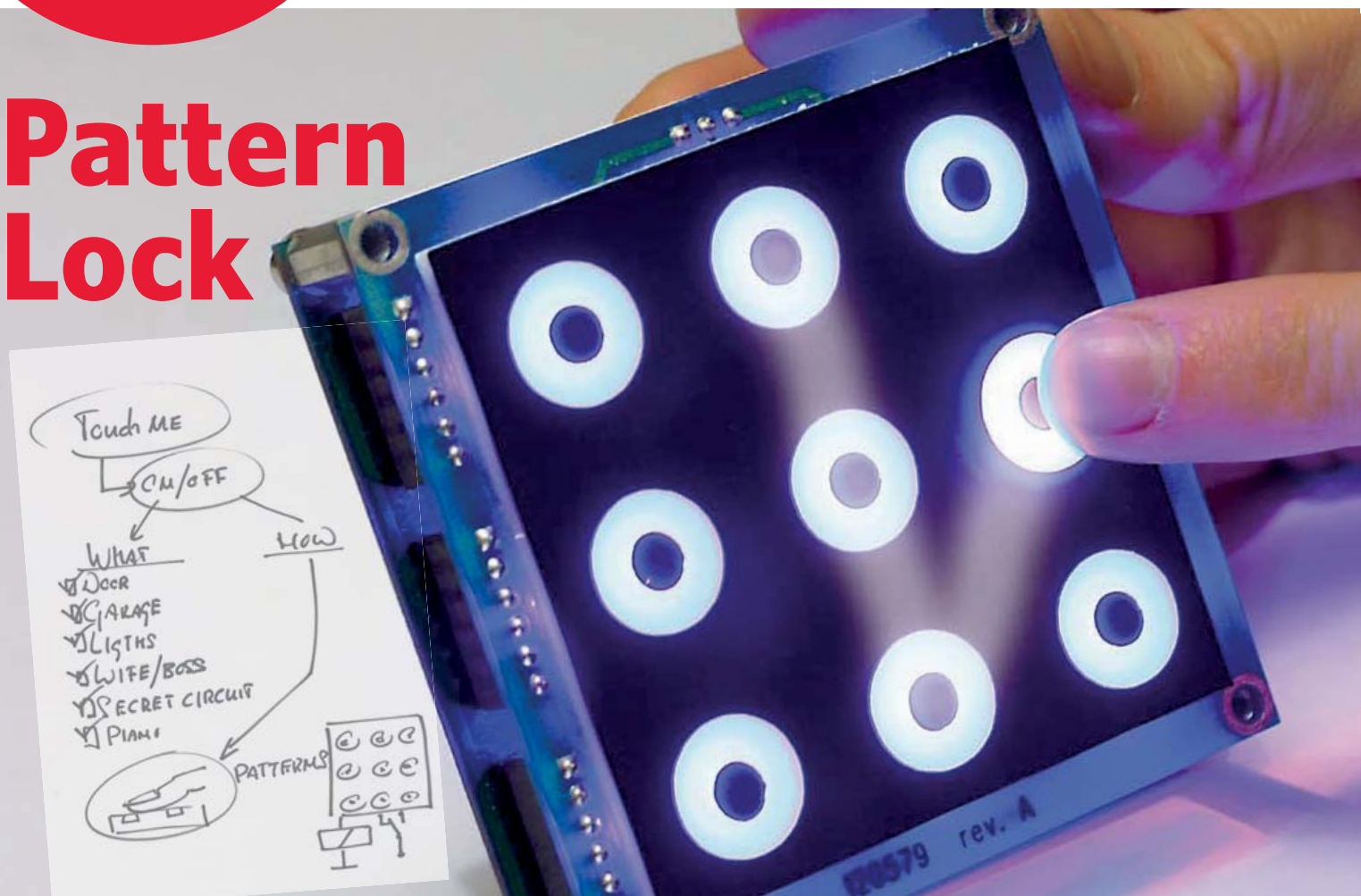


# elektor

## Pattern Lock



## Touch-Tastatur mit Mustererkennung

- **Linux-Erweiterungs-Board** | Beschleunigungssensor | **Servo-Tester** | **Webcam steuern mit Arduino** | Hygrometer
- **Neues aus dem Labor** ● Retronik: Radio-Bausatz
- BLDC-Motorsteuerung ● **Rund um die Elektronikwelt**

DAS ORIGINAL SEIT 1994

**PCB-POOL®**  
Beta LAYOUT

&

**muRata**

present

# RFID in Ihrer Leiterplatte jetzt **KOSTENLOS** testen

## Embedded RFID

- Authentifizieren
- Verfolgen
- Schützen

**UHF Starter-Kit gewinnen!**

Bei jeder MAGIC-PCB®-  
Bestellung automatische  
Teilnahme an wöchent-  
licher Auslosung eines  
UHF Starter-Kits

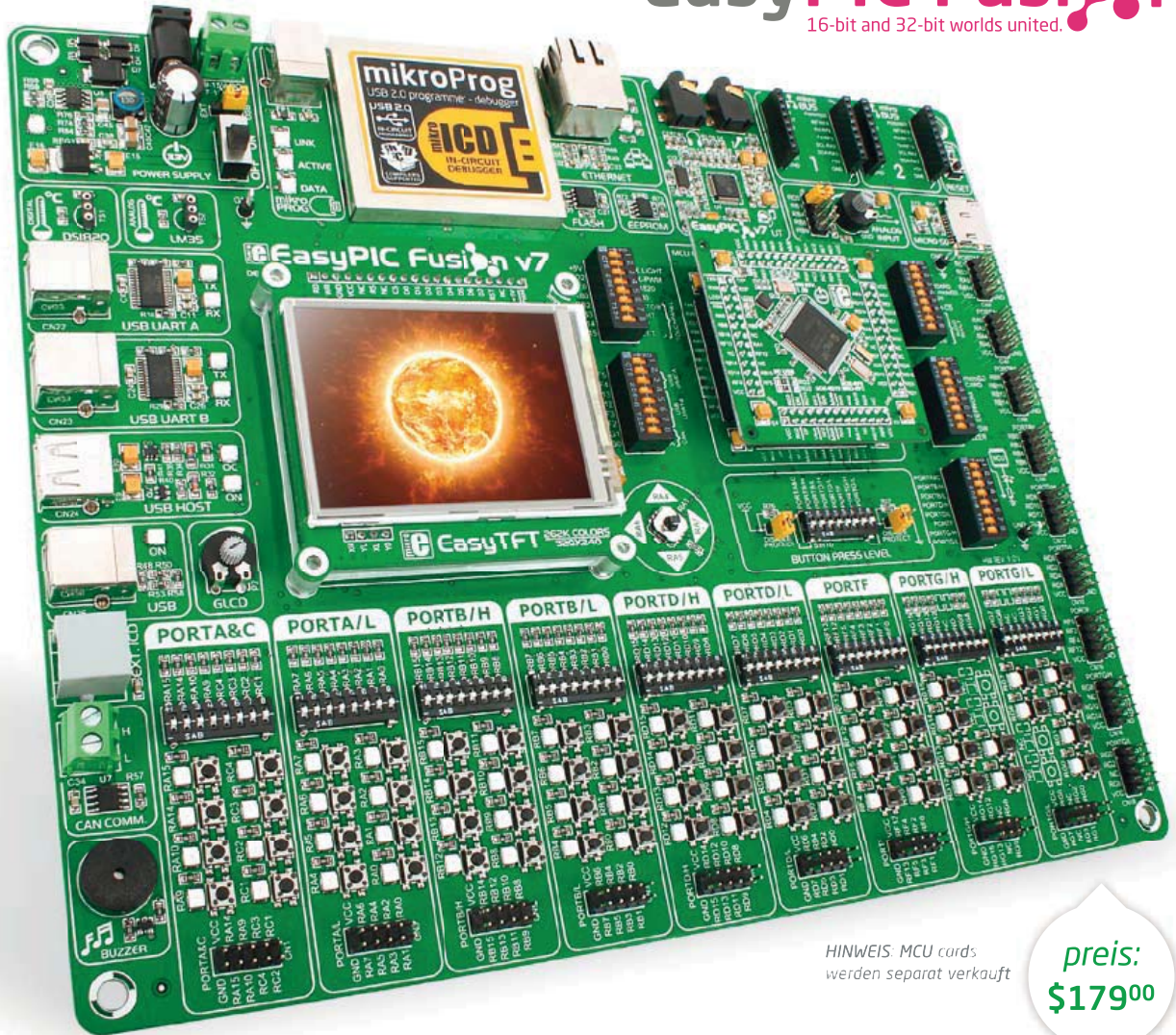
[www.magic-pcb.com](http://www.magic-pcb.com)

[www.pcb-pool.com](http://www.pcb-pool.com)

**Beta**

LAYOUT  
create : electronics





HINWEIS: MCU cards werden separat verkauft

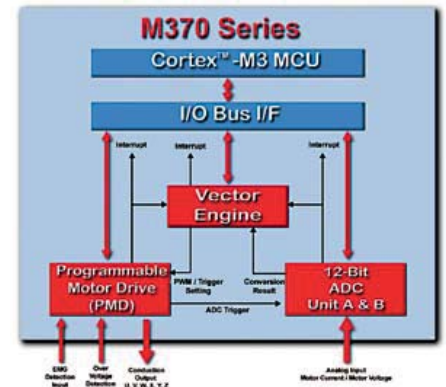
preis:  
**\$17900**



## NOMINIERT FÜR DEN **embedded AWARD 2013**

In der Kategorie „Best Tools“

Wir fühlen uns geehrt und sind sehr stolz darauf, dass wir zur Elite erfolgreicher Firmen gehören, deren Produkte zu den innovativsten dieses Jahres gehören. EasyPIC Fusion v7 verdient diese Anerkennung definitiv, da es das einzige Entwicklungs-Board ist, das gleich drei Mikrocontroller-Familien unterstützt und dabei sogar 16- und 32-bit-Architekturen auf einer Plattform vereint.



## Community

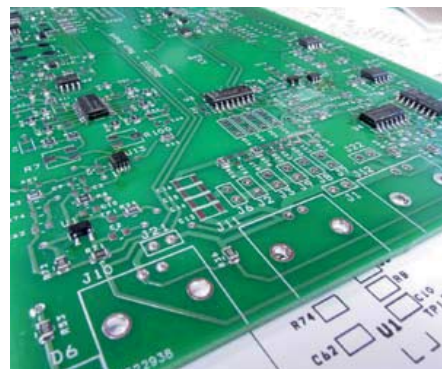
- 6 Impressum
- 8 Aktuell  
Neue Produkte, Korrekturen
- 14 Elektor World  
Neues aus der Elektor-Community

## Industry

- 10 Motorsteuerung:  
die Firmware macht's!  
Ein BLDC-Motor, auch unter Direktantrieb oder bürstenloser Gleichstrommotor bekannt, ist besonders in sensorloser Ausführung häufig in der Industrie und in Haushaltsgeräten zu finden. Eine gute Steuerung wirkt sich hier deutlich auf den Wirkungsgrad und die Lebensdauer aus.

## Labs

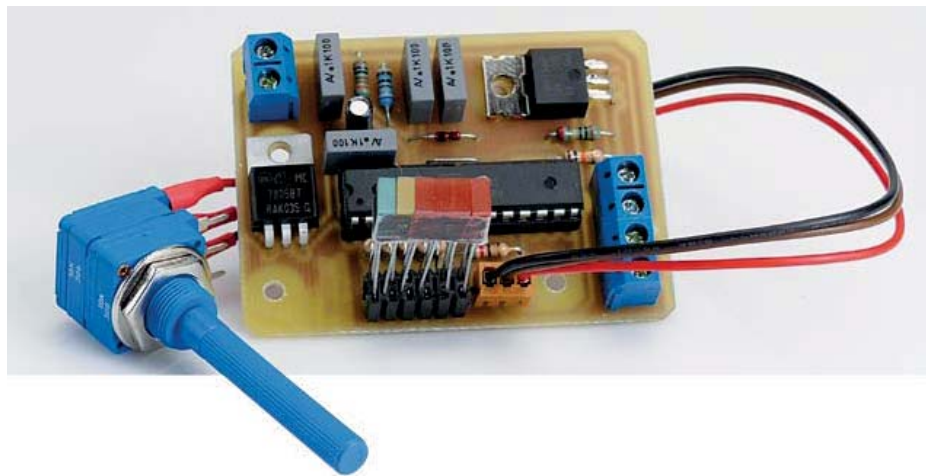
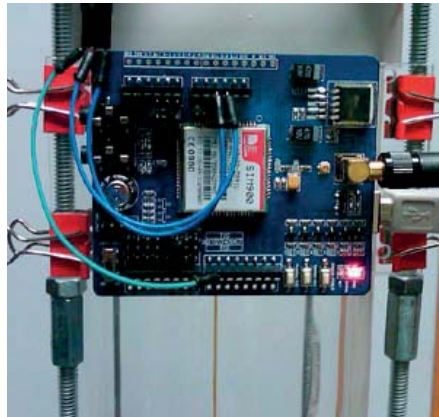
- 44 Wichtige Eilmeldungen!  
Fragen und Antworten zur neuen .Labs-Website
- 46 Quarz-Killer
- 46 Was gibt's Neues?
- 48 LDO-Ersatz in THT



## Projects

- 16 Linux-Bedieneinheit  
Unsere Erweiterungsplatine für das Elektor-Linux-Board enthält ein Display, Taster, eine Echtzeituhr, einen Buzzer und 16 GPIOs.
- 22 Pattern Lock  
„Touch“ läutet das Ende der anfälligen und lauten mechanischen Kontakte ein. Kapazitive Schalter sind verschleißfest, produzieren weniger Rauschen und sparen Platz. Dieses Projekt entzaubert die Touch-Technologie und stellt eine konkrete Anwendung zur Verfügung, die man leicht in eigene Projekte einbinden kann.
- 34 LCR-Meter 2013 (2)  
In dieser Folge stellen wir das Display- und Bedien-Modul vor, mit dem das LCR-Meter stand-alone betriebsfähig ist. Wir erläutern das Menü, das für die Bedienung entwi-





ckelt wurde, außerdem betrachten wir die wichtigsten Aspekte der Software.

#### 50 Beschleunigungs-Sensor geDIPT

Das hier vorgestellte Modul löst das Problem der schwierigen Bestückung für den Beschleunigungssensor MMA7455/7456 von Freescale.

#### 52 Arduino auf Kurs (5)

Irgendjemand stibitzte Kekse aus einer Dose in der Küche! Wir beschlossen, dem Dieb eine Falle zu stellen. Zur Lösung hatten wir Hilfsmittel wie eine Webcam und ein Arduino-Board zur Verfügung...

#### 60 Simpler Servo-Tester

Der Servo-Tester ist eine nützliche Hilfe, wenn die mechanische Funktion eines Servos überprüft werden muss.

#### 62 Lenkerheizung

Die Zweistufen-Schaltung für die Griffheizung seines Motorrads fand der Autor nicht gerade komfortabel...

#### 64 Zweifarbige LEDs

Wir erklären, wie man Rot-Grün-LEDs mit AVR- und 8051er-Controllern ansteuern kann.

#### 68 Hygrometer mit ATM18

Selbst wenn Sie kein ausgewiesener Weinkenner sind, können Sie mit diesem Hygrometer die Luftqualität im Auge behalten.

*Aus technischen Gründen musste das Projekt „Modellsucher“ auf Ausgabe 6/2013 verschoben werden.*

### ● Tech the Future

#### 72 Virtuelles Geld

Der virtuelle Austausch von Werten ist auf dem Vormarsch. Als stark zuwachsträchtig gelten Zahlungssysteme, bei denen virtuelle und reale Zahlungsmittel frei gegeneinander konvertierbar sind.

### ● Magazine

#### 76 Retronik

Audion-Bausatz Radiomann (ca. 1956)

#### 79 Hexadoku

Sudoku für Elektroniker

#### 82 Vorschau

Nächsten Monat in Elektor

## Impressum

44. Jahrgang, Nr. 508 April 2013  
Erscheinungsweise: 10 x jährlich  
(inkl. Doppelhefte Januar/Februar und Juli/August)

### Verlag

Elektor-Verlag GmbH  
Süsterfeldstraße 25  
52072 Aachen  
Tel. 02 41/88 909-0  
Fax 02 41/88 909-77

Technische Fragen bitten wir per E-Mail an  
redaktion@elektor.de zu richten.

### Anzeigen (verantwortlich):

Irmgard Ditgens  
ID Medienservice  
Tel. 05 11/61 65 95-0 | Fax 05 11/61 65 95-55  
E-Mail: service@id-medienservice.de  
Es gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 43 ab 01.01.2013

### Vertriebsgesellschaft:

IPS Pressevertrieb GmbH  
Postfach 12 11, 53334 Meckenheim  
Tel. 0 22 25/88 01-0 | Fax 0 22 25/88 01-199  
E-Mail: elektor@ips-pressevertrieb.de  
Internet: www.ips-pressevertrieb.de

### Vertrieb Österreich

Pressegroßvertrieb Salzburg/Anif  
Niederalm 300  
Tel. +43/62 46/37 21-0

Der Herausgeber ist nicht verpflichtet, unverlangt eingegangene Manuskripte oder Geräte zurückzusenden. Auch wird für diese Gegenstände keine Haftung übernommen. Nimmt der Herausgeber einen Beitrag zur Veröffentlichung an, so erwirbt er gleichzeitig das Nachdruckrecht für alle ausländischen Ausgaben inklusive Lizenzen. Die in dieser Zeitschrift veröffentlichten Beiträge, insbesondere alle Aufsätze und Artikel sowie alle Entwürfe, Pläne, Zeichnungen einschließlich Platinen sind urheberrechtlich geschützt. Ihre auch teilweise Vervielfältigung und Verbreitung ist grundsätzlich nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung des Herausgebers gestattet. Die veröffentlichten Schaltungen können unter Patent- oder Gebrauchsmusterschutz stehen. Herstellen, Feilhalten, Inverkehrbringen und gewerblicher Gebrauch der Beiträge sind nur mit Zustimmung des Verlages und ggf. des Schutzrechtsinhabers zulässig. Nur der private Gebrauch ist frei. Bei den benutzten Warenbezeichnungen kann es sich um geschützte Warenzeichen handeln, die nur mit Zustimmung ihrer Inhaber warenzeichengemäß benutzt werden dürfen. Die geltenden gesetzlichen Bestimmungen hinsichtlich Bau, Erwerb und Betrieb von Sende- und Empfangseinrichtungen und der elektrischen Sicherheit sind unbedingt zu beachten. Eine Haftung des Herausgebers für die Richtigkeit und Brauchbarkeit der veröffentlichten Schaltungen und sonstigen Anordnungen sowie für die Richtigkeit des technischen Inhalts der veröffentlichten Aufsätze und sonstigen Beiträge ist ausgeschlossen.

© 2013 elektor international media b.v.

Druck: Senefelder Misset, Doetinchem (NL)

ISSN 0932-5468

## Kompatibel sein lohnt sich

Vor einigen Tagen bin ich von der „Embedded World“ in Nürnberg zurückgekommen. An den Ständen der großen und kleinen Aussteller gab es so manches interessante Produkt zu entdecken. Halbleiterhersteller Maxim zeigte mir eine liebevoll gestaltete Schachtel, in der 15 kleine Boards lagen (spontan drängt sich da der Gedanke an Pralinen auf J). Die kompakten Module (ADC, DAC, RTC, Temperatursensoren und vieles mehr) lassen sich an FPGA- und Controllerboards verschiedener Hersteller koppeln. Eine sinnvolle Sache ist das sicher für das rasche Prototyping von Projekten. Gerade auch weil immer mehr (Nachwuchs-)Elektroniker gerne programmieren, aber wenig Fachkenntnisse besitzen, wenn es um das Anbinden von Sensorik und anderer Peripherie geht.

Die Steckverbinder der Maxim-Module sind „Pmod-kompatibel“; das ist ein Stecker-Standard für SPI-, I2C-, UART- und einfache digitale Signale, der von Digilent entwickelt wurde. Eigentlich eine simple Idee, aber mit großer Wirkung. Wenn ein Controllerboard entsprechende Schnittstellen mitbringt, können dessen User „automatisch“ unter vielen Dutzend Erweiterungsmodulen auswählen, vom Audio-Verstärker über einen Joystick bis zum OLED-Display.

Etwas mehr Kompatibilität würde ich mir auch unter den Elektor-Projekten wünschen. Hier passt nur ganz selten etwas zusammen, da jeder Entwickler sein eigenes Süppchen kocht. Doch es geht in die richtige Richtung: Auf dem kommenden Xmega-Webserver-Board (Juni 2013) findet sich eine 14-polige Stiftleiste, die wir uns beim Elektor-Linux-Board abgeschaut haben (siehe dazu Seite 16).

Und siehe da: Dessen Entwickler Benedikt Sauter präsentierte in Nürnberg eine Reihe von Erweiterungsplatinen, die folglich auch an unser Xmega-Board passen werden. Es lohnt sich also, kompatibel zu sein!

### Jens Nickel



## Unser Team

Chefredakteur:	Jens Nickel (v.i.S.d.P.) (redaktion@elektor.de)
Ständige Mitarbeiter:	Dr. Thomas Scherer, Rolf Gerstendorf, Klaus Boda
Internationale Redaktion:	Harry Baggen, Thijs Beckers, Jan Buiting, Eduardo Corral, Wisse Hettinga, Denis Meyer, Clemens Valens
Elektor-Labor:	Thijs Beckers, Ton Giesberts, Luc Lemmens, Raymond Vermeulen, Jan Visser
Grafik & Layout:	Giel Dols, Mart Schroijen



#### Germany

Ferdinand te Walvaart  
+49 241 88 909-17  
f.tewalvaart@elektor.de



#### United Kingdom

Wisse Hettinga  
+31 46 4389428  
w.hettinga@elektor.com



#### Netherlands

Harry Baggen  
+31 46 4389429  
h.baggen@elektor.nl



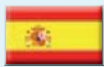
#### France

Denis Meyer  
+31 46 4389435  
d.meyer@elektor.fr



#### USA

Hugo Van haecke  
+1 860-875-2199  
h.vanhaecke@elektor.com



#### Spain

Eduardo Corral  
+34 91 101 93 95  
e.corral@elektor.es



#### Italy

Maurizio del Corso  
+39 2.66504755  
m.delcorso@inware.it



#### Sweden

Wisse Hettinga  
+31 46 4389428  
w.hettinga@elektor.com



#### Brazil

João Martins  
+55 11 4195 0363  
joao.martins@editorialbolina.com



#### Portugal

João Martins  
+351 21413-1600  
joao.martins@editorialbolina.com



#### India

Sunil D. Malekar  
+91 9833168815  
ts@elektor.in



#### Russia

Nataliya Melnikova  
+7 (965) 395 33 36  
Elektor.Russia@gmail.com



#### Turkey

Zeynep Köksal  
+90 532 277 48 26  
zkoksal@beti.com.tr



#### South Africa

Johan Dijk  
+27 78 2330 694  
j.dijk@elektor.com



#### China

Cees Baay  
+86 21 6445 2811  
CeesBaay@gmail.com

## Unser Netzwerk



VOICE  COIL

**CIRCUIT CELLAR**  
The World's Second Largest PCB Manufacturing Company



audio  PRESS



## Die Elektor-Community



## Unsere Partner und Sponsoren



AudioXpress

[www.audioamateur.com](http://www.audioamateur.com) ..... 83



Beta Layout

[www.pcb-pool.com](http://www.pcb-pool.com) ..... 2



Distrelec

[www.distrelec.de](http://www.distrelec.de) ..... 9



Eurocircuits

[www.elektorpcbservice.com](http://www.elektorpcbservice.com) ..... 47



LeitOn

[www.leiton.de](http://www.leiton.de) ..... 61



Linx Technologies

[www.linxtechnologies.com](http://www.linxtechnologies.com) ..... 21



MikroElektronika

[www.mikroe.com](http://www.mikroe.com) ..... 3



Nagy Messsysteme

[www.nagy-instruments.de](http://www.nagy-instruments.de) ..... 61



Reichelt

[www.reichelt.de](http://www.reichelt.de) ..... 84



Schaeffer AG

[www.schaeffer-ag.de](http://www.schaeffer-ag.de) ..... 49

## Sie möchten Partner werden?

Kontaktieren Sie uns bitte unter [service@id-medienservice.de](mailto:service@id-medienservice.de) (Tel. 0511/616595-0).





## FTDI-Chip für Displays

Gesehen auf der Embedded World: FTDI, bekannt für seine USB-Bausteine, expandiert in einen neuen Anwendungsbereich. Um die Nachfrage nach immer komfortableren Bedien-Schnittstellen zu erfüllen, bieten die Schotten nun den ersten Vertreter einer neuen Reihe namens EVE (Embedded Video Engine) an. Der „FT800“ genannte Baustein ist ein Grafik-Chip, der QVGA- und WQVGA-TFT-Displays ansteuern kann. Der Controller unterstützt resistive Touchpanels und hat sogar einen Audio-Prozessor integriert, der PCM-Signale ausgibt.

Der Chip wird über eine SPI- oder I<sup>2</sup>C-Schnittstelle von einem Host-Prozessor angesteuert; laut Hersteller genügt hier ein handelsüblicher 8-bit-Controller. Bis zu 2000 anzuzeigende Objekte wie Bilder und Schriften und auch Audioelemente können auf den Chip geladen und in einer Liste verwaltet werden. Vorinstalliert im ROM sind bereits Schriften und Sounds.

Laut Angaben benötigt der Chip nur 35 mA (typ.) im Aktivmodus und 25 µA im Sleep-Modus; der Baustein wird im 48-poligen VQFN-Gehäuse ausgeliefert.

[www.ftdichip.com/EVE.htm](http://www.ftdichip.com/EVE.htm)



## Tools für Grafik-Chip

Mit „Visual TFT“ hat der Tool-Anbieter MikroElektronika schon seit einiger Zeit eine Entwicklungsumgebung im Portfolio, mit der sich grafische Benutzeroberflächen durch einfaches Drag und Drop von einzelnen Elementen zusammenstellen lassen. Auf Knopfdruck gibt das Tool dann Code aus, der mit den Compilern des Herstellers kompatibel ist.

Neu ist, dass die Entwicklungsumgebung nun auch die neue Baustein-Reihe EVE (Embedded Video Engine) von FTDI unterstützt (siehe News „FTDI-Chip für Displays“). Der erzeugte Quell-Code wird dann ebenfalls mit den herstellereigenen Compilern (wahlweise C, Basic oder Pascal) übersetzt und die Firmware auf den Host-Mikrocontroller (AVR, PIC, ...) geladen. Dieser steuert wiederum den Grafik-Controller von FTDI an, ist aber selbst von der Grafikausgabe entlastet.

[www.mikroe.com/visualtft](http://www.mikroe.com/visualtft)

## Ultraleichte Handheld-Gehäuse

Reichelt bietet eine reiche Auswahl an Handheld-Gehäusen aus Magnesiumlegierungen an. Sie sind extrem leicht und robust und daher besonders für raue industrielle sowie Outdoor-Umgebungen geeignet.



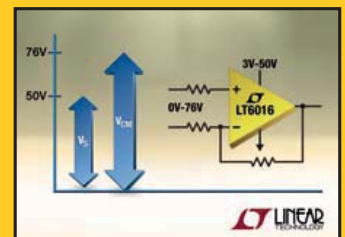
Die TEKMAK-Reihe des italienischen Herstellers TEKO ist aus „Teknium“ gefertigt, einer speziellen Magnesiumlegierung, die besonders leicht und widerstandsfähig gegen mechanische Beanspruchungen ist. Mit dem mitgelieferten IP67-Dichtungssatz und den guten Abschirm Eigenschaften eignen sie sich für viele Einsatzzwecke.

Die Gehäuse werden in Versionen mit oder ohne Batteriefach (für 2 x AA / 1 x 9 V oder 4 x AA / 2 x 9 V) angeboten. Allen gemeinsam ist die eingelassene Frontoberfläche zur Aufnahme einer Folientastatur oder eines LCDs.

[www.reichelt.de](http://www.reichelt.de)

## Präzisions-Opamps

Linear Technology stellt mit den Typen LT6016 und LT6017 einen Dual- und einen Quad-Opamp mit besonders großem Eingangsspannungsbereich vor. Diese Opamps verfügen zudem über niedrige Offset-Spannungen und Bias-Ströme sowie geringes Rauschen, wodurch sie in vielen Anwendungsbereichen einsetzbar sind. Die Eingänge können dabei deutlich oberhalb der positiven Versorgungsspannungen betrieben werden. Über den gesamten Versorgungsspannungsbereich von 3...50 V kann die Eingangsspannung bis zu 76 V relativ zur negativen Spannungsschiene betragen. Die ICs sind zudem gegen Verpolung der Versorgung und die Eingänge gegen Spannungen unterhalb der negativen Schiene geschützt.



Die Eingänge können dabei deutlich oberhalb der positiven Versorgungsspannungen betrieben werden. Über den gesamten Versorgungsspannungsbereich von 3...50 V kann die Eingangsspannung bis zu 76 V relativ zur negativen Spannungsschiene betragen. Die ICs sind zudem gegen Verpolung der Versorgung und die Eingänge gegen Spannungen unterhalb der negativen Schiene geschützt.

[www.linear.com](http://www.linear.com)



## Erstes Oszilloskop mit USB 3.0

Beim neuen PicoScope 3207A handelt es sich um ein zweikanaliges USB-Oszilloskop mit 250 MHz Bandbreite, einer Samplerate von 1 GSamples/s und einer Speichertiefe von 256 MSamples. Die Zeitbasis ist bis zu  $\pm 2$  ppm genau. Das Gerät beherrscht digitale Triggerverfahren für eine genaue und stabile Anzeige und Multisampling, das bei repetitiven Signalen einer Abtastrate von 10 GSamples/s entspricht. Zusätzlich gibt es noch einen Funktionsgenerator mit 32 kSamples und eine Update-Rate von bis zu 100 MSamples/s. Dank Stromversorgung direkt über den USB-Port erübrigt sich ein Netzteil.



Zum Oszilloskop gehört die Software PicoScope for Windows, die zusammen mit dem Gerät jeden PC in ein leistungsfähiges Oszilloskop mit Spektrum-Analyzer-Fähigkeiten verwandelt. Die Software erlaubt komplexe Messungen dank Decodierung serieller Kommunikation via RS232/UART, SPI, I<sup>2</sup>C, CAN, LIN und FlexRay.

[www.picotech.com](http://www.picotech.com)

## Updates und Korrekturen

### Digitaluhr mit Sound

Elektor 1-2/2013, S. 84 (120276)

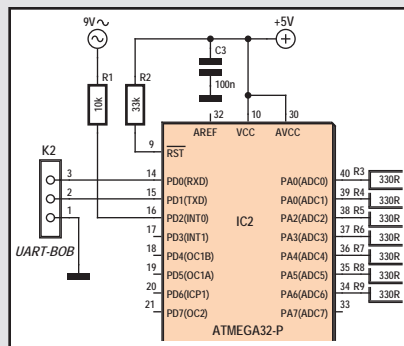
Im Artikel wird zum Einstellen der Uhr Taster S0 erwähnt. Es handelt sich dabei um einen Tippfehler - man kommt mit Taster S2 wieder in den normalen Modus.

Widerstand R1 (10 k) fehlt im Schaltplan. Über diesen Widerstand gelangt die zur Taktung verwendete 9-Volt-Wechselspannung an INT0 (PD2) des Controllers (siehe Schaltplan-Korrektur).

Widerstand R2 (33 k) der Stückliste ist im Schaltplan versehentlich mit R21 beschriftet. Außerdem ist die Verbindung im Schaltplan falsch. R2 muss als Pullup-Widerstand mit +5 V und mit Reset (Pin 9) des Controllers verbunden werden.

Der Widerstand R10 (100  $\Omega$ ) fehlt in der Stückliste.

Die 7-Segment-Elemente LD1...LD6 müssen in der Stückliste mit D2...D7 bezeichnet werden.



### Multicom-Shield

Elektor 10/2012, S. 12 (120306)

Im Schaltplan sind die Widerstände R4 und R5 mit +3V3 verbunden. Korrekt müssen die beiden Widerstände mit +5V verbunden werden. Auf der Platine ist dieser Fehler nicht vorhanden.



## APPKÜRZUNG

ZU ÜBER  
500.000  
PRODUKTEN



## HEUTE AUSSUCHEN, MORGEN AUSPACKEN!



Ob Onlineshop oder Katalog:

Wir liefern deutschlandweit innerhalb von 24 h – ohne Mindestmengen-zuschlag. Lieferung ab 1 Stück. Die Distrelec-Gruppe: Ihr Partner für elektronische Bauelemente, Automation, industrielle IT und Zubehör.

[WWW.DISTRELEC.DE](http://WWW.DISTRELEC.DE)

Bestellhotline 0180 5223435\*

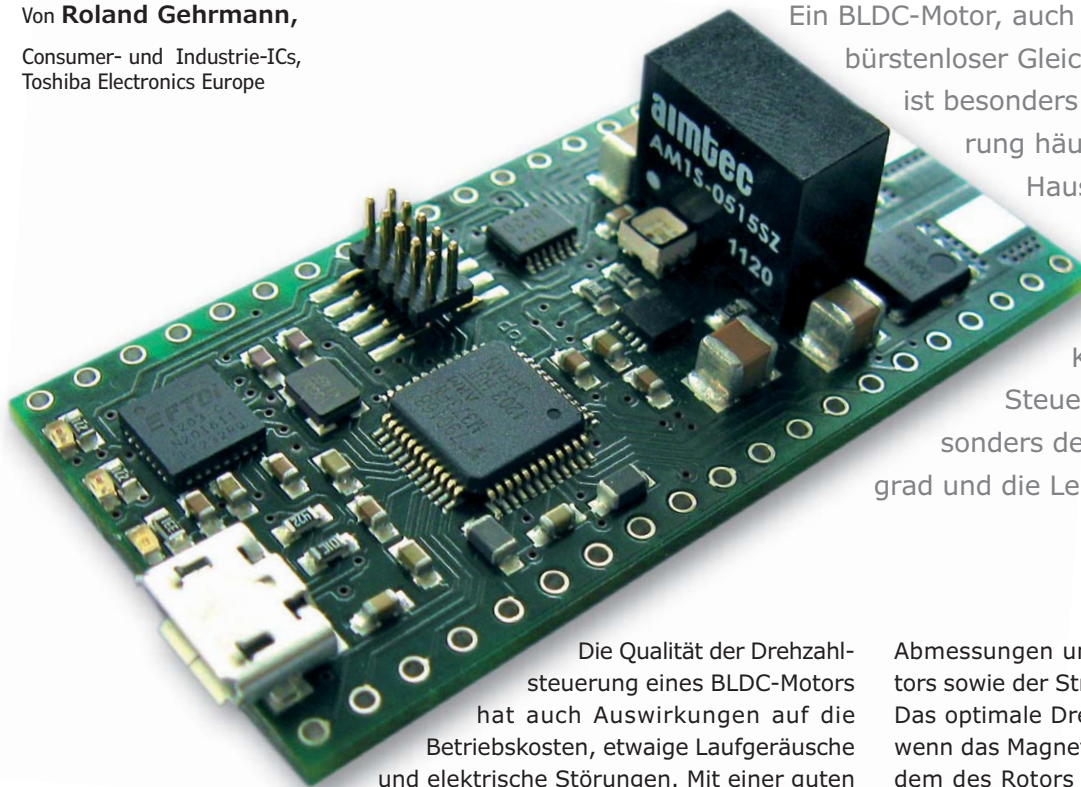
\*14 Ct./Min. aus dem Festnetz der Dt. Telekom AG, Mobilfunk kann abweichen



**DISTRELEC**  
A Datwyler Company

# Motorsteuerung: die Firmware macht's!

Von **Roland Gehrmann**,  
Consumer- und Industrie-ICs,  
Toshiba Electronics Europe



Ein BLDC-Motor, auch unter Direktantrieb oder bürstenloser Gleichstrommotor bekannt, ist besonders in sensorloser Ausführung häufig in der Industrie und in Haushaltsgeräten zu finden; von der Pumpe über den Waschmaschinenantrieb bis hin zu Kompressoren. Eine gute Steuerung wirkt sich hier besonders deutlich auf den Wirkungsgrad und die Lebensdauer aus.

Die Qualität der Drehzahlsteuerung eines BLDC-Motors hat auch Auswirkungen auf die Betriebskosten, etwaige Laufgeräusche und elektrische Störungen. Mit einer guten Steuerung kommt man für eine bestimmte Aufgabe auch mit kleineren und schwächeren Motoren aus. Dafür sind die Steuerungen für BLDC-Motoren sehr viel komplexer als die für traditionelle Motoren.

## BLDC-Motoren steuern

Die Kommutierung eines BLDC-Motors erfolgt elektronisch, indem der Strom durch die Statorwicklungen passend zur Position des Rotors geschaltet wird. Die Rotorposition kann dabei z.B. mit Hall-Sensoren erfasst oder durch Messung der Gegen-EMK berechnet werden. Letztere Lösung spart die Sensoren und deren Leitungen ein und kann so die Zuverlässigkeit erhöhen.

Die Geschwindigkeit des Rotors hängt von der Betriebsspannung ab. Durch PWM kann man daher recht einfach die Geschwindigkeit steuern. Das maximale Drehmoment hingegen hängt von diversen Parametern ab, darunter die Rotor-

Abmessungen und die Wicklungszahl des Stators sowie der Stromfluss durch die Wicklungen. Das optimale Drehmoment erreicht man dann, wenn das Magnetfeld des Stators orthogonal zu dem des Rotors ist. Die Motorsteuerung muss daher die Kurvenform des Stroms für den Stator passend zur Rotorposition einstellen. Hierzu muss man:

- den Motorstrom messen,
- diesen mit dem gewünschten Drehmoment vergleichen und
- per PI-Funktion (**P**roportional **I**ntegral) eine Korrektur generieren.

Bei hohen Drehzahlen ist das nicht mehr einfach, da jede Verzögerung in der Kurvenform eine Feldkomponente produziert, die direkt und nicht orthogonal auf den Rotor wirkt. Diese Komponente reduziert dann das nutzbare Drehmoment, erhöht die Abnutzung der Lager und führt zu Geräuschen.

## Drehzahlsteuerung

Übliche Steuerungen operieren entweder mit 60°-Abständen sechsisphasig trapezoid oder sinus-



# ARM-Cortex™-Mikrocontroller mit Motor-Funktionen erleichtern die Entwicklung

förmig. Bei der ersten Methode sind jeweils zwei Statorwicklungen stromdurchflossen während die dritte stromlos ist. Während sich der Rotor dreht wird also der Strom durch jede Wicklung zwischen positivem und negativem Wert sowie null umgeschaltet. Der resultierende trapezförmige Strom ist eine Annäherung an die Sinusform. Auch wenn das mittlere Statorfeld in jeder Periode orthogonal zum Feld des Rotors ist, kann das momentan

aktuelle Feld um bis zu 30° vor- oder nacheilen, was sich gerade bei niedrigen Geschwindigkeiten störend auswirkt und Geräusche produziert. Sinussteuerungen sorgen für einen ausgeglichenen Drehmomentverlauf, da die Statorwicklungen mit sinusförmigen Strömen durchflossen werden. Die Ströme sind entsprechend der drei Phasen um 120° gegeneinander phasenverschoben, sodass die Summe der Statorfel-

## Design-Wettbewerb mit Toshiba's M370

### BLDC-Motor-Controller mit M370 - attraktive Preise zu gewinnen

Seit dem 26. Februar 2013 läuft ein hochinteressanter Schaltungswettbewerb von Toshiba in Kooperation mit Elektor. Prämiiert werden innovative Steuerungen für BLDC-Motoren auf der Basis von Toshiba's M370-Familie. Wir sind sehr gespannt auf neue Ideen!

### Es gibt interessante Sachpreise zu gewinnen:

1. Preis: Toshiba Multimedia-Notebook der Spitzenklasse mit 15"-Display
2. Preis: Toshiba Tablet AT-300
3. Preis: 60 GB SSD PC Upgrade Kit – Interface SATA 6.0 Gbit/s, Size 2.5-inch (6,4 cm)
4. Preis: 16 GB Flash-Air-SD-Card
- 5.-10. Preis: 64 GB USB-Stick

Als Hardware-Basis des Wettbewerbs dient das abgebildete Sigma-Board, das interessierte Teilnehmer besonders günstig über Elektor beziehen können (Produktnummer 120724-91). Das Entwicklungsboard enthält nicht nur einen 32-bit-Mikrocontroller vom Typ M373 mit 80 MHz Takt, 128 kB Flash-ROM, 6 kB RAM, 12-bit-ADC und jeder Menge 16-bit-Timern, sondern auch gleich einen FTDI-Chip für die Anbindung an einen PC via USB und MOSFETs für drei Halbbrücken zur Motoransteuerung. Hinzu kommt eine hochmoderne Entwicklungsumgebung. Mit diesem Board kann man also gleich praktisch loslegen. Unterstützung gibt es in einem Forum:

**<http://forum.toshiba-components.com/forumdisplay.php?8-TMPM370>**

Die Firmware basiert auf dem Betriebssystem FreeRTOS, das in Kombination mit Toshiba's kostenloser PC-Software MotorMind die Installation eines neuen BLDC-Motors extrem vereinfacht, mehr darüber findet man unter dem Link:

**[www.toshiba-components.com/microcontroller/TMPM374\\_STK.html](http://www.toshiba-components.com/microcontroller/TMPM374_STK.html)**

Der Wettbewerb wird bis zum 31. Juli 2013 dauern. Eingereicht werden soll eine genaue Beschreibung des Projekts nebst Dateien und Fotos. Auch ein kleines Video wäre schön. Machen Sie mit!

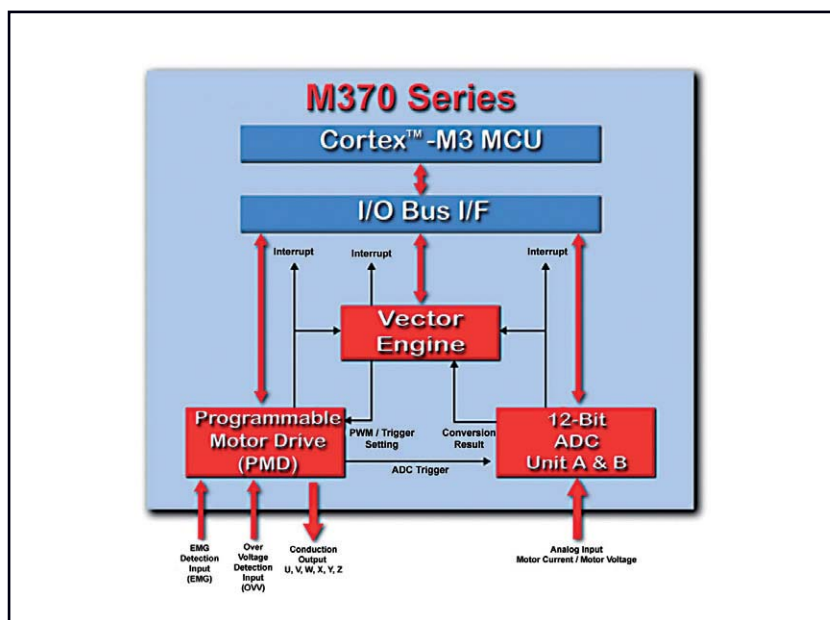
Mehr Infos zum Wettbewerb: **[www.elektor-labs.com/M370-contest](http://www.elektor-labs.com/M370-contest)**



Bild 1.  
Für Motorsteuerungen  
optimierte Mikrocontroller  
von Toshiba.

Bild 2.  
Funktionsblöcke der  
Motorsteuerung.

der stets orthogonal zum Rotorfeld ist. Hierfür sind allerdings genauere Positionsinformationen des Rotors notwendig. Eine präzise Drehmomentregelung erfordert daher sehr schnelle Berechnungen, damit die Ströme genau passend zur aktuellen Rotorposition eingestellt werden können. Hohe Drehzahlen können hier Probleme machen, da die PI-Funktionen mit ihrer begrenzten Bandbreite zu störenden Verzögerungen zwischen berechnetem Statorstrom und Rotorposition führen können.

