

Inhaltsverzeichnis

Vorwort XV

1	Messen 1
1.1	Grundlagen der Messtechnik 1
1.1.1	Themen und Lerninhalte 1
1.1.2	Grundbegriffe 1
1.1.2.1	Messen 1
1.1.2.2	Physikalische Größen und Einheiten 3
1.1.2.3	Messabweichungen 5
1.1.2.4	Führung von Messprotokollen 8
1.1.2.5	Graphische Darstellung in Koordinatensystemen 11
1.1.3	Wiederholungsaufgaben 15
1.2	Länge 16
1.2.1	Themen und Lerninhalte 16
1.2.2	Messverfahren 17
1.2.2.1	Messschieber 18
1.2.2.2	Bügelmessschraube 19
1.2.2.3	Messmikroskop 20
1.2.2.4	Parallelendmaße 21
1.2.3	Wiederholungsaufgaben 22
1.3	Fläche 23
1.3.1	Themen und Lerninhalte 23
1.3.2	Messverfahren 23
1.3.2.1	Auszählen 23
1.3.2.2	Methode der gleichbreiten Streifen 24
1.3.2.3	Auswiegen 24
1.3.2.4	Planimeter 25
1.3.3	Wiederholungsaufgaben 27
1.4	Masse und Kraft 28
1.4.1	Themen und Lerninhalte 28
1.4.2	Aufbau von Waagen 29
1.4.2.1	Mechanische Waagen 29
1.4.2.2	Federkraftmesser 29

1.4.2.3	Bestimmung der Masse mit einer Spiralfeder	30
1.4.2.4	Elektromechanische Waagen mit Kraftmessdosen	31
1.4.2.5	Elektronische Waagen	32
1.4.3	Anwendung von Waagen	32
1.4.4	Wiederholungsaufgaben	33
1.5	Druck	33
1.5.1	Themen und Lerninhalte	33
1.5.2	Messverfahren	34
1.5.2.1	Druckwaage	34
1.5.2.2	Flüssigkeitsdruckmesser	35
1.5.2.3	Rohrfedermanometer	37
1.5.2.4	Plattenfedermanometer	38
1.5.2.5	Federbelastete Druckmesser	39
1.5.2.6	Differenzdruckmanometer nach Barton	39
1.5.2.7	Elektrische Druckmesser	40
1.5.3	Arbeitsanweisung zur Kalibrierung von Manometern	41
1.5.4	Wiederholungsaufgaben	42
1.6	Durchfluss und Volumen	42
1.6.1	Themen und Lerninhalte	42
1.6.2	Durchflussmesser	44
1.6.2.1	Normblende	44
1.6.2.2	Schwebkörper-Durchflussmesser – Aufbau und Arbeitsanweisung	45
1.6.2.3	Magnetisch-induktiver Durchflussmesser (MID) – Aufbau und Arbeitsanweisung	48
1.6.2.4	Wirbeldurchflussmesser	51
1.6.2.5	Ultraschall-Durchflussmesser	52
1.6.2.6	Massedurchflussmesser nach dem Coriolis-Prinzip	54
1.6.3	Volumenmessung mit unmittelbaren Zählern	55
1.6.3.1	Ovalradzähler	55
1.6.3.2	Ringkolbenzähler	57
1.6.4	Volumenmessung mit mittelbaren Volumenzählern	58
1.6.4.1	Flügelradzähler	58
1.6.4.2	Woltmann-Zähler	59
1.6.5	Wiederholungsaufgaben	59
1.7	Füllstand	60
1.7.1	Themen und Lerninhalte	60
1.7.2	Unmittelbare Messverfahren für Flüssigkeiten	61
1.7.2.1	Peilstab und Messlatte	61
1.7.2.2	Schau- und Standgläser	61
1.7.2.3	Schwimmersysteme	62
1.7.3	Mittelbare Messverfahren für Flüssigkeiten	64
1.7.3.1	Messen des Bodendruckes	64
1.7.3.2	Einperlverfahren	65
1.7.3.3	Verdrängerverfahren	66
1.7.4	Mittelbare Messverfahren für Flüssigkeiten und Schüttgüter	67

