

# Auf einen Blick

1	Einleitung: Was dieses Buch leistet, und was Sie erwartet .....	23
2	Einführung in die elektronischen Komponenten .....	27
3	Eine Übersicht über die benötigten Werkzeuge .....	45
4	Der richtige Antrieb für das Roboter-Auto.....	51
5	Das Chassis .....	61
6	Grundlagen der Elektrizitätslehre.....	79
7	Verkabelung der elektronischen Komponenten.....	85
8	Das Raspberry-Pi-Betriebssystem installieren.....	99
9	Befehle und Programme im Terminal-Fenster .....	109
10	Softwareinstallation und -konfiguration.....	119
11	Programmieren mit Scratch.....	137
12	Programmieren mit Python .....	145
13	Geisterfahrer aufgepasst! Wir sorgen für Durchblick.....	159
14	Webinterface-Steuerung über WLAN.....	167
15	Den Autostart der Programme konfigurieren .....	187
16	Mit diesen Komponenten fahren Sie autonom.....	199
17	Anbau und Verkabelung der elektronischen Komponenten.....	213
18	Neue Software für das autonome Fahren.....	231
19	Bringen Sie die Sensoren und Aktoren zum Laufen.....	241
20	Einführung in die parallele Programmierung mit Python.....	277
21	Programme für autonomes Fahren.....	311
22	Pimpen Sie Ihr Roboter-Auto .....	345
23	Weitere Ideen aus der Welt der Modell-Roboter-Autos .....	359

# Inhalt

Materialien zum Buch .....	14
Geleitwort .....	15
Vorwort .....	19
<b>1 Einleitung: Was dieses Buch leistet, und was Sie erwartet</b> .....	<b>23</b>
<b>TEIL I Bauen Sie Ihr eigenes ferngesteuertes Roboter-Auto mit dem Raspberry Pi!</b>	
<b>2 Das etwas andere Kfz-Praktikum: Einführung in die elektronischen Komponenten</b> .....	<b>27</b>
<b>2.1 Komponenten für ein ferngesteuertes Roboter-Auto</b> .....	<b>27</b>
<b>2.2 Raspberry Pi: Der Single-Board-Computer</b> .....	<b>29</b>
2.2.1 Das Gehirn des Roboter-Autos: Warum der Raspberry Pi zum Einsatz kommt .....	29
2.2.2 Der Raspberry Pi 4 Modell B und seine Familienmitglieder .....	32
2.2.3 Das kleinste Familienmitglied: Die Raspberry-Pi-ZERO-Familie .....	32
<b>2.3 Das Raspberry-Pi-Kameramodul</b> .....	<b>34</b>
<b>2.4 Motortreiber</b> .....	<b>36</b>
<b>2.5 Getriebemotoren</b> .....	<b>37</b>
<b>2.6 Step-down-Converter</b> .....	<b>38</b>
<b>2.7 Batteriehalter und Akkus</b> .....	<b>39</b>
2.7.1 Die Akku-Notlösung .....	39
<b>2.8 Kabel</b> .....	<b>40</b>
2.8.1 Jumper-Kabel .....	40
2.8.2 Zweiadriges Kupferkabel .....	41
2.8.3 USB-C-Kabel .....	41
2.8.4 Mini-Tamiya-Kabel .....	41
<b>2.9 Die richtige microSD-Karte</b> .....	<b>42</b>
<b>2.10 Optional, aber unabhängiger trotz Kabel: Ein Netzteil</b> .....	<b>42</b>

2.11	Optional, aber gut für weite Strecken: Ein WLAN-USB-Modul .....	43
2.12	Optional, aber ideal für die Montage: Raspberry-Pi-Abstandshalter .....	44
<b>3</b>	<b>Schrauber aufgepasst: Eine Übersicht über die benötigten Werkzeuge</b>	<b>45</b>
3.1	Lötstation .....	46
3.2	Löten .....	47
3.2.1	Lötzubehör .....	47
3.2.2	Optionales Zubehör: Die »Dritte Hand« .....	49
<b>4</b>	<b>Besseres Drehmoment? Der richtige Antrieb für das Roboter-Auto</b>	<b>51</b>
4.1	Grundlagen zum Elektromotor .....	51
4.1.1	Gleichstrommotor .....	51
4.1.2	Der Servomotor .....	53
4.1.3	Bürstenloser Gleichstrommotor .....	54
4.1.4	Schrittmotoren .....	54
4.1.5	Elektromotoren und das Drehmoment .....	55
4.2	Gar nicht so banal: Räder .....	57
4.2.1	Rad-Typen .....	57
4.2.2	Radbefestigung .....	59
<b>5</b>	<b>Damit es mit dem Blick unter die Haube klappt: Das Chassis</b>	<b>61</b>
5.1	Ein Chassis aus Pappe .....	61
5.1.1	Cardboard-Chassis: Modellzeichnung .....	63
5.1.2	Einbau der Getriebemotoren und der Elektronik .....	66
5.2	Ein Chassis aus LEGO®-Bausteinen .....	68
5.2.1	Aufbau der Getriebemotorhalterung .....	69
5.2.2	Fahrgestell montieren .....	71
5.3	Ein Chassis mithilfe eines Acrylglas-Bausatzes .....	74

