

Sensoren – messen und experimentieren mit Arduino und Raspberry Pi

Tero Karvinen lehrt Linux und Embedded-Systeme in Haaga – Helia University of Applied Sciences, wo seine Arbeit auch Lehrplanentwicklung und Forschung im Bereich der drahtlosen Vernetzung umfasst.

Kimmo Karvinen arbeitet als CEO in einem führenden Unternehmen in der AV- Automatisierung in Finnland. Davor war er u.a. CTO bei einem Hardwarehersteller, der sich auf intelligente Gebäudetechnik spezialisiert hatte.

Ville Valtokari arbeitet als Chefprogrammierer bei einem Hersteller von Automatisierungs-Hardware. Zuvor gestaltete und programmierte er modernste AV-Systeme.

Tero Karvinen · Kimmo Karvinen · Ville Valtokari

Sensoren – messen und experimentieren mit Arduino und Raspberry Pi



dpunkt.verlag

Tero Karvinen
Kimmo Karvinen
Ville Valtokari

Lektorat: Dr. Michael Barabas
Copy-Editing: Ursula Zimpfer, Herrenberg
Herstellung: Frank Heidt
Umschlaggestaltung: Helmut Kraus, www.exclam.de
Umschlagfoto: Kimmo Karvinen
Fotografien: Kimmo Karvinen
Druck und Bindung: M.P. Media-Print Informationstechnologie GmbH, 33100 Paderborn

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-86490-160-7

1. Auflage 2015
Copyright © 2015 dpunkt.verlag GmbH
Wieblingen Weg 17
69123 Heidelberg

© 2015 dpunkt.verlag GmbH

Authorized German translation of the English edition of Make: Sensors, ISBN/EAN:978-1-4493-6810-4
© Tero Karvinen, Kimmo Karvinen, Ville Valtokari, published by Maker Media, Inc. This translation is
published and sold by permission of O'Reilly Media, Inc., which owns or controls all rights to sell the same.

Die vorliegende Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung
der Texte und Abbildungen, auch auszugsweise, ist ohne die schriftliche Zustimmung des Verlags
urheberrechtswidrig und daher strafbar. Dies gilt insbesondere für die Vervielfältigung, Übersetzung
oder die Verwendung in elektronischen Systemen.

Make;, Maker Shed und Maker Fair sind eingetragene Warenzeichen der Maker Media, Inc.
Das Maker-Media-Logo ist ein Warenzeichen der Maker Media, Inc.

Es wird darauf hingewiesen, dass die im Buch verwendeten Soft- und Hardware-Bezeichnungen sowie
Markennamen und Produktbezeichnungen der jeweiligen Firmen im Allgemeinen warenzeichen-,
marken- oder patentrechtlichem Schutz unterliegen.

Alle Angaben und Programme in diesem Buch wurden mit größter Sorgfalt kontrolliert. Weder Autor
noch Verlag können jedoch für Schäden haftbar gemacht werden, die in Zusammenhang mit der
Verwendung dieses Buches stehen.

5 4 3 2 1 0

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	1
1	Raspberry Pi	11
1.1	Raspberry Pi: Von null zum ersten Start	12
1.1.1	NOOBS*.zip entpacken	13
1.1.2	Kabel anschließen	13
1.1.3	Raspbian hochfahren und installieren	14
1.1.4	Fehlersuche bei der Raspberry Pi-Installation	16
1.2	Willkommen bei Linux	18
1.2.1	Die allgegenwärtige Kommandozeile	18
1.2.2	Schauen Sie sich um	19
1.2.3	Textdateien für die Konfiguration	20
1.2.4	sudo mach mir ein Butterbrot!	20
1.3	Elektronische Bauteile an die Pins des Raspberry Pi anschließen	22
1.3.1	Hallo GPIO, lass eine LED blinken	23
1.3.2	Die Schaltung aufbauen	24
1.3.3	Zwei Nummerierungssysteme: Zweck und Ort	25
1.3.4	GPIO-Pins über die Kommandozeile steuern	27
1.3.5	Dateien ohne Editor bearbeiten	27
1.3.6	Die LED aufleuchten lassen	28
1.3.7	Fehlerbehebung	29
1.4	GPIO-Steuerung ohne Root-Berechtigungen	31
1.4.1	Fehlersuche bei der GPIO-Steuerung	33
1.5	GPIO in Python	34
1.5.1	Hello Python	34
1.6	Wie geht es weiter?	37