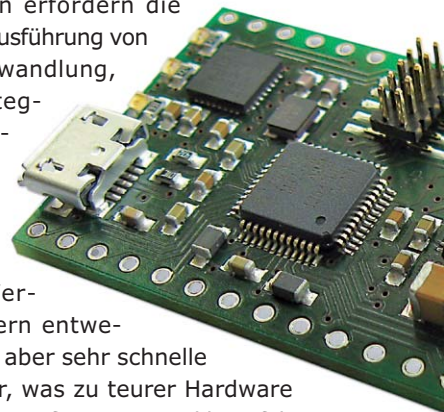


Die FOC (**F**ield **O**riented **C**ontrol, auch unter Vektor-Steuerung bekannt) überwindet die Nachteile der trapezförmigen Steuerung bei niedrigen Drehzahlen und die Probleme der sinusförmigen Steuerung bei hohen Drehzahlen. Durch Manipulation der Statorströme und Spannungen in Abhängigkeit von der Rotorposition gewährleistet die FOC ein konstantes Statorfeld, das orthogonal zum Rotorfeld ist. Hierzu werden die gemessenen Statorströme mit einer Transformationsfunktion in ihre D- und Q- bzw. Direkt- und Quadratur-Komponenten zerlegt und die Abweichungen von null und dem „erwünschten Drehmoment“ berechnet. Die resultierenden PI-Fehlersignale werden in den D-Q-Referenzraum transformiert, womit dann die passenden PWM-Signale für die drei Phasen erzeugt werden – das Ganze wird nicht durch die Bandbreite eines PI-Reglers begrenzt. FOC führt daher zu einer geringeren Belastung des Motors.

## Flexible Motorsteuerung

FOC-Verfahren erfordern die sehr schnelle Ausführung von Messung, Umwandlung, Vergleich, Integration, Transformation und Kurven-einstellung. Auf Software basierende Verfahren erfordern entweder DSPs oder aber sehr schnelle Mikrocontroller, was zu teurer Hardware und aufwendiger Software-Entwicklung führt. FOC in der Hardware eines ASSP (**A**pplication **S**pecific **S**tandard **P**roduct) überzeugt durch Reduktion der notwendigen Berechnungen. Diese Art von festen eingebauten Funktionen kann allerdings die Flexibilität oder die Wiederverwendbarkeit existierender Lösungen beschränken. Als Mittelweg bietet sich daher ein auf Motorsteuerungen optimierter Mikrocontroller mit spezieller Firmware an, wie er von Toshiba in Form des TMPM37x-Familie (**Bild 1**) angeboten wird.

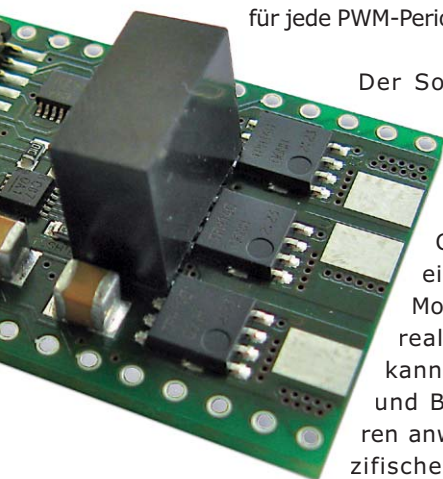
Das Besondere an diesen Cortex-M3-ARM-Controllern ist ihre eingebaute Intelligenz in Form von PMD (**P**rogrammable **M**otor **D**rive) und VE (**V**ector **E**ngine) - siehe **Bild 2**. Der PMD-Block enthält einen dreiphasigen PWM-Generator, die





Totzeit-Steuerung, Schutzschaltungen und das Timing für den ADC. Bei der VE gibt es einen Scheduler für Events und die Prioritätssteuerung sowie einen Rechenkern plus Decodierer, eine Ausführungseinheit, einen Multiplizierer-Akkumulator und ein Vektor-Modul. Damit können alle nötigen Schritte vom dreikanaligen ADC bis hin zu den FOC-Berechnungen erledigt werden. Entwickler haben also die Wahl zwischen der Kombination des PMD-Blocks mit anderen Steuerungsstrategien oder aber der Nutzung der integrierten VE und der so möglichen schnellen FOC-Implementierung (siehe **Bild 3**).

Wird die VE zusammen mit den PMD-Funktionen betrieben, fungiert dies als Coprozessor zur Reduktion der Rechenlast des ARM-Cortex-Cores. Bei Kombination von PMD und VE sind nur wenige Registereinstellungen notwendig, um alle Motorsteuerungs-Funktionen abzudecken – inklusive der dreiphasigen PWM-Erzeugung mit 16-bit-Auflösung, Drehzahlsteuerung und Positionsschätzung. Bei voll auf Software setzenden Lösungen muss der Prozessor die Daten für jede PWM-Periode berechnen.

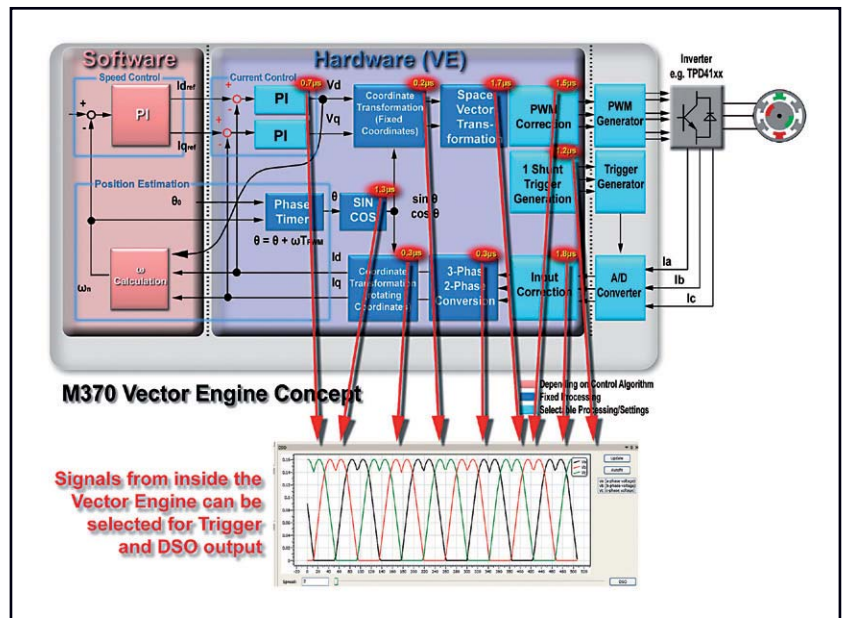


Der Software-Stack zeigt in **Bild 4**, wie mit einem TPM37x-Controller eine embedded Motorsteuerung realisiert werden kann. Die Tasks A und B repräsentieren anwendungsspezifische Motorsteuerungsfunktionen, die vom jeweiligen Programmierer erstellt werden.

Dabei wird das grundlegende Motorsteuerungsverfahren nicht verändert. Der Hersteller-unabhängige CMSIS (Cortex Mikrocontroller Software Interface Standard) Hardware Abstraction Layer bietet ein Standard-Interface zum Prozessor und zur Peripherie und erleichtert so die Wiederverwendbarkeit des Codes.

## Tools für schnelle Entwicklungen

Die Effizienz bei der Entwicklung von Embedded-Systemen hängt sowohl vom Support-Ökosystem als auch von der Mikrocontroller-Hardware ab. Bei

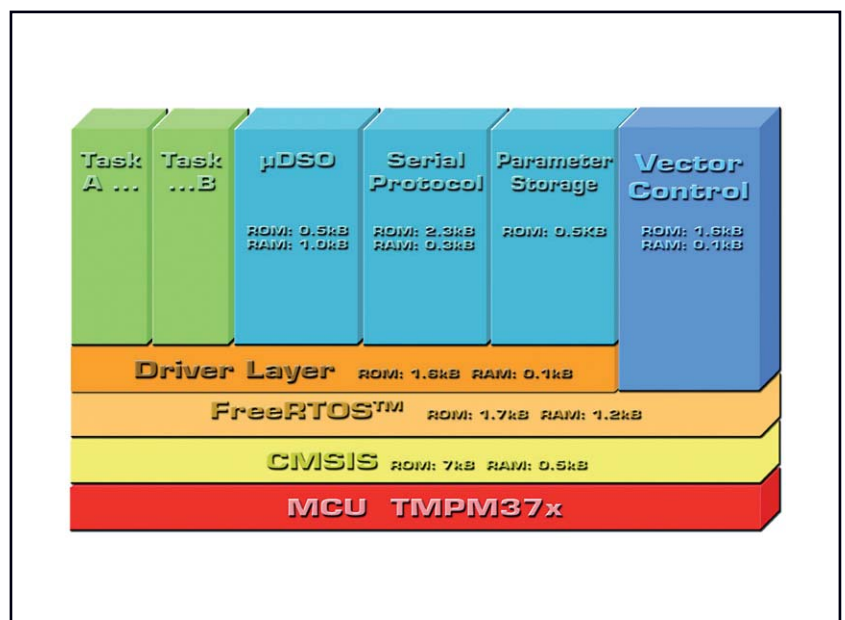


den für Motorsteuerungen optimierten Mikrocontrollern der TPM37x-Serie von Toshiba stehen neben vielen Tools auch Starter-Kits, vollständige Platinen mit fertigen Motorsteuerungen und passende PC-Software zur Verfügung. Für den aktuellen von Toshiba und Elektor veranstalteten Design-Wettbewerb (siehe **Kasten**) können besonders günstige Sigma-Boards mit allen für eine Motorsteuerung notwendigen Teilen über Elektor bezogen werden.

(120724)

Bild 3. Implementierung von Soft- und Hardware.

Bild 4. Motorsteuerung mit der TPM37x-Familie per Software-Stack.



# Elektor World

Von  
**Wisse Hettinga**

Jeden Tag, jede Stunde, jede Minute, ja, in jedem Augenblick schaffen, optimieren, rekonstruieren und entwickeln Ingenieure und Enthusiasten neue Elektronik. Hauptsächlich zum Spaß, aber manchmal wird aus Spaß (beruflicher) Ernst.



## **Gute Noten und auch zertifiziert**

Ein Training bei Elektor zahlt sich aus. Erst vor kurzem wurde Elektor das CEDEO-Zertifikat verliehen. Mehr als 80% der Teilnehmer der Elektor-Workshops in den Niederlanden bewertete die Qualität der Trainings und Workshops als „gut“ bis „sehr gut“. CEDEO ist Hollands unabhängiges Institut für die Bewertung und Überwachung von Firmenausbildungen. Mit diesem Zertifikat in der Tasche ist Elektor auf der Liste der 800 offiziell anerkannten Ausbildungsinstitute der Niederlande. Gut gemacht!

## **Mahlzeit!**

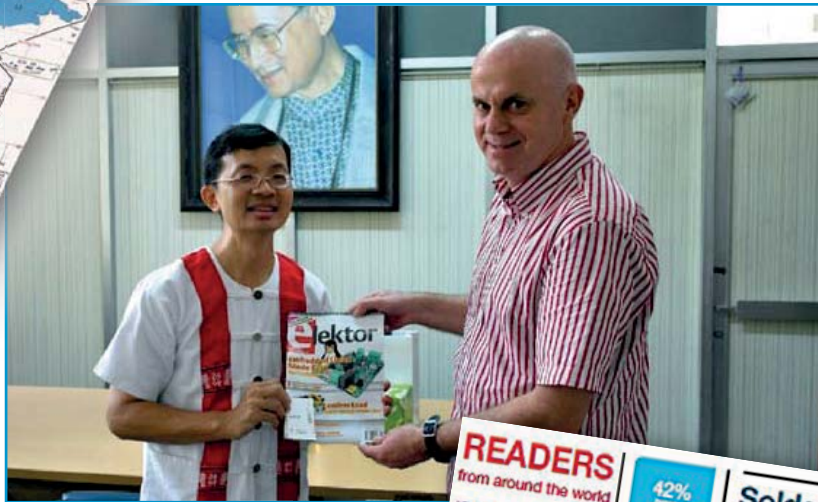
Als Cederique, Praktikant im Elektor-Labor, eines Tages seine Butterbrotdose öffnete, erlebten wir eine Überraschung. Der gemeine Holländer transportiert in seiner Dose normalerweise einige Weißbrotscheiben mit Käse (zu denen Milch getrunken wird), aber nun tauchte etwas völlig anderes auf. Eingewickelt in altes Papier kam ein Bauteil aus der goldenen alten Zeit zum Vorschein, eine Photo-Multiplier-Röhre von Philips, die wir als PM 1910 identifizierten und die mit „1910“ auf einem primitiven Aufkleber bezeichnet war. Der erste Gedanke war natürlich - was stellen wir damit an? Wir haben nach Spezifikationen geforscht, aber die Röhre scheint aus der Vor-Google-Zeit zu stammen – keine Resultate. Aber vielleicht gibt es da draußen Leute, die uns helfen? Bitte melden!





## Bei Elektor angefangen

Eines der bestgehüteten Geheimnisse von Elektor ist sein riesiges Netzwerk von Korrespondenten. Sie befinden sich auf der ganzen Welt und sprechen mit Professoren, Studenten, Designern und Technikern. Hier stellen wir Professor David Banjerdpongchai, Leiter der Abteilung für Elektrotechnik der Chulalongkorn Universität in Bangkok, Thailand, vor. Willkommen im Netzwerk, David!



## In den Köpfen unserer Ingenieure

E. HARTFORD, CT, USA — Eine Stichprobe von mehr als 1.000 Ingenieuren und Wissenschaftlern wurde vor kurzem vom Circuit-Cellar-Team zu ihren technischen Interessen und Vorlieben befragt. Wie oft löten Sie? Um wie viele Milliampere geht es? Beherrschen Sie mehr als drei Programmiersprachen? Verwenden Sie FPGAs? Welche Firma stellt die besten Embedded-Produkte her? Und mehr! Die Ergebnisse sind faszinierend! Besuchen Sie

<http://bit.ly/11Qzflp>, um sie anzusehen.

Die Elektroingenieure, Wissenschaftler und Studenten, die Circuit Cellar lesen, stammen aus der ganzen Welt, den USA, Brasilien, Indien, den Niederlanden, Deutschland, Großbritannien und Japan. Obwohl sie unterschiedliche Sprachen sprechen und unterschiedlichen Kulturen angehören, zeigen die Ergebnisse der Umfrage, dass sie eine gemeinsame Hingabe und Leidenschaft für Elektronik teilen.



# Linux-Bedieneinheit

## Display, Taster, Echtzeituhr, Buzzer und 16 GPIOs

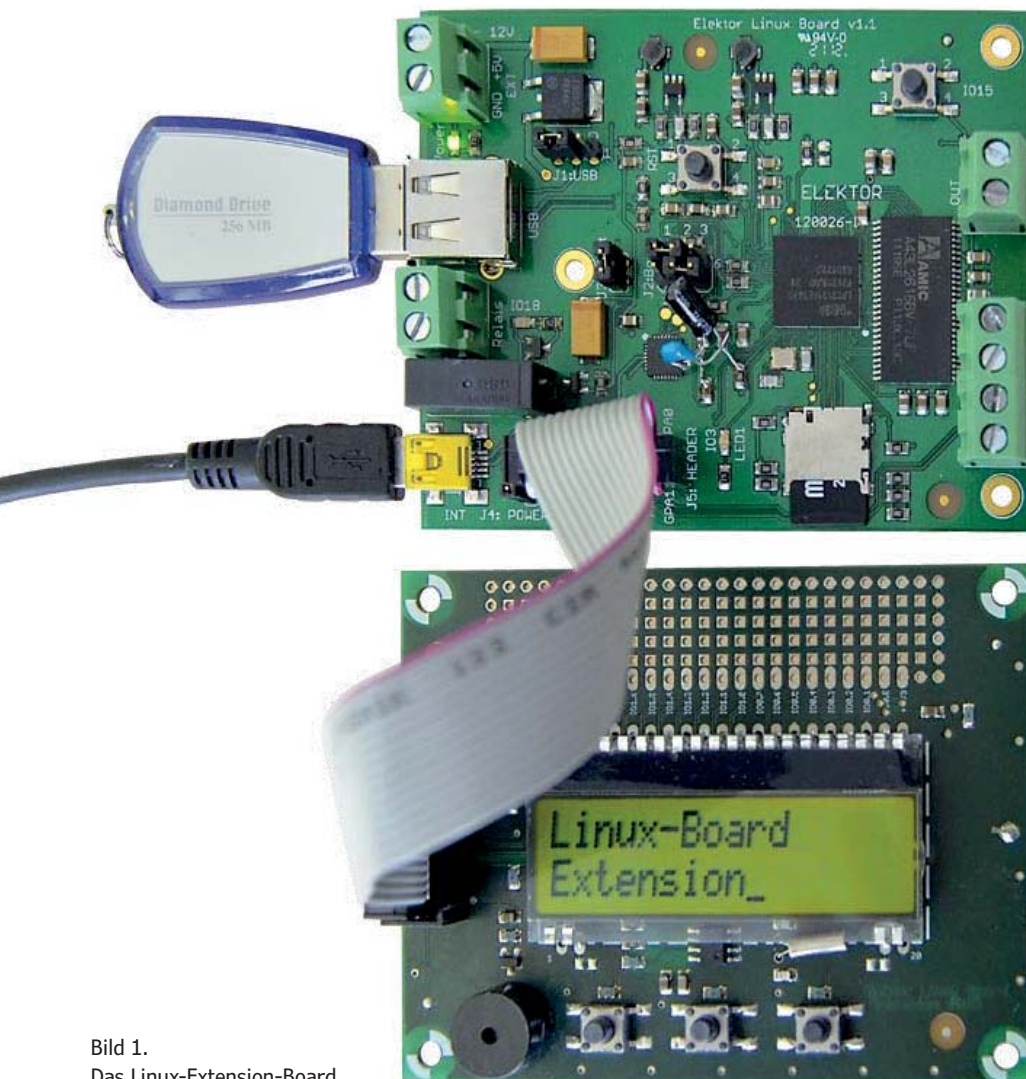


Bild 1.  
Das Linux-Extension-Board.

Von **Benedikt Sauter** [1]

Wie man eine Bedienoberfläche mit modernen Webtechnologien für das Elektor-Linux-Board gestalten kann, haben wir bereits gezeigt. Oft gibt es aber Situationen, in denen man in die Steuerung eingreifen muss, aber keinen PC mit Browser zur Hand hat. Da ist man froh, wenn man mit einem Display und ein paar Tastern schnell die wichtigsten Parameter und Zustände aufrufen und bedienen kann. Hier kommt eine Lösung: Eine Erweiterungsplatine für das Elektor-Linux-Board.

Auf dem „Linux-Extension-Board“ findet man alles, was man zur Bedienung der unterschiedlichsten Projekte benötigt. Drei Taster dienen zur Eingabe (**Bild 1**). Um Ausgaben darstellen zu können, ist ein 2x16-Zeichen-Display vorhanden. Da sich die Taster direkt darunter befinden, kann man ein kleines Menü umsetzen. Auf dem Board befindet sich zudem ein Piepser für akustische Ausgaben, eine Echtzeituhr (RTC) mit Batterie und

eine Portenerweiterung, so dass man 16 zusätzliche digitale Ein- und Ausgänge erhält. Und um noch etwas Platz für eigene Erweiterungen zu haben, gibt es ein rund 1,5 x 6 cm großes Lochrasterfeld. Auf dem Elektor-Linux-Board befindet sich mit J5 [2] eine 2x7-Stiftleiste als Erweiterungsstecker (**Bild 2**). Die gleiche Stiftleiste ist auch auf der Erweiterungsplatine zu finden, so dass man beide Boards über ein 14-poliges Flachbandka-



**Tabelle 1. Signale am 14-poligen Stecker**

Pin	Bezeichnung	Verwendung	Verwendung	Bezeichnung	Pin
1	GPA0	Taster links	Taster Mitte	GPA1	2
3	GPA3	Taster rechts	Buzzer	PWM	4
5	SCL (I2C)	RTC und Portexpander	RTC und Portexpander	SDA (I2C)	6
7	MOSI (SPI)	Display	Display	MISO (SPI)	8
9	System Clock	-	Display	SCK (SPI)	10
11	GPIO14	Display	Display	GPIO11	12
13	3.3V	Versorgung	Versorgung	GND	14

bel verbinden kann. Über das Kabel werden aber nicht nur Signale transportiert; das Linux-Extension-Board wird auch von der Hauptplatine mit 3,3 V versorgt.

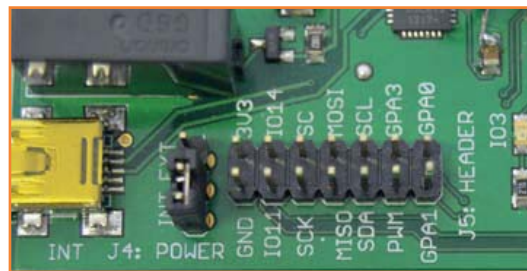
In **Tabelle 1** kann man die Belegung der Steckverbinder sehen. Die Erweiterungsplatine lässt sich natürlich auch für andere (eigene) Projekte verwenden, hierbei sei auf den Artikel zur „Embedded Firmware Library“ im nächsten Heft hingewiesen.

Das Linux-Extension-Board ist bei Elektor SMD-bestückt und getestet erhältlich, es sind lediglich das LCD und ein paar weitere Bauteile selbst einzulöten [3].

### Schaltplan

Der Schaltplan ist in **Bild 3** dargestellt. Die Verbindung zum Elektor-Linux-Board wird über K1 realisiert. Da wir nur eine 3,3-V-Stromversorgung haben, mussten natürlich 3,3-V-kompatible Bausteine ausgewählt werden. Bei der Wahl des Displays kam nur eine Ansteuerung per I2C oder SPI in Frage (die meisten alphanumerischen Displays werden ja im 4- oder 8-bit-Modus angesteuert). Die Wahl fiel auf das DOGM162L-A Display [4] von Electronic Assembly, das ein SPI-Interface besitzt.

Da über den Erweiterungsstecker drei analoge Eingänge herausgeführt werden (GPA0, GPA1 und GPA3) und diese auf unserem neuen Board nicht anderweitig verwendet sind, haben wir dort einfach Taster angebunden. Optional könnte man auch Mehrfachschalter anschließen und etwa mit Spannungsteilern verschiedene Positionen erkennen. In unserem Fall haben wir nur den Zustand „High“ (A/D-Wandler misst maximale Spannung) und „Low“ (A/D-Wandler misst 0). Der letztere Zustand entspricht dabei einem gedrückten Taster. Der Buzzer/Piepser hängt am FET T1, der mit dem PWM-Ausgang des LPC3131 verbunden ist. Dies



**Bild 2.**  
Über den 14-poligen Stecker auf dem Elektor-Linux-Board schließt man die Erweiterungsplatine an.

ermöglicht eine Ausgabe eines klingenden Tons mit konstanter Frequenz. Da der Buzzer nur an 3,3 V hängt, ist die Lautstärke nicht maximal; eigentlich ist eine Versorgung mit 8..15 V vorgesehen (laut Datenblatt [5]).

Auf dem Board befindet sich mit IC2 zusätzlich noch eine Echtzeituhr MCP79401 [6]. Diese ist mit einer kleinen Knopfzelle gepuffert, so dass die Uhrzeit auch im ausgeschalteten Zustand des Geräts nicht verloren geht.

Und schließlich gibt es noch einen Portexpander PCA9555 (IC1) [7] von NXP für bis zu 16 zusätzliche digitale Ein- und Ausgänge, der über I2C angesteuert wird. An die GPIO-Pins kann man beispielsweise LEDs für Zustandsanzeigen und/oder weitere Taster (oder gar eine Tastaturmatrix) anschließen.

### Display

Um das Display einfach aus eigenen Anwendungen ansteuern zu können, haben wir ein kleines Programm für die Kommandozeile in C geschrieben. Das Programm kann man sich als Quelltext oder fertig übersetzt herunterladen und auf die SD-Karte kopieren. Am einfachsten macht man dies mit Hilfe eines USB-Sticks. Zunächst lädt man sich die Datei [8](URL in eine Zeile ohne Umbruch eingeben) auf den Entwicklungs-Computer und kopiert diese Datei auf einen USB-Stick. Den USB-Stick steckt man dann an das Elektor-



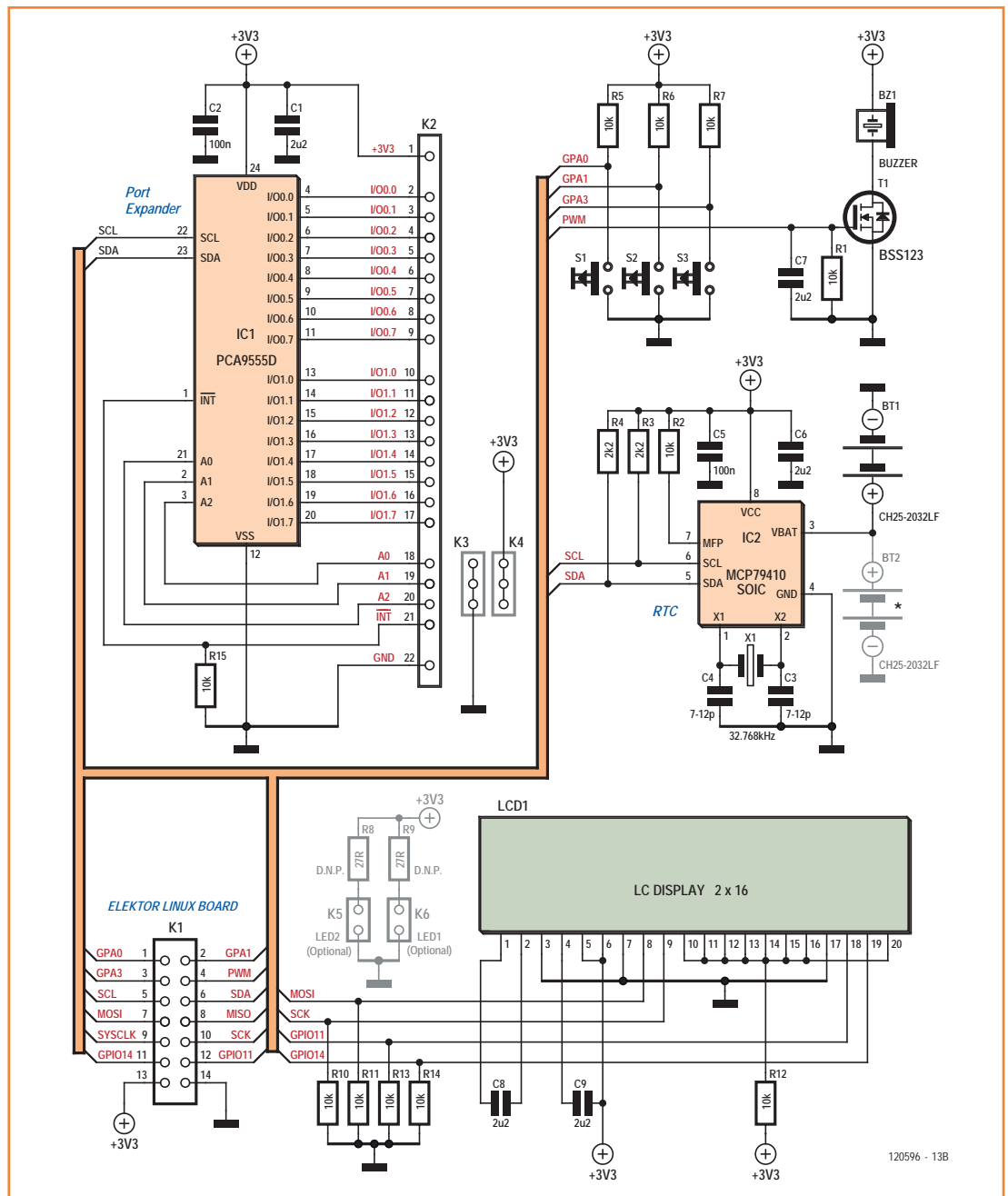


Bild 3.  
Schaltplan des Linux-  
Extension-Boards.

Linux-Board (**Bild 4**). Auf der Konsole sollte eine Ausgabe nach dem Anstecken des Sticks erscheinen. Jetzt muss man den USB-Stick nur noch in das Dateisystem einhängen:

```
mount /dev/sda1 /mnt/
```

Um die Anwendung in Linux immer (unabhängig ob der Stick angeschlossen ist oder nicht) verwenden zu können, kopiert man diese noch in das lokale Dateisystem auf die SD-Karte.

```
cp /mnt/dog-app /usr/local/bin
```

Für einen Test des Programmes kann man es kurz auf der Konsole starten. Ein Aufruf von

```
dog-app -h
```

gibt den Hilfetext des Programmes aus.

Um das erste Mal Text auf dem Display anzuzeigen, muss die Erweiterungsplatine natürlich mit dem Elektor-Linux-Board verbunden sein (die rote Markierung am Flachbandkabel muss sich auf der

Seite von GPA1/GPA0 befinden). Mit folgendem Befehl kann man Text ausgeben:

```
dog-app -n -w "Hello Elektor"
```

(hier immer Standard-Anführungszeichen benutzen). Auf dem Display sollte nun „Hello Elektor“ erscheinen.

Möchte man etwas in die zweite Zeile schreiben, muss man verstehen, wie das Display arbeitet. Jede Zeile eines Displays besteht aus mehreren Segmenten. Man hat nun die Möglichkeit, den Cursor auf ein bestimmtes Segment zu setzen. Das erste Segment in der ersten Zeile entspricht dem Offset 128. Das erste Segment der zweiten Zeile spricht man über den Offset 192 an. Mit dem folgenden Befehl schreibt man in die zweite Zeile:

```
dog-app -o "192" -w "Hello 2"
```

### Taster

Die Taster sind an die A/D-Wandler-Eingänge des LPC3131 angeschlossen. Wie die A/D-Wandler verwendet werden, wurde bereits in der Artikelreihe zum Elektor-Linux-Board beschrieben. Mit dem folgenden Befehl erhält man Zugriff auf den linken Taster:

```
echo 0 > /dev/lpc313x_adc
```

Liest man die Datei /dev/lpc313x\_adc (bzw. gibt man diese mit dem cat-Befehl aus) erhält man im offenen Zustand einen sehr großen Wert (nahezu 1023).

```
root@gnublin:~# cat /dev/lpc313x_adc
```

```
0x3ff
```

Ist der Taster gedrückt, erhält man 0 als Ausgabe:

```
root@gnublin:~# cat /dev/lpc313x_adc
```

```
0x000
```

Der Taster in der Mitte muss mit ...

```
echo 1 > /dev/lpc313x_adc
```

... aktiviert werden. Und der Taster ganz rechts mit:

```
echo 3 > /dev/lpc313x_adc
```

### Buzzer / Piepser

Einen Ton kann man über das Dateisystem ganz einfach erzeugen ...

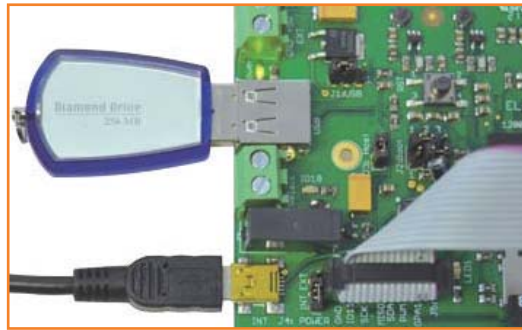


Bild 4.  
Das Elektor-Linux-Board mit  
USB-Stick.

```
echo ff > /dev/lpc313x_pwm
```

... und abschalten:

```
echo 00 > /dev/lpc313x_pwm
```

Will man Piep-Signale generieren, kann man auf der Konsole mit usleep und der Angabe der Länge Pausen zwischen den Tönen einfügen.

### Echtzeituhr

Für die RTC benötigt man einen eigenen Kernel-Treiber. Im Standard-Dateisystem ist dieser bereits vorhanden und muss nur noch geladen werden:

```
modprobe rtc-mcp7940
```

Soll der Treiber automatisch beim Start des Systems geladen werden, kann man dies in /etc/modules in einer eigenen Zeile fest hinterlegen:

```
rtc-mcp7940
```

Dem Kernel muss man jetzt noch mitteilen, welche Adresse der RTC-Baustein auf dem I2C-Bus hat. Dies macht man wie folgt:

```
echo mcp7940 0x6f > /sys/bus/i2c/devices/  
i2c-1/new_device
```

Als Nächstes muss man kurz nachsehen, was für eine Major-Nummer durch den Kernel vergeben worden ist, um die Gerätedatei entsprechend anlegen zu können.

```
cat /proc/devices
```

Standardmäßig sollte die Nummer 251 vergeben worden sein. Die Gerätedatei muss man nur einmal anlegen:

```
mknod /dev/rtc0 c 251 0
```

Nun setzt man das Datum und die Uhrzeit von Hand im Format [MMDDhhmm[[CC]YY]], zum Beispiel mit ...

Bild 5.  
Setzen von Uhrzeit und  
Datum beim Systemstart.

```
case "$1" in
start)
# start here
if [ ! -d /sys/bus/i2c/devices/1-006f ]; then
echo mcp7940 0x6f > /sys/bus/i2c/devices/i2c-1/new_device

fi
if [ ! -c /dev/rtc0 ]; then
mknod /dev/rtc0 c 251 0 2>/dev/null &>&2
fi
# end
if [ "$VERBOSE" != no ]
then
echo "System time was `date`."
echo "Setting the System Clock using the Hardware Clock as reference..."
fi
```

Bild 6.  
Mit Hilfe des Kernel-Moduls  
„pca953x“ kann man die  
Portexpander-GPIOs ganz  
einfach ansprechen.

```
Elektor GNUBLIN ELDK (Built by Poky 5.0) 5.0 gnuvlin ttyS0
http://www.gnuvlin.org

gnuvin login: root
root@gnuvin:~# modprobe pca953x
root@gnuvin:~# echo 98 > /sys/class/gpio/export
root@gnuvin:~# echo out > /sys/class/gpio/gpio98/direction
root@gnuvin:~# echo 1 > /sys/class/gpio/gpio98/value
root@gnuvin:~#
```

**Tabelle 2.**  
**Ansprechen der**  
**PCA9555-Pins mit**  
**dem Export-Befehl**

Pin-Bezeichnung	Wert für /sys/ class/gpio/export
IO0_0	98
IO0_1	99
IO0_2	100
IO0_3	101
IO0_4	102
IO0_5	103
IO0_6	104
IO0_7	105
IO1_0	106
IO1_1	107
IO1_2	108
IO1_3	109
IO1_4	110
IO1_5	111
IO1_6	112
IO1_7	113

date 122014342012  
was zu folgendem Ergebnis führt:

Thu Dec 20 14:34:00 UTC 2012

Um Uhrzeit und Datum in den Baustein zu über-  
tragen, ruft man einmalig:

hwclock -w

auf. Möchte man sich die Uhrzeit und das Datum  
vom Baustein abholen, geht das wie folgt:

hwclock -r

Als Ausgabe erscheint:

Thu Dec 20 14:34:17 2012 0.000000 seconds

Ist die Batterie im Halter, so bleibt die Uhrzeit  
auch nach dem Ab- und Anstecken der Stromver-  
sorgung erhalten. Der Batteriehalter kann übrige  
sowohl auf dem Board als auch auf der  
Unterseite montiert werden (siehe Schaltplan).  
Um die Uhrzeit des Systems beim Start auto-  
matisch zu setzen, muss man die Datei „/etc/  
init.d/hwclock.sh“ wie in **Bild 5** gezeigt erweitern.  
Wichtig ist dabei, dass das Modul rtc-mcp7940  
entsprechend in /etc/modules eingetragen wor-  
den ist.

## Portexpander

In Folge 7 der Artikelreihe [9] haben wir den  
Portexpander bereits angesprochen, direkt mit  
den I2C-Tools und auch in C.

Mit Hilfe des Kernel-Moduls „pca953x“ kann man  
die Portexpander-GPIOs ganz einfach so wie die  
Hardware-GPIOs des LPC3131 ansprechen [10].  
In **Bild 6** sieht man die dazu nötigen Befehle. In  
**Tabelle 2** stehen die entsprechenden Werte für  
den Export-Befehl.

Im nächsten Heft werden wir eine kleine Anwen-  
dung des Erweiterungsboards vorstellen. Mit den  
Tastern und dem LCD realisieren wir ein Menü,  
das man sich natürlich für eigene Zwecke anpas-  
sen kann.

(120518)

## Weblinks

- [1] [sauter@embedded-projects.net](mailto:sauter@embedded-projects.net)
- [2] [www.elektor-magazine.de/120181](http://www.elektor-magazine.de/120181)
- [3] [www.elektor-magazine.de/120596](http://www.elektor-magazine.de/120596)
- [4] [www.lcd-module.de/pdf/doma/dog-m.pdf](http://www.lcd-module.de/pdf/doma/dog-m.pdf)
- [5] <http://goo.gl/TokZZ>
- [6] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22266D.pdf>
- [7] [www.ti.com/lit/ds/symlink/pca9555.pdf](http://www.ti.com/lit/ds/symlink/pca9555.pdf)
- [8] [http://gnuvin.googlecode.com/git/lpc3131/gnuvin\\_package/src/gnuvin-dogm/usr/bin/gnuvin-dogm](http://gnuvin.googlecode.com/git/lpc3131/gnuvin_package/src/gnuvin-dogm/usr/bin/gnuvin-dogm)
- [9] [www.elektor-magazine.de/120518](http://www.elektor-magazine.de/120518)
- [10] [www.elektor-magazine.de/120146](http://www.elektor-magazine.de/120146)



3. Integrate the following wrt  $x$ :

(i)  $x^2 \cos 3x$  (ii)  $x^3 e^{3x}$

$x^2 x^3 \cos e^{3x} 3x$

not "integrate" literally!

If only RF could be so easy.

**Linx**  
TECHNOLOGIES

Wireless made simple®

RF Modules  
Remote Controls  
Antennas  
RF Connectors  
Custom Designs

[www.linxtechnologies.com](http://www.linxtechnologies.com)

## Stückliste

### Widerstände:

R1,R2,R5,R6,R7,R10,R11,R12,R13,R14,R15 = 10 k  
R3,R4 = 2k2  
R8,R9 = 27  $\Omega$  (optional)

### Kondensatoren:

C1,C6..C9 = 2 $\mu$ 2  
C2,C5 = 100 n  
C3,C4 = 7..12 p

### Halbleiter:

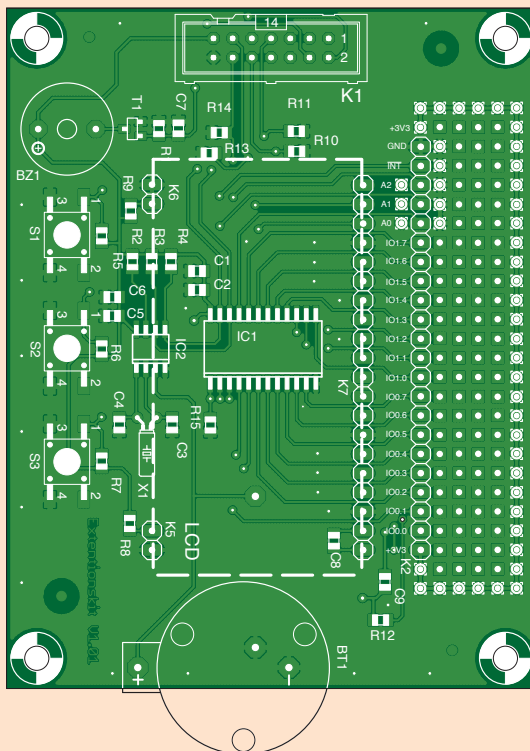
T1 = BSS123  
IC1 = PCA9555D SO-24  
IC2 = MCP79410 SOIC-8

### Außerdem:

X1 = Uhrenquarz 32,768 kHz  
K1 = Wannenstecker 14-polig  
K2 = Stiftkontaktleiste 3-polig oder optional 22-polig  
K3,K4 = Stiftkontaktleiste 3-polig  
K5,K6 = Stiftkontaktleiste 2-polig (optional)  
BT1 oder BT2 = Batteriehalter CH25-2032LF  
BZ1 = Buzzer  
S1,S2,S3 = Drucktaster 9314 SMD  
LCD1 = 2x16 LCD Electronic Assembly DOGM162L-A Platine

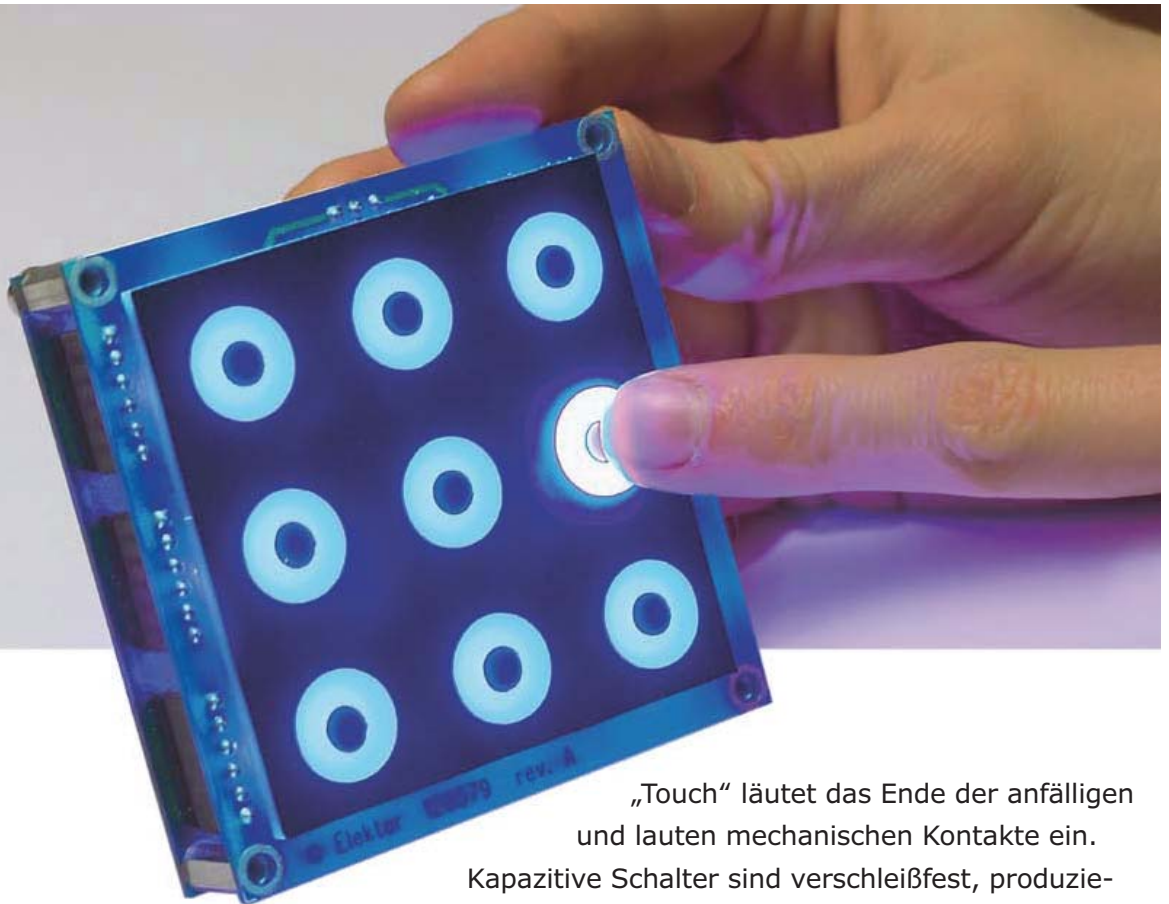
### Modul/Kit 120596-91:

SMD-bestückte und getestete Platine + LCD1, X1, K1..K4, BZ1, BT1 zur Selbstbestückung



# Pattern Lock

## Touchtastatur mit Mustererkennung



Von David Ardouin  
[5], Frankreich

„Touch“ läutet das Ende der anfälligen und lauten mechanischen Kontakte ein.

Kapazitive Schalter sind verschleißfest, produzieren weniger Rauschen und sparen Platz. Dennoch wurden sie bisher wenig in Elektor-Schaltungen eingesetzt. Dies ändert sich jetzt: Dieses Projekt entzaubert die Touch-Technologie und stellt - basierend auf *QTouch* von Atmel - eine konkrete Anwendung zur Verfügung, die man leicht in eigene Projekte einbinden kann.

