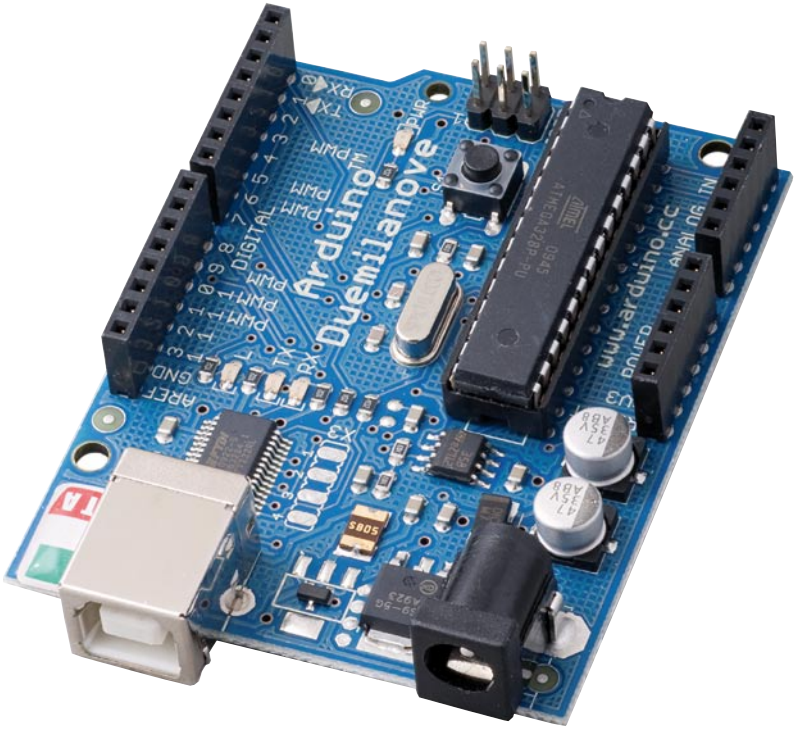
2. Auflage

Manuel Odendahl,
Julian Finn & Alex Wenger

Arduino

Physical Computing für Bastler, Designer & Geeks

o'reilly's basics



- Microcontroller-Programmierung für alle
- Rapid Prototyping
- Mit kompletter Programmiersprachenreferenz

O'REILLY®

Inhalt

Einleitung . . . . . **IX**

1 Von Königen und Kondensatoren **1**
Die Geschichte des Arduino-Projekts 1
Der Arduino, das unbekannte Gerät 3
Arduino-Projekte: eine kleine Vorstellung 8
Hardware 17
Die Arduino-Entwicklungsumgebung 22

2 Physical Computing, elektrische Grundlagen und der Sprung ins kalte Wasser **31**
Elektrische Grundlagen 35
Schaltungen, Bauteile und Schaltbilder 43
Löten 64
Fehlersuche in elektronischen Schaltungen 73

3 Workshop LED-Licht **83**
Erste Schritte 83
Eine blinkende LED – das »Hello World« des Physical Computing 84

4 LEDs für Fortgeschrittene **109**
LED-Matrix 109
Animationen 113
Interrupts 115
Tamagotchi 118
Brainwave und Biofeedback 121

5 Sprich mit mir, Arduino! . . . 129
Nach Hause telefonieren mit der seriellen Konsole . . . 131
Automatisierung mit Gobetwino . . . 137
Processing . . . 142

6 Arduino im Netz . . . 153
Hello World – ein Mini-Webserver . . . 157
Sag´s der Welt mit Twitter . . . 160
Fang die Bytes – Datalogger . . . 165

7 Sensoren . . . 171
Sensoren . . . 171
Aktoren . . . 187
Elektronischer Würfel . . . 191

8 Automation . . . 199
Alles hört auf mein Kommando . . . 199
DMX . . . 200
Barlicht . . . 202
RF-Steckdosen . . . 204
Gespensterschreck . . . 207

9 Wearable Computing . . . 209
Programmierbare Kleidung . . . 209
Wearable Komponenten . . . 211
Die iPod-Steuerung im Mantel . . . 215

10 Musik-Controller mit Arduino . . . 227
Musik steuern mit dem Arduino . . . 227
Das MIDI-Protokoll . . . 233
Die MidiDuino-Bibliothek . . . 239
Ein MIDI-Zauberstab . . . 241
MIDI-Input . . . 244

11 Musik mit Arduino . . . 247
Töne aus dem Arduino . . . 247
Erster Sketch: Töne mit langsamer PWM . . . 251
Zweiter Sketch: Angenehme Klänge mit schneller PWM . . . 252
Dritter Sketch: Steuerung von Klängen . . . 254
Vierter Sketch: Berechnungen in einer Interrupt-Routine . . . 255
Fünfter Sketch: Musikalische Noten . . . 258

