

# elektor



Genauigkeit und Komfort zu niedrigen Kosten

## 0,05 % LCR-Meter

- **Prototyping-Board für Raspberry Pi** | FPGA-Programmierung | Wecker mit Schaltfunktion | Power-LED-Treiber | **Akku-Checker** | Thermobuch
- Portables Stroboskop ● **Neues aus dem Labor**
- **Philips hue** ● Rund um die Elektronikwelt

DAS ORIGINAL SEIT 1994  
**PCB-POOL**<sup>®</sup>  
Beta LAYOUT

**muRata**

present

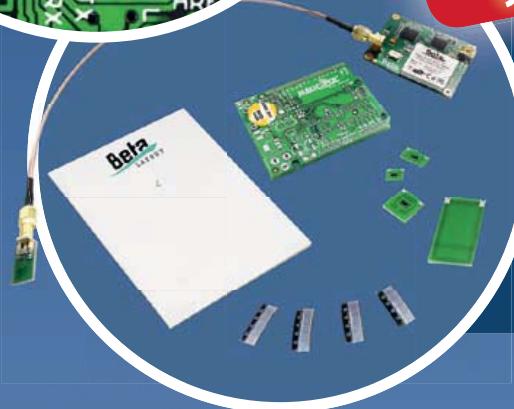
## RFID in Ihrer Leiterplatte jetzt KOSTENLOS testen



### 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)

[wwwpcb-pool.com](http://wwwpcb-pool.com)

**Beta**  
LAYOUT  
create : electronics

# Quarzlose 8-Bit USB PIC® Mikrocontroller senken Systemkosten und Stromverbrauch

0,25% Taktgenauigkeit ermöglichen USB-Anbindung, und der externe Quarz erübrig't sich



**Microchips günstigste und kleinste USB-Mikrocontroller (MCUs) bieten 14 bis 100 Pins und sind die ersten 8-Bit-MCUs, die LCD-Ansteuerung, batteriegestützte RTCC und USB auf einem einzigen Chip unterstützen.**

Microchips neueste USB PIC® MCUs verfügen über integrierte Taktquellen mit 0,25% Genauigkeit und ermöglichen so eine USB-Anbindung ohne externen Quarz. Sie sind auch die ersten USB MCUs, die 14 bis 100 Anschlüsse bieten, mit zahlreicher Peripherie ausgestattet sind und bis zu 128 KB Flash enthalten. Die eXtreme Low Power (XLP) Technologie senkt den Stromverbrauch auf nur 35 µA/MHz im Aktivmodus und auf 20 nA im Sleep-Modus.

## Kostengünstig und klein

Die PIC16F145X MCUs bieten USB-Anbindung und kapazitive Touch-Sensorik, zusammen mit umfangreicher Peripherie auf einer Stellfläche bis hinab auf 4 mm x 4 mm.

## Hochleistungsfähige Touch-Sensorik mit USB

Mit einer integrierten Charge Time Measurement Unit (CTMU) und 1,8- bis 5-V-Betrieb sind die PIC18F2X/4XK50 MCUs pinkompatibel zu vorherigen PIC18 MCUs, was den Übergang zu mehr Leistungsfähigkeit vereinfacht.

## USB plus LCD-Ansteuerung und RTCC mit Vbat

Die PIC18F97J94 Familie bietet USB-Anbindung, LCD-Ansteuerung und einen batteriegestützten Real-Time Clock Calendar (RTCC) – und das in einem einzigen 8-Bit PIC® Mikrocontroller.

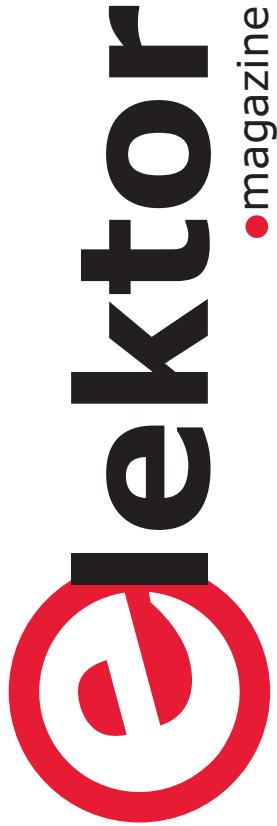
## EINFACHER START IN 3 SCHRITTEN:

1. Wahl der Peripherie und Pinzahl für Ihre Anwendung
2. Kostenlose USB-Stacks und Softwaretreiber für ein schnelleres Design nutzen
3. Sofort mit der Entwicklung beginnen – mit kostengünstigen Tools

Weitere Informationen unter: [www.microchip.com/get/eu8bitUSB](http://www.microchip.com/get/eu8bitUSB)



**Microcontrollers • Digital Signal Controllers • Analog • Memory • Wireless**



## ● Community

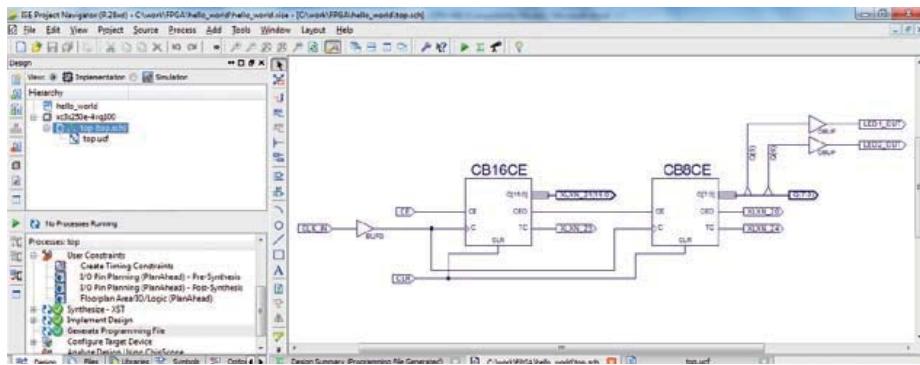
- 6 Impressum**
- 8 Design-Wettbewerb mit Toshibas M370**  
Attraktive Preise zu gewinnen
- 9 Aktuell**  
Nachruf – Korrekturen
- 10 Elektor World**  
Neues aus der Elektor-Community

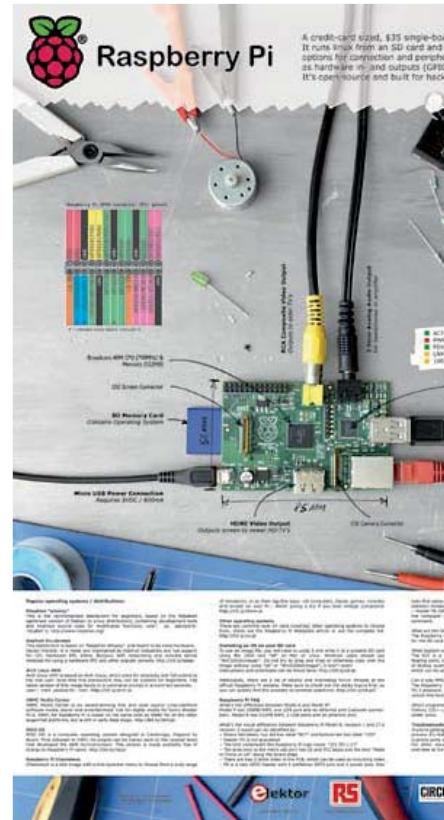
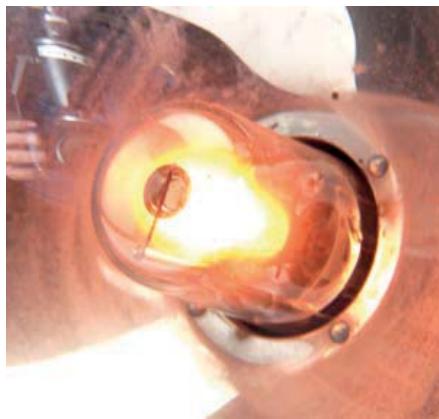
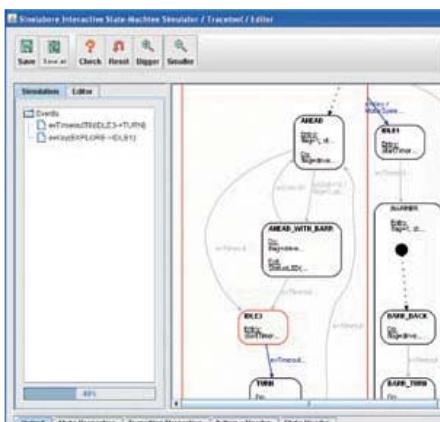
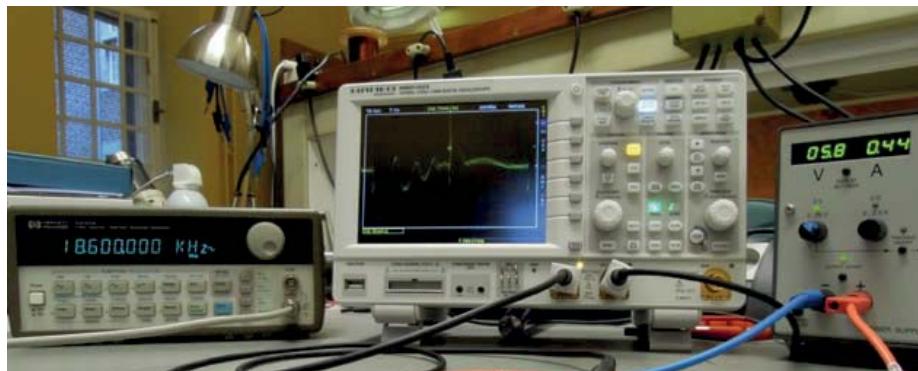
## ● Labs

- 44 Topfgucken in Elektors Küche**  
Neue Projekte auf der .Labs-Website
- 48 Netzteilgeschichten**
- 48 Stress-Test für 7805-Ersatz**
- 49 Prototypenkracher**

## ● Projects

- 14 LCR-Meter 2013 (1)**  
Mit der Ungenauigkeit von 0,05 % bietet das LCR-Meter ein Höchstmaß an Präzision, gleichzeitig ist die Bedienung extrem einfach. Hinter der minimalistisch gestalteten Frontplatte verbirgt sich modernste Messtechnik.
- 26 Prototyping-Board für Raspberry Pi**  
Mit dem Board kann man eigene Schaltungen für den „RPi“ sehr einfach realisieren.
- 32 Bauen Sie Ihren Chip! (3)**  
Die vorangegangene Folge dieser Artikelreihe zeigte, wie man eine LED zum Blinken bringt. Diesmal wollen wir den hierarchischen Aufbau eines Projekts aus Komponenten demonstrieren, die wir selbst entwickeln. Als Beispiel





haben wir einen Up-Down-Zähler gewählt, der ein zweistelliges Siebensegment-Display steuert.

## 40 Universeller Power-LED-Treiber

Seit Power-LEDs immer besser und zudem preiswert geworden sind, gibt es spezialisierte ICs, die den Bau eines Power-LED-Treibers sehr vereinfachen.

## 50 Hypermoderner 7-Tage-Wecker (2)

Digitaluhren mit Alarmfunktion sind wahrlich nicht neu, doch unsere im letzten Heft vorgestellte Variante ist wirklich etwas ganz Besonderes. In diesem zweiten Artikel-Teil wird die Elektronik näher beschrieben.

## 58 Weniger Bugs mit Zustandsdiagrammen

Ursprünglich aus der Hardwareentwicklung stammend,

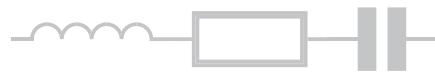
werden Zustandsdiagramme zunehmend auch auf der Softwareseite eingesetzt.

## 62 Thermobuch

Das Thermobuch misst außer Temperaturen auch die Luftfeuchte und kommt im Gewand eines Buchs daher. Das Display im Einbandrücken zeigt auf Händeklatschen wahlweise an, wie warm oder feucht die Raumluft ist.

## 66 Akku-Checker

Die Schaltung misst die Kapazität von Akkus durch kontrollierte Entladung.



## ● Industry

### 70 Philips hue

Hintergründe eines innovativen Beleuchtungssystems: Bis zu 50 intelligente RGB-Leuchten lassen sich über Funk mit nur einer Zentrale steuern. Diese Steuerung hat Netzwerkzugriff über WLAN und kann daher über das Internet angesprochen werden.

## ● Magazine

### 74 Retronik

Portables Stroboskop Philips PR9103 (1956)

### 78 Hexadoku

Sudoku für Elektroniker

### 82 Nächsten Monat in Elektor

## Impressum

44. Jahrgang, Nr. 507 März 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](mailto: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](mailto: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](mailto:elektor@ips-pressevertrieb.de)  
Internet: [www.ips-pressevertrieb.de](http://www.ips-pressevertrieb.de)

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

Der Herausgeber ist nicht verpflichtet, unverlangt eingesandte 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 Lizensen. 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

## Elektor im Netz

Seit einigen Wochen hat unsere Zeitschrift einen neuen Auftritt. Unter der Adresse [www.elektor-magazine.de](http://www.elektor-magazine.de) haben wir Funktionen von zwei Webseiten zusammengeführt: Zum einen die bisherige „Abo-Plus-Website“ und zum anderen die Rubrik „Zeitschrift“ unter der angestammten Adresse [www.elektor.de](http://www.elektor.de).

Unsere Abo-Mitglieder können auf der neuen Website alle digitalisierten Hefte seit dem Beginn des Abos herunterladen. Die besonders langjährigen und treuen Abonnenten, welche ihr Abo noch vor dem 1.1.2000 abgeschlossen haben, haben sogar Zugriff auf sämtliche Projekte aus den 1990er Jahren.

Auf der neuen Zeitschriften-Website findet man aber auch alle Downloads, die zu einem bestimmten Elektor-Projekt gehören, zum Beispiel Platinen und Software. Es versteht sich von selbst, dass diese Downloads für alle unsere Leser zugänglich sind. Wie immer ist die Webseite zu einem bestimmten Artikel über den Link [www.elektor-magazine.de/xxxxxx](http://www.elektor-magazine.de/xxxxxx) zu erreichen, wobei xxxxxx für die sechsstellige Artikelnummer steht, die man am Ende des Artikeltextes im Heft findet.

Vor dem Start der neuen „Magazine-Website“ mussten große Mengen von Daten umgezogen, neu geordnet und teilweise an eine neue Darstellung angepasst werden. Es liegt in der Natur der Sache, dass sich dabei auch Fehler einschleichen können. Wir möchten uns hiermit bei den Lesern bedanken, die uns Bugs gemeldet haben und in den ersten Wochen einiges an Geduld aufbrachten. Eine schöne, neue Zusatzfunktion ist die Volltextsuche: Falls man zum Beispiel auf der Suche nach einem Artikel ist, der sich mit „RFID“ beschäftigt, genügt es, dieses Stichwort in die Suchmaske einzugeben. Probieren Sie es einfach mal aus unter [www.elektor-magazine.com/de/volltextsuche.html](http://www.elektor-magazine.com/de/volltextsuche.html).

## Jens Nickel



## Unser Team

Chefredakteur:	Jens Nickel (v.i.S.d.P.) ( <a href="mailto:redaktion@elektor.de">redaktion@elektor.de</a> )
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  
+31 46 4389417  
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**  
Natalya 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



audioXPRESS



## Die Elektor-Community



## Unsere Partner und Sponsoren



AudioXpress

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



Microchip

[www.microchip.com/get/eu8bitUSB](http://www.microchip.com/get/eu8bitUSB) . . . . . 3



Becker & Müller

[www.becker-mueller.de](http://www.becker-mueller.de) . . . . . 13



pico

[www.usb3scope.com/TR112](http://www.usb3scope.com/TR112) . . . . . 65



Beta Layout

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



Reichelt

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



Distrelec

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



Schaeffer AG

[www.schaeffer-ag.de](http://www.schaeffer-ag.de) . . . . . 39



Eurocircuits

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



LeitOn

[www.leiton.de](http://www.leiton.de) . . . . . 39

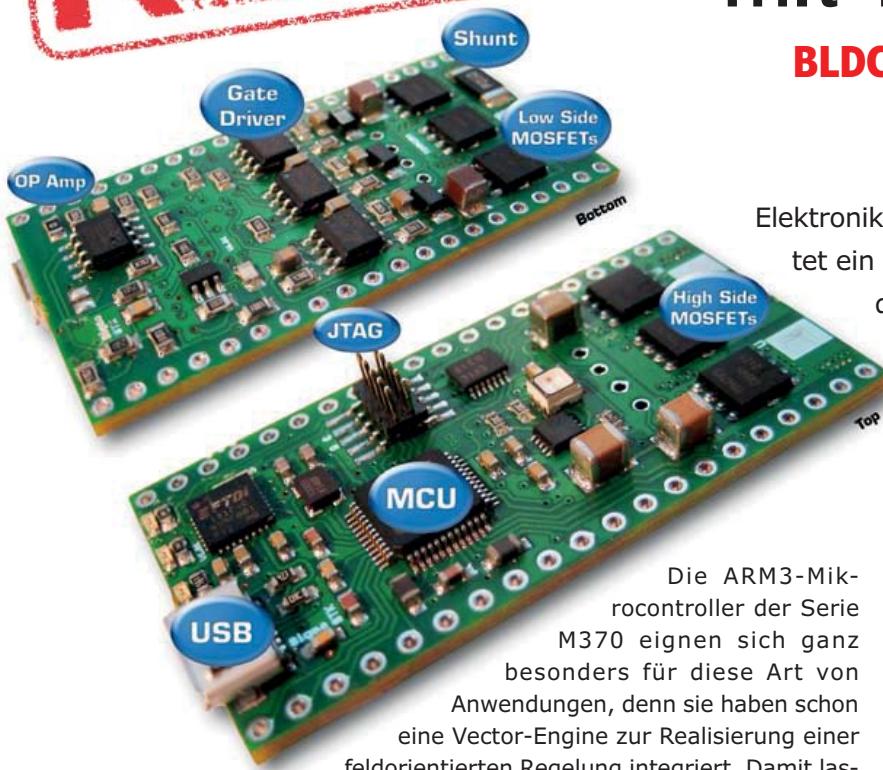


Linx Technologies

[www.linxtechnologies.com](http://www.linxtechnologies.com) . . . . . 13

## Sie möchten Partner werden?

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



Die ARM3-Mikrocontroller der Serie M370 eignen sich ganz besonders für diese Art von Anwendungen, denn sie haben schon eine Vector-Engine zur Realisierung einer feldorientierten Regelung integriert. Damit lassen sich Motorsteuerungen konstruieren, die ganz besondere Eigenschaften aufweisen. Wir sind schon ganz gespannt auf Ihre Ideen!

