

---

<b>Vorwort</b> .....	<b>13</b>
<b>Kapitel 1 • Elektromotoren</b> .....	<b>14</b>
1.1 Überblick .....	14
1.2 Arten von Elektromotoren .....	14
1.3 Bürstenbehaftete Gleichstrommotoren .....	15
1.3.1 Permanentmagnet-Gleichstrom-Motoren .....	17
1.3.2 Reihenschluss-Gleichstrom-Motoren .....	18
1.3.3 Nebenschluss-Gleichstrom-Motoren .....	19
1.3.4 Doppelschluss- oder Verbund-Gleichstrom-Motoren .....	19
1.3.5 Fremderregte Gleichstrom-Motoren .....	19
1.3.6 Servomotor .....	20
1.3.7 Schrittmotoren .....	20
1.4 Bürstenlose Gleichstrom-Motoren .....	22
1.5 Motorauswahl .....	22
1.5.1 Drehmoment .....	22
1.5.2 Geschwindigkeit .....	24
1.5.3 Genauigkeit .....	24
1.5.4 Betriebsspannung .....	24
1.5.5 Kosten .....	25
1.5.6 Physische Größe und Gewicht .....	25
1.6 Übertragungsfunktion eines bürstenbehafteten DC-Motors .....	25
1.7 Drehmoment - Geschwindigkeitseigenschaften .....	28
1.8 Zusammenfassung .....	28
<b>Kapitel 2 • Einfache Gleichstrommotor-projekte</b> .....	<b>29</b>
2.1 Überblick .....	29
2.2 PROJEKT 1 - Motor EIN/AUS-Steuerung .....	29
2.2.1 Blockschaltbild .....	29
2.2.2 Schaltplan - Arduino Uno .....	30
2.2.3 Schaltplan - Raspberry Pi .....	31
2.2.4 Programmlisting - Arduino Uno .....	32
2.2.5 Programmlisting - Raspberry Pi .....	33

2.2.6 Verwendung eines MOSFET-Schalters . . . . .	34
2.2.7 Verwendung eines Relais . . . . .	35
2.3 PROJEKT 2 - Zweistufiger Motordrehzahlsteller . . . . .	36
2.3.1 Blockschaltbild . . . . .	37
2.3.2 Schaltplan - Arduino Uno . . . . .	38
2.3.3 Schaltplan - Raspberry Pi . . . . .	39
2.3.4 Programmlisting - Arduino Uno . . . . .	40
2.3.5 Programmlisting - Raspberry Pi . . . . .	43
2.4 PROJEKT 3 - Variieren der Motordrehzahl . . . . .	44
2.4.1 Blockschaltbild . . . . .	45
2.4.2 Schaltplan - Arduino Uno . . . . .	45
2.4.3 Schaltplan - Raspberry Pi . . . . .	46
2.4.4 Programmlisting - Arduino Uno . . . . .	48
2.4.5 Programmlisting - Raspberry Pi . . . . .	49
2.5 PROJEKT 4 - Änderung der Motordrehrichtung . . . . .	53
2.5.1 Blockschaltbild . . . . .	53
2.5.2 Schaltplan - Arduino Uno . . . . .	56
2.5.3 Schaltplan - Raspberry Pi . . . . .	57
2.5.4 Programmlisting - Arduino Uno . . . . .	58
2.5.5 Programmlisting - Raspberry Pi . . . . .	60
2.6 PROJEKT 5 - Die Verwendung einer integrierten H-Brückenschaltung . . . . .	62
2.6.1 Blockschaltbild . . . . .	62
2.6.2 Schaltplan - Arduino Uno . . . . .	63
2.6.3 Schaltplan - Raspberry Pi . . . . .	64
2.6.4 Programmauflistung - Arduino Uno . . . . .	66
2.6.5 Programmlisting - Raspberry Pi . . . . .	67
2.7 PROJEKT 6 - Drehzahl- und Richtungsregelung mit integrierter H-Brückenschaltung	69
2.7.1 Blockschaltbild . . . . .	69
2.7.2 Schaltplan - Arduino Uno . . . . .	72
2.7.3 Schaltplan - Raspberry Pi . . . . .	73
2.7.4 Programmlisting - Arduino Uno . . . . .	74
2.7.5 Programmlisting - Raspberry Pi . . . . .	75