A Arduino-Boards und -Shields **265**
Arduino-Boards 265
Arduino-Shields 269

B Arduino-Bibliotheken **275**
EEPROM-Bibliothek: Werte langfristig speichern 276
Ethernet-Bibliothek: mit dem Internet kommunizieren 277
Firmata-Bibliothek 281
LiquidCrystal-Bibliothek 282
Servo-Bibliothek 284
Debounce-Bibliothek 285
Wire-Bibliothek 286
capSense-Bibliothek 288

C Sprachreferenz **291**
Übersicht: Programmiersprachen 291
Struktur, Werte und Funktionen 292
Syntax 293
Programmwerte (Variablen, Datentypen und Konstanten) 297
Ausdrücke und Anweisungen 309
Ausdrücke 310
Kontrollstrukturen 327
Funktionen 338
Sketch-Struktur 347
Funktionsreferenz 350

D Händlerliste **367**

Index **369**

KAPITEL 1

Von Königen und Kondensatoren

In diesem Kapitel:

- Die Geschichte des Arduino-Projekts
- Der Arduino, das unbekannte Gerät
- Arduino-Projekte: eine kleine Vorstellung
- Hardware
- Die Arduino-Entwicklungsumgebung

Die ersten Investitionen sind getätigt. Das Buch hier und ein Arduino-Board sind gekauft, und nun liegt dieses wundersame Gebilde aus Schaltkreisen, Chips und Pins auf dem Tisch. Wo kommt es her, wo wird es hingehen? Die folgenden Kapitel sollen darin Einblick geben. Von der Geschichte des Arduino-Projektes geht es zur Beschreibung des in diesem Buch verwendeten Boards, des Arduino Duemilanove. Wenn Sie noch keines besitzen, können Sie in diesem Kapitel auch Bezugsquellen nachschlagen. Anschließend werden die Grundzüge des Physical Computing und der dafür notwendigen Physik erklärt, um in den darauf folgenden Kapiteln schließlich mit kleinen Workshops zu beginnen, die die Programmiersprache und einfache Schaltungen erklären. Wer diese Workshops durcharbeitet, sollte anschließend in der Lage sein, größere Projekte mit Arduino durchzuführen. Ob dabei bunte Lampen gebastelt werden, eine Pflanze über Twitter meldet, wenn sie Wasser benötigt, oder der Arduino dazu verwendet wird, Musik zu machen – dieses Buch sollte nicht nur Einsteigern genügend Möglichkeiten bieten, die Welt des Physical Computing kennenzulernen.

Die Geschichte des Arduino-Projekts

Im Jahre 1002 ließ sich Arduino, Markgraf im oberitalienischen Ivrea, nach dem Tod von Kaiser Otto III zum König von Italien wählen. Er hatte sich damit eine Marktnische gesucht, die es vorher nicht gegeben hatte: Italien war bis dahin von den römisch-deutschen Königen beherrscht worden. An die Macht gekommen war Arduino durch unrechtmäßige Aneignung von Kirchengut, was ihm nach der Ermordung des Bischofs Petrus von Vercelli 997 die Exkommunikation einbrachte, seinen Weg zu mehr Einfluss aber

nicht aufhielt. Sein Geschäftsmodell erwies sich als letztendlich nicht tragfähig: Nachdem er erheblichen militärischen Widerstand von Adel und Klerus erfahren hatte, verzichtete er auf den Thron und starb in einem Kloster. Italien bekam nach ihm erst in der Neuzeit wieder einen König.

Das Arduino-Projekt hat seinen Namen nicht direkt von dem machthungrigen, aber letztendlich erfolglosen italienischen König geerbt. Ein freundlicherer Namenspatron wäre sicher der Geograph Giovanni Arduino (1714–1795), der Vater der italienischen Geowissenschaft, nach dem auch der Meeresrücken Dorsum Arduino auf dem Mond benannt ist. Noch näherliegend ist aber eine ganz andere Erklärung für den Namen: »Arduino« war der Name einer Studentenkneipe (die wiederum nach König Arduino benannt ist) in der Nähe des Interaction Design Institute Ivrea (IDII) in Italien, einer ehemaligen Hochschule für Gestaltung.

Ganz wie der König aus dem 11. Jahrhundert hat das Elektronikprojekt Arduino aber etwas ganz Neues versucht, was es in dieser Form bisher nicht gab. Allerdings ist dem Projekt bis jetzt größerer Erfolg beschieden, und statt Machtgier und Intrigen ist das Leitprinzip die Offenheit.