**Es gibt sehr 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, 2,5 Zoll (6,4 cm)
4. Preis: 16 GB Flash-Air-SD-Card
- 5.-10. Preis: 64 GB USB-Stick

Damit die Sache eine Hardware-Basis hat, können interessierte Teilnehmer demnächst ein besonders günstiges Entwicklungsboard mit passendem Controller über Elektor beziehen. Das abgebildete „Sigma-Board“ 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 genügend MOSFETs für drei Halbbrücken zur Motoransteuerung. Hinzu kommt eine hochmoderne Entwicklungsumgebung. Mit diesem Board kann man

## Design-Wettbewerb mit Toshibas M370!

### BLDC-Motor-Controller mit M370 Attraktive Preise zu gewinnen!

Elektroniker aufgepasst: Am 26. Februar 2013 startet ein hochinteressanter Schaltungswettbewerb, der von Toshiba in Kooperation mit Elektor veranstaltet wird. Entwickelt werden sollen innovative Motorsteuerungen für bürstenlose Gleichstrommotoren auf Basis der M370-Mikrocontroller von Toshiba.

also gleich praktisch loslegen.

Hinzu kommt, dass auf dem Cortex-M3-Controller eine Firmware basierend auf FreeRTOS [1] läuft, die in Kombination mit Toshibas kostenloser PC-Software MotorMind die Installation eines neuen BLDC-Motors extrem vereinfacht. In MotorMind werden die Motordaten (entsprechend dem Datenblatt) eingegeben und auf das Sigma-Board heruntergeladen - ohne eine Codezeile zu schreiben. Im Rahmen dieses Wettbewerbs kann man dieses Tool kostenlos nutzen und sich somit ganz auf die eigentliche Applikation konzentrieren. Der größte Teil der CPU-Power kann dann für zusätzliche Aufgaben genutzt werden.

Der Wettbewerb wird fünf Monate dauern, bis zum 31. Juli 2013. Eingereicht werden soll eine genaue Beschreibung des Projekts nebst Dateien und Fotos. Auch ein kleines Video wäre schön. Über das Board, den Mikrocontroller und weitere Details werden wir unsere Leser noch umfassend informieren. Übrigens beginnt der Wettbewerb gleichzeitig mit der „Embedded World“ 2013, wo man sich am Toshiba-Stand ebenfalls über die Boards informieren kann. Wer schon mal reinschnuppern möchte, der kann sich im M370/Sigma-Forum [2] von Toshiba umschauen. Bleiben Sie dran...

[1] [www.freertos.org](http://www.freertos.org)

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

## Nachruf

Am 20. Dezember 2012 verstarb unser langjähriger Buchautor, Übersetzer und Workshop-Referent Rainer zur Linde im Alter von nur 60 Jahren plötzlich und unerwartet.

Die Nachricht von seinem Tod hat uns alle tief getroffen. Rainer zur Linde hat vor über 25 Jahren sein erstes Buch geschrieben und bei uns im Verlag veröffentlicht. Es folgten noch mehrere eigene Titel sowie Übersetzungen anderer Autoren. Seine Leidenschaft für Gitarrenmusik und die damit verbundene Begeisterung für die Röhrentechnik waren Inhalt seiner Veröffentlichungen. Rainer zur Linde war und ist durch seine eigenen Veröffentlichungen und Übersetzungen sowie durch seine Tätigkeit als Workshop-Referent vielen in der Musik- und Röhrenszene bekannt.

Wir danken Rainer zur Linde für seine Verbundenheit zu uns, für seine Zuverlässigkeit und sein schriftstellerisches Engagement.



*Raimund Krings, im Namen der Elektor-Verlag GmbH und Elektor International Media*

## Updates und Korrekturen

### Flugfunk-Scanner

Elektor 1-2/2013, S. 38 (100696)

Im Artikel gibt es einige Abweichungen zwischen Stückliste und Schaltplan.

Hier die korrekten Daten der Bauteile:

- Für C2, C3 und C10 genügen Elektrolytkondensatoren mit 16 V Spannungsfestigkeit.
- C48 der Stückliste ist zu streichen. Der Kondensator wird nicht verwendet.
- L1 und L5 müssen einen Wert von 100 nH haben.
- Im Schaltplan ist D2 falsch als BB204 bezeichnet. Richtig ist die in der Stückliste angegebene BB207.

### Duo-LED-Kerze

Elektor 1-2/2013, S. 110 (120489)

In der Stückliste ist Kondensator C4 = 100  $\mu$  durch den Wert C4 = 100 n zu ersetzen.

Im Schaltplan ist C4 korrekt bezeichnet.

Die Duo-LED LD1 ist im Schaltplan abweichend mit D2 beschriftet.

Es handelt sich um dasselbe Bauteil.

### Einfaches Fahrradnetzteil

Elektor 1-2/2013, S. 108 (120600)

In der Stückliste ist die Z-Diode D1 mit 24 V angegeben und in der Schaltung versehentlich mit 12 V. Das Netzteil funktioniert mit beiden Werten, allerdings wird mit 24 V im Leerlauf weniger Energie verbraucht.



## APPKÜRZUNG

ZU ÜBER  
500.000  
PRODUKTEN



**HEUTE AUSSUCHEN,  
MORGEN AUSPACKEN!**



Ob Onlineshop oder Katalog:

Wir liefern deutschlandweit innerhalb von 24 h – ohne Mindermengenzuschlag. Lieferung ab 1 Stück.

Die Distrelec-Gruppe: Ihr Partner für elektronische Bauelemente, Automation, industrielle IT und Zubehör.

**WWW.DISTRELEC.DE**

**Bestellhotline 0180 5223435\***

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

 **DISTRELEC**  
A Datwyler Company

# Elektor World

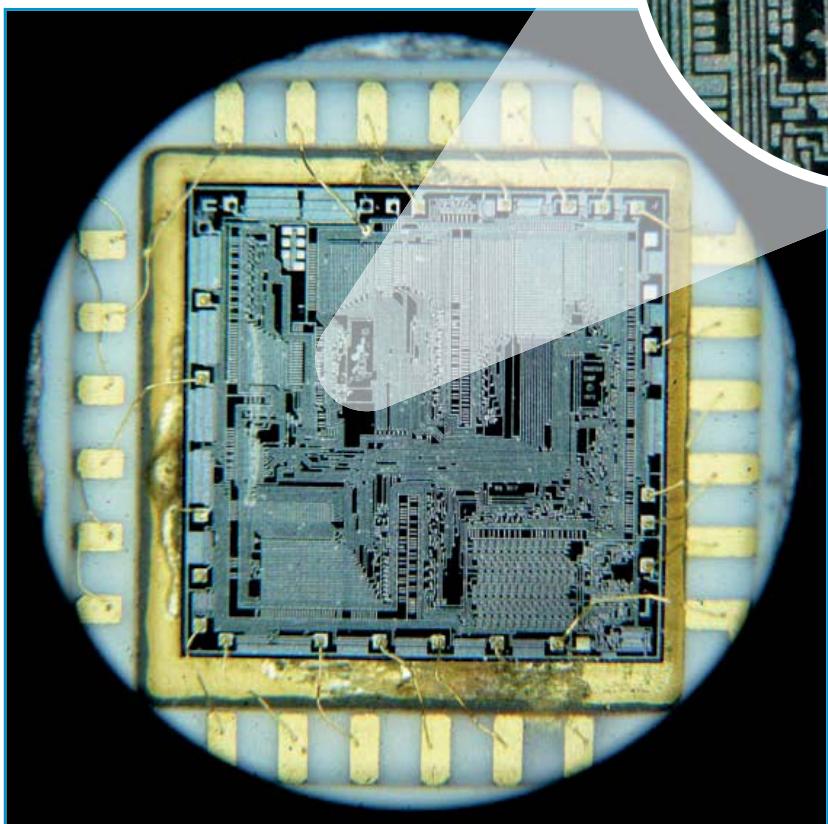
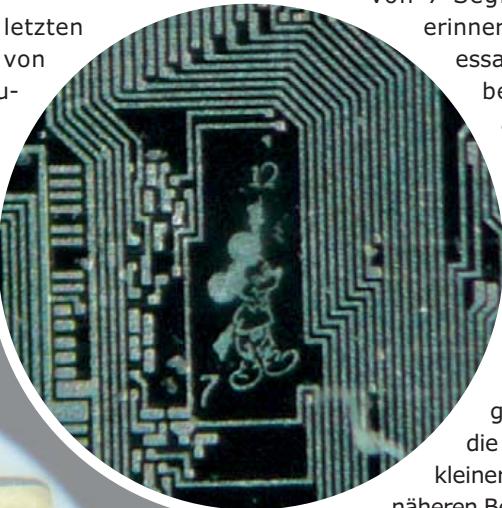
Zusammengestellt von  
**Wisse Hettinga**

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...



## Wie kommt Mickey Mouse auf den Chip?

*Elektor World* berichtete im letzten Monat von der Entkleidung von Chips in einem russischen Säurebad, dazu eine nette Reaktion von Peter van der Wetering aus Holland. Sein Hobby ist es, die Architektur alter Chip-Designs zu inspirieren. So hat er die Geheimnisse



eines Mostek MK5017AA ans Tageslicht gebracht, eines Uhrenchips mit integrierter Ansteuerung von 7-Segment-Displays. Peter erinnert sich: „Ein sehr interessantes Design, aber nicht besonders akkurat und auch sehr empfänglich für Netzstörungen.“

Als sein Bruder draußen im Schuppen mit dem E-Schweißgerät beschäftigt war, verkürzte das IC drei Tage auf drei Minuten!

Als Peter den 4x4 mm<sup>2</sup> großen Silizium-Chip unter die Lupe nahm, fiel ihm ein kleiner Fleck auf, der sich beim näheren Betrachten als ein Gag des

Entwicklers entpuppte, als Mickey Mouse, mit gestreckten Armen zwischen „7“ und „12“. Auf der Suche nach weiteren Informationen zu Mostek und zur Mickey Mouse auf dem Chip fanden wir heraus, dass Mostek von Disney-Anwälten verklagt wurde. Dazu Elmer Guritz, früherer Mostek-Mitarbeiter:

„Wir haben alle möglichen Sachen auf die Chips geätzt, zum Beispiel Woodstock auf einen HP-Rechner-Chip, eine Ratte bei Magnavox und eben Mickey auf den Uhrenchip, was irgendein Blödmann im Electronics Magazine verriet...“

Mostek wurde 1979 von United Technologies übernommen, diese wiederum von Thomson France, und so verlief die Geschichte im Sande. Aber vielleicht gibt es da draußen Leute, die uns helfen, die Ratte auf dem Magnavox-Chip zu finden... Bitte melden!



## Vor und hinter der Kamera

Das Webinar *Retronics – Best Of* am 24. Januar war aus mehreren Gründen bemerkenswert. Zum einen erlaubt ein solches Webcast altertümlicher Elektronik, im Zeitalter der Apps mit ein paar Klicks und einer marginalen Anzahl von Bits im Web wieder ins Blickfeld zu rücken.

Zweitens staunen junge Leute über den alten Kram und ältere entdecken, dass das Internet doch zu etwas taugt.

Während des 30-minütigen Webinars mit registrierten Teilnehmern auf der ganzen Welt (werfen Sie einen Blick auf das Bild des

Notebooks auf dem Beifahrersitz, es wurde in Südafrika von Brian Tristam Williams auf dem Weg zur Arbeit aufgenommen) zeigte Jan Buiting (der ausgewiesene Elektor-Experte für antike Elektronik) einige seiner Favoriten aus seiner seit 2004 bestehenden *Retronik*-Kolumne (Sie wissen schon, diese Nostalgieseiten irgendwo am Ende des Hefts). Jans Schätzchen sind jetzt auch in einem Buch zu sehen! Das Webinar ist abgespeichert und kann von Ihnen jederzeit bei [elements14.com/webinars](http://elements14.com/webinars) abgerufen werden.

Melden Sie sich schnell für das nächste Webinar an, unter [www.elektor.com/webinar](http://www.elektor.com/webinar)!



## CC25

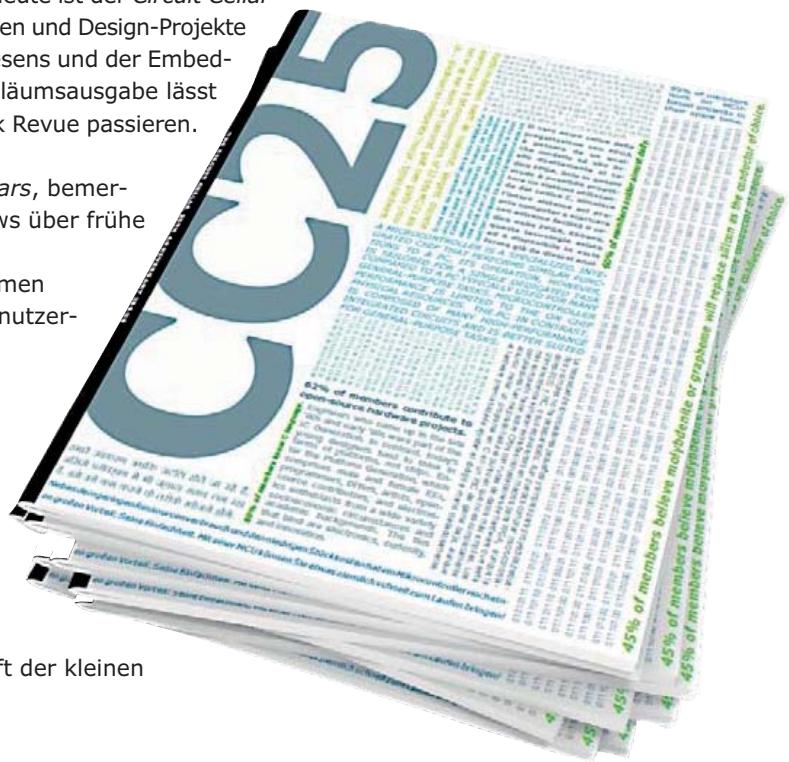
Vor mehr als einem Jahr begannen Mitarbeiter des *Circuit Cellar* in San Jose, Kalifornien, während eines Pausengesprächs die Jubiläumsausgabe zum 25. von *Circuit Cellar* zu organisieren. Nun ist das Team glücklich, diese Ausgabe der Welt vorstellen zu können (<http://circuitcellar.com/25th-anniversary/home/>). Die Zeitschrift *Circuit Cellar* wurde 1988 von Steve Ciarcia gegründet, der vorher für die Kolumne „Ciarcia's Circuit Cellar“ in *BYTE* verantwortlich war. Heute ist der *Circuit Cellar* ein Elektor International Medium und veröffentlicht Artikel, Tutorien und Design-Projekte im Bereich des professionellen elektrotechnischen Ingenieurwesens und der Embedded-Systeme auf dem neusten Stand der Technik. In der Jubiläumsausgabe lässt der *Circuit Cellar* ein Vierteljahrhundert der Embedded-Technik Revue passieren.

Die Ausgabe ist in drei Sektionen unterteilt:

- *The Past*: Artikel aus den letzten 25 Jahren des *Circuit Cellars*, bemerkenswerte Design-Projekte genau wie Essays und Interviews über frühe Embedded-Technologien.
- *The Present*: Aufsätze zu aktuellen elektrotechnischen Themen (wesentliche Embedded-Design-Prinzipien, Entwurf von Benutzeroberflächen, eingebettete Sicherheit und mehr)
- *The Future*: Orakel zur Entwicklung des elektrotechnischen Ingenieurwesens, der Embedded-Technologie und der Mikrocontroller-Industrie.