1.7.4.1	Wägeverfahren	67
1.7.4.2	Kapazitive Füllstandsmessung – Funktionsweise und Arbeitsanweisung	68
1.7.4.3	Messung mit Schall, Ultraschall oder Radar	71
1.7.4.4	Messung durch Absorption radioaktiver Strahlung	73
1.7.5	Wiederholungsaufgaben	74
1.8	Dichte	74
1.8.1	Themen und Lerninhalte	74
1.8.2	Dichte flüssiger Körper	75
1.8.2.1	Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten mit dem Pyknometer – Grundlagen und Arbeitsanweisung	75
1.8.2.2	Bestimmung der Dichte mit der Mohrschen Waage – Aufbau und Arbeitsanweisung	76
1.8.2.3	Bestimmung der Dichte mit dem Aräometer (Spindel) – Grundlagen und Arbeitsanweisung	78
1.8.2.4	Bestimmung der Dichte nach der Schwingkörper-Methode – Grundlagen und Arbeitsanweisung	79
1.8.2.5	Kontinuierliche Dichtemessung von Flüssigkeiten	81
1.8.3	Dichte fester Körper	82
1.8.3.1	Bestimmung der Dichte durch Ausmessen und Wiegen – Grundlagen und Arbeitsanweisung	82
1.8.3.2	Bestimmung der Dichte von Festkörpern mit dem Pyknometer – Aufbau und Arbeitsanweisung	83
1.8.3.3	Bestimmung der Dichte mit der hydrostatischen Waage – Aufbau und Arbeitsanweisung	84
1.8.3.4	Schwebemethode	85
1.8.3.5	Bestimmung der Schütt- und Rüttichte – Grundlagen und Arbeitsanweisung	85
1.8.4	Dichte von Gasen	86
1.8.4.1	Wiegen	86
1.8.4.2	Gaswaage	86
1.8.5	Wiederholungsaufgaben	87
1.9	Temperatur	88
1.9.1	Themen und Lerninhalte	88
1.9.2	Flüssigkeitsthermometer	89
1.9.3	Flüssigkeitsfederthermometer	90
1.9.4	Metallausdehnungsthermometer	92
1.9.4.1	Stabausdehnungsthermometer	92
1.9.4.2	Bimetallthermometer	93
1.9.5	Widerstandsthermometer – Aufbau und Arbeitsanweisung zur Kalibrierung	94
1.9.6	Thermoelement – Aufbau und Arbeitsanweisung zur Kalibrierung	95
1.9.7	Optische Messverfahren	98
1.9.8	Sondermessverfahren	99
1.9.9	Wiederholungsaufgaben	101

1.10	Thermische Konstanten	101
1.10.1	Themen und Lerninhalte	101
1.10.2	Ausdehnung fester und flüssiger Körper	102
1.10.2.1	Bestimmung der Längenausdehnungszahl – Grundlagen und Arbeitsanweisung	103
1.10.2.2	Bestimmung der Raumausdehnungszahl von Flüssigkeiten – Grundlagen und Arbeitsanweisung	105
1.10.3	Kalorimetrische Messungen	108
1.10.3.1	Bestimmung der Wärmekapazität eines Kalorimeters – Grundlagen und Arbeitsanweisung	108
1.10.3.2	Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität von Metallen – Grundlagen und Arbeitsanweisung	110
1.10.3.3	Bestimmung der spezifischen Schmelzwärme von Eis – Grundlagen und Arbeitsanweisung	111
1.10.3.4	Bestimmung der spezifischen Lösungswärme von Salzen – Grundlagen und Arbeitsanweisung	112
1.10.3.5	Bestimmung des spezifischen Brennwertes	114
1.10.4	Wiederholungsaufgaben	115
1.11	Viskosität	117
1.11.1	Themen und Lerninhalte	117
1.11.2	Messverfahren	118
1.11.2.1	Bestimmung der Viskosität mit dem Ostwald-Viskosimeter – Aufbau und Arbeitsanweisung	119
1.11.2.2	Bestimmung der Viskosität mit dem Ubbelohde-Viskosimeter – Aufbau und Arbeitsanweisung	121
1.11.2.3	Bestimmung der Viskosität mit dem Höppler-Viskosimeter – Aufbau und Arbeitsanweisung	122
1.11.2.4	Rotationsviskosimeter	124
1.11.3	Wiederholungsaufgaben	126
1.12	Oberflächenspannung	126
1.12.1	Themen und Lerninhalte	126
1.12.2	Messverfahren	128
1.12.2.1	Bestimmung der Oberflächenspannung aus der Steighöhe in Kapillaren – Grundlagen und Arbeitsanweisung	128
1.12.2.2	Bestimmung der Oberflächenspannung nach der Tropfenmethode – Grundlagen und Arbeitsanweisung	130
1.12.3	Wiederholungsaufgaben	132
1.13	Feuchte	132
1.13.1	Themen und Lerninhalte	132
1.13.2	Messverfahren für Luftfeuchte	133
1.13.2.1	Psychrometer	133
1.13.2.2	Haarhygrometer	135
1.13.2.3	Kapazitive Hygrometer	135
1.13.3	Feuchtemessung in Feststoffen	136
1.13.4	Wiederholungsaufgaben	137