Der Autor hatte nach der Entwicklung eines Touchscreens im Rahmen seiner beruflichen Tätigkeit den Wunsch, seine Erfahrung mit anderen zu teilen. Hierfür wurde ein Demo-Board für kapazitive Technologie entwickelt. Smartphones mit dem Betriebssystem Android und dem bekannten Pattern Lock (statt eines Codes auf einer 9er-Tastatur wird zur Freigabe des Geräts ein geometrisches Muster eingegeben) sind sehr in Mode. So entstand die Idee, das elektronische

Schloss „Digicode“ zu modernisieren: Das hier vorgestellte „Pattern Lock“ ist ein elegant gestyltes taktiles Schloss mit Hintergrundbeleuchtung, das zwei Motive von je vier bis neun Punkten erkennt. Wird eines dieser Motive erkannt, so steuert die Schaltung ein beliebiges Relais an.

Taktile Interfaces sind eigentlich ein alter Hut. Ältere Leser werden sich an eine Vielzahl von analog ausgeführten kapazitiven Tastenschaltungen

in Elektor erinnern. Die Lektüre war spannend, aber das Ergebnis oft enttäuschend. Heutzutage sind taktile Interfaces wegen des Einsatzes von Mikrocontrollern in keiner Weise mit der damaligen Technik zu vergleichen. Bevor wir also zum Kern der Sache vorstoßen, schauen wir zunächst auf das Funktionsprinzip taktiler Interfaces.

### Vor- und Nachteile

Zunächst eine Frage: „Wozu dient eine kapazitive Tastatur?“ Schon nach ihrer Funktion kann man taktile Interfaces in etwas unterscheiden, was Mechaniker als *Freiheitsgrade* bezeichnen. Die einfachsten Sensoren sind Taster und Schalter. Befehle, die damit gegeben werden können, sind null-dimensional: Sie kennen bloß zwei Zustände, aktiv oder nicht, offen oder geschlossen, an oder aus, 0 oder 1. Solche Taster geben quasi einen „Alles-oder-nichts“-Befehl (**Bild 1a**).

Ein taktiler Interface erlaubt Eingaben mit mehr Feinheiten, zum Beispiel „linear nach oben schieben“, proportional zur Bewegung eines Fingers über eine Fläche. Dabei muss diese Bewegung, die nur eine Variable beeinflusst, nicht immer geradlinig verlaufen. Sie kann – man denke nur an die populären MP3-Player, auch kreisförmig sein (man spricht von einem *Rotor*, **Bild 1b**). Falls die taktile Zone eine Ebene ist, bei der sich der Finger wie bei einem Handy in alle Richtungen bewegen kann, so lassen sich *zwei* Ausgangs-Variablen *gleichzeitig* beeinflussen. Um diese Technik geht es in diesem Artikel.

Der große Vorteil von kapazitiven Tasten oder Flächen liegt für den Entwickler in der Freiheit, mit der er alle Bedieneinheiten, Texte und Piktogramme anordnen kann. Das riecht schon mehr nach High-Tech als die herkömmlichen runden oder eckigen Knöpfe. Darüber hinaus ist ein Touchscreen auch völlig dicht gekapselt; er ist unverwundlich und leicht von hinten beleuchtbar.

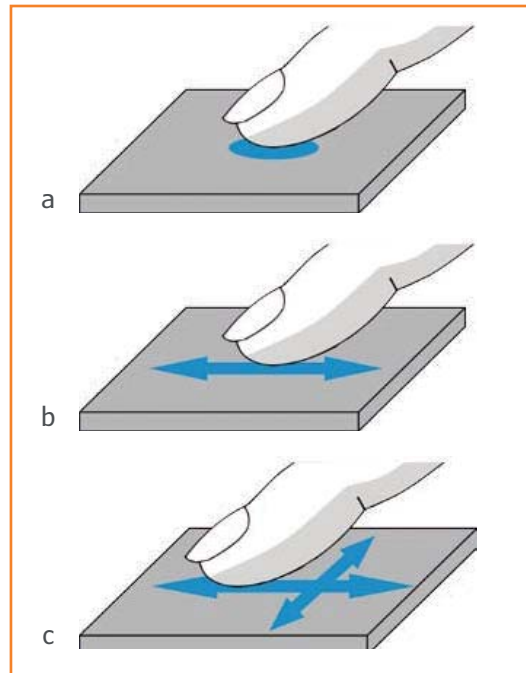


Bild 1.  
Einfache Taste (Dimension 0, a), eindimensionale taktile Oberfläche (Bahn, b), zweidimensionale Fläche (Ebene, c).

Vom Standpunkt eines entsprechenden Atmel-Controllers gesehen sind nur ein wenig Programmspeicherplatz und einige freie Pins erforderlich, um eine beliebige Schaltung mit einem Touchscreen auszustatten. Mehr als einige wenige passive Bauteile und etwas Platz auf der Platine sind dazu nicht erforderlich.

### Schulphysik

Ein Kondensator besteht aus zwei Elektroden, die durch eine Isolierschicht, dem Dielektrikum, getrennt sind. Die Kapazität ist abhängig von der Abmessung der Elektroden, ihrem Abstand und dem Material des Dielektrikums. Bei einem taktilen Interface spielt nur die größtmögliche Kapazitätsdifferenz mit oder ohne Fingerberührung eine Rolle. Dabei geht es nur um einige zehn Picofarad. Damit ein solcher Sensor zuverlässig

## Über den Autor

Schon als kleiner Junge wollte ich immer ein „großer Bastler wie der Papa“ sein. Ich habe diesen Kindheitstraum nie aufgegeben und Technologiekurse im Collège besucht sowie viele Schaltungen aus Zeitschriften aufgebaut. Ein Bac S (Abitur naturwissenschaftlicher Ausrichtung) sowie eine 5-jährige Ausbildung an der Ingenieurshochschule ESEO in Angers haben es mir ermöglicht, die Elektronik zu meinem Beruf zu machen, ohne meine Passion aufgeben zu müssen. Neben meinen Aufgaben als Ehemann und Familienvater finde ich immer noch etwas Zeit, einige der Ideen, die in meinem Kopf herumschwirren, zu verwirklichen und etwas Modellflug zu praktizieren.





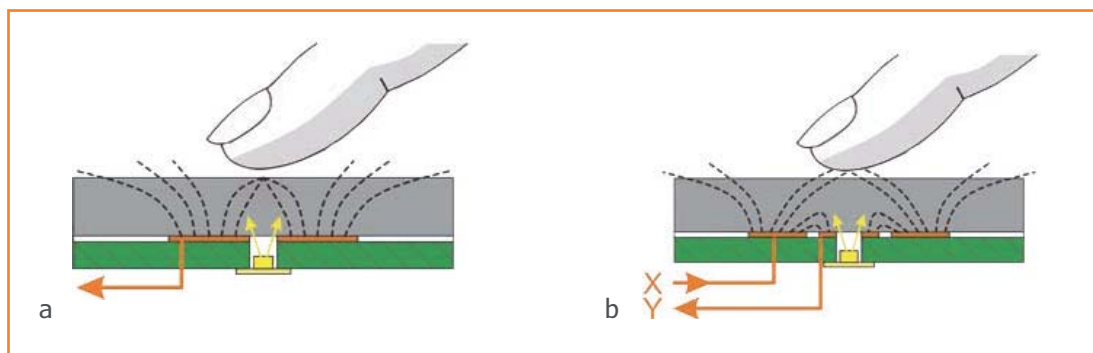


Bild 2.  
Einfache (a) und verbundene  
(b) Elektroden.

funktionieren kann, müssen einige Regeln eingehalten werden.

## Die Qual der Wahl

Für die kapazitive Erkennung sind zwei Typen von Elektroden gebräuchlich, beide mit Vor- und Nachteilen. Die erste in **Bild 2a** ist die einfachste.

Die Taste besteht aus einem leitfähigen Pad von etwa 10 mm Durchmesser, einem Widerstand, einem Kondensator und der Berührfläche aus isolierendem Material. Für jeden Knopf richtet man ein solches Sandwich ein. Der Mikrocontroller muss  $2n + 1$  Anschlüsse (mit  $n$  = Anzahl der Tasten) zur Verfügung stellen. Die Taste ist die eine Elektrode, die die elektrische Ladung trägt und auch detektiert, der berührende Finger stellt die andere Elektrode dar. Bei der Annäherung steigt die Kapazität des *Kondensators* erheblich, was die Erkennung ermöglicht. Im Gegensatz zu gängigen Vorurteilen braucht es für die Detektion keine Verbindung zur Erde oder zur Masse des Schaltkreises. Atmel bezeichnet diese erste Methode der „schwebenden“ Detektion als *QTouch* oder *Self-Capacitance Keys*.

Sobald mehr als zehn Tasten notwendig sind, gibt man einer zweiten Technik mit verbundenen Elektroden namens *QMatrix* den Vorzug (**Bild 2b**). Jede Taste besitzt eine Steuer- (X) und eine Empfänger-Elektrode (Y). Im Ruhezustand wird ein Teil der von Elektrode X ausgesandten elektrischen Ladung von Elektrode Y empfangen, aber sobald sich ein Finger nähert, stört er dieses Gleichgewicht und nimmt einen Teil der Ladung auf, wodurch die gemessene Kapazität vermindert wird. Eine Anordnung in Matrixform erlaubt bis zu 64 Tasten mit nur 8 X- und 8 Y-Elektroden. Verbindet man drei Tasten auf eine clevere Weise miteinander, so lassen sich mit beiden Methoden leicht Schiebe- und Rotorsensoren erstellen. Allerdings erfordert der Entwurf derlei verflochtener Elektroden besondere Sorgfalt. Diese Besonderheiten werden im *Buttons, Sensors and Wheels Sensor Design Guide* von Atmel [1] hervorragend und sehr detailliert erklärt. Bei der Konzeption ist es entscheidend, die geringstmögliche Störkapazität im Ruhezustand zu erreichen. Hierfür

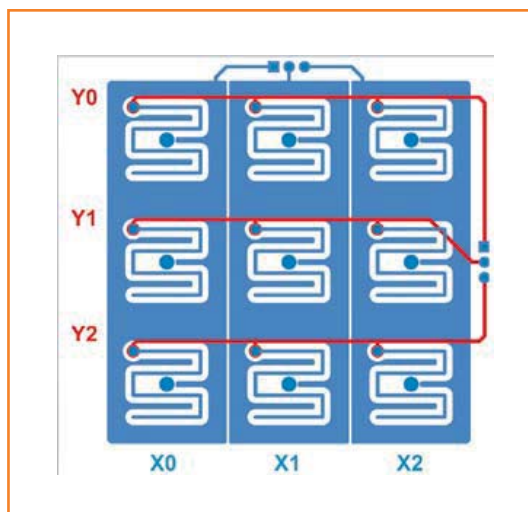


Bild 3.  
Aufbau der verbundenen Elektroden des taktilen Schaltkreises.

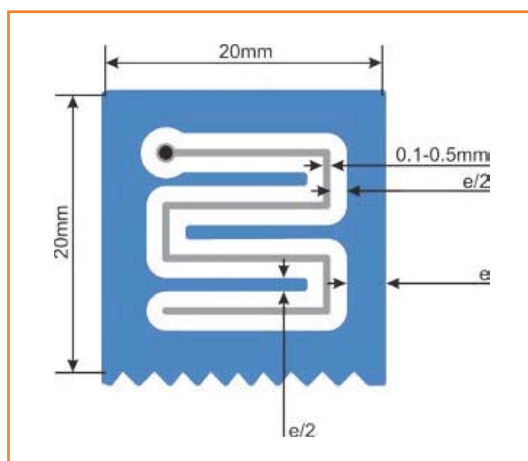


Bild 4.  
Details einer Elektrode.

wird man die Tasten möglichst weit entfernt von allem anderen anordnen, insbesondere von den Masseflächen. Für Elektroden in Matrixform müssen die Y-Linien besonders sorgfältig geroutet werden, die X-Linien sind weniger störanfällig.

### Funktionsgrundlagen

Das taktile Tastenfeld umfasst neun kapazitive Tasten in X-Y-Matrixform. Das 3x3-Quadrat ist ideal (**Bild 3**). Die Aufteilung auf zwei Platinen soll den Platzbedarf reduzieren und gleichzeitig parasitäre Effekte durch die anderen Bausteine auf die sensiblen Leiterbahnen minimieren. Die Elektroden bestehen aus Kupfer-Leiterbahnen und wurden auf eine Platinendicke von 3 mm optimiert. Die Mäanderform (**Bild 4**) ergibt eine maximale Kopplung zwischen den Elektroden im Bereich der Tasten, aber nichts hindert Sie daran, sie an Ihre Zwecke anzupassen. Der durch „e“ markierte Abstand entspricht auch der Stärke des Isoliermaterials auf den Tasten.

Für die Hintergrundbeleuchtung sind die LEDs D1 bis D9 (in der Bauform 1206) auf der Rückseite der Sensorplatine zuständig, sie beleuchten durch Bohrungen die entsprechenden Bereiche der Sensorfläche. Die parallel geschalteten Kondensatoren C1 bis C9 sind für eine hohe Empfindlichkeit unerlässlich. Und schließlich stellen fünf Steckverbinder J1 bis J5 die Verbindung zwischen den beiden Schaltungsteilen her.

Die Schaltung in **Bild 5a** ist dank der im AVR-Mikrocontroller ATtiny88 von Atmel integrierten Bibliothek *Qtouch* sehr übersichtlich. Für die Erkennung einer Taste wird die entsprechende Steuerelektrode (X) mit einer Folge von Rechteckimpulsen hoher Frequenz belegt. Die ausgesandten Ladungen werden zu einem Teil von den benachbarten Y-Elektroden aufgefangen und über

R14...R16 in C19...C21 gesammelt. Danach wird im Mikrocontroller ein Timer gestartet, um die Entladezeit der Kondensatoren über R11...R13 zu messen. Nähert sich nun während der Abtastphase ein Finger, so absorbiert dieser einen Teil der Ladung, die normalerweise im Kondensator gespeichert wird. Somit ist zum Ende der Impulsfolge die Spannung an den Anschlüssen dieses Kondensators ein wenig geringer und deshalb die Entladezeit ebenfalls reduziert, was durch den Timer erkannt wird. Der  $\mu\text{C}$  wiederholt danach diesen klassischen und bewährten Messzyklus für jede X-Y-Kombination.

Was konkret gemessen wird, ist der *Ladungsunterschied*. Eine hohe Genauigkeit der Zeitmessung ist nicht gefordert, so dass der  $\mu\text{C}$  durch den internen Taktgeber mit 8 MHz getaktet werden kann. Die Zuordnung der Controller-Pins zu den Matrix-Elektroden wird von verschiedenen Bedingungen bestimmt, die hier nicht näher behandelt werden sollen. Als Hilfe auf diesem Weg stellt *Atmel* glücklicherweise das Programm *AVR QTouch Studio* zur Verfügung. Die X-Elektroden werden über R8...R10 gesteuert, was elektromagnetische Emissionen reduziert. Die Widerstandswerte sind unkritisch. Die  $\mu\text{C}$ -Ausgänge PD5 und PB0 steuern die Reed-Relais RL1 und RL2 über zwei MOSFETs an. Wichtig sind die Freilaufdioden D10 und D11. Manchmal sind solche Dioden schon in den Relais integriert, diskret eingesetzte Dioden geben aber mehr Freiheit, was die Steuerspannung des Relais betrifft.

Über die beiden Eingänge PB7 und PD7 „lernt“ der  $\mu\text{C}$  die zu erkennenden Muster. Sie sollten aus naheliegenden Sicherheitsgründen unzugänglich sein. Setzt man den Jumper J13, so startet beim Einschalten der *learning mode* der Touch-Tastatur. Großer Wert wurde auf den Stromverbrauch gelegt, sodass man hier mit zwei AAA-Zellen aus-

### Als Bonus: Pattern Piano...

Meine Töchter von 18 Monaten und drei Jahren lieben es, mit dem *Pattern Lock*-Prototyp zu spielen. Dieser zeigt sich oftmals wenig kleinkinderfreundlich und tut seine Unzufriedenheit kund, indem er die zentrale LED aufleuchten lässt. Um Frustration bei meinen Elektronik-Lehrmädchen zu vermeiden, habe ich das widerborstige Schloss umgebaut und einfach Relais RL1 durch einen kleinen 8  $\Omega$ -Lautsprecher in Serie mit einem 22  $\Omega$ -Widerstand ersetzt. Einige Zeilen Code mehr und das *Pattern Piano* war geboren, sehr zur Freude der Mädchen und aller anderer Ohren! Die erzeugten Grundfrequenzen entsprechen den Noten zwischen eingestrichenem C (525 Hz) und zweigestrichenem D (1180 Hz), womit man kleine Melodien spielen kann. Probieren Sie es aus, es macht Spaß!



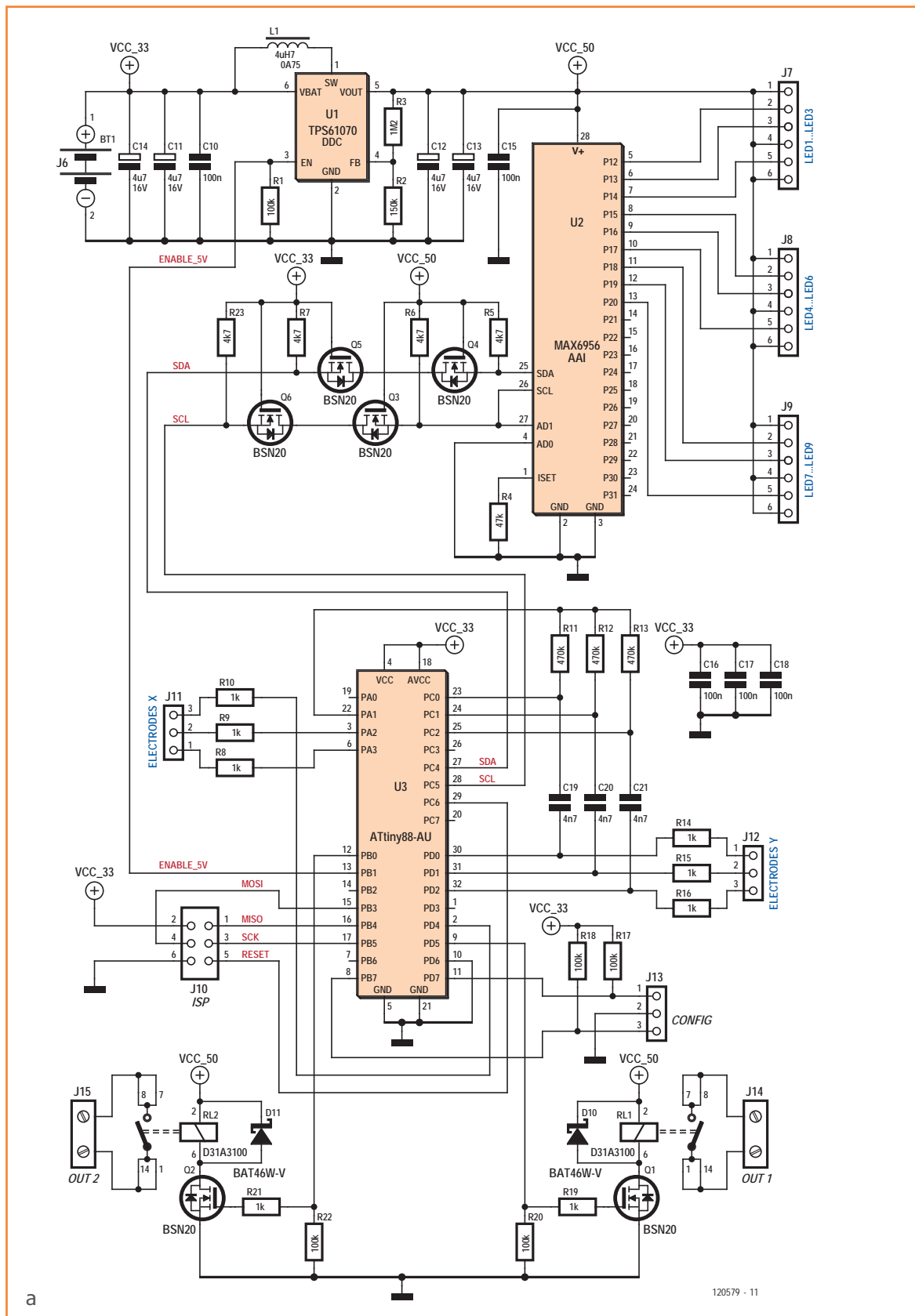
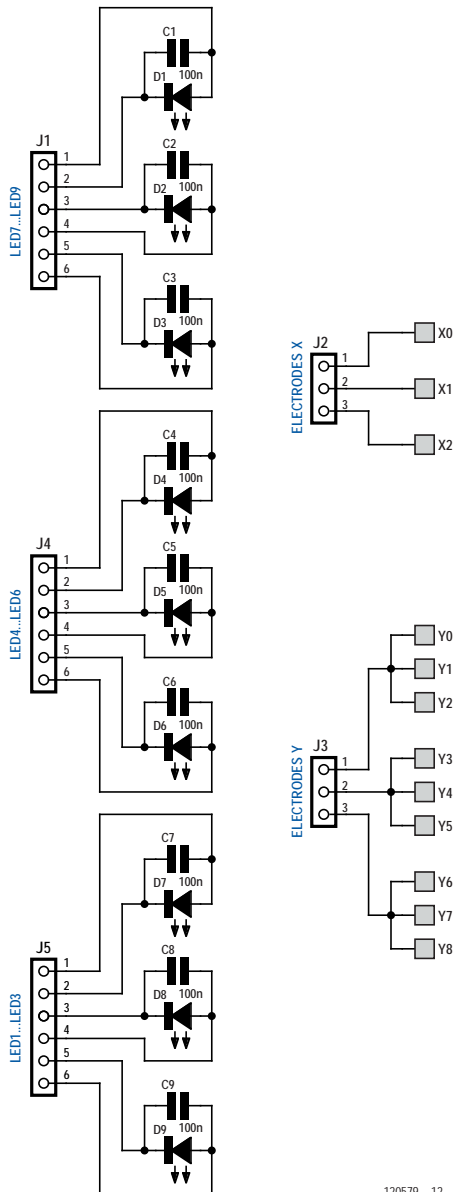


Bild 5.  
Schaltbild des taktilen  
Tastenfeldes zur  
Mustererkennung.





120579 - 12

b

kommt. Der  $\mu\text{C}$  ATtiny88 befindet sich meistens im Sleep-Modus und wird direkt von den Zellen aus versorgt. Sein integrierter Watchdog weckt ihn alle 1200 ms und ein Abtastzyklus wird ausgeführt. Wird eine Tastenberührung erkannt, so wechselt der ATtiny in den aktiven Modus und schaltet die 5-V-Versorgung ein. Diese Spannung wird vom DC/DC-Wandler U1 samt umgebenden Komponenten erzeugt. Die Spannung versorgt die Relais und die LEDs, deren Durchlassspannung von 3,3 V zu hoch für die beiden Batteriezellen ist. Im Gegensatz zu anderen Step-up-Konvertern kann der TPS61070 seinen Ausgang im Wartemodus komplett abschalten und zieht dann nur noch 0,5  $\mu\text{A}$ !

Damit solch ein taktile Tastenblock auch attraktiv erscheint, sollte er nicht nur beleuchtet sein, diese Beleuchtung sollte auch dynamisch den Bewegungen folgen. Die Ansteuerung der LEDs (**Bild 5b**) wird durch den  $\mu\text{C}$  übernommen, der aber den notwendigen Strom für die verschiedenen Helligkeitsniveaus nicht direkt liefern kann. Er ruft deshalb einen MAX6956 zur Hilfe, der bis zu 20 Ausgänge mit konstantem Strom versorgen kann. Die Ausgänge des MAX6956 sind über einen I<sup>2</sup>C-Bus einzeln konfigurierbar. Der Maximalstrom von U2 wird durch R4 auf etwa 20 mA pro Ausgang festgelegt. Da der MAX6956 nicht über einen Schlafmodus verfügt, wird seine Versorgungsspannung im Ruhezustand abgeschaltet. Die beiden ICs U2 und U3 arbeiten mit verschiedenen Betriebsspannungen, müssen aber dennoch per I<sup>2</sup>C miteinander kommunizieren. Deshalb arbeiten Q3...Q6 als zwei bidirektionale Spannungsumsetzer und verhindern darüber hinaus, dass U2 bei abgeschalteter Betriebsspannung über SCL und SDA versorgt wird. Die MOSFETs BSN20 sind für diesen Niederspannungsbereich dank ihrer niedrigen Steuerspannung  $V_{gs}$  sehr gut geeignet. Der ISP-kompatible Anschluss J10 dient zum Programmieren und Testen des Mikrocontrollers *in circuit*.

### Bestückung und Zusammenbau

Alle Bauteile sind recht leicht im Elektronik-Fachhandel erhältlich. Wir haben es zwar größtenteils mit SMDs zu tun, allerdings wurde die relativ große Bauform 1206 gewählt, um den Aufbau zu erleichtern. Trennen Sie zunächst die beiden Platinen (**Bild 6**) mit einer Trennscheibe, einer kleinen Säge oder (suboptimal) mit einer Blechschere. Löten Sie zunächst die LEDs und Kondensatoren auf die Sensorplatine. Zum genauen

## Stückliste

### Controllerplatine

#### Widerstände (SMD1206):

R1, R17, R18, R20, R22 = 100 k  
 R2 = 150 k  
 R3 = 1M2  
 R4 = 47 k  
 R5...R7, R23 = 4k7  
 R8...R10, R14...R16, R19, R21 = 1 k  
 R11...R13 = 470 k

#### Kondensatoren (SMD1206):

C10, C15...C18 = 100 n/50 V

C11...C14 = 4µ7/16 V

C19...C21 = 4n7/50 V

#### Induktivität:

L1 = 4µ7/0,75 A (Bourns SRR3011-4R7YL, bei Farnell 1828144)

#### Halbleiter:

U1 = TPS61070DDC (Texas Instruments, bei Farnell 1461062)

U2 = MAX6956AAI (Maxim)

U3 = ATtiny88-AU (Atmel)

D10... D11 = BAT46W-V

Q1...Q6 = BSN20

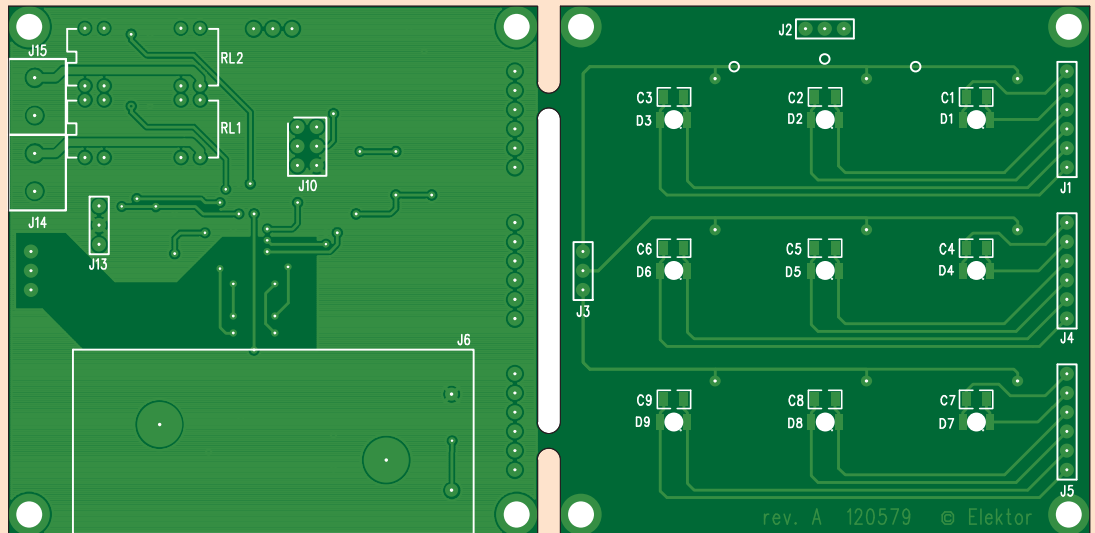


Bild 6.  
 Platinenentwürfe. Die richtige Polarität der LEDs erkennt man an den winzigen Pünktchen unten rechts (Kathode).

Ausrichten werden die Steckverbinder (male und female) J1...J5, J7...J9 und J10...J12 zunächst nur in die beiden übereinander angeordneten Platinen eingesetzt und nicht verlötet.

Das Verlöten von U2 und U3 ist knifflig. Es empfiehlt sich folgender Trick: Zunächst wird alles mit einer groben Lötspitze ohne Rücksicht auf etwaige Kurzschlüsse verlötet, danach wird mit Entlötlitze alles überschüssige Lot entfernt und das nur wirklich notwendige auf dem Kupfer belassen. Der Zusammenbau der kapazitiven Tasten erfordert besondere Aufmerksamkeit, und dies umso mehr, da sie hintergrundbeleuchtet sind. Nach längerer Suche wurde weißes transluzentes 3-mm-Plexiglas mit 31 % Transmission von [www.plexiglas-shop.com](http://www.plexiglas-shop.com) ausgewählt, da das Licht der LEDs hier ein Leuchtfeld von 15 mm Durchmesser erzeugt.

Für eine sichere Funktion der Tasten darf es **keinerlei mechanisches Spiel** zwischen Platine und Dielektrikum geben. Man braucht gar nicht

versuchen, Abstandsrollchen oder Ähnliches einzusetzen, es funktioniert nicht! Der Autor hat diese beiden Schichten mit hochtransparentem doppelseitigem Klebeband verklebt. Eine dünne Schicht Epoxy-Kleber dürfte ebenso hinreichen. Hier bieten sich eigene Versuche mit verschiedenen Materialien an, zum Beispiel mit Glas, dem idealen Dielektrikum. Das Design der Tasten ist auf eine Stärke von 3 mm optimiert, bei anderen Dicken wird die Tastenerkennung schlechter. Die Steckverbinder J1...J5 müssen so montiert sein, dass ihre Anschlüsse höchstens bis zur Oberfläche des Aufbaus reichen, sie dürfen nicht überstehen (sonst: abfeilen) und müssen auf der Montageseite verlötet werden. Die Plexiglasplatte an den entsprechenden Stellen auszuhöhlen ist umständlich und wenig elegant.

Die Lage der Tasten (und ihre Form) kann ganz nach Belieben gestaltet werden, ein Aufkleber wie in **Bild 7** kann zum Einsatz kommen oder eine kreative Lackierung.

#### Außerdem:

J6 = Halter für zwei AAA-Batterien (Keystone 2468)  
 J7...J9 = Stiftleiste einreihig, 6-polig, RM 2,54 mm  
 J10 = Stiftleiste zweireihig, 2x3-polig, RM 2,54 mm  
 J11...J13 = Stiftleiste einreihig, 3-polig, RM 2,54 mm  
 J14, J15 = Platinenanschlussklemme, RM 5,0 mm  
 (CamdenBoss CTB5202/2, bei Farnell 1717001)  
 RL1, RL2 = Reed-Relais (Celduc D31A3100, bei Farnell 1214549)  
 Platine 120579-1  
 Plexiglasscheibe 60x60x3 mm (PLEXIGLAS weiß WH72 GT, www.plexiglas-shop.com)

#### Tastenfeld

##### Kondensatoren (SMD1206):

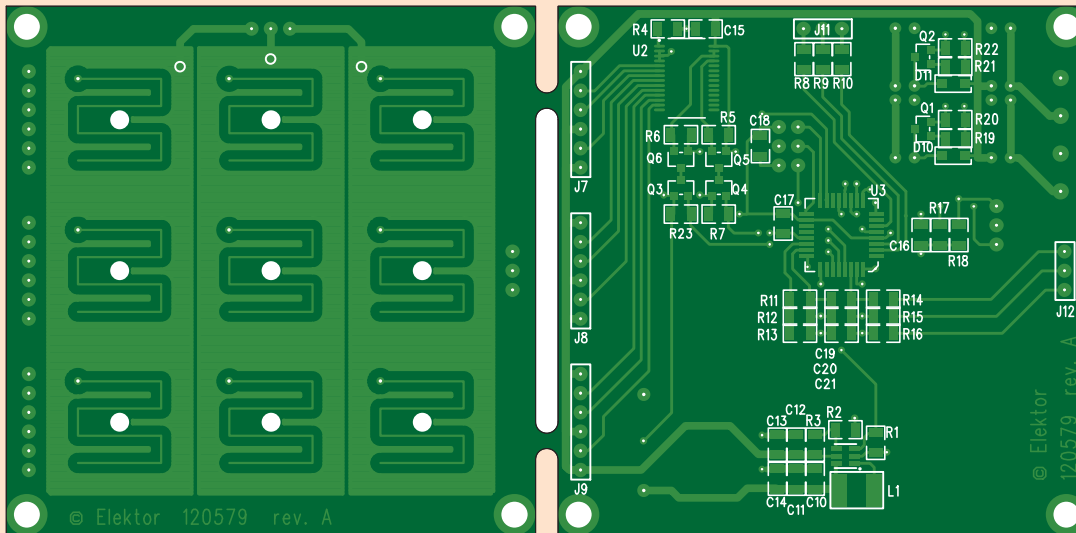
C1...C9 = 100 n/50 V

##### Halbleiter:

D1...D9 = LED blau, SMD1206 (Kingbright KPTD3216QBC-D)

##### Außerdem:

J1, J4, J5 = Buchsenleiste 6-polig, RM 2,54 mm  
 J2, J3 = Buchsenleiste 3-polig, RM 2,54 mm



#### Firmware und Qtouch-Bibliothek

Wesentlich verantwortlich für die einfache technische Umsetzung der Tasten sind die in der Bibliothek *QTouch* enthaltenen hochentwickelten Algorithmen. Diese verwalten unter anderem das periodische Kalibrieren der Messungen und schalten langsame Änderungen durch veränderte Umweltbedingungen (Luftfeuchtigkeit) aus. Sie erlauben auch Vergleiche zwischen nebeneinander liegenden Tasten, sehr praktisch, wenn die Kontaktflächen klein und die Finger groß sind (Algorithmus AKS, für *Adjacent Key Suppression*). Nicht zuletzt werden auch hängende Tasten erkannt (Aktivierung ohne Fingerdruck). Eine maximale Einschaltdauer ist einstellbar, danach wird eine neue Kalibrierung durchgeführt. Diese Parameter sind konfigurierbar in der Datei *touch\_config.h*. Hier wurden die Default-Werte beibehalten. Die Zuordnung der Tasten, ihre Empfindlichkeit und die Zugehörigkeit zu einer AKS-Gruppe werden ihrerseits in der Funktion *QT\_config\_keys* in Datei

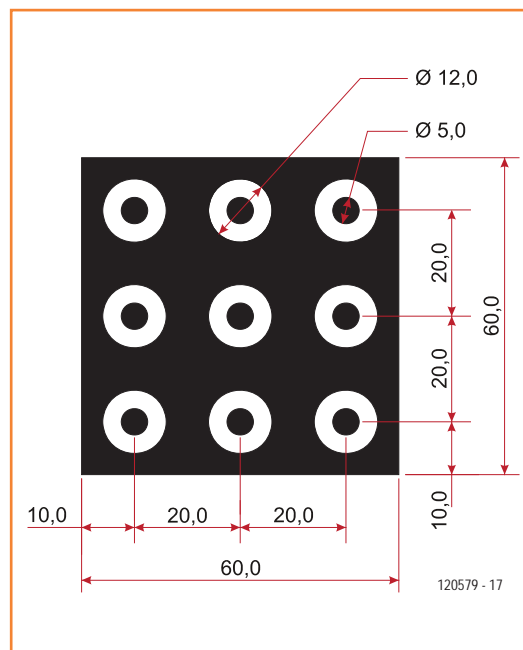


Bild 7.  
Gestaltungsvorschlag für die Ansichtsseite.



## Hoch lebe der Kondensator!

Mein kapazitives taktiles Interface hat nichts gemein mit *resistiven* Ausführungen der ersten GPS-Navis, welche aus zwei mit winzigem Abstand übereinander angeordneten Leitschichten bestanden. Schon ein leichter Fingerdruck stellte einen Kontakt her und erlaubte die Erkennung des Fingers. Die Empfindlichkeit dieser Bauteile ist eher mittelmäßig, verglichen mit kapazitiven Bauteilen. Fort mit der Mechanik, her mit dem Kondensator!

*Qtouch.c* definiert.

Der Quellcode des Programms, der bei [3] heruntergeladen werden kann, ist ausführlich und im Detail kommentiert. Die Integration der *Qtouch*-Bibliothek folgt den Vorgaben aus [2] und wird anhand von Pseudo-Code illustriert (**Bild 8**). Bei Inbetriebnahme wird das System durch Aufruf der Funktionen *QT\_config\_sensors*, *qt\_init\_sensing* und *QT\_set\_parameters* initialisiert. Danach startet jeder Aufruf von *qt\_measure\_sensors* eine Messung. Falls eine Kapazitätsvariation erkannt wird, nimmt die Bibliothek mehrere Abtastungen kurz hintereinander vor, um das Vorliegen eines Tastendrucks zu bestätigen oder zu verwerfen. Diese Wiederholung der Abtastungen ist entscheidend für die Verlässlichkeit der Messungen bei zugleich kurzer Antwortzeit. Bei Zustandsänderungen der Tasten wird die Variable *u16\_flagStatus* aktualisiert. Der Aufruf des Makros *GET\_SENSOR\_STATE()* liefert den Status jeder einzelnen Taste.

Die Messfrequenz hängt von Ihrem Programm ab und stellt einen Kompromiss dar zwischen Reaktionsgeschwindigkeit, Prozessorauslastung und Stromverbrauch. Um eine Antwortzeit zu erhalten, die in angenehmer Weise dem Gleiten des Fingers über die taktile Oberfläche folgt, wurde eine Abtastperiode von 50 ms gewählt, was eine sehr engmaschige Abtastung ergibt. Für eine eher klassische Anwendung mit einzeln anzusprechenden Tasten ließe sich die Zeit auf 100...200 ms erhöhen. Bei Zeiten darüber empfindet der Anwender die Tastenerkennung als langsam, wenn nicht gar als fehlerhaft.

Neben der taktilen Erkennung wurde der Rest des Programms in einem Zustandsdiagramm zusammengefasst, das zwar hier nicht abgebildet ist, aber unter [4] doch in Augenschein genommen

werden kann.

Die Implementierung der *Qtouch*-Bibliothek belegt je nach Konfiguration 2...4 KB Programmspeicher und benötigt ungefähr 250 Byte RAM. Sie verwendet stellenweise *Timer 1*, der deshalb während der Abtastphasen nicht verwendet werden sollte. Der komplette Code von *Pattern Lock*, compiliert mit *IAR Embedded Workbench*, belegt wenig mehr als 6 KB Programmspeicher und 500 Byte RAM und passt daher bestens in einen ATtiny88.

## Einsatz und Einstellarbeiten

Die von diesem System gebotene Sicherheit ist ein Kompromiss zwischen Unverletzlichkeit und Schnelligkeit der Entriegelung. Es wäre schon verwegen, es an Ihrer Haustüre einzusetzen, aber als Sicherheitsschloss Ihres Wohnzimmercomputers macht es sich sicher gut. Die autonome Stromversorgung mit Batterien eröffnet ein breites Spektrum von Einsatzmöglichkeiten. Eine derartige Stromversorgung verpflichtet aber auch zu Kompromissen: Die größten Stromfresser, die Relais, werden bei Erkennung des Musters nur für eine halbe Sekunde aktiviert. Diese Funktionsweise ist geeignet, um einen Einschalter am Computer zu ersetzen oder einen elektrischen Türöffner zu bedienen. Falls die Schaltung ständig mit einem stabilisierten Netzteil betrieben werden soll, so genügt es, einige Zeilen im Code zu ändern, um die Ansteuerung von Relais und LEDs auf Dauerbetrieb einzustellen.

Sobald Betriebsspannung anliegt, geht das System zunächst in den Ruhezustand (alle LEDs inaktiv), führt aber periodisch Messungen durch. Falls ein Fingerdruck auf irgendeine Taste für mehr als 1,2 s anliegt, erwacht es und lässt die LEDs schwach leuchten. Der Benutzer kann nun seinen Entsperrcode eingeben. Falls das geometrische Muster korrekt ist, wird kurz ein **●** angezeigt und das entsprechende Relais zieht an. Ist das Muster falsch, so wird stattdessen ein **✕** angezeigt. Der Benutzer hat drei Versuche, das korrekte Muster einzugeben. Ansonsten leuchtet die mittlere LED, das Schloss wird für 10 Sekunden gesperrt und geht wieder in den Ruhezustand über.

Zur Programmierung eines neuen Musters (bei der ersten Inbetriebnahme oder falls es vergessen wurde) wird ein Jumper auf die Pins 1-2 von J1 für den ersten und auf die Pins 2-3 für den zweiten Ausgang gesteckt. Dann die Betriebsspannung anlegen, das System durch Druck auf einen

```

#include "QTouch.h"
#include "touch_api.h"

void main(void){
    // Configure the Sensors as keys or Keys With Rotor/Sliders in this function
    QT_config_sensors();
    // initialise touch sensing
    qt_init_sensing();
    // Set the parameters like recalibration threshold, Max_On_Duration etc
    QT_set_parameters();

    do{
        // Autonomous loop which performs capacitive sensing every 50ms
        if (g_u8_flagMeasure){
            g_u8_flagMeasure = 0;
            do{
                // one time measure touch sensors
                u16_flagStatus = qt_measure_sensors(g_u16_current_time_ms_touch);
                //Set flag if multiple measurements are required by library
                u16_flagBurst = u16_flagStatus & QTLIB_BURST_AGAIN;
            }
            while(u16_flagBurst);

            // One touch is in detect
            if (u16_flagStatus & QTLIB_IN_DETECT){
                u16_touchState = 0;
                //Find the touched key number
                for (i=0; i<9; i++){
                    //Check if this key is in touch
                    if (GET_SENSOR_STATE(i))
                        u16_touchState |= (1<<i);
                }
            }
            else
                u16_touchState = 0;
        }

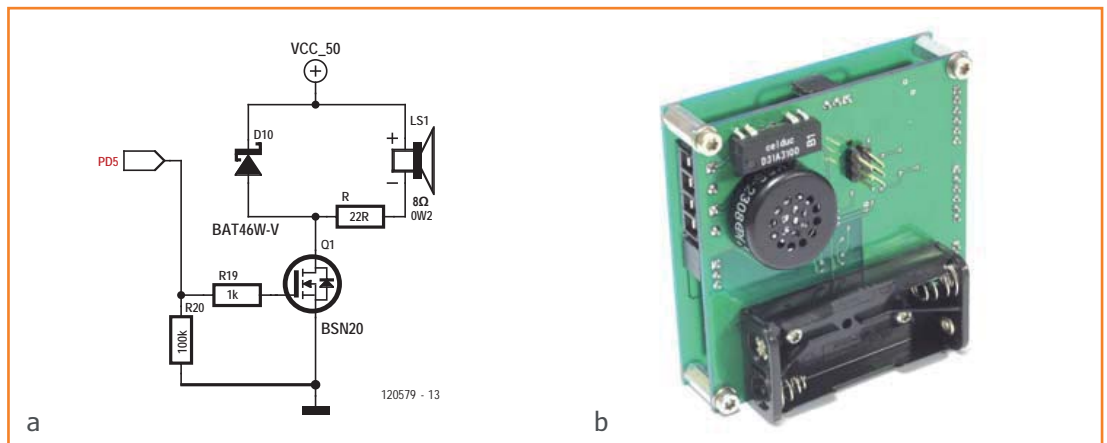
        //Process keys
        if (u16_touchState){
            //Look for which key is touched
            for (i=0; i<9; i++){
                if (u16_touchState & (1<<i)){
                    u8_ledCurrent[i] = LED_CURRENT_HIGH; //Update corresponding led
                    MI_PlayTone(i); //Play Tone
                }
                else
                    u8_ledCurrent[i] = LED_CURRENT_LOW;
            }
        }
        else
        {
            for (i=0; i<9; i++){
                u8_ledCurrent[i] = LED_CURRENT_LOW;
            }
            MI_StopTone();
        }
        LED_Update(u16_ledValue, u8_ledCurrent); //Update led current
    }
    while (1);
}

//Timer 0 interrupt function, called every 50ms
__interrupt void MI_Timer0Interrupt(void){
    //Here every 50ms
    g_u16_current_time_ms_touch += 50;
    g_u8_flagMeasure = 1;
    return;
}

```

Bild 8.  
Aufruf und Anwendung  
der *Qtouch*-Bibliothek.  
Der Auszug hier stammt  
aus dem Programm von  
*Pattern Piano* (Bild 9).

