

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Arduino – was ist das?</b>	<b>19</b>
1.1	Arduino – etwas Hintergrund .....	19
1.2	Open Source: Die Lizenzen des Arduino-Projekts .....	20
1.3	Maker und die Arduino-Community .....	23
1.4	Arduino Uno Rev3 – der Standard .....	25
1.4.1	Ein- und Ausgangspins .....	26
1.4.2	Serielle Schnittstellen .....	28
1.4.3	Spannungsversorgung .....	28
1.4.4	Mikrocontroller ATmega328P .....	29
1.4.5	Warum eigentlich die Bezeichnung »Uno«? .....	29
1.5	Details zum Mikrocontroller .....	30
1.5.1	Mikrocontroller-Kern .....	31
1.5.2	Mikrocontroller-Peripherie .....	35
<b>2</b>	<b>Arduino-Hardware</b>	<b>59</b>
2.1	Die Produktfamilie Arduino .....	59
2.1.1	Klassische Arduino-Boards .....	59
2.1.2	Kompakte Arduino-Boards .....	67
2.1.3	Arduino-MKR-Serie .....	77
2.1.4	Arduino-Pro-Familie .....	80
2.1.5	Arduino Yún .....	91
2.2	Arduino-kompatible Boards .....	96
2.2.1	Seeeduno v4.2 .....	97
2.2.2	LilyPad Arduino .....	98
2.2.3	Maduino GPRS A6 .....	100
2.2.4	BBC micro:bit bzw. Calliope mini .....	101
2.2.5	SparkFun Pro nRF52840 Mini .....	102
2.2.6	STM32 Nucleo .....	104
2.2.7	Teensy 4.x .....	105
2.2.8	ESP8266 .....	107
2.2.9	ESP32 .....	110

2.2.10	M5Stack, M5StickC/M5StickC Plus, M5ATOM und M5Stamp .....	117
2.2.11	Raspberry Pi Pico .....	125
2.2.12	Seeed XIAO und Wio Terminal .....	132
2.2.13	Adafruit Feather und SparkFun Thing Plus .....	134
2.2.14	Maixduino .....	134
<b>2.3</b>	<b>Arduino-Shields</b> .....	137
2.3.1	Arduino-Standard-Shields .....	137
2.3.2	Arduino-MKR-Shields .....	142
<b>2.4</b>	<b>Expansionsboards</b> .....	146
2.4.1	Arduino Portenta H7 .....	146
2.4.2	Seeeduino XIAO .....	146
2.4.3	Raspberry Pi Pico .....	147

## 3 Das Experimentierumfeld 151

<b>3.1</b>	<b>Elektronische Bauteile</b> .....	151
3.1.1	Widerstand, Kondensator und Spule .....	151
3.1.2	Taster, Schalter und Relais .....	158
3.1.3	Dioden .....	159
3.1.4	Transistoren und FETs als Schalter .....	161
3.1.5	Operationsverstärker .....	167
<b>3.2</b>	<b>Grundlagen zur Schaltungstechnik</b> .....	169
3.2.1	Ohmsches Gesetz .....	169
3.2.2	Kirchhoffsche Regeln .....	169
3.2.3	Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen .....	174
<b>3.3</b>	<b>Breadboards und Zubehör</b> .....	175
3.3.1	Breadboards .....	175
3.3.2	Breadboard Holder .....	177
3.3.3	Breadboard Power .....	179
<b>3.4</b>	<b>Qwiic, Grove und mikroBUS Connection</b> .....	180
3.4.1	Qwiic Connection .....	180
3.4.2	Grove-System .....	182
3.4.3	mikroBUS System .....	182
<b>3.5</b>	<b>Spannungsversorgung</b> .....	183
3.5.1	USB-Hub mit Schnellladeanschluss .....	186
3.5.2	Steckernetzteil .....	187
3.5.3	Labornetzgerät .....	188