<b>6</b>	<b>Benzin war gestern: Grundlagen der Elektrizitätslehre</b>	<b>79</b>
<b>6.1</b>	<b>Elektrische Gesetze und Formeln</b>	<b>79</b>
6.1.1	Die Reihenschaltung	79
6.1.2	Die Parallelschaltung	80
6.1.3	Ohmsches Gesetz	81
6.1.4	Elektrische Leistung	81
<b>6.2</b>	<b>Beispielrechnung zu den Grundlagen der Elektrizitätslehre</b>	<b>81</b>
6.2.1	Beispiel Reihenschaltung	82
6.2.2	Beispiel Parallelschaltung	82
6.2.3	Beispiel LED-Vorwiderstand	83
<b>7</b>	<b>Lange Leitung? Manchmal besser! Verkabelung der elektronischen Komponenten</b>	<b>85</b>
<b>7.1</b>	<b>Stromversorgung der elektronischen Komponenten</b>	<b>86</b>
<b>7.2</b>	<b>Motortreiber und Raspberry Pi logisch verbinden</b>	<b>88</b>
7.2.1	Die Ausrichtung der 40-Pin-Stiftleiste des Raspberry Pi	90
7.2.2	Übersicht über die Verkabelung des Motortreibers mit den GPIO-Pins	92
<b>7.3</b>	<b>Verkabelung der Getriebemotoren</b>	<b>94</b>
<b>7.4</b>	<b>Getriebemotoren mit dem Motortreiber verbinden</b>	<b>96</b>
<b>8</b>	<b>Das richtige Betriebssystem macht's! – Das Raspberry-Pi-Betriebssystem installieren</b>	<b>99</b>
<b>8.1</b>	<b>Das Betriebssystem auf microSD-Karte vorbereiten</b>	<b>100</b>
8.1.1	Schritt 1: Download der Image-Datei	100
8.1.2	Schritt 2: Image auf microSD-Karte aufspielen	101
<b>8.2</b>	<b>Raspberry Pi booten</b>	<b>102</b>
<b>8.3</b>	<b>Raspbian-Spracheinstellungen</b>	<b>104</b>
<b>8.4</b>	<b>WLAN einrichten</b>	<b>105</b>

<b>9</b>	<b>Nerds aufgepasst! Befehle und Programme im Terminal-Fenster</b>	<b>109</b>
9.1	Das Terminal-Fenster .....	109
9.2	Temporäre Administratorrechte .....	110
9.3	Im Filesystem navigieren .....	111
9.4	Den Texteditor Nano kennenlernen .....	112
9.5	Zugriffsrechte ändern .....	114
9.6	Neustarten und Herunterfahren des Raspberry Pi .....	115
9.7	Die IP-Adresse des Raspberry Pi anzeigen .....	116
9.8	Dateiverknüpfung setzen .....	117
9.9	Die Programmausgabe in eine ».log«-Datei umleiten .....	117
9.10	Wget – Dateien aus dem Internet herunterladen .....	117
<b>10</b>	<b>Nur so kommt das Ding ans Laufen: Softwareinstallation und -konfiguration</b>	<b>119</b>
10.1	Das Betriebssystem und die Raspberry-Pi-Firmware aktualisieren .....	121
10.2	Den Midnight Commander installieren .....	123
10.3	Real VNC Server konfigurieren und Viewer installieren .....	125
10.4	PuTTY installieren .....	128
10.5	Notepad++ installieren .....	130
10.6	Samba Server installieren .....	131
10.7	Python-Erweiterungen installieren .....	133
10.8	Flask-Web-Framework .....	134
10.9	Video-Streaming-Server installieren .....	134
10.10	NTP-Zeit-Dienst einrichten .....	135
<b>11</b>	<b>Einfacher geht's nicht: Programmieren mit Scratch</b>	<b>137</b>
11.1	Die Scratch-Grundlagen .....	138
11.2	Ein Scratch-Programmbeispiel für Ihr Roboter-Auto .....	140
11.3	Steuerungsprogramm für das Roboter-Auto in Scratch .....	142