Bild 9.  
Umrüstung von *Pattern Lock*  
zu *Pattern Piano* (a).  
Eines der Relais wurde  
durch einen Mini-  
Lautsprecher ersetzt (b).



beliebigen Knopf starten und das neue Muster aus vier bis zu neun Punkten eingeben. Sobald der Code gespeichert ist, geht das System in den Ruhezustand über. Danach wird der Jumper gezogen und das System ist betriebsbereit. Die Y-Elektroden werden über J3/J12 geführt. Wenn Sie diese berühren oder ein metallisches Objekt in die Nähe bringen, wird die Tastenerkennung gestört.

Im Ruhezustand beträgt die Stromaufnahme etwa 5  $\mu$ A, während der Abtastphasen (alle 1200 ms) erhöht sie sich für 8 ms auf 2,4 mA. Der mittlere Strom beträgt im Ruhezustand mithin 21  $\mu$ A, zwei AAA-Zellen reichen für mehrere Jahre! Die ZugangsCodes werden im EEPROM gesichert und bleiben auch bei Ausfall der Betriebsspannung erhalten.

(120579)

## Weblinks

- [1] Atmel - QTAN0079 Sensor Design Guide  
[www.atmel.com/Images/doc10752.pdf](http://www.atmel.com/Images/doc10752.pdf)
- [2] Atmel - Atmel QTouch Library 5.0  
[www.atmel.com/Images/doc8207.pdf](http://www.atmel.com/Images/doc8207.pdf)
- [3] Atmel - QtouchStudio  
[www.atmel.com/tools/QTTOUCHSTUDIO4\\_3\\_1.aspx](http://www.atmel.com/tools/QTTOUCHSTUDIO4_3_1.aspx)
- [4] [www.elektor-magazine.de/120579](http://www.elektor-magazine.de/120579)
- [5] [david.ardouin.projects@gmail.com](mailto:david.ardouin.projects@gmail.com)

Bild 10.  
Die Steckverbinder werden  
von unten eingelötet,  
um die Montage der  
Plexiglasscheibe auf dem  
Tastenfeld zu erleichtern.





### Linux Debugging (2-tägiges Seminar)

Das Ziel dieses Kurses ist es, einen grundlegenden Überblick über Debugging / Tracing / Profiling Möglichkeiten unter GNU/Linux zu geben. Hands-on-Übungen geben Ihnen die notwendige praktische Erfahrung, um das richtige Tool für Ihre Debugging-Anforderungen auswählen zu können.

Hands-on-Sessions werden auf Ubuntu durchgeführt. Der gesamte Workshop ist konzipiert, um Sie schnell „up-to-speed“ zu bringen. Erfinden Sie das Rad nicht neu, sondern lernen Sie von einem erfahrenen Trainer und nehmen Sie dieses Wissen mit nach Hause, um diese neu erworbene Fähigkeit bei eigenen Entwicklungen effektiv zu nutzen.

Referent: Robert Berger - Teilnahmegebühr: 995,00 € (inkl. MwSt.)

### Echtzeitbetriebssysteme in Theorie und Praxis (3-tägiges Seminar)

Das modular aufgebautes Seminar ist je nach Interesse und Wissenstand konzipiert, so dass Sie beliebig einsteigen können.

Tag 1 Was ist Echtzeit? Was ist FreeRTOS? Installation von Werkzeugen, tasks, scheduling, queues,...

Tag 2 Interrupts, Nebenläufigkeit (concurrency), gegenseitiger Ausschluss (mutual exclusion), Speicherverwaltung,...

Tag 3 allgemeine Methoden zur Vermeidung von Fehlern, Wie kann man die Fehler, die man nicht vermeiden konnte, finden (mit Schwerpunkt Echtzeitbetriebssysteme)?

Ziel des Kurses ist es, Ihnen die grundlegenden Konzepte eines Echtzeitbetriebssystems und dessen Handhabung zu vermitteln. Was sind zum Beispiel Vor- und Nachteile? Wie kann man diverse Programme auf einem PC erstellen/kompilieren und auf einem eingebetteten System ausführen? Eine Kombination aus Theorie und praktischen Übungen wird es Ihnen ermöglichen, das neu erworbene Wissen bei Eigenentwicklungen einzusetzen.

Referent: Robert Berger - Teilnahmegebühr: für alle 3 Seminar-Tage: 1.799,00 € (inkl. MwSt.)  
für 2 Seminar-Tage: 1.250,00 € (inkl. MwSt.)  
für 1 Seminar-Tag: 650,00 € (inkl. MwSt.)

**NEU**

### Arduino - Programmierung und Projektentwicklung (Tagesseminar)

In diesem Kurs erfolgt nach einer kurzen Einführung und der Inbetriebnahme des Arduino-Boards eine systematische Einführung in verschiedene Themengebiete. Dabei wird neben den erforderlichen theoretischen Grundlagen stets größter Wert auf eine praxisorientierte Ausrichtung gelegt. So werden wichtige Techniken wie AD-Wandlung, Timer oder Interrupts anhand von Praxisprojekten ausführlich erläutert. Den Abschluss des Seminars bildet eine Einführung in die eigenständige Entwicklung von Projekten und Systemen. Der Seminarteilnehmer wird damit in die Lage versetzt, auch komplexe eigene Ideen in praxistaugliche Geräte umzusetzen. Ganz nebenbei hat der Kursteilnehmer dann auch die „Basics“ der zugehörigen Controllertechnik verstanden und im wahrsten Sinne des Wortes begriffen.

Referent: Dr. Günter Spinner - Teilnahmegebühr: 349,00 € (inkl. MwSt.)

### Workshops \* Seminare \* Kurse \* Weiterbildungen

Top-Fachleute aus der Branche referieren  
über ein faszinierendes Thema!

**Embedded Linux  
in Theorie und Praxis**  
15. bis 17.04.2013 München  
16. bis 18.09.2013 Hanau

**Linux Debugging**  
18. + 19.04.2013 München  
06. + 07.06.2013 Hanau  
19. + 20.09.2013 Dortmund

**PIC-Microcontroller  
Programmierung in C**  
16. + 17.04.2013 München

**Arduino – Programmierung und  
Projektentwicklung**  
16.04.2013 Hanau  
05.09.2013 Dortmund  
07.11.2013 Zürich (CH)

**Echtzeitbetriebssysteme  
in Theorie und Praxis**  
13. bis 15.05.2013 Online (Webinar)  
03. bis 05.06.2013 Hanau

**Multi Core / Parallel Programming**  
10. bis 12.09.2013 München

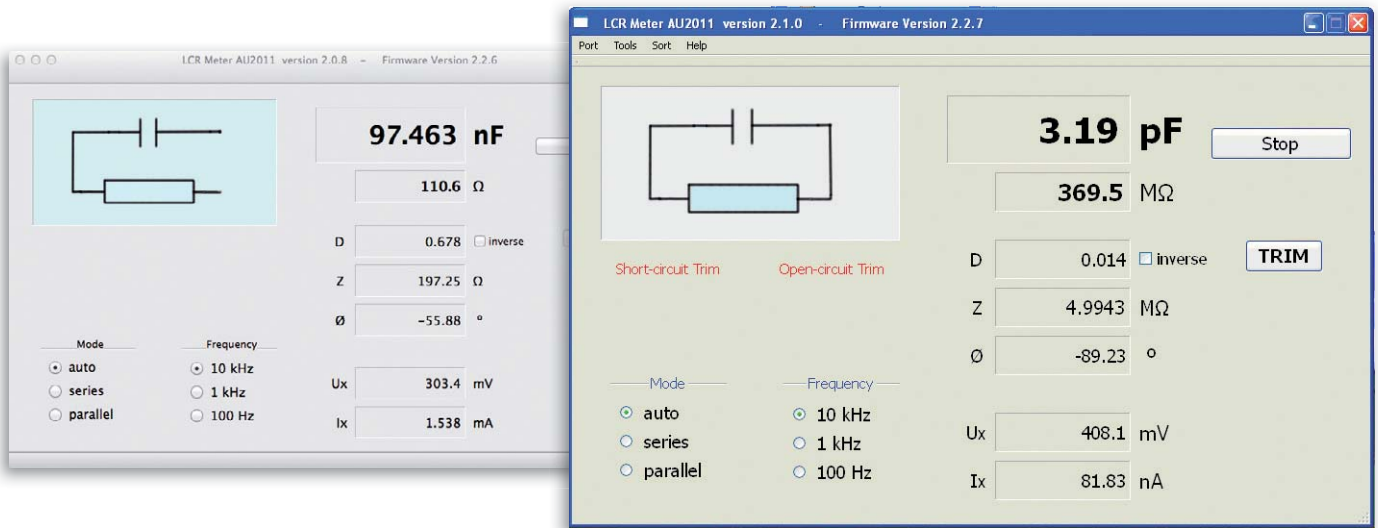
Weitere Infos & Anmeldung: [www.elektor.de/events](http://www.elektor.de/events)

**SEHR GUT**  
9 von 10 Seminaren  
werden von unseren  
Teilnehmern mit  
sehr gut bewertet.

**INKLUSIVE  
elektor  
ZERTIFIKAT**

# LCR-Meter 2013 (2)

## Höchste Präzision zu niedrigen Kosten



Von  
**Jean-Jacques Aubry**  
(F)

In dieser Folge stellen wir das Display- und Bedien-Modul vor, mit dem das LCR-Meter stand-alone betriebsfähig ist. Wir erläutern das Menü, das für die Bedienung entwickelt wurde, außerdem betrachten wir die wichtigsten Aspekte der Software. Die erste Folge dieses mehrteiligen Beitrags sollte bei der Lektüre zur Hand sein, denn dort ist das Schaltbild des LCR-Meters abgedruckt.

Schon in der ersten Folge hatten wir das Display-Modul (DKM, *Display Keyboard Modul*) kurz betrachtet, das dem LCR-Meter zur Unabhängigkeit von einem PC verhilft. Was noch fehlte, war die Schaltung des DKM, damit wollen wir an dieser Stelle beginnen.

### Display- und Bedienmodul

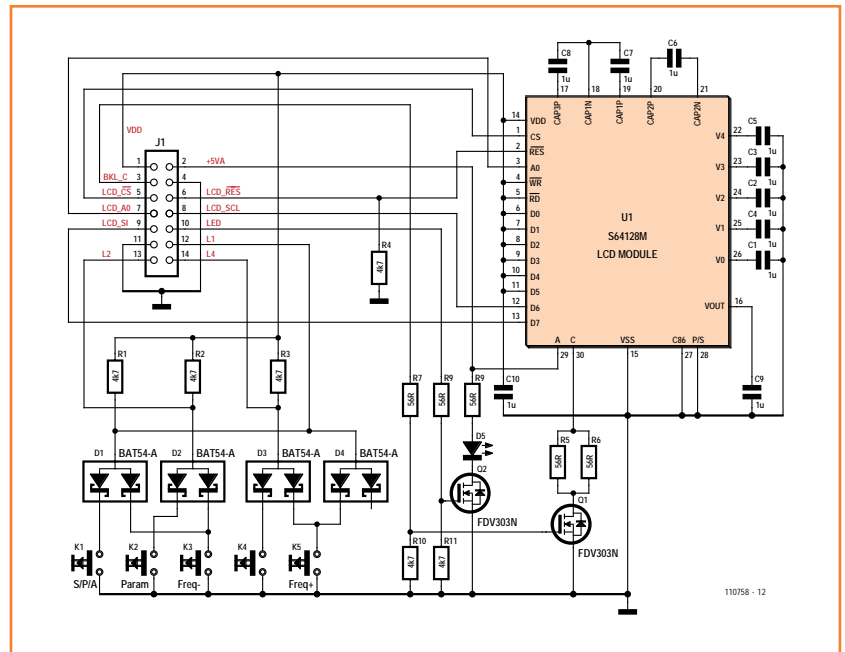
Ursprünglich wurde das LCR-Meter für den Betrieb zusammen mit einem PC entwickelt, der Einsatz als autonomes Messgerät war nicht vorgesehen. Weil ein PC nicht an jedem Ort in Reichweite ist, gingen die Meinungen zu diesem Konzept auseinander. Während die Befürworter der PC-abhängigen Lösung die niedrigeren Kosten ins Feld führten, war das andere Lager von der Flexibilität autonomer Messgeräte überzeugt. Um allen Wünschen entgegenzukommen, haben wir uns entschlossen, ein anschaltbares Display- und Bedienmodul als Option anzubieten.

Schon früher hatten wir eine autonome Version

entwickelt, die von einem Steckernetzteil mit Strom versorgt wurde und ein grafisches Display mit 128 · 64 Pixeln besaß. Die dafür entwickelte Software konnten wir zu großen Teilen in die neue Version übernehmen. Damit war das DKM schnell realisiert. Die erste Version hatte 13 I/O-Leitungen, Display und Taster konnten über parallele Leitungen angeschlossen werden. Bei der neuen Version stehen nur noch fünf Leitungen zur Verfügung, so dass in die Software eine serielle Steuerung implementiert werden musste. Außerdem stand eine Erkennung des angeschlossenen DKM und der Betriebsspannungsquelle (Steckernetzteil oder USB) auf der Wunschliste.

Die Schaltung des DKM in **Bild 1** besteht aus nur wenigen Bauteilen. U1 ist ein grafisches LC-Display-Modul mit 128 · 64 Pixeln des Herstellers Displaytech. Im Display-Modul ist ein Mikrocontroller ST7565R von Sitronix integriert. Die Kondensatoren C1...C9 wirken beim Umsetzen der Spannungen für das Display mit. Über Transistor Q1

steuert das Messmodul die Display-Hintergrundbeleuchtung, sie ist nur im Stand-alone-Betrieb eingeschaltet. Logisch 1 an Pin 6 des Steckverbinders J16 signalisiert dem Messmodul, dass das DKM angeschlossen ist. Transistor Q2 steuert die LED D5. Sie folgt der LED D6 auf dem Messmodul, indem sie am Ende einer Messsequenz aufleuchtet. Die Taster K1...K5 sind die Bedienelemente, sie sind über die Dioden D1...D4 als Matrix geschaltet. Über drei Leitungen sind  $2^3 = 8$  binäre Codes darstellbar, wobei der Code 111 (kein Taster gedrückt) ausgenommen ist. Da sieben Tastercodes für die Bedienung nicht genügen, unterscheidet die Software zwischen kurzen und langen Tasterdrücken. Die Anzahl der verfügbaren Codes wird auf diese Weise verdoppelt. Das DKM ist mit dem Messmodul über ein vieladriges Flachkabel verbunden. Am DKM befindet sich ein Platinenstecker, so dass der Aufbau niedrig bleibt. Am Messmodul wird das Kabel an eine Steckbuchsenleiste angeschlossen.



Die Drucktaster haben folgende Funktionen:

	Kurzer Tastendruck	Langer Tastendruck
K1	<b>S/P/A</b>	<b>Menus</b>
K2	<b>Param.</b>	<b>Q-D</b>
K3	<b>Freq-</b>	<b>Sorting</b>
K4		<b>RT</b>
K5	<b>Freq+</b>	<b>Trim</b>

So viel an dieser Stelle zur Hardware des DKM. Die Inbetriebnahme und die Einstellungen werden in zwei Online-Dokumenten beschrieben, die von der Projektseite [3] aus dem Web herunter geladen werden können.

## PC-Modus

Wenn das Messmodul über die USB-Schnittstelle mit einem PC verbunden wird, wechselt die Software in den PC-Modus. Das auf dem PC laufende Programm heißt *AU2011* [1]. Die Sprache ist Englisch, die Software unterstützt aber auch anderssprachige Übersetzungen. Für den USB-UART-Chip FT232R des Messmoduls ist auf dem PC ein Treiber erforderlich. Eine Anleitung zur Treiber-Installation steht als Online-Dokument auf der Elektor-Website bereit.

## Menüs und Einstellungen

Nach Anschließen des LCR-Meters, Starten des PC-Programms und Einschalten des Messmoduls

muss zuerst die Einstellprozedur mit den Menüs *Preferences*, *Utilities* und *Sorting Parameters* durchlaufen werden (**Bild 2**). Im Hauptfenster der **Benutzeroberfläche** (**Bild 3**) erscheinen die Messergebnisse, und durch Anklicken von Schaltflächen lassen sich Parameter ändern und Aktionen starten. Links oben ist die Ersatzschaltung des Messobjekts (*Device Under Test, DUT*) dargestellt. Wenn der Mauszeiger auf einem Feld steht, erscheint ein *Tooltip*, eine Texteinblendung mit einer kurzen Erklärung. Beim ersten Start des Programms wird über die Schaltfläche **Open Port** eine Verbindung mit dem COM-Port hergestellt, der in den *Preferences* voreingestellt ist. Nach dem Verbindungsaufbau ist die Schaltfläche inaktiv (grau). Wenn man das Programm später erneut startet, läuft der Verbindungsauf-

Bild 1.

Display- und Bedien-Modul mit grafischem LC-Display und fünf Tastern.

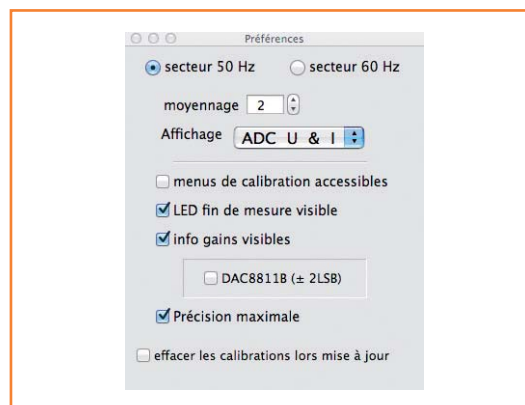


Bild 2a.

Den Anfang machen die unvermeidlichen Voreinstellungen in den *Preferences*.



Bild 2b.  
Die Funktion *Sorting* vergleicht die Messwerte mit den hier eingegebenen Herstellerangaben.



Bild 3. Die Funktion *Sorting* bei einer Widerstandsmessung. Die propagierten Daten stehen links unten.

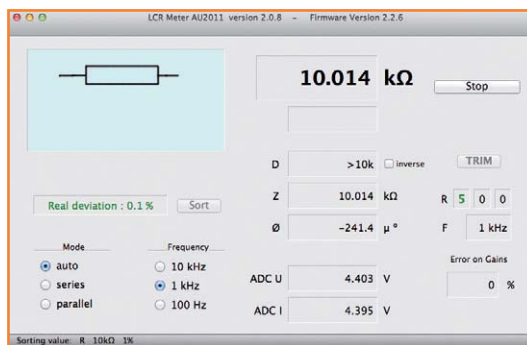


Bild 4.  
Mit dem Temperatursensor PT100 können Temperaturen im Bereich -80 °C...+600 °C gemessen werden.

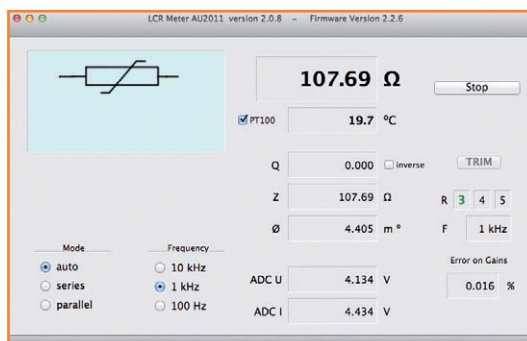
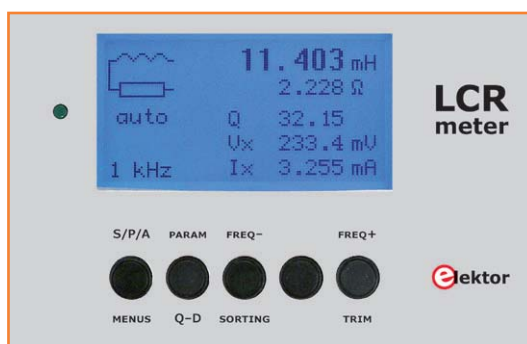


Bild 5.  
Display und Bedientaster bei der Stand-alone-Version.



bau automatisch ab, der Button ist dann nicht mehr sichtbar.

Mit **Start** und **Stop** werden Messungen gestartet und beendet. Die Schaltfläche **TRIM** dient zum Einstellen der Kompensation auf OPEN oder SHORT. Nach Anklicken werden die Messkabel einschließlich Prüfspitze und Klemmen für alle Frequenzen durchgemessen. Fehlerhafte Ergeb-

nisse werden nicht gespeichert. Solange diese Prozedur noch aussteht, hat das DUT-Symbol die Farbe Rot.

Über die Schaltfläche **Sorting Parameters** lassen sich die vom Hersteller angegebenen Nennwerte des DUT vorgeben. Diese Werte werden in die Leiste links unten im Hauptfenster übernommen. Wenn die Messwerte innerhalb der vorgegebenen Toleranzen liegen, wird die Abweichung vom Nennwert grün dargestellt, anderenfalls ist sie rot. Mit den **Mode**-Schaltflächen lässt sich der Messmodus einstellen, der zur Komponente gehört: **auto**: Abhängig von der gemessenen Impedanz schaltet das LCR-Meter selbstständig zwischen Parallel- oder Reihenschaltung um.

**series**: Reihenschaltung

**parallel**: Parallelschaltung

Die Frequenz des Messsignals wird über die Schaltfläche **Frequency** eingestellt. Die niedrigste Frequenz ist gleich der zweifachen Netzfrequenz, sie muss in den *Preferences* vorgegeben werden. Im ersten Feld von **Gain** (G) steht der Messbereich:

Rot für die Bereiche 1 und 8: Der von der Verstärkerkette verursachte Messfehler beträgt  $\pm 0,04\%$ . Magenta für die Bereiche 2 und 7: Der Verstärkerketten-Fehler beträgt  $\pm 0,02\%$ .

Grün für die Bereiche 3 bis 6: Hier ist der Fehler der Verstärkerkette identisch mit Null.

Die beiden übrigen Felder zeigen Werte im Bereich 0...F an, dies sind die Faktoren für Strom und Spannung des *Multiplying DAC*. Wenn das Feld **Max** vorhanden und nicht angehakt ist, wird der Verstärkungsfehler des PGA103 mit den typischen Werten berechnet (*typical*). Bei einem Haken im Feld Max wird der Max-Wert verwendet.

Das Menü **Adjustments** ist für das Einstellen und Kalibrieren zuständig. Die drei ersten dieser Einstellungen erfordern keinen Eingriff in das Gerät. Weitere Informationen zu diesen Prozeduren enthält das Online-Dokument *Getting Started* auf der Projektseite [3].

## Temperatursensor PT100

Elektronische Thermometer gibt es schon sehr preiswert, allerdings betragen die Toleranzen meistens mehrere Grad Celsius. Es liegt nahe, das LCR-Meter auch für Temperaturmessungen mit höherer Genauigkeit einzusetzen.

Der PT100 ist ein Platin-Temperatursensor für den Bereich -80...+600 °C mit der Toleranz  $\pm 0,3$  °C in der Klasse B oder  $\pm 0,1$  °C in der Klasse A. Bei einem Widerstand 70...300 Ω, einer Messfrequenz

$\leq 1$  kHz und einem Gütefaktor  $Q$  nahe Null ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass am LCR-Meter ein PT100 angeschlossen ist. Deshalb erscheint im Hauptfenster links neben den sekundären Messgrößen ein anhakbares Feld mit der Beschriftung **PT100**. Wird das Feld angehakt, wechselt das Symbol in einen Thermistor, und der Messwert wird als °C dargestellt. Innerhalb des nutzbaren Messbereichs -75...+557 °C ist die Genauigkeit der Temperaturmessung besser als 0,05 °C.

### Stand-alone-Modus

Bei der Inbetriebnahme des LCR-Meters sind bestimmte Einstellungen nur im PC-Modus möglich (siehe *Initial Adjustments*). Danach kann das LCR-Meter vom PC getrennt werden. Mit dem Display- und Bedienmodul (DKM) wird es zum Stand-alone-Messgerät. Auf dem Display erscheinen die Informationen in englischer Sprache.

Über fünf Taster (**Bild 5**) sind die Gerätefunktionen wählbar, außerdem können bestimmte Parameter konfiguriert werden. Das DKM unterscheidet zwischen kurzen und langen Tasterdrücken. Lang bedeutet länger als 2 s, zur Kontrolle leuchtet eine grüne LED auf. Auf der Frontplatte unseres Prototyps sind die Hauptfunktionen schwarz aufgedruckt (kurz drücken), die Nebenfunktionen sind in blauer Schrift angegeben (lange drücken).

### Hauptfunktionen (kurz drücken)

**S/P/A:** Wahl der Messschaltung Reihe, Parallel oder Auto.

**Param.:** Folgende Messmodi sind wählbar:  
Impedanz  $|Z|$  mit Phasenwinkel  $\Phi$   
Reihenwiderstand  $R_s$  mit Reihenreaktanz  $X_s$   
Effektive Spannung  $V_x$  und effektiver Strom  $I_x$  am Messobjekt

**Freq- & Freq+:** Einstellen der Messfrequenz

### Nebenfunktionen (lange drücken, > 2 s)

**Menüs:** Anzeige des Menüs, siehe unten.

**Q\_D:** Schaltet zwischen Gütefaktor  $Q$  und Verlustfaktor  $D$  um.

**Sorting:** Zuerst müssen der Nennwert und die Toleranz des DUT über das Menü *Sorting Parameters* eingegeben werden. Anschließend ist der Modus *Sorting* mit diesem Taster wählbar. Die am DUT gemessenen Werte und das zugehörige Symbol werden schwarz dargestellt, die propagierten Werte weiß (**Bild 6**). Mit dem Taster GO wird der Vergleich gestartet, das Ergebnis wird als OK oder BAD angezeigt.

**Trim:** Dieser Taster dient zur Wahl der Kompen-

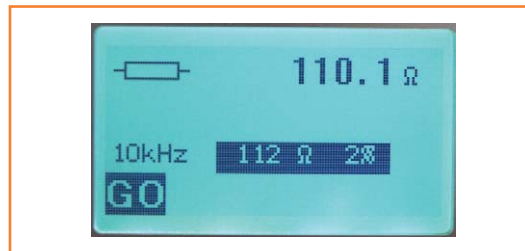


Bild 6.  
Die Sortierfunktion *Sorting*.

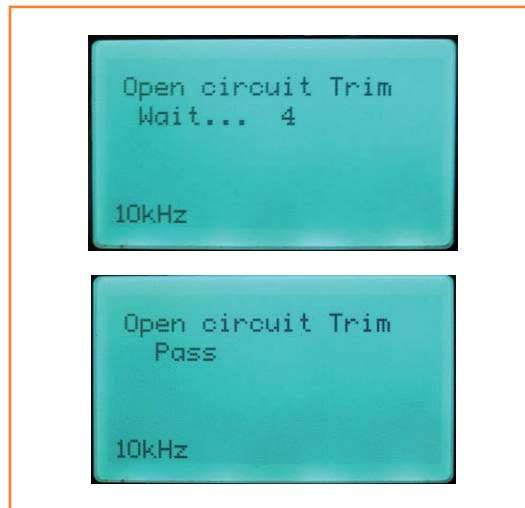


Bild 7.  
Kompensation mit der Funktion *Trim*.

sation für offene oder kurz geschlossene Messklemmen (OPEN – SHORT, siehe **Bild 7**). Die Kompensation ist für alle Messfrequenzen gültig.

Falls  $|Z| < 10 \Omega$  gilt CLOSED

Falls  $|Z| > 100 \text{ k}\Omega$  gilt OPEN

Wenn die Kompensation nicht möglich ist, blinken links vom Messwert der Buchstabe O oder S (oder beide). In diesem Fall sind eine oder beide Kalibrierungen erforderlich (siehe **Bild 8**).

### Taster ohne Beschriftung:

Der zweite Taster von rechts ist nicht beschriftet. Die Funktion wird im *User Manual* erläutert, das als Online-Dokument von der Projektseite [3] heruntergeladen werden kann.

### Menüs

Menüs (**Bild 9**) können mit den Aufwärts- und Abwärtstastern durchlaufen werden. Ein [ $>$ ] vor einem Menü-Eintrag gibt die aktuelle Auswahl an, und mit [OK] wird die Auswahl bestätigt. Der Taster [eX] dient zum Verlassen des Menüs.

### Sorting Parameters

In diesem Menü müssen der Nennwert und die Toleranz des DUT eingegeben werden, wie sie vom Hersteller spezifiziert sind. Die Einheit und

der Wert bestimmen, was gemessen werden soll. Die Eingabe muss vor einem Wechsel in den Menü-Modus erfolgen. Zuerst wird mit den Tastern [-] und [+] die Toleranz vorgegeben und mit [OK] bestätigt (**Bild 10**). Danach folgt in gleicher Weise der **Primäre Wert** des DUT (**Bild 10**).

Aus Bild 9 ist ersichtlich, dass das Menü wei-

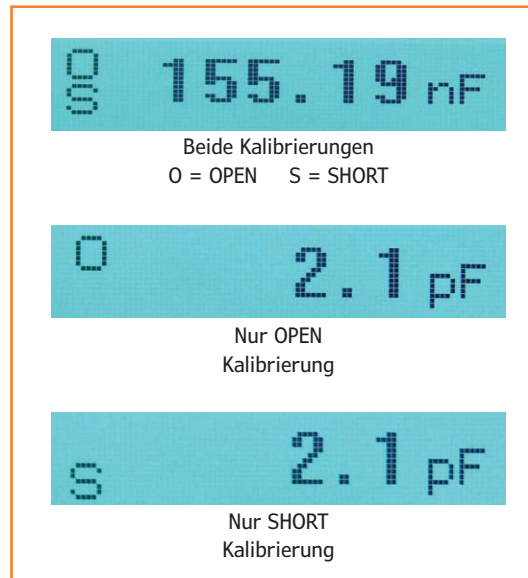


Bild 8.  
Warnung wegen einer fehlerhaften Eichung.

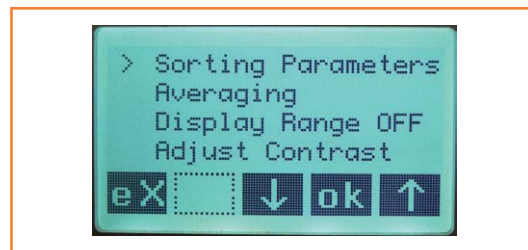


Bild 9.  
Das Menü.

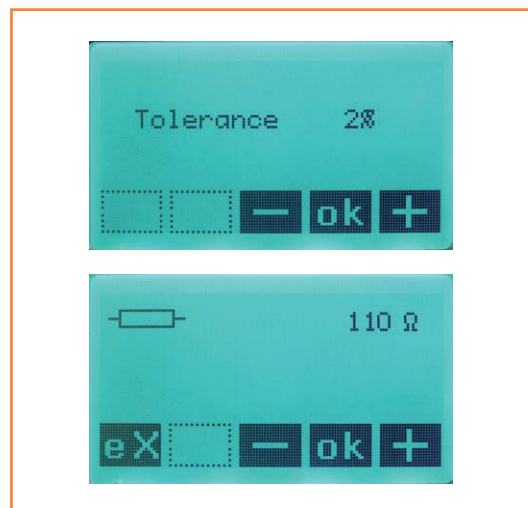


Bild 10.  
Die Sortierfunktion misst den tatsächlichen Wert und die Toleranz, bezogen auf die Herstellerangaben.

tere Optionen bietet: Durchschnittsberechnung (*Averaging*), Anzeige des Messbereichs (*Display Range*), Einstellen des Display-Kontrasts (*Adjust Contrast*), Hintergrundbeleuchtung (*Back Light*) und Stromnetzfrequenz (*Line Freq 50/60 Hz*).

## Software

Die Präzision und Benutzerfreundlichkeit verdankt das LCR-Meter maßgeblich den Komponenten der Software:

Der *Bootloader*, er übernimmt die Steuerung, sobald die Betriebsspannung am Messmodul anliegt.

Die *Firmware*, sie führt die Messungen aus, berechnet abgeleitete Messgrößen und erledigt Nebenaufgaben. Im Stand-alone-Betrieb steuert sie auch das Display.

Das PC-Programm AU2011, mit ihm können unter anderem Messwerte betrachtet und Kommandos ausgeführt werden. Das PC-Programm kommuniziert mit dem Bootloader und der Firmware über definierte Zeichenketten.

## Bootloader

Beim Einschalten der Betriebsspannung startet der Mikrocontroller den Bootloader. Der Bootloader ist ab Adresse 0x0000 im EEPROM gespeichert. Zu seinen Aufgaben gehört das Laden oder Updaten der Mikrocontroller-Firmware. Das geschieht in folgenden Situationen:

Wenn beim Einschalten Jumper J17 gesteckt ist, erwartet der Bootloader, dass eine neue Firmware-Version in das EEPROM des Mikrocontrollers geladen werden soll.

Der Anwender kann diesen Vorgang auch durch einen *Software Reset* einleiten.

Falls die Checksumme der im EEPROM stehenden Firmware nicht korrekt ist, wird ebenfalls ein Firmware-Update erwartet.

Firmware-Updates können im Stand-alone-Betrieb nicht durchgeführt werden, sie sind nur im PC-Modus mit dem Programm AU2011 möglich. Beim Updaten wird zuerst der Programmspeicher gelöscht, indem alle Bytes auf 0xFF gesetzt werden. Danach wird über die USB-Schnittstelle eine Datei im Intel-Hex-Format geladen, die Daten werden im Adressraum über dem Bootloader gespeichert. Anschließend startet die neue Firmware-Version, vorausgesetzt die Checksumme ist korrekt. Die Firmware wird ab der ersten Ladeadresse ausgeführt, was im Programm wie folgt aussieht:



```
((void (code *) (void)) PROG_BEGIN_FLASH_
ADDR) () // -> jump to application code
```

Das Verfahren wurde der Application Note AN112 von Silicon Labs entnommen, wir haben lediglich den Teil hinzugefügt, der die Checksumme prüft. Ursprünglich wurde nach dem Laden nur die Anzahl der gespeicherten Byte berechnet, der Wert ist gleich der Differenz der End- und Startadresse (*address\_end* - *address\_start*). In der Firmware können jedoch auch Bytes mit dem Wert

0xFF vorkommen, die für *address\_end* falsche Werte ergeben. Die Checksumme gibt Sicherheit, dass die Firmware korrekt im EEPROM steht. Weitere Aufgaben des Bootladers sind aus dem Quelltext ersichtlich, auch den Quelltext haben wir auf der Projektseite [1] zum Download eingestellt.

### Firmware

Das Programm, das im Mikrocontroller läuft, ist gewissermaßen der Motor des LCR-Meters: Die Firmware führt die Messungen aus, sie reagiert

#### Listing # 1

```
void UART0_ISR(void) interrupt INTERRUPT_UART0
{
    char SFRPAGE_SAVE = SFRPAGE;
    SFRPAGE = UART0_PAGE;
    if (RI0 == 1) // if receive flag set, put the byte in UART_InputBuffer
    {
        RI0 = 0;
        Byte = SBUF0; // Read a character from UART0
        if ((Byte == '\0') || (Byte == '\n') || (Byte == '\r'))
        {
            RX_Ready = 1; // Reception complete
        }
        else
        if (UART_InputBuffer_Size < UART_IN_BUFFERSIZE - 1) // room needed for string terminal '\0'
        {
            UART_InputBuffer[UART_InputBuffer_Size] = Byte;

            UART_InputBuffer_Size++; // Update array's size
        }
        if (TI0 == 1)
        // if transmit flag set, send UART_OutputBuffer datas
        {
            TI0 = 0;
            if (UART_OutputBuffer_Size > 0) // If buffer not empty
            {
                Byte = UART_OutputBuffer[UART_Output_First];

                SBUF0 = Byte; // Transmit to UART0

                UART_Output_First++; // Update counter

                UART_OutputBuffer_Size--; // Decrease array size
            }
            else
            {
                UART_Output_First = 0;

                TX_Ready = 1; // Transmission complete
            }
        }
        SFRPAGE = SFRPAGE_SAVE; // restore SFRPAGE
    }
}
```

auf die Kommandos des Anwenders, und sie überträgt die Messergebnisse, im Stand-alone-Modus zum Display oder im PC-Modus zum USB-Port. Die kurzen Ausschnitte, die nachfolgend wiedergegeben sind, sollen nur einen ersten Eindruck vermitteln. Der Quellcode auf der Projektseite [1] ist vollständig, er ist dort ausführlich kommentiert. Im PC-Modus kommunizieren das PC-Programm AU2011 und das Messmodul miteinander über Codes in Form von Zeichenketten (Strings). Die Zeichenketten werden sowohl beim Senden als auch Empfangen von der Interruptroutine UART0 verarbeitet (Listing 1).

Mikrocontroller des Typs C8051F061 schreiben die von den AD-Wandlern ADC0 und ADC1 bereitgestellten Daten über DMA (*Direct Memory Access*) unmittelbar in das XRAM. Die DMA-Schnittstelle ist konfigurierbar: Zu den Para-

metern gehören die Startadresse im XRAM sowie die Anzahl der Daten-Akquisitionen innerhalb eines Zyklus. Diese Vorgaben müssen nur einmal in bestimmte Register geschrieben werden. Anschließend genügt ein Startkommando, nach kurzer Wartezeit liegt das Ergebnis vor. Die Daten-Akquisition und die Speicherverwaltung laufen selbstständig und optimiert ab. Dem Anwender erspart dies viel Arbeit, und außerdem wird eine erstaunlich hohe Abtastgeschwindigkeit von einem Megasample in der Sekunde erreicht. Die Abtastwerte sind 16 bit breit, die Taktfrequenz beträgt 24 MHz!

Gesteuert wird der gesamte Ablauf von den Interrupts, die Timer 2 und Timer 3 gemeinsam generieren. Timer 2 ist für die Frequenz des Messsignals zuständig. Der Interrupt dieses Timers setzt das Flag *DMA0Enable*, so dass

## Listing # 2

```
void TIMER2_ISR(void) interrupt INTERRUPT_TIMER2
{
    char SFRPAGE_SAVE = SFRPAGE;
    SFRPAGE = TMR2_PAGE;
    TF2 = 0; // Immediately reset Interrupt flag
    if (TMR2CF & 0x04) // if state of the output = 1
    {
        ET2 = 0; // Disable Timer2 Interrupt
        SFRPAGE = DMA0_PAGE; // Switch to DMA0 Page
        DMA0EN = 1; // Begin Executing DMA Ops (which will enable ADC0)
    }
    SFRPAGE = SFRPAGE_SAVE;
    // restore SFRPAGE
}

void DMA0_Acquire_Samples (void)
{
    char SFRPAGE_SAVE = SFRPAGE;
    // --- reset TF2 flag just prior enabling Timer2 interrupt
    SFRPAGE = TMR2_PAGE;
    TF2 = 0;
    ET2 = 1; // Enable Timer2 Interrupt
    SFRPAGE = DMA0_PAGE; // Switch to DMA0 Page
    // --- Timer2 interrupt enable DMA-ADC operation
    while (!DMA0INT); // wait for DMA operations are complete
    DMA0EN = 0; // Stop Executing DMA Ops
    DMA0INT = 0; // Clear DMA0INT bit
    SFRPAGE = SFRPAGE_SAVE; // restore SFRPAGE
}
```

### Elektor LCR-Meter und Hameg LCR Bridge 8118

Das Messen von Induktivitäten ist eine Wissenschaft für sich. In den Datenblättern geben die Hersteller für den nominalen Wert meistens einen Strom und eine Frequenz an. Die Differenz zwischen dem nominalen Wert und dem gemessenen Wert stellt nicht unbedingt ein Problem dar, denn beim Schaltungsentwurf müssen grundsätzlich Toleranzen bis  $\pm 20\%$  einkalkuliert werden.

Im Elektor-Labor haben wir das neue LCR-Meter mit unserer LCR-Messbrücke *Programmable LCR Bridge 8118* von Hameg verglichen; der Messstrom ist hier einstellbar. Versuchsweise führten wir eine Messung mit einem hohen Strom durch. Den Strom stellten wir auf den zehnfachen Wert des Stroms ein, der beim Elektor LCR-Meter höchstens fließt. Abhängig vom Material des Wickelkörpers erwarteten wir eine mehr oder weniger deutliche Differenz zwischen den Messwerten beider Geräte. Doch es kam anders: Die

Abweichungen lagen stets mit einigem Abstand innerhalb der Toleranzgrenze  $\pm 20\%$ .

Das nächste Messobjekt war eine Induktivität, für die vom Hersteller die Werte  $100\ \mu\text{H}/5\ \text{A}$  angegeben waren. Bei hohem Strom zeigte die Messbrücke von Hameg den Wert  $108,7\ \mu\text{H}$  an. Wir reduzierten den Strom auf den Wert, der beim Elektor LCR-Meter höchstens fließt, außerdem führten wir eine neue Kalibrierung durch. Jetzt zeigte die Hameg-Messbrücke den Wert  $97,6\ \mu\text{H}$  an. Das gleiche Messobjekt wurde auf dem Elektor LCR-Meter getestet. Das Ergebnis:  $96,8\ \mu\text{H}$ .

*Ton Giesberts, Elektor-Labor*



eine Reihe von N Daten-Akquisitionen startet. In Timer 3 steht der Wert der Timer-2-Frequenz multipliziert mit der Anzahl der Abtastwerte pro Timer-2-Intervall, dividiert durch 2. Der Teilfaktor 2 hat seine Ursache darin, dass Timer 3 zwei Interrupts in jedem Intervall generiert. Sobald eine Daten-Akquisitionsreihe abgeschlossen ist, wird das Flag *DMA0INT* gesetzt. Die Messergebnisse stehen im XRAM, sie müssen nur noch gelesen und verarbeitet werden (Listing 2).

Zu den Themen in der ersten Folge dieses Beitrags gehörte die Kompensation der Offset-Spannungen, die von den Opamps U6 (*input\_offset*) und U1 (*sinus\_offset*) verursacht werden. Diese Offsets kompensiert der 12-bit-DAC, bezeichnet mit U12. Offene Messkabel verhalten sich wie Antennen, die Störsignale empfangen, unter anderem aus dem Stromnetz. Wenn die Messkabel abgezogen sind, besteht diese Gefahr (hoffentlich) nicht mehr. In diesem Fall liegt am 12-bit-DAC nur die Summe der Offsets, die von der Verstärkerkette herrühren. Dies ist der Offset, den die Firmware kompensieren muss.

Die einmalig nach der Inbetriebnahme des LCR-Meters vorzunehmenden Einstellungen sind nur im PC-Modus mit dem Programm AU2011 möglich. Die Vorgehensweise ist in englischer Sprache im User Manual beschrieben [3], die eingehende Lektüre dieses Online-Dokuments wird empfohlen.

### Das PC-Programm AU2011

Das plattformübergreifende PC-Programm AU2011 wurde in C++ geschrieben. Die Bibliotheken Qt und *qserialdevice/AbstractSerial* verhelfen ihm dazu, dass es unter Windows, Linux oder Mac OSX lauffähig ist. Der Quellcode sowie die ausführbaren Programme für die genannten Plattformen sind im Download enthalten, der von der Projektseite [1] aus dem Web heruntergeladen werden kann.

Wenn das Programm nach einer Anpassung neu kompiliert werden muss, ist der *Qt Creator* die empfohlene IDE. Mit vorangestellten Compiler-Anweisungen (*#ifdef*) kann bereits im Quellcode die Zielplattform festgelegt werden. Das Aussehen der Benutzeroberfläche variiert, unter anderem deshalb, weil die Schriftarten bei Windows, Linux und Mac OSX unterschiedlich sind. Für die drei Zielplattformen sind eigene Dateien *AU2011\_mainwindow.ui* vorhanden.

Der Kern der Benutzeroberfläche verwendet die englische Sprache, er wurde so geschrieben, dass dem Übersetzen in andere Sprachen keine Hindernisse entgegenstehen. Was bereits existiert, ist eine französische Version, zu ihr gehören die Dateien *AU2011\_fr.qm* und *qt\_fr.qm*. Die zuletzt genannte Datei ist die Übersetzung für Qt, sie muss sich zusammen mit allen übrigen sprachabhängigen Dateien im Ordner *QtSDK/Desktop/Qt/4.8.0/gcc/translations* befinden.

