

Inhalt

Materialien zum Buch	15
Geleitwort	17
1 Arduino – was ist das?	19
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 Der Mikrocontroller-Kern	30
1.5.2 Die Mikrocontroller-Peripherie	35
2 Die Arduino-Hardware	59
2.1 Die Produktfamilie Arduino	59
2.1.1 Klassische Arduino-Boards	59
2.1.2 Kompakte Arduino-Boards	70
2.1.3 Die Arduino-MKR-Serie	81
2.1.4 Die Arduino-Pro-Familie	85
2.1.5 Arduino Yún Rev2	98
2.2 Arduino-kompatible Boards	100
2.2.1 Seeeduno v4.2	100
2.2.2 LilyPad Arduino	101
2.2.3 BBC micro:bit bzw. Calliope mini	102
2.2.4 SparkFun Pro nRF52840 Mini	104
2.2.5 STM32 Nucleo	106
2.2.6 Teensy 4.x	107
2.2.7 ESP8266	108

2.2.8	ESP32	113
2.2.9	M5Stack, M5StickC/M5StickC Plus, M5ATOM und M5Stamp	120
2.2.10	Raspberry Pi Pico	127
2.2.11	Seeed Studio XIAO-Serie	134
2.2.12	Adafruit Feather und SparkFun Thing Plus	135
2.2.13	RAKwireless WisBlock	136
2.2.14	Maixduino	138
2.3	Arduino-Shields	141
2.3.1	Arduino-Standard-Shields	141
2.3.2	Arduino-MKR-Shields	146
2.4	Expansionsboards	150
2.4.1	Arduino Portenta H7	150
2.4.2	Seeeduino XIAO	150
2.4.3	Raspberry Pi Pico	152
3	Das Experimentierumfeld	155
3.1	Elektronische Bauteile	155
3.1.1	Widerstand, Kondensator und Spule	155
3.1.2	Taster, Schalter und Relais	162
3.1.3	Dioden	163
3.1.4	Transistoren und FETs als Schalter	165
3.1.5	Operationsverstärker	171
3.2	Grundlagen zur Schaltungstechnik	173
3.2.1	Ohmsches Gesetz	173
3.2.2	Kirchhoffsche Regeln	173
3.2.3	Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen	177
3.3	Breadboards und Zubehör	178
3.3.1	Breadboards	178
3.3.2	Breadboard Holder	181
3.3.3	Breadboard Power	183
3.4	Qwiic, Grove und mikroBUS Connection	183
3.4.1	Qwiic Connection	184
3.4.2	Das Grove-System	185
3.4.3	Das mikroBUS-System	186
3.5	Spannungsversorgung	187
3.5.1	USB-Anschluss	187
3.5.2	USB-Hub mit Schnellladeanschluss	190

3.5.3	Steckernetzteil	191
3.5.4	Labornetzgerät	192
3.5.5	Lithium-Polymer-Akku	192
3.5.6	Spannungsversorgung mit Solarzellen	196
3.5.7	Reduzierung des Strombedarfs für den Batteriebetrieb	198
3.6	Messtechnik	201
3.6.1	Multimeter	201
3.6.2	Funktionsgenerator	203
3.6.3	Oszilloskop	204
3.6.4	BitScope Micro	205
3.6.5	Saleae Logic Analyzer	210
3.7	CAD-Software	211
3.7.1	Fritzing	211
3.7.2	KiCad	214
3.7.3	EAGLE	214
3.7.4	EasyEDA Standard	214
3.7.5	Welches Tool soll ich verwenden?	215

4 Arduino-Software 217

4.1	Schritte bei der Programmerstellung	217
4.2	Die Arduino-Entwicklungsumgebung	218
4.2.1	Legacy IDE: Arduino 1.8	219
4.2.2	Die Arduino IDE 2	219
4.3	Die Arduino-Create-Plattform	223
4.3.1	Arduino Web Editor	224
4.3.2	Arduino IoT Cloud	226
4.3.3	Arduino Project Hub	226
4.4	Arduino Create vs. Arduino IDE	227
4.5	Programmieren in C++	228
4.5.1	Einführung in die Grundlagen von C++	229
4.5.2	Präprozessor-Direktiven	256
4.6	Den Arduino programmieren	258
4.6.1	Programmstruktur	258
4.6.2	Arduino-Funktionen	259
4.6.3	Hello World	280
4.6.4	Arduino-Librarys	282