3.5.4	Lithium-Polymer-Akku .....	189
3.5.5	Spannungsversorgung mit Solarzellen .....	193
3.5.6	Reduzierung des Strombedarfs für Batteriebetrieb .....	194
<b>3.6</b>	<b>Messtechnik .....</b>	<b>198</b>
3.6.1	Multimeter .....	198
3.6.2	Funktionsgenerator .....	199
3.6.3	Oszilloskop .....	201
3.6.4	BitScope Micro .....	202
3.6.5	Saleae Logic Analyzer .....	207
<b>3.7</b>	<b>CAD-Software .....</b>	<b>208</b>
3.7.1	Fritzing .....	208
3.7.2	KiCAD .....	211
3.7.3	EAGLE .....	211
3.7.4	EasyEDA Standard .....	211
3.7.5	Welches Tool soll ich verwenden? .....	212
<b>4</b>	<b>Arduino-Software .....</b>	<b>215</b>
<b>4.1</b>	<b>Schritte bei der Programmerstellung .....</b>	<b>215</b>
<b>4.2</b>	<b>Die Arduino-Entwicklungsumgebung .....</b>	<b>216</b>
4.2.1	Legacy IDE: Arduino 1.8 .....	216
4.2.2	Die neue Arduino IDE 2 .....	223
<b>4.3</b>	<b>Die Arduino-Create-Plattform .....</b>	<b>227</b>
4.3.1	Arduino Web Editor .....	228
4.3.2	Arduino IoT Cloud .....	230
4.3.3	Arduino Project Hub .....	230
<b>4.4</b>	<b>Arduino Create vs. Arduino IDE .....</b>	<b>231</b>
<b>4.5</b>	<b>Programmieren in C++ .....</b>	<b>232</b>
4.5.1	Empfehlenswerte Online-Tutorials .....	233
4.5.2	Einführung in die Grundlagen von C++ .....	233
<b>4.6</b>	<b>Den Arduino programmieren .....</b>	<b>261</b>
4.6.1	Programmstruktur .....	261
4.6.2	Arduino-Funktionen .....	262
4.6.3	Hello World .....	282
4.6.4	Arduino-Librarys .....	285