1.14	Elektrische Größen	137
1.14.1	Themen und Lerninhalte	137
1.14.2	Gefahren des elektrischen Stromes	139
1.14.3	Schaltzeichen der Elektrotechnik	140
1.14.4	Elektromagnetisch wirkende Messwerke	141
1.14.5	Strom- und Spannungsmessung	145
1.14.6	Widerstandsmessung	148
1.14.6.1	Allgemeines	148
1.14.6.2	Bestimmung von Widerständen nach dem Ohmschen Gesetz – Grundlagen und Arbeitsanweisung	150
1.14.6.3	Bestimmung von Widerständen mit der Wheatstone-Brücke – Grundlagen und Arbeitsanweisung	152
1.14.7	Bestimmung des elektrochemischen Äquivalents von Kupfer	154
1.14.8	Wiederholungsaufgaben	156
1.15	Signalverarbeitung	157
1.15.1	Themen und Lerninhalte	157
1.15.2	Einheitssignale	158
1.15.2.1	Pneumatisches Einheitssignal	158
1.15.2.2	Elektrisches Einheitssignal	160
1.15.3	Messumformer	161
1.15.4	Signalwandler	163
1.15.5	Signalumsetzer	164
1.15.6	Digitale Feldgeräte und Feldbus	165
1.15.7	Ausgabe- und Registriergeräte	165
1.15.7.1	Allgemeines	165
1.15.7.2	Anzeiger	166
1.15.7.3	Schreiber	167
1.15.7	Wiederholungsaufgaben	169
2	Regeln	171
2.1	Grundlagen der Regelungstechnik	171
2.1.1	Themen und Lerninhalte	171
2.1.2	Kennbuchstaben und Bildzeichen	171
2.1.3	Wiederholungsaufgabe	175
2.1.4.1	Allgemeines	175
2.1.4.2	Steuern, Steuerung	175
2.1.4.3	Regeln, Regelung	181
2.1.5	Arbeitsanweisungen zu Abschnitt 2.1.4	184
2.1.5.1	Allgemeines	184
2.1.5.2	Arbeitsanweisung für eine Druckregelung	185
2.1.5.3	Regelung einer Druck-Regelstrecke mit dem Simulator	187
2.1.6	Zeitverhalten von Regelkreisgliedern	190
2.1.7	Wiederholungsaufgaben	191
2.2	Regelstrecken	192
2.2.1	Themen und Lerninhalte	192