Die Gestaltung von Interaktion wurde am IDII von 2001 bis 2005 gelehrt. Unter Interaction Design versteht man diejenige Fachrichtung der Gestaltung, die sich mit Verhaltensweisen von Produkten und Systemen beschäftigt, mit denen ein Benutzer interagieren kann. Das IDII hatte nur genau einen Kurs und einen Magisterabschluss in Interaction Design im Angebot. Obwohl die Schule nach vier Jahren mit einer anderen Akademie zusammenlegt wurde, nachdem die ursprüngliche Förderung ausgelaufen war, und heute nicht mehr als eigenständige Institution existiert, hatte sie einen Einfluss, der noch heute spürbar ist. Neben dem Arduino entstanden hier wichtige Beiträge zu der Grafikprogrammierplattform »Processing« vom MIT Media Lab und ein viel gelesenes Standardwerk zum Interaction Design.

Im Winter 2005 hatte Massimo Banzi, Dozent für Gestaltung am IDII, ein Gespräch mit David Cuartielles, einem Mikrochip-Ingenieur aus Spanien, der einen Forschungsaufenthalt am Institut absolvierte. Die beiden sprachen darüber, wie oft Banzi Klagen von Studenten hörte, dass es keine preiswerten und einfach zu programmierenden Mikrocontroller-Plattformen für Kunstprojekte gebe. Sie entwickelten ihr eigenes Design für ein Board. Ausgehend von der Entwicklungsumgebung Processing schrieb David Mellis

eine Programmiersprache für das Projekt, und irgendwann muss die Idee entstanden sein, das Ganze nach der örtlichen Kneipe zu benennen.

Mit 3.000 Euro Startkapital wurden eine erste Serie von Arduinos bei einem kleinen Hersteller produziert und das komplette Design unter einer Creative-Commons-Lizenz im Internet veröffentlicht.

Creative Commons ist ein Satz von vorgefertigten Lizenzverträgen für die Veröffentlichung und Verbreitung digitaler Medieninhalte. Der einfachste CC-Lizenzvertrag verlangt vom Nutzer lediglich die Namensnennung des Rechteinhabers. Unter diesen Bedingungen ist auch das Hardwaredesign für Arduino verfügbar, solange es unter den gleichen Bedingungen weitergegeben wird. Lediglich den Namen »Arduino« möchten die Entwickler als Marke behalten und bitten darum, eigene Entwicklungen unter einem anderen Namen zu veröffentlichen.

Mittlerweile ist aus dem Projekt eine kleine internationale Firma geworden, unterstützt vom Professor Tom Igoe vom Interactive Telecommunications Program der New York University. Die Tatsache, dass jeder sich das Design von Arduino schnappen kann und in einer Fabrik in Fernost Kopien in Massenproduktion anfertigen kann, hat nicht geschadet. Die Offenheit ist nicht nur ein Grund für die Beliebtheit der Plattform, sondern hat auch dazu beigetragen, dass sich Schaltungen und Code für Arduino an vielen Stellen im Internet finden lassen. Eine Firma, die sich nicht der offenen Gemeinschaft von Enthusiasten bedienen könnte, weil sie die Verwertungsrechte mit Zähnen und Klauen verteidigt, hätte diesen unschlagbaren Vorteil nicht.

Arduino als Gemeinschaft ist vergleichbar mit dem Phänomen der Emergenz in der Natur. Dieser Begriff bezeichnet das spontane Herausbilden von Strukturen in Systemen durch das Zusammenspiel ihrer Elemente, ohne dass das Endergebnis auf die einzelnen Elemente direkt zurückführbar ist. Ob beim Ameisenbau oder bei der freien Mikrocontroller-Plattform: Das Ganze ist größer als die Summe seiner Teile.

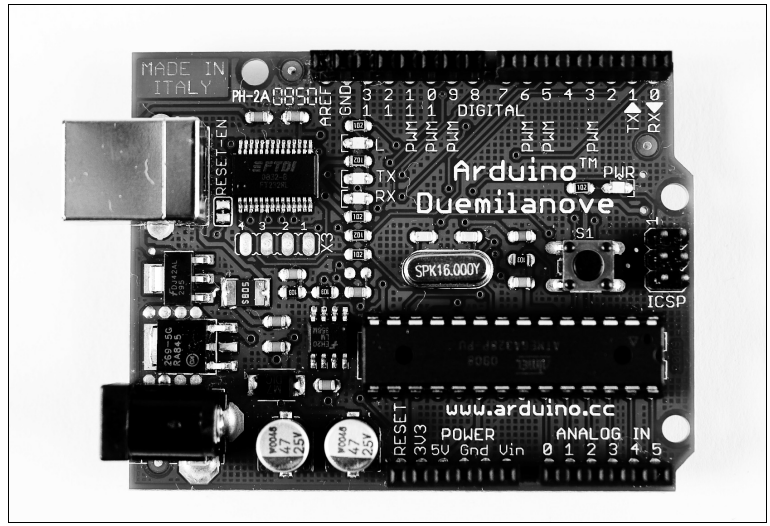
Der Arduino, das unbekannte Gerät

Arduino besteht aus einer Entwicklungsumgebung und einem Entwicklungsboard. Die Entwicklungsumgebung läuft auf einem normalen Computer und bildet den Softwareteil. In ihr werden Programme geschrieben, die dann auf dem Board, der Hardware,