4.7    **Arduino-Boards in Betrieb nehmen** ..... 288

4.7.1    Arduino Uno ..... 289

4.7.2    Arduino Uno WiFi Rev2 ..... 291

4.7.3    Arduino Yún ..... 296

4.7.4    ESP32 ..... 309

4.7.5    M5Stack bzw. M5StickC/C Plus ..... 311

4.7.6    Teensy 4.x ..... 315

4.7.7    Raspberry Pi Pico ..... 318

4.8    **Arduino-Debugging** ..... 321

4.8.1    Debugging mit digitalem Ausgang ..... 321

4.8.2    printf()-Debugging ..... 322

4.8.3    MicroDebug-Library ..... 322

4.8.4    ArduinoTrace-Library ..... 326

4.8.5    Arduino-Debugging mit SEGGER J-Link Debugger ..... 328

**5    Sensoren** ..... 337

5.1    **Der Thermistor als Temperatursensor** ..... 337

5.2    **Der Temperatursensor TMP36** ..... 340

5.3    **Der Temperatur- und Feuchtigkeitssensor DHTxx/AM23xx** ..... 344

5.4    **Der Temperatur- und Feuchtigkeitssensor Si7021** ..... 350

5.5    **Der Temperatursensor DS18B20** ..... 353

5.6    **Die barometrischen Drucksensoren BMP180, BMP280 und BME280** ..... 357

5.7    **Der Luftqualitätssensor MQ135** ..... 362

5.8    **Der Grove-Feinstaubsensor PPD42NS** ..... 368

5.9    **Der Lichtstärkesensor GY-30 (BH1750FVI)** ..... 371

5.10    **Der Farbsensor GY-TCS3200D** ..... 375

5.11    **Ultraschall-Entfernungsmessung** ..... 381

5.12    **ToF-Entfernungsmessung** ..... 386

5.13    **Bewegungsdetektion mit PIR-Sensoren** ..... 389

5.14    **Wetterdaten** ..... 392

6

Eingabelemente

399

6.1

Taster und Schalter

399

6.2

Keypads

401

6.3

Joysticks

408

6.4

Drehgeber

411

6.5

Touch-Sensoren

415

6.6

Touch-Panels

416

6.7

RFID

419

6.8

NFC

429

7

Anzeigeelemente

441

7.1

LEDs und RGB-LEDs

441

7.2

Sieben-Segment-Anzeige

447

7.3

LED-Dot-Matrix-Anzeige

450

7.4

Seriell gesteuerte RGB-LEDs

454

7.4.1

NeoPixel

454

7.4.2

DotStar

459

7.4.3

NeoPixel vs. DotStar

462

7.4.4

FastLED

463

7.5

LCDs

465

7.5.1

Display mit HD44780

466

7.5.2

Grove-LCDs mit I<sup>2</sup>C

467

7.5.3

LCD Keypad Shield

470

7.5.4

Arduino-Shield mit EA DOGS102W-6 und EA PCBARDDOG1701

473

7.5.5

Nokia-5110-Grafik-LCD

478

7.6

OLED-Display

486

7.7

Touchscreen

496

7.7.1

Waveshare 2.8" Touch LCD Shield

497

7.7.2

Nextion 2.8" HMI LCD Touch Display

507

<b>8</b>	<b>Aktoren</b>	<b>537</b>
<b>8.1</b>	<b>Relais</b>	<b>537</b>
<b>8.2</b>	<b>Motoren</b>	<b>542</b>
8.2.1	Servo	542
8.2.2	DC-Motor	547
8.2.3	Schrittmotor	561
<b>9</b>	<b>Externe Speicher</b>	<b>575</b>
<b>9.1</b>	<b>Internes EEPROM</b>	<b>575</b>
<b>9.2</b>	<b>Externes EEPROM</b>	<b>578</b>
<b>9.3</b>	<b>FRAM</b>	<b>581</b>
<b>10</b>	<b>Kommunikation</b>	<b>585</b>
<b>10.1</b>	<b>Serielles Interface UART, der interne Monitor</b>	<b>585</b>
<b>10.2</b>	<b>SPI</b>	<b>591</b>
<b>10.3</b>	<b>I<sup>2</sup>C-Bus</b>	<b>597</b>
<b>10.4</b>	<b>1-Wire-Bus</b>	<b>600</b>
<b>10.5</b>	<b>CAN</b>	<b>606</b>
<b>10.6</b>	<b>Bluetooth und BLE</b>	<b>614</b>
10.6.1	Serielle Bluetooth-Module	615
10.6.2	Mikrocontroller mit BLE	616
<b>10.7</b>	<b>Der Arduino im Netzwerk</b>	<b>628</b>
10.7.1	Ethernet	628
10.7.2	WiFi	634
10.7.3	Die Performance testen	645
<b>10.8</b>	<b>LoRa bzw. LoRaWAN</b>	<b>647</b>
10.8.1	LoRa/LoRaWAN – Begriffe	648
10.8.2	LoRa-Datenübertragung	649
10.8.3	The Things Network (TTN)	655
10.8.4	LoRaWAN-Knoten	658

<b>10.9 GSM</b>	673
10.9.1 Module und Provider	673
10.9.2 Arduino Uno mit SIM800 EVB	675
10.9.3 Maduino GPRS A6	679
<b>10.10 3GPP LPWAN</b>	681
10.10.1 NB-IoT	684
10.10.2 LTE-M	705
<b>10.11 Netzwerkverbindungen mit nRF24L01</b>	709
10.11.1 Transceiver nRF24L01	710
10.11.2 nRF24L01-Modul	711
10.11.3 nRF24L01 mit SMA-Antenne	713
10.11.4 nRF24L01-Reichweitenmessung	713
10.11.5 Die Netzwerknoten in der Übersicht	715
10.11.6 Initialisierung des nRF24L01	718
10.11.7 Datenübertragung zwischen zwei Sensorknoten	719
10.11.8 Datenübertragung zwischen mehreren Sensorknoten	723
 <b>11 Datenformate und Kommunikationsprotokolle</b>	 733
<b>11.1 JSON</b>	733
<b>11.2 MQTT</b>	736
11.2.1 Grundlagen	736
11.2.2 MQTT-Broker	738
11.2.3 MQTT-Client	740
 <b>12 Arduino-Benchmarks</b>	 745
 <b>13 Projektideen für den Arduino</b>	 749
<b>13.1 Tragbare Elektronik (Wearables)</b>	749
<b>13.2 Überwachung des Raumklimas</b>	752
13.2.1 Sensirion SCD30	755
13.2.2 Sensirion SGP30 und Bosch BME280	761