2.2.2	Einteilung der Regelstrecken nach ihrem Zeitverhalten	193
2.2.2.1	Regelstrecken ohne Ausgleich	193
2.2.2.2	Regelstrecken mit Ausgleich	195
2.2.2.3	Regelstrecken ohne Verzögerung	196
2.2.2.4	Regelstrecken mit einer Verzögerung	196
2.2.2.5	Regelstrecken mit zwei Verzögerungen	199
2.2.2.6	Regelstrecken mit vielen Verzögerungen	199
2.2.2.7	Regelstrecken mit Totzeit	200
2.2.3	Arbeitsanweisungen zu Abschnitt 2.2.2	201
2.2.3.1	Sprungantworten proportionaler Regelstrecken	201
2.2.3.2	Sprungantworten integraler Regelstrecken	203
2.2.3.3	Untersuchung des Zeitverhaltens eines Messföhlers	204
2.2.4	Einteilung der Regelstrecken nach Art der Regelgröße	205
2.2.4.1	Druck-Regelstrecken	205
2.2.4.2	Durchfluss-Regelstrecken	207
2.2.4.3	Temperatur-Regelstrecken	208
2.2.4.4	Füllstand-Regelstrecken	209
2.2.4.5	Regelstrecken mit Transportvorgängen	210
2.2.5	Arbeitsanweisungen zu Abschnitt 2.2.4	211
2.2.5.1	Temperatur- und Standregelung in einem Reaktionsgefäß	211
2.2.5.2	Durchfluss-Regelung	214
2.2.6	Wiederholungsaufgaben	217
2.3	Stellglieder	218
2.3.1	Themen und Lerninhalte	218
2.3.2	Grundlagen der Strömungstechnik	219
2.3.3	Kenndaten und Kennlinien von Stellventilen	221
2.3.4	Stellantriebe	224
2.3.5	Hilfseinrichtungen an Stellgeräten	226
2.3.6	Arbeitsanweisungen zu Abschnitt 2.3.3	227
2.3.6.1	Schließ- und Öffnungskennlinie eines Stellventils	227
2.3.6.2	Durchfluss-Kennlinie eines Stellventils	228
2.3.7	Wiederholungsaufgaben	229
2.4	Regler	230
2.4.1	Themen und Lerninhalte	230
2.4.2	Stetige Regler	231
2.4.2.1	P-Regler	232
2.4.2.2	I-Regler	234
2.4.2.3	PI-Regler	235
2.4.2.4	PID-Regler	238
2.4.3	Arbeitsanweisungen zu Abschnitt 2.4.2	241
2.4.3.1	Messung eines Füllstandes mit Auftriebskörper und Regelung mit P- und PI-Regler	241
2.4.4	Unstetige Regler	243
2.4.5	Arbeitsanweisung zu Abschnitt 2.4.4	244
2.4.6	Bauformen von Reglern	245

2.4.6.1	Regler ohne Hilfsenergie	245
2.4.6.2	Regler mit Hilfsenergie	246
2.4.6.3	Das Leitgerät	247
2.4.6.4	Der Einheitsregler	249
2.4.7	Wiederholungsaufgaben	251
2.5	Regelkreise	251
2.5.1	Themen und Lerninhalte	251
2.5.2	Stabilität und Regelgüte	252
2.5.3	Führungsverhalten des Regelkreises	253
2.5.4	Störverhalten des Regelkreises	253
2.5.5	Einstellen der günstigsten Verhältnisse in einem Regelkreis	254
2.5.6	Arbeitsanweisungen zu Abschnitt 2.5.5	254
2.5.6.1	Druckregelung an einem Behälter	254
2.5.6.2	Füllstandregelung in einem Behälter	257
2.5.6.3	Temperaturregelung bei einem Wärmetauscher	258
2.5.7	Regleroptimierung	260
2.5.7.1	Einstellung nach der Sprungantwort der Strecke	260
2.5.7.2	Einstellung nach Ziegler und Nichols am Stabilitätsrand	263
2.5.7.3	Einstellung nach der Probiermethode	264
2.5.8	Spezielle Regelkreise	265
2.5.9	Wiederholungsaufgaben	265
3	Steuern	267
3.1	Grundlagen der Steuerungstechnik	267
3.1.1	Themen und Lerninhalte	267
3.1.2	Signale	270
3.1.3	Systeme der Zahlendarstellung	272
3.1.3.1	Allgemeines	272
3.1.3.2	Dezimalsystem	272
3.1.3.3	Dualsystem	273
3.1.3.4	Hexadezimalsystem	274
3.1.4	Arbeitsanweisung zu Abschnitt 3.1.3	274
3.1.5	Wiederholungsaufgaben	276
3.2	Logische Funktionen	277
3.2.1	Themen und Lerninhalte	277
3.2.2	Grundfunktionen	277
3.2.2.1	Identität	277
3.2.2.2	Negation	278
3.2.2.3	UND-Funktion (AND-Funktion)	279
3.2.2.4	ODER-Funktion (OR-Funktion)	280
3.2.3	Erweiterte Funktionen	280
3.2.3.1	UND-NICHT-Funktion (NAND-Funktion)	280
3.2.3.2	ODER-NICHT-Funktion (NOR-Funktion)	281
3.2.3.3	EXKLUSIV-ODER-Funktion (XOR-Funktion)	282
3.2.4	Arbeitsanweisung zu Abschnitt 3.2.2 und 3.2.3	283