ausgeführt werden. Das Board funktioniert dabei als Schnittstelle von der Welt der Bytes zur der Welt der Dinge: Es kann Eingaben, etwa von Sensoren, verarbeiten und elektrische Signale ausgeben. Zum Beispiel an *Aktoren*, also Bauteile, die eine Auswirkung auf die physikalische Welt haben. Das können Motoren sein, Relais oder aber Ausgabeschnittstellen wie Lichter, Lautsprecher oder Displays. Oder man steuert damit wiederum Sensoren, also Bauteile, die von der realen Welt beeinflusst werden und diese Veränderungen elektronisch weiterleiten, wie etwa einfache Schalter, Temperatur- oder Lichtsensoren. Seine Anweisungen erhält das Board von Programmen, die in der Arduino-Software geschrieben und anschließend in den Speicher geladen werden.

Dabei kann der Entwickler frei entscheiden, ob er das Board vom Computer abkoppeln und als eigenständiges Gerät einsetzen oder als Schnittstelle zwischen Computer und Außenwelt verwenden möchte. Indem es ständig mit dem Computer kommuniziert, kann es benutzt werden, um Programme wie PureData, Processing, Flash, VVVV oder Max/MSP zu steuern. Das Arduino-Board kann hier durchaus mehr Arbeit leisten, als nur Daten zu übermitteln. Es kann sie vorher verarbeiten, oder es kann für Benutzerschnittstellen mit Tastern, Drehreglern, Lichtern und vielen anderen Möglichkeiten eingesetzt werden.

Abbildung 1-1 ▶
Das Arduino-Board



Beim Arduino-Projekt wird viel Wert auf eine Entwicklungsmethode gesetzt, die iterativ und interaktiv ist: Man geht davon aus,

dass Elektronik und Programmieren am besten durch Basteln, Ausprobieren und Modifizieren erlernt werden können. Eine Schaltung versteht man am besten, indem man sie zunächst aufbaut und zum Laufen bringt. Anschließend kann man sie erweitern und modifizieren. Auf die gleiche Weise lernt man auch den Umgang mit einer Programmiersprache besonders gut. Des Weiteren gibt es im Internet eine riesige Menge an verschiedenen Beispielen und Schaltungen mit Arduino, die jeder bei sich zu Hause ausprobieren und weiter modifizieren kann. Dadurch können viele Schaltungen sehr einfach selbst gebastelt, analysiert und auch verstanden werden.

Die ursprüngliche Zielgruppe von Arduino waren Designer und Künstler. Deswegen sind viele Funktionen sehr einfach gestaltet, damit Benutzer, die noch nie zuvor programmiert und elektronische Schaltungen gebaut haben, sich schnell mit der Umgebung vertraut machen können. Schon nach einigen Stunden können eigene Prototypen und Projekte zum Laufen gebracht werden. Fortgeschrittenen Nutzern mag vieles ein bisschen umständlich oder ineffizient vorkommen, es steht ihnen aber auch nichts dabei im Wege, fortgeschrittene Programme zu schreiben, die vollen Zugriff auf die tieferen Funktionen haben. Das Ziel von Arduino ist, Komplexität und Aufwand von normalen elektronischen Projekten zu verringern, damit auch Anfänger sich schnell zurechtfinden und nicht abgeschreckt werden.

Die Arduino-Software ist frei unter *http://www.arduino.cc* erhältlich und wird als Open Source zur Verfügung gestellt. Das heißt, sie darf verändert und wieder zum Download angeboten werden. Auch die Schaltpläne für das Board sind frei, sodass es eine Vielzahl von Abwandlungen zu kaufen gibt. Das derzeit (April 2010) aktuellste Board ist der »Arduino Duemilanove«, der auch in diesem Buch verwendet wird. Die Sprache basiert auf den Grundideen von Processing, wobei sie keine Variante von Java ist, sondern vielmehr auf C++ basiert. Man braucht diese Sprachen, wenn man denn schon von ihnen gehört hat, nicht zu fürchten, denn ihre Komplexität wird bei Arduino durch viele hilfreiche Konstrukte vor dem Benutzer versteckt (sie ist aber für fortgeschrittene Benutzer immer noch zugänglich).