Die Ausgabe enthält die folgenden Artikel, Aufsätze und Interviews:

- Steve Ciarcia (Gründer des *Circuit Cellar*) über die Geschichte der Zeitschrift,
- Dave Tweed (Ingenieur, Herausgeber des *Circuit Cellar*) über 25 Jahre Embedded Design Projekte,
- John Regehr (Professor University of Utah) über die Zukunft der kleinen



# •Community

RAM-Mikrocontroller,

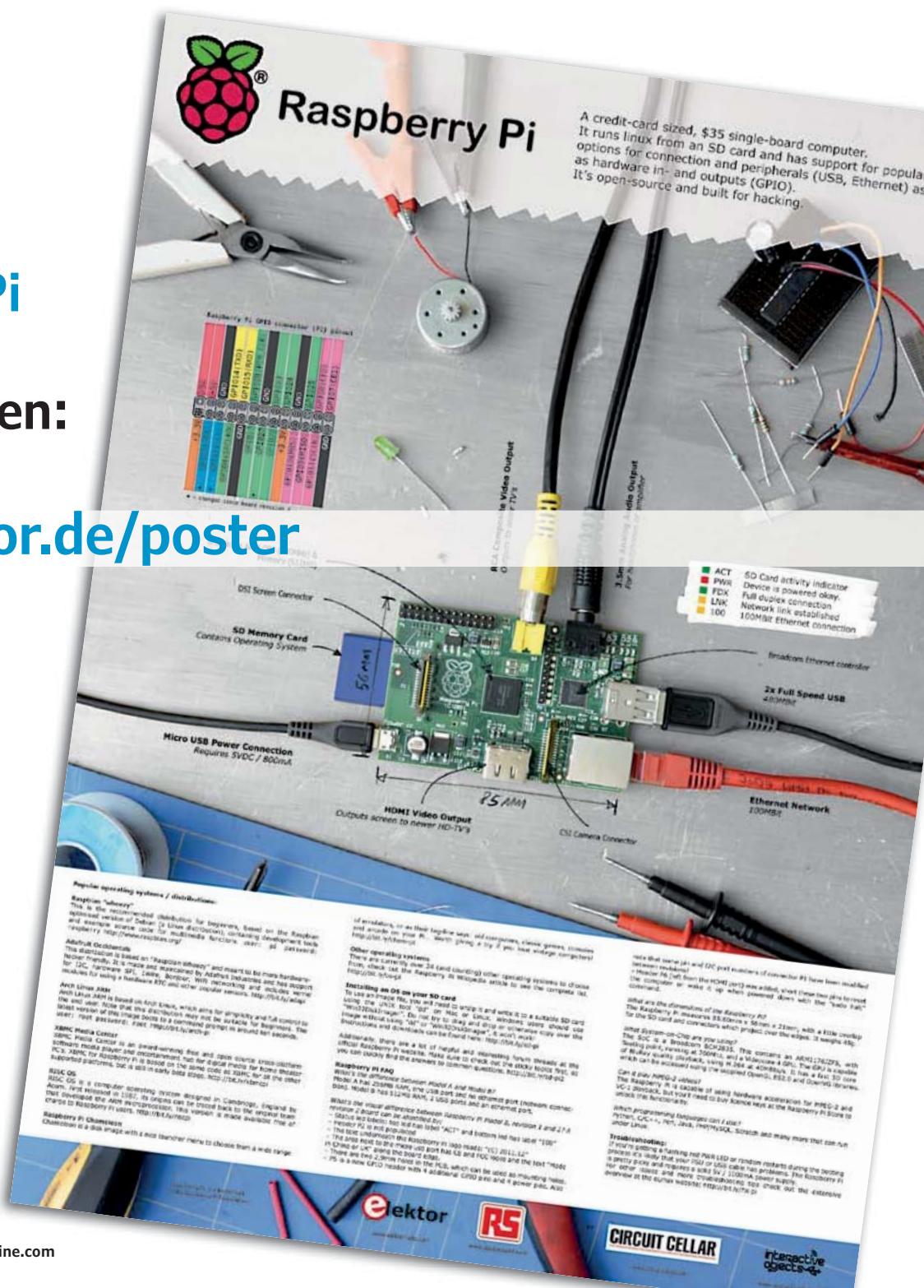
- Limor Fried (Gründer, Adafruit Industries) über die Zukunft des DIY,
- Simon Ford (Direktor von Online Tools, ARM) über die Zukunft des schnellen Prototypings
- und vieles mehr.

Es finden sich auch Interviews über die Zukunft der Technologie mit Steve Sanghi (CEO, Microchip Technology), Stefan Skarin (CEO, IAR Systems) und Jeff Kodosky (Mitbegründer von National Instruments). Besuchen Sie den [www.cc-webshop.com/CC25-Anniversary-Issue-FI-2013-CC25.htm](http://www.cc-webshop.com/CC25-Anniversary-Issue-FI-2013-CC25.htm) für weitere Informationen zu dieser einzigartigen Ausgabe!

## Kostenloses Raspberry Pi Poster

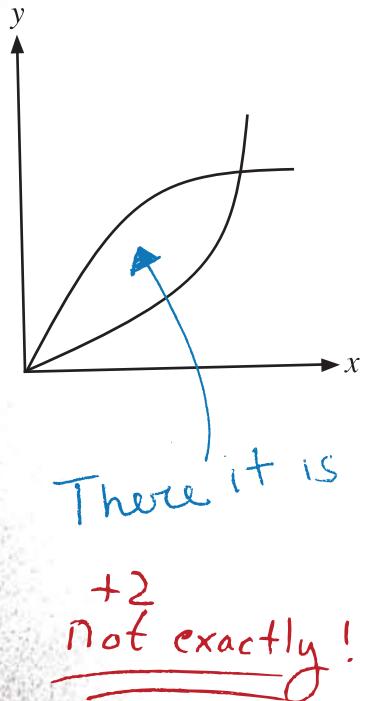
herunterladen:

[www.elektor.de/poster](http://www.elektor.de/poster)



## Calculus Quiz

2. Find the area enclosed  
by  $y = \sqrt{x}$  and  $y = x^2$   
(4 points)



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)

Rund um die Uhr und sieben Tage die Woche  
**Projekte, Projekte, Projekte:** elektor e-labs

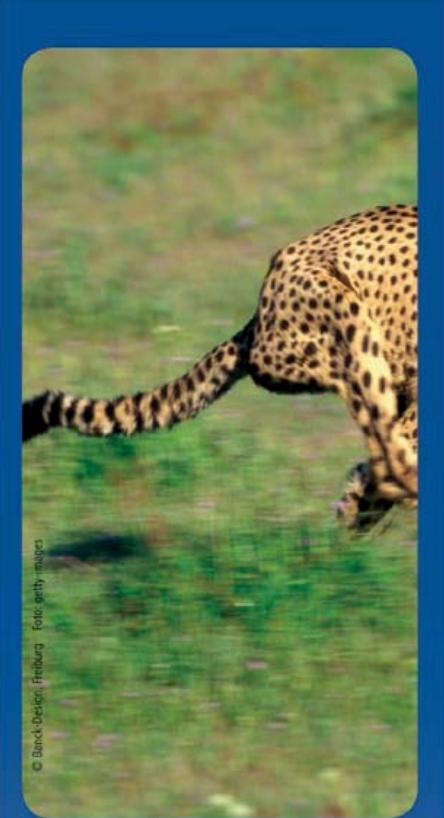
Machen Sie mit!

**WOW!  
Schon da!**

punktgenau  
plangenau  
preisgenau!

Die schnellen  
Leiterplatten-  
Spezialisten  
mit über  
25 Jahren Erfahrung!

**BECKER  
MÜLLER**   
[www.becker-mueller.de](http://www.becker-mueller.de)  
Mit Online-Kalkulator!



# LCR-Meter 2013 (1)

## Höchste Präzision zu niedrigen Kosten

Von  
Jean-Jacques  
Aubry (F)

Am Anfang dieses Projekts stand intensive Entwicklungsarbeit mit viel Liebe zum Detail, am Ende steht ein Ergebnis, auf das wir stolz sind: Mit der Genauigkeit 0,05 % \* bietet dieses LCR-Meter ein Höchstmaß an Präzision, gleichzeitig ist die Bedienung extrem einfach. Hinter der minimalistisch gestalteten Frontplatte verbirgt sich modernste Messtechnik. Wo immer passive Komponenten exakt gemessen werden müssen, hier ist das Messgerät, das auf jeden Labortisch gehört.



### Noch etwas Geduld

Über dieses Projekt gibt es viel zu berichten, so viel, dass ein einteiliger Beitrag nicht ausreicht. Das LCR-Meter und seine Realisierung haben in Elektor breiteren Raum verdient. Deshalb können Sie mit dem Bau erst beginnen, wenn alle Folgen der Artikelserie erschienen sind. Wir hoffen, dass bis dahin die Spannung erträglich bleibt...

\* siehe Eigenschaften

Eigenschaften																							
<b>Anzeige</b>	Primäre Größe (R, L oder C) Sekundäre Größe Ersatzschaltung: Reihe oder Parallel, Wahl von Hand oder automatisch Gütefaktor Q oder Verlustfaktor D, abhängig von der gemessenen primären Größe $ Z $ $\Phi$ RS + Xs oder Vx + Ix oder ADC U + ADC I																						
<b>Wählfunktion</b>	Für die primäre Größe des Messwerts (R, L oder C), nachdem der Hauptwert eingestellt ist Toleranzen: 1 %, 2 %, 5 %, 10 %, 20 %																						
<b>Messbereich</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Größe</th><th>Wert</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>L</td><td>0,1 nH ... 100 H</td></tr> <tr> <td>C</td><td>0,1 pF .... 100 mF</td></tr> <tr> <td>R, <math> Z </math></td><td>0,1 mΩ ... 1000 MΩ</td></tr> <tr> <td>Q oder D (<math>D = 1/Q</math>)</td><td>0 .. 10000</td></tr> <tr> <td><math>\Phi</math></td><td>- 90,00 ° ... +90,00 °</td></tr> <tr> <td>Rs, Xs</td><td>0,1 mΩ ... 1000 MΩ</td></tr> <tr> <td>Ux und Ix</td><td> <table border="1"> <tr> <td>Ux</td><td>0 ... 500 mV</td></tr> <tr> <td>Ix</td><td>0 ... 5 mA</td></tr> </table> </td></tr> <tr> <td>ADC U und ADC I</td><td>0 ... 5 V</td></tr> </tbody> </table>	Größe	Wert	L	0,1 nH ... 100 H	C	0,1 pF .... 100 mF	R, $ Z $	0,1 mΩ ... 1000 MΩ	Q oder D ( $D = 1/Q$ )	0 .. 10000	$\Phi$	- 90,00 ° ... +90,00 °	Rs, Xs	0,1 mΩ ... 1000 MΩ	Ux und Ix	<table border="1"> <tr> <td>Ux</td><td>0 ... 500 mV</td></tr> <tr> <td>Ix</td><td>0 ... 5 mA</td></tr> </table>	Ux	0 ... 500 mV	Ix	0 ... 5 mA	ADC U und ADC I	0 ... 5 V
Größe	Wert																						
L	0,1 nH ... 100 H																						
C	0,1 pF .... 100 mF																						
R, $ Z $	0,1 mΩ ... 1000 MΩ																						
Q oder D ( $D = 1/Q$ )	0 .. 10000																						
$\Phi$	- 90,00 ° ... +90,00 °																						
Rs, Xs	0,1 mΩ ... 1000 MΩ																						
Ux und Ix	<table border="1"> <tr> <td>Ux</td><td>0 ... 500 mV</td></tr> <tr> <td>Ix</td><td>0 ... 5 mA</td></tr> </table>	Ux	0 ... 500 mV	Ix	0 ... 5 mA																		
Ux	0 ... 500 mV																						
Ix	0 ... 5 mA																						
ADC U und ADC I	0 ... 5 V																						
<b>Messfrequenzen</b>	<table border="1"> <tr> <td>Netzfrequenz 50 Hz</td><td>100 Hz, 1 kHz, 10 kHz</td></tr> <tr> <td>Netzfrequenz 60 Hz</td><td>120 Hz, 1 kHz, 10 kHz</td></tr> </table>	Netzfrequenz 50 Hz	100 Hz, 1 kHz, 10 kHz	Netzfrequenz 60 Hz	120 Hz, 1 kHz, 10 kHz																		
Netzfrequenz 50 Hz	100 Hz, 1 kHz, 10 kHz																						
Netzfrequenz 60 Hz	120 Hz, 1 kHz, 10 kHz																						
<b>Stromaufnahme</b>	<table border="1"> <tr> <td>Ohne Display</td><td>5V/100 mA</td></tr> <tr> <td>Mit Hintergrundbeleuchtung</td><td>5V/180 mA</td></tr> </table>	Ohne Display	5V/100 mA	Mit Hintergrundbeleuchtung	5V/180 mA																		
Ohne Display	5V/100 mA																						
Mit Hintergrundbeleuchtung	5V/180 mA																						
<b>PC-Software</b>	Für Windows, Linux, Mac OS X																						

Eigenschaften des Messsignals	
<b>Messspannung (unbelastet)</b>	0,4 V <sub>eff</sub> ± 5 %
<b>Bereiche</b>	8, automatisch
<b>Messgeschwindigkeit</b>	Ungefähr 2 Messungen/Sekunde. Mittelwertanzeige von 1...9 Messwerten, Wartezeit bis Messreihe vollständig, grüne LED signalisiert Ende der Messreihe.

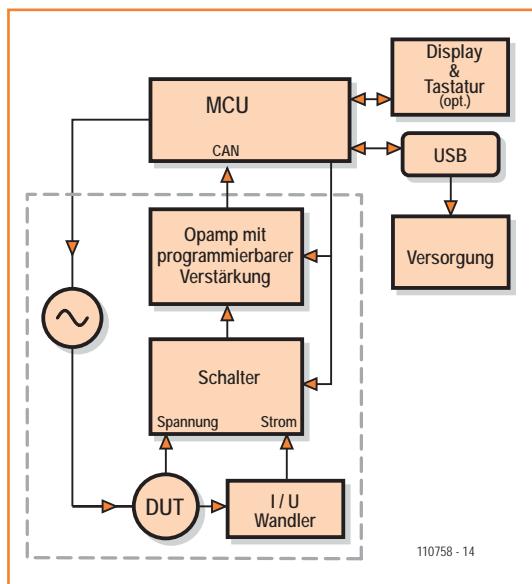
Genauigkeit der primären Größe (R, L, C)	
<b>Bedingungen</b>	Anwärmzeit 10 Minuten, 25 °C ± 2 °C Widerstände 0,01 % (100 Ω, 1 kΩ, 10 kΩ, 100 kΩ) im Strom-Spannungs-Wandler
<b>Bereiche 3, 4, 5 und 6</b>	< ± 0,05 % (bis 0,02 % ***) ±1 des letzten Digit
<b>Bereiche 2 und 7</b>	< ± 0,1 % (bis 0,08 % ***) ±1 des letzten Digit
<b>Bereiche 1 und 8</b>	< ± 0,3 % ±1 des letzten Digit

\*\* Die Genauigkeit (±1 Digit der niederwertigsten Ziffer) ist maximal, wenn die Messbereiche der U- und I-Nachverstärkung übereinstimmen

Weitere Eigenschaften	
<b>Messanschlüsse</b>	Vierdraht-Kelvin-Messbrücke mit BNC-Buchsen
<b>Kompensation</b>	Offen oder kurzgeschlossen (OPEN/SHORT)
<b>Maximum bei SHORT</b>	$ Z_s  < 10 \Omega$
<b>Minimum bei OPEN</b>	$ Z_s  > 100 \text{ k}\Omega$
<b>Stromversorgung</b>	5 V <sub>DC</sub> ± 5 %, über USB-Anschluss

# Projects

Bild 1.  
Im LCR-Meter sind  
analoge und digitale  
Schaltungstechnik eng  
miteinander verwoben.



Normalerweise gehört ein LCR-Meter nicht zu den absolut unverzichtbaren Messgeräten des Elektronikers, doch wo es verfügbar ist, kommt es regelmäßig zum Einsatz. Messobjekte können SMD-Kondensatoren ohne Aufdruck sein, auch unbeschriftete Induktivitäten, wie sie häufig in Schaltnetzteilen Verwendung finden, sind präzise messbar. Unser neues LCR-Meter misst nicht nur die primären Werte solcher passiven Komponenten, sondern auch ihre so genannten sekundären Werte. Außer dem Widerstand  $R$ , der Induktivität  $L$  oder der Kapazität  $C$  werden auch die Größen erfasst, von denen die Qualität der Komponente abhängt. Für  $R$ ,  $L$  und  $C$  ist die „Güte“ durch unterschiedliche Größen definiert:

- $\Phi$  - Phasenwinkel zwischen Spannung und Strom:  $\tan \Phi = |X_s| / R_s$
- $Q$  - Gütefaktor =  $\tan \Phi$ , Eigenschaft von Induktivitäten

- $D$  - Verlustfaktor =  $1/Q$ , Eigenschaft von Kondensatoren

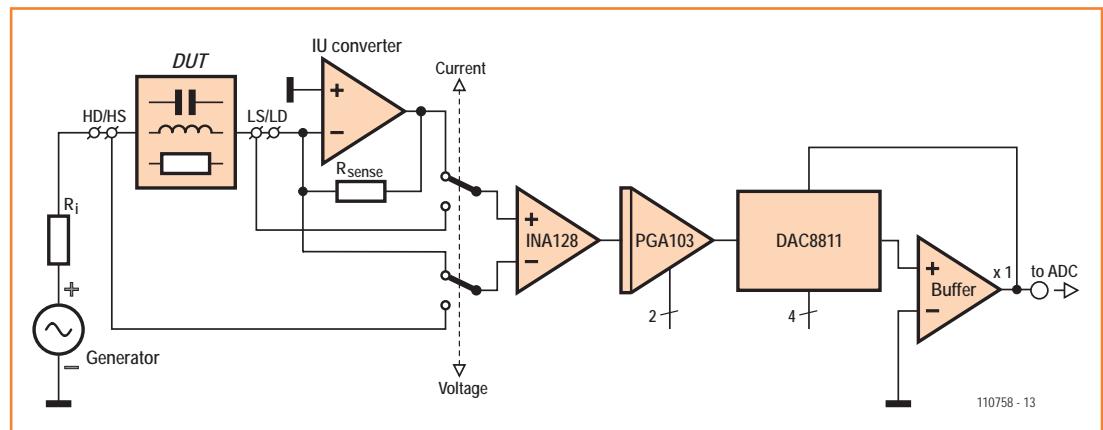
In Systemen, die niederfrequente Signale verarbeiten, haben die sekundären Größen meistens nur untergeordnete Bedeutung. Diese Größen dürfen aber nicht vernachlässigt werden, wenn es um Systeme mit hochfrequenten Signalen oder um Messsysteme überdurchschnittlicher Qualität geht.

Ein LCR-Meter hoher Präzision veröffentlichte Elektor zuletzt vor rund 15 Jahren [1]. Das neue, hier vorgestellte Projekt ist das Ergebnis einer Arbeit, die den Autor während der zurückliegenden vier Jahre beschäftigte. Die erste Version wurde von Batterien mit Strom versorgt, das Display hatte  $2 \cdot 16$  alphanumerische Zeichen. Es folgte eine Version für den Arbeitstisch mit Anschluss an das Stromnetz und grafischem Display, bestehend aus  $128 \cdot 64$  Pixeln. In dieser Phase nahm der Autor den Kontakt mit dem Elektor-Labor auf. Aus der gemeinsamen weiteren Entwicklungsarbeit ging die hier beschriebene finale Version hervor.

Wenn Sie unser neues LCR-Meter bauen wollen, müssen Sie sich nicht alternativ für die eine oder andere Version entscheiden. Der Anschluss über USB an den PC oder aber „stand-alone“, das ist hier kein Unterschied. Um allen Bedürfnissen gerecht zu werden, ist die Konfiguration variabel, höchste Genauigkeit und einfache Bedienung sind immer miteinander vereint:

- Ein Messmodul, gesteuert über den PC, mit dem PC-Bildschirm als Display, das Messmodul hat eine Steckleiste für Erweiterungen,
- ein optionales Modul mit Display und Tastatur für den Anschluss an das Messmodul, durch Kombinieren entsteht ein LCR-Meter, das stand-alone arbeitet,
- die Software des Messmoduls, sie ist für

Bild 2.  
Der im ersten Bild  
umrahmte Teil ist hier  
detailliert dargestellt. Das ist  
das Messmodul, es wird in  
dieser Folge besprochen.