Für das Umstellen auf eine landesspezifische Sprache sind folgende Schritte nötig: In der Datei



*AU2011\_Projet.pro* muss die Zeile `TRANSLATIONS += AU2011_fr.ts` angepasst werden. Der Name der Übersetzung ist *AU2011\_fr.ts*, anstelle von „fr“ für Französisch kann beispielsweise „de“ für Deutsch stehen. Nach dem Compilieren ist eine neue .ts-Datei mit diesem Namen vorhanden. Alternativ ist das Umbenennen einer Kopie von *AU2011\_fr.ts* in *AU2011\_de.ts* möglich.

Natürlich muss außerdem der Text in die Zielsprache übertragen werden. Dazu empfehlen wir das Programm *Linguist*, dort sind alle Texte, Anmerkungen, Beschreibungen und Tooltips in die Landessprache zu übersetzen. Nachdem das geschehen ist, wird die Übersetzungsdatei mit dem Kommando *lrelease* generiert. Nähere Informationen sind in der Dokumentation von *Qt Linguist* [2] zu finden. Nebenbei bemerkt: Die Elektor-Redaktion erhielt für zurückliegende, ähnlich strukturierte Projekte regelmäßig Übersetzungsdateien, die von Lesern erstellt wurden. Auch das ist ein starker Pluspunkt einer internationalen Community!

Das LCR-Meter tauscht mit dem PC-Programm *AU2011* Informationen über die USB-Verbindung aus, wobei der FTDI-Treiber einen COM-Port mit den Parametern 111.200 Baud, 8 bit, keine Parität, 1 Stoppbit und keine Flusskontrolle emuliert. Kommandos, Reaktionen sowie andere Informationen werden in Form definierter Zeichenketten ausgetauscht. Die Zeichenketten sind in der Header-Datei *AU2011\_mainwindow.h* (siehe [1]) definiert.

Nachdem der COM-Port initialisiert ist und der Bootloader ein Synchronisationszeichen gesendet hat, wartet das Programm auf die erste Zeichenkette des Messmoduls. Diese Zeichenkette gibt Auskunft über die Version der Firmware, sie wird in die Titelleiste des Hauptfensters eingeblendet. Die nächste Zeichenkette enthält die Parameter für die Initialisierung:

Netzfrequenz 50 Hz oder 60 Hz (**L5** oder **L6**)  
Frequenz des Messsignals (**F1** oder **F2** oder **F3**)  
für 100/120 Hz, 1 kHz oder 10 kHz  
*Trim Short* EIN oder AUS (**S1** oder **S0**)  
*Trim Open* EIN oder AUS (**O1** oder **O0**)  
Mittelwertbildung (**A1 ... A9**)

Anschließend mündet die Firmware in die Hauptschleife ein, der Mikrocontroller wartet nun auf einen Interrupt des UART. Wird das Kommando „Messung ausführen“ empfangen, folgt nach der Messung die Antwort. Das gesendete Messergebnis in Form einer langen Zeichenkette hat folgendes Format:

**Rs Xs Freq ranges Vpp Ipp ADC\_Vpp  
ADC\_Ipp**

Das letzte Zeichen ist ein „C“ oder „Z“, abhängig davon, ob sich das Messobjekt (DUT) kapazitiv oder nicht-kapazitiv verhalten hat.

Die in der Zeichenkette enthaltenen Messwerte werden von der Interruptroutine **slotRead()** gelesen und der Funktion **ParseInputString()** übergeben. Die Routine separiert die einzelnen Messwerte und gibt sie an den Display-Handler **Display\_xxx()** weiter, er setzt die Messwerte auf das Display. Die beschriebenen Operationen werden von mehreren Hilfsfunktionen unterstützt. Zu den wichtigsten Hilfsfunktionen gehört **Convert\_Value\_to\_String()**, diese Funktion konvertiert die Messwerte in die technische Notation. Intern haben die Zahlenwerte Fließkommaformat, zum Beispiel für einen Kondensator  $1,205 * 10^{-8}$  Farad. Angezeigt werden die Messwerte mit SI-Suffixen, also in diesem Fall 12,05 nF.

## Endspurt in Sicht!

In der nächsten Folge werden wir zum Abschluss die beiden Platinen präsentieren, die für das LCR-Meter entwickelt wurden. Wir haben uns entschlossen, die Platinen aufgebaut und getestet in das Programm des Elektor-Shops aufzunehmen. Für weniger als 200 € erhalten Sie gebrauchsfertig die Technik für ein LCR-Meter höchster Präzision, das zukünftig, so hoffen wir, ein Schmuckstück Ihres Arbeitsplatzes sein wird.

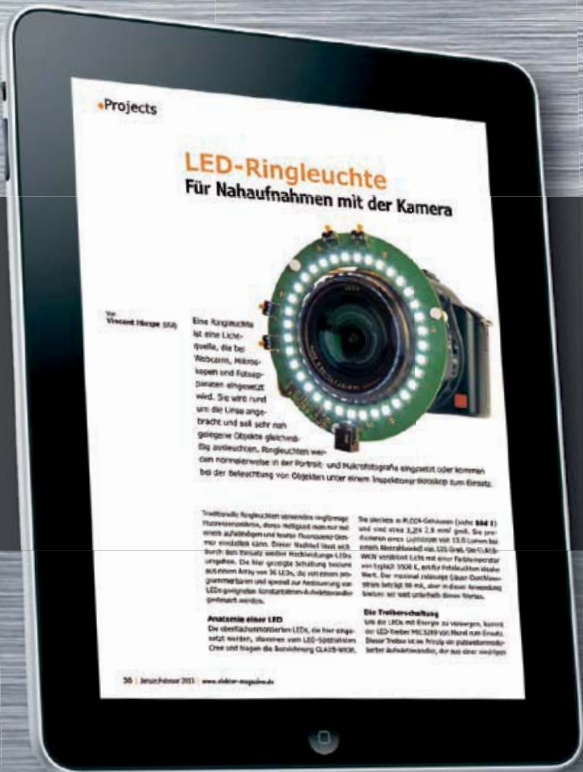
Schon überzeugt? Oder noch nicht ganz? Wie dem auch sei, bitte schauen Sie sich die begleitenden Online-Dokumente [3] auf unserer Projektseite an. Zusammen geben der hier veröffentlichte mehrteilige Beitrag und die Online-Dokumente nicht nur einen umfassenden Überblick, sondern auch ein vollständiges Bild der Details.

(130022)gd

## Weblinks und Online-Dokumente

- [1] Software-Download (Bootloader, Firmware und PC-Software):  
[www.elektor-magazine.de/110758](http://www.elektor-magazine.de/110758)
- [2] Qt Linguist  
<http://goo.gl/fIYQh> oder <http://qt-project.org/doc/qt-4.8/linguist-translators.html>
- [3] Online-Dokumente:  
LCR-Meter | Getting Started  
LCR-Meter | User Manual  
[www.elektor-magazine.de/110758](http://www.elektor-magazine.de/110758)

# Lesen Sie die neue Elektor ein Jahr lang in der ultimativen GOLD-Mitgliedschaft und profitieren Sie von allen Premium-Vorteilen!



## Die Elektor-GOLD-Jahresmitgliedschaft bietet Ihnen folgende Leistungen/Vorteile:

- Sie erhalten **10 Elektor-Hefte** (8 Einzelhefte + 2 Doppelausgaben Januar/Februar und Juli/August) pünktlich und zuverlässig frei Haus.
- **Extra:** Jedes Heft steht Ihnen außerdem als PDF zum sofortigen Download unter [www.elektor-magazine.de](http://www.elektor-magazine.de) (für PC/Notebook) oder via App (für Tablet) bereit.
- **Neu & Exklusiv:** Sie erhalten alle 2 Wochen per E-Mail ein neues Extra-Schaltungsprojekt (frisch aus dem Elektor-Labor).
- **Neu & Exklusiv:** Wir gewähren Ihnen bei jeder Online-Bestellung 10% Rabatt auf alle unsere Webshop-Produkte – dauerhaft!
- **Neu & Exklusiv:** Der Online-Zugang zum neuen Community-Bereich [www.elektor-labs.com](http://www.elektor-labs.com) bietet Ihnen zusätzliche Bauprojekte und Schaltungsideen.
- **Extra:** Die neue Elektor-Jahrgangs-DVD (Wert: 27,50 €) ist bereits im Mitgliedsbeitrag inbegriffen. Diese DVD schicken wir Ihnen sofort nach Erscheinen automatisch zu.
- **Extra:** Top-Wunschprämie (im Wert von 30 €) gibts als Dankeschön GRATIS obendrauf!

## UMWELTSCHONEND – GÜNSTIG – GREEN

Möchten Sie Elektor lieber im elektronischen Format beziehen? Dann ist die neue GREEN-Mitgliedschaft ideal für Sie! Die GREEN-Mitgliedschaft bietet (abgesehen von den 10 Printausgaben) alle Leistungen und Vorteile der GOLD-Mitgliedschaft.



Jetzt Mitglied werden unter [www.elektor.de/mitglied](http://www.elektor.de/mitglied)!



# Wichtige Eilmeldungen!

Von **Clemens Valens**  
(Elektor.Labs)

Unsere neue Projekt-Website Elektor.Labs gewinnt an Dynamik - und darüber sind wir sehr froh. Es ist zwar nicht leicht, bei uns selbst und unseren Lesern alte Gewohnheiten zu ändern, aber wir geben uns viel Mühe. Das Ziel ist es, den Elektronik-Fans noch mehr interessante Projekte bieten zu können – und auch die Tür zu unserem Labor zu öffnen.



## FAQs: Häufig gestellte Fragen und Antworten

**F** Wenn ich ein Projekt auf die Elektor.Labs-Website stelle, veröffentlichen Sie es in der Zeitschrift, ohne mir Bescheid zu sagen?

**A** Nein, das werden wir nicht. Wenn wir glauben, dass ein Projekt interessant genug ist, um in der Zeitschrift veröffentlicht zu werden, nehmen wir Kontakt mit Ihnen auf. Sie sind der/die AutorIn und wir veröffentlichen Ihre Arbeit nicht ohne Vertrag. Deswegen ist es wichtig, dass Sie unter der Mailadresse, die Sie bei der Registrierung angegeben haben, gelegentlich Ihre Mails checken. Wenn wir Sie nicht erreichen können, können wir Ihre Arbeit nicht veröffentlichen.

**F** Zu meiner (angenehmen) Überraschung fand ich ein Foto meines Projekts in der letzten Ausgabe. Das war schön, aber wie kommt's?

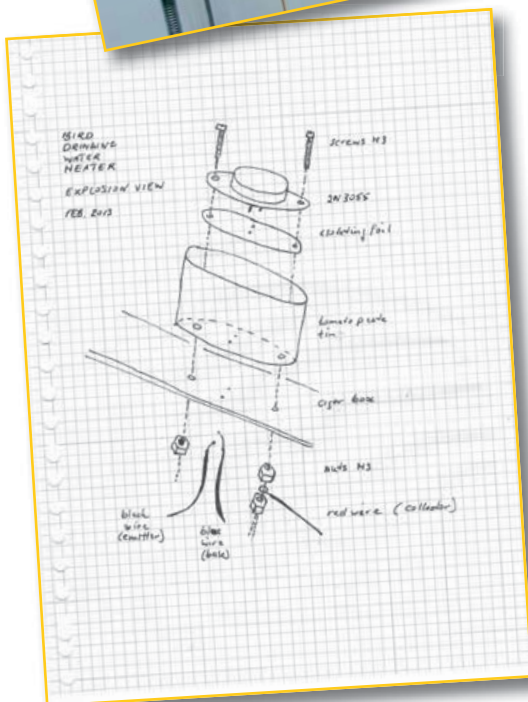
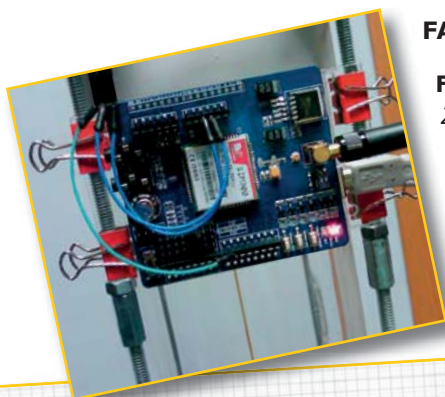
**A** Wir möchten uns das Recht vorbehalten, mit Teilen des auf der Elektor.Labs-Website veröffentlichten Materials hin und wieder ein wenig PR zu machen. Sie wollen ja, dass Ihr Projekt erfolgreich ist, nicht wahr? Das wollen wir auch, also trommeln wir etwas. Jede Woche heben wir ein Projekt im Newsletter Elektor.Post hervor und jeden Monat werden ein paar Projekte für eine kurze Präsentation in der Zeitschrift ausgewählt.

**F** Mir ist aufgefallen, dass manche Projekte eine 6-stellige Nummer im Titel haben. Was bedeutet das?

**A** Sie meinen wahrscheinlich die Artikelnummer. Wenn einem Projekt eine Artikelnummer zugeordnet wird, ist es für die Veröffentlichung in Elektor oder Elektor.Post gekennzeichnet. Das bedeutet nicht, dass es veröffentlicht wird, aber die Wahrscheinlichkeit ist dann doch recht groß. Normalerweise sind die Autoren der Projekte mit einer solchen Nummer bereits von einem Elektor-Redakteur kontaktiert worden. Es hat aber keinen Sinn, dass Sie selbst eine solche Nummer hinzufügen, da sie nicht in unserer internen Datenbank existiert.

**F** Wie kann ich die Beliebtheit meines Projektes vergrößern?

**A** Seien Sie klar und informativ. Verwenden Sie einen selbsterklärenden Titel, laden



Sie ein Foto hoher Qualität Ihres Projektes hoch. Schreiben Sie auf Englisch. Es ist zwar jede Sprache erlaubt und der Google-Übersetzer ist inzwischen ziemlich beeindruckend, aber Projekte in englischer Sprache sind einfach die beliebtesten. Veröffentlichen Sie Schaltpläne und/oder Quellcodes. Wie Sie selbst mögen es alle Elektroniker, einen Blick auf Schaltpläne zu werfen. Aktualisieren Sie ihr Projekt zudem regelmäßig. Jedes Mal, wenn Sie Ihr Projekt aktualisieren – aber auch, wenn jemand einen Kommentar oder einen Beitrag hinzufügt oder verändert – wird Ihr Projekt zurück an den Anfang der Liste verschoben und auf der Startseite sichtbar.

**F** Was genau ist der Unterschied zwischen einem Beitrag (Contribution) und einem Kommentar (Comment)?

**A** Ein Beitrag ist ein Diskussionsgegenstand, der etwas zum Projekt beitragen, ein Problem behandeln oder etwas klären soll. Ein Kommentar ist eine Fortsetzung einer Diskussion und kann als solche nur einem Beitrag hinzugefügt werden. So wird eine matrixartige Struktur angelegt, in der vertikal gelistete Themen sich horizontal entfalten können. Auf diese Weise wird verwandte Information gruppiert, statt sich über eine lange Liste von Kommentaren auszubreiten.

**F** In automatischen E-Mails wird mir mitgeteilt, dass mein Projekt aktualisiert wurde, doch ich habe nichts getan?

**A** Das ist richtig. Jedes Mal wenn ein Projekt aktualisiert wird oder wenn ein Beitrag oder Kommentar hinzugefügt wird, erhalten der Manager (Admin) des Projekts und die Projektmitglieder alle automatisch eine E-Mail. Es kommt oft vor, dass ein Elektor-Redakteur ein Projekt aktualisiert, zum Beispiel um einen Tippfehler zu korrigieren oder um es an die Spitze der Liste zu verschieben. In diesem Fall erzeugt das System auch automatische E-Mails.

**F** Ich möchte nicht mehr Manager meines Projektes sein. Wie kann ich aussteigen?

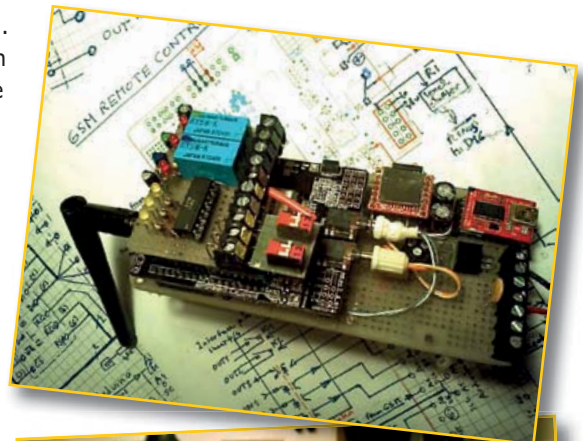
**A** Nur der Elektor.Labs-Administrator kann Sie als Projektmanager abmelden. Sie können ihn per E-Mail an [labs@elektor.com](mailto:labs@elektor.com) kontaktieren.

**F** Am Wochenende habe ich ein sagenhaftes Projekt realisiert, das ich gerne teilen würde, ich bin allerdings kein Elektor-Mitglied und habe keinen Zugang zu Elektor.Labs. Bedeutet das, dass ich nicht in Elektor veröffentlichen kann?

**A** Jeder mit einem guten Projekt kann in Elektor veröffentlichen, in der Zeitschrift und/oder auf der Website. Auf der Elektor.Labs-Homepage finden Sie ein spezielles Antragsformular für Nichtmitglieder. Klicken Sie einfach auf *Not-a-member?*, senden Sie das Formular und wir bewerten Ihren Vorschlag. Wenn wir denken, dass er gut ist, wird Ihnen ein (zeitlich begrenzter) Zugang zu Elektor.Labs gewährt, um Ihr Projekt zu managen. Und wenn Sie richtig gut sind, können Sie sogar eine Gold-Mitgliedschaft gewinnen und erhalten Elektor kostenlos!

**F** Ich habe eine Frage, die hier nicht beantwortet wird. Wie kann ich Sie kontaktieren?

**A** Schicken Sie eine E-Mail an [labs@elektor.com](mailto:labs@elektor.com).



(130089)



# Quarz-Killer

Von  
**Thijs Beckers**  
(Elektor .LABS)

Die Bestückung von Bauteilen kann mitunter sehr schwierig sein, auch wenn es sich nicht um SMDs handelt. So kann die Montage eines gewöhnlichen Quarzes auf einer professionell hergestellten Platine zu erheblichen Kopfschmerzen führen. „Was kann man denn da schon falsch machen?“, mögen Sie denken. Werfen Sie einen Blick auf das Foto des Nixie-Thermo-/Hygrometers (Elektor Juni 2012 [1]). Der Quarz wurde abgelötet, um das Problem sichtbar zu machen: Die Löt pads für die Quarzanschlüsse ragen über den Fußabdruck des (metallischen)

Quarzgehäuses hinaus, und wenn der Quarz zu nahe an der Platinenoberfläche eingelötet ist, könnte sein Gehäuse die Pads kurzschließen, so dass der Kristall nicht oszillieren kann.

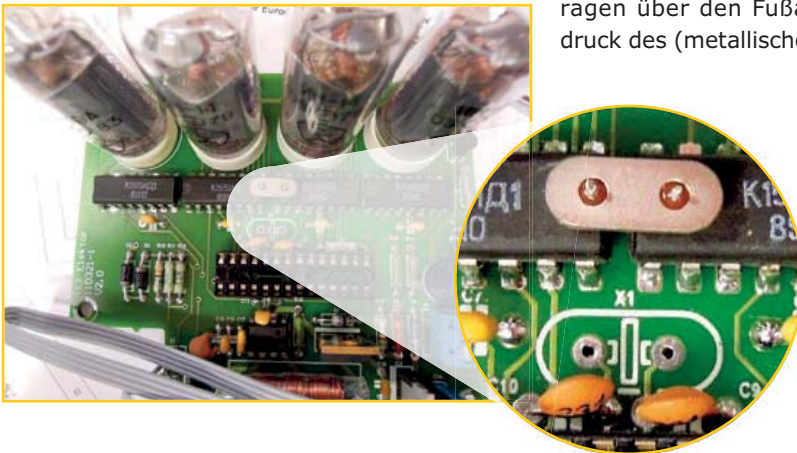
Die Lösung des Problems ist genau so einfach wie genial: Legen Sie einfach eine isolierende Unterlage zwischen Quarz und Platine oder – noch einfacher – lassen Sie ein wenig Abstand zwischen Quarzgehäuse und Platine – ein Millimeter sollte ausreichen.

Seien Sie also gewarnt! Wenn Ihre Schaltung mal nicht funktioniert und der Quarz keinen Mucks und erst recht kein Taktsignal von sich gibt, müssen Sie nicht unbedingt von einem defekten Quarz ausgehen. Überprüfen Sie zunächst, ob ein Kurzschluss vorliegt und – wenn ein Mikrocontroller involviert ist, ob die Fuse- und Konfigurations-Bits korrekt gesetzt sind.

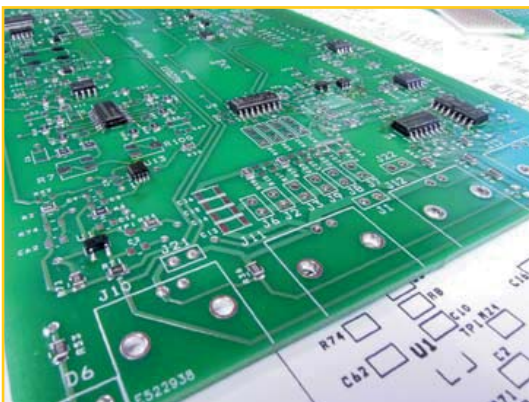
In diesem speziellen Fall war der Übeltäter ein fehlerhafter Resonanzkondensator. Sehr ungewöhnlich! Aber: Shit happens...

(120750)

[1] [www.elektor-magazine.de/110321](http://www.elektor-magazine.de/110321)



# Was gibt's Neues?



Wie Sie wahrscheinlich bemerkt haben, geht es in dieser Ausgabe um ein LCR-Messgerät. Wir beschreiben die Display-Erweiterung für eine Stand-alone-Nutzung, die Leistungsfähigkeit des Gerätes und die Software dieses umfassenden Projektes. Danach ist die Hardware an der Reihe, also achten Sie auch auf unsere

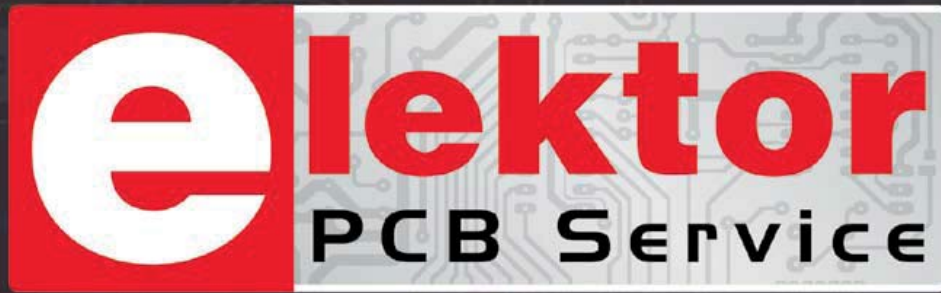
nächste Ausgabe! In der Zwischenzeit hat sich Jan Visser im Elektor-Labor mit der Montage des neuesten Platinen-Prototypen (siehe Foto) für einen letzten Test beschäftigt.

Wie Sie in diesem Bild sehen können, müssen

eine Menge Bauteile gelötet werden und die meisten sind SMDs. Jan bestückt die Platinen in unserem gut ausgestatteten Labor, aber nicht jeder an diesem LCR-Projekt Interessierte hat die Werkzeuge und Fähigkeiten, um die SMD-Montage erfolgreich abzuschließen. Deswegen bieten wir in Zusammenarbeit mit Eurocircuits dieses Projekt als Fertigmodul an.

Der Autor und das Elektor-Labor haben sich große Mühe mit diesem außergewöhnlichen Instrument gegeben, das man ohne rot zu werden als professionell einstufen kann. Es schlug sich recht wacker, als wir es mit einer *Hameg HM8118 Programmable LCR-Bridge* verglichen. Sie können also sicher sein, dass dieses Gerät eine hervorragende Ergänzung Ihres Labor-Messgeräteparks sein wird!

(130092)



powered by Eurocircuits

## Platinen – Prototypen – Multilayer – Kleinserien

- Höchste Präzision und Industrie-Qualität zum günstigen Preis
- Kein Mindestbestellwert
- Keine Film- oder Einrichtungskosten
- Keine versteckten Kosten
- Online-Preisrechner
- Versand bereits ab 2 Werktagen möglich
- Fünf individuelle, leistungsstarke Service-Optionen stehen zur Auswahl

### ➔ PCB proto

Ideal für Privatteile, die schnell und günstig maximal 2 Leiterplatten nach vordefinierten Spezifikationen benötigen.

### ➔ STANDARD pool

Diese Option ist für Firmen konzipiert, die ihre Kleinserie nach den am häufigsten verwendeten Spezifikationen produzieren lassen wollen.

### ➔ TECH pool

Wenn Ihre Entwicklung sehr anspruchsvolle Spezifikationen erfordert, ist 100-µm-Technologie die beste Wahl.

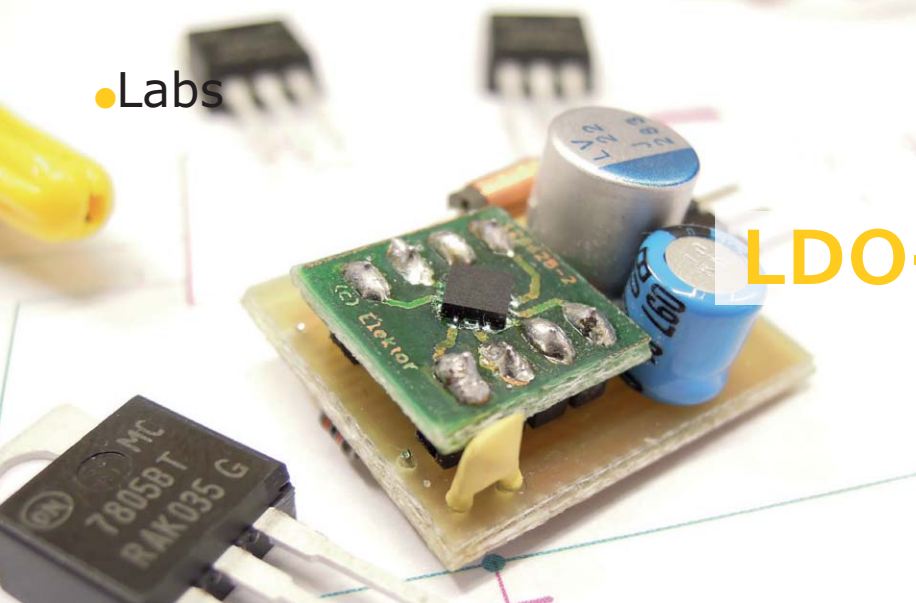
### ➔ IMS pool

Bei dieser Option werden Aluminiumkern-Leiterplatten verwendet, um eine hohe Wärmeabfuhr zu gewährleisten.

### ➔ On demand

Wählen Sie selbst aus, nach welchen Spezifikationen und mit welchen Materialien Ihre Platinen angefertigt werden sollen!

**Wählen Sie den für Ihre Ansprüche passenden Service und bestellen Sie jetzt Ihre Platinen unter [www.elektorpcbservice.de](http://www.elektorpcbservice.de)!**



# LDO-Ersatz in THT

**Von Thijs Beckers**  
(Elektor-Labor)

Einer unserer Praktikanten, Philip Jaschewski, fühlte sich vom LDO-Ersatz (Elektor November 2012, [1]) inspiriert, um eine eigene Version dieser Schaltung zu entwickeln.

Ausgehend von der Idee der Kostensenkung (als Student natürlich ein gewichtiger Gesichtspunkt) gestaltete er die Platine auf „single layer“ um, um sie selber ätzen zu können. Auch wandte er sich der Durchsteckmontage (through hole technology THT) zu, da solche Komponenten leichter beschaffbar sind. Außerdem sollte alles kompakt und pinkompatibel zur TO220-Version der allgegenwärtigen 78xx Familie sein.

Allerdings machte Philip zwei Ausnahmen von der „THT-Regel“, was zur Gestaltung der Adapterplatine auch notwendig war. Um das Design so kompakt wie möglich zu halten, wählte er als Regler-IC den Step-down-Wandler TPS62150 3-17 V 1 A 3 MHz von Texas Instruments - technisch der ursprünglichen Schaltung gleich, aber in einem 16QFN-Gehäuse mit einem Rastermaß von 0,5 mm. Auch der Kondensator im Ausgangsfilter mit niedrigem ESR musste ein SMD sein. Schaltung und Platinenlayout von Philips Konzept zeigen, dass er neben der sorgfältigen Gestal-

tung der Adapterplatine korrekterweise besonderen Wert auf kurze Rückkopplungs- und  $C_{out}$ -Schleifen gelegt hatte.

Eine kurze Kostenanalyse zeigte, dass Philip auf dem richtigen Weg war, alles zusammen kostete weniger als 5 €. Doch dann kam der wichtigste Teil, die praktische Erprobung. Und da lag der Hase im Pfeffer: Die Schaltung konnte nicht einmal in die Nähe der gewünschten 5 V kommen. Mit ein wenig Hilfe von Raymond, dem Designer unseres LDO-Ersatzes, konnte das Platinenlayout zwar verbessert werden, sodass die Schaltung in der Lage war, 5 V zu liefern, aber das nur bei einem mickrigen Strom von etwa 80 mA.

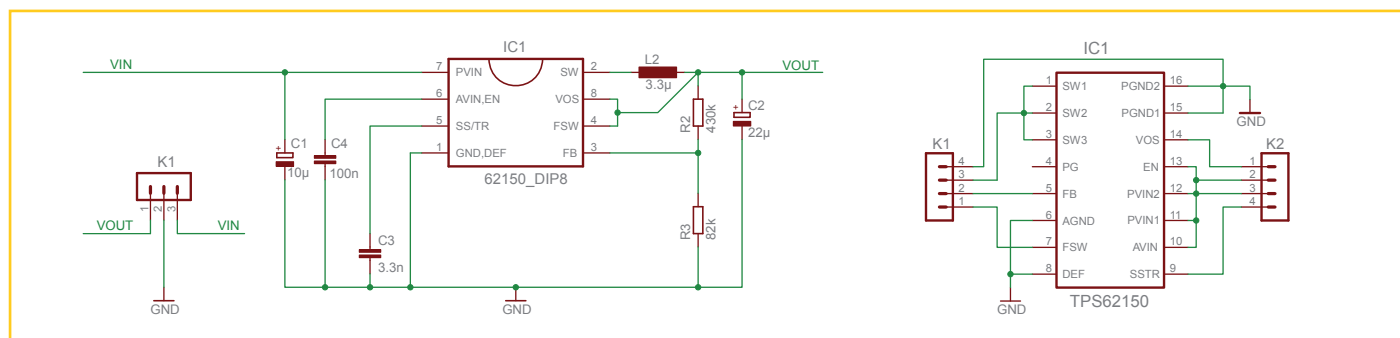
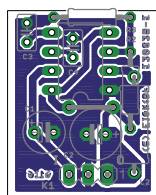
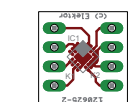
Neben dieser enttäuschenden Leistung waren Regelung und Welligkeit der Ausgangsspannung alles andere als brilliant. Leider sind Bilder der Ausgangsspannung nicht verfügbar, aber glauben Sie, das Experiment, den LDO auf THT umzustellen, ist gründlich misslungen. Zum Glück für Philip wirkt sich dies nicht nachteilig auf sein Praktikum aus. Es ist ja auch sehr lehrreich, wenn man solche Probleme angeht. Wer gerne Philips Idee weiter verfolgen möchte, findet die Design-Dateien (in Cadsoft Eagle v6) auf unserer Website [2]. Und wenn Sie etwas zu diesem Projekt anmerken möchten, besuchen Sie einfach unsere .Labs-Website [3].

(120625)

[1] [www.elektor-magazine.de/120212](http://www.elektor-magazine.de/120212)

[2] [www.elektor-magazine.de/120625](http://www.elektor-magazine.de/120625)

[3] [www.elektor-labs.com/120625](http://www.elektor-labs.com/120625)





## ECD 7 Bauteilbibliothek mit über 75.000 Komponenten



Diese CD-ROM bietet Ihnen acht Datenbanken für ICs, Germanium- und Silizium-Transistoren, FETs, Thyristoren, Triacs, Dioden und Optokoppler. Weitere elf Anwendungen zur Berechnung von Vorwiderständen bei LEDs, Spannungsteiler, Ohmsches Gesetz sowie Farbcodeschlüssel für Widerstände und Induktivitäten etc. runden das Programmpaket ab.

Jede Datenbank zeigt für (fast) jedes Bauelement eine Gehäuseskizze, die Anschlussbelegung, die technischen Daten (soweit bekannt) und verfügt über eine Suchroutine nach Bauteil-Parameter.

Alle genannten Datenbank-Anwendungen sind interaktiv, d. h. Sie können Bauteile hinzufügen, ändern oder ergänzen.

ISBN 978-90-5381-298-3 · € 29,50 · CHF 36,60



Weitere Infos &  
Bestellung unter  
[www.elektor.de/ecd7](http://www.elektor.de/ecd7)



## FRONTPLATTEN & GEHÄUSE

Kostengünstige Einzelstücke  
und Kleinserien

Individuelle Frontplatten können mit dem Frontplatten Designer mühelos gestaltet werden.

Der Frontplatten Designer wird kostenlos im Internet oder auf CD zur Verfügung gestellt.

- Automatische Preisberechnung
- Lieferung innerhalb von 5–8 Tagen
- 24-Stunden-Service bei Bedarf



Preisbeispiel: 34,90 €  
zzgl. Ust./Versand

Schaeffer AG · Nahmitzer Damm 32 · D-12277 Berlin · Tel +49 (0)30 8058695-0  
Fax +49 (0)30 8058695-33 · Web [info@schaeffer-ag.de](http://info@schaeffer-ag.de) · [www.schaeffer-ag.de](http://www.schaeffer-ag.de)

## Workshop-DVD **Android** Programmierung und Hardware-Steuerung

Konnten Sie aus zeitlichen Gründen nicht an unserem ElektorLive-Seminartag am 20.10.2012 in Dortmund teilnehmen und haben somit auch die beiden populären Android-Seminare verpasst!? Kein Problem! Mit dieser neuen DVD-Video sind Sie jetzt trotzdem live dabei!

Entwickler und Buchautor Stefan Schwark stellt in seinem Seminar die Grundlagen der Programmierung eigener Android-Applikationen dar. Anhand von kurzen Programmen erklärt er den Umgang mit der Entwicklungsumgebung „Eclipse“ und dem Android SDK. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf Android-Apps, die einfache Funktionen ausführen und so auch für den Anfänger nachvollziehbar sind. Das Spektrum reicht von einfachen Rechenprogrammen über Applikationen zur Abfrage der Hardware des Android-Gerätes bis zu Programmen für die Kommunikation über das Internet.

Im zweiten Seminar zeigt Bernhard Wörndl-Aichriedler (Entwickler des „AndroPod“-Moduls) in einem Crash-Kurs, wie Sie Ihr Android-Gerät als Schaltzentrale in eigenen Projekten benutzen können.



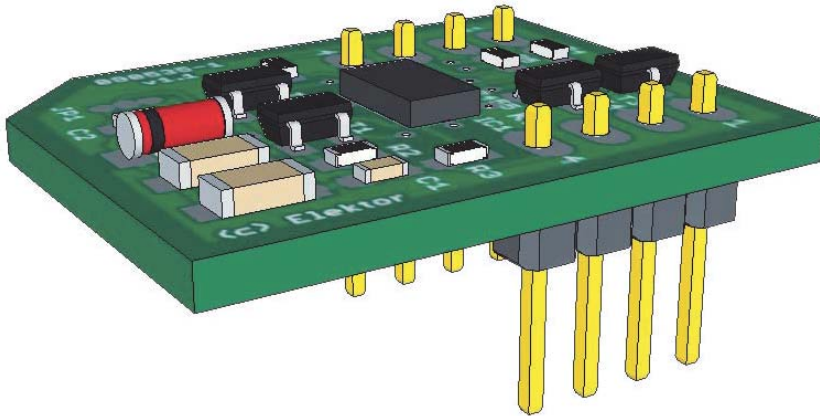
ISBN 978-3-89576-272-7  
€ 24,90 • CHF 30,90



Weitere Infos & Bestellung unter  
[www.elektor.de/android-dvd](http://www.elektor.de/android-dvd)



# Beschleunigungs-Sensor geDIPT

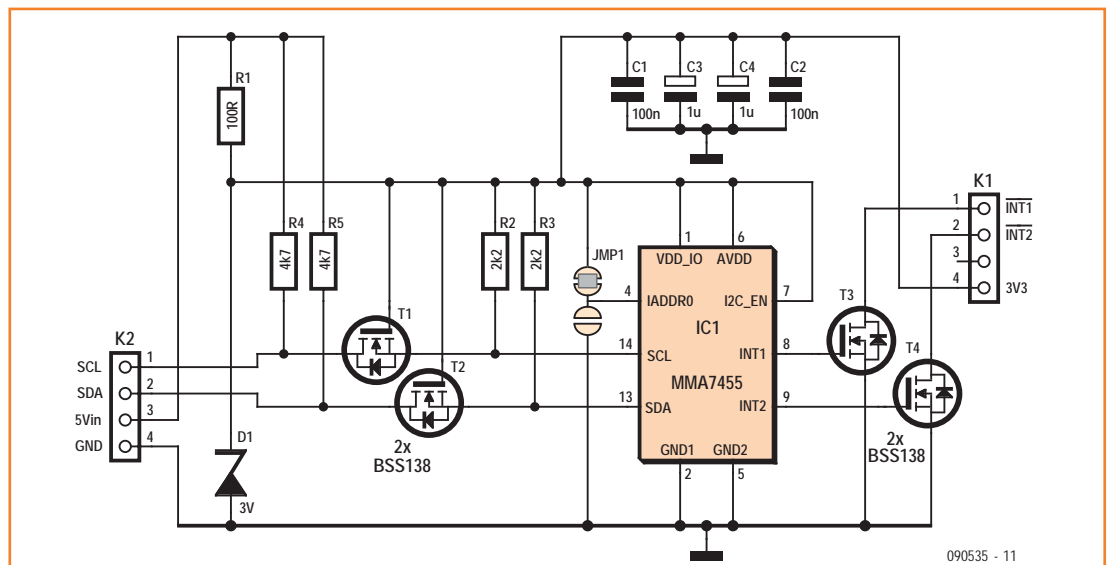


Von  
**Hannes Nordmann**  
(D)

Mittlerweile gibt es auf dem Markt eine unglaubliche Menge an Chips für die verschiedensten Anwendungen, die zum Experimentieren einladen. Allerdings fangen bei manchen von ihnen die Probleme schon beim Lötten an. Bei ICs, deren Kontaktflächen auf der Unterseite des Gehäuses sitzen (LGA-Gehäuse), stößt man ohne professionelles Equipment schnell an seine Grenzen. Das hier vorgestellte Projekt löst dieses Problem für den Beschleunigungssensor MMA7455/7456 von Freescale. Der in einem LGA-Gehäuse sitzende Chip kann mittels eines kleinen Adapter-Platinchens auf normalen Lochrasterplatinen

genutzt und über den I<sup>2</sup>C-Bus ausgelesen werden. Außerdem sorgt der Adapter dafür, dass der mit 3,3 V Versorgungsspannung arbeitende Chip mit den eher üblichen 5-V-Systemen kompatibel ist. Hierfür sind eine 3,3-V-Spannungsversorgung und entsprechende Pegelwandler für den I<sup>2</sup>C-Bus direkt auf der Platine integriert (Anmerkung: Bei geringer Belastung stellt eine Zenerdiode eine etwas höhere Spannung ein, als es ihrem Nominalwert entspricht).

Die Stiftleisten K1 und K2 bilden die Schnittstelle, über die der Chip von der Lochrasterplatine aus angesteuert werden kann. Die 5 V Versorgungsspannung für die Platine werden an Pin 3 der Leiste K2 angeschlossen. Die Zener-Diode D1 sorgt zusammen mit R1 für die 3,3-V-Versorgungsspannung des Chips IC1. C1, C2, C3 und C4 dienen zur Entkopplung. An Pin 4 von K1 lässt sich die Spannung auch zur weiteren Verwendung außerhalb des Adapters abgreifen. Damit die I<sup>2</sup>C-Pins (SCL und SDA) 5-V-kompatibel sind, wandeln die Feldeffekttransistoren die Pegel der Signale SCL und SDA zwischen 3,3 V und 5 V um. Die I<sup>2</sup>C-Signale stehen dann an den entsprechenden Pins der Leiste K2 zur Verfügung. Pin 7 von IC1 (I<sup>2</sup>C\_EN) ist auf 3,3 V gelegt, der Chip wird damit in den I<sup>2</sup>C-Modus versetzt. Die Interrupt-Ausgänge (Pin 8 und 9) steuern jeweils



090535 - 11

das Gate eines der Feldeffekttransistoren T3 und T4 an. Dadurch erscheint das jeweilige Interrupt-Signal an der Stiftleiste K1 zwar invertiert, die Ausgänge sind jedoch flexibler zu nutzen (zum Beispiel sowohl mit 3,3-V- als auch mit 5-V-Mikrocontrollern). Der Jumper JMP1 (durch Löt pads verwirklicht) entscheidet über das erste Bit der I2C-Adresse [1] des Bausteins, was hilfreich sein kann, wenn man mehrere I2C-Chips einsetzt. Die Pinabstände der Stiftleisten K1 und K2 sind so ausgeführt, dass sie den Abständen auf einer Lochrasterplatine entsprechen. Der Abstand zwischen K1 und K2 beträgt circa 15 mm, was einem Standard-Reihenabstand von DIP-Sockeln entspricht.

Bei Elektor ist die Adapter-Platine fertig bestückt erhältlich. Das abgebildete 3D-Modell (für Googles SketchUp mit dem Tool EagleUp [2] erstellt) kann man genauso wie das Platinen-Layout von der Elektor-Website [3] downloaden.

(090535)

## Stückliste

### Widerstände (0603):

R1 = 100  $\Omega$   
R2,R3 = 2k2  
R4,R5 = 4k7

### Kondensatoren:

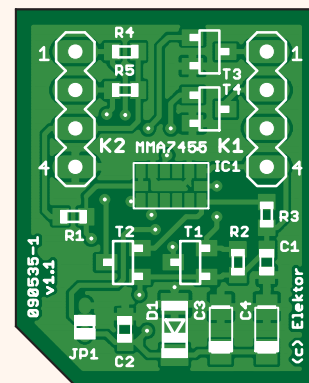
C1,C2 = 100 n (16 V, 0603)  
C3,C4 = 1  $\mu$  (16 V Tantal Elko, SMC-A)

### Halbleiter:

IC1 = MMA7455LR1 (LGA 14)  
T1..T4 = BSS138 (SOT-23)  
D1 = BZV55-C3V0, 115 (SOC-80C)

### Außerdem:

K1,K2 = 4x1-Stiftleiste



200%

[1] [www.freescale.com/files/sensors/doc/data\\_sheet/MMA7455L.pdf](http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA7455L.pdf)

[2] <http://eagleup.wordpress.com>

[3] [www.elektor-magazine.de/090535](http://www.elektor-magazine.de/090535)

Anzeige

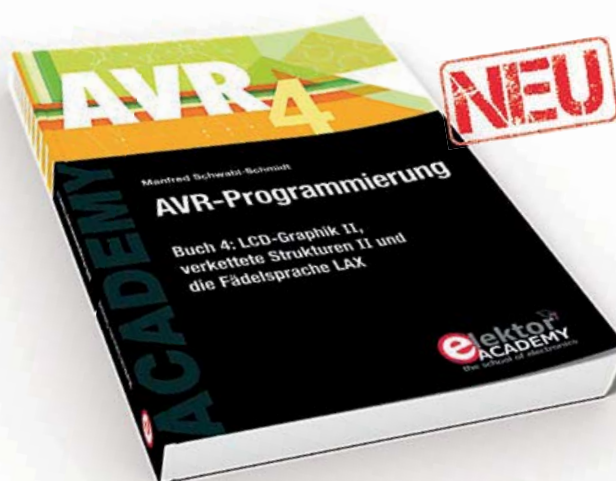
# AVR-Programmierung 4

## LCD-Graphik II, verkettete Strukturen II und die Fädelsprache LAX

In diesem vierten Band zur Programmierung von AVR-Mikrocontrollern wird die LCD-Graphik aus Buch 3 weiterentwickelt. Hinzu kommen das Füllen von Polygonen, die Zuordnung von Pixelkoordinaten zu Graphikobjekten und die Verwendung des Displays als Textfenster. Der Einstieg in die Animationstechniken reicht von einem einfachen blinkenden Cursor über die Simulation einer rollenden Billardkugel und Truchet-Kacheln bis zu einer animierten Sanduhr.

