

# Inhaltsverzeichnis

## 1. Meßtechnik

1.1. Grundbegriffe der Meßtechnik	1
1.1.1. Der Meßvorgang	1
1.1.2. Einmalige Messung, Meßreihe oder Dauermessung	2
1.1.3. Meßgrößen	2
1.1.4. Die Anzeige	3
1.1.5. Anzeigebereich und Meßbereich	4
1.1.6. Meßfehler – Fehlerursachen und Fehlerbeurteilung	5
1.2. Temperaturmessung in der Verfahrenstechnik	7
1.2.1. Temperaturmessung mit dem Widerstandsthermometer	7
Aufbau 9 – Auswahl des Schutzrohrs 9 – Halbwertszeit 10 – Einbaugrundsätze 11	
1.2.2. Temperaturmessung mit Thermoelementen	12
Hohe Standzeit oder schnelles Ansprechen 15 – Grundsaltungen 16 – Anwendungsbeispiele 16 – Spezialaufgaben 17 – Auswahlkriterien 18 – Die Zeitkonstante 20	
1.2.3. Der Flüssigkeits-Ausdehnungsfühler	21
1.2.4. Thermo-Bi-Metalle und Invarstab als Temperaturfühler	22
1.3. Kraftmessung	23
1.3.1. Dehnungsmeßstreifen	23
Wirkungsweise 23 – Anwendung 23 – Formen 24 – Temperaturkompensation durch Brückenschaltung 24 – Vollbrückenschaltung mit 4 DMS und Verstärker 25 – Anwendungsbeispiele 25	
1.3.2. Messungen mit Kraftmeßdosen	28
1.4. Drehzahlmessung	29
1.4.1. Analoge Drehzahlmessung	29
Stroboskopische 29 – Tachogenerator 30 – Impulzzählung 30	
1.4.2. Digitale Drehzahlmessung (Frequenzmessung)	31
Kurzzeitmessung 32 – Frequenz und Drehzahlmessung 33	
1.5. Meßwertgeber für weitere nichtelektrische Meßgrößen	34
1.5.1. Meßwertgeber für die Regelgröße Druck	35
1.5.2. Meßwertgeber für Durchfluß (Wirkdruckverfahren)	36
1.5.3. Meßwertgeber für Durchfluß nach dem induktiven Meßverfahren	37
1.5.4. Schwebekörper als Meßwertgeber für Durchfluß	38
1.5.5. Meßwertgeber für die Regelgröße Niveau und Dichte	38
1.5.6. Meßwertgeber für die Regelgröße Durchhang	40
1.5.7. Meßwertgeber zur Erfassung des pH-Wertes	40
1.6. Registrierung	41
1.6.1. Die analoge Registrierung	41
1.6.2. Beurteilung und Auswertung des Registrierstreifens	42
1.6.3. Bauteile der Analog-Registriergeräte	44
1.6.4. Punktschreiber, Linienschreiber und Lichtschreiber im Vergleich	45
1.6.5. Schreibeinrichtung und Meßgerät	46
1.6.6. Auflösungsvermögen und Meßwertgenauigkeit beim Analogschreiber	47
1.6.7. Die Digital-Registrierung	48