## Etwas Theorie

Das Messen einer komplexen Impedanz bedeutet, dass zwei vektorielle Größen gemessen werden müssen.  $\overline{U_X}$  sei die (Wechsel-)Spannung am Messobjekt (DUT, *Device Under Test*), und  $\overline{I_X}$  sei der (Wechsel-)Strom, der durch das DUT fließt. Damit ist die Impedanz:

$$\overline{Z_X} = \frac{\overline{U_X}}{\overline{I_X}}$$

Die Vektoren oberhalb und unterhalb des Bruchstrichs können in eine Phasenkomponente ( $p$  wie *phase*) und eine Quadraturkomponente ( $q$  wie *quadrature*) zerlegt werden:

$$Z_X = \frac{V_p + jV_q}{I_p + jI_q}$$

Eine Reihenimpedanz ist beschreibbar durch:

$$Z_x = R_S + j X_S$$

$$\text{Daraus folgt: } R_S = \frac{V_p I_p + V_q I_q}{I_{p^2} + I_{q^2}} \quad X_S = \frac{V_q I_p - V_p I_q}{I_{p^2} + I_{q^2}}$$

Es existieren LCR-Meter, die diese Messung analog ausführen.

Dabei werden die Phasen- und Quadraturkomponenten von Spannung und Strom mithilfe von Phasendetektoren bestimmt. Die Messwerte werden mit A/D-Wandlern digitalisiert und anschließend weiter verarbeitet. Um die Genauigkeit zu optimieren, wird bei der A/D-Wandlung meistens das *Dual-Slope*-Verfahren angewendet. Das gewünschte schnelle Reagieren des Messsystems bedeutet meistens, dass dem analogen Signal ein nicht vernachlässigbares Rauschen überlagert ist.

Bei der vollständig digitalen Methode treten diese Probleme nicht auf. Mit der Diskreten Fourier-Transformation (DFT) können die Phasen- und Quadraturwerte von Spannung ( $V_p$  und  $V_q$ ) und Strom ( $I_p$  und  $I_q$ ) ab dem Zeitpunkt bestimmt werden, in dem  $N$  Abtastwerte  $d_i$  des Messsignals zur Verfügung stehen. In diesem Fall gilt:

$$U_p = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} d_i \times \cos\left(\frac{2\pi i}{N}\right) \quad U_q = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} d_i \times \sin\left(\frac{2\pi i}{N}\right)$$

Dazu werden lediglich ein präziser und gleichzeitig schneller A/D-Wandler sowie ein leistungsstarker Mikrocontroller benötigt.

beide Konfigurationen ausgelegt.

Bevor wir uns in die Details der Schaltung vertiefen, wollen wir das Blockschema in **Bild 1** betrachten. Nicht jeder Funktionsblock soll einzeln beschrieben werden, denn das wäre kaum sinnvoll, solange die grundlegenden messtechnischen Zusammenhänge noch nicht transparent sind. Die Materie ist einigermaßen komplex, die an die Genauigkeit gestellten Anforderungen tragen dazu noch ein gutes Stück bei. Deshalb sind unsere folgenden Überlegungen mehr ein Gedankenspiel, ein Training für die „grauen Zellen“.

Nicht berücksichtigt ist hier, dass der Wert von  $R_{\text{sense}}$  vom Messbereich abhängt, nur die detaillierte Schaltung gibt darüber Aufschluss. Die Spannung am invertierenden Eingang des Strom-Spannungs-Wandlers ( $I/U$ -Converter) liegt auf 0 V (virtuelle Masse), um den Strom durch  $R_{\text{sense}}$  im Gleichgewicht mit dem Strom durch das DUT zu halten. Die Frequenz des Messsignals liegt unter 10 kHz. Trotzdem ist nur ein schneller Opamp als Wandler geeignet, er stellt sicher, dass das Messsignal von unerwünschten Phasenfehlern verschont bleibt.

Die Impedanz des Messobjekts ergibt sich durch Messen der Spannungen an den Klemmen des DUT und an  $R_{\text{sense}}$ , denn die Spannung ist proportional zum Strom durch das DUT. Beide Signale gelangen über den U-I-Schalter zum Differenzverstärker INA128. Der Mikrocontroller am Ende der Signalkette berechnet den Quotienten aus Spannung und Strom, daraus folgt die Impedanz. Bevor der Mikrocontroller das Signal verarbeitet, wird es von einem PGA103 verstärkt, von einem schnellen DAC8811 multipliziert und anschließend gefiltert. Die übrigen Verarbeitungsschritte übernimmt die Software. Zuerst werden die in Reihe liegenden Größen  $R_S$  und  $X_S$  berechnet (wobei  $X$  eine induktive oder kapazitive Komponente sein kann, abhängig von der Art des DUT), dann fol-

## Arbeitsweise und Messverfahren

Unter der Überschrift *Etwas Theorie* haben wir eine Kurzbeschreibung des Messverfahrens zusammengefasst. Zuerst wollen wir das Messmodul betrachten (**Bild 2**), es ist im Blockschema (Bild 1) umrahmt gezeichnet. Im analogen Teil befindet sich eine konventionelle Messbrücke, die Impedanzen misst. Gemessen werden die Spannung, die am Messobjekt liegt, sowie der Strom, der durch das Messobjekt bei sinusförmigem Signal mit wählbarer Frequenz fließt. In der Fachsprache wird das Messobjekt auch *Device Under Test* (DUT) genannt.

Aus Bild 2 ist ersichtlich, dass der Strom durch das DUT auch durch den Stromsensor  $R_{\text{sense}}$  fließt.

**Tabelle 1. Gesamtverstärkung, in 48 Schritten zwischen 1 und 866 variierbar**

PGA Verstärkung	1	10				100									
CNA Verstärkung	1	1,155	..	7,50	8,66	1	1,155	..	7,50	8,66	1	1,155	..	7,50	8,66
<b>Gesamtverstärkung</b>	<b>1</b>	<b>1,155</b>	<b>..</b>	<b>7,50</b>	<b>8,66</b>	<b>10</b>	<b>11,55</b>	<b>..</b>	<b>75,0</b>	<b>86,6</b>	<b>100</b>	<b>115,5</b>	<b>..</b>	<b>750</b>	<b>866</b>

**Tabelle 2. Messbereiche**

Bereich	Widerstand des I-U-Wandlers	Verstärkung U	Verstärkung I	Messbereich (Widerstand)	Messbereich (L oder C, Impedanz)
1	100 Ω	100	1	< 0,1 Ω	< 1 Ω
2	100 Ω	10	1	0,10 Ω ... 11 Ω	1 Ω ... 10 Ω
3	100 Ω	1	1	11 Ω ... 900 Ω	10 Ω ... 995 Ω
4	1 kΩ	1	1	900 Ω ... 9,9 kΩ	996 Ω ... 10 kΩ
5	10 kΩ	1	1	9,9 kΩ ... 99,9 kΩ	10 kΩ ... 100 kΩ
6	100 kΩ	1	1	99,9 kΩ ... 1 MΩ	100 kΩ ... 1 MΩ
7	100 kΩ	1	10	1 MΩ ... 10 MΩ	1 MΩ ... 10 MΩ
8	100 kΩ	1	100	> 10 MΩ	> 10 MΩ

gen die daraus abgeleiteten Größen Z, L, C, R,  $\Phi$ , Q und D.

Um Drift-Problemen aus dem Weg zu gehen, kommt hinter dem I-U-Wandler die gleiche Verstärkerkette für Spannung und Strom zum Einsatz. Die Genauigkeit des *Programmable Gain Amplifier* ist so hoch und die differentielle Phasenkompen-sation so perfekt, dass die Präzision der Messung praktisch ausschließlich von den Widerständen des Strom-Spannungs-Umsetzers abhängt.

Jetzt ist es Zeit, die detaillierte Schaltung zu betrachten. Für das Verständnis der Zusammenhänge empfehlen wir das Studium der folgenden Absätze, auch wenn sie auf den ersten Blick schwierig erscheinen.

### Auf die Verstärkung kommt es an

Für einen möglichst weiten Messbereich (siehe Absatz *Messbereiche*) muss die Amplitude des zu messenden Signals angepasst werden, bevor das Signal digitalisiert wird. Das geschieht wie folgt: Wahl eines geeigneten Werts für  $R_{sense}$  abhängig von der Impedanz des DUT. Mögliche Werte sind 100 Ω, 1 kΩ, 10 kΩ oder 100 kΩ, sie sind in der Schaltung wiederzufinden.

Einstellen der Gesamtverstärkung über die Messkette, so dass das Signal am A/D-Wandler möglich groß ist, jedoch nicht so groß, dass das Signal den A/D-Wandler übersteuert. Wie schon erwähnt, werden Drifterscheinungen und Phasenfehler durch Einsatz der gleichen Kette für Strom- und

Spannungsmessung vermieden. Die Impedanz des DUT ergibt sich wie folgt:

$$Z_x = \frac{V_p + jV_q}{I_p + jI_q} \times \frac{G_i R_{sense}}{G_v}$$

wobei  $G_i$  die Strom- und  $G_v$  die Spannungsverstärkung sind,  $R_{sense}$  ist der Widerstand des I-U-Wandlers,  $V$  und  $I$  sind die vom A/D-Wandler gemessenen Spannungen. Eine eventuelle Verstärkungsdrift kürzt sich heraus.

Ein A/D-Wandler mit sukzessiver Näherung (*Successive Approximation*) hat einen minimalen Linearitätsfehler von  $\pm 1\dots 2$  LSB. Im Nulldurchgang des Sinussignals ist der Quantisierungsfehler infolge der A/D-Wandlung am größten. Das bedeutet, dass die Messung generell bei hohen Amplituden genauer als bei niedrigen Amplituden ist.

Wie die Version aus Elektor von 1997 [1] arbeiten die meisten LCR-Meter mit Verstärkern, wobei die Verstärkung programmierbar ist (PGA in Bild 1). Die Verstärkung kann in Stufen um den Faktor 10 verändert werden ( $Gain = 1, 10$  oder  $100$ ). Auch hier ist der Einsatz eines PGA mit hoher Genauigkeit sinnvoll, ein Beispiel ist der PGA103 von Texas Instruments.

Ohne weitere Maßnahmen kann die zu messende Spannung ausschließlich um den Faktor 10 oder 100 verstärkt werden, diese Sprünge sind jedoch zu weit. Der A/D-Wandler müsste Spannungen

## Kompensation der Phasenverschiebungen

### Software misst Referenzkapazitäten

Phasenverschiebungen, die der I-U-Wandler verursacht, werden durch die Software kompensiert. Das Maß der Phasenverschiebung lässt sich bestimmen, indem ein bekanntes Messobjekt gemessen wird. SMD-Kondensatoren mit NP0-Dielektrikum werden (bei niedrigen Frequenzen) als ideal betrachtet. Diese Methode hat den Vorteil, dass die parasitäre Kapazität der Anschlüsse parallel zur betrachteten Kapazität liegt und deshalb unerheblich ist. Angestrebt wird die Phasenverschiebung  $-90^\circ$ . Unter idealen Bedingungen muss die Verstärkung für den Strom gleich der Verstärkung für die Spannung sein. Daraus folgt, dass die Impedanz des DUT bei 10 kHz praktisch gleich  $R_{sense}$  sein muss, also 159 nF für 100  $\Omega$ , 15,9 nF für 1 k $\Omega$  und so weiter. Diese Kondensatoren befinden sich zwar auf der Platine, sie werden jedoch nur beim Einstellen der Kompensation benötigt. Die Kondensatoren können von Hand über Jumper zugeschaltet werden. Nach diesem Vorgang haben die Kondensatoren ihre Aufgabe erfüllt.

### Software misst niederohmige Widerstände

Um die Phasenverschiebung des PGA103 für die Bereiche 1 und 2 zu kompensieren, werden niederohmige Widerstände eingesetzt, bei denen die parasitäre Induktivität und Kapazität vernachlässigt werden kann (für die Bereiche 7 und 8 wären höhere Werte notwendig, und dann wäre es nicht erlaubt, die parasitäre Induktivität und Kapazität zu vernachlässigen). Die Leitungen auf der Platine sind möglichst kurz gehalten, damit keine Phasenverschiebung entsteht. Auch diese Widerstände sind nur zum Einstellen der Kompensation notwendig.

umsetzen, die außerhalb seines idealen Bereichs liegen. Außerdem besteht die Gefahr, dass die Messungen für Spannung und Strom auseinanderdriften, was bei der Digitalisierung erhebliche Messfehler zur Folge haben kann. Um dem aus dem Weg zu gehen, muss die Verstärkung in kleineren Stufen als 10 variiert werden, die Genauigkeit der Gesamtverstärkung darf jedoch darunter nicht leiden.

Durch Einsatz eines multiplizierenden D/A-Wandlers (DAC8811 in Bild 1) kombiniert mit einem Opamp (Puffer in Bild 1) ist die Verstärkung von 0 bis 1 einstellbar. Die Schrittanzahl ist gleich der Auflösung des D/A-Wandlers, und die Genauigkeit der Einstellung ist gleich der Genauigkeit des D/A-Wandlers. Eine geschickte Konfiguration des D/A-Wandlers macht daraus eine Stufe mit einer Verstärkung zwischen 0 und  $k$ , wobei  $k > 1$  ist. Dazu muss lediglich ein Teil des Ausgangssignals zum internen Gegenkoppelwiderstand des DAC8811 zurückgeführt werden.

Mit 16 Schritten beträgt die untere Grenze der Verstärkung  $\sqrt[16]{10} = 1,155$  und die obere Grenze ist  $1,155^{15} = 8,66$ . Zusammen mit dem PGA ergibt sich eine Gesamtverstärkung, die in 48 Schritten zwischen 1 und 866 variiert ist (Tabelle 1). Wenn die Software die Verstärkung geschickt steuert, wird dem A/D-Wandler sowohl ein Spannungs- als auch Stromsignal zugeführt, das stets nahe seiner oberen Bereichsgrenze

liegt. Die Amplituden beider Signale unterscheiden sich höchstens um den Faktor 1,15. Da die Impedanz der Quotient aus zwei gemessenen Größen ist (von einem Koeffizienten abgesenkt) und der A/D-Wandler das Signal mit 16 bit hoch auflöst, sind Quantisierungsfehler praktisch ausgeschlossen.

### Parasitäre Phasenverschiebungen

Die Genauigkeit des LCR-Meters hängt auch von der Kompensation parasitärer Phasenfehler ab, die innerhalb der Messkette auftreten. Daran sind hauptsächlich zwei Komponenten beteiligt: Der I-U-Wandler verursacht eine bestimmte Phasenverschiebung, denn er liegt nur im Pfad der Strommessung, nicht im Pfad der Spannungsmessung. Dieses Problem wird durch den Einsatz temperaturstabiler keramischer Multilayer-SMD-Kondensatoren gelöst (NP0 oder COG). Angestrebt wird eine Kompensation, die möglichst nahe dem Wert  $-90^\circ$  liegt. Die benötigten Kondensatoren befinden sich auf der Platine, sie können bei der Systemeinrichtung über die Jumper J6...J9 zugeschaltet werden.

Der PGA103 ist für einen differentiellen Phasenfehler verantwortlich, in einem Messzweig bei den Verstärkungen 10 oder 100, im anderen Messzweig bei den Verstärkungen 1:[Bereich 1, 2, 7 und 8], siehe Tabelle unten. In diesem Fall können zwei SMD-Widerstände mit 1  $\Omega$  und 10  $\Omega$  (R19 und R16) über die Jumper J3 und J2 zugeschaltet werden. Der angestrebte Phasenfehler ist  $0^\circ$ .

## Messbereiche

Um die Impedanz des DUT zu bestimmen, lassen sich die Spannung und der Strom in acht Bereichen messen. Die Messbereiche hängen vom Wert des Stromföhlers  $R_{sense}$  und von der Verstärkung des PGA103 ab.

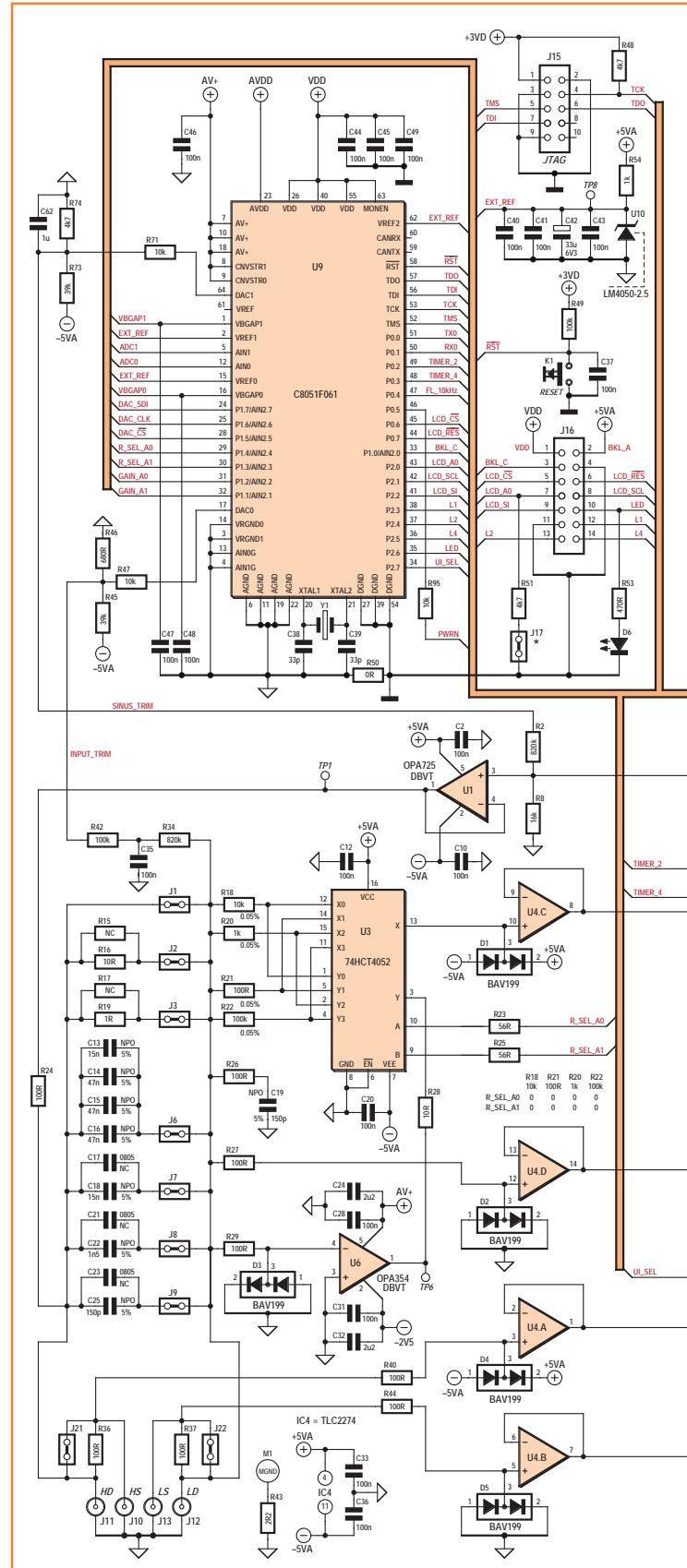
Die effektive Verstärkung des „multiplying“ DAC8811 beträgt 1...8,66 verteilt über 16 Schritte, bezeichnet mit 0...F, sowohl für die Spannung als auch für den Strom.