Aufbauend auf der Darstellung der inneren Mechanik von Fädelsprachen im vorigen Band wird die Fädelsprache LAX vorgestellt und implementiert. Aufbau, Verhaltensweise und Konstruktion der Sprach-elemente sind so genau beschrieben, dass eigene Ideen zur Sprachgestaltung erfolgreich umgesetzt werden können.

Der dritte Teil des Buches setzt die Einführung in die Welt der verketteten Listen fort. Hier werden die Betriebsalgorithmen einiger Listenvariationen diskutiert und implementiert. Höhepunkt ist jedoch die Anwendung der vorgestellten Techniken in einem ausführlichen Beispiel, das die Umsetzung einer Variation der Netzplantechnik in AVR-Code behandelt.



321 Seiten (kart.) • Format 17 x 23,5 cm

ISBN 978-3-89576-232-1

€ 46,00 • CHF 57,10



Weitere Infos & Bestellung unter  
[www.elektor.de/avr-prog4](http://www.elektor.de/avr-prog4)

# Arduino auf Kurs (5)

## Keksdieb gefasst!

Von **David Cuartielles**  
(Spanien) und  
**Bobbie Cuartielles**  
(Schweden)

Irgendjemand stibitzte Kekse aus einer Dose in der Küche! Was tun? Wir beschlossen, dem Dieb eine Falle zu stellen. Selbstverständlich wollten wir dabei niemanden verletzen. Wir wollten lediglich den empörenden Kriminalfall aufklären...



- USB-Kabel
- Steckbrett
- Ein 1-M $\Omega$ -Widerstand
- Jumper-Drahtstücke
- TinkerKit-Modul: ultrahelle weiße LED + TinkerKit-Anschluss

### Die Idee

Wir konstruierten eine Falle, bei der eine Figur (siehe das obige Bild) permanent auf die Keksdose aufpasst. Wenn jemand die Dose auch nur anfasst, dann schießt die in der Figur versteckte Kamera ein Foto und fixiert so hoffentlich das Gesicht des Keksräubers.

Die Bilderfassung bzw. Ansteuerung der Kamera übernimmt in Processing geschriebene Software. Die Hardware-Basis besteht aus einem Arduino-Board, an das die Kamera angeschlossen ist. Ein kapazitiver Sensor wird zur Detektion eingesetzt. Das Konzept ist recht einfach und auch die Kombination der Einzelteile sollte simpel sein. Zunächst muss ein Processing-Sketch entwickelt werden, womit ein Foto per Arduino über die serielle Schnittstelle des Computers ausgelöst werden kann.

Die Aufgabe war klar und wir hatten zur Lösung jede Menge Hilfsmittel zur Verfügung. Also machten wir uns in Daniel-Düsentrieb-Manier auf, eine Maschine zu bauen, die erbarmungslos jeden fotografiert, der es wagen sollte, die Keksdose heimlich zu öffnen.

### Material

Diesen Monat ist die Materialliste für das Projekt ziemlich überschaubar:

- Arduino-Uno-Board
- Computer mit installierter Processing- und Arduino-IDE
- Webcam

### Installation von Processing

Zuerst lädt man sich Processing von der zugehörigen Webseite herunter [1]. Falls Sie die bisherigen Folgen von *Arduino auf Kurs* verpasst haben: Bei Processing handelt es sich um eine Cross-Plattform-Entwicklungsumgebung zur Erstellung von Software in Java, Android/Java und JavaScript. Sie eignet sich sehr gut zum Lernen von Programmier Techniken und macht komplizierte Dinge einfach.

Da eine Webcam eingesetzt wird, sollte man überprüfen, ob das vorgesehene Exemplar mit Processing funktioniert. Falls Ihr PC unter Windows oder

OS X läuft und sie nicht auf Anhieb funktioniert, lesen Sie bitte unter [2] nach. Linux-Anwender erhalten unter [3] Hinweise, welche Packages sie für die Installation von Processing zur Steuerung der Webcam benötigen.

Bei Processing braucht man die Video- und Serial-Libraries, die beide schon mit der IDE installiert wurden. Dieses Mal muss man sich keine Gedanken über zusätzliche Libraries machen.

## Bilder per Webcam

Die neueste Version von Processing implementiert eine Video-Library unter Verwendung von Gstreamer [4], einer Sammlung von Tools zum Zugriff auf die Video-Quellen eines PCs und mehr. Der Zugriff auf den Video-Datenstrom einer an einen PC angeschlossenen Webcam erfolgt mittels eines File-Handlers. Bei auf \*nix basierenden Rechnern z.B. (wie Linux oder OS X) sind alle Video-Quellen unter der Datei /dev/videoXX gelistet (XX steht für eine bestimmte Kamera). Auf einem Laptop repräsentiert /dev/video0 typischerweise die eingebaute Webcam, während /dev/video1 die externe Webcam bezeichnet, die in der Figur eingebaut ist.

Zunächst ist zu beachten, dass für die gleiche Kamera unterschiedliche Einstellungen bezüglich Auflösung und Frame-Rate möglich sind. Deshalb sollte man zuerst das Programm von **Listing 1** starten. Damit erhält man Informationen über die angeschlossenen Kameras und ihre möglichen Konfigurationen via Konsole in der Processing-IDE. Man erhält also eine Kameralliste samt ihrer Möglichkeiten.

Die Liste ist erstaunlich lang. Selbst wenn man nur über eine eingebaute Webcam verfügt, kann sich eine Liste wie die von **Tabelle 1** ergeben. Nun muss man also entscheiden, welche Auflösung man möchte und die passende Konfiguration auswählen. Bei einer gewünschten Auflösung von 640 x 480 wäre das die Zeile mit dem Index 3 in Tabelle 1. Man beachte, dass es zu einer Auflösung auch mehrere Konfigurationen geben kann. Dann sollte man ausprobieren, welche am besten passt.

Die zu verwendende Kamera kann im Code direkt nach der Erstellung der Kameralliste angegeben werden (siehe **Listing 2**). Hierdurch wird die ausgewählte Kamera aktiviert.

**Tabelle 1.**

Index	Datei	Auflösung	fps
[0]	/dev/video0	1280x720	10
[1]	/dev/video0	960x540	10
[2]	/dev/video0	800x448	15
[3]	/dev/video0	640x480	30
...			
[86]	/dev/video0	320x240	15

**Listing 1**

```
/**
 * Check cameras in Processing
 */

import processing.video.*;

Capture cam;

void setup() {

    String[] cameras = Capture.list();

    if (cameras.length == 0) {
        println("There are no cameras available for capture.");
        exit();
    } else {
        println("Available cameras:");
        for (int i = 0; i < cameras.length; i++) {
            println("[+" + i + "] " + cameras[i]);
        }
    }
}

void draw() {
}
```

**Listing 2**

```
if (cameras.length == 0) {
    println("There are no cameras available for capture.");
    exit();
} else {
    println("Available cameras:");
    for (int i = 0; i < cameras.length; i++) {
        println("[+" + i + "] " + cameras[i]);
    }

    // The camera can be initialized directly using an
    // element
    // from the array returned by list():
    cam = new Capture(this, cameras[3]);
    cam.start();
}
```



## Tastatur bei Processing

Es soll später ein Bild aufgenommen werden, sobald jemand die Keksdose berührt. Zuerst sollten wir aber das korrekte Auslösen der Kamera überprüfen. Eine Möglichkeit ist, die Tastatur als Auslöser für den Schnappschuss zu verwenden. Wenn man den Code von Listing 2 mit dem Code von **Listing 3** modifiziert, wird immer dann ein Bild aufgenommen, wenn man ein „p“ oder ein „P“ eingibt.

### Listing 4

```
void draw() {
  if (cam.available() == true) {
    cam.read();
  }
  image(cam, 0, 0);
  String timeStamp = String.format("%02d", hour());
  timeStamp += ":" + String.format("%02d", minute());
  timeStamp += ":" + String.format("%02d", second());
  timeStamp += " " + year();
  timeStamp += "/" + String.format("%02d", month());
  timeStamp += "/" + String.format("%02d", day());

  text(timeStamp, 10, height-10); // superimpose text on
  image

  // for the keyboard detection to work, you need to have
  // clicked on the application window first (aka focus)
  if(keyPressed) {
    if (key == 'p' || key == 'P') {
      saveFrame("pic-#####.png");
      println("capturing Frame at: " + timeStamp); // report
      to the console
    }
  }
}
```

### Listing 3

```
void draw() {
  if (cam.available() == true) {
    cam.read();
  }
  image(cam, 0, 0);

  // for the keyboard detection to work, you need to have
  // clicked on the application window first (aka focus)
  if(keyPressed) {
    if (key == 'p' || key == 'P') {
      saveFrame("pic-#####.png");
    }
  }
}
```

Schauen Sie sich die fett gedruckte Zeile **saveFrame("pic-#####.png")** an - dies ist die Methode, welche im Sketch-Verzeichnis ein Bild im PNG-Format mit der Bezeichnung „pic-#####“ plus entsprechender Extension ablegt. Anstelle der Platzhalter (#) steht dann die jeweilige Bildnummer. Jedes Bild hat eine andere Nummer. Der Befehl **saveFrame()** sichert dabei den Bildschirminhalt der aktiven Anwendung, aber nicht den Rest des Desktops.

## Bild mit Zeitstempel

Da **saveFrame()** Pixel für Pixel in eine Datei schreibt, kann man noch eine Informationsebene über das Bild legen. In unserem Fall wäre es interessant, die Uhrzeit festzuhalten, zu welcher der Dieb in die Dose gegriffen hat. Die Tatzeit spielt schließlich in jedem Krimi eine wichtige Rolle bei der Überführung der Täter. Also stanzt man am besten einen Zeitstempel in jedes Bild, wie in **Listing 4**. Gleichzeitig wird eine Meldung nach STDOUT geschickt.

Ein experimenteller aber technisch gelungener Schnappschuss ist in **Bild 1** zu sehen. Die niedrige Auflösung ist durch die Webcam bedingt, aber dem Hobby-Detektiv genügt das.

Nun bleibt noch die Aufgabe, passenden Arduino-Code zu schreiben. Dieser sollte feststellen, ob jemand die Keksdose berührt und dann sofort den PC informieren.

## Touch & Arduino: CapacitiveSensor-Library

In der für diese Folge erstellten Archiv-Datei „120745-11.zip“ ist ein Verzeichnis namens „Arduino“ enthalten, in dem das Unterverzeichnis „libraries“ steckt. Die Archiv-Datei kann kostenlos von der Elektor-Webseite zu diesem Artikel [6] herunter geladen werden. Der Inhalt sollte dann in das Arduino-Libraries-Verzeichnis kopiert werden. Man findet es im Arduino-Sketchbook-Verzeichnis, das normalerweise unter „Eigene Dokumente/Arduino“ (Windows) oder „Dokumente/Arduino“ (OS X und Linux) abgelegt ist.

Die CapacitiveSensor-Library stammt von Paul Badger [5] und enthält ein einziges (aber klar verständliches) Beispiel. Es empfiehlt sich, einen Blick auf die Arduino-Playground-Webseite [5] zu werfen, denn dort findet sich alles, was man über die Arbeitsweise kapazitiver Sensoren wissen muss. Die Library nutzt zwei Pins: Ein Pin sendet

Impulse und ein zweiter registriert sie. Die beiden Pins sind über einen Widerstand verbunden, der hier den Wert von 1 MΩ hat. Der Eingangs-Pin ist an einen Draht bzw. an ein Stück leitfähiges Metall angeschlossen, das als eine Platte eines Kondensators fungiert. Die Anwesenheit eines menschlichen Körpers verändert die Kapazität an diesem Pin und somit auch die Zeit, die der Eingangs-Pin zum Erreichen des Pegels des anderen Pins benötigt. Die CapacitiveSensor-Library misst genau diese Zeit - wenn sie groß genug ist, hat bestimmt ein Mensch seine Finger in oder an der Keksdose. Dann sollte ein Foto ausgelöst und so der Mundräuber auf frischer Tat ertappt werden.

Kapazitive Sensoren sind mittlerweile überall in unserem Alltag zu finden. Die Sensoren sind so empfindlich, dass man sie leicht hinter Kunststoffen, Holz, Glas und anderen nichtleitenden Materialien verstecken kann. Die erfasste Fläche ist sehr einfach durch Größe und Form der als Sensor fungierenden Metallfläche zu ändern. Man muss dann nur noch ein paar passive Bauteile (Widerstände und Kondensatoren) anpassen.

Das Prinzip ist so einfach, dass die an Arduino anzuschließende „Schaltung“ eigentlich nur aus einem einzigen 1-MΩ-Widerstand besteht. Da es möglich ist, dass der Keksdoseneinbruch nachts stattfindet, wird eine ultrahelle weiße LED aus einem TinkerKit angeschlossen, um den Tatort im Fall der Fälle ausreichend zu beleuchten. Hierzu wurde der Mund der Figur aus durchscheinendem weißem Plexiglas hergestellt, das von hinten beleuchtet wird. Der Verdrahtungsplan von **Bild 2** zeigt den Aufbau des Gesamtsystems. Zurück zur Software: Der Code, der Arduino all diese Funktionen einhaucht, ist recht einfach gehalten, wie in **Listing 5** zu sehen.

Wer schon über Arduino-Erfahrung verfügt, wird bemerken, dass genau die Zeilen fett gedruckt sind, die zur neuen Library gehören. **Bild 3** zeigt den Sensor, der hier aus einem zurechtgeschnittenen Streifen Alufolie besteht, auf den dann die Keksdose gestellt wird. Größe und Form des Sensors beeinflussen die gemessene Zeit. Aus diesem Grund muss noch die Konstante **THRESHOLD** angepasst werden. Schritt für Schritt geht das so:

Anschließen des Sensors an Arduino,  
Bestimmen des Ruhewerts (per Serial Monitor),  
je nach Folie sollte er etwa 200 betragen,

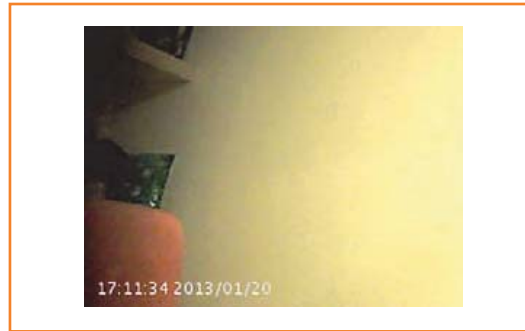


Bild 1.  
Teil eines  
Überwachungsfotos mit  
eingestanztem Zeitstempel.

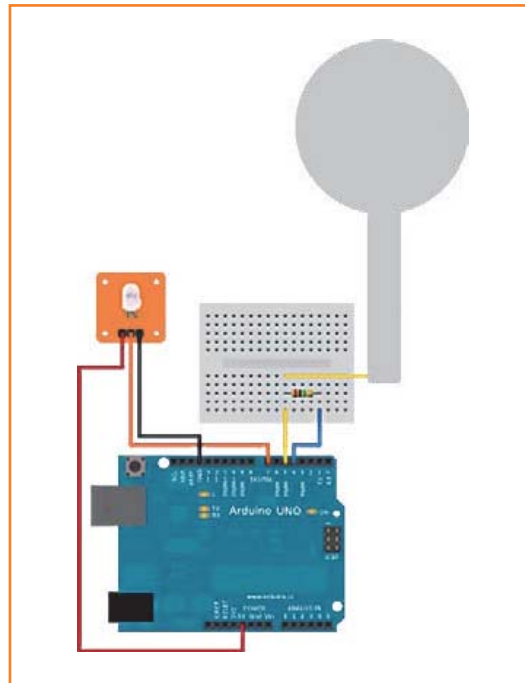


Bild 2.  
Verdrahtungsplan des  
Projekts (erstellt mit  
Fritzing).

Messen des Werts bei Berührung des Sensors,  
**THRESHOLD = (MAX\_VALUE + DEFAULT\_VALUE) / 2**  
und den errechneten Wert im Code eintragen.

Wenn nun das Programm einen Wert registriert, der über **THRESHOLD** liegt, übergibt es an die Processing-Applikation das Zeichen „p“ via serieller Schnittstelle. Jetzt fehlen nur noch zwei Punkte. Das Processing-Programm muss sich seriell dazu triggern lassen, ein Bild zu erfassen; und dann muss die komplette Falle noch bei der Keksdose aufgebaut werden.

## Trigger via Arduino

Jetzt muss die serielle Library noch in die Processing-Applikation eingebunden werden, damit seriell einlaufende Daten registriert werden (siehe **Listing 6**).

## Fallenstellen

Unser Freund Tien Pham bastelte eine zyklopenhafte Figur als *Kekswächter* mit Hilfe von Laserschneidetechnik. Dabei hat er sehr schön die Form der Webcam genutzt, die den Hals der Figur bildet. Die Kamera-Optik versteckt sich geschickt hinter dem einen Auge des Mini-Zyklopen und die superhelle weiße LED steckt hinter dem Mund. Hinter dem Bauch der Figur ist noch genug Platz, um das Arduino-Board und die Zusatzschaltung

auf einem Steckbrett zu verstecken. **Bild 4** zeigt, wie Tien das realisiert hat.

Wie schon gesagt besteht der Touch-Sensor aus Alufolie in Form eines „i“ mit extrem großen Punkt. Der Punkt ist die Stellfläche für die Keksdose. Die Alufolie ist mit einem Stück aufgeklebter Litze mit dem Steckbrett und von da aus mit Pin 5 von Arduino verbunden.

Entscheidend ist natürlich, dass die verwendete Keksdose aus Metall ist. Prinzipiell funktioniert die Falle auch mit anderen Keksdosen, doch bei schlecht leitendem Material muss der Sensor empfindlicher gemacht werden, in dem man z.B. den 1-M $\Omega$ -Widerstand durch ein Exemplar mit 10 M $\Omega$  ersetzt.

## Schlussbemerkung

Die Idee zu diesem Projekt entstand an einem Wochenende, als wir feststellten, dass sich jemand an der Keksdose vergriffen hatte. Das Spaßprojekt wurde aus Überbleibseln anderer Projekte zusammengebaut. Das lässt natürlich noch jede Menge Raum für Erweiterungen und Verbesserungen. Man könnte z.B. die benötigten Bauteile auf ein Prototypen-Shield löten. Auch der Sensor und seine Ausführung ist noch optimierungsfähig. Das jetzige Ergebnis ist in **Bild 5** zu bewundern.

Man sieht, dass sich mit wenig Aufwand Ideen einfach umsetzen lassen. Bei Gelegenheit wird der Processing-Code noch soweit erweitert, dass die aufgezeichneten Bilder direkt auf einen Webserver hochgeladen werden. Damit ist die Überwachung dann auch aus der Ferne via Internet möglich.

(120745)

## Dank

Paul Badger möchten wir für die Original-Library für kapazitive Sensoren mit Arduino danken, die er schon im Jahre 2008 erstellt hat. Paul Stoffregen gebührt Dank für die Revision des Codes, der nun auch unter der Arduino-IDE v1 und neuer funktioniert. Ein besonderes Dankeschön geht an Tien Pham vom Malmö FabLab für den Bau des Kekswächters mit integrierter Webcam.

### Listing 5

```
#include <CapacitiveSensor.h>

#define THRESHOLD 500 // Note you have to configure this
value

// declare the pins to be used
// 1M resistor between pins 4 & 5
// ultrabright LED on pin 7
CapacitiveSensor cs_4_5 = CapacitiveSensor(4,5);
int ledPin = 7;

void setup() {
  // uncomment to turn off autocalibrate on channel 1
  //cs_4_5.set_CS_Autocal_Millis(0xFFFFFFFF);

  // configure the serial port
  Serial.begin(9600);

  // configure the pin for the LED
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}

void loop() {
  long sensorReading = cs_4_5.capacitiveSensor(30);

  if (sensorReading > THRESHOLD) {
    // turn on the light
    digitalWrite(ledPin, HIGH);

    // tell the computer to take a picture
    Serial.write('p');

    // wait and then turn the light off
    delay(2000);
    digitalWrite(ledPin, LOW);
  }
  else {
    // uncomment these lines for configuring your system
    // Serial.println(sensorReading);
    // delay(200);
  }
}
```

## Weblinks:

- [1] Processing-Projekt: <http://processing.org>
- [2] Webcams mit Processing:  
[http://wiki.processing.org/w/Video\\_Issues](http://wiki.processing.org/w/Video_Issues)
- [3] Packages für GStreamer unter Linux, für Webcams mit Processing:  
<http://forum.processing.org/topic/how-is-video-on-linux-handled#25080000001764427>
- [4] Offizielle GStreamer-Webseite:  
<http://gstreamer.freedesktop.org/>
- [5] CapacitiveSensor-Library für Arduino von Paul Badger:  
<http://playground.arduino.cc/Main/CapacitiveSensor>
- [6] Projekt-Software Kekswächter:  
[www.elektor-magazine.de/120745](http://www.elektor-magazine.de/120745)

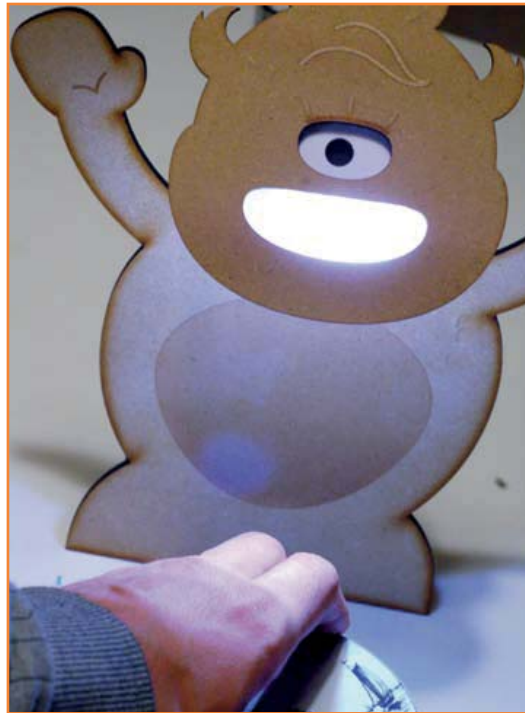


Bild 5.  
Geschnappt!!! Wer klaut da Kekse?

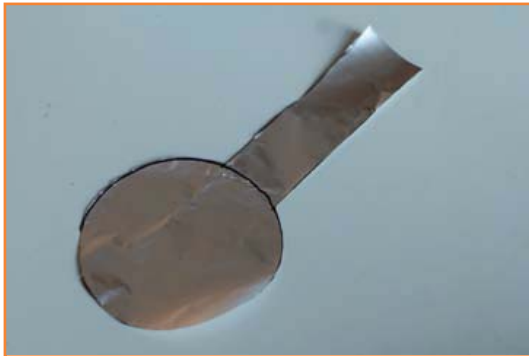


Bild 3. Der selbstgebaute kapazitive Sensor.



Bild 4. Von hinten sieht man die Halskonstruktion des Kekswächters.

## Listing 6

```
import processing.video.*;
import processing.serial.*;

Capture cam;
Serial myPort; // The serial port

void setup() {
  [...]

  // we don't need the camera at full blast
  frameRate(1);

  // List all the available serial ports
  println(Serial.list());
  // Open the port you are using at the rate you want:
  myPort = new Serial(this, Serial.list()[0], 9600);
}

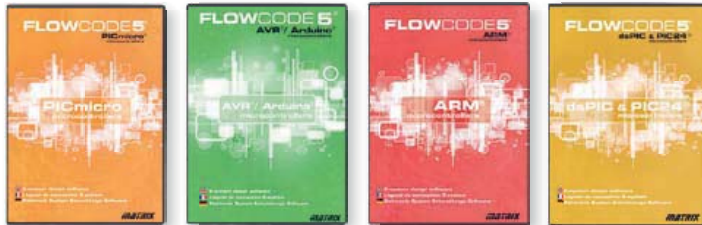
void draw() {
  [...]

  if (myPort.available() > 0) {
    int inByte = myPort.read();
    if(inByte == 'p') {
      saveFrame("pic-#####.png");
      println("capturing Frame at: " + timeStamp);
    }
  }
}
```



# Entwickeln und Lernen

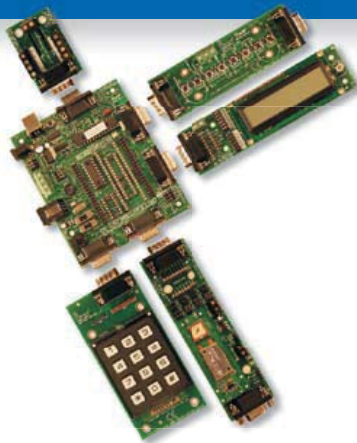
## FLOWCODE5



Flowcode 5 ist eine der weltweit besten grafischen Programmiersprachen für Mikrocontroller (PIC, AVR, ARM und dsPIC/PIC24).

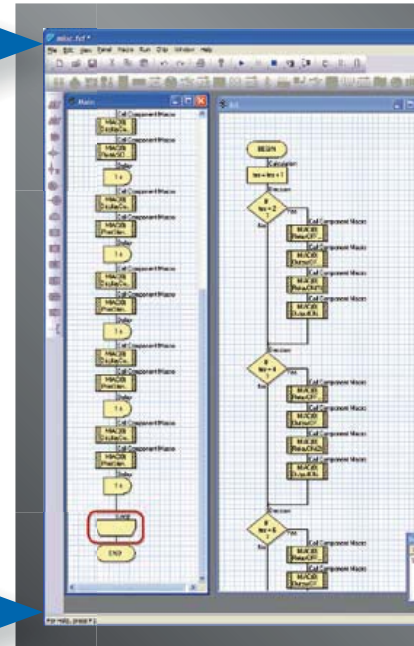
Der große Vorteil von Flowcode ist, dass man mit nur wenig (oder gar keiner) Programmiererfahrung in der Lage ist, komplexe elektronische Systeme in Minutenschnelle zu erstellen.

## ... für Elektronik



E-blocks sind kleine Schaltungen auf Platinen, die für sogenannte Embedded Systeme typische Elektronik enthalten. Es gibt mittlerweile mehr als 40 unterschiedliche Platinen. Die Module reichen von einfachen LED-Boards zu komplexeren Einheiten wie Programmern, Bluetooth oder TCP/IP.

E-blocks können einfach zusammengesteckt werden, um damit eine große Bandbreite an Systemen zu Lernzwecken oder für die Ausbildung im Fach Elektronik zu realisieren. Außerdem ist Rapid Prototyping komplexer elektronischer Systeme möglich. Das Angebot wird ergänzt durch Sensoren, Software, Anwendungsinfos und Curricula.



## ... für Industrie-Steuerungen



Ein MIAC (**Matrix Industrial Automotive Controller**) ist eine Steuerungseinheit für den industriellen Bereich, der die Steuerung einer breiten Palette von elektronischen Systemen im Bereich Sensorik, Überwachung und Automotive erlaubt. Intern arbeitet ein MIAC mit leistungsfähigen Mikrocontrollern der PIC18-Serie und verfügt über USB. Das Modul kann mit Flowcode, C oder Assembler programmiert werden. Flowcode ist zudem mit dem Industriestandard CAN-Bus ausgestattet, über welchen mehrere MIACs vernetzt werden können. Flowcode gehört zum Lieferumfang aller verfügbaren MIAC-Bundles.

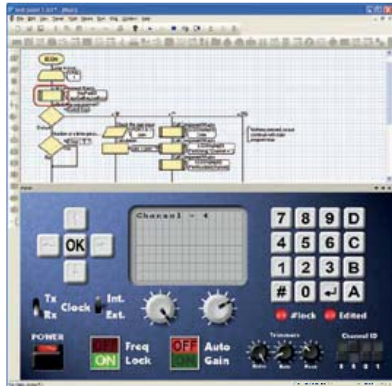
## FlowKit

Das FlowKit-Modul ermöglicht In-Circuit-Debugging für Flowcode-Anwendungen in PIC- und AVR-Projekten:

- Start, Stopp, Pause und Schritt für Flowcode-Programme in Echtzeit
- Anzeige der Programm-Variablen
- Ändern von Variablenwerten
- In-Circuit-Debugging für Formula Flowcode Buggy, ECIO- und MIAC-Projekte



# mit Flowcode 5 ...



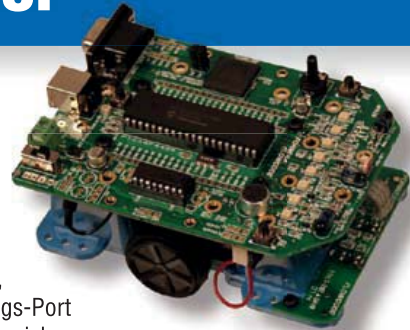
## NEU in Flowcode 5:

- Neue C-Code-Ansicht und -Anpassung
- Verbesserte Simulation
- Funktion zum Suchen und Ersetzen
- Neue Variablen-Typen und Funktionen, Konstanten und Port-Variablen
- Automatische Projekt-Dokumentation
- Neuer Projekt-Explorer vereinfacht die Code-Erstellung
- Implementierung von Code-Bookmarks zur Programm-Navigation
- Zugriff auf mehr Chip-Funktionen durch komplettes Redesign des Interrupt-Systems
- Compilerfehler und Warnungen navigieren zu Icons
- Icon-Deaktivier-Funktion
- Verbesserte Annotationen
- Verbesserte Links zu Support-Medien

## ... für Roboter

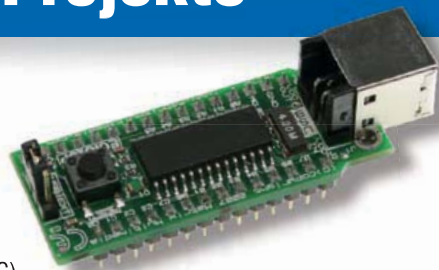
Beim Formula Flowcode Buggy handelt es sich um ein preiswertes Roboter-Fahrzeug für Lernzwecke und zum Einsatz in der Aus- und Weiterbildung. Entsprechend programmiert kann man damit auch auf Robotik-Events glänzen.

Das Vehikel lässt sich direkt via USB programmieren und ist mit Linien-Sensoren, Distanz-Sensoren, 8 LEDs, Mikrofon, Lautsprecher und einem E-blocks-Erweiterungs-Port ausgestattet. Die Lösung eignet sich für einen weiten Bereich an Robotik-Experimenten von der einfachen Linienverfolgung bis zum Entkommen aus einem Labyrinth. Via Erweiterungsport kann man Displays, Bluetooth- und Zigbee-Funk oder gar GPS anschließen.



## ... für USB-Projekte

ECIO-Module enthalten leistungsfähige via USB programmierbare Mikrocontroller im Format von DIL-ICs mit 28 oder 40 Pins (0,6"). Technisch basieren sie auf Mikrocontrollern der PIC18- oder ARM7-Serien. ECIO-Module eignen sich perfekt für eigene Projekte wie auch für den Unterricht, da sich damit komplette Lösungen realisieren lassen. ECIO-Module können mit Flowcode, C oder Assembler programmiert werden. Neue USB-Routinen in Flowcode bieten sich zum extrem schnellen Prototypenaufbau für USB-Projekte an und unterstützen USB-HID, USB-Slave und USB-Serial-Bus (nur PIC). Eigene Projekte können durch integrierte ECIO-Module um USB-Programmierbarkeit ergänzt werden.

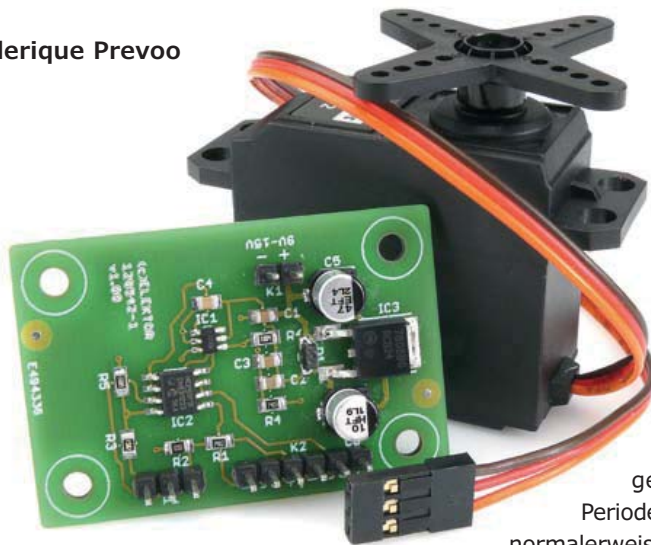


Weitere Produkte und Infos zu E-blocks finden Sie unter  
**[www.elektor.de/eblocks](http://www.elektor.de/eblocks)**

# Simpler Servo-Tester

## SMDs löten macht Spaß...

Von  
**Cederique Prevoo**  
(NL)



Der Servo-Tester ist eine nützliche Hilfe, wenn die mechanische Funktion eines Servos überprüft werden muss. Meistens genügt es, den Servo an den Tester anzuschließen und mit dem Potentiometer die Auslenkung des Servo-Gestänges von einem Anschlag zum anderen zu bewegen.

Servos werden mit PWM-Signalen

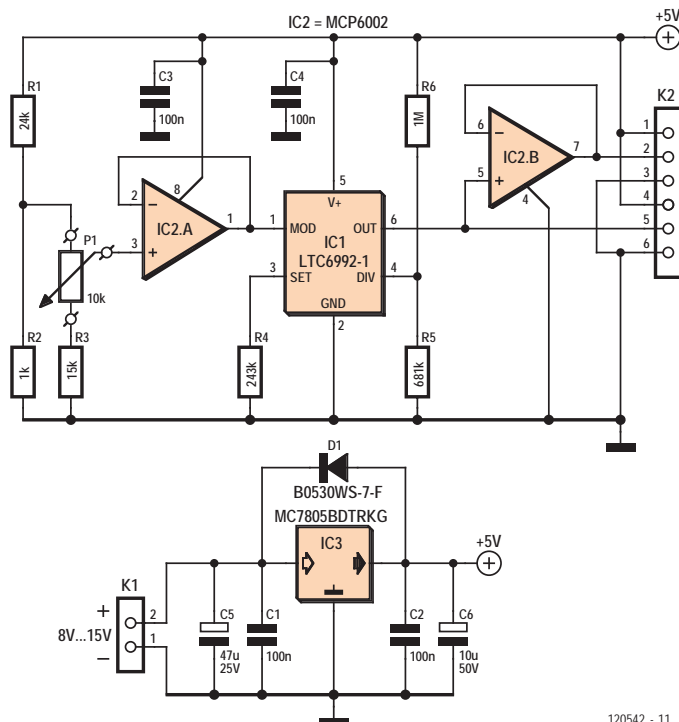
gesteuert, die Periodendauer liegt normalerweise bei 20 ms.

Auf den exakten Wert kommt es nicht an, solange die Frequenz konstant bleibt.

Die mechanische Auslenkung hängt linear von der Pulsbreite des PWM-Signals ab. Die kleinste Breite beträgt 1 ms, und wenn der Puls 2 ms breit ist, muss der Servo den gegenüber liegenden Anschlag erreicht haben. Die Pulsbreite 1,5 ms entspricht folglich der Mittelstellung. Manche Servo-Typen können von diesen Standard-Werten abweichen.

Der Servo-Tester generiert ein PWM-Signal, die Pulsbreite ist mit einem Poti einstellbar. Das PWM-Signal wird nicht, wie oft gebräuchlich, mit Timern des Typs 555 erzeugt. Hier kommt ein LTC6992 von Linear Technology [1] zum Einsatz, der die Bezeichnung *Voltage-Controlled Pulse Width Modulator* trägt. Die Pulsbreite wird über eine analoge Spannung eingestellt, während die Frequenz von einigen Widerständen abhängt. Der LT6992 gehört zur Produktlinie *TimerBlox* von LT. Zum Dimensionieren der externen Komponenten hat LT ein Programm bereitgestellt, das dem Anwender die Mühe mit dem Taschenrechner abnimmt.

Die Impulsbreite-Grenzen dieses Servo-Testers liegen bei 0,5 ms und 2,5 ms, so dass auch die meisten Exoten unter den Servos getestet werden können. Der LT6992 benötigt für diesen Bereich eine Spannung, die von 0,12 V bis 0,2 V variabel ist. Um Rückwirkungen zu vermeiden, ist der aus R1, R2, R3 und Poti P1 bestehende Spannungsteiler über einen Puffer mit dem Eingang MOD des LTC6992 verbunden. Der zweifache Opamp MCP6002 von Microchip [2] ist eingangs- und ausgangsseitig ein Rail-to-Rail-Typ, der nahe Null liegende Spannungen des Potis unverzerrt überträgt.



120542 - 11



Das Ausgangssignal und die Betriebsspannung sind auf die Kontaktleiste K2 geführt. Dort kann bei Bedarf ein zweiter Servo oder auch ein Oszilloskop angeschlossen werden. Achtung: Die Signalfolge an den Kontakten von K2 ist mit den Standard-Steckern der meisten Servo-Typen nicht kompatibel! Für den Anschluss wird ein Adapterkabel mit passendem Stecker benötigt.

Eine stabile Betriebsspannung, sowohl für den Servo-Tester als auch für den Servo, liefert ein Spannungsregler des Typs 7805. Die Eingangsspannung soll im Bereich 7...15 V liegen. An hohen Eingangsspannungen dürfen Tester und Servo nur kurz betrieben werden. Anderenfalls kann die interne thermische Sicherung des 7805 die Ausgangsspannung herunterregeln. Der 7805 wird lediglich von einer kleinen Kupferinsel auf der Platine gekühlt.

Der Titel brachte schon zum Ausdruck, dass dieses kleine Projekt eine handwerkliche Übung für das Lötten von SMDs sein kann. Nur die Kontaktleisten und die Anschlussstifte für das Poti werden konventionell durch die Platine gesteckt. Wir wünschen viel Spaß und guten Erfolg!

(120542)gd

## Weblinks

- [1] [www.linear.com](http://www.linear.com)  
[2] [www.microchip.com](http://www.microchip.com)

## Stückliste

### Widerstände (SMD 0805):

R1 = 24 k, 5 %  
R2 = 1 k, 5 %  
R3 = 15 k  
R4 = 243 k  
R5 = 681 k  
R6 = 1 M  
P1 = Potentiometer 10 k linear

### Kondensatoren:

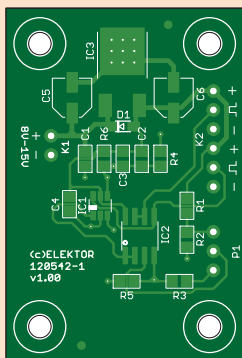
C1, C2, C3, C4 = 100 n  
C5 = 47 µ/25 V (z. B. Panasonic EEEFT1E470AR)  
C6 = 10 µ/50 V (z. B. Panasonic EEEFT1H100AR)

### Halbleiter:

D1 = Schottky-Diode 30 V/0,5 A, SOD323 (z. B. Diodes Inc. B0530WS-7-F)  
IC1 = LTC6992CS6-1, 6SOT-23 (Linear Technology)  
IC2 = MCP6002-I/SN, SOIC8 (Microchip)  
IC3 = MC7805BDTG, DPAK (On Semiconductor)

### Außerdem:

K1 = Kontaktleiste 2-polig, Raster 2,54 mm  
K2 = Kontaktleiste 6-polig, Raster 2,54 mm  
3 Lötösennägel für den Anschluss von P1  
Platine 120542-1 (siehe [www.elektor-magazine.de/120542](http://www.elektor-magazine.de/120542))



NAGY ist ein international bekannter Hersteller von physikalischen / elektronischen Meßgeräten. Wir suchen einen erfahrenen

## Elektroniker (m/w)

Qualifikation als Techniker oder Meister oder FH-Abschluss wäre von Vorteil, jedoch keine Bedingung.

**Aufgabengebiet:** Entwicklung von elektronischen Schaltungen (analog und digital), Konstruktion von Messgeräten. Sie sollen die Betreuung und Leitung eines Teams übernehmen und unser Prüffeld unterstützen.

**Ihr Profil:** Sie beschäftigen sich seit vielen Jahren begeistert mit elektronischen Geräten, beruflich oder in Ihrer Freizeit. Unternehmerisches Denken, Durchsetzungsfähigkeit.

Interessante, abwechslungsreiche Tätigkeit, attraktive, leistungsgerechte Vergütung.

NAGY Messsysteme GmbH, 71126 Gäufelden.

Bewerbung bitte per E-Mail an: [bw22@nagy-instruments.de](mailto:bw22@nagy-instruments.de)

## GERADE WENN'S MAL HEISS HERGEHT.

LEITERPLATTEN AUS ALUMINIUM ONLINE BESTELLEN.



**LEITON**  
RECHNEN SIE MIT BESTEM SERVICE

Starke Hitzeeinwirkung ist eine echte Herausforderung - z. B. wenn wichtige Leistungsbauteile hohen Temperaturen ausgesetzt sind. Unsere Aluminium-Platinen überzeugen durch **hohe Hitzeresistenz** sowie einen **Wärmeleitwert von bis zu 3,0 W/mK in der Premiumvariante „Polytherm TC-Lam 3.0“**. Ihre Vorteile: **Kostenreduktion** durch höhere Lebensdauer und Zuverlässigkeit, **Platzersparnis** dank Integration der Kühlkörper sowie **Performancesteigerung** durch höhere Leistungsdichte innerhalb der Anwendung. Sie möchten mehr darüber wissen? Wir bieten persönliche Beratung am Telefon, einen kompetenten Außendienst und Angebote auch per E-Mail in Windeseile. Sie können bei LeitOn immer mit bestem Service rechnen.

[www.leiton.de](http://www.leiton.de)

Info-Hotline +49 (0)30 701 73 49 0

**elektor**  **labs**  
Sharing Electronics Projects

Home News Proposals In Progress Finished

**elektor**  **labs**  
**is hiring**

About Elektor.LABS

Elektor Labs

Proposals In Progress Finished  
Active Popular Active Popular Active Popular

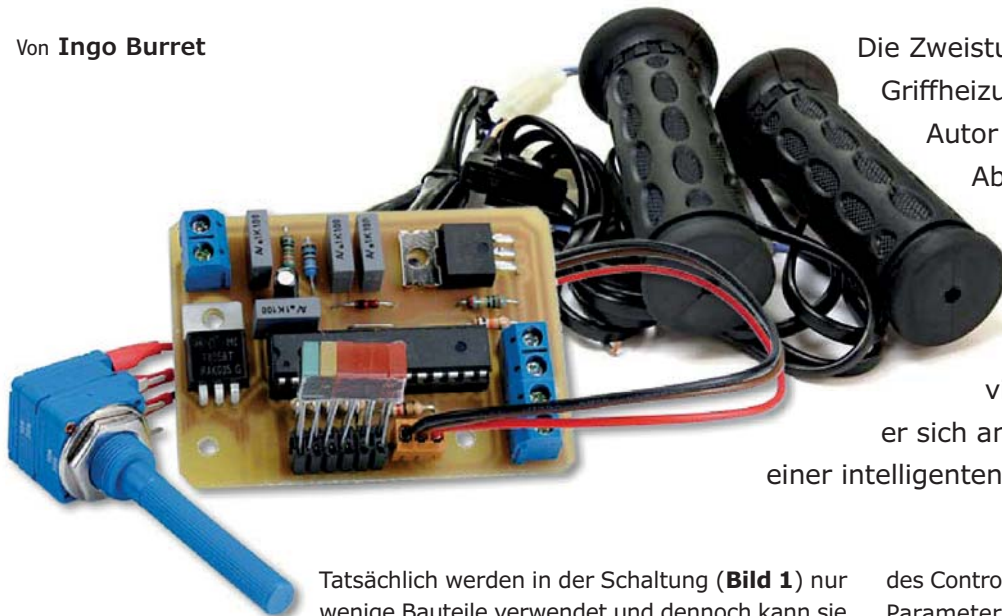
Create a Project

Create a new project or enter a proposal



# Lenkerheizung Für Motorräder und Roller

Von Ingo Burret



Die Zweistufen-Schaltung für die Griffheizung seines Motorrads fand der Autor nicht gerade komfortabel.