## 2. Steuerungstechnik

<b>2.1. Grundbegriffe der Steuerungstechnik</b>	<b>51</b>
2.1.1. Einführung in die Steuerungstechnik	51
2.1.2. Steuerungsarten	53
Führungssteuerung und Haltegliedsteuerung 54 – Programmsteuerungen 54 – Gegenüberstellung 56	
2.1.3. Graphische Darstellung von Steuerungsabläufen	57
Bewegungsdiagramme 57 – Funktionsdiagramme 59	
<b>2.2. Grundelemente logischer Schaltungen</b>	<b>61</b>
2.2.1. NICHT (Negation)	61
2.2.2. UND-NAND	62
2.2.3. ODER-NOR	65
2.2.4. Exklusiv-ODER	68
2.2.5. NOR und NAND – universelle Logikbausteine	70
2.2.6. Lehrbeispiele	73
<b>2.3. Schaltalgebra</b>	<b>75</b>
2.3.1. Grundregeln der Schaltalgebra	75
Inversionsgesetze 76 – Distributives Gesetz 77	
2.3.2. Karnaugh-Diagramme	82
für zwei Variable 83 – für drei Variable 84 – für vier Variable 86 – für fünf Variable 91	
2.3.3. Der Speicher als Element der Schaltalgebra	97
Statische Speicher 98 – Speicherelement aus NOR-Elementen 99	
2.3.4. Zählspeicher	101
Logikplan 102 – Aufbau eines Dualzählers 103 – Umsetzung 105 – Schrittschaltungen 105	
<b>2.4. Technische Ausführung von digitalen Steuerelementen</b>	<b>109</b>
2.4.1. Elektromechanische Bauteile	111
NICHT-Stufe 111 – ODER-NOR-Stufe 111 – UND-NAND-Stufe 112 – Exklusiv-ODER-Element 112	
Speicher (Flip-Flop) 113 – Zeitschalter 113 – Verzögerungsschaltung 114 – Impulswandler (Monoflop) 115 – Impulserzeuger 115	
2.4.2. Elektronische Bauteile	116
Transistor als Schalter 116 – NICHT-Stufe 118 – ODER-NOR-Stufe 118 – UND-NAND-Stufe 119 – Speicher (Flip-Flop) 119 – Zählspeicher (Untersetzer) 121 – Zeitrelais 121 – Taktgeber 123 – Integrierte Schaltungen (IC) 124	
2.4.3. Fluidik-Elemente	125
ODER-NOR-Stufe 126 – UND-NAND-Stufe 127 – Speicherelement (Flip-Flop) 127 – Impulswandler-Element 128 – Impulserzeugung mit Wandstrahlelementen 131 – Binärzähler, Schrittspeicher, Schieberegister 131	
2.4.4. Schaltlogik mit Hilfe des Pneumistors	133
ODER-Stufe 134 – UND-Stufe 135 – Speicherelement (Flip-Flop) 135	
2.4.5. Statische Fluidik-Elemente	136
UND-Element 136 – ODER-Element 137 – NICHT-Element 137 – Speicherelement (Flip-Flop) 138 – Verzögerungsschalter 139 – Zeitschalter mit einstellbarer Verzögerung 139 – Impulsformer 140 – Impulsgenerator 140	
2.4.6. Steuerschaltungen mit Fluidik-Elementen	141
2.4.7. Pneumatische Elemente	149
Darstellung nach DIN 24300 149 – NICHT-Stufe 151 – ODER-NOR-Stufe 151 – UND-NAND-Stufe 152 – Speicherschaltungen (Flip-Flop) 152 – Zählspeicher 154 – Verzögerungsschalter 155 – Impulswandler (Monoflop) 156 – Impulserzeuger 157 – Kaskadenschaltung 157 – Taktstufensteuerung 161 – Elektropneumatische Schaltungen 162 – Gegenüberstellung der Steuerungssysteme 164	

## Inhaltsverzeichnis

2.4.8. Steuerschaltungen mit pneumatischen- und Fluidik-Elementen . . . . .	165
2.4.9. Periphere Geräte digitaler Steuerungen . . . . .	170
Signaleingabe 171 – Signalumformung 181 – Pneumatische Signalanzeigeräte 186 – Pneumatische Stell- und Arbeitsglieder 186	
2.4.10. Komplexe Schaltungen, Fallbeispiele mit Lösungen . . . . .	187