13.2.3	Bosch BME680 .....	762
13.2.4	Environmental Sensor AZ-Envy .....	767
<b>13.3</b>	<b>Open Data aus dem Internet .....</b>	<b>771</b>
13.3.1	OpenWeatherMap .....	771
13.3.2	Covid-19-Datenbank .....	776
<b>13.4</b>	<b>Pushover-Statusmeldungen .....</b>	<b>781</b>
13.4.1	Pushover-Server .....	782
13.4.2	Pushover-Android-Client .....	783
13.4.3	Pushover-Integration ins Arduino-Programm .....	784
<b>13.5</b>	<b>Überwachung von Pflanzen .....</b>	<b>789</b>
13.5.1	M5Stack ENV.II und EARTH Unit .....	790
13.5.2	Kapazitive Bodenfeuchtesensoren .....	791
13.5.3	LilyGO-T-HiGrow Kit .....	792
<b>13.6</b>	<b>Messung von radioaktiver Strahlung .....</b>	<b>794</b>
13.6.1	Messtechnische Voraussetzungen .....	794
13.6.2	Auswertung der GMZ-Impulse .....	799
<b>13.7</b>	<b>Arduino Yún .....</b>	<b>802</b>
13.7.1	Netzwerk-Performance .....	802
13.7.2	Zwei Welten verbinden .....	803
13.7.3	Erfassen von Messdaten .....	805
<b>13.8</b>	<b>M5StickC .....</b>	<b>812</b>
13.8.1	M5StickC-Hats .....	812
13.8.2	M5StickC-Thermometer .....	813
13.8.3	M5StickC – Messung der Wassertemperatur .....	814
<b>13.9</b>	<b>Kameraanwendungen .....</b>	<b>817</b>
13.9.1	Arducam Shield V2 .....	818
13.9.2	ArduCAM_ESP32S_UNO_PSRAM Board .....	822
13.9.3	M5Stack Camera .....	825
<b>13.10</b>	<b>Maschinelles Lernen .....</b>	<b>827</b>
13.10.1	TensorFlow Lite .....	828
13.10.2	Edge Impulse .....	828
<b>14</b>	<b>Gehäuse für den Arduino .....</b>	<b>831</b>
<b>14.1</b>	<b>ArduiBox Open – Hutschienengehäuse für den Arduino .....</b>	<b>831</b>
<b>14.2</b>	<b>RasPiBox Pico für Raspberry Pi Pico .....</b>	<b>833</b>



<b>14.3</b>	<b>AZ-Touch MKR/ESP/Feather .....</b>	<b>834</b>
<b>14.4</b>	<b>ESPGateway – ESP32 WiFi/ BLE Gateway .....</b>	<b>835</b>

<b>15</b>	<b>Der Arduino in industriellen Anwendungen .....</b>	<b>839</b>
-----------	---	------------

<b>15.1</b>	<b>Prototyping mit dem Arduino .....</b>	<b>839</b>
<b>15.2</b>	<b>Industrieanwendungen .....</b>	<b>840</b>
15.2.1	Controllino .....	840
15.2.2	Industrial Controller .....	842
15.2.3	Industruino .....	843

<b>Anhang</b>	<b>.....</b>	<b>845</b>
---------------	--------------	------------

<b>A.1</b>	<b>Arduino-Distributoren .....</b>	<b>845</b>
<b>A.2</b>	<b>Technische Daten im Vergleich .....</b>	<b>845</b>
<b>A.3</b>	<b>Spezifikation von Widerständen .....</b>	<b>850</b>
A.3.1	Bedrahtete Widerstände .....	851
A.3.2	SMD-Widerstände .....	852

<b>Index .....</b>	<b>855</b>
--------------------	------------