Natürlich gibt es noch eine Reihe von anderen Hardware-Entwicklungsumgebungen. Arduino bietet aber einige Vorteile:

- Arduino ist günstig. Die Software ist kann frei heruntergeladen werden, das günstigste Arduino-Board schon für ca. 25 Euro

Index

Symbole

(Raute) 138
// (Kommentarzeichen) 295
<<-Operation 321
==-Operator 323
>>-Operation 322
~ (Tilde) 320
~ (Tildenoperator) 116

Numerisch

3-D-Drucker 267

A

Abisolierzange 63
Abstandssensor 178
Acknowledged 154
Adafruit Ethernet Shield 270
Adafruit GPS Shield 272
Adafruit Motor Shield 274
ADXL320 176
ADXL330 176
AIR-Projekt 9
Aktoren 187
Alphawellen 121
Ampere 36
analoge Codierung 41
Analoge Ein- und Ausgabe 352
Anode 85
Api
  Application Programming Interface 94
Application Programming Interface
  API 94
Ardrumo 234
Ardugotchi 119
Arduino XVI
  AIR-Projekt 9
  Aktoren 4, 20
  Analoger Pin 20
  Arbeitsspeicher 27
  Arduino-Programm 292
  Betriebsleuchte 19
  Bezugsquellen 21
  Bibliotheken 275
  Board 267
  Bootloader 19
  C++ 5
  Duemilanove 5
  Editor 292
  EEPROM 165
  E-Mails versenden 137
  Entwicklungsboard 3
  Entwicklungsumgebung 3, 22
  Ethernet-Shield 155
  GND (Ground) 20
  Hobley, Stephen 248
  I/O-Pin 20
  Installation unter Linux 22
  Java 5
  Kommunikation mit PC 137
  Labyrinth 14
  LilyPad 8
  Markenrecht XVI
  Mega 266
  Minuspol 20
  Musik 12, 247
  Philosophie 7
  Programmfunktionen 292
  Programmstruktur 292
  Programmwerte 292

Prototypen 7
Proxy 137
Pulsweitenmodulation 251
Reset-Schalter 19
Sensoren 20
serielle Kommunikation 131
serielle Konsole 132
Shield 269
Sounderzeugung 12
Spiele 12
Stromanschluss 19
Syntax 291
Übertragungsleuchte 19
USB-Chip 18
USB-Port 18
Varianten 267
visuelle Effekte 9
Webserver 157
Wii Balance-Board 14
Arduino Bluetooth 266
Arduino Duemilanove 18, 265
Arduino Lilypad 267
Arduino Mega 266
Arduino Mini 267
Arduino Nano 267
Arduino Pro 5V 266
Arduino Proto Shield 269
Arduino RepRap Shield 270
Arduino, Giovanni 2
Arduinoboy 14
Arduino-Entwicklungsumgebung
Codefenster 27
Konsole 27
Sketch 26
Sketchbook 28
Skizzenbuch 28
Symbolleiste 26
Syntax Highlighting 28
Arduinome 272
Arduino-Shield 269
ArduPilot 268
Argumentenliste 341
arithmetische Operation 315
Arnold, Frank 247
Array 91
Arrays 302
Atari 12
Atmega168 18
Atmega328 18
Ausdruck 309, 310

B

BakerTweet 15
Banzi, Massimo 2
Basis
Transistor 105
Battery Shield 270
Bausteln-Projekt 21
Bauteile
Bedrahtete 44
Oberflächenbauteile 44
parallel schalten 39
passive Komponente 44
surface mounted devices (SMD) 44
Benutzerschnittstelle 33
Beschleunigungssensor 241
Beschleunigungssensoren 176
Betawellen 121
Bibliothek 275
Biegungssensor 186
Bilderrahmen 17
bipolare Spannung 250
Bitübertragungsschicht 153
Blinkenlights 12
Blinkenlights-Projekt 109
Boarduino 268
Boolesche Operation 324
Bootloader 62
Botanicalls 161
Bouncing
Prellen 95
Boxsack 11
Brain Machine 122
Brainmachine 65
BrainPong 185
Brainwave 128
Breadboard-Shield 269
Brewboard 15
BrewTroller 15
Buchse 58
Buchsenleisten 60
Buchstaben 301
Byte 130

C

Cadmiumsulfid 175
Cahill, Thaddeus 227
Callback-Funktion 244
capSense-Bibliothek 288
Channel Pressure-Nachricht 236
Chip 41

Codierung
  analoge 41
  digitale 41
Controller Change-Nachricht 236
Creative Commons 3
Cuartielles, David 2