## 3. Regelungstechnik

3.1. Grundbegriffe . . . . .	205
3.1.1. Regelung . . . . .	205
3.1.2. Regelung und Steuerung . . . . .	206
3.1.3. Regelgröße . . . . .	207
3.1.4. Erfassen, Umformen und Verstärken der Meßwerte . . . . .	208
3.1.5. Regelstrecke . . . . .	209
3.1.6. Stellen und Stelleinrichtungen . . . . .	209
Istwert und Sollwert 210 – Führungsgröße 211 – Störgrößen 212 – Regelabweichung und Regeldifferenz 213 – Bleibende und vorübergehende Abweichung 215 – Umkehrung des Wirkungssinnes 216	
3.1.7. Blocksinnbild . . . . .	217
Blockstrukturen 218 – Blocksaltbild des Reglers 219 – Blocksaltbild eines einfachen Regelkreises 219 – Bildzeichen 221	
3.1.8. Zeitverhalten der Regelkreisglieder . . . . .	224
Sprungantwort – Anstiegsantwort – Impulsantwort 225 – Übergangsverhalten und Übergangsfunktion 226	
3.2. Einteilung und Beurteilung der Regelstrecken . . . . .	227
3.2.1. Regelstrecken ohne Ausgleich . . . . .	228
Ideale und reale Regelstrecken mit Integralverhalten 229 – Übergangsverhalten 230	
3.2.2. Verzögerungsarme Regelstrecken mit Ausgleich . . . . .	231
Übertragungsbeiwert 232 – Mit Ausgleich 1. Ordnung 233 – Drosselglied und Speicherglied 234 – Speicher mit und ohne Ausgleich 235 – Zeitkonstante und Aufladeverhalten 236 – Entladeverlauf eines Speichergliedes 237 – Die Irrationalzahl 238 – Zeitkonstante und Übertragungsbeiwert 239	
3.2.3. Regelstrecken mit Totzeit . . . . .	240
3.2.4. Regelstrecke mit Ausgleich 2. Ordnung . . . . .	243
Beispielhafte Strecken 244 – Sprungantwort 245	
3.2.5. Regelstrecken mit Ausgleich höherer Ordnung . . . . .	246
Ordnungszahl und Regelbarkeit 247 – Diagnose 248	
3.3. Unstetige Regler . . . . .	251
3.3.1. Abgrenzung zwischen Regelstrecke und Regeleinrichtung . . . . .	252
3.3.2. Zweipunktregler . . . . .	253
Hysterese 254 – Zweipunktregler mit Totzeit 255 – Thermobegrenzer und Thermostate 256 – Schleichende Kontaktgabe und Sprungschaltverhalten 259 – Stabausdehnungsregler 260 – Kapillarrohr- Temperaturregler 261 – Zweipunktregler für Niveaustand 264	
3.3.3. Grundlast und Spitzenlast . . . . .	265
3.3.4. Meßwerkregler . . . . .	269
Mechanischer Abgriff 270 – Induktive Abtastung 271 – Fotoelektronische Abtastung 272	
3.3.5. Dreipunktregler . . . . .	273
Geschwindigkeits-Regelung 274 – Zweigruppen-Regler 275 – Dreieck-Stern-Aus-Regler 276	
3.3.6. Rückführung – Rückkopplung – Mitkopplung – Gegenkopplung . . . . .	278
Die thermische Rückführung 279 – Schaltvoreilung 280	

3.3.7.	Unstetige Regler im Regelkreis an Strecken ohne Verzugszeit . . . . .	281
	Zweipunktregler und Regelstrecke ohne Ausgleich 281 – Zweipunktregler an Regelstrecke 1. Ordnung 282 – Schaltdifferenz und Schaltfrequenz 283 – Zeitkonstante und Schaltfrequenz 284	
3.3.8.	Unstetige Regler an Strecken zweiter und höherer Ordnung . . . . .	285
	Leistungsüberschuß 286 – Zweipunktregler mit Leistungsüberschuß von 100 % 287 – Schwankungsbreite 288 – Änderung des Sollwertes 289 – Bleibende Regelabweichung beim Zweipunktregler 290 – Rückführung und Schwankungsbreite 291	
3.4.	<b>Stetige Regler</b> . . . . .	297
3.4.1.	Regler mit P-Verhalten . . . . .	298
	Proportional-Bereich 299 – Sprungantwort und Übertragungsbeiwert 300 – Kennlinie und Gleichung 301 – Bleibende Regelabweichung 302 – Präzision kontra Stabilität 303 – Stellbereich 304 – Proportionalbereich 305	
3.4.2.	Regler mit I-Verhalten . . . . .	307
	Stellgeschwindigkeit 308 – Sprungantwort 309 – Kennlinie 309 – Übertragungsbeiwert 310 – Stellgeschwindigkeit und Schwingungsdämpfung 311 – Schwingungsverhalten 312 – Gleichung 313 – P-Regler und I-Regler im Vergleich 314	
3.4.3.	Regler mit PI-Verhalten . . . . .	315
	Die Nachstellzeit 316 – Nachstellzeit und Übertragungsbeiwert 317 – Regelparameter $X_P$ 318 – Gleichung des PI-Reglers 319 – Einsatz der Reglertypen 320	
3.4.4.	Die Rückführung formt den Verlauf der Stellgröße . . . . .	323
3.4.5.	Vorhaltglieder kompensieren Verzögerungen . . . . .	325
	D-Anteil als Reglerbestandteil 326 – PID-Regler 327 – Verzögerte Rückführung 328 – Reihen- schaltung der verzögerten und der nachgebenden Rückführung 329	
3.4.6.	Die Kreisverstärkung des Regelkreises ohne I-Verhalten . . . . .	332
3.4.7.	Der Regelfaktor, ein Gradmesser für die bleibende Abweichung . . . . .	333
3.4.8.	Die Regelaufgabe bestimmt die Regelgüte . . . . .	336
3.5.	<b>Regelkreise in allen Lebensbereichen</b> . . . . .	337

## Anhang

Formelzeichen der Regelungstechnik . . . . .	339
Literaturverzeichnis . . . . .	340
Sachwortverzeichnis . . . . .	341