---

2.8 PROJEKT 7 - Verwendung eines Drehgebers – Drehzahlanzeige des Motors (Arduino Uno) . . . . .	77
2.8.1 Blockschaltbild . . . . .	77
2.8.2 Schaltplan . . . . .	80
2.8.3 Programm-Listing . . . . .	81
2.9 PROJEKT 8 - Anzeige der Motordrehzahl auf LCD (Arduino Uno) . . . . .	84
2.9.1 Blockschaltbild . . . . .	84
2.9.2 Schaltplan . . . . .	84
2.9.3 Programmlisting . . . . .	85
2.10 PROJEKT 9 - Identifizierung des Gleichstrommotors (Arduino Uno) . . . . .	89
2.10.1 Blockschaltbild . . . . .	89
2.10.2 Schaltplan . . . . .	89
2.10.3 Programmlisting . . . . .	89
2.11 PROJEKT 10 - PID-Drehzahlregelung eines Gleichstrommotors . . . . .	92
2.11.1 Blockschaltbild . . . . .	92
2.11.2 Schaltplan . . . . .	93
2.11.3 Programmlisting . . . . .	94
2.12 PROJEKT 11 - Verwendung eines Drehgebers - Anzeige der Drehzahl eines Motors (Raspberry Pi Zero W) . . . . .	98
2.12.1 Blockschaltbild . . . . .	98
2.12.2 Schaltplan . . . . .	99
2.12.3 Programmlisting . . . . .	100
2.13 PROJEKT 12 - Anzeige der Motordrehzahl auf LCD (Raspberry Pi Zero W) . . . . .	102
2.13.1 Blockschaltbild . . . . .	102
2.13.2 Schaltplan . . . . .	102
2.13.3 Programmauflistung . . . . .	103
2.14 PROJEKT 13 - Verwendung von Timer-Interrupts zur Berechnung der Motordrehzahl (Arduino Uno) . . . . .	107
2.14.1 Blockschaltbild . . . . .	107
2.14.2 Schaltplan . . . . .	107
2.8.3 Programmlisting . . . . .	107
2.15 PROJEKT 14 - Mobile Robotersteuerung (Arduino Uno) . . . . .	111

2.15.1	Blockschaltbild	111
2.15.2	Schaltplan	113
2.15.3	Programmlisting	114
2.16	PROJEKT 15 - Hindernis vermeidender Roboter (Arduino Uno)	118
2.16.1	Blockschaltbild	118
2.16.2	Schaltplan	119
2.16.3	Programmlisting	121
2.17	PROJEKT 16 - Nachlaufroboter (Arduino Uno)	124
2.17.1	Blockschaltbild	124
2.17.2	Schaltplan	126
2.17.3	Programmlisting	128
2.18	PROJECT 17 - Mobile Robotersteuerung (Raspberry Pi Zero W)	132
2.18.1	Blockschaltbild	132
2.18.2	Schaltplan	133
2.18.3	Programmlisting	134
2.19	PROJEKT 18 - Hindernis vermeidender Roboter (Raspberry Pi Zero W)	139
2.19.2	Schaltplan	139
2.19.3	Programmauflistung	141
2.20	Zusammenfassung	144
<b>Kapitel 3 • Einfache Schrittmotor-Projekte</b>		<b>145</b>
3.1	Überblick	145
3.1.1	Unipolare Schrittmotoren	145
3.1.2	Bipolare Schrittmotoren	146
3.1.3	Geschwindigkeit eines Schrittmotors	147
3.1.4	Bewegung der Motorwelle	148
3.1.5	Motordrehzeit	148
3.2	PROJEKT 1 – Basis Schrittmotorsteuerung	148
3.2.1	Blockdiagramm	148
3.2.2	Schaltplan (Arduino Uno)	149
3.2.3	Schaltplan (Raspberry Pi Zero W)	151
3.2.4	Steuern des Schrittmotors	152

---

3.2.5 Programmlisting (Arduino Uno) . . . . .	153
3.2.6 Programm (Raspberry Pi Zero W) . . . . .	161
3.3 PROJEKT 2 - Thermometer mit Zifferblatt . . . . .	164
3.3 .1 Blockdiagramm . . . . .	164
3.3.2 Schaltplan (Arduino Uno) . . . . .	166
3.3.3 Schaltplan (Raspberry Pi) . . . . .	166
3.3.4 Programmlisting (Arduino Uno) . . . . .	167
3.3.5 Programmlisting (Raspberry Pi Zero W) . . . . .	169
3.4 Zusammenfassung . . . . .	174
<b>Kapitel 4 • Einfache Servomotor-Projekte . . . . .</b>	<b>175</b>
4.1 Überblick . . . . .	175
4.2 PROJEKT 1 - Grundlegende Servomotor-Steuerung (Arduino Uno) . . . . .	175
4.2.1 Blockschaltbild . . . . .	176
4.2.2 Schaltplan . . . . .	176
4.2.3 Programmlisting . . . . .	177
4.3 PROJEKT 2 - Steuerung des Servomotors mit einem Potentiometer (Arduino Uno) . . . . .	180
4.3.1 Blockschaltbild . . . . .	180
4.3.2 Schaltplan . . . . .	180
4.3.3 Programmlisting . . . . .	180
4.4 PROJEKT 3 - Grundlegende Servomotorsteuerung (Raspberry Pi Zero W) . . . . .	182
4.4.1 Blockschaltbild . . . . .	183
4.4.2 Schaltplan . . . . .	183
4.4.3 Programmlisting . . . . .	183
4.5 PROJEKT 4 - Bewegen der Motorwelle auf einen bestimmten Winkel (Raspberry Pi Zero W) . . . . .	186
4.5.1 Programmlisting . . . . .	187
4.6 Zusammenfassung. . . . .	188
<b>Kapitel 5 • Roboter-Fernsteuerung über Bluetooth mit Mobiltelefon und Arduino . . . . .</b>	<b>189</b>
5.1 Überblick . . . . .	189
5.2.1 Blockschaltbild . . . . .	189
5.2.2 Schaltplan . . . . .	190