## Die Schaltung

Vor der Erläuterung der Schaltung wollen wir den Weg betrachten, den das Signal durchläuft. Alle Glieder der Verstärkerkette (eingeschlossen der A/D-Wandler des Mikrocontrollers) sind direkt gekoppelt (DC), eventuelle Verstärker-Offsets werden folglich mit verstärkt. Bei hohen Verstärkungen kann der Gesamtoffset am Eingang des A/D-Wandlers mehrere 100 mV betragen, was bedeutet, dass der Offset kompensiert werden muss. Doch das ist nicht das einzige zu lösende Problem. Unmittelbar nach jeder Verstärkungsänderung sowie bei jedem Umschalten zwischen Strom- und Spannungsmessung treten im Messsignal Schaltstörungen auf. Eigentlich darf die A/D-Wandlung erst beginnen, wenn die Störungen vollständig abgeklungen sind. Andererseits lässt ein Messfehler unter 0,05 % nicht zu, die dafür nötige Zeit zu warten.

Dem Messsignal sind sowohl der Offset als auch die Schaltstörungen überlagert. Anzustreben ist ein Störsignal, das auch bei hohen Verstärkungen möglichst nahe 0,000 V liegt.

Die Gesamtschaltung in **Bild 3** ist in mehrere Blöcke unterteilt, von denen einige bereits genannt wurden. Links oben befindet sich der Mikrocontroller, links unten die Messbrücke. Die Verstärkerkette ist rechts unten gezeichnet,



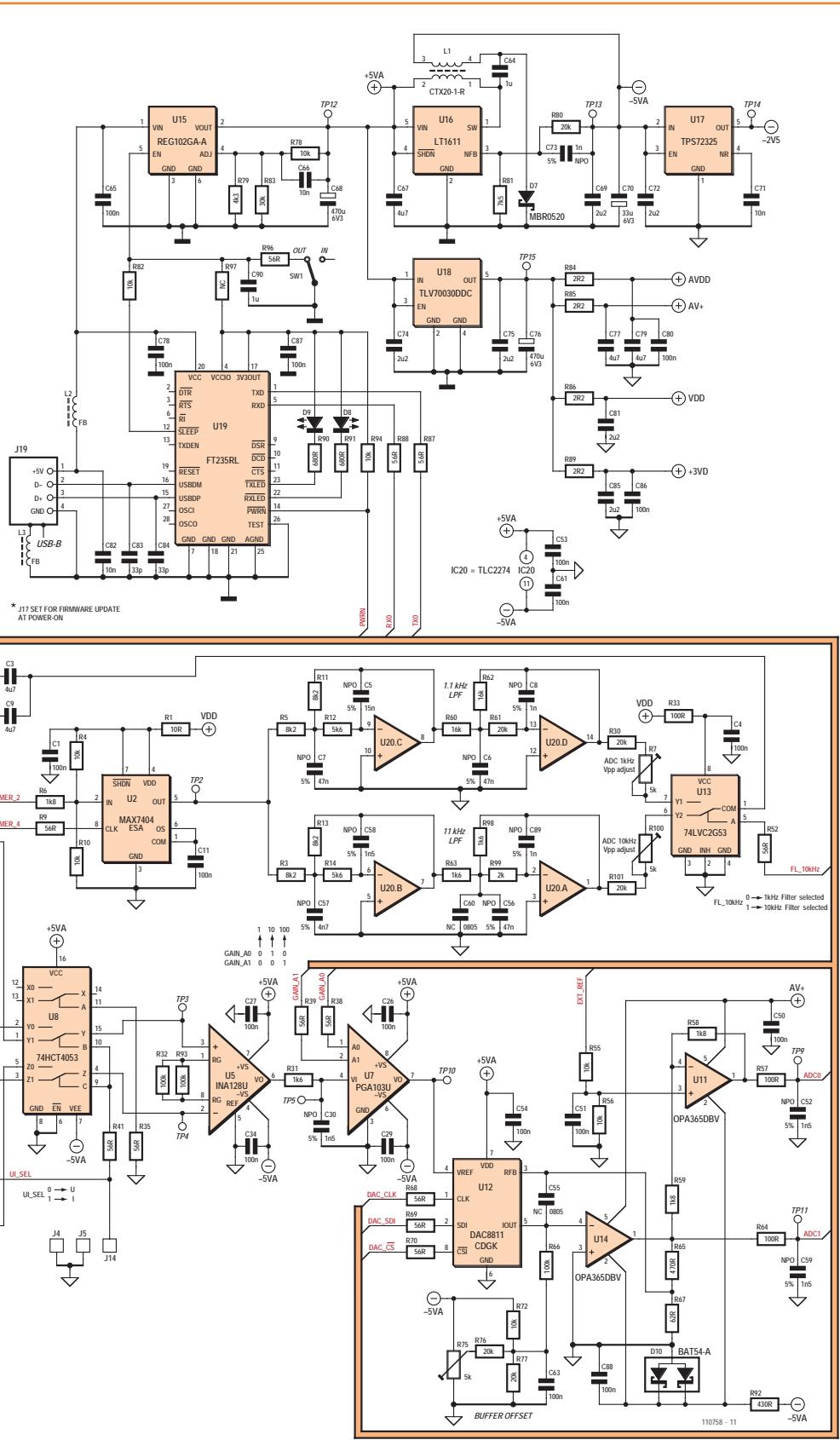


Bild 3.  
Vollständige Schaltung  
des LCR-Meters. Um  
die gesteckten Ziele  
zu erreichen, wurde  
dem analogen Teil hohe  
Aufmerksamkeit gewidmet.

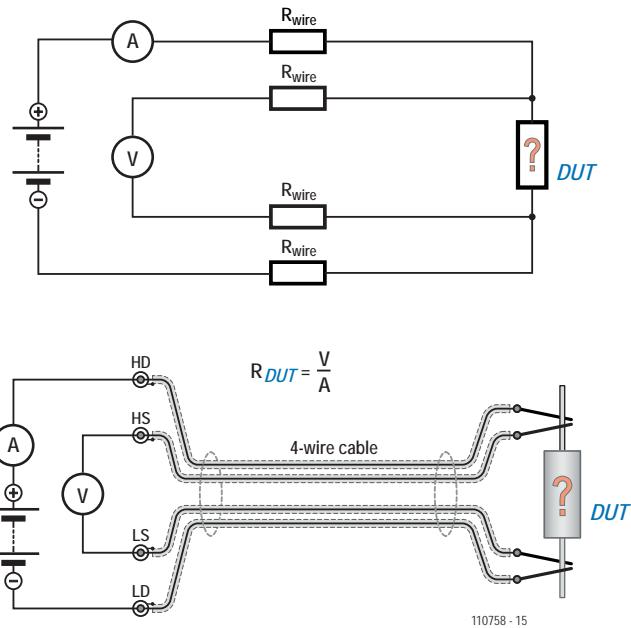


Bild 4.  
Prinzip einer Kelvin-Messbrücke: Zwei separate Doppelleitungen zum Messen der Spannung.

darüber hat der Sinusgenerator seinen Platz. Ergänzt werden diese Subsysteme durch die Schnittstelle zur Außenwelt rechts oben, sowie die Stromversorgung.

### Messbrücke

Im Gesamtsystem ist der U-I-Wandler (U6, R18 und R20...R22, links unten in Bild 3) ein wichtiges Subsystem. Von der Präzision der Widerstände R18 und R20...R22 hängt die Genauigkeit des Messgeräts ab. Die Wahl des Widerstands  $R_{\text{sense}}$  wird mit der Hälfte der im Multiplexer-Baustein U3 integrierten Schalter vorgenommen. Über zwei hochohmige Puffer wird die Spannung am eingeschalteten Widerstand  $R_{\text{sense}}$  gemessen, dies sind U4C und U4D:

U4D misst die Spannung am gemeinsamen Knotenpunkt der Widerstände, U4C misst, über die andere Hälfte der Schalter in U3, die andere Seite der Widerstände, so dass sich die Widerstände  $R_{\text{on}}$  der Schalter in U3 gegenseitig kompensieren.

Die differentielle Spannung zwischen den Ausgängen von U4C und U4D ist folglich gleich der Spannung am gesamten Widerstand  $R_{\text{sense}}$ , eingestellt mit U3. Die Spannung an den Klemmen des DUT wird mit einer Vierdraht-Kelvin-Brücke gemessen. Das DUT wird mit J11 und J12 verbunden, was *High Drive* und *Low Drive* entspricht. Darüber fließt ein Strom durch das DUT, während die Spannung hochohmig mit J10 und J13, *High Sense* und *Low Sense*, über die Puffer U4A und U4B gemessen wird.

Mit einem einzelnen Satz Messkabel würde der Kabelwiderstand in das Messergebnis eingehen. Eine Kelvin-Messbrücke misst mit zwei Messkabel-Sätzen, so dass sich die Kabelwiderstände gegenseitig kompensieren (siehe Bild 4). Durch die Zweifach-Dioden D1...D5 fließen in Sperrrichtung nur extrem niedrige Leckströme, die Dioden sichern die Opamp-Eingänge gegen Überspannungen.

In diesem Schaltungsteil treten einige parasitäre Kapazitäten auf, die Phasenfehler zur Folge haben können. Deshalb muss der Verstärker möglichst breitbandig ausgelegt sein, so dass die Abhängigkeit zwischen Phasenfehler und Frequenz linear verläuft. Wenn der Phasenfehler bei der maximalen Messfrequenz 10 kHz bekannt ist, lässt er sich für niedrigere Frequenzen berechnen.

Wegen der weiten Bandbreite von U6 muss die Verstärkung bei hohen Frequenzen zusätzlich stabilisiert werden, was mit R26 und C19 geschieht. Die Offset-Kompensation von U6 ist Aufgabe von DAC0 des Mikrocontrollers (U9). Der Ausgang dieses D/A-Wandlers ist im Bereich 0...2,5 V programmierbar. Die Widerstände R47, R46 und R45 setzen den Bereich auf -75 mV...+75 mV herab, so dass über R42 und R34 ein programmierbarer Strom in den invertierenden Eingang von U6 fließen kann. Dieser Strom kompensiert den Offset am Ausgang.

### Verstärkerkette

Anschließend gelangt das Messsignal zum analogen Multiplexer U8 (Bild 3, rechte Seite unten links), der zwischen den Ausgängen von U4A und U4B für Spannung (U) oder U4C und U4D für Strom (I) schaltet. Ab hier ist die Verstärkerkette für Strom und Spannung identisch, eventu-

**Um sicher zu gehen, dass der Mikrocontroller C8051F06x die richtige Wahl ist, hatten wir das Developer-Kit C8051F060-DK sowie ein Muster des MAX7400 erworben (der MAX7400 ist ein Switched Capacitor Filter 8. Ordnung). Als wir die Impedanz eines Kondensators messen wollten, stellten wir fest, dass das Developer-Kit zwei asymmetrische analoge Eingänge besitzt.**

**Die Lösung? Man lege zwei Sätze möglichst identischer  $R_{\text{sense}}$  + C in Reihe und schalte sie antiparallel zwischen den Filterausgang und Masse: Ein Satz mit dem Kondensator an Masse, der andere mit dem Widerstand an Masse. Anschließend messe man in einem Zweig die Spannung an C und im anderen Zweig die Spannung an  $R_{\text{sense}}$ , also den Strom durch C!**

# Automatische Messbrücke misst Impedanzen passiver Komponenten von 1 mΩ bis 1000 MΩ

elle Drifterscheinungen sowie parasitäre Phasenverschiebungen werden selbsttätig kompensiert. Allerdings setzt das voraus, dass die Verstärkungen der einzelnen Glieder genau bekannt sind und dass die Kette stabil arbeitet.

Mit dem differentiellen Verstärker U5 lässt sich ein schwebendes Signal in ein auf Masse bezogenes Signal umsetzen. Die Verstärkung von U5 wird mit  $R_{32}||R_{39}$ , insgesamt  $50\text{ k}\Omega$ , auf 2 festgelegt. Die Verstärkung des Präzisionsverstärkers U5 beträgt, gesteuert über zwei Leitungen, entweder 1, 10 oder 100. Dann folgt der DAC8811 (U12) mit dem nachgeschalteten schnellen Opamp U14. Der Ausgang von U14 ist nicht direkt mit dem Gegenkoppelwiderstand in U12 verbunden (Anschluss RFB), sondern über Spannungsteiler R65/R67. Deshalb lässt sich die Verstärkung wie bereits beschrieben im Bereich 1,15...8,66 variieren. Die Verstärkung ist über drei serielle Leitungen steuerbar.

Die A/D-Wandler des Mikrocontrollers U9 werden differentiell betrieben, so dass deren Eigenschaften optimal genutzt werden. Aus diesem Grund wird das Ausgangssignal von U14 von U11 invertiert.

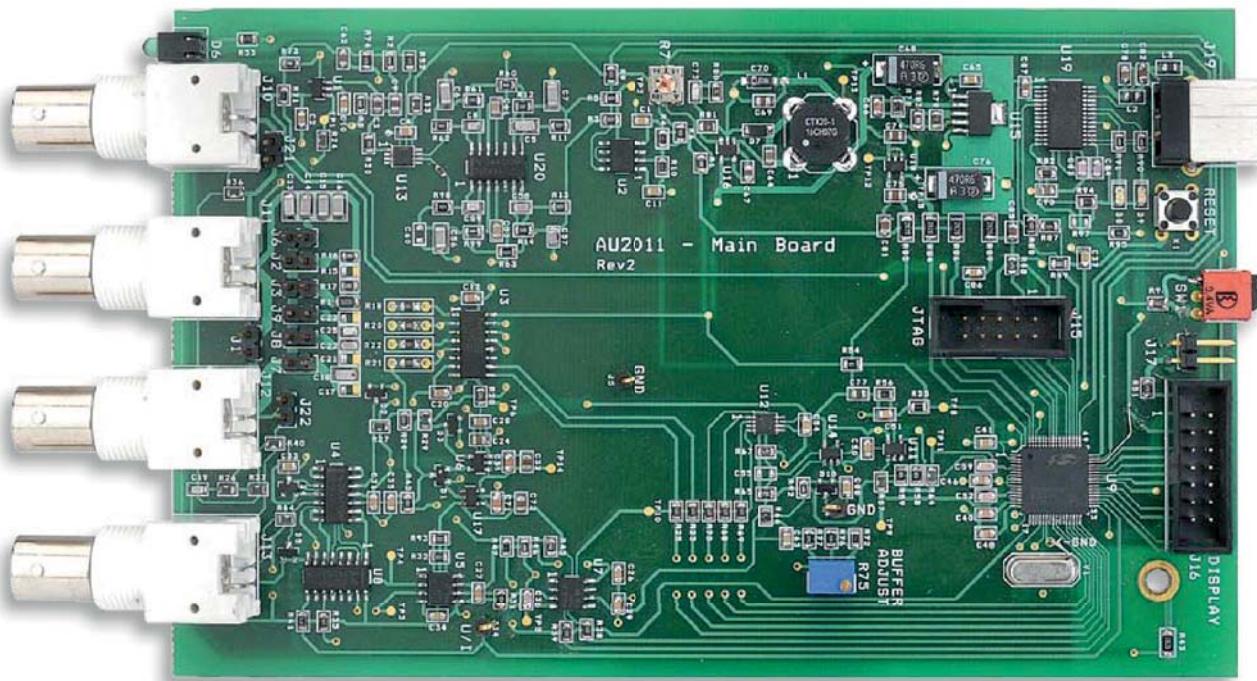
Da der Eingangsspannungsbereich der A/D-Wandler 0 V... $U_{REF}$  (2,5 V) beträgt, wird am Summationsknoten ein Gleichstrom abgeleitet, so dass die Offsetspannung

$$+\frac{V_{REF}}{2}$$

entsteht. Die differentielle Gleichspannung beträgt folglich 0,000 V, sie ist mit Poti R75 einstellbar (ganz unten rechts in der Schaltung).

## Sinusgenerator

An das Messobjekt (*Device Under Test, DUT*) wird ein sinusförmiges Signal gelegt, die Frequenz liegt zwischen 100 Hz und 10 kHz. Zur Wahl stehen drei Frequenzen: 100 Hz oder 120 Hz (doppelte Netzfrequenz), 1 kHz und 10 kHz. Innerhalb bestimmter Grenzen lassen sich auch andere Frequenzen realisieren. Der Wandler-Prozess der im Mikrocontroller integrierten A/D-Wandler ist zum Messsignal synchron. Timer 2 des Mikrocontrollers liefert ein Rechtecksignal mit der gewünschten Frequenz an Filter-Baustein U2, ein Switched-Capacitor-Filter 8. Ordnung. Die Frequenz des



# Projects

Tabelle 3.