2	Arduino	39
2.1	Grundinstallation des Arduino	40
2.1.1	Ubuntu Linux	40
2.1.2	Windows 7 und Windows 8	41
2.1.3	OS X	42
2.1.4	Hello World	42
2.1.5	Der Aufbau eines Arduino-Programms	43
2.1.6	Einfach und vielseitig dank Shields	44
3	Entfernung	47
3.1	Experiment: Abstände mit Ultraschall messen (Ping)	48
3.1.1	Code und Schaltung für den Ping am Arduino	49
3.1.2	Code und Schaltung für den Ping am Raspberry Pi	51
3.2	Ultraschallsensor HC-SR04	54
3.2.1	Code und Schaltung für den HC-SR04 am Arduino	54
3.2.2	Code und Schaltung für den HC-SR04 am Raspberry Pi	56
3.2.3	Echoberechnungen	57
3.2.4	Praxisexperiment: Unsichtbare Objekte	59
3.3	Experiment: Hindernisse mit Infrarot erkennen (IR-Abstandssensor)	60
3.3.1	Code und Schaltung für den IR-Sensor am Arduino	61
3.3.2	Code und Schaltung für den IR-Sensor am Raspberry Pi	63
3.4	Praxisexperiment: Infrarotlicht sichtbar machen	64
3.5	Experiment: Bewegungen mit Infrarot verfolgen (IR-Facettenauge)	65
3.5.1	Code und Schaltung für das Facettenauge am Arduino	67
3.5.2	Code und Schaltung für das Facettenauge am Raspberry Pi	69
3.5.3	Bibliothek spidev installieren	72
3.5.4	Alternative Schaltungen für den Raspberry Pi	73
3.6	Testprojekt: Haltungswarner (Arduino)	74
3.6.1	Lernziele	74
3.6.2	Piezo-Summer	75
3.6.3	Alarm!	77
3.6.4	Piezo-Summer und IR-Sensor kombinieren	78
3.6.5	Eine elegante Verpackung für das Projekt	80

4	Rauch und Gas	83
4.1	Experiment: Rauchmelder (analoger Gassensor)	84
4.1.1	Code und Schaltung für den MQ-2 am Arduino	85
4.1.2	Code und Schaltung für den MQ-2 am Raspberry Pi	86
4.1.3	Praxisexperiment: Rauch steigt nach oben	88
4.1.4	Experiment: Alkotest (Alkoholsensor MQ-303A)	89
4.1.5	Praxisexperiment: Nüchtern bleiben beim Experimentieren	93
4.2	Testprojekt: Rauchalarm per E-Mail senden	93
4.2.1	Lernziele	94
4.2.2	Python für E-Mails und Social Media	94
4.2.3	Das Projekt bauen	94
4.2.4	Wie funktioniert E-Mail?	95
4.2.5	Kann der Arduino E-Mails senden? – Nicht ohne Weiteres!	96
4.2.6	Code für den Raspberry Pi	96
4.2.7	Gehäuse	99
5	Berührung	105
5.1	Experiment: Drucktasten	106
5.1.1	Pullup-Widerstand	107
5.1.2	Code und Schaltung am Arduino	107
5.1.3	Code und Schaltung am Raspberry Pi	109
5.2	Experiment: Mikroschalter	110
5.2.1	Code und Schaltung für den Mikroschalter am Arduino .	111
5.2.2	Code und Schaltung für den Mikroschalter am Raspberry Pi	112
5.3	Experiment: Potenziometer (regelbarer Widerstand, Poti)	114
5.3.1	Code und Schaltung für das Potenziometer am Arduino .	115
5.3.2	Code und Schaltung für das Potenziometer am Raspberry Pi	116
5.4	Experiment: Berührungsfreier Berührungssensor (kapazitiver Berührungssensor QT113)	119
5.4.1	Code und Schaltung für den QT113 am Arduino	120
5.4.2	Code und Schaltung für den QT113 am Raspberry Pi . . .	121
5.5	Praxisexperiment: Berührungen durch eine hölzerne Oberfläche hindurch erkennen	122
5.6	Experiment: Druck messen (FlexiForce)	123
5.6.1	Code und Schaltung für den FlexiForce am Arduino	123
5.6.2	Code und Schaltung für den FlexiForce am Raspberry Pi .	124