Aber als begeisterter Einsteiger in die Mikrocontroller-Welt („...ich bin da zwar Neuling, finde es aber praktisch, dass man mit wenigen Bauteilen viel erreichen kann“) machte

er sich ans Werk, um das Problem mit einer intelligenten Elektronik zu lösen.

Tatsächlich werden in der Schaltung (**Bild 1**) nur wenige Bauteile verwendet und dennoch kann sie mehr, als bloß stupide die Griffe anzuwärmen. Für diese Hauptfunktion ist ein PWM-Signal mit einer Frequenz von 1,8 kHz zuständig, das am Port OC1A des Controllers ATmega8 erscheint und einen MOSFET IRFZ34N ansteuert. Für die Heizleistung üblicher käuflicher Heizgriffe (von 15...20 W/Stück) ist dieser Transistor ausreichend. Das PWM-Signal stellt den Strom von der 12-V-Batteriespannung durch den Heizgriff nach Masse ein. Das Puls/Pausen-Verhältnis und damit die Heizleistung werden am Poti P1 gewählt. Die Potistellung wird am A/D-Wandler-Eingang ADC0 digitalisiert und von den vier LEDs an PD2...PD5 angezeigt. Die Software sorgt auch für dafür, dass die Heizung beim Starten oder Einschalten erst einmal für eine gewisse Zeit (etwa 30 s) „volle Pulle“ heizt. Während des Vorheizens leuchtet die LED an PD1. Die sechste LED an PD0 ist eine einfache Betriebsanzeige.

Die Software des ATmega8 überwacht auch über den Spannungsteiler R9/R10 und den A/D-Wandler ADC1 die Klemmenspannung der Batterie. Meist wird nämlich die Batterie im Standgas nicht wirklich geladen, daher wird bei einer Batteriespannung von weniger als 11,6 V das PWM-Signal abgeschaltet. Die Software erkennt, wenn die Klemmenspannung wieder steigt und reaktiviert die Heizung. Im Header

des Controllerprogramms kann man einige dieser Parameter modifizieren.

Die Schaltung ist auf einer sehr kompakten Platine (**Bild 2**) aufgebaut. Alle Bauteile sind „through hole“, was die Bestückung recht einfach macht. Für den Controller ist eine Fassung vorgesehen, sodass man ihn bei Bedarf auch wieder herausholen und neu/anders programmieren kann. Die kleine Platine und den Controller können Sie im Elektor-Service erwerben, für Programmierer gibt es dort auch den C-Quellcode und den Hex-Code [1].

Da ein Motorrad kein Wohnzimmer ist, muss die Elektronik spritzwassergeschützt untergebracht werden. Hier empfiehlt sich der Einsatz eines Gehäuses mit entsprechendem International-Protection-Wert (IP) wie dem Hammond RP1025C mit IP65. Dabei bezeichnet die zweite Ziffer die Wasserfestigkeit (die erste den Fremdkörperschutz) auf einer Skala von 0 bis 8 [2]. Zwar kann man mit einer „5“ nicht im Marianengraben tauchen, aber immerhin ist das Gehäuse gegen Strahlwasser geschützt. Das genannte Gehäuse besitzt einen transparenten Deckel, so dass man die (rechteckigen) LEDs direkt verlöten kann. Die Platine sollte befestigt werden, ohne das Gehäuse anzubohren. Gänzlich um Bohrungen kommt man aber nicht herum, für die Kabeldurchlässe sind zwei oder drei

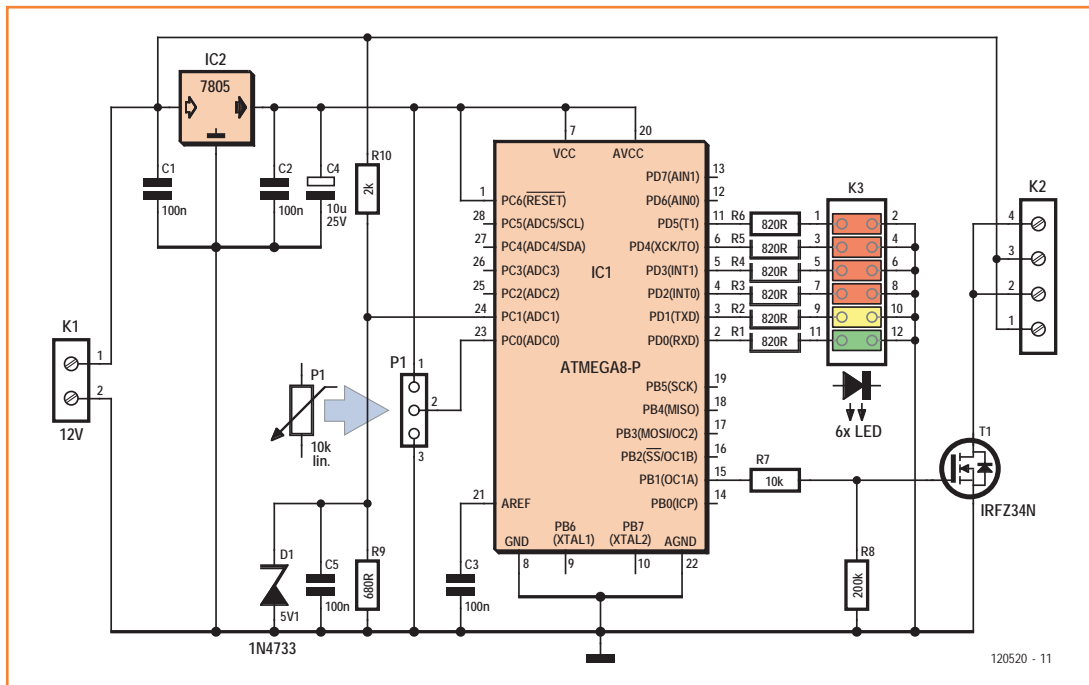


Bild 1.  
Ein Controller macht warme  
Finger.

erforderlich. Das genannte Gehäuse bietet dabei noch Platz für drei Kabelverschraubungen aus dem Baumarkt (die kleinsten haben ein 12-mm-Gewinde). Man muss nur darauf achten, dass die Kabel ordentlich abgedichtet werden (eventuell Reduzier-Dichteinsatz verwenden), dann bleibt auch der IP-Schutz erhalten. Für Poti und Potiachse kann man eine spezielle Befestigung oder Achsdurchführung (siehe zum Beispiel Conrad 183797, 715158) einsetzen und

diese mit Vaseline abdichten. Dies alles beschreibt aber nur eine der Möglichkeiten, die Griffheizung anzubringen.

(120520)

## Weblinks

- [1] [www.elektor-magazine.de/120520](http://www.elektor-magazine.de/120520)  
[2] <http://busse-yachtshop.de/info/ip-norm.html>

## Stückliste

### Widerstände:

R1...R6 = 820  $\Omega$   
R7 = 10 k  
R8 = 200 k, 1 %  
R9 = 680  $\Omega$   
R10 = 2 k, 1 %  
P1 = Poti 10 k linear

### Kondensatoren:

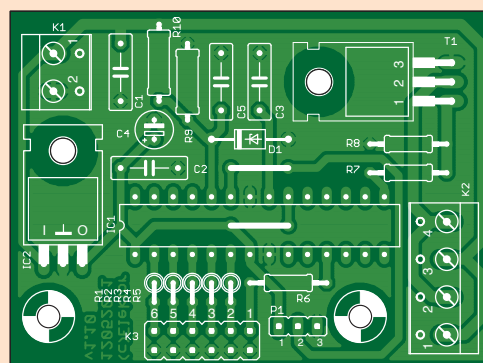
C1,C2,C3,C5 = 100 n/100V  
C4 = 10  $\mu$ /25 V

### Halbleiter:

IC1 = ATmega8-16PU (programmiert 120520-41)  
IC2 = 7805  
T1 = IRFZ34N  
D1 = 1N4733A (Z-Diode 5V1)  
LED1...LED6 = LED 3 mm grün/gelb/rot, rechteckig

**Außerdem:**

28-polige DIL-Fassung



K1 = 2-polige Platinenanschlussklemme, RM 5 mm  
K2 = 4-polige Platinenanschlussklemme, RM 5 mm  
K3 = 2x6-poliger Pfostenverbinder  
Platine 120520-1

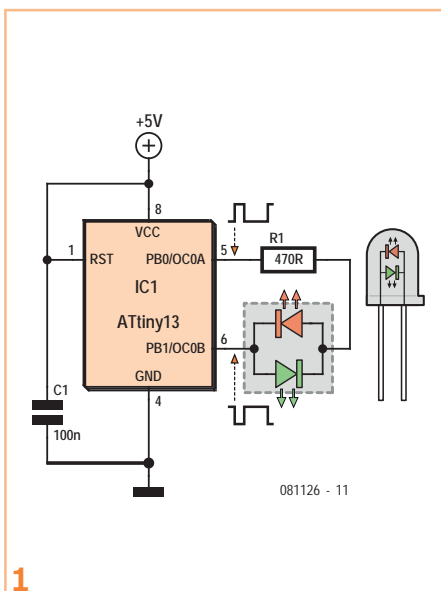
\* siehe Text

Bild 2.  
Alles auf einer kompakten  
Platine.

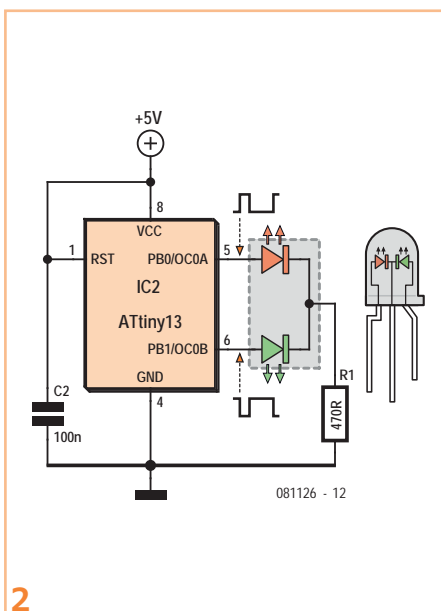
# Zweifarbige LEDs mit AVR und 8051 ansteuern

Von  
**Vladimir Mitrovic**  
(Kroatien)

Zweifarben- oder Bi-Color-LEDs enthalten zwei LED-Chips – meistens in den Farben rot und grün – in einem gemeinsamen Gehäuse. Es gibt Ausführungen mit zwei und mit drei Anschlussdrähten. Bei zwei Anschlüssen sind die Chips antiparallel geschaltet. Bei drei Anschlüssen gibt es auch Ausführungen mit gemeinsamer Anode, doch die meisten haben einen gemeinsamen Kathodenanschluss. Farbmischungen lassen sich einfach mit unterschiedlichen PWM-Signalen (Pulsbreitenmodulation) der beiden Chips erreichen, und somit sind auch schöne Farbverläufe möglich.



1



2

## Ansteuerung mit AVR

Wie die **Bilder 1 und 2** zeigen, ist das Prinzip der Ansteuerung zweifarbiger LEDs mit einem AVR-Mikrocontroller ATtiny13 im 8-Pin-Gehäuse ziemlich simpel. Ein Vorwiderstand zur Strombegrenzung genügt. Ohne großen Aufwand kann man in der Software leicht Farbmischungen erzeugen. Hierzu generiert man zwei komplementäre PWM-Signale an den Ausgängen OC0A und OC0B. Die Pegel von OC0A und OC0B sind also gegeneinander invertiert. Das Tastverhältnis bestimmt den mittleren Strom durch einen Chip und somit dessen Lichtintensität. Da ein Chip immer aus ist, wenn der andere leuchtet, reicht auch bei Bild 2 ein Vorwiderstand. Vorausgesetzt, beide Chips leuchten gleich hell, bleibt zudem auch die Helligkeit der LED gleich, wenn sich die Farbe durch geänderte PWM-Signale ändert.

Die PWM-Signale werden mit Hilfe von T/C0 (Timer/Counter0, 8 bit) und den beiden Output-Compare-Registern OCR0A und OCR0B

erzeugt. T/C0 ist so konfiguriert, dass er im phasenkorrekten PWM-Modus läuft. Indem er von „0“ auf „255“ und dann wieder zurück zu „0“ zählt, erzeugt er ein virtuelles Dreieckssignal. OC0A ist dabei als nichtinvertierender und OC0B als invertierender Ausgang konfiguriert. Daher wird OC0A beim Erreichen des Zielwerts („Compare Match“ mit OCR0A) während des Inkrementierens von T/C0 gelöscht und während des Dekrementierens bei „Compare Match“ gesetzt. Bei OC0B geschieht das Gegenteil. Folglich gilt: Wenn die Werte von OCR0A und OCR0B gleich sind, sind die Signale von OC0A und OC0B komplementär.

In BascomAVR konfiguriert man T/C0 folgendermaßen:

```
Config Timer0 = Pwm , Prescale = 8 ,
Compare A Pwm = Clear Up , Compare B Pwm
= Clear Down
```

Unglücklicherweise steckt in der Demoversion 1.11.9.1 von BascomAVR ein Bug, der das Gegenteil von dem produziert, was man erwarten würde: OC0A wird während des Inkrementierens gesetzt und während des Dekrementierens gelöscht. Die gleiche Verdrehung passiert bei OC0B. Als Resultat verhält sich die Schaltung, als wären OC0A und OC0B oder aber die Anschlüsse der LED vertauscht. Der korrekte Assembler-Code ist:

```
ldi r24, $02
!aus tccr0b, r24
ldi r24, $B1
!aus tccr0a, r24
```

Beide Beispiele konfigurieren die PWM-Erzeugung so, dass sich eine PWM-Frequenz von etwa 2 kHz ergibt. Die Puls/Pausen-Verhältnisse und somit die LED-Farbe wird vom Wert in den beiden Registern OCR0A und OCR0B bestimmt (OCR0A = OCR0B):

- Bei einem Wert von 0 liefert OC0A permanent eine 0 und OC0B eine 1. Folglich leuchtet die LED grün.

- Bei einem Wert von 255 liefert OC0A permanent eine 1 und OC0B eine 0. Folglich leuchtet die LED rot.
- Bei Werten von 1 bis 254 werden entsprechende PWM-Signale erzeugt, die beide LED-Chips mit entsprechendem Anteil leuchten lassen. Höhere Werte verlängern den Impuls an OC0A und sorgen so dafür, dass der Rot-Anteil der LED stärker zur Geltung kommt.

Mit den Zuweisungen

```
OCR0A = 128
```

```
OCR0B = 128
```

erhält man den gleichen Strom durch beide LED-Chips und die LED wird daher gelb-orange leuchten. Darstellbare Farbabstufungen und die Lichtqualität (wie gut die beiden Farben gemischt werden) hängen weitgehend von folgenden Faktoren ab: Opazität des LED-Kunststoffs, Abstrahlwinkel und Umgebungslicht.

Das einfache BascomAVR-Programm „EE\_RGLED\_AVR.bas“ zeigt die Programmierung, es steht auf der Elektor-Webseite [1] zum kostenlosen Download bereit. Das Programm lässt die LED-Farbe kontinuierlich zwischen rot und grün hin- und herwechseln. Das Programm funktioniert mit beiden LED-Typen. Es funktioniert auch mit anderen Atmel-Controllern als dem ATtiny13, solange diese über Timer/Counter0 mit zwei Output-Compare-Registern verfügen. Wenn die LED-Farbe einmal eingestellt ist, kann der Controller problemlos andere Aufgaben ausführen, da die PWM-Erzeugung im Hintergrund erledigt wird.

### Ansteuerung mit 8051

Bei Ansteuerung zweifarbiger LEDs mit einem AT89S2051 oder einem anderem Mikrocontroller der 8051-Familie gibt es ein paar Unterschiede in der Architektur zu berücksichtigen:

- 8051-Mikrocontroller haben recht hochohmige Pull-up-Widerstände integriert und können daher nicht viel Strom gegen Masse liefern.
- Die meisten 8051-Mikrocontroller haben keinen für PWM geeigneten Timer. Und selbst wenn, dann gelingt die Erzeugung komplementärer Signale nur mit zusätzlicher Software.

Das erste Problem lässt sich mit zusätzlichen Widerständen lösen. Die einfachsten Lösungen mit externen Widerständen (R2 und R3) sind in den **Bildern 3** und **4** dargestellt. In Bild 3 leuchtet der LED-Chip, dessen Kathode auf Masse gelegt wird. Bei Bild 4 ist jeweils der Chip kurzgeschlossen, dessen Ausgang 0-Pegel führt.

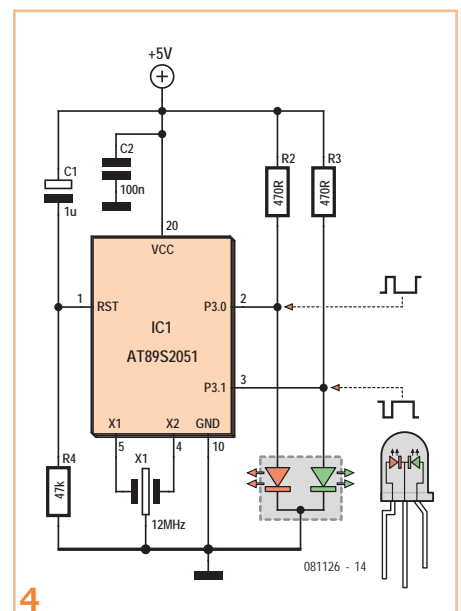
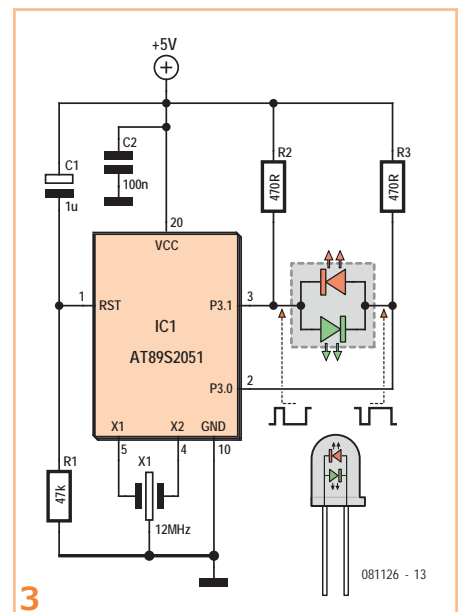
Der Nachteil beider Schaltungen ist, dass auch dann Strom durch die Vorwiderstände fließt, wenn er nicht durch die Chips fließt. Der Stromverbrauch ist also im Prinzip doppelt so hoch und die Hälfte davon ist verschwendet. Wenn das unerwünscht ist, kann man sich an die Schaltung von **Bild 5** halten, in der extra Puffer (zum Beispiel vom Typ HC125) eingesetzt werden.

Die komplementären PWM-Signale werden durch eine Interrupt-Routine erzeugt. Timer0 wird dabei als Aufwärtszähler mit 13 bit Auflösung konfiguriert:

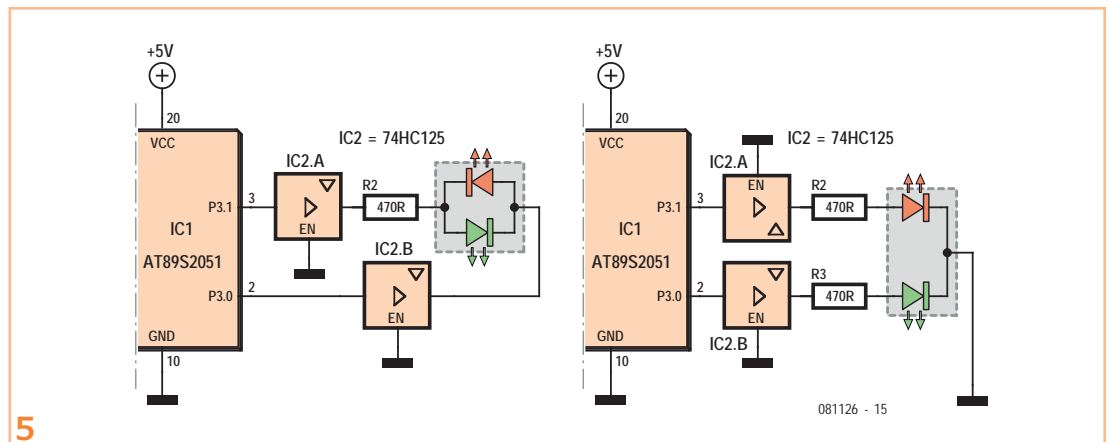
```
Config Timer0 = Timer ,
    Mode = 0 , Gate = Intern
On Timer0 Tim0_sub Nosave
Enable Timer0
Enable Interrupts
```

Die Interrupt-Routine „Tim0\_sub“ wird bei jedem Überlauf von Timer0 aufgerufen. Die Häufigkeit dieses Ereignisses hängt von der Taktfrequenz und vom initialen Wert des Timer0-Registers ab. Bei einer Quarz-Frequenz von 12 MHz und einem Mikrocontroller im „x2“-Modus ergibt sich eine Taktfrequenz von 2 MHz. Bei einem Startwert von 0 braucht es  $2^{13}$  Takte bis zum Überlauf, was etwa 4 ms dauert und 244 Hz entspricht. Wenn von einer durch Software festgelegten höheren Zahl aus gezählt wird, ist die Zeit bis zum Aufruf der Interrupt-Routine kürzer und die PWM-Frequenz entsprechend höher.

Die Byte-Variable „Colour“ definiert den Startwert für Timer0. Man legt einen Wert zwischen 0







und 255 fest und ruft die Routine „Set\_colour“ auf. Beispiel:

```
Colour = 64
Gosub Set_colour
```

Abhängig von „Colour“ reagiert „Set\_colour“ wie folgt:

- Bei Colour = 0: Stoppe Timer0, lösche P3.0 (rot aus) und setze P3.1 (grün ein).
- Bei Colour = 255: Stoppe Timer0, setze P3.0 (rot ein) und lösche P3.1 (grün aus).
- Bei Colour = 1...254: Transfer von „Colour“ in das obere Timer0-Zähl-Register (TH0), lösche das untere Timer0-Zähl-Register (TL0), lösche „Colour\_bit“ und starte Timer 0.

Der Rest geschieht lediglich in der Interrupt-Routine und der Mikrocontroller kann daher Code nach Belieben ausführen. Bei jedem Überlauf von Timer0 erledigt die Interrupt-Routine Folgendes:

- Toggeln der Ausgänge P3.0 und P3.1. Der Code stellt über die Verwendung von „Colour\_bit“ sicher, dass P3.0 und P3.1 immer komplementär sind.
- Bildung des Einerkomplements von „Colour“ und Transfer zu TH0.

Als Ergebnis hat die Variable „Colour“ wechselweise zwei Werte: der initiale Wert und das Resultat von 255 minus Initialwert. Beim obigen Beispiel ergibt das den Wert von 64 und das Komplement 191, womit die Chips zu  $\frac{1}{4}$  der Zeit ein- und zu  $\frac{3}{4}$  der Zeit ausgeschaltet sind (und umgekehrt). Bei 4 ms Periodendauer ergibt dies ein Verhältnis von 1 ms zu 3 ms. Ein größerer

initialer Wert für „Colour“ ergibt also mehr rote und weniger grüne Farbe.

Das einfache Bascom-8051-Beispielprogramm „EE\_RGLED\_8051.bas“ gibt es ebenfalls kostenlos unter [1]. Zwecks besserer Kontrolle über die verwendeten Register wurde die Interrupt-Routine in Assembler geschrieben. Sie benötigt lediglich 21 Takte. Auch hier wechselt die LED-Farbe kontinuierlich zwischen rot und grün hin und her. Wie schon beim AVR-Beispiel funktioniert dieses Programm mit zwei und dreipoligen LEDs. Es funktioniert auch mit anderen Mikrocontrollern der 8051-Klasse. Bei Exemplaren ohne „x2“-Modus wie dem AT89C2051 und älteren Ausführungen sollte der Befehl „Set Clkreg.0“ gelöscht werden. Dies wird die PWM-Frequenz auf 122 Hz erniedrigen. Sollte die LED dabei zu stark flackern, kann man einen Quarz mit 20 MHz oder 24 MHz verwenden.

Das Programm für 8051-Varianten sieht schon etwas aufwendiger aus als das für AVR-Controller. Doch hat dies auch einen Vorteil: Man kann beliebige Pins als Ausgang definieren. Man muss dazu lediglich zwei „alias“-Befehle am Anfang des Programms ändern:

```
Anoda_rd Alias P3.0
Anoda_gn Alias P3.1
```

Zusätzlich kann man auch Timer1 dazu verwenden, eine zweite zweifarbige LED unabhängig von der ersten zu betreiben.

(081126)

## Weblink

[1] [www.elektor-magazine.de/081126](http://www.elektor-magazine.de/081126)

# Alle Elektor-Artikel der „70er-Jahre“ auf DVD!

**NEU**



**Ein Muss  
für jeden  
Elektor-Leser!**

ISBN 978-3-89576-263-5  
€ 69,00 • CHF 85,60

**elektor**

Jetzt unter  
**[www.elektor.de/70-79](http://www.elektor.de/70-79)**  
bestellen!



# Hygrometer mit ATM18

## Schützen Sie Ihre besten Tropfen!

Elastizität und Erhaltungszustand der Korken Ihrer besten Weine hängen vom Feuchtigkeitsgehalt der Umgebungsluft ab. Um böse Überraschungen zu vermeiden, muss man also die Luftfeuchtigkeit überwachen, denn sie darf weder zu hoch noch zu niedrig sein. Die relative Luftfeuchtigkeit ist aber von der Umgebungstemperatur abhängig. Daher werden die beiden Werte Luftfeuchtigkeit und Temperatur im Display unseres ATM18-Hygrometers angezeigt.

Von **Grégory Ester** (F)

Selbst wenn Sie kein ausgewiesener Weinkenner sind, können Sie mit diesem Hygrometer die Luftqualität im Auge behalten. Denn Abweichungen vom Normwert sind schlecht für Gesundheit und Wohnkomfort. Haut und Atmungsorgane werden durch zu trockene Luft angegriffen. Zu feuchte Luft kann Schimmel und allergische Reaktionen hervorrufen und die Vermehrung von Milben begünstigen. Es wäre falsch, hier nicht die Vorteile der Elektronik zu nutzen.



Für diese Anwendung habe ich den digitalen Sensor *DigiPicco* [1] ausgewählt, dessen Daten in Tabelle 1 angegeben werden. Er ist ab Werk kalibriert, was die Inbetriebnahme erleichtert. Die Nutzsignale können an größeren Kupferflächen abgenommen werden.

Sobald alle Teile des Hygrometers beisammen sind, reichen ein paar Minuten, um sie gemäß Blockschaltbild zu verbinden (Bild 1). Wir benötigen außerdem die ATM18-Platine [2] und ein Zweidraht-Display [3], welche die Daten verarbeiten und anzeigen. In beiden Fällen handelt es sich um zwei Elektor-Schaltungen aus dem Jahr 2008.

### Vorarbeiten und Inbetriebnahme

Das *DigiPicco*-Modul des Herstellers IST [4] wird direkt über I<sup>2</sup>C angesprochen. Die Spannungsversorgung des Moduls und der Zugriff auf das Taktsignal (SCL/Serial CLock) und die Datenleitung (SDA/Serial Data) für die Kommunikation mittels I<sup>2</sup>C-Bus erfolgen über vier eingelötete Präzisionsbuchsen (Bild 2). Es reichen also nur ein paar Drahtverbindungen, um *DigiPicco* und

**Tabelle 1. Eigenschaften Hygrometer / Thermometer**

Messbereich Temperatur	von -25 °C bis +85 °C
relative Luftfeuchtigkeit	von 0 bis 100 %
Kommunikation	seriell über I <sup>2</sup> C-Bus
Genauigkeit	< ±3 % RH (von 15 bis 85 % RH @ 23 °C) < ±0,5 °C (von -25 bis +85 °C)
Temperatursensor-Typ	PT1000
Feuchtigkeitssensor-Typ	P14
Stromaufnahme	< 3 mA
Versorgungsspannung	5 V



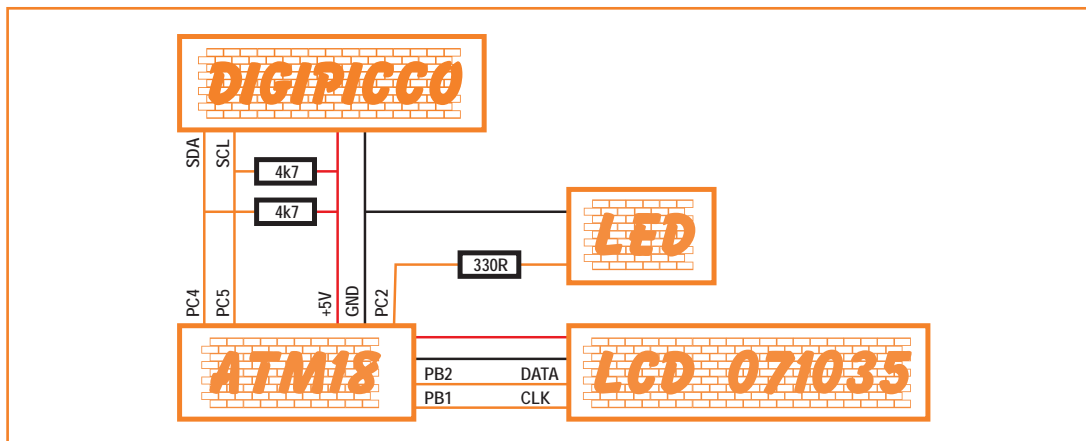


Bild 1.  
Blockschaltbild –  
Verdrahtung.

ATM18 elektrisch zu verbinden. Dank der leicht verständlichen Befehle, die das bekannte Bascom-AVR bietet, kann man einfach auf die Registerinhalte für Temperatur und Luftfeuchtigkeit in unserem DigiPicco-Modul zugreifen.

Der kapazitive Feuchtigkeitssensor P14 [5] des Moduls besitzt eine poröse Elektrode, die direkt auf die Trägerplatine montiert ist. Man erkennt in Bild 3, dass die wirksame Oberfläche des Sensors groß ist, was ihm eine hohe Empfindlichkeit verleiht.

Ein PT1000-Sensor in SMD-Version wird zur Temperaturmessung eingesetzt. In Bild 4 erkennt man die beiden Sensoren, welche die zu messenden physikalischen Größen in elektrische Größen umsetzen.

## Vier Bytes reichen aus!

Bei der Herstellung wurde die Adresse des Moduls auf \$F0 festgelegt. Falls das Modul nicht am Bus erkannt wird, sieht man die Fehlermeldung in Bild 5. In diesem Falle empfiehlt sich eine genauere Überprüfung.

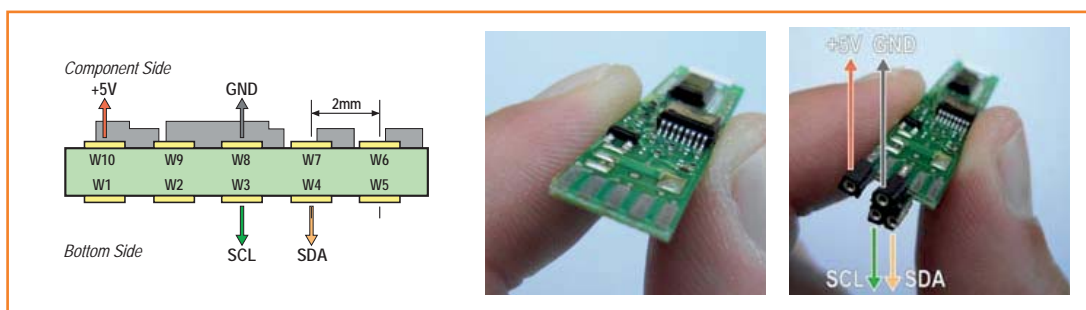


Bild 2.  
Einlöten  
der Präzisionskontakte.

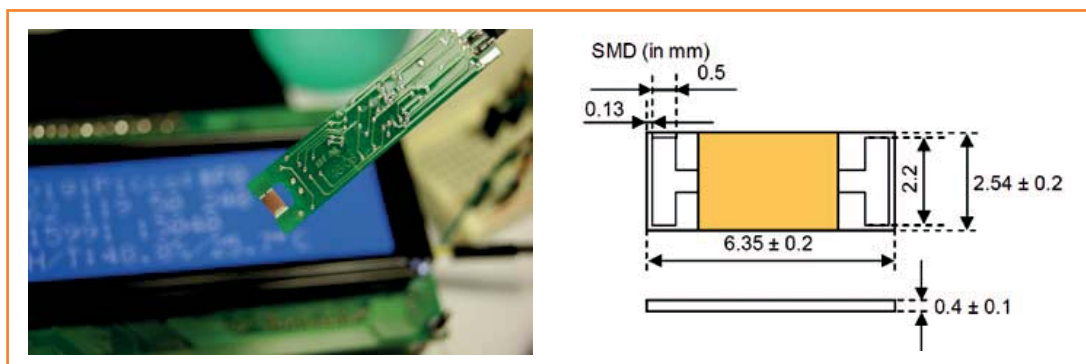


Bild 3.  
Messfühler  
für Luftfeuchtigkeit.



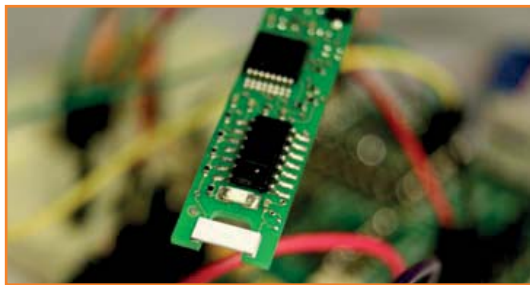


Bild 4.  
Nahaufnahme  
der Sensoren.

```
DigiPicco not found!  
Check the connection
```

Bild 5.  
In diesem Falle ist eine  
genauere Überprüfung  
angezeigt...

```
DigiPicco:$F0  
64 51 50 40  
16435 12840  
H/T:50.2%/24.7°C
```

Bild 6.  
Wie schön,  
wenn alles funktioniert!

Aus rein didaktischen Gründen werden auf dem Display auch Zwischenergebnisse angezeigt (Bild 6). In der ersten Zeile sieht man die Adresse des Moduls, sie wird beim Start automatisch gescannt. In der zweiten Zeile werden nacheinander jeweils dezimal das höher- und das niederwertige Byte der Rohdaten für Luftfeuchtigkeit und Temperatur angezeigt. Es ist nur ein wenig Arithmetik notwendig, um die Ergebnisse in Zeile 3 anzuzeigen. Zunächst

wird das höherwertige Byte empfangen, danach das niederwertige. Das höherwertige wird durch Multiplikation mit 256 um 8 bit nach links geschoben und logisch UND mit (01111111 = 0x7F) verknüpft. Dazu wird das niederwertige Byte addiert und man erhält ein binäres Ergebnis von 15 bit Länge. Die hier beschriebenen Rechenschritte sind im Quelltext leicht zu finden.

Die Ausgabecharakteristik der Sensoren ist linear (0x0...0x7FFF entsprechen 0...100 % RH, 0x0...0x7FFF entsprechen -40...+125 °C). So lassen sich leicht die Feuchte- und Temperaturwerte ableiten (4. Zeile).

Die Anzeige wird jede Sekunde aktualisiert. Die gelbe 3-mm-LED zeigt die Aktivität auf dem I<sup>2</sup>C-Bus an.

Beachten Sie, dass es etwa 5 s dauert, bis der Sensor sich von 100 % Luftfeuchtigkeit zu etwa 50 % bewegen kann. Sie können es selbst ausprobieren, indem Sie den P14 anhauchen.

110488

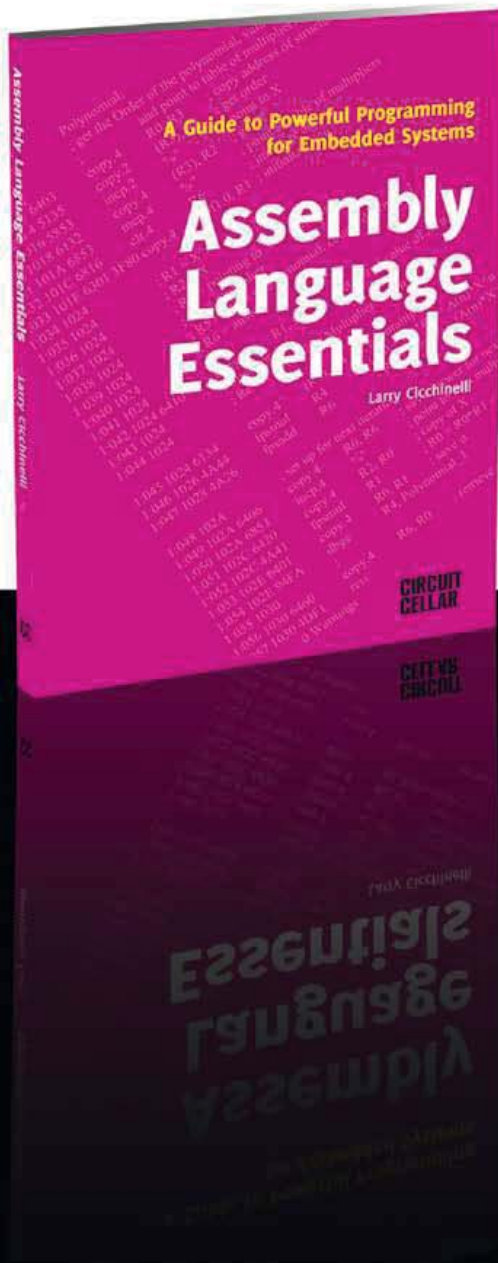
## Weblinks

- [1] <http://de.farnell.com/ist/digipicco-tm-basic-i2c-g/module-capteur-humidite/dp/1778051?Ntt=digipicco>
- [2] [www.elektor.de/atm18](http://www.elektor.de/atm18)
- [3] [www.elektor.de/071035](http://www.elektor.de/071035)
- [4] [www.ist-ag.com/](http://www.ist-ag.com/)
- [5] [www.ist-usadivision.com/resources/datasheets.php](http://www.ist-usadivision.com/resources/datasheets.php)



# ASSEMBLY LANGUAGE ESSENTIALS

**Circuit Cellar's** first book, ***Assembly Language Essentials***, is a matter-of-fact guide to Assembly that will introduce you to the most fundamental programming language of a processor.



**Author Larry Cicchinelli provides readers with:**

- An introduction to Assembly language & its functionality
  - Essential terminology pertaining to higher-level programming languages & computer architecture
  - Important algorithms that may be built into high-level languages — multiplication, division, and polynomial evaluation
  - Overview of Interrupt Service Routines
  - Free, downloadable Assembler program ...
- and more!**

**On Sale  
NOW!**

\$47.50

# CIRCUIT CELLAR

WWW.CIRCUITCELLAR.COM • WWW.CC-WEBSHOP.COM



# Virtuelles Geld

Von  
**Tessel Renzenbrink**  
(Elektor / Tech The Future)

Der virtuelle Austausch von Werten ist auf dem Vormarsch. Schon heute existieren virtuelle Zahlungssysteme in unterschiedlicher Konzeption. Eine Variante sind geschlossene Transfersysteme, zum Beispiel in Online-Spielen. Das virtuelle Geld wird dort erworben, es ist nur dort zur Zahlung gültig. Monodirektionale Systeme tauschen reales Geld in das virtuelle Äquivalent, nicht jedoch umgekehrt. Als stark zuwachsträchtig gelten zweigleisige Zahlungssysteme, bei denen virtuelle und reale Zahlungsmittel frei gegeneinander konvertierbar sind.

Die Konvertierbarkeit des virtuellen und konventionellen Geldes bewirkt, dass beide Finanzwelten sich gegenseitig beeinflussen. Virtuelle Bezahlungssysteme werden mit der behördlichen Finanzaufsicht konfrontiert, während die etablierten Bankkonzerne neue Betätigungsfelder entdecken. Der Kategorie der zweigleisigen Finanzdienstleister gehören die Plattformen M-Pesa und Bitcoin an.

## Armutsbremse

Über die Hälfte der erwachsenen Weltbevölkerung hat keinen oder nur sehr beschränkten Zugang zu den Einrichtungen von Finanzdiensten. Die meisten Personen zählen zu den Ärmsten der Armen, ihr Einkommen liegt oft unter zwei US-Dollar am Tag. Diese Menschen sind von der Teilnahme am nationalen und internationalen Finanzleben ausgeschlossen. Kredite zur Existenzgründung sind ihnen versperrt, ihre spärlichen Rücklagen vertrauen sie wenig sicheren Aufbewahrungsorten an. Der Ausschluss von Finanzdienstleistungen beschleunigt die Spirale der materiellen Armut. Die wenigen, denen in den armen Ländern die Wege zur Finanzwelt offen stehen, müssen gravierende Handicaps in Kauf nehmen. Die Filialnetze der Banken sind in diesen Ländern extrem weitmaschig. Auch kleinste Transaktionen sind oft nur nach langer Anreise durchführbar. Die an die Banken zu zahlenden Entgelte sind unverhältnismäßig hoch, und Kontoeröffnungen werden massiv durch die Bürokratie behindert. Wo konventionelle Bankssysteme nur mühsam Fuß fassen, zeigt die mobile, drahtlose Kommunikation ihre starke Seite. Dass drei Viertel der Menschheit ein Mobiltelefon besitzen, war im zentralen Afrika der Auslöser, der mangelnden Infrastruktur entgegenzusteuern.

## M-Pesa

Das kenianische mobile Bezahlungssystem M-Pesa wurde 2007 von den Teledienstleistern Safaricom und Vodafone gegründet. Die Nutzung dieses Systems, das jedem Mobiltelefon-Besitzer offensteht, ist unkompliziert. Angenommen ein in der Stadt beschäftigter Arbeitnehmer will seine auf dem flachen Land lebenden Angehörigen finanziell unterstützen. Eine M-Pesa-Agentur nimmt Bargeld entgegen, der Betrag wird dem M-Pesa-Konto des Einzahlers gut geschrieben. Er überweist den Betrag mit einer SMS an den Empfänger, der Empfänger holt den Betrag vor Ort bei einer M-Pesa-Agentur in bar ab. Der Empfänger muss nicht einmal über ein Mobiltelefon verfügen. Das Einrichten eines Kontos setzt nicht den Eingang eines monatlichen Mindestbetrags voraus, und die meisten Transaktionen verursachen keine vom Inhaber zu tragenden Kosten. Da auch zahlreiche kleine Einzelhändler als Agenten des M-Pesa-Systems auftreten, ist der Flächendeckungsgrad in Kenia überdurchschnittlich hoch. Der administrative Aufwand bei der Kontoeröffnung hält sich in Grenzen, der nationale Personalausweis genügt. M-Pesa hat einen erstaunlichen Markterfolg zu verzeichnen. Nach Angaben von Safaricom nutzen von den 42 Millionen Kenianern 15 Millionen aktiv das M-Pesa-System. Den Nutzern stehen mehr als 40000 M-Pesa-Agenten zur Seite. Im monatlichen Durchschnitt hat das System einen Umsatz von 80 Milliarden kenianische Schilling, etwa 684 Millionen Euro, das sind rund 30 % des nationalen Bruttosozialprodukts!