PWRN	LCD_RES	Bedeutung
NIEDRIG	HOCH	Anzeige auf dem PC
NIEDRIG	NIEDRIG	Anzeige auf dem PC, oder stand-alone, falls beim Start ein Taster auf dem Display-Modul gedrückt ist
HOCH	HOCH	FEHLER! Kein PC und kein Display-Modul angeschlossen
HOCH	NIEDRIG	Betriebsart Stand-alone, mit Display-Modul

Taktsignals für U2 muss das 100-fache der Filter-Eckfrequenz betragen, dieses Taktsignal stellt Timer 4 des Mikrocontrollers bereit.

Am Ausgang von U2 ist das Signal fast sinusförmig, es wird nur noch von Resten des Taktsignals überlagert. Die beiden mit U20 aufgebauten aktiven Filter 4. Ordnung beseitigen diese Reste. Ein Filter begrenzt das 1-kHz-Signal auf 1,1 kHz, das andere Filter begrenzt Signale über 1 kHz auf 11 kHz. Die Amplitude des 1-kHz- und 10-kHz-Signals hängt von R7 und R100 ab. Der analoge Multiplexer U13 schaltet zwischen den Filtern um. Über die Koppelkondensatoren C3 und C9 gelangt das Messsignal zum Puffer U1, eventuelle Gleichanteile sind hier nicht mehr enthalten. Die Offset-Kompensation von U1 übernimmt auf gleiche Weise wie bei U6 der DAC1 des Mikrocontrollers.

## Stromversorgung

Das LCR-Meter wird über J19 (USB-B) mit der Betriebsspannung +5 V an Anschluss 1 ( $V_{bus}$ ) und Masse an Anschluss 4 versorgt. Als Quelle kann der USB-Port eines PCs oder ein USB-Ladegerät dienen, wie es zu vielen Smartphones gehört (**maximal 6 V unbelastet!**). Der Strombedarf des LCR-Meters liegt **über 100 mA**. Wenn ein PC die Stromversorgung übernehmen soll, muss er über einen High-Power-USB-Port verfügen, der bis 500 mA belastet werden darf, die Spannung muss **mindestens 4,75 V** betragen. Diese Eigenschaft (*High-power Bus-powered*) kann durch Anpassen des Parameters *Max Bus Power* in den *USB\_Config\_Descriptors* des EEPROM im FT245R definiert werden (siehe Dokumentation der Utility *FT\_Prog* auf der Website von FTDI [2]).

U15 ist ein linearer Low-dropout-Spannungsregler, der die Spannung 4,6 V liefert, wenn sein Enable-Eingang hoch ist. Die Strombegrenzung bei 470 mA genügt knapp den Standards für ein *Bus-powered High-power USB Device*. U16, ein DC-DC-Wandler LT1611, liefert die Ausgangsspannung 4,6 V. Wie im Beispiel des Datenblatts [3] ist er mit einer gekoppelten Induktivität (L1) beschaltet. Spannungsregler U18 stellt die Spannung +3 V bereit, während U17 die Spannung -2,5 V liefert. Anzumerken ist noch, dass die Angaben +5 V und -5 V im Schaltbild den tatsächlichen Spannungen +4,60 V und -4,60 V entsprechen.

## Mikrocontroller

Der C8051F061 von Silicon Labs ist ein 8-bit-Mikrocontroller mit gemischter analoger und digitaler Architektur. Diesen Typ haben wir wegen der überragenden Präzision seiner 16-bit-A/D-Wandler gewählt (ADC0 und ADC1), die nach dem Verfahren der sukzessiven Approximation arbeiten:

- Abtasten bis **1 MSample/s** mit Direct Memory Access (DMA)
- Common-mode-Linearity bis  $\pm 1$  LSB
- Differentielle Linearität  $\pm 0,5$  LSB im gesamten Bereich

Auch andere Eigenschaften sind bemerkenswert:

- Optimierter 8051-Kern: 70 % der Befehle dauern nur 1 oder 2 Taktzyklen
- Taktfrequenz bis 25 MHz
- Zwei 12-bit-DACs
- Ein 10-bit-ADC, 100 KSample/s, mit 8-Kanal-Multiplexer
- 4352 Byte RAM und 64 Kb überschreibbarer

„Anfänglich beobachteten wir Unregelmäßigkeiten der Messwerte beim Umschalten der Bereiche (beim Umschalten von  $R_{sense}$  oder Wahl einer anderen Verstärkung des PGA).

Es stellte sich heraus, dass dieses Phänomen von Kondensator C30 (Filter zwischen U5 und U7) verursacht wurde, ein Typ mit dem Dielektrikum X7R. Er war für deutliche Verformungen der Wechselspannung beim Schalten verantwortlich. Kondensatoren mit NP0-Dielektrikum (COG) verhalten sich neutral.“

„Auch das scheint erwähnenswert: Zunächst gelang es nicht, über die Timer des Mikrocontrollers Signale mit den gewünschten Frequenzen zu erzeugen. Im Datenblatt des C8051F06x ist auf Seite 296 vermerkt, dass für die Frequenz  $F_{sq}$  eines Rechtecksignals folgender Zusammenhang gilt:

$$F_{sq} = \frac{F_{TCLK}}{2 \cdot (65535 - RCAP_n)}$$

Darin ist  $RCAP_n$  der Startwert, der in das Timer-Register zu laden ist. Des Rätsels Lösung? Wenn man in die Gleichung die Zahl 65536 anstelle 65535 einsetzt, dann stimmt die Sache!“

### Flash-Speicher

- Fünf 16-bit-Timer
- Zwei serielle Ports (UART), bis 115.200 Baud bei 24 MHz Taktfrequenz
- SMBus- und SPI-Schnittstellen
- CAN-Bus 2.0
- 24 GPIO-Kanäle (*General Purpose Input/Output*)
- Umfangreicher Interrupt-Mechanismus
- JTAG-Schnittstelle

Die Messfrequenzen 100 Hz, 120 Hz, 1 kHz und 10 kHz werden vom quarzgesteuerten 24-MHz-Taktsignal abgeleitet. Die Referenzspannung für die ADCs und DACs liefert U10 (im Schaltbild rechts vom Mikrocontroller), sie beträgt 2,50 V. Kleinere Abweichungen haben keinen Einfluss auf die Messgenauigkeit, der absolute Wert wird bei den mathematischen Operationen eliminiert. Jumper J17 signalisiert dem LCR-Meter, dass das System mit dem internen Programm starten soll. Nach jeder gültigen Messung leuchtet die grüne LED D6 auf.

### USB-Schnittstelle

Für die Kommunikation mit einem PC ist U19 zuständig, ein UART/USB-Umsetzer des Typs FT245R von FTDI, er dürfte den meisten Elektor-Lesern bekannt vorkommen. Die Übertragungsparameter sind 115.200 Baud, 8 bit, keine Parität, 1 Stopbit (8N1), ohne Hardware-Flussteuerung. Bei aktiver Datenübertragung leuchten die LEDs D8 und D9 auf. Nach Einschalten des Messgeräts und einer Wartezeit von 25...200 ms setzt der FT245R den Pin /SLEEP auf hohe Spannung. Wenn SW1 offen ist, gibt U15 die Betriebsspannungen der übrigen Subsysteme frei.

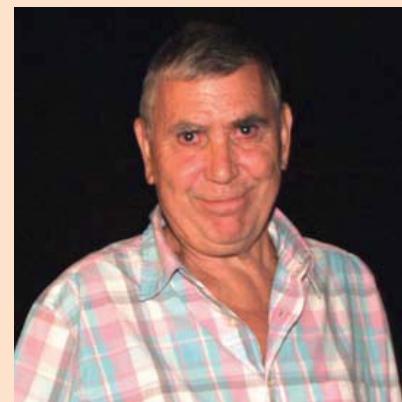
Wenn das LCR-Meter über USB mit dem PC verbunden wird, geht Anschluss /PWRN nach etwa 300 ms auf niedrige Spannung. Beim Starten prüft der Mikrocontroller dieses Signal sowie das an Pin 6 des Steckverbinders J16 liegende Signal (/LCD\_RES). Ist das zweite Signal niedrig, bedeutet dies, dass die Erweiterung bestehend aus Display und Tastatur angeschlossen ist. An den Signalen kann der Mikrocontroller vier Zustände erkennen (Tabelle 3).

### Fortsetzung folgt...

Dies ist der Schluss des ersten Teils unseres Beitrags zum Projekt „LCR-Meter“. In der nächsten Folge werden wir die Themenbereiche Messgenau-

### Der Autor

Jean-Jacques Aubry, Jahrgang 1943, war schon als Kind von der Technik des Radios fasziniert. Mit einem Röhrenempfänger verfolgte er mit Vorliebe die Sendungen von Funkamateuren. Im Jahr 1968 schloss er seine berufliche Ausbildung ab, danach war ein mittelständischer Fachbetrieb für 36 Jahre sein Umfeld. Zusammen mit seinem Sohn und dem legendären ZX80 wuchs er in die Welt der Informatik hinein.



Autodidaktisch erwarb er Kenntnisse in der Kunst des Programmierens, zuerst in Turbo Pascal, später in Visual Basic. Der Schritt zu Apples Macintosh folgte 1990. Die Programmiersprachen C und C++ standen auf dem Plan, gefolgt von Qt und Software Defined Radio. Auch nach Ende des Berufslebens ist Jean-Jacques Aubry noch voll aktiv, was die Entwicklung des LCR-Meters beweist.

igkeit, potentielle Fehlerquellen und unausweichliche Toleranzen (Verstärkung, Eichung, Phasenverlauf) eingehend beleuchten. Wir werden auch das LC-Display-Modul mit Tasterfeld vorstellen, ebenso wie die Software für Windows, Mac und Linux. Vielleicht können Sie die Zwischenzeit zum vertiefenden Studium der Schaltung und der zugehörigen Datenblätter nutzen...

(110758)gd

### Weblinks und Literatur:

- [1] Elektor 226 bis 228, April bis Juni 1997.  
Diese Beiträge befinden sich auf der DVD der Jahrgänge 1990 bis 99:  
[www.elektor.de/90-99](http://www.elektor.de/90-99)
- [2] User Guide für den FT245R von FTDI:  
[www.ftdichip.com/Support/Documents/AppNotes/AN\\_124\\_User\\_Guide\\_For\\_FT\\_PROG.pdf](http://www.ftdichip.com/Support/Documents/AppNotes/AN_124_User_Guide_For_FT_PROG.pdf)  
[oder auch:] <http://goo.gl/USPOS>
- [3] Datenblatt des LT1611:  
<http://cds.linear.com/docs/Datasheet/1611f.pdf>
- [4] [www.elektor-magazine.de/110758](http://www.elektor-magazine.de/110758)

# Prototyping-Board für Raspberry Pi

## RPi für eigene Lösungen einsetzen

Von Tony Dixon (UK)

Die interessantesten Aspekte des Boards „Raspberry Pi“ sind, dass es im Gegensatz zu PCs klein ist und über einen einfachen Erweiterungsanschluss verfügt, an den man eigene Elektronik anschließen kann. Um dies zu unterstützen, wird hier ein Prototyping-Board beschrieben, mit dem man eigene Schaltungen für RPi sehr einfach realisieren kann.

Raspberry Pi ist die zentrale Entwicklung der Raspberry Pi Foundation, die in Cambridge (UK) beheimatet ist. Die Raspberry Pi Foundation [1] möchte den Kindern von heute einen kleinen und preiswerten Computer zur Verfügung stellen, um

sie zum Programmieren anzuregen. Die Foundation zog enormes öffentliches Interesse auf sich, und sie wurde sowohl von der Universität Cambridge als auch von Elektronik-Distributoren wie RS und Farnell unterstützt. Hinzu kommen noch Hilfen und Anregungen diverser Communities.

Vom „Pi“ (ausgesprochen /pai/, nicht /pi/) wird gesagt, es sei so etwas wie der C64 des Internet-Zeitalters. Elektor hat nicht nur sofort auf das Potential des kurz RPi genannten Computers hingewiesen, sondern auch mit einem der Leute hinter RPi gesprochen, wie man in einem interessanten Interview [2] nachlesen kann.

### Schaltungsbeschreibung

Das RPi-Prototyping-Board (RPi-PB) ist ein einfaches so genanntes Break-out-Board für die Erweiterungs-Signale des RPi. Es liefert darüber hinaus genug Strom für die Elektronik, die in einem Prototyping-Bereich aufgebaut wird. **Bild 1** zeigt die recht einfach gehaltene Schaltung.

Zuerst fällt auf, dass das RPi-PB über eine zusätzliche Spannungsquelle mit 3,3 V verfügt. Die 3,3 V vom RPi-Expansion-Header sind nämlich lediglich mit einem Strom von 50 mA belastbar. Wenn die eigene Elektronik mehr Strom braucht, ist die zusätzliche Spannungsquelle daher sehr hilfreich.

Auf dem RPi-PB wird diese Spannungsquelle durch IC1, einen 3,3-V-Spannungsregler des Typs LD1117, realisiert. Das IC selbst kann von einer

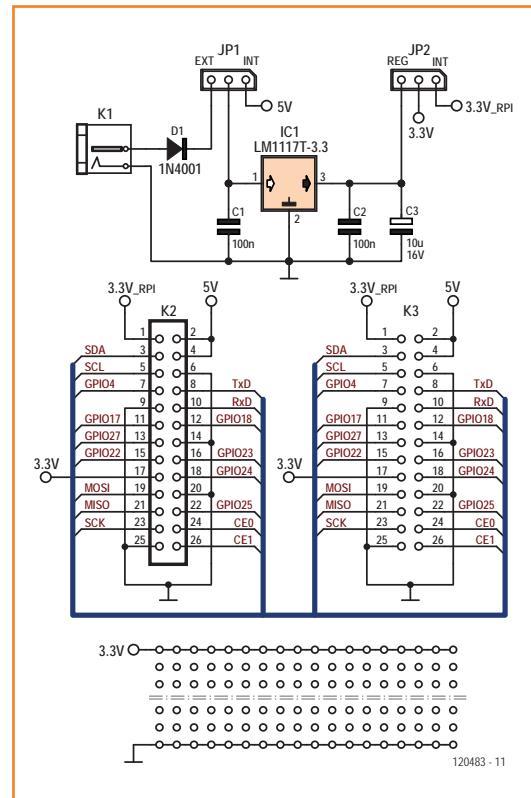


Bild 1.  
Keine große Schaltung, aber ausreichend für ernsthafte Prototypenentwicklung mit dem Raspberry Pi.





externen oder einer internen Spannungsquelle versorgt werden, zwischen denen man mit JP1 wählen kann. IC1 kann mit passendem Kühlkörper bis zu 800 mA liefern. Wenn JP1 auf „INT“ steht, wird IC1 direkt von der 5-V-Schiene des Raspberry Pi versorgt. Steht JP1 auf „EXT“, dann kommt die Versorgung von den 9...12 V, die ein externes Steckernetzteil über K1 (eine 2,1-mm-Netzteilebuchse mit positiven Zentral-Pin) und über den Verpolungsschutz D1 liefert. Ähnliches gilt für JP2: Steckt er in Position „INT“, dann kommen die 3,3 V von RPi und nur 50 mA sind möglich. In Position „REG“ sind die maximalen 800 mA möglich, die IC1 liefern kann. C1 und C2 entkoppeln IC1 und C3 dient als kleiner Puffer.

Die Hauptaufgabe des RP-PB ist ja, den Zugriff auf die Signale des RPi zu erleichtern. Der RPi-Pinheader steckt ja in K2, der nach K3 durchgeschleift ist. In K3 stecken weder Pins noch Buchsen, denn die beschrifteten freien Löcher stellen die Signale für die eigene Schaltung auf der Prototypenfläche zur Verfügung. Sollte diese mehr als 50 mA benötigen, dann nicht vergessen, JP2 auf „REG“ zu stecken und ein Steckernetzteil anzuschließen.

## Aufbau

Die Bestückung des RP-PB ist sehr simpel: Laut Bestückungsplan der Platine von **Bild 2** lötet man zuerst die kleinen Bauteile ein: D1, C1, C2, JP1 und JP2. Dann kommen K1 und C3 (auf die Pol-

ung achten). Nachdem IC1 bestückt ist, kommt abschließend K2 an die Reihe. K2 muss natürlich auf die Lötseite des RPi-PB. Wie schon erwähnt steckt in K3 zunächst einmal nichts. Man kann aber Pins und Stecker nach Belieben einlöten,

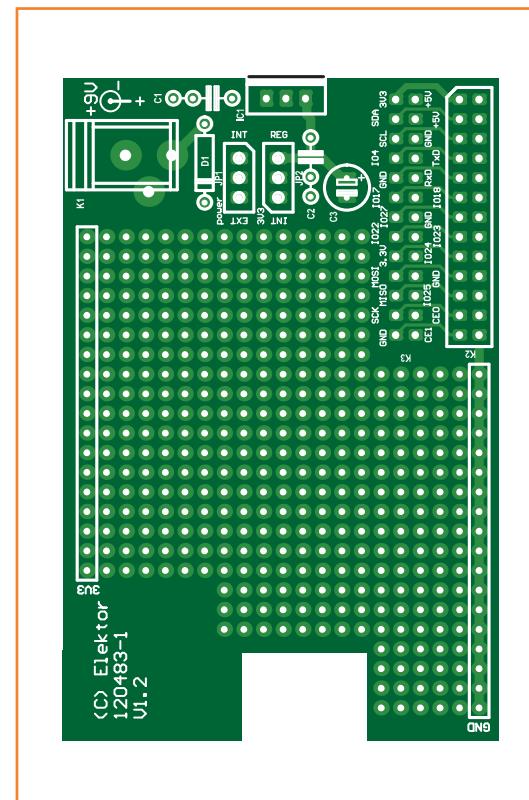


Bild 2.  
Ein Prototyping-Board ist wie ein Fußballplatz: er wartet darauf, dass man darauf spielt.

