

# Inhalt

## Vorwort — V

## Verzeichnis der Abkürzungen — XIII

<b>1</b>	<b>Einleitung — 1</b>
1.1	Prozessautomatisierung — 1
1.2	Zum Begriff „Advanced Process Control“ — 6
1.3	Advanced Process Control – Kosten und Nutzen — 11
1.4	Zum Inhalt dieses Buches — 14
1.5	Informationsquellen zu APC — 16
1.6	Weiterführende Literatur — 19
<b>2</b>	<b>Einfache mathematische Modelle verfahrenstechnischer Regelstrecken — 21</b>
2.1	Einführung — 21
2.2	Einfache Prozessmodelle verfahrenstechnischer Regelstrecken — 28
2.2.1	Strecken mit Verzögerungsverhalten und Totzeit — 29
2.2.2	Integrierende und andere instabile Regelstrecken — 34
2.2.3	Regelstrecken mit Nichtminimalphasen-Verhalten — 35
2.2.4	Modellvereinfachung nach der Halbierungsregel — 38
2.3	Identifikation des dynamischen Verhaltens — 39
2.3.1	Kennwertermittlung im offenen Regelkreis — 40
2.3.2	Kennwertermittlung im geschlossenen Regelkreis — 48
2.3.3	Rechnergestützte Identifikation — 52
2.4	Software-Werkzeuge für die Identifikation — 66
2.5	Weiterführende Literatur — 67
<b>3</b>	<b>PID-Basisregelungen — 69</b>
3.1	Regelkreis mit PID-Regler — 69
3.1.1	PID-Regelkreis – Struktur, Signale, Übertragungsfunktionen — 69
3.1.2	Forderungen an den Regelkreis — 74
3.1.3	Quantifizierung der Forderungen an PID-Regelkreise — 79
3.2	Praktische Implementierung des PID-Algorithmus — 85
3.3	Ermittlung günstiger Reglerparameter — 103
3.3.1	Auswertung von Versuchen an der Regelstrecke — 105
3.3.2	Auswertung von Versuchen im geschlossenen Regelkreis — 114
3.3.3	Selbsteinstellung im Online-Betrieb — 117
3.3.4	Software-Werkzeuge für die Einstellung von PID-Reglern — 119
3.4	Control Performance Monitoring — 120

3.4.1	Motivation und Ziele — 121
3.4.2	Statistische Maßzahlen zur Bewertung des Regelkreisverhaltens — 124
3.4.3	Benchmarking — 125
3.4.4	Stiktionserkennung und Oszillationsanalyse — 127
3.4.5	Erkennung zu konservativer bzw. aggressiver Reglereinstellung — 133
3.4.6	Software-Werkzeuge für das Control Performance Monitoring — 134
3.5	Weiterführende Literatur — 136
<b>4</b>	<b>Erweiterte Regelungsstrukturen — 138</b>
4.1	Kaskadenregelung — 138
4.2	Störgrößenaufschaltung — 143
4.3	Verhältnisregelung — 150
4.4	Split-Range-Regelung — 154
4.5	Ablösende Regelung — 157
4.6	Pufferstandregelung — 158
4.7	Internal Model Control — 167
4.8	Smith-Prädiktor-Regler und prädiktiver PI-Regler — 171
4.9	Gain Scheduling — 177
4.10	Valve Position Control — 181
4.11	Dezentrale Regelung von Mehrgrößensystemen und Entkopplungsstrukturen — 182
4.12	Weiterführende Literatur — 198
<b>5</b>	<b>Softsensoren — 201</b>
5.1	Einführung — 201
5.2	Empirische lineare Modelle — 205
5.2.1	Multiple lineare Regression — 205
5.2.2	Ridge Regression, Principle Components Analysis (PCA) und Partial Least Squares (PLS) — 215
5.3	Empirische nichtlineare Modelle — 228
5.3.1	Nichtlineare Regression — 228
5.3.2	Künstliche neuronale Netze — 233
5.4	Vorgehensweise bei der Entwicklung und Anwendung von Softsensoren — 236
5.4.1	Datenakquisition — 237
5.4.2	Datenvorverarbeitung — 240
5.4.3	Auswahl relevanter Einflussgrößen — 245
5.4.4	Modellvalidierung — 253
5.4.5	Online-Betrieb und Update-Mechanismen — 256
5.5	Software-Werkzeuge für die Entwicklung von Softsensoren — 260
5.6	Weiterführende Literatur — 261

<b>6</b>	<b>Modellbasierte prädiktive Regelung mit linearen Modellen — 263</b>
6.1	MPC in der Automatisierungshierarchie — 264
6.2	Grundprinzip der prädiktiven Regelung — 267
6.3	Modellgestützte Prädiktion — 273
6.3.1	Prädiktion mit linearen Zustandsmodellen — 273
6.3.2	Prädiktion mit Sprungantwortmodellen — 276
6.3.3	Erweiterung der Prädiktion um messbare Störgrößen — 281
6.4	Schätzung nicht gemessener Stör- und Zustandsgrößen — 283
6.5	Berechnung der optimalen Stellgrößenfolge — 289
6.5.1	MPC ohne Beschränkungen der Stell- und Regelgrößen — 290
6.5.2	MPC mit Beschränkungen der Stell- und Regelgrößen — 292
6.5.3	Szenarien für das zukünftige Verhalten der Stell- und Regelgrößen — 295
6.5.4	MPC-Reglereinstellung — 297
6.6	Integrierte statische Arbeitspunktoptimierung — 300
6.7	Bestimmung der aktuellen Struktur des Mehrgrößensystems — 304
6.8	Predictive Functional Control (PFC) — 306
6.9	Software-Werkzeuge für MPC-Regelungen — 311
6.10	Entwicklungstrends — 313
6.11	Weiterführende Literatur — 321
<b>7</b>	<b>MPC-Regelungen mit nichtlinearen Modellen (NMPC) — 324</b>
7.1	Erweiterungen der LMPC-Regelung für nichtlineare und zeitvariante Systeme — 326
7.2	Nichtlineare dynamische Prozessmodelle — 331
7.2.1	Empirische nichtlineare Modelle deren Identifikation — 331
7.2.2	Nichtlineare theoretische Prozessmodelle — 338
7.3	NMPC-Regelung mit empirischen Prozessmodellen — 340
7.4	NMPC-Regelung mit theoretischen Prozessmodellen — 343
7.4.1	Sequentielle Optimierung und Simulation — 345
7.4.2	Simultane Optimierung und Lösung des DAE-Systems — 350
7.5	Target-Berechnung und Economic MPC — 356
7.6	Schätzung nicht messbarer Zustands- und Störgrößen — 359
7.6.1	Nichtlineare Filter — 359
7.6.2	Schätzung auf bewegtem Horizont — 363
7.7	NMPC-Programmsysteme — 366
7.8	Weiterführende Literatur — 367
<b>Literaturverzeichnis — 369</b>	
<b>Verzeichnis der Quellen von Abbildungen — 395</b>	
<b>Stichwortverzeichnis — 397</b>	