5.7	Experiment: Berührungssensor im Eigenbau	126
5.7.1	Code und Schaltung für den kapazitiven Sensor am Arduino	127
5.7.2	Code und Schaltung für den kapazitiven Sensor am Raspberry Pi	128
5.8	Testprojekt: Geisterglocke	129
5.8.1	Lernziele	130
5.8.2	Servomotoren	130
5.8.3	Code und Schaltung für die Geisterglocke am Arduino . . .	134
5.8.4	Servo an der Glocke montieren	137
6	Bewegung	139
6.1	Experiment: Wo ist oben? (Tilt-Schalter)	139
6.1.1	Code und Schaltung für den Kippsensor am Arduino	140
6.1.2	Code und Schaltung für den Kippsensor am Raspberry Pi .	141
6.2	Experiment: Good Vibrations mit Interrupts (digitaler Vibrationssensor)	142
6.2.1	Code und Schaltung für den Vibrationssensor am Arduino	142
6.2.2	Code und Schaltung für den Vibrationssensor am Raspberry Pi	144
6.3	Experiment: Am Regler drehen	145
6.3.1	Code und Schaltung für den Drehgeber am Arduino	146
6.3.2	Code und Schaltung für den Drehgeber am Raspberry Pi .	148
6.4	Experiment: Analoger Zweiachs-Daumen-Joystick	149
6.4.1	Code und Schaltung für den Joystick am Arduino	150
6.4.2	Code und Schaltung für den Joystick am Raspberry Pi . . .	152
6.5	Praxisexperiment: Teile eines Xbox-Controllers wiederverwenden .	154
6.6	Experiment: Alarmanlage (passiver IR-Sensor)	155
6.6.1	Code und Schaltung für die Alarmanlage am Arduino . . .	156
6.6.2	Code und Schaltung für die Alarmanlage am Raspberry Pi	158
6.6.3	Praxisexperiment: Eine Alarmanlage überlisten	159
6.7	Testprojekt: Pong	162
6.7.1	Lernziele	163
6.7.2	Tipps für ein ansprechendes Gehäuse	167
6.7.3	Das Spiel beim Hochfahren des Raspberry Pi automatisch starten	170

