Inhaltsverzeichnis

1 Einführung 1
1.1 Steuerung und Regelung als Grundfunktionen der Automatisierung . . . 1
1.1.1 Ziel und Grundprinzip der Automatisierung 1
1.1.2 Ziele von Steuerungen und Regelungen 4
1.1.3 Grundbegriffe der Systemtheorie 5
1.1.3.1 Signale 5
1.1.3.2 Prozesse: Definition und Klassifikation 7
1.1.3.3 Ereignisdiskrete Prozesse 10
1.1.3.4 Systeme 13
1.1.4 Mehrdeutigkeit der Benennung „Steuerung“ 14
1.2 Automatisierungstechnik im historischen Rückblick 15
1.2.1 Vorbemerkungen 15
1.2.2 Mechanische Automaten als Wurzeln der Automatisierung 16
1.2.2.1 Mechanische Steuerungsautomaten 16
1.2.2.2 Mechanische Regelungsautomaten 18
1.2.3 Historische Entwicklung der Steuerungstechnik im Vergleich zur Regelungstechnik 19
1.2.3.1 Entwicklung der Regelungstechnik zu einer eigenständigen Ingenieurdisziplin 19
1.2.3.2 Schaffung einer theoretischen Basis für binäre Steuerungssysteme 21
1.2.3.3 Initien der Forschung und Lehre zur Steuerungstechnik . 22
1.2.3.4 Geschichte der Normung zur Steuerungstechnik 24
1.2.3.5 Beginn der gleichwertigen Behandlung von Regelungs- und Steuerungssystemen 27
1.2.3.6 Die Rolle der Steuerungstechnik in den industriellen Revolutionen 28
1.2.4 Fazit für die weitere Entwicklung der Steuerungstechnik 29
Literatur 31

Bibliografische Informationen
http://d-nb.info/1044784601

digitalisiert durch DEUTSCHE NATIONAL BIBLIOTHEK

2 Wirkungsabläufe in Steuerungen und Regelungen 35
2.1 Einführende Bemerkungen 35
2.2 Analoge und binäre Steuerungen 37
2.2.1 Wirkungsabläufe in analogen Steuerungen 37
2.2.2 Arten binärer Steuerungen 38
2.2.3 Wirkungsabläufe in Verknüpfungssteuerungen 39
2.2.4 Wirkungsabläufe in Ablaufsteuerungen 41
2.3 Analoge und binäre Regelungen 43
2.3.1 Wirkungsabläufe in analogen Regelungen 44
2.3.2 Wirkungsabläufe in binären Regelungen 45
2.3.2.1 Beschreibung der Zweipunktregelung auf der Basis des Wirkungsplans von analogen Regelungen 46
2.3.2.2 Beschreibung der Zweipunktregelung auf der Basis des Wirkungsplan von binären Ablaufsteuerungen 47
2.4 Fazit 48
Literatur 49

3 Steuereinrichtungen und Steueralgorithmen 51
3.1 Einführende Bemerkungen 51
3.2 Steuereinrichtungen als binäre Systeme 53
3.2.1 Aufbau und Wirkungsweise binärer Systeme 53
3.2.2 Kombinatorische und sequentielle binäre Systeme 55
3.3 Realisierungsmöglichkeiten von Steuereinrichtungen 59
3.3.1 Zur historischen Entwicklung der Realisierungsmittel 59
3.3.2 Verbindungsprogrammierte Steuereinrichtungen (VPS) 60
3.3.3 Speicherprogrammierbare Steuereinrichtungen (SPS) 63
3.3.4 Forderungen an zu entwerfende Steuereinrichtungen 65
3.4 Beschreibung und Entwurf kombinatorischer Steuereinrichtungen 67
3.4.1 Zur historischen Entwicklung der Schaltalgebra 67
3.4.2 Grundfunktionen der Schaltalgebra 68
3.4.3 Grundgesetze und Rechenregeln der Schaltalgebra 69
3.4.4 Darstellung von Schaltausdrücken durch Logik- und Kontaktpläne 72
3.4.5 Disjunktive und konjunktive Normalformen 73
3.4.6 Vorgehen beim Entwurf kombinatorischer Steuereinrichtungen . 75
3.4.6.1 Entwurfsschritte 75
3.4.6.2 Kürzen von Schaltausdrücken durch Anwendung der Kürzungsregeln 76
3.4.6.3 Einbeziehung von gleichgültigen Eingangskombinationen 78
3.4.7 Minimierungsstrategie der Normalformtheorie 79
3.4.8 Kürzungsverfahren 84
3.4.8.1 Kürzungsverfahren von Karnaugh 84