## Finanzaufsicht

M-Pesa wurde ohne Mitwirken eines kompetenten, aus der traditionellen Finanzwelt kommenden Partners ins Leben gerufen. In seinem Rapport *Regu-*



*latory issues around mobile Banking* beschreibt Paul Makin, wie intensiv M-Pesa nach einem Branchenkenner Ausschau hielt. Die etablierten Banken zeigten durchgehend nur Desinteresse. Paul Makin leitet die Sparte Mobil Banking bei Hyperion, einem Unternehmensberater-Konsortium, das den Aufbau von M-Pesa von Anfang an begleitet hat. Das Fehlen eines der Bankenlandschaft angehörenden Partners rief die staatliche Finanzaufsichtsbehörde auf den Plan. Dieser Behörde ist die Aufgabe übertragen, die Sicherheit und Stabilität des Finanzsystems zu gewährleisten. Die Verantwortlichen beäugten den neuen Finanzplayer mit Skepsis. Zunächst setzte sich die Ansicht durch, dass ein Bezahlssystem dieser Dimension unabdingbar unter der Ägide einer etablierten Bank stehen muss. Paul Makin schreibt: „Die Entscheidungsträger waren der Ansicht, dass zu Zeiten einer weltweiten Finanzkrise ausschließlich ein Bankunternehmen für Stabilität sorgen kann“ [1]. Schon während der Vorbereitungsphase war M-Pesa vorausschauend bemüht, späteren Konflikten mit den Behörden aus dem Weg zu gehen. Für die Datensicherheit sorgt eine *End-to-End-Verschlüsselung*, auf der Seite der Server wurden *Hardware Security Models* installiert. M-Pesa erfüllt die gesetzliche Auflage *Know Your Customer*, die Bankinstitute verpflichtet, die Identität der Kunden zu verifizieren, bevor sie Transaktionen vornehmen können. Nach einigem Tausziehen bekam Safaricom entgegen der anfänglichen behördlichen Vorbehalte doch eine Banklizenz. M-Pesa ist ein Schulbeispiel für einen Marktneuling, der mit einem innovativen Produkt die Marktlandschaft aufwirbelt und die dort angesiedelten Player zu Veränderungen zwingt. Inzwischen ist bei den Skeptikern das Eis getaut, die früher unversöhnlichen Lager wachsen zusammen. Safaricom und Vodafone kündigten im November 2012 an, dass sie mit der Commercial Bank of Africa kooperieren. Unter dem Label „M-Shwari“ haben M-Pesa-Nutzer nun die Option, verzinsten Sparkonten zu führen und kostengünstige Kleinkredite aufzunehmen. Nationale und internationale Gremien, sowohl im Bereich der Telekommunikation als auch im Finanzwesen, arbeiten an Reformen der Rahmenbedingungen. Überarbeitete Verfahren und Abläufe sollen dem weltweiten mobilen Banking zum Durchbruch auf breiter Front verhelfen.

## Bitcoin

Auch das dezentrale elektronische Geldsystem Bitcoin bringt neue Impulse in die Welt des Wer-



teustauschs. Bitcoin arbeitet nach dem Peer-to-Peer-Prinzip, eine zentrale Institution ist nicht vorhanden.

Konventionelle elektronische Transaktionen vom Absender zum Empfänger sind auf einen Dritten angewiesen, der die Transaktionen freigibt und realisiert. Der Dritte, zum Beispiel eine Bank, muss sicherstellen, dass der Absender das elektronische Geld nicht schon im Vorfeld ausgegeben hat. Die zentrale Institution hat Kenntnis von sämtlichen im System getätigten Vorgängen. Auf der Basis dieser Informationen verhindert sie, dass bereits verbrauchtes Geld ein zweites Mal zur Bezahlung eingesetzt wird.

Im Protokoll von Bitcoin ist ein innovatives Konzept verankert, das Transaktionen ohne Mitwirken eines externen, allwissenden Dritten möglich macht. Hier ist der allwissende Dritte das System selbst. Die Transaktionen sind anonym, von der ältesten bis zur jüngsten Transaktion sind alle Vorgänge in einem kontinuierlich wachsenden Archiv abgelegt, das allen Bitcoin-Teilnehmern zugänglich ist.

Eine M-Pesa-Agentur in Mwanza (Foto: Emil Sjöblom CC BY-SA 2.0)

Bild 1.  
Kurskapriolen des  
Geldsystems Bitcoin

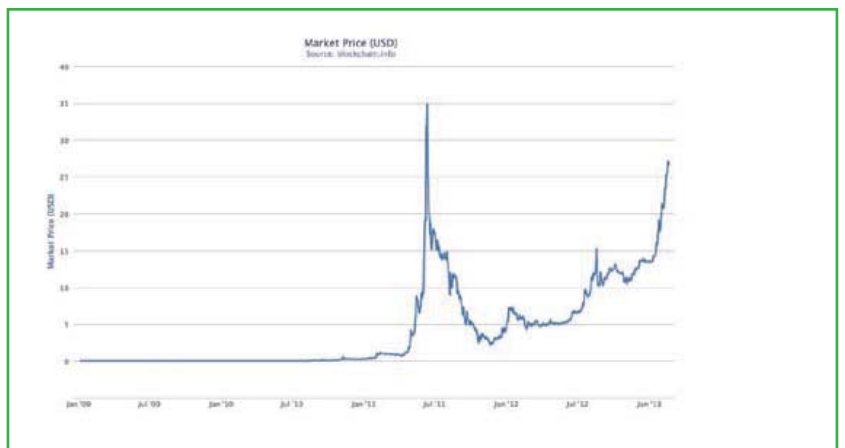






Bild 2.  
Eine M-Pesa-Agentur in  
Bunda (Foto: Emil Sjöblom CC  
BY-SA 2.0)

Das Manipulieren des Archivs durch Kriminelle wird mit dem Einsatz der gesamten im Netzwerk verfügbaren Rechenleistung verhindert. Die Netzknoten werden über neue Transaktionen in Datenpaketen informiert, die hier Blöcke genannt werden. Die Transaktionen können nur mithilfe eines ausgeklügelten mathematischen Verfahrens verifiziert werden. Der Algorithmus ist so komplex, dass nur die gemeinsame Rechenleistung des Systems in Abständen von zehn Minuten einen einzelnen Block berechnen kann. Jeder Block enthält alle vorangegangenen Blöcke, er stellt eine Blockkette dar, in die sämtliche Transaktionen eingebunden sind. Um einen einzigen Block in der Kette zu manipulieren, müssten Kriminelle alle vorangegangenen Blöcke neu berechnen. Aus diesem Prinzip folgt, dass die Kriminellen über mindestens die Hälfte der Rechenleistung verfügen müssten, die im Netzwerk vorhanden ist. Ebenso wie M-Pesa ist auch Bitcoin keine Insel im Gefüge der Banken, es gibt Brücken zwischen dem virtuellen Geld und dem konventionellen Geld. Bitcoin-Geld ist auf Bitcoin-Börsen wie *Mt. Gox* oder *Bitcoin Central* in Euro oder Dollar konvertierbar. Im Dezember 2012 verkündete Bitcoin stolz, dass das Unternehmen in Europa offiziell als Finanzdienstleister zugelassen wurde. Jetzt kann jeder EU-Europäer sein in Euro verdientes Gehalt in „Bitcoins“ einwechseln und damit bezahlen. Das hinter Bitcoin stehende Unternehmen Paymium sieht in der Zulassung einen Meilenstein auf dem Weg zur breiten Akzeptanz in der Öffentlichkeit.

Das anonymisierende dezentrale Konzept von Bitcoin ist verglichen mit herkömmlichen Banksystemen ein so genannter *Game Changer*. Die Transaktionen sind zwar einzeln nachvollziehbar, es bleibt jedoch verborgen, wer sie vorge-

nommen hat. Bezogen auf die meisten in der Vergangenheit installierten Zahlungssysteme ist dies ein elementarer Unterschied. Nur wenn der Geldumlauf wenigstens in großen Teilen transparent ist, kann die Finanz- und Wirtschaftspolitik überwachend und steuernd eingreifen.

Der Fluss der „Bitcoins“ innerhalb des Bitcoin-Systems ist personenbezogen nicht nachvollziehbar. Erst beim Konvertieren in konventionelle Zahlungsmittel wie Euro oder Dollar lässt sich die Identität des Transakteurs feststellen. Im Hinblick auf den in den Industriestaaten „gläsernen“ Bankkunden hat Bitcoin entscheidend mehr Privatsphäre zu bieten.

## Europäische Zentralbank

Der Börsenwert von Bitcoin hängt in hohem Maß von der Akzeptanz und vom Vertrauen der Nutzer ab. Anders als beispielsweise nationale Zahlungsmittel unterliegt der Wechselkurs keinen staatlichen Regularien. Hier setzt die Kritik von Skeptikern an, sie sehen darin eine generelle Schwäche dezentraler Systeme. Stark schwankende Kurse würden Spekulanten in Scharen anziehen, was schlimmstenfalls zum Kollaps des gesamten dezentralen Systems führen könnte. Die Börsenverlauf von Bitcoin (**Bild 1**) dokumentiert zwar einige Kurskapriolen, doch seit Anfang 2012 steigt der Kurs stetig.

Bitcoin hat inzwischen die Aufmerksamkeit der Europäischen Zentralbank ECB auf sich gezogen. Die ECB untersucht, inwieweit das virtuelle Geld eine Bedrohung ihrer Kernziele sein könnte. Dazu zählt vornehmlich die Sicherung der Finanz- und Preisstabilität in den Mitgliedsländern [2]. Zurzeit sieht die ECB keinen Handlungsbedarf, denn die bei Bitcoin umlaufende Geldmenge ist so gering, dass Auswirkungen auf die Wirtschaft in Europa nicht zu befürchten sind. Trotzdem scheint die ECB das vielleicht zukunftsweisende virtuelle Geld ernst zu nehmen. Ein Indiz ist die Tatsache, dass die ECB die „Bitcoins“ ihrer Verantwortlichkeit unterstellt hat. Nach Ansicht der ECB könnte virtuelles Geld ein Beitrag zur finanziellen Innovation und zur Entwicklung alternativer Bezahlssysteme sein.

(120752)gd

## Weblinks

- [1] [www.oecd.org/ict/4d/43631885.pdf](http://www.oecd.org/ict/4d/43631885.pdf)
- [2] [www.ecb.europa.eu/pub/pdf/other/virtualcurrencyschemes201210en.pdf](http://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/other/virtualcurrencyschemes201210en.pdf)

**SPECIAL: SAVE 50% SPECIAL: SAVE 50% SPECIAL**

# Celebrate Circuit Cellar's **25<sup>th</sup> Anniversary**



**\$25** Print or Digital :: **\$50** Combo

Celebrate *Circuit Cellar's* 25th year of bringing readers insightful analysis of embedded electronics technology.

Visit [www.circuitcellar.com/el912](http://www.circuitcellar.com/el912) to take advantage of these great deals.

**BONUS OFFER! BONUS OFFER! BONUS OFFER! BONUS OFFER!**

Sign up today and you'll also receive the **Special 25<sup>th</sup> Anniversary Edition** with your subscription!







1



2



3

# Audion-Bausatz Radiomann (ca. 1956)

## Als Spielzeug für Jungen noch lehrreich war...

Von **Peter Beil** (D)

Erinnern Sie sich noch an Ihre Jugend, als Sie die ersten Gehversuche in der Welt der Elektronik unternahmen? Für mich und wahrscheinlich viele andere Zeitgenossen war ein Radio in den 1950er Jahren von größter Faszination. Der Bau eines eigenen Empfängers war fast unmöglich, denn Händler, von denen man sich Bauteile hätte schicken lassen können, die gab es so gut wie nicht.

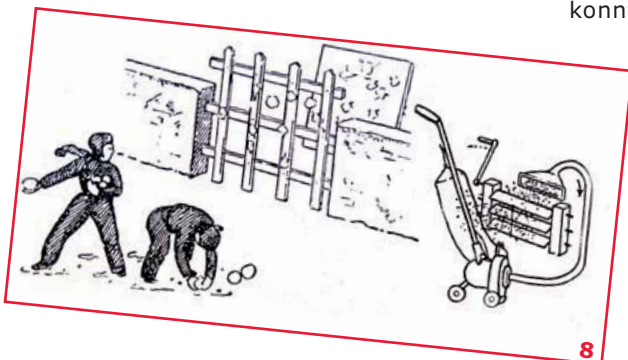
Diese Marktlücke füllten damals so genannte Experimentierkästen des Stuttgarter Kosmos-Verlags, wodurch die Tür zur Elektronikwelt für interessierte Jugendliche und zukünftige Ingenieure geöffnet wurde. Auch wenn der Kasten optisch etwas schlicht wirkte (**Bild 1**), waren damit doch immerhin 80 Experimente möglich.

Man muss berücksichtigen, dass die Halbleitertechnik damals noch mehr als in den Kinderschuhen steckte. Elektronik arbeitete mit „Elektronenröhren“. Mit Röhren konnte man nicht nur verstärken, sondern auch steuern, regeln oder gleichrichten. Zwar existierte schon das Fernsehen, doch hatte dieses Medium damals für bastelnde Jungen keine praktische Relevanz. Der „Radiomann“

machte nicht nur Spaß, sondern war eine unterhaltsame Art, sich Wissen über Wellentheorie, Nieder- und Hochfrequenz sowie Röhrentechnik anzueignen (**Bild 2**). Alles war erstaunlich einfach: Der Kondensator bestand aus einer Kunststoffplatte, die vorne und hinten mit Metallfolie beklebt war (**Bild 3**). Einen Widerstand stellte man selbst



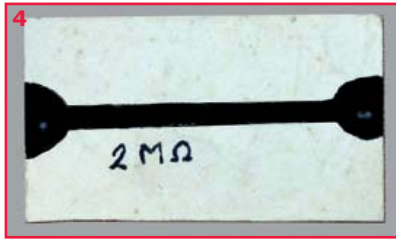
7



8



9

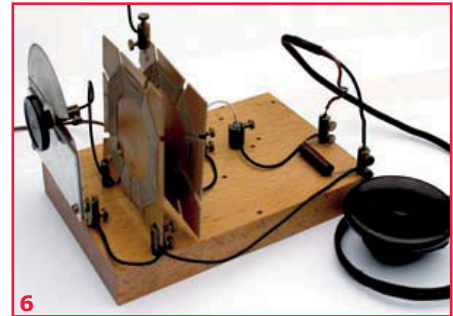
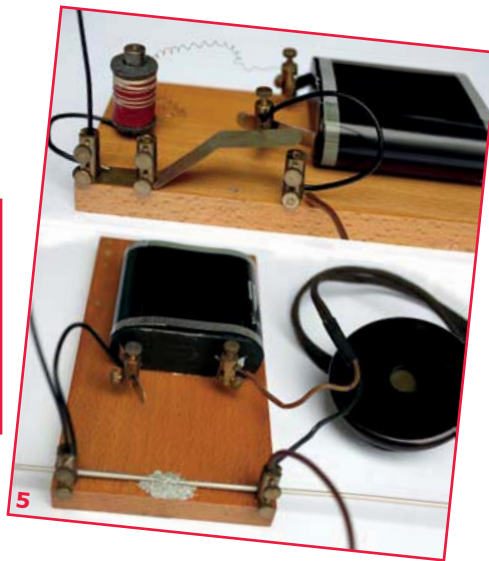


her, indem man einen dicken Bleistiftstrich auf einen Karton malte (**Bild 4**). Ich habe den Wert dieses „Widerstands“ nachgemessen: Er hatte fast genau 2 MΩ. Zunächst wurde er mit schwarzer Tusche vorgemalt, dann kam der Abgleich durch Übermalen mit einem Bleistift.

Die Experimente wurden auf einem Holzbrett aufgebaut, wobei Buchsen aus Messing in vorgebohrten Löchern steckten. Auf diese Weise lernte man mit einem Fritter, was Induktion ist, und produzierte sogar eine Funkübertragung (**Bild 5**). Wer beim Begriff Fritter fragend dreinschaut: Es handelt sich um einen einfachen Detektor für elektromagnetische Wellen, der normalerweise (aber nicht hier) aus zwei Elektroden und Eisen-spänen in einem Glasrohr besteht.

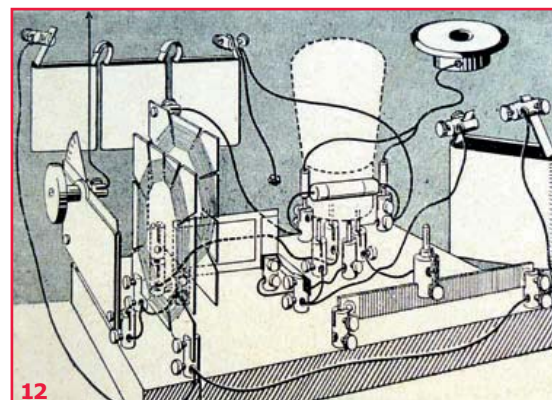
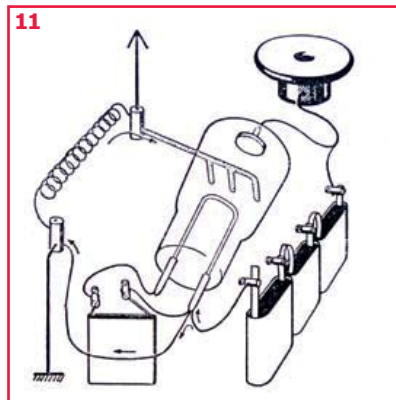
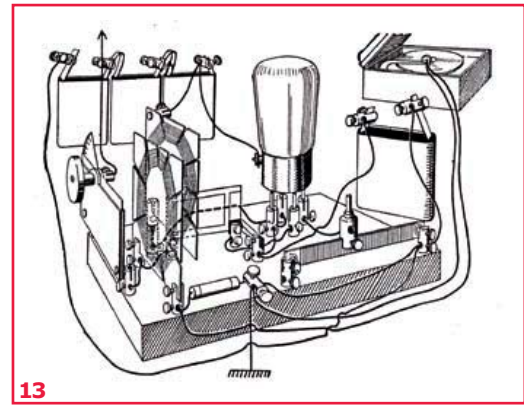
Damals war ein Kristall-Detektor mit Gegenkopp- lung die adäquate Empfängerschaltung (**Bild 6**). Da die Germanium-Diode noch unbekannt war, musste ein Bleiglanz-Kristall in Verbindung mit einem Draht mit spitzer Spitze den Halbleiter spielen. Dabei ergibt sich das Problem, einen guten Kontaktpunkt zu finden (**Bild 7**). In der Nähe eines Mittelwellensenders konnte man mit dieser Anordnung sogar einen kleinen Lautspre- cher betreiben.

Die Einführung in die Geheimnisse der Elektro- nenröhre geschah anhand von Beispielen, die sogar für Jugendliche gut verständlich waren. So wurde die Funktion der Anode mit einem Staub-



sauger verdeutlicht, und die durch das Gitter (ein- stellbare Sonnenblende) fliegenden Elektronen wurden mit Schneebällen verglichen (**Bild 8**). Meine eigene Röhre ist in den letzten 60 Jahren leider verloren gegangen. Übrig blieb lediglich die Grafik auf der Schachtel (**Bild 9**). Bei dieser Röhre handelte es sich um das Modell RE074d von Telefunken, eine direkt geheizte Triode mit Raum- ladungsgitter. Als diese in der Nachkriegszeit nicht mehr länger erhältlich war, wurde sie durch die Sonderanfertigung DM300 (**Bild 10**) ersetzt. Da dies keine Raumladungs-Röhre war, wurde sie kurzerhand als normale Tetrode betrieben, indem die Gitteranschlüsse vertauscht wurden. In dieser Anwendung machte sie keinerlei Probleme, obwohl sie technisch ungünstig direkt mit Gleichstrom geheizt wurde.

Die Röhre benötigte eine untypi- sche Heizspannung von 3,5...4 V und hatte ein Doppelgitter. Die Anodenspannung war mit 12...20 V recht harmlos. Die niedrige Spannung war natür- lich nur ausreichend, weil das zweite Gitter mit der Anoden-





Retronik ist eine monatliche Rubrik, die antiker Elektronik und legendären Elektorschaltungen ihre Referenz erweist. Beiträge, Vorschläge und Anfragen telegrafieren Sie bitte an Jan Buiting (editor@elektor.com).

spannung verbunden war. Der ganze Apparat wurde von einigen der damals weitverbreiteten 4,5-V-Taschenlampenbatterien vom Zink-Kohle-Typ (IEC 3R12, siehe **Bild 11**) versorgt.

Die Experimente gipfelten im Bau eines Audions mit Rückkoppelung, das eine recht gute Trennschärfe bot (**Bild 12**). Wenn man einen Plattenspieler (sofern man einen hatte) an einen „verkehrt herum“ betriebenen Empfänger anschloss, konnte man die Musik über die sagenhafte Distanz von 3 m per Funk an ein anderes Radio übertragen (**Bild 13**). Das wurde wohl zu allerhand Unfug missbraucht, weswegen dieses Experiment in den späteren Versionen unter den Tisch fiel. Dieser und andere Baukästen wurden von Dr. Wilhelm Fröhlich ersonnen, der als Lehrer am Bodensee tätig war. Seine Motivation war, seinen Schülern die Technik mit einfachen physikalischen Experimenten näher zu bringen.

Während der 1960er Jahre wurde der Radiomann mit einer EF89-Pentode erweitert und erhielt dann

sogar einen Transistor. Später dann hat der weithin bekannte Elektor-Autor Burkhard Kainka den Kasten an modernere Technik angepasst.

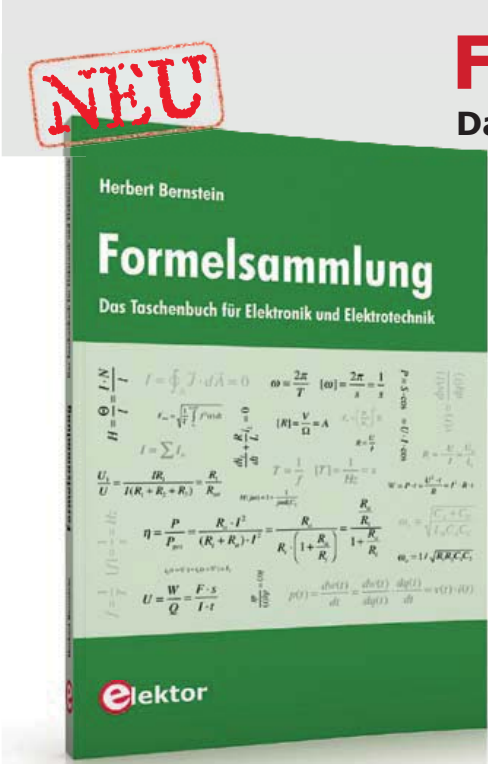
Die hier beschriebene Ausführung von 1956 kostete damals DM 28,50 (entspräche heute etwa 43 Euro), dazu kamen noch DM 11,50 (heute 17 Euro) für die getrennt verkaufte Röhre. Damals war das eine größere Stange Geld, die mich einige Überredungskunst kostete, woran ich aber viel Freude hatte. Auch heute noch ist der Franckh-Kosmos-Verlag beim Thema Lernen ganz vorne dabei und bietet z.B. Experimentierkästen auf der Basis der Arduino-Boards.

Interessanterweise findet man sehr viele Informationen über den Radiomann im Internet. Man kann nur über die Resultate staunen, wenn man nach „Kosmos Radiomann“ googelt.

(120650)

Originalzeichnungen mit freundlicher Genehmigung der Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. KG, Stuttgart. Fotos vom Autor.

Anzeige



## Formelsammlung

### Das Taschenbuch für Elektronik und Elektrotechnik

Diese „Formelsammlung“ beinhaltet alle wichtigen Details für Ingenieure, Techniker, Meister und Facharbeiter in der Elektrotechnik und Elektronik, die in der Forschung, Entwicklung und Service tätig sind. Darüber hinaus ist es auch als Nachschlagewerk, besonders für Schüler, Studenten und Lehrkräfte an Technischen Hochschulen, Fachhochschulen, Techniker- und Meisterschulen gedacht.

Der Autor hat für komplexe Vorgänge oder Formeln praktische kurze Erklärungen, Näherungsformeln und Rechenbeispiele entwickelt, ohne die Darstellungen zu simplifizieren.

Der in zehn Hauptkapiteln gegliederte Buchinhalt mit praxisorientierten Fakten ist so aufbereitet, dass das Nachschlagen und Aufsuchen der gewünschten Themen sehr leicht ist. In den einzelnen Kapiteln finden Sie immer die notwendigen mathematischen und physikalischen Formeln sowie die wichtigsten Tabellen.

**Aus dem Inhalt:**

- Gleichstromkreis mit den Grundsicherungen der Elektrotechnik
- Wechselstromkreis
- Dioden mit Berechnungen und Anwendungen
- Transistoren mit Kennwerten und Kennlinien
- Feldeffekttransistor, MOSFET und Röhren
- Spezialbauelemente mit Thermistoren
- Operationsverstärker mit Grundsicherungen
- Leistungselektronik
- Messtechnik
- Digitaltechnik

272 Seiten (kart.) · Format 14 x 21 cm · ISBN 978-3-89576-251-2  
€ 29,80 · CHF 37,00



Weitere Infos & Bestellung unter  
[www.elektor.de/formelsammlung](http://www.elektor.de/formelsammlung)

# Hexadoku Sudoku für Elektroniker

Auch wenn dies die Aprilausgabe ist: Unser Hexadoku können Sie ganz ernst nehmen. Wir laden Sie wieder dazu ein, so lange Ihre kleinen grauen Zellen zu bemühen, bis Sie alle Zahlen herausgefunden haben. Diejenigen, die uns die richtigen Hex-Ziffern in den grauen Kästchen zuschicken, nehmen wie immer an einer Verlosung von vier schönen Gutscheinen teil!

Die Regeln dieses Rätsels sind ganz einfach zu verstehen: Bei einem Hexadoku werden die Hexadezimalzahlen 0 bis F verwendet, was für Elektroniker und Programmierer ja durchaus passend ist. Füllen Sie das Diagramm mit seinen 16 x 16 Kästchen so aus, dass alle Hexadezimalzahlen von 0 bis F (also 0 bis 9 und A bis F) in jeder Reihe, jeder Spalte und in jedem Fach mit 4 x 4

Kästchen (markiert durch die dickeren schwarzen Linien) **genau einmal** vorkommen. Einige Zahlen sind bereits eingetragen, was die Ausgangssituation des Rätsels bestimmt.

Wer das Rätsel löst - sprich die Zahlen in den grauen Kästchen herausfindet - kann wie jeden Monat einen Hauptpreis oder einen von drei Trostpreisen gewinnen!

## Mitmachen und gewinnen!

Unter allen internationalen Einsendern mit der richtigen Lösung verlosen wir einen **Eurocircuits/Elektor-PCB-Service-**

**Gutschein im Wert von 100 €** und drei

**Elektor-Bücher-Gutscheine im Wert von je 50 €.**

## Einsenden

Schicken Sie die Lösung (die Zahlen in den grauen Kästchen) per E-Mail, Fax oder Post an:

Elektor – Redaktion – Süsterfeldstr. 25 – 52072 Aachen

Fax: 0241 / 88 909-77 E-Mail: [hexadoku@elektor.de](mailto:hexadoku@elektor.de)

Als Betreff bitte nur die Ziffern der Lösung angeben!

**Einsendeschluss ist der 30. April 2013!**

## Die Gewinner des Hexadokus aus der Ausgabe Januar/Februar stehen fest!

Die richtige Lösung ist: **02518**.

Der Elektor-Gutschein über 100 € geht an: Jean-Claude Pouillet.

Einen Elektor-Gutschein über je 50 € haben gewonnen: Mike Corteling, Georgios Mpeinas und Hans Pfister.

Herzlichen Glückwunsch!

9					E		7	A			8				
5		B		3				8	C	6		0	2		
A		3	0	8	4		7		2		E				C
		7			0	5	2		3	9	B	4	A	D	
			E			F		9							
		9		5	2	B	0		A	C		7	E		4
		1	F			7	E					A	B		3
	A			9				F				0	1		
	2			A				B				6	4		
		5	7			8	6					1	C		D
		F		2	7	9	C		5	4		B	3		0
			C			4		A							
		E			6	C	A		0	5	4	D	1	8	
0		C	6	D	E		8			F		2			B
1		A		F					7	D	0		6	E	
4						2		8		1			F		

F	A	C	4	D	0	2	5	1	8	B	7	9	3	E	6
9	5	D	E	6	7	1	8	2	0	A	3	F	B	4	C
2	6	B	1	3	9	4	A	D	C	E	F	0	7	5	8
0	7	3	8	E	B	F	C	4	5	6	9	1	D	2	A
1	C	F	A	2	4	7	9	3	6	D	8	B	E	0	5
6	0	E	9	5	1	D	F	B	7	4	C	2	A	8	3
B	2	5	3	8	A	6	E	9	1	F	0	C	4	D	7
8	D	4	7	0	3	C	B	A	2	5	E	6	F	1	9
3	B	1	2	C	D	9	7	E	F	8	A	5	0	6	4
4	E	6	C	F	2	8	3	0	9	7	5	D	1	A	B
A	9	0	5	4	E	B	1	6	D	3	2	7	8	C	F
7	F	8	D	A	5	0	6	C	B	1	4	E	9	3	2
5	1	9	6	7	C	3	4	F	A	0	D	8	2	B	E
C	4	7	B	9	8	A	0	5	E	2	1	3	6	F	D
D	8	A	F	1	6	E	2	7	3	C	B	4	5	9	0
E	3	2	0	B	F	5	D	8	4	9	6	A	C	7	1

Der Rechtsweg ist ausgeschlossen. Mitarbeiter der in der Unternehmensgruppe Elektor International Media B.V. zusammengeschlossenen Verlage und deren Angehörige sind von der Teilnahme ausgeschlossen.



## Schaltungsprojekte für Profis

### 1 Arduino

Für den großen Erfolg der Arduino-Plattform lassen sich zwei Ursachen finden. Zum einen wird durch das fertige Board der Einstieg in die Hardware enorm erleichtert; der zweite Erfolgsfaktor ist die kostenlos verfügbare Programmieroberfläche. Unterstützt wird der Arduino-Anwender durch eine Fülle von Software-Bibliotheken. Die täglich wachsende Flut von Libraries stellt den Einsteiger vor erste Probleme. Nach einfachen Einführungsbeispielen ist der weitere Weg nicht mehr klar erkennbar, weil oft detaillierte Projektbeschreibungen fehlen. Hier setzt dieses Buch an. Systematisch werden Projekte vorgestellt, die in verschiedene Themengebiete einführen. Dabei wird neben den erforderlichen theoretischen Grundlagen stets größter Wert auf eine praxisorientierte Ausrichtung gelegt.

**270 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-257-4  
€ 39,80 • CHF 49,40**

## Bestücke und getestete Platine

### 2 Elektor-Linux-Board

Linux läuft heutzutage auf den unterschiedlichsten Geräten – sogar in Kaffeemaschinen. Es gibt daher



viele Elektroniker, die an Linux als Basis für eigene Controller-Projekte interessiert sind. Eine Hürde ist jedoch die scheinbar hohe Komplexität, außerdem sind Entwicklungsboards oft recht teuer. Mit diesem kompakten Modul, das bereits für modernste Embedded-Projekte fertig bestückt ausgestattet ist, gelingt der Linux-Einstieg ideal und preiswert zugleich.

**Art.-Nr. 120026-91 • € 64,95 • CHF 80,60**

## Apps programmieren – Schritt für Schritt

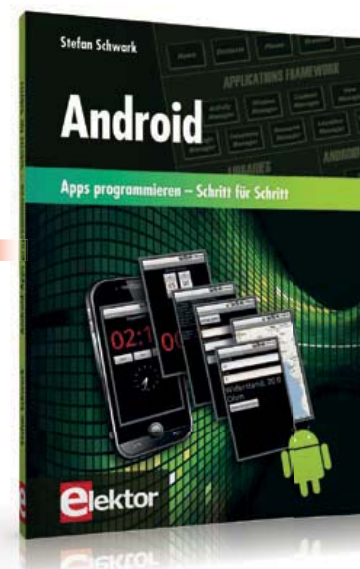
### 3 Android

Smartphones und Tablet-Computer mit dem Betriebssystem Android finden immer weitere Verbreitung. Die Anzahl der Anwendungsprogramme – die sogenannten Applikationen oder kurz Apps – mit denen sich die Geräte individuell an die Vorlieben und Wünsche ihrer Benutzer anpassen lassen, steigt täglich an. Man ist bei der Individualisierung seines Smartphones aber nicht auf fix und fertige Applikationen beschränkt.

Es ist einfacher als man denkt, Android-Geräte selber zu programmieren und eigene Apps zu schreiben. Dieses Buch bietet eine Einführung in die Programmierung von Apps auf Android-Geräten. Es erklärt leicht nachvollziehbar die Funktionsweise des Android-

Systems und Schritt für Schritt die Programmierung von Applikationen.

**256 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-252-9  
€ 34,80 • CHF 43,20**

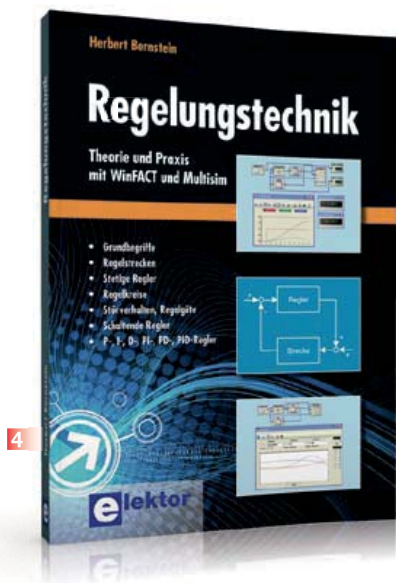


## Theorie und Praxis mit WinFACT und Multisim

### 4 Regelungstechnik

Die heutige Regelungstechnik hat Verknüpfungspunkte mit fast jedem technischen Gebiet. Ihre Anwendungen reichen von der Elektrotechnik über die Antriebstechnik und den Maschinenbau bis hin zur Verfahrenstechnik. Will man nun die Regelungstechnik anhand der fachlichen Regeln dieser einzelnen Gebiete erklären, so müsste man von einem Regelungstechniker verlangen, jedes Fachgebiet, in dem er Regelungen vornehmen will, fundiert zu beherrschen. Dies ist aber bei dem heutigen Stand der Technik nicht möglich. Bei der Regelung einer Antriebsaufgabe, einer Druck- oder einer Temperaturregelung tauchen Gemeinsamkeiten auf, die man mit einer einheitlichen Vorgehensweise beschreiben kann. Die Grundgesetze der Regelungstechnik gelten in gleicher Weise für alle Regelkreise, ganz unabhängig davon, wie verschieden sie im Einzelnen auch apparativ aufgebaut sein mögen. Dieses Buch richtet sich an den Praktiker, der





4

gründlicher in die Regelungstechnik eindringen möchte, auf ausschweifende theoretische Exkursionen in die Mathematik aber gerne verzichten kann.

**365 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-240-6**  
**€ 49,00 • CHF 60,80**

## Einstieg in die Praxis

### 5 LabVIEW 1

Das LabVIEW-Programmpaket ist ein international anerkannter Standard zur Entwicklung und Gestaltung von Messgeräten und Prozesssteueroberflächen. Seine Universalität konfrontiert den LabVIEW-Einsteiger allerdings mit einer unübersichtlichen Vielfalt von Funktionen, die er ohne fundierte Anleitung kaum überblicken kann. Hier setzt diese neue mehrteilige Lehrbuchreihe an: Von Grund auf werden in einfach nachvollziehbaren Schritten der Aufbau, die Struktur und die Verwendung von LabVIEW erklärt, in praktischen Beispielen dargestellt und mit Übungen vertieft. Der erste Band erläutert die Grunddatentypen und die zugehörigen numerischen Grundfunktionen ebenso ausführlich wie die elementaren Programmstrukturen.

**240 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-253-6**  
**€ 34,80 • CHF 43,20**



5



7



6

**NEU**

## Band 1: 35 Einsteiger-Projekte in C

### 6 ARM-Mikrocontroller

Die Projekte in diesem Buch sind für Einsteiger in C und ARM-Mikrocontroller ausgelegt. Das heißt nicht, dass diese Projekte einfach sind. Sie sind aber einfach zu verstehen. Es wird beispielsweise die USB-Verbindung zur Kommunikation benutzt, eine Methode, die im mbed-Board so einfach integriert ist, dass sie sich auch für ein Einsteiger-Buch eignet. Der mbed NXP LPC1768 nutzt Cloud-Technologie, ein revolutionäres Konzept in der Software-Entwicklung. Es bedeutet, dass man keinerlei Software auf seinem PC installieren muss, um den mbed zu programmieren. Das Einzige, was Sie brauchen, ist ein Webbrowser mit Internetzugang und einen freien USB-Anschluss an Ihrem PC.

**261 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-262-8**  
**€ 39,80 • CHF 49,40**

## Kompletter Elektor-Jahrgang 2012 auf DVD

### 7 Elektor-DVD 2012

Die neue Elektor-Jahrgangs-DVD enthält alle Artikel des Jahrgangs 2012. Sie verfügt über eine sehr übersichtlich gestaltete Benutzeroberfläche. Mit der Elektor-DVD 2012 können Sie Platinenlayouts in perfekter Qualität drucken; diese Layouts mit einem Zeichenprogramm verändern; die Schnellsuchfunktion benutzen, mit der Sie in den einzelnen Artikeln oder im ganzen Jahrgang nach Wörtern, Bauteilen oder Titeln suchen können; Schaltbilder, Platinenlayouts, Illustrationen, Fotos und Texte exportieren.

**ISBN 978-90-5381-273-0**  
**€ 27,50 • CHF 34,10**

Weitere Informationen zu unseren Produkten sowie das gesamte Verlagssortiment finden Sie auf der Elektor-Website:

**[www.elektor.de/shop](http://www.elektor.de/shop)**

Elektor-Verlag GmbH  
 Süsterfeldstr. 25  
 52072 Aachen  
 Tel. +49 (0)241 88 909-0  
 Fax +49 (0)241 88 909-77  
 E-Mail: [bestellung@elektor.de](mailto:bestellung@elektor.de)

## ●Nächsten Monat in Elektor



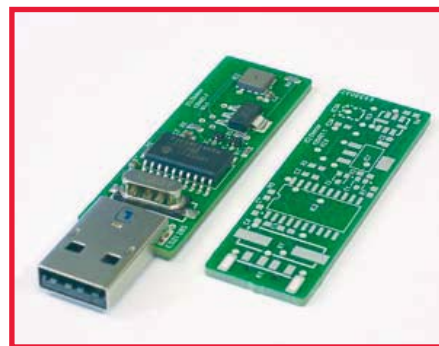
### Embedded Firmware Library

Die modular aufgebaute „EFL“ ist nicht nur eine (weitere) Bibliothek für die Mikrocontroller-Programmierung. Eigene Anwendungen lassen sich dabei hardware-unabhängig entwickeln, so dass sie leicht von einem Board auf ein anderes portiert werden können. Dabei ist man nicht auf einen Controllerhersteller beschränkt; und sogar ein Betrieb „auf“ Embedded Linux ist prinzipiell möglich. Dank diverser Funktionen für ADC, PWM, Display, TCP/IP, SD-Karten und vielem mehr eignet sich die Bibliothek auch für (C-)Einsteiger.



### Einführung in Python

Wer sein Projekt so richtig benutzerfreundlich machen will, stattet es mit einem PC-Anschluss und einer komfortablen PC-Software aus. Zu deren Programmierung wird immer öfter die Sprache Python verwendet. Und das hat einige gute Gründe. Die Syntax führt zu kompaktem und übersichtlichem Code, darüber hinaus existieren leistungsstarke Bibliotheken für die unterschiedlichsten Anwendungsbereiche. Noch wichtiger ist aber, dass Python eine interpretierte Sprache ist. Wer den Code verändert, bekommt die Auswirkungen gleich direkt auf dem Schirm angezeigt.



### Barostick

Schon mal einen USB-Stick zum Messen des Luftdrucks gesehen? Wir auch nicht; und deshalb wollen wir so ein praktisches Gerät im nächsten Heft vorstellen. Die Platine kann wahlweise mit einem Drucksensor BMP180 oder BMP085 von Bosch Sensortec bestückt werden, der über I2C mit einem PIC18F14-Mikrocontroller kommuniziert. Zum Projekt gehört Software für Windows, die auf dem PC die Messwerte verarbeitet und speichert. Wie (fast) immer bei Elektor kann man die Software natürlich auch im Quellcode herunterladen.

Elektor Mai 2013 erscheint am 24. April 2013.

Änderungen vorbehalten!

Rund um die Uhr und  
sieben Tage die Woche

Projekte, Projekte, Projekte:  
**www.elektor-labs.com**  
Machen Sie mit!



# ● **Subscribe** to *audioXpress* magazine!

Do your **electronics speak** to you? Are the words "**audio**," "**vacuum tubes**," and "**speaker technology**" music to your ears?

Then you should be **reading audioXpress!**

Recently acquired by The Elektor Group, *audioXpress* has been providing engineers with incredible audio insight, inspiration and design ideas for over a decade. If you're an audio enthusiast who enjoys speaker building and amp design, or if you're interested in learning about tubes, driver testing, and vintage audio, then *audioXpress* is the magazine for you!

## What will you find in *audioXpress*?

- In-depth interviews with audio industry luminaries
- Recurring columns by top experts on speaker building, driver testing, and amp construction
- Accessible engineering articles presenting inventive, real-world audio electronics applications and projects
- Thorough and honest reviews about products that will bring your audio experiences to new levels

Choose from print delivery, digital, or a combination of both for maximum accessibility.

Subscribe to *audioXpress* at  
**[www.audioamateur.com](http://www.audioamateur.com)**  
today!

**audioXpress**





- ✓ über 40 Jahre Erfahrung
- ✓ schneller 24-Std.-Versand
- ✓ über 40.000 Produkte am Lager
- ✓ kein Mindermengenaufschlag

### Kundenbewertungen:



Rund 98 % unserer Kunden sind vom **reichelt-Service** überzeugt\*

\* Quelle: Shopauskunft.de (21.02.2013)

## Energie sparen durch effiziente Beleuchtung!

### Lichttechnik in aktueller LED Technologie

### LED Leuchtmittel

#### Energieeffizient

#### LED-Globelampe **goobay**

Ersetzen Sie einfach Ihre 40W Glühlampe!



- 7 Watt, 480 Lumen
- Warmweißes Licht 3200 K
- Maße: 108 x 60 mm

**GB 30285 9,90**

#### Greenled LED Kerze

Ersatz für Ihre 25W Kerzenlampen



- 3,4Watt, 220 Lumen
- Farbton wie Wolframkerze 2700K
- Maße: 101 x 38 mm

**GL ES14C37-WT 9,95**

#### Greenled LED Strahler

Ultraheller GU10 Spot in keramischem Gehäuse

Sparen Sie bis zu **90%** Energie!



- 5,3W, 450 Lumen
- Optimierte Wärmeableitung
- Warmweißes Licht 3200K
- Maße: 60 x 50 mm

**GL GU10 0016 14,95**

### LED-Flutlichtstrahler

Ersetzen Sie Halogenstrahler im Außen- und Innenbereich durch energiesparende LED Technologie

- 10W, 870 Lumen
- 1 Epistar LED, warmweiß 3000K
- wetterfestes Aluminiumgehäuse, IP67
- Abstrahlwinkel 120°

**18,95**

HEIT 37009

Ausführung mit kaltweißer LED (6700K/900Lumen)  
**HEIT 37083 18,95**



**HEITRONIC**

### LED Technik für den Arbeitsplatz und den mobilen Einsatz

#### LED-Akku-Scheinwerfer

10W, 900 Lumen. Für bis zu 3 Stunden mobilen Einsatz

- 4400 mA Lithium Ionen Akku
- 1 Epistar LED, tageslicht-weiß 5500K
- wetterfestes Aluminiumgehäuse, IP65
- Abstrahlwinkel 120°



**LEUCHTE FL 10W 79,95**

#### LED Taschenlampe **tecux**

mit 5W Cree XP-G Chip

- 200 Lumen Lichtstrom
- Leuchtweite bis zu 115 Meter
- 8 Stunden Dauerbetrieb (30%)
- inkl. 4x AAA Batterien



**TECXUS RL X200 29,95**

#### Tisch-Lupenleuchte

mit eneriesprender LED-Technologie

- 125mm Echtglaslinse
- 1,75x Vergrößerung (3 Dioptrien)
- Blend- und schattenfreie Ausleuchtung
- Fester und stabiler Standfuß
- Fester, stabiler Standfuß
- Farbtemperatur 6400K, Tageslicht, weiß



**LL ZD-2012B-2H 29,95**

60 helle LEDs leuchten Ihren Arbeitsbereich optimal aus!

Die stabile Echtglaslinse mit 3 Dioptrien vergrößert kleine Gegenstände in Ihrem Arbeitsfeld!

Jetzt bestellen! **www.reichelt.de**

Bestell-Hotline: **+49 (0)4422 955-333**

**reichelt elektronik**  
Ihr kompetenter Partner für

Bauelemente • Stromversorgung • Messtechnik • Werkstattbedarf  
Haus- & Sicherheitstechnik • Netzwerk- & PC-Technik • Sat-/TV-Technik

**NEUE AUSGABE!**  
Katalog kostenlos!  
Jetzt anfordern!