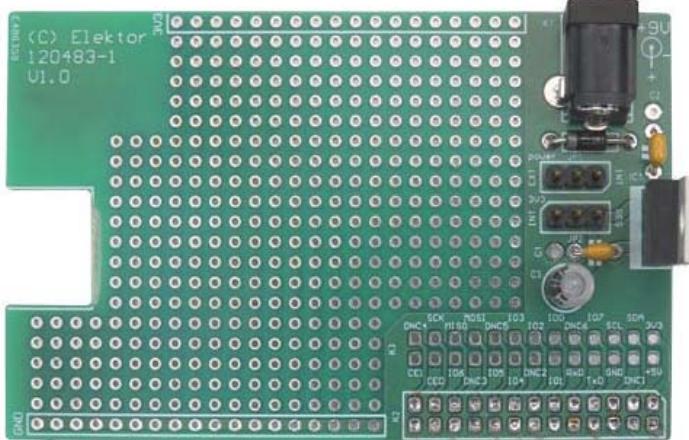
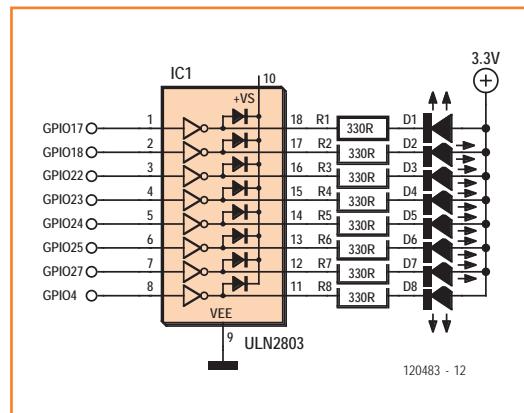


Bild 3.  
Tadellose Konstruktion  
dank Luc @ Elektor Labs.  
Beachten Sie, dass der  
Bestückungsaufdruck zu RPi  
Revision 2 passt.

wenn es für die eigene Schaltung nützlich ist. Die mechanische Ausführung des Steckverbinder für K2 ist wichtig. Die Platine des RPi ist reichlich komplex und es geht darauf sehr eng zu. Es gibt etliche hohe Bauteile: Die RJ45-Ethernet-Buchse und die Cinch-Buchse für Composite Video sind beide 13 mm hoch. Der Dual-USB-Anschluss bringt es sogar auf 17 mm Bauhöhe, weshalb eine extra Aussparung bei der Platine des PB vorgesehen ist. Damit das RPi gut zum PB passt, muss für K2 eine Ausführung mit mindestens 10 mm Höhe verwendet werden. Das empfohlene Exemplar kommt auf ausreichende 10,8 mm – zusammen mit der Höhe des Pinheaders auf dem RPi ergeben sich zufriedenstellende 13 mm Platinenabstand. Die diversen Buchsen des RPi haben also unter dem PB noch etwas Luft. Wenn alles soweit bestückt ist, sollte man das Resultat mit dem Prototypen des Prototyping Boards in **Bild 3** vergleichen.

Bild 4.  
Schaltung der RPi-Demo  
mit den obligatorischen  
blinkenden LEDs. Die  
wichtigen Dinge passieren in  
Software!

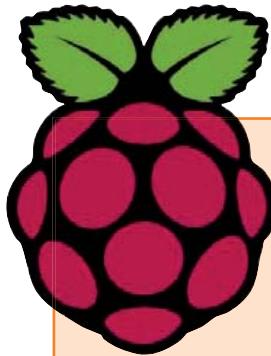


## PB-Praxis

Bei den Signalen des RPi-Erweiterungssteckers gibt es einige Dinge zu beachten. Der wichtigste Punkt ist, dass die Signale einen Pegel von 3,3 V haben und definitiv **nicht 5-V-kompatibel** sind. Außerdem sind die RPi-Signale nur begrenzt belastbar, denn der zulässige Strom in oder aus einem Ausgang beträgt nur 8 mA. **Schließen Sie keine großen Lasten an!** Bei größeren Strömen oder bei der Notwendigkeit der Koppelung mit 5-V-Pegeln ist der Einsatz eines Buffer-ICs wie dem Typ 74LVC245 zwingend.

## Blinkende LED mit RPi

Die in Elektor veröffentlichten Mikrocontroller-Schaltungen treffen oder gerade wegen des großen Interesses an diesen Themen auf sehr unterschiedliche Ansprüche, Anforderungen und Vorlieben. Während mancher Zeitgenosse keine Beispiele benötigt und sowieso alles von Grund auf selbst codiert, um auch noch das letzte Silizium-Atom unter Kontrolle zu haben, ist für andere Elektroniker bei dieser komplexen Materie jede Hilfe willkommen – im Idealfall gibt es nicht nur viele Beispiele, sondern am besten wäre, eines dieser Beispiele würde den eigenen Anwendungsfall fast hundertprozentig abdecken. Wie immer bei solch gegensätzlichen Anforderungen ist ein Kompromiss die ideale Lösung. Das folgende Beispiel führt in die Grundlagen der Steuerungsmöglichkeiten von RPi ein. Dabei spielt es zunächst einmal eine Nebenrolle, ob lediglich ein paar LEDs wie in **Bild 4** geschaltet werden oder gar ein Hauskraftwerk gesteuert wird, das sich über das Internet mit aktuellsten Preisen für Strom und Gas versorgt und selbst entscheidet, ob der Besitzer mit Einspeisung ins Netz mehr Geld macht oder ob der Strom besser selbst verbraucht (und man auch dafür finanziell gefördert) wird. Die Grenzen sind hier eindeutig weniger in der Hardware festgelegt, sondern in der Vorstellungskraft, was man mit RPi alles anstellen könnte. Warum? Weil hier Software ins Spiel kommt. Das Beispiel nutzt ein achtkanaliges Darlington-Array des Typs ULN2803, über das entsprechend viele LEDs angesteuert werden. Äquivalent zu Demos „richtiger“ PC-Software mit der rituellen Ausgabe von „Hello World“ sorgt man bei der Programmierung von Steuerungen dafür, dass zunächst einmal eine LED blinkt. Ist man so weit, dann hat man den Einstieg geschafft. Ganz in dieser Tradition demonstriert das Python-Programm



### Eben Upton, Mitinitiator von Raspberry Pi, meint:

**F:** Wie kam es zum Namen „Raspberry Pi“?

**A:** Wir wollten einen Computer speziell für Python, und es gibt eine Tradition, Computer nach Früchten wie Apricot, Acorn usw. zu benennen. Daher folgt Raspberry einer alten Tradition. Und das Pi, nun ja, wir wollten eine Verbindung mit Python. Da kommt das Pi ins Spiel.

**F:** Bei Raspberry Pi handelt es sich um eine nackte Platine. Keine Tastatur, keine Platte, kein Bildschirm – wie soll so etwas erfolgreich sein?

**A:** Zunächst gibt es keinen Grund, warum ein Computer mehr als 50 US-\$ kosten soll. Peripherie wie Bildschirm, Tastatur und Speicher würde die Sache verteuern, doch mit Raspberry Pi wollten wir einen anderen Pfad einschlagen: Ein normales TV-Gerät genügt. In Kombination mit einer gebrauchten Tastatur bekommt man für eine Hand voll Dollar ein voll funktionsfähiges System. Raspberry ist ja dazu gedacht, die Jugend zum Programmieren zu animieren.

(aus Elektor April 2012)



in **Listing 1**, wie man LEDs ansteuert.

Das Programm nutzt die Python-GPIO-Library zur Manipulation der GPIO-Pins. Wenn das Entwicklungssystem noch nicht herunter geladen und installiert ist, schickt man via LX Terminal folgende Befehle an RPi, um zunächst die Python-Development-Tools herunter zu laden:

```
sudo apt-get install python-dev
```

Für den Zugriff auf den RPi-GPIO-Port ist der Download und die Installation des GPIO-Package notwendig:

```
wget http://pypi.python.org/packages/source/R/
RPi.GPIO/RPi.GPIO-0.4.1a.tar.gz
```

Nach dem Download müssen die Dateien entpackt werden:

```
tar -zxf RPi.GPIO-0.4.1a.tar.gz
```

Nach der Extraktion stecken die Dateien in einem neuen Verzeichnis. So wechselt man in dieses Verzeichnis:

```
cd RPi.GPIO-0.4.1a
```

Für die Installation tippt man:

```
sudo python setup.py install
```

Anschließend ist die Python-GPIO-Library installiert. Nun tippt man mit IDLE oder einem Text-

#### **Listing 1: Blinky.py**

```
#!/usr/bin/python
import time
import RPi.GPIO as GPIO

# Configure Pi's GPIO pins
GPIO.setmode(GPIO.BCM)

pins = [17,18,22,23,24,25,21,4]

for pin in pins:
    GPIO.setup(pin,GPIO.OUT)

# Program loop
while True:
    for pin in pins:
        GPIO.output(pin, True)
        time.sleep(0.01)
        GPIO.output(pin, False)
        time.sleep(0.01)
```

## Mehr RPi-Schaltungen und Applikationen demnächst in Ihrem Elektor.POST-Newsletter



Editor unter RPi das Programm von Listing 1 ab. Dort definiert GPIO.setmode(...) den Modus, mit dem man die individuellen Pins anspricht. Nach Ausführung des Befehls GPIO.setmode(GPIO.BCM) kann man die symboli-

schen Nummern der RPi-I/O-Leitungen nutzen. Die verwendeten acht Pinnummern stecken in einem Array mit der Bezeichnung „pins“: GPIO17, GPIO18 und GPIO22...GPIO4.

**Achtung:** Die Allokation folgt hier der RPi-Platinen-Revision 1. Hier wird das Label GPIO27 mit „21“ indiziert, also mit der älteren I/O-Nummerierung.

Alternativ würde durch GPIO.setmode(GPIO.BOARD) die Pin-Nummerierung des RPi-Erweiterungssteckers genutzt, um die I/O-Leitungen zu bezeichnen. Damit sähe das Pin-Array zum Zugriff auf die LEDs so aus:

pins = [11,12,15,16,18,22,13,7]

Nach der Eingabe des Programms kann man es unter der Bezeichnung „Blinky.py“ sichern und mit dem LX Terminal folgende Befehle eingeben,

### Raspberry Pi – der Erweiterungs-Steckplatz

Tabelle 1. Expansion-Header P1

Pin-Name	Pin-Funktion	Zweitfunktion
P1-02	5.0V	-
P1-04	5.0V	-
P1-06	GND	-
P1-08	GPIO14	UART0_TXD
P1-10	GPIO15	UART0_RXD
P1-12 <sup>1</sup>	GPIO18	PWM0
P1-14	GND	-
P1-16	GPIO23	
P1-18	GPIO24	
P1-20	GND	-
P1-22	GPIO25	
P1-24	GPIO8	SPI0_CE0_N
P1-26	GPIO7	SPI0_CE1_N

Hinweise: <sup>1</sup> GPIO18 (Pin 12) fungiert auch als PWM-Ausgang. <sup>2</sup>I2C0\_SDA0 und I2C0\_SCL0 (GPIO0 & GPIO1) haben 1,8-kΩ-Pull-up-Widerstände gegen 3,3 V.

Pin-Name	Revision 1		Revision 2	
	Pin-Funktion	Zweitfunktion	Pin-Funktion	Zweitfunktion
P1-01	3.3V	-	3.3V	-
P1-03 <sup>2</sup>	GPIO0	I2C0_SDA	<b>GPIO2</b>	<b>I2C1_SDA</b>
P1-05 <sup>2</sup>	GPIO1	I2C0_SCL	<b>GPIO3</b>	<b>I2C1_SCL</b>
P1-07	GPIO4	GPCLK0	GPIO4	GPCLK0
P1-09	GND	-	GND	-
P1-11	GPIO17	RTS0	GPIO17	RTS0
P1-13	GPIO21		<b>GPIO27</b>	
P1-15	GPIO22		GPIO22	
P1-17	3.3V	-	3.3V	-
P1-19	GPIO10	SPI0_MOSI	GPIO10	SPI0_MOSI
P1-21	GPIO9	SPI0_MISO	GPIO9	SPI0_MISO
P1-23	GPIO11	SPI0_SCLK	GPIO11	SPI0_SCLK
P1-25	GND	-	GND	-

Bezüglich K2 in der Schaltung ist zu sagen: Das Erweiterungs-Interface von Raspberry Pi ist mit einem simplen zweireihigen Pinheader mit 26 Polen und einem Rastermaß von 0,1" (2,54 mm) realisiert. Die Signale fallen in eine von drei Kategorien:

um das Programm ausführbar zu machen:

`chmod +x blinky.py`

Anschließend kann man das Programm mit dem folgenden Befehl ausführen:

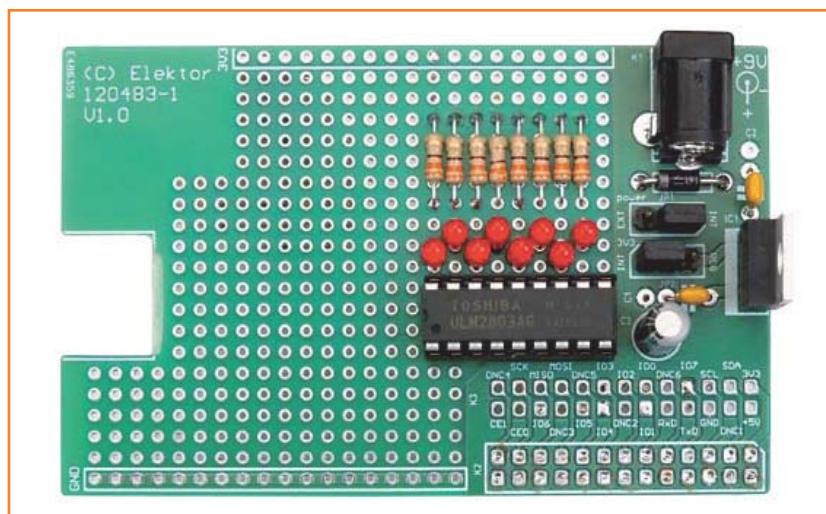
`sudo ./blinky.py`

Mit etwas umfangreicherem Code könnte man mit den LEDs z.B. die CPU-Temperatur oder die Netzwerk-Aktivität anzeigen lassen.

## Fazit

Der Kleinst-Computer Raspberry Pi bietet enormes Potential für eigene Programmierung für recht wenig Geld. Das hier beschriebene Prototyping-Board erleichtert dem mehr hardware-orientierten Elektroniker den Aufbau von Steuerungen, um RPi in der Praxis einsetzen zu können. Wenn Sie eine RPi-Applikation entwickelt haben, die Sie der Welt nicht vorenthalten wollen, dann zögern Sie nicht und e-publizieren sie diese auf [www.elektor-labs.com](http://www.elektor-labs.com).

(120483)



## Weblinks

- [1] [Webseite zu Raspberry Pi:](http://www.raspberrypi.org) [www.raspberrypi.org](http://www.raspberrypi.org)
- [2] [Interview mit Eben Upton: „What are you Doing?“, Elektor April 2012,](http://www.elektor-magazine.de/120228) [www.elektor-magazine.de/120228](http://www.elektor-magazine.de/120228)
- [3] [www.elektor-magazine.de/120483](http://www.elektor-magazine.de/120483)

Bild 5.

Die Experimentschaltung auf dem Prototypen-Feld. Die Verbindung zu RPi geschieht über K2.

**Tabelle 2. Expansion-Header P5 (nur Rev. 2)**

Pin-Name	Pin-Funktion	Zweitfunktion
P5-01	5V0	
P5-02	3.3V	
P5-03	GPIO28	PCM_CLK
P5-04	GPIO29	PCM_FS
P5-05	GPIO30	PCM_DIN
P5-06	GPIO31	PCM_DOUT
P5-07	GND	
P5-08	GND	

- Power: +5 V und 3,3 V\* sowie Masse (0 V)
- Input/Output: GPIO-Signale
- Kommunikation: Serieller UART, SPI und I<sup>2</sup>C

\* Achtung: Der 3,3-V-Anschluss kann lediglich 50 mA zur Verfügung stellen.

Es gibt insgesamt 17 GPIO-Leitungen auf dem Erweiterungssteckplatz. Die meisten davon haben zusätzliche Funktionen. Über diese Zweitfunktionen sind serielle, SPI- und I<sup>2</sup>C-Interfaces zugänglich.

Jeder GPIO-Pin kann je nach Konfiguration zwischen 2 und 16 mA liefern bzw. aufnehmen. Nach einem Reset ist die „drive strength“ via Konfigurations-Register auf den Default-Wert von 8 mA eingestellt.