<b>12</b>	<b>Fahren ohne Schlangenlinien: Programmieren mit Python</b>	145
12.1	Kurze Einführung in Python .....	145
12.2	Das Steuerungsprogramm in Python .....	146
12.2.1	Das Steuerungsprogramm für den Motortreiber in Python .....	147
12.2.2	Steuerungsprogramm für das Roboter-Auto in Python .....	153
12.3	Die Roboter-Auto-Steuerung starten .....	158
<b>13</b>	<b>Geisterfahrer aufgepasst! Wir sorgen für Durchblick</b>	159
13.1	Das Google-Auto hat's – und unseres auch: Die Raspberry-Pi-Kamera installieren .....	159
13.1.1	Kameramodul aktivieren .....	159
13.1.2	Bilder aufnehmen .....	161
13.1.3	Videos aufnehmen .....	161
13.2	Mehr als eine bloße Dash-Cam: Live-Video-Stream .....	161
13.2.1	Kernelmodul laden .....	162
13.2.2	mjpg-streamer konfigurieren .....	163
13.2.3	mjpg-streamer starten .....	165
13.2.4	Die Videoauflösung in mjpg-streamer anpassen .....	166
<b>14</b>	<b>Kommuniziere, kommuniziere: Webinterface- Steuerung über WLAN</b>	167
14.1	Das Web-Framework Flask .....	168
14.2	Die Webinterface-Steuerung programmieren .....	168
14.3	Das Webinterface starten .....	185
<b>15</b>	<b>Start-Automatik: Den Autostart der Programme konfigurieren</b>	187
15.1	Ein Start-Skript für den mjpg-streamer anlegen .....	188
15.2	Den mjpg-streamer-Dienst einrichten .....	190
15.2.1	Den Service manuell starten .....	191

<b>15.3</b>	<b>Den RobotControlWeb-Dienst einrichten</b>	191
15.3.1	Das »web-control-start.sh«-Skript erstellen	192
15.3.2	Den Cron-Daemon anpassen	192
<b>15.4</b>	<b>Was Sie im ersten Teil des Buches erreicht haben</b>	195

## TEIL II Hände weg vom Steuer: Lassen Sie Ihr Roboter-Auto autonom fahren

<b>16</b>	<b>Pfadfinder elektronisch: Mit diesen Komponenten fahren Sie autonom</b>	199
<b>16.1</b>	<b>Komponenten für das autonome Fahren</b>	199
<b>16.2</b>	<b>Übersicht über die Werkzeuge für Teil 2 des Buches</b>	201
<b>16.3</b>	<b>Raspberry Pi Sense HAT</b>	201
16.3.1	Gyroskop	202
16.3.2	Magnetometer	202
16.3.3	Beschleunigungssensor	203
16.3.4	Temperatursensor	203
16.3.5	Luftdrucksensor	203
16.3.6	Luftfeuchtesensor	203
16.3.7	LED-Matrix	203
16.3.8	Sense-HAT-Joystick	203
<b>16.4</b>	<b>Einführung in den I<sup>2</sup>C-Datenbus</b>	204
16.4.1	Der I <sup>2</sup> C-Bus des Raspberry Pi	205
16.4.2	Grove-I <sup>2</sup> C-Hub	206
16.4.3	Optional, aber gut zu wissen: Der bidirektionale I <sup>2</sup> C-Pegelwandler	206
<b>16.5</b>	<b>Time-of-Flight-Abstandssensor</b>	208
<b>16.6</b>	<b>GPS-Empfänger</b>	210
<b>16.7</b>	<b>Servocontroller PCA9685</b>	211
<b>16.8</b>	<b>Port Doubler</b>	212