4.7	Arduino-Boards in Betrieb nehmen	285
4.7.1	Arduino Uno	286
4.7.2	Arduino Uno WiFi Rev2	288
4.7.3	ESP32	293
4.7.4	M5Stack bzw. M5StickC/C Plus	296
4.7.5	Teensy 4.x	299
4.7.6	Raspberry Pi Pico	302
4.8	Arduino-Debugging	305
4.8.1	Debugging mit digitalem Ausgang	306
4.8.2	printf()-Debugging	306
4.8.3	Die MicroDebug-Library	307
4.8.4	Die ArduinoTrace-Library	310
4.8.5	Arduino-Debugging mit dem SEGGER J-Link Debugger	312
4.9	MicroPython mit Arduino	319
4.10	Grafische Programmierung mit ArduBlock	322
4.11	Simulation mit Wokwi	326

5 Sensoren 329

5.1	Der Thermistor als Temperatursensor	329
5.2	Der Temperatursensor TMP36	332
5.3	Der Temperatur- und Feuchtigkeitssensor DHTxx/AM23xx	336
5.4	Der Temperatur- und Feuchtigkeitssensor Si7021	342
5.5	Der Temperatursensor DS18B20	345
5.6	Die barometrischen Drucksensoren BMP180, BMP280 und BME280	349
5.7	Sensoren zur Messung der Luftqualität	354
5.7.1	Die Gas-Sensoren SGP40 und BME680	356
5.7.2	Der NDIR-Sensor SCD4x	357
5.7.3	Der Luftqualitätssensor MQ135	358
5.8	Der Grove-Feinstaubsensor PPD42NS	363
5.9	Der Umweltsensor SEN55	367
5.10	Der Lichtstärkesensor GY-30 (BH1750FVI)	368
5.11	Das Farbsensormodul GY-TCS3200D	372
5.12	Ultraschall-Entfernungsmessung	377
5.13	ToF-Entfernungsmessung	382

5.14	Bewegungsdetektion mit PIR-Sensoren	385
5.15	Wetterdaten	388

6 Eingabelemente 395

6.1	Taster und Schalter	395
6.2	Keypads	397
6.3	Joysticks	404
6.4	Drehgeber	407
6.5	Touch-Sensoren	411
6.6	Touch-Panels	412
6.7	RFID	416
6.8	NFC	425

7 Anzeigeelemente 439

7.1	LEDs und RGB-LEDs	439
7.2	Sieben-Segment-Anzeigen	445
7.3	LED-Dot-Matrix-Anzeigen	448
7.4	Seriell gesteuerte RGB-LEDs	452
7.4.1	NeoPixel	452
7.4.2	DotStar	457
7.4.3	NeoPixel vs. DotStar	461
7.4.4	FastLED	461
7.5	LCDs	463
7.5.1	Display mit HD44780	464
7.5.2	LCDs mit I2C-Interface	466
7.5.3	LCD Keypad Shield	468
7.5.4	Nokia-5110-Grafik-LCD	472
7.6	OLED-Displays	480
7.6.1	Eine Bitmap-Bilddatei erzeugen	486
7.7	ePaper	490
7.8	M5Stack-Displays	491

7.9	Touchscreens	492
7.9.1	Waveshare 2.8" Touch LCD Shield	493
7.9.2	Nextion 2.8" HMI LCD Touch Display	502

8 Aktoren 533

8.1	Relais	533
8.2	Motoren	538
8.2.1	Servos	538
8.2.2	DC-Motoren	543
8.2.3	Schrittmotoren	557

9 Externe Speicher 571

9.1	Internes EEPROM	571
9.2	Externes EEPROM	574
9.3	FRAM	577

10 Kommunikation 581

10.1	Serielles Interface UART, der interne Monitor	581
10.2	SPI	587
10.3	Der I2C-Bus	593
10.4	Der 1-Wire-Bus	596
10.5	CAN	602
10.6	Bluetooth und BLE	610
10.6.1	Serielle Bluetooth-Module	611
10.6.2	Mikrocontroller mit BLE	612
10.7	Der Arduino im Netzwerk	624
10.7.1	Ethernet	624
10.7.2	WiFi	629
10.7.3	Die Performance testen	641
10.8	LoRa bzw. LoRaWAN	642
10.8.1	LoRa/LoRaWAN – Begriffe	643