3.4.8.2 Kürzungsverfahren von Quine-McCluskey 86
3.4.8.3 Kürzungsverfahren von Kasakow 88
3.4.8.4 Auswahl von Primkonjunktionen 90
3.4.9 Gerichtete zeitliche Ableitungen von binären Signalen 93
3.4.10 Entwurfsbeispiele für kombinatorische Verknüpfungsteuerungen 97
3.5 Beschreibung sequentieller Steuereinrichtungen durch deterministische Automaten 106
3.5.1 Zur historischen Entwicklung der angewandten Automatentheorie 106
3.5.1.1 Entwicklung erster Automatenmodelle durch Huffman, Mealy und Moore 106
3.5.1.2 Entwicklung von Synthesemethoden für sequentielle Systeme 107
3.5.1.3 Bemerkungen zur heutigen Bedeutung von Automatenmodellen 107
3.5.2 Interpretation der Huffman-, Mealy- und Moore-Automaten . . . 108
3.5.2.1 Voraussetzungen für vergleichende Betrachtungen 108
3.5.2.2 Huffman-Automat 109
3.5.2.3 Mealy-Automat 110
3.5.2.4 Moore-Automat 111
3.5.3 Klassifizierung von deterministischen Automaten 111
3.5.3.1 Vorbemerkungen 111
3.5.3.2 Amplitudengesteuerte Automaten 113
3.5.3.3 Flankengesteuerte Automaten 114
3.5.4 Technische Betriebsarten von Automaten 115
3.5.4.1 Beziehungen zwischen der Betriebsart und der Realisierung als SPS oder VPS 115
3.5.4.2 Wahl der Betriebsarten bei VPS 116
3.5.5 Darstellung von Automaten durch Graphen und Tabellen 117
3.5.6 Synthese sequentieller binärer Systeme 121
3.5.6.1 Vorbemerkungen 121
3.5.6.2 Grundlegende Aussagen zur Zustandsreduktion 122
3.5.6.3 Zustandsreduktion bei amplitudengesteuerten Automaten 124
3.5.6.4 Zustandsreduktion bei flankengesteuerten Automaten . . 129
3.5.6.5 Zustandskodierung 131
3.5.6.6 Berechnung der Schaltausdrücke bei sequentiellen Systemen 135
3.5.7 Entwurfsbeispiel für sequentielle Verknüpfungssteuerungen . . . 139
3.6 Beschreibung sequentieller Steuereinrichtungen durch Steuernetze . . . 144
3.6.1 Zur historischen Entwicklung der Petri-Netze 144
3.6.2 Grundbegriffe des Petri-Netz-Konzepts 145
3.6.3 Binäre Petri-Netze 147
3.6.4 Eigenschaften von binären Petri-Netzen 149

3.6.5 Petri-Netz-Klassen mit spezifischen Eigenschaften 151
3.6.6 Strukturierung von Petri-Netzen durch Komposition 153
3.6.7 Steuernetze 158
3.6.8 Schaltalgebraische Analyse von Steuernetzen 160
3.6.8.1 Widerspruchsfreiheit von Schaltbedingungen 160
3.6.8.2 Widerspruchsfreiheit von Ausgaben 163
3.6.8.3 Stabilität von Stellen 164
3.6.9 Entwurfsbeispiel für Ablaufsteuerungen 165
3.7 Fazit 169
Literatur 170