<b>17</b>	<b>Achtung, Kabelsalat: Anbau und Verkabelung der elektronischen Komponenten</b>	213
<b>17.1</b>	<b>Befestigung der elektronischen Komponenten am Roboter-Auto</b>	213
17.1.1	Raspberry Pi mit Port Doubler und Sense HAT	214
17.1.2	Servocontroller, Step-down-Converter und Motortreiber befestigen	215
17.1.3	Befestigen der Time-of-Flight-Abstandssensoren	215
17.1.4	I <sup>2</sup> C-Hub befestigen	216
17.1.5	Raspberry-Pi-Kamera befestigen	217
17.1.6	Den GPS-Empfänger befestigen	218
<b>17.2</b>	<b>Die elektronischen I<sup>2</sup>C-Komponenten im Roboter-Auto verkabeln</b>	220
17.2.1	Den I <sup>2</sup> C-Hub mit dem Raspberry-Pi-I <sup>2</sup> C-Bus verbinden	221
17.2.2	Verbindung des Servocontrollers PCA9685 mit dem I <sup>2</sup> C-Hub	222
17.2.3	Die beiden ToF-Sensoren mit dem I <sup>2</sup> C-Hub verbinden	223
<b>17.3</b>	<b>Die weiteren elektronischen Komponenten im Roboter-Auto verkabeln</b>	225
17.3.1	Den GPS-Empfänger am USB-Anschluss anschließen	225
17.3.2	Motortreiber L298N am Servocontroller anschließen für das PWM-Signal	226
17.3.3	Motortreiber am Raspberry Pi anschließen für die Drehrichtung	227
17.3.4	Anschließen des Pan-Tilt-Kits am Servocontroller	228
17.3.5	Anschließen der Stromversorgung	229
<b>18</b>	<b>Upgrade für Ihr Roboter-Auto: Neue Software für das autonome Fahren</b>	231
<b>18.1</b>	<b>I<sup>2</sup>C-Bus-Software installieren</b>	231
18.1.1	Fehlersuche am I <sup>2</sup> C-Bus	233
<b>18.2</b>	<b>Octave installieren</b>	234
<b>18.3</b>	<b>GPS-Software installieren und testen</b>	234
18.3.1	Funktionstest des GPS-Empfängers	234
18.3.2	gpsd-Dienst starten	236
<b>18.4</b>	<b>NTP-Zeit-Dienst mit GPS-Unterstützung</b>	237
<b>18.5</b>	<b>Servocontroller-Software installieren</b>	238
<b>18.6</b>	<b>Installation der VL53L1X-Python-Software</b>	239

<b>19</b>	<b>Auslesen, verstehen und programmieren: Bringen Sie die Sensoren und Aktoren zum Laufen</b>	241
<b>19.1</b>	<b>Raspberry Pi Sense HAT auswerten und programmieren</b>	241
19.1.1	Das Python-Programm für das Gyroskop	242
19.1.2	Das Python-Programm für das Magnetometer	246
19.1.3	Das Python-Programm für die LED-Matrix	252
<b>19.2</b>	<b>Python-Programm zur Verarbeitung der GPS-Koordinaten</b>	259
<b>19.3</b>	<b>Python-Programme für den Time-of-Flight-Sensor</b>	262
19.3.1	Programm für den Lesezugriff auf den ToF-Sensor	262
19.3.2	Programm für die Anzeige der gemessenen Entfernungen mit dem ToF-Sensor	264
<b>19.4</b>	<b>Python-Programme für den Servocontroller</b>	266
19.4.1	Steuerungsprogramm für den L298N-Motortreiber mit dem Servocontroller	266
19.4.2	Steuerungsprogramm für zwei Servomotoren oder ein Pan-Tilt-Kit	273
<b>20</b>	<b>Auf die Überholspur: Einführung in die parallele Programmierung mit Python</b>	277
<b>20.1</b>	<b>Grundlagen der parallelen Programmierung mit Python</b>	277
20.1.1	Ein Beispielprogramm mit zwei Threads	278
20.1.2	Ein Beispielprogramm mit zwei Threads und einem Lock	283
<b>20.2</b>	<b>Drehen mit dem Gyroskop</b>	288
<b>20.3</b>	<b>Orientieren mit dem Kompass</b>	294
<b>20.4</b>	<b>Annäherung zwischen zwei Hindernissen</b>	303
<b>21</b>	<b>Machen Sie es sich einfach auf der Rückbank bequem: Programme für autonomes Fahren</b>	311
<b>21.1</b>	<b>Hindernissen autonom ausweichen</b>	311
<b>21.2</b>	<b>GPS-Wegpunkte abfahren</b>	320
21.2.1	Berechnung der Entfernung zwischen zwei GPS-Koordinaten und dem Kurswinkel	320
21.2.2	Autonom eine GPS-Koordinate anfahren	328

<b>22</b>	<b>Pimpen Sie Ihr Roboter-Auto</b>	345
<b>22.1</b>	<b>Die Kühlung des Raspberry Pi</b> .....	345
<b>22.2</b>	<b>Steuerung mit einem Gamepad</b> .....	346
22.2.1	PS4-Gamepad verbinden .....	347
22.2.2	Python-Programm Robotersteuerung .....	348
<b>22.3</b>	<b>Anzeige mit einem OLED-Display</b> .....	354
22.3.1	OLED-Display anschließen .....	355
22.3.2	Softwareinstallation .....	356
22.3.3	Anzeige auf dem OLED-Display .....	356
22.3.4	Anzeige auf dem OLED-Display automatisch starten .....	357
<b>23</b>	<b>Immer noch nicht genug? Weitere Ideen aus der Welt der Modell-Roboter-Autos</b>	359
	Index .....	361