D

Dance Dance Revolution 34
Datenblätter 44
Datenblattsammlungen 45
Datentyp 86
  Variablen 86
Datentypen 297
  Numerische 298
Datentypkonvertierung 312
Debounce-Bibliothek 94, 285
Dehnungsmessstreifen 186
Dekrementierungsoperation 326
Deltawellen 121
Desktopcomputer 33
Die binäre Brücke 11
Diecemila 265
Differenzdrucksensor 185
Digiripper 9
Digital-Analog-Wandler 251
digitale Codierung 41
Digitale Ein- und Ausgabe 351
digitale Kommunikation 129
Dihardja, Daniel 247
Dimmen 107
Diode 55
  Anode 55
  Kathode 55
diskrete Spannungswerte 41
Display
  Siebensegment 111
Diver Sequencer 248
DMX 273
DMX-shield 273
do ... while-Kontrollstruktur 338
Dorsum Arduino 2
DPDT (Double Pole, Double Throw) 49
DPST (Double Pole, Single Throw) 49
Drehknopf 102
  Helligkeit 102
Drehregler 172
Dreiachsen-Beschleunigungssensor 241
Drei-Wege-Handshake 154
Drucksensoren 53
Dynamisches Mikrofon 183

E

EAGLE 46
Echtzeit-MIDI-Nachricht 236
EEPROM 165, 276
  Lebensdauer 170
  Schreibzyklen 169
Eingabepin 87
Eingabesensoren 273
Eingabe-Shields 273
Elektret-Kondensatormikrofone 183
Elektretmikrofone 183
elektrische Regel 43
elektrischer Leiter 43
elektrischer Strom 36
Elektroenzephalografie 185
Elektrolytkondensator 53
elektromechanische Klangerzeugung 227
Elektron 36
Elektronische Klangerzeugung 250
elektronisches Klavier 248
Elko 53
Entkopplungskondensator 250, 260
Entlöten 71
Entlötlitze 71
Entlötpumpe 72
Entwicklungsumgebung
  Processing 2
Epoxidharz 43
E-Reihen 50
Erschütterungssensor 194
Ethernet 277
exklusiver ODER-Operator 319
EyeToy 34

F

Fehlerquellen 77
Feldeffekttransistor 105
Fernbedienung 173
Feuchtigkeitssensor 182
Filtern 260
Fingerabdruckssensoren 184
Firmata 144, 281
  Bibliothek 281
  Schnittstelle 281
Flash 4
Flexsensoren 53
Fließkommazahlen 301
Flugdrohne 173, 177
Fluidforms 11
Flusskontrolle 151

for-Kontrollstruktur 334
Fototransistor 175
Fotowiderstand 53
Fotowiderstand (LDR) 175
Fotozelle 53
Freeduino.org XVI
Frequenzen 260
Frequenztabelle 259
Funktion 92, 338, 342
  Argumente 92
Funktionsargumente 342
Funktionsaufruf 338
Funktionsdefinition 340
Funktionsdeklaration 340

G

Gadget 16
Galliumarsenid 105
Gammawellen 121
Gasdrucksensor 185
gEDA 46
Gehirnmaschine 122
Gehirnwellenmaschine 16
Geschweifte Klammern ({}) 294
Glasfaser 43
Gleichspannung 56
Gleichstrommotor 188
Glühbirnen vs. LED 106
GND
  Ground 85
Gobetwino 137
Gotcha 14
GPS-Shield 272
Grundton 263
Gyroskop 178

H

Halbleiter 40
Halbleitermaterial 54
Hall, Edwin 180
Hall-Sensor 180
Handluftpumpen 247
Hauptfunktion 84
  loop() 84
Hayward, David 107
Heißluftpistole 72
Helligkeitsstufen 102
Hexadezimaldarstellung 301
HIGH-Spannung 41
Hirnwellenfrequenz 127
HMC6352 182
Hochpräzisionswiderstände 50
Holm, Eric 13
Honeywell 182
HTTP 155
Hygrometer 182
Hypertext Transport Protocol (HTTP) 155

I

i2c 241
IC 61
if ... else-Kontrollstruktur 328
if-Kontrollstruktur 327
Igoe, Tom 3
Illuminato 268
IMAP 155
In-Circuit Serial Programming
  ICSP 19
Infrarotsensoren 181
Inkrementierungsoperation 326
Input 32
Input-Output
  IO 88
Instructables.com XVII
Integer
  Zahl 86
integrated circuit 41
Interaction Design 2
Interaction Design Institute Ivrea (IDII) 2
Interactive Telecommunications Program 3
Internet Protocol (IP) 153
Interrupt-Routine 255
IO
  Pin 88
IP-Adresse 154
iPhone 33
iterieren 91

J

Joystick 173, 273

K

Kabel 58
Kapazitiver Pad 173
kapazitiver Sensor 179
Kathode 85
Katze 17

Key Pressure-Nachricht 236
KiCad 46
Kingbright TA20 110
Klangstufen 10
Kleidung 8
Kohleschichtwiderstände 50
Kollision 148
Kommentare 295
Kommunikation
  Protokoll 129
Kompass 182
Kompilieren 95
Kondensator 53
  Farad 53
  Filter 54
Konstanten 308
Kontrollstruktur 327
Kraftsensor 185
Krokodilklemmen 59
Künstler 8
Kupferleiterbahn 43
Kupferlitze 59

