell	47
6	Methoden zur Prozeßüberwachung und -führung	50
6.1	Methoden zur Modellbildung	50
6.1.1	Abstraktion des qualitativen Modells	50
6.1.2	Stochastische qualitative Identifikation	53
6.1.3	Qualitative Identifikation für lineare Systeme	55
6.2	Methoden zur Prozeßüberwachung	60
6.2.1	Qualitative Simulation	60

6.2.2	Qualitative Beobachtung	67
6.2.3	Qualitative Diagnose	71
6.3	Methoden zur Prozeßführung	74
6.3.1	Qualitativer Steuerungsentwurf	74
6.3.2	Qualitativer Reglerentwurf	77
7	Systemtheoretische Aspekte	84
7.1	Erweiterung des qualitativen Zustandsraums	84
7.2	Kanonische qualitative Modelle	87
7.3	Komposition qualitativer Modelle	95
8	Anwendungen	98
8.1	Programmentwicklung	98
8.2	Qualitative Regelung des inversen Pendels	99
8.3	Qualitative Beobachtung am Dreitanksystem	103
8.4	Diagnose von Ventilschäden an Gasverdichtern	105
9	Zusammenfassung und Ausblick	115
A	Beweise	117
A.1	Beweis des Theorems 1 (Obermengenrelation)	117
A.2	Beweis des Lemmas 1	118
A.3	Beweis des Lemmas 4 (Lineare qualitative Identifikation)	118
A.4	Beweis des Lemmas 6 (Stochastische qualitative Simulation)	118
A.5	Beweis des Lemmas 8 (Stochastische qualitative Beobachtung)	119
A.6	Beweis des Lemmas 9 (QUADI-Lemma)	119
A.7	Beweis des Theorems 3 (Bestes Modell des geschlossenen Kreises)	120
A.8	Beweis des Lemmas 10 (Kanonische qualitative Modelle)	120
B	Quantitative Modelle	121
B.1	Linearisiertes Zustandsraummodell für das Zweitanksystem	121
B.2	Linearisiertes Zustandsraummodell für das Dreitanksystem	121
B.3	Linearisiertes Zustandsraummodell für das Inverse Pendel	122
B.4	Zustandsraummodell des gedämpften Oszillators	122