7	Licht	175
7.1	Experiment: Feuer erkennen (Flammensensor)	175
7.1.1	Code und Schaltung für den Flammensensor am Arduino	176
7.1.2	Code und Schaltung für den Flammensensor am Raspberry Pi	177
7.2	Praxisexperiment: Genauigkeit bei der Erkennung von Flammen . .	179
7.3	Experiment: Siehst du dieses Licht? (Fotowiderstand, LDR)	180
7.3.1	Code und Schaltung für den Fotowiderstand am Arduino	181
7.3.2	Code und Schaltung für den Fotowiderstand am Raspberry Pi	182
7.4	Praxisexperiment: Die Richtung erkennen	184
7.5	Experiment: Linien verfolgen	185
7.5.1	Code und Schaltung für den Liniensensor am Arduino . . .	186
7.5.2	Code und Schaltung für den Liniensensor am Raspberry Pi	187
7.6	Praxisexperiment: Schwarz ist weiß	189
7.7	Experiment: Alle Farben des Regenbogens	191
7.7.1	Code und Schaltung für den Farbsensor am Arduino	191
7.7.2	Code und Schaltung für den Farbsensor am Raspberry Pi	194
7.8	Testprojekt: Chamäleonkuppel	197
7.8.1	Lernziele	197
7.8.2	RGB-LEDs	197
7.8.3	Code und Schaltung für RGB-LEDs am Arduino	199
7.8.4	Gleitender Mittelwert	201
7.8.5	Beliebige Farben mit RGB-LEDs erzeugen	202
7.8.6	Eingänge in Ausgänge umwandeln	203
7.8.7	Code für eine Kombination aus RGB-LED und Farbsensor	205
7.8.8	Tipps zum Bau der Kuppel	209
8	Beschleunigung	213
8.1	Beschleunigung und Winkelgeschwindigkeit	214
8.2	Experiment: Beschleunigung mit dem MX2125 messen	214
8.2.1	Impulslängen des MX2125 entschlüsseln	215
8.2.2	Code und Schaltung für den Beschleunigungsmesser am Arduino	217
8.2.3	Code und Schaltung für den Beschleunigungsmesser am Raspberry Pi	219
8.3	Experiment: Beschleunigungsmesser und Gyroskop	220
8.3.1	Code und Schaltung für den MPU 6050 am Arduino	222
8.3.2	Code und Schaltung für den MPU 6050 am Raspberry Pi	227

8.3.3	Hexadezimale, binäre und andere Zahlen	232
8.3.4	Bitweise Operationen	235
8.4	Experiment: Den Wii Nunchuk zweckentfremden (über I2C)	239
8.4.1	Code und Schaltung für den Nunchuk am Arduino	240
8.4.2	Code und Schaltung für den Nunchuk am Raspberry Pi	244
8.5	Testprojekt: Steuerung einer Roboterhand mit dem Wii Nunchuk	246
8.5.1	Lernziele	247
8.5.2	Die Mechanik der Roboterhand	251
9	Identität	253
9.1	Tastenfelder	254
9.1.1	Code und Schaltung für das Tastenfeld am Arduino	255
9.1.2	Code und Schaltung für das Tastenfeld am Raspberry Pi	257
9.2	Praxisexperiment: Fingerabdrücke erkennen	260
9.3	Fingerabdruckscanner GT-511C3	261
9.3.1	Code und Schaltung für den Fingerabdrucksensor am Arduino Mega	263
9.3.2	Code und Schaltung für den Fingerabdrucksensor am Raspberry Pi	270
9.4	RFID mit dem ELB149C5M	276
9.4.1	Code und Schaltung für das RFID-Lesegerät am Arduino Mega	278
9.4.2	Code und Schaltung für das RFID-Lesegerät am Raspberry Pi	280
9.5	Testprojekt: Futuristische Schatztruhe	284
9.5.1	Lernziele	284
9.5.2	Die Funktionsweise der Truhe	284
9.5.3	Die Truhe	285
9.5.4	Code und Schaltung für die futuristische Schatztruhe am Arduino	287
9.6	Menschen und Objekte erkennen	293
10	Elektrizität und Magnetismus	295
10.1	Experiment: Spannung und Stromstärke	295
10.1.1	Code und Schaltung für den AttoPilot am Arduino	297
10.1.2	Code und Schaltung für den AttoPilot am Raspberry Pi	299