3.2.5	Wiederholungsaufgaben	283
3.3	Weitere Elemente der Steuerungstechnik	284
3.3.1	Themen und Lerninhalte	284
3.3.2	Speicher	284
3.3.2.1	RS-Speicher	284
3.3.2.2	Dynamische Speicher	286
3.3.3	Vorwärtszähler	288
3.3.4	Arbeitsanweisung zu Abschnitt 3.3.2 und 3.3.3	289
3.3.5	Wiederholungsaufgaben	289
3.4	Steuerungsarten	290
3.4.1	Themen und Lerninhalte	290
3.4.2	Verknüpfungssteuerungen	290
3.4.2.1	Verknüpfungssteuerungen mit logischen Funktionen	290
3.4.2.2	Verknüpfungssteuerungen mit anderen Steuerungselementen	297
3.4.2.3	Arbeitsanweisung zu Abschnitt 3.4.2.1 und 3.4.2.2	299
3.4.3	Ablaufsteuerung	300
3.4.3.1	Allgemeines	300
3.4.3.2	Funktionsplan einer Ablaufsteuerung	300
3.4.3.3	Aufbau einer Ablaufsteuerung	301
3.4.3.4	Beispiele für Ablaufsteuerungen	302
3.4.4	Arbeitsanweisung zum Aufbau einer Ablaufsteuerung	304
3.4.5	Wiederholungsaufgaben	306
3.5	Speicherprogrammierbare Steuerung	308
3.5.1	Themen und Lerninhalte	308
3.5.2	Aufbau einer SPS	309
3.5.3	Programmierung einer SPS	312
3.5.3.1	Kontaktplan	312
3.5.3.2	Funktionsplan	313
3.5.4	Bedienfunktionen der A020	315
3.5.4.1	Programm eingeben	316
3.5.4.2	Programm ändern	317
3.5.4.3	Programm anzeigen	319
3.5.4.4	Signale anzeigen	320
3.5.4.5	Suchlauf	321
3.5.4.6	Zeit- und Zählwerte eingeben	322
3.5.4.7	Übersicht der Bedienfunktionen	323
3.5.4.8	Arbeitsanweisung zum Bedienen einer SPS	324
3.5.5	Aufbau einer Anweisungsliste	324
3.5.5.1	Allgemeines	324
3.5.5.2	Grundregeln zum Erstellen einer Anweisungsliste	327
3.5.5.3	Identität	327
3.5.5.4	Negation	327
3.5.5.5	UND-Funktion	328
3.5.5.6	ODER-Funktion	328
3.5.5.7	Merker	328

3.5.5.8	RS-Speicher	329
3.5.5.9	Einschaltverzögerung	330
3.5.5.10	Zähler	331
3.5.5.11	Taktgeber	331
3.5.5.12	Arbeitsanweisung zum Erstellen einer Anweisungsliste	332
3.5.6	Wiederholungsaufgaben	332

4 Prozessleittechnik 335

4.1	Themen und Lerninhalte	335
4.2	Einsatz von Prozessleitsystemen	335
4.3	Aufbau eines Prozessleitsystems	338
4.3.1	Ein- und Ausgangsebene (E/A-Ebene)	338
4.3.2	Prozessnahe Komponente PNK	339
4.3.3	Anzeige- und Bedienkomponente ABK	340
4.4	Aufgaben eines Prozessleitsystems	341
4.4.1	Überwachen	341
4.4.2	Regeln	344
4.4.3	Steuern	345
4.5	Darstellung im Prozessleitsystem	347
4.5.1	Allgemeines	347
4.5.2	Übersichtsbild	348
4.5.3	Gruppenbild	348
4.5.4	Kurvendarstellung	350
4.5.5	Freie Grafikbilder	351
4.6	Bedienung	352
4.7	Wiederholungsaufgaben	353

5 Sicherheitsmaßnahmen 355

5.1	Themen und Lerninhalte	355
5.2	Explosionsschutz	355
5.2.1	Grundlagen	355
5.2.2	Ex-Zonen	356
5.2.3	Zündschutzarten	357
5.2.4	Sicherheitsbarrieren	358
5.3	Melde- und Alarmsysteme	358
5.4	Wiederholungsaufgaben	360

6 Literaturhinweise 361**7 Quellen nachweise** 363**Register** 365