4 Steuerstrecken und ereignisdiskrete Prozesse 175
4.1 Einführende Bemerkungen 175
4.2 Struktur- und Verhaltensanalyse von Steuerstrecken 177
4.2.1 Strukturierung von Steuerstrecken in Elementarsteuerstrecken . . 177
4.2.2 Prinzipien und Eigenschaften diskreter Stelleinrichtungen 182
4.2.3 Verhalten von Elementarsteuerstreckenkernen 185
4.2.3.1 Zeitverhalten von Elementarsteuerstreckenkernen mit analogen Steuergrößen bei einem Sprung einer Prozessstellgröße 185
4.2.3.2 Zeitverhalten von Elementarsteuerstreckenkernen mit analogen Steuergrößen bei einem Impuls einer Prozessstellgröße 188
4.2.3.3 Elementarsteuerstreckenkerne mit diskreten Steuergrößen 192
4.2.4 Prinzipien zur Bildung binärer Signale aus Steuergrößen 193
4.2.4.1 Messgrößenwandlung und Analog-Binär-Umsetzung . . 193
4.2.4.2 Bildung eines Binärsignals aus einer diskreten Steuergröße 196
4.2.4.3 Direkte Quantisierung einer nichtelektrischen Steuergröße 196
4.2.4.4 Quantisierung einer natürlichen nichtelektrischen Abbildgröße 198
4.2.4.5 Quantisierung nach Signalwandlungen 198
4.2.5 Operationen und Prozesse in Elementarsteuerstrecken 199
4.2.6 Totzeitverhalten von Elementarsteuerstrecken 200
4.2.7 Einschränkung der Wirksamkeit von Mess- und Stellsignalen . . 202
4.2.7.1 Freigabebedingungen für die Weiterleitung von Messsignalen 202
4.2.7.2 Freigabebedingungen für die Weiterleitung von Stellsignalen 203
4.2.8 Äußere Einflüsse auf Elementarsteuerstrecken 205
4.2.9 Generizität von Steuerstrecken 210

4.3 Beschreibungsmöglichkeiten für ereignisdiskrete Prozesse 211
4.3.1 Beschreibungsebenen innerhalb von Steuerkreisen 211
4.3.2 Prozessbeschreibungen in der Ebene der Steuereinrichtung 212
4.3.3 Prozessbeschreibungen in der Ebene der Steuerstrecke 214
4.3.4 Darstellung von Prozessalgorithmen durch PA-Netze 215
4.3.5 PA-Netze als Basis für den generischen Entwurf von Steueralgorithmen 217
4.3.5.1 Vorgehen bei der Erstellung von PA-Netzen 217
4.3.5.2 Umwandlung von PA-Netzen in Steuernetze 220
4.3.6 Darstellung von Prozessmodellen 223
4.3.6.1 Diskrete Prozesszustände 223
4.3.6.2 Einbeziehung steuerungstechnischer Signale in die Prozessbeschreibung 224
4.4 Besonderheiten ereignisdiskreter Prozesse 225
4.4.1 Nichtdeterministisches Verhalten ereignisdiskreter Prozesse . . . 225
4.4.1.1 Erscheinungsformen des nichtdeterministischen Verhaltens 225
4.4.1.2 Zusammenstellung von Ursachen des funktionsbedingten Nichtdeterminismus 227
4.4.2 Beobachtbarkeit von Ereignissen und Steuerbarkeit von Operationen 228
4.4.3 Beschreibung des funktionsbedingten Nichtdeterminismus durch nichtdeterministische Automaten 230
4.4.3.1 Charakteristika von deterministischen, nichtdeterministischen und stochastischen Automaten . . 230
4.4.3.2 Definition eines nichtdeterministischen Prozessautomaten 232
4.4.3.3 Steuerkreis als Kopplung von Prozessautomat und Steuerautomat 234
4.4.4 Arten ereignisdiskreter Prozesse in einer Steuerstrecke 235
4.5 Modellbildung ereignisdiskreter Prozesse 236
4.5.1 Ziele der Modellbildung und Modellarten 236
4.5.2 Bisherige Ansätze für die Modellbildung in der Steuerungstechnik 237
4.5.3 Strategie der Modellbildung ereignisdiskreter Prozesse 238
4.5.4 Modellierung nichtparalleler ereignisdiskreter Prozesse mit prozessinterpretierten Petri-Netzen 239
4.5.4.1 Anforderungen an prozessinterpretierte Petri-Netze . . . 239
4.5.4.2 Kernnetze und Prozessnetze 241
4.5.4.3 Berücksichtigung des nichtdeterministischen Verhaltens 242
4.5.5 Modellierungsbeispiel 245
4.6 Modellierung paralleler ereignisdiskreter Prozesse mit Prozessnetzen . . 248
4.6.1 Charakterisierung der Parallelität von ereignisdiskreten Prozessen 248