10.2	Experiment: Ist es magnetisch?	300
10.2.1	Code und Schaltung für den Hall-Effekt-Sensor am Arduino	301
10.2.2	Code und Schaltung für den Hall-Effekt-Sensor am Raspberry Pi	302
10.3	Experiment: Magnetischer Norden mit dem Kompass/ Beschleunigungsmesser LSM303 bestimmen	304
10.3.1	Den Sensor kalibrieren	305
10.3.2	Code und Schaltung für den LSM303 am Arduino	306
10.3.3	Code und Schaltung für den LSM303 am Raspberry Pi	311
10.3.4	Das Protokoll für den LSM303	315
10.3.5	Berechnungen für die Kompassrichtung	316
10.4	Experiment: Hall-Schalter	318
10.4.1	Code und Schaltung für den Hall-Schalter am Arduino	319
10.4.2	Code und Schaltung für den Hall-Schalter am Raspberry Pi	320
10.5	Testprojekt: Webüberwachung von Solarzellen	321
10.5.1	Lernziele	321
10.5.2	Die Solarzellen anschließen	322
10.5.3	Der Raspberry Pi als Webserver	325
10.5.4	Die IP-Adresse ermitteln	326
10.5.5	Eine Homepage auf dem Raspberry Pi einrichten	326
10.5.6	Code und Schaltung für die Solarzellenüberwachung am Raspberry Pi	327
10.5.7	Zeitliche Planung von Aufgaben mit cron	329
10.6	Wie geht es weiter?	330
11	Schall	333
11.1	Experiment: Stimmen hören/Lautstärke	333
11.1.1	Code und Schaltung für das Mikrofon am Arduino	334
11.1.2	Code und Schaltung für das Mikrofon am Raspberry Pi	335
11.2	Praxisexperiment: Eine Stecknadel fallen hören	336
11.3	Testprojekt: Töne über HDMI sichtbar machen	337
11.3.1	Lernziele	337
11.3.2	Den seriellen Port des Raspberry Pi aktivieren	338
11.3.3	Code und Schaltung für die Visualisierung am Raspberry Pi	338
11.3.4	Schnelle Fourier-Transformation	341
11.4	Wie geht es weiter?	343

12	Wetter und Klima	345
12.1	Experiment: Heiß hier drin, oder?	345
12.1.1	Code und Schaltung für den LM35 am Arduino	346
12.1.2	Code und Schaltung für den LM35 am Raspberry Pi	347
12.2	Praxisexperiment: Temperaturwechsel	348
12.3	Experiment: Wie feucht ist es?	349
12.3.1	Wie feucht ist Ihr Atem?	350
12.3.2	Code und Schaltung für den DHT11 am Arduino	351
12.3.3	Code und Schaltung für den DHT11 am Raspberry Pi	353
12.3.4	Kommunikation vom Raspberry Pi zum Arduino	355
12.4	Luftdrucksensor GY-65	357
12.4.1	Code und Schaltung für den GY-65 am Arduino	358
12.4.2	Arduino-Bibliotheken verwenden	359
12.4.3	Die Arduino-Bibliothek für den GY-65	360
12.4.4	Code und Schaltung für den GY-65 am Raspberry Pi	365
12.5	Experiment: Brauchen Ihre Pflanzen Wasser? (Sensor für Bodenfeuchtigkeit)	368
12.5.1	Code und Schaltung für den Bodenfeuchtigkeitssensor am Arduino	369
12.5.2	Code und Schaltung für den Bodenfeuchtigkeitssensor am Raspberry Pi	370
12.6	Testprojekt: Wettervorhersage auf E-Paper	371
12.6.1	Lernziele	372
12.6.2	Code und Schaltung für die Wetterstation am Arduino	372
12.7	Praxisexperiment: Schau mal, ganz ohne Stromanschluss!	380
12.8	Bilder in Headerdateien speichern	380
12.8.1	Programm zur Umwandlung von BMP-Bildern in C-Dateien	382
12.8.2	Tipps für das Gehäuse	383
A	Linux-Befehle für den Raspberry Pi	387
	Index	391