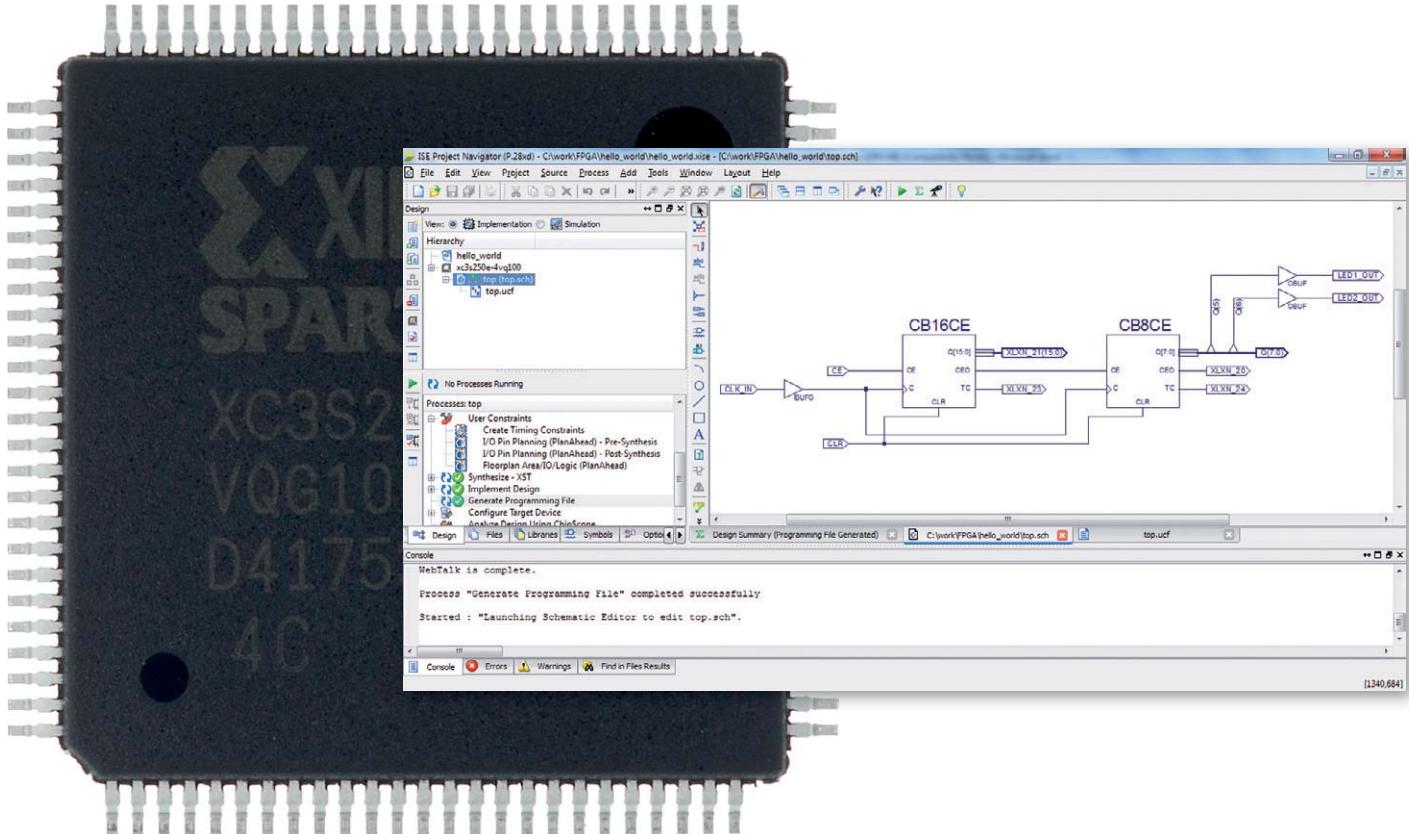
Zusätzlich zum Erweiterungs-Steckplatz P1 gibt es seit der Revision 2 eine zweiten kleineren Expansion-Header P5 (siehe **Tabelle 2**).

Hier stehen vier weitere GPIO-Leitungen zur Verfügung. Besonders interessant: Über P5 ist der Zugriff auf das PCM-Audio-Interface des Broadcom-Chips 2835 möglich. Zusätzlich gab es bei Revision 2 leichte Änderungen bei P1 (siehe **Tabelle 1**). Wichtig ist dabei, dass das I<sup>2</sup>C0-Interface durch I<sup>2</sup>C1 ersetzt wurde, was man bei der Nutzung von I<sup>2</sup>C beachten sollte.



# Bauen Sie Ihren Chip! (3)

## 250.000 Gatter zählen bis 100



Die vorangegangene Folge dieser Artikelreihe zeigte, wie ein ISE-Projekt für den FPGA erstellt werden kann. Zur Übung hatten wir den FPGA so programmiert, dass auf dem FPGA-Board eine LED blinkt.

Von Clemens Valens  
(Elektor.LABS)

Diesmal wollen wir den hierarchischen Aufbau eines Projekts aus Komponenten demonstrieren, die wir selbst entwickeln. Als Beispiel haben wir einen Up-Down-Zähler gewählt, der ein zweistelliges Siebensegment-Display steuert. Ferner wollen wir zeigen, wie die Anschlüsse des FPGA-Boards im *User Constraint File* (UCF) ohne Einsatz des Tools PlanAhead definiert werden können.

### Los gehts!

Öffnen Sie das Projekt *Hello World* aus Folge 2 im ISE Project Navigator und klicken Sie auf *File→Copy Project....* Geben Sie den Namen eines neuen Projekts ein, beispielsweise *part3*,

und haken Sie die Option *Exclude generated files from the copy* an, damit das Projekt neu generiert wird. Im Moment geht es nur darum, ein Projekt mit den korrekten Einstellungen für das FPGA-Board zu erstellen. Haken Sie die Option *Open copied project* an. Klicken Sie auf *OK* und lehnen Sie sich zurück, während ISE das neue Projekt vorbereitet und anschließend öffnet. Da wir ein hierarchisches Projekt erstellen, muss *top* größtenteils frei geräumt werden. Das Schema aus *top* verschieben wir in eine neue Datei, die *clock* heißen soll. Klicken Sie dazu im Tab *Design* mit der rechten Maustaste auf das FPGA-Symbol und wählen Sie *New Source...*, anschließend

*Schematic*, geben Sie den Dateinamen ein und klicken Sie auf *Next* gefolgt von *Finish*. Nun können Sie mit den Windows-Funktionen „Ausschneiden“ und „Einfügen“ den Inhalt von *top* nach *clock* übertragen. Achten Sie darauf, dass das Netz *CLK\_IN* mit seinem IBUFG-Puffer in *top* erhalten bleibt, ebenso wie die Netze *LED1\_OUT* und *LED2\_OUT* mit den zugehörigen OBUF-Puffern und dem Bus *taps*. Wenn Sie die Hausaufgabe aus Folge 2 versäumt haben, ist nur *LED1\_OUT* vorhanden.

Im Schema *clock* müssen Sie ein I/O-Label hinzufügen, so dass der abgetrennte Takteingang geschlossen ist. Dazu platzieren Sie dort, wie in Folge 2 beschrieben, einen I/O-Marker. Geben Sie dem Netz, das die Zählereingänge „C“ verbindet, den Namen *CLK*. Die LEDs schließen Sie in *top* auf gleiche Weise wie im Beispiel *Hello World* an. Wir wollen nun einen Zähler *up/down* konstruieren, das Schema in *clock* soll das Taktsignal liefern. Weil das Signal *CLR* nicht benötigt wird, kann es im FPGA auf ein konstantes Niveau gelegt werden, so dass es keinen FPGA-Anschluss belegt. Aus den verfügbaren Möglichkeiten haben wir hier den Pulldown-Widerstand gewählt. Sie finden ihn in der Liste *Symbols*, wenn Sie auf die Schaltfläche *Add Symbol* klicken (oder Sie aktivieren den Tab *Symbols*), und unter *Categories* wählen Sie die Option *General*. Ziehen Sie den Eintrag *pulldown* in das Schema und platzieren Sie ihn auf das Netz *CLR*.

## Komponenten erzeugen

Sichern Sie alle Dateien, die noch nicht gespeichert sind, die Dateien sind in ISE mit einem Stern gekennzeichnet. Öffnen Sie den Tab *Design* und wählen Sie in der Liste *Hierarchy* die Datei *clock*. Klicken Sie falls erforderlich im Fenster *Processes* auf das Pluszeichen vor *Design Utilities*, so dass der Baum ausklappt. Dann doppelklicken Sie auf die Zeile *Create Schematic Symbol*. ISE macht sich an die Arbeit, und nach erfolgreichem Verlauf erscheint am Anfang der Zeile ein grüner Haken. Die neue Komponente wurde im oberen Bereich der Liste *Categories* im Tab *Symbols* eingefügt. Der Pfad des Projekts steht dort in einer neuen Zeile, in diesem Fall lautet er <C:\work\FPGA\part3>. Wenn Sie diese Zeile auswählen, erscheint im darunter befindlichen Fenster *Symbols* eine Komponente *clock*, die Sie nach bekannter Methode in *top* einfügen können. Tun Sie dies und betrachten Sie, was geschieht (**Bild 1A**).

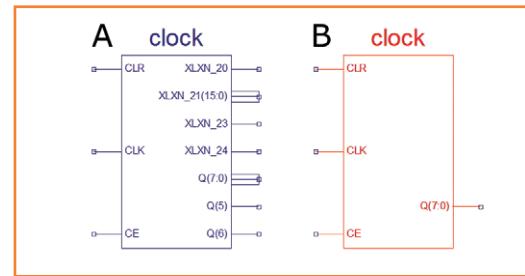


Bild 1.  
Aus der Komponente *clock* (A) entsteht (B), wenn nicht benötigte Leitungen entfernt werden

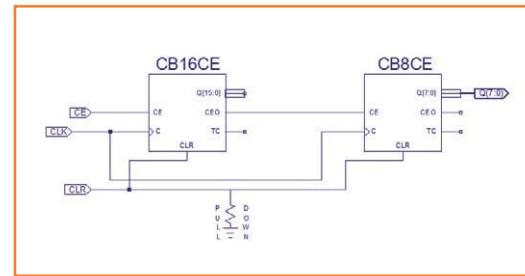


Bild 2.  
Schema der Komponente *clock*.

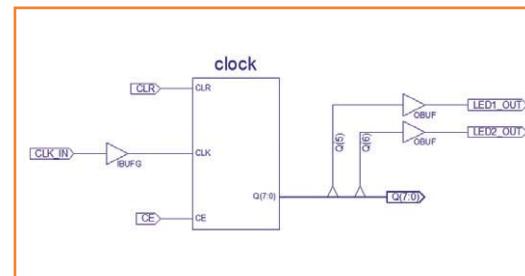


Bild 3.  
Die Komponente *clock* ist Bestandteil von *top*.

Die Komponente besitzt diverse, hier unnötige Anschlüsse, die Signalbezeichnungen beginnen mit *XLXN\_*. Da diese Signale in unserem Projekt nicht verwendet werden, lässt sich die Komponente vereinfachen. Entfernen Sie in der Datei *clock.sch* alle überflüssigen Label und Leitungen (**Bild 2**). Aktivieren Sie den Tab *Design* und wählen Sie den Eintrag *clock*. Er kann unter *top* mit einem modifizierten Namen stehen, in dem jedoch *clock* vorkommt. Klicken Sie im Fenster darunter mit der rechten Maustaste auf *Create Schematic Symbol*, wählen Sie *Process Properties...* und haken Sie die Option *Overwrite Existing Symbol* an. Nach einem Klick auf *OK* klicken Sie noch einmal mit der rechten Maustaste auf *Create Schematic Symbol*, jetzt wählen Sie jedoch *ReRun*. Warten Sie, bis ISE bereit ist, und gehen Sie nach *top.sch*. Hier sehen Sie zuerst noch das alte Symbol, doch sobald Sie an beliebiger Stelle klicken, öffnet ISE ein Fenster *Obsolete Symbols*, in dem Sie das Symbol bearbeiten können. Wählen Sie *clock*, klicken Sie auf *Update* und danach auf *OK*, um das Fenster zu schließen. Jetzt hat das Symbol die in **Bild 1B** dargestellte Gestalt.

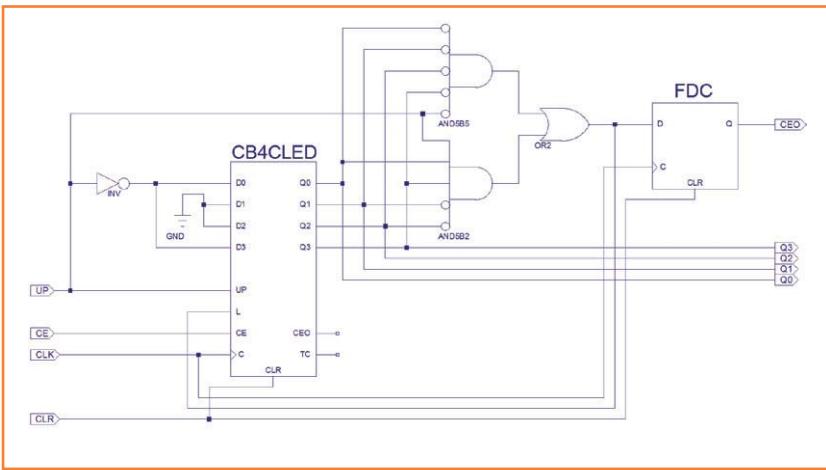


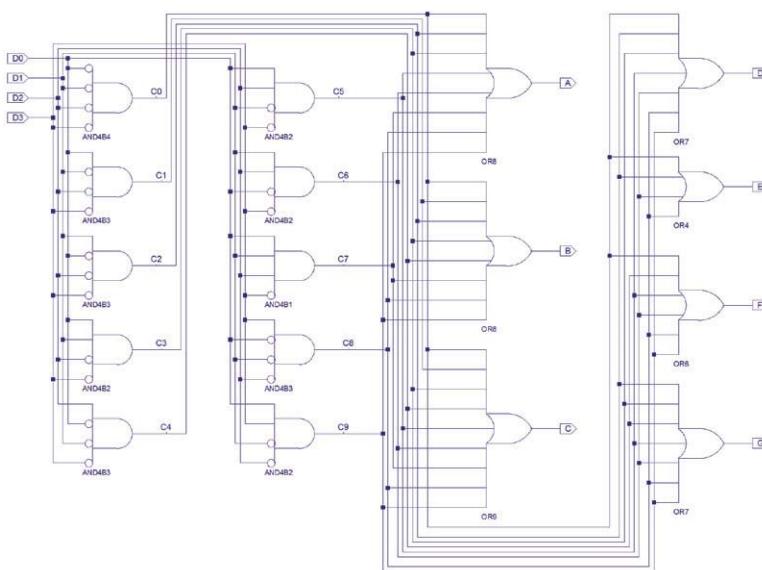
Bild 4.  
Der BCD-Zähler up/down  
basiert auf einem 4-bit-  
Binärzähler.

Schließen Sie das Symbol clock an, wie in **Bild 3** gezeigt, und starten Sie *Implement Top Module*, beispielsweise über die Schaltfläche mit dem grünen Dreieck oder mit einem Mausklick auf *top*. Jetzt erscheinen im Fenster einige Warnungen der Kategorie *Xst:753*:

WARNING:Xst:753 - „C:/work/FPGA/part3/top.vhf“ line 1962: Unconnected output port ,Q' of component ,CB16CE\_mxilinx\_top’.

Die Warnungen betreffen die nicht angeschlossenen Ausgänge der Komponenten in *clock*. Generell sollen die Ursachen solcher Warnungen beseitigt werden, doch leider scheint ISE - oder genauer gesagt: XST - keine Lösung für diese Warnung

Bild 5.  
Der Siebensegment-Decoder  
ist ein kombinatorisches  
logisches System.



anzubieten. Der FPGA-Hersteller Xilinx gibt an, dass die Warnung ignoriert werden kann, solange die offenen Ausgänge nicht verwendet werden [2]. Da die Warnung nicht behebbar ist, bleibt in der Zeile *Syntesize - XST* des Tabs *Design* ein gelbes Warndreieck stehen. Der übrige Teil der Implementierung ist durch grüne Haken gekennzeichnet.

Erzeugen Sie nun einen Bitstream, indem Sie beispielsweise mit der rechten Maustaste auf *Generate Programming File* klicken, und kopieren Sie das Ergebnis wie in Folge 2 beschrieben auf die SD-Karte des FPGA-Boards. Wenn alles gut gegangen ist, blinken die LEDs in gleicher Weise wie zuvor. Falls die LEDs nicht blinken, müssen Sie zuerst das Problem suchen und beseitigen.

## Ein BCD-Zähler

Die Bibliotheken von ISE enthalten diverse Zähler, die jedoch ausnahmslos binär zählen. Weil ein Zähler von 0 bis 9 fehlt, der außerdem vorwärts und rückwärts zählt, müssen wir diesen Zähler konstruieren. Da wir das Rad nicht jedes Mal neu erfinden wollen, greifen wir möglichst auf die Komponenten der ISE-Bibliotheken zurück. Dort finden wir den Zähler *cb4cled* vor, einen binären 4-bit-Up-Down-Zähler, der parallel auf einen willkürlichen Zählerstand gesetzt werden kann. Weil in den Bibliotheken kein weiterer Up-Down-Zähler verfügbar ist, müssen wir mit ihm vorlieb nehmen.

Der Zähler zählt von 0 bis 15 oder von 15 bis 0, so dass er für den Bereich 0 bis 9 oder 9 bis 0 modifiziert werden muss. Das lässt sich realisieren, indem der Zähler auf seinen Anfangsstand gesetzt wird, sobald er die gesetzte Zählgrenze erreicht. Wenn der Zähler aufwärts zählt und auf 9 steht, muss beim nächsten Schritt der Wert 0 geladen werden. Dieser Startwert ist aus dem Signal *up/down* ableitbar, ein einzelner Inverter genügt (siehe Signale *UP* und *D0...D3* in **Bild 4**).

Sobald der Zähler einen Endwert bei entsprechender Zählrichtung erreicht, muss ein Ladesignal generiert werden. Von den übrigen Zählerständen sind die Endwerte 0 und 9 über zwei AND-Gatter unterscheidbar. Die ISE-Bibliothek hält AND-Gatter in diversen Varianten bereit, so dass wir eine Version wählen können, die mit der benötigten Anzahl nicht invertierender und invertierender Eingänge versehen ist. Die beiden Ladesignale werden von einem OR-Gatter zum Signal *L* kombiniert. Der Zähler *cb4cled* wertet

das Signal L erst bei der folgenden Flanke von C aus, so dass der zeitliche Ablauf stimmt. Beachten müssen wir, dass die Zählerausgänge erst nach einer Vorderflanke des Signals C ihren Zustand ändern. Außerdem geschieht generell nichts in unendlich kurzer Zeit, wegen der endlichen Signallaufzeiten treten Verzögerungen auf.

Gleichzeitig mit der folgenden Vorderflanke des Taktsignals C wird das aktive Signal L in das Flipflop FDC geladen. Während dieser Zeit lädt der Zähler `cb4cled` den neuen Startwert. Dadurch wird das Signal L kurze Zeit später wieder inaktiv, so dass der nächste Taktimpuls den Flipflop-Ausgang wieder deaktiviert. Am Ausgang des FDC erscheint ein sauberer Impuls, und zwar immer wenn der Zähler einen Endwert erreicht. Dieses pulsförmige Signal kann bei Bedarf eine nachgeschaltete Zählerstufe steuern.