10.8.2	LoRa-Datenübertragung	644
10.8.3	The Things Network (TTN)	650
10.8.4	LoRaWAN-Knoten	653
10.9	GSM	669
10.9.1	Module und Provider	669
10.9.2	Arduino Uno mit SIM800L-EVB	671
10.10	LTE	675
10.10.1	Das LTE-Modul SIM7600	675
10.10.2	WiFi-LTE-Modems	676
10.11	3GPP LPWAN	680
10.11.1	NB-IoT	683
10.11.2	LTE-M	705
11	Mikrocontroller-Netzwerke	711
11.1	nRF24L01-Netzwerke	712
11.1.1	Der Transceiver nRF24L01	712
11.1.2	Das nRF24L01-Modul	714
11.1.3	nRF24L01-Reichweitenmessung	715
11.1.4	Netzwerkknoten komplett	717
11.1.5	Initialisierung des nRF24L01	720
11.1.6	Peer-to-Peer Datenübertragung	721
11.1.7	Netzwerke aufbauen	725
11.1.8	Gateway	728
11.1.9	Sensorknoten	731
11.2	nRF24L01-Mesh	735
11.3	Meshtastic	735
11.3.1	Meshtastic-Devices	736
11.3.2	Die Meshtastic-Firmware	742
11.3.3	Das Meshtastic-Netzwerk im Test	746
11.4	ZigBee	751
11.4.1	ZigBee-Devices	752
11.4.2	ZigBee-Netzwerk	753
11.4.3	Coordinator	753
11.4.4	Router	753
11.4.5	End Device	754
11.4.6	ZigBee in Betrieb nehmen	754

11.4.7	XBee MicroPython	758
11.4.8	Externe Sensorik am ZigBee-Device	761

12 Datenformate und Kommunikationsprotokolle 767

12.1	JSON	767
12.2	MQTT	770
12.2.1	Grundlagen	771
12.2.2	MQTT-Broker	772
12.2.3	MQTT-Client	773

13 Projektideen für den Arduino 777

13.1	Tragbare Elektronik (Wearables)	777
13.2	Überwachung des Raumklimas	780
13.2.1	Sensirion SCD30	782
13.2.2	Sensirion SGP30 und Bosch BME280	789
13.2.3	Bosch BME680	789
13.2.4	Environmental Sensor AZ-Envy	795
13.3	OpenWeatherMap: Open Data aus dem Internet	798
13.4	Pushover-Statusmeldungen	804
13.4.1	Pushover-Server	804
13.4.2	Pushover-Android-Client	806
13.4.3	Pushover-Integration ins Arduino-Programm	807
13.5	Überwachung von Pflanzen	811
13.5.1	M5Stack ENV.II und EARTH	812
13.5.2	Kapazitive Bodenfeuchtesensoren	813
13.5.3	LILYGO T-Higrow Kit	814
13.6	Messung von radioaktiver Strahlung	816
13.6.1	Messtechnische Voraussetzungen	816
13.6.2	Auswertung der GMZ-Impulse	822
13.7	M5StickC	824
13.7.1	M5StickC-Hats	824
13.7.2	M5StickC-Thermometer	826
13.7.3	M5StickC – Messung der Wassertemperatur	826

13.8 Kameraanwendungen	829
13.8.1 ArduCam Shield V2	830
13.8.2 Das ArduCAM ESP32S UNO PSRAM-Board	834
13.8.3 M5Stack Camera	837
13.9 Batteriebetriebener und solargepufferter IoT-Knoten	839
13.9.1 Hard- und Firmware	839
13.9.2 Anwendungsprogramm	842
13.10 Low-Power-IoT-Knoten mit Display	847
13.10.1 Hardware	847
13.10.2 Testprogramme	850
13.10.3 Anwendungsprogramm	853
13.11 Approximation nichtlinearer Sensorkennlinien	855
13.11.1 Polynomapproximation	856
13.11.2 Cubic-Spline-Interpolation	856
13.11.3 Neuronales Netz	857
13.11.4 Vergleichende Betrachtung der Verfahren	858
13.12 Maschinelles Lernen	859
13.12.1 TensorFlow Lite	860
13.12.2 Edge Impulse	860
Anhang	863
<hr/>	
A.1 Arduino-Distributoren	863
A.2 Internationale Beschaffung	863
A.3 Technische Daten im Vergleich	864
A.4 Spezifikation von Widerständen	868
Index	873