4.6.2 Beschreibung des funktionsbedingten Nichtdeterminismus in parallelen Prozessen durch einen nichtdeterministischen Automaten . . . 249
4.6.3 Modellierung des funktionsbedingten Nichtdeterminismus paralleler Prozesse mit Prozessnetzen . . . 253
4.6.4 Zeitbedingter Nichtdeterminismus in parallelen Prozessen . . . 254
4.6.5 Darstellung des zeitbedingten Nichtdeterminismus in Prozessnetzen . . . 256
4.6.6 Nachbildung der Dynamik paralleler ereignisdiskreter Prozesse . 257
4.6.7 Realisierung alternativer Zusammenführungen in Prozessnetzen . 259
4.6.8 Modellierungsbeispiel . . . 261
4.7 Prozessmodellbasierter Steuerungsentwurf . . . 265
4.7.1 Vorgehen beim prozessmodellbasierten Entwurf . . . 265
4.7.2 Bisherige Ansätze zur Herleitung von Steuernetzen aus Prozessnetzen . . . 265
4.7.2.1 Herleitung von Steuernetzen durch Vertauschen von Stellen und Transitionen im Prozessnetz . . . 266
4.7.2.2 Herleitung von Steuernetzen durch Strukturtransformationen im Prozessnetz . . . 267
4.7.3 Generierung von Steuernetzen durch Rückwärtsverschiebung der Interpretationen der Netzelemente in Prozessnetzen . . . 268
4.7.3.1 Grundprinzip der Rückwärtsverschiebung der Interpretationen . . . 268
4.7.3.2 Erläuterung der Vorgehensweise bei der Rückwärtsverschiebung . . . 270
4.7.3.3 Formale Regeln zur Rückwärtsverschiebung der Interpretationen in Prozessnetzen . . . 271
4.7.3.4 Demonstration der Rückwärtsverschiebung anhand eines Prozessnetzes ohne Parallelität . . . 273
4.7.3.5 Demonstration der Rückwärtsverschiebung anhand eines Prozessnetzes mit Parallelität . . . 274
4.8 Simulation von Steuer- und Prozessnetzen . . . 275
4.9 Fazit . . . 276
Literatur . . . 278

5 Entwurfsbeispiele . . . 281
5.1 Steuerung einer Hebebühne . . . 281
5.1.1 Aufgabenstellung . . . 281
5.1.2 Prozessanalyse . . . 282
5.1.3 Generischer Entwurf der Steuerung einer Hebebühne . . . 282
5.1.4 Prozessmodellbasierter Entwurf der Steuerung einer Hebebühne 285

5.1.5 Steueralgorithmus für die Hebebühne in der Ablaufsprache für SPS . . . 286
5.2 Steuerung und Regelung eines Mischbehälters . . . 287
5.2.1 Aufgabenstellung . . . 287
5.2.2 Prozessanalyse . . . 287
5.2.3 Generischer Entwurf der Steuerung eines Mischbehälters . . . 290
5.2.4 Prozessmodellbasierter Entwurf der Steuerung eines Mischbehälters . . . 293
5.2.5 Steueralgorithmus für den Mischbehälter in der SPS-Ablaufsprache . . . 296
5.3 Steuerung eines Personenaufzugs . . . 297
5.3.1 Aufgabenstellung . . . 297
5.3.2 Prozessanalyse . . . 297
5.3.3 Generischer Entwurf der Steuerung eines Personenaufzugs für vier Etagen . . . 300
5.3.4 Prozessmodellbasierter Entwurf der Steuerung eines Personenaufzugs für vier Etagen . . . 308
5.3.5 Steueralgorithmus für den Personenaufzug in S7-Graph . . . 312
5.3.6 Erweiterung der Steuerung des Personenaufzugs auf zehn Etagen 314
5.4 Fazit . . . 317

Sachverzeichnis . . . 319