L

L293 189
Ladyada XVII
Lampe
  Farbverläufe 100
Lampen 106
Laptop 130
  RS232-Schnittstelle 130
Laserharfe 248
Laserspiele 13
Laufschrift 109
Lautsprechermembran 250
LCD-Bildschirm 282
LDR (Fotowiderstand) 53, 162, 175
LED 109, 187
  Anode 85
  Auge 98
  Diode 84
  Kathode 85
  Lichtfarbe 85
  light emitting diodes 84
  Matrix 110
Leistung 39
Leuchtdioden 106
Leuchtstofflampen vs. LED 106
Leyh, Arvid 122
LFO 257
libraries 275
Lichtschranke 176
Lichtsensor 146
Lichtwechsel 93
Lichtwecker 107
Light Intensity 175
Lilie, Anita 16
Linux 22
LiquidCrystal 282
Liquidware 273
Liquidware TouchShield 271
Lochrasterplatine 43, 65
Logarithmustabelle 100
Logische Negierung 320
Logische Operation 316
Löten 64
  Sicherheit 72
Lötkolben 67
Lötpunkte 70
Lötspitze 67
Lötvorgang 69
Lötzinn 68
  Flussmittel 68
  ROHS-Regelung 68
Low Frequency Oscillator (LFO) 257
LOW-Spannung 41
LSBFIRST 355
Luftfeuchtigkeit 182
Luftverschmutzung 9

M

Mac OS X 22
Make Magazine XVI
March Frame Projec 16
Maskierung 317
Masse 85
mathematische Funktion 359
Matrix 109
  Flackern 115
MAX/MSP 11
Max/MSP 4
mediamatic.net XVII
Mellis, David 2
Melodien 259
MEMS 176
Messung
  analoger Eingang 102
Metalldetektor 180
Metalloxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor
  Mosfet 105

Metallschichtwiderstände 50
MicroSD Module 272
MIDI 231
  Temposynchronisation 236
  Timing Master 236
  Timing Slave 236
Midi 143
Midi Monitor 235
MidiDuino 239
  Bibliothek 239
MIDI-Gerät 231
MIDI-Nachrichten 235
MIDI-Protokoll 231, 233
MIDI-Sniffer 235
Miduino 268
Mika Satomi 186
Mikrocontroller 32
Mikrofon 106
Mikrofone 183
Milk Lamp 107
MIT Media Lab 2
Mittelwert 101
Modulo 93
Modulo-Operation 315
Moll-Arpeggio 258
Mollterz 258
Monome 232
Moog, Bob 228
Morup, Mikael 137
Motion-Capturing 186
Motor-Driver 189
Motoren 188
MSBFIRST 355
Multimeter 78
  Spannungen messen 80
  Ströme messen 81
  Widerstandswerte messen 80
Multitouch-Oberfläche 33
Musik-Shield 271

N

Nam June Paik 9
Natal 34
Negative Zahlen 300
Negierungsoperator 320
Nervenzellen
  Spannungsimpulse 121
Niedrigfrequenzoszillator 258
Nintendo 177
Nintendo Gameboy 14
Note Off 236
Note On 236
NPN-Transisto 105
Nullpunkt 262
Nunchuck 173, 241

O

Obertöne 260
Objekt 95
ODER-Operator 319
Ohmsches Gesetz 37
Open Heart Kit 65
Open Source 5
Open Systems Interconnection Model 129
OpenEEG 185
Operationen 311
Optokoppler 237
OSI-Modell 129
Oszilloskop 81
Output 32

P

Pad 173
Paintball 13
Parameter 338
Parker, Alastair 13
Perner-Wilson, Hannah 186
Physical Computing 31
  Grundlagen 35
  Rechnen 42
  Sensoren 171
Piezoeffekt 184
Piezoelektrisches Mikrofon 184
Pin
  Festlegung 84
  Setup-Routine 84
Pinzette 64
Platine 43
Pocket Piano Shield 249
Pong 12
POP3 155
Potentiometer 102, 172
Powerball 13
Präzedenzregeln 314
Prellen 94
  Bouncing 95
PRNG (pseudorandom number generator) 362

Processing 2, 142
  Drehknopf 145
Program Change-Nachricht 236
Programmblock 294
Programmiersprache 84
Programmrumpf 340
Programmstruktur 293
Propellurino 270
Protoduino 269
pseudozufälliger Zahlengenerator 362
Pulswellenmodulation
  PWM 97
  Zähler 98
Punkten 42
PWM
  Pulsweitenmodulation 97