5.2.3 Android Smartphone Apps . . . . .	191
5.2.4 Paarung des HC-06 . . . . .	192
5.2.5 Steuerung des Roboters . . . . .	193
5.2.6 Programmlisting . . . . .	195
5.3 Zusammenfassung. . . . .	201
<b>Kapitel 6 • Roboter-Fernsteuerung über Wi-Fi mit Smartphone und Arduino Uno . . . . .</b>	<b>202</b>
6.1 Überblick . . . . .	202
6.2 PROJEKT 1 - Wi-Fi-basierte Roboter-Fernsteuerung . . . . .	202
6.2.1 Blockschaltbild . . . . .	202
6.2.2 Schaltplan . . . . .	203
6.2.3 UDP oder TCP ? . . . . .	205
6.2.4 Android Smartphone-Apps . . . . .	205
6.2.5 Steuerung des Roboters . . . . .	206
6.2.6 Programmlisting . . . . .	207
6.3 Zusammenfassung. . . . .	214
<b>Kapitel 7 • Roboter-Fernsteuerung über Wi-Fi mit Smartphone und Raspberry Pi Zero W . . . . .</b>	<b>215</b>
7.1 Überblick . . . . .	215
7.2 PROJEKT 1 - Wi-Fi-basierte Roboter Fernsteuerung . . . . .	215
7.2.1 Blockdiagramm . . . . .	215
7.2.2 Schaltplan . . . . .	215
7.2.3 Programmlisting . . . . .	216
7.3 Zusammenfassung . . . . .	223
<b>Kapitel 8 • Roboter-Fernsteuerung über Bluetooth mit Smartphone und Raspberry Pi Zero W . . . . .</b>	<b>224</b>
8.1 Überblick . . . . .	224
8.2 PROJEKT 1 - Bluetooth-basierte Roboter-Fernsteuerung . . . . .	224
8.2.1 Blockdiagramm . . . . .	224
8.2.2 Schaltplan . . . . .	224
8.2.3 Bluetooth auf Raspberry Pi Zero W aktivieren. . . . .	224
8.2.4 Python-Bluetooth-Bibliothek. . . . .	227

---

8.2.5 Zugriff vom Mobiltelefon aus . . . . .	227
8.2.6 Programmlisting . . . . .	227
8.3 Zusammenfassung. . . . .	233
<b>Anhang A • Raspberry Pi Zero W . . . . .</b>	<b>234</b>
A.1 Die Hardware . . . . .	234
A.2 Einrichten des Raspberry Pi Zero W . . . . .	235
A.3 Installation des Betriebssystems auf einer SD-Karte . . . . .	235
A.4 Starten des RASPBERRY Pi Zero W . . . . .	239
A.5 WiFi und Fernzugriff einrichten . . . . .	240
A.6 Abschalten oder Neustart im GUI-Modus . . . . .	246
A.7 Fernzugriff auf den Desktop . . . . .	247
A.8 Bluetooth aktivieren. . . . .	249
A.9 Erstellen und Ausführen eines Python-Programms. . . . .	250
A.10 GPIO-Bibliothek. . . . .	252
A.10.1 Pin-Nummerierung . . . . .	253
A.10.2 Kanal- (I/O-Port-Pin-) Konfiguration . . . . .	253
<b>Anhang B • Liste Der Komponenten . . . . .</b>	<b>257</b>
<b>Anhang C • Arduino Uno Anschlussbelegung . . . . .</b>	<b>258</b>
<b>Anhang D • Raspberry Pi Zero W Anschlussbelegung . . . . .</b>	<b>259</b>
<b>Anhang E • Verwenden der gpiozero-Bibliothek . . . . .</b>	<b>260</b>
<b>Index . . . . .</b>	<b>263</b>