Q

Quadrokopter 178
Quecksilberspeicher 230
Quinte 258

R

R.E.M. 142
Radio Frequency Identification, (RFID) 271
Raes, Godfried-Willem 228
Rails 65
Rapid Prototyping XI
Rauschen 260
Raute (#) 138
Reed-Relais 180
Relais 54
RepRap 267
reservierte Zeichen 296
resistive Sensoren 172
Resistiver Pad 173
resistiver Touchscreen 174
Resistor Capacitator (RC) 180
Restwert 315
RFID 271
RGB-LED 106
Ribbon Controller 173
Roaming Drone 175
Roboduino 268
Roboter 12
Rotor 189
Rückgabetyp 309
Rückgabewert 309

S

s2midi 234
Sanguino 267
Schaltbild
  Verbindungen 46
Schalter 48, 87
  Ball Switches 48
  Taster 49
Schaltkreis 36, 61
  elektrischer 35
Schaltung 43
  analoge 40
  digitale 40
Schaltungen
  Fehlersuche 73
  Temperatursensortransistorverstärkungsschaltung 74
Schieberegler 273
  Fader 52
Schleife
  for() 91
  loop() 91
Schleifendurchlauf 91
Schrittmotor 189
Schutzbrille 122
Seitenschneider 63
Semikolon 294
Sensor
  resistiver 39, 53
Sensoren 171
Septime 258
Sequencer 229
Serielle Kommunikation 363
Servo
  Bibliothek 284
Servo (siehe Servomotor) 139
Servomotor 138, 188
Servomotoren 284
shiften 321
Shift-Register 62
SID-Chip 272
Siebensegment 111
Signal
  digitales 86
  elektrisches 35
Silizium 54
Sketch 347
  Funktionsreferenz 350
  Kompiliervorgang 26

loop() 348
.pde 349
Stop-Symbol 27
Struktur 347
Sleeptracker 16
SMTP 155
SN754410NE 189
Sniffer 155
Solenoid 190
Sonar 181
Sonic Body 11
Soundchip 271
Spannung 35, 41, 86
U 86
Volt 35
Spannungsregler 56
Spannungsteiler 38
Spannungswert 50
SparkFun 176
SPDT (Single Pole, Double Throw) 49
Spielekonsolen 12
Spielzeugroboter 12
Spitzzange 64
SPST (Single Pole, Single Throw) 49
Stahlwolle 68
Steckbrett 43, 57
Stecker 58
Steckernetzteil 56
Stereoklinkenbuchse 249
Strom 36
Studentenkneipe
Arduino 2
switch ... case-Kontrollstruktur 331
Synthesizer
modularer 228
Systeme
mikroelektrisch-mechanische 176

T

T.V.-be-Gone 65
Tabellen 302
Tamagotchi 118
Tank Shield 273
Taos 175
Taster 48, 87
TCP 154
Telharmonium 227
Temperatursensor 182
Theremin 228, 260
Thermistoren 53
Thetawellen 121
Tiefpassfilter 106, 249, 260
Tilde (~) 320
Tildenoperator (~) 116
tinker.it XVI
Tischzange 69
dritte Hand 69
Tomczak, Sebastian 9
Tonhöhe 127
Touchpad 173
Touchscreen 174
TouchShield 271
Transistor 54
Basis 105
Emitter 105
Kollektor 105
NPN 105
PNP 105
Transistoren 105
Treiberbaustein 61
TSL230R-LF 175
Tweetie 160
Tweets 160
Twhirl 160
Twitter 160

U

UDP 154
Ultraschallsensor 17
Umgang mit Strom
Fehlerstromsicherung 40
Sicherheitsregeln 40
Umwandlung aus Energie
Wärme 36
UND-Operator 317
unipolare Spannung 250

V

Vakuumröhren 105
Val, Olaf 9
Variable 297, 306
Variablenzuweisung 310
Vergleichsoperation 323
VGA 9
virtual instrument 230
virtuelles Instrument 230
void 92
Vorwiderstand 86
Vorzeichenmarker 98
VVVV 4

W

Wärmeleitpaste 106
Watt 39
Wave Shield 271
Wearable Computing XVII
  LilyPad 8
Webduino 160
Webserver 138, 157
Wellenform 258
  Sägezahn 258
  Tonhöhen 258
while-Kontrollstruktur 337
Widerstand 36, 50, 86
  Drehpotentiometer 52
  Farbcode 50
  lichtempfindlicher 53
  Ohm 36
  R 86
  Schieberegler 52
  Variabler 52
Wii 34
Wiimote 173
Windows 22
Wire-Bibliothek 286
Wireshark 155
Wiznet W1500 156
WLAN-Modul 154

X

x0xbox 65
Xbee-Shield 271

Z

Zahl
  Integer 86
Zahlen 300
Zählvariable 91
Zapfanlage 15
Zeichenketten 304
Zeitfunktion 356
Zeitschaltuhr 32
Zigbee 271
Zilius, Jonas XVIII
Zufallszahlen 362
Zusammengesetzte Operation 325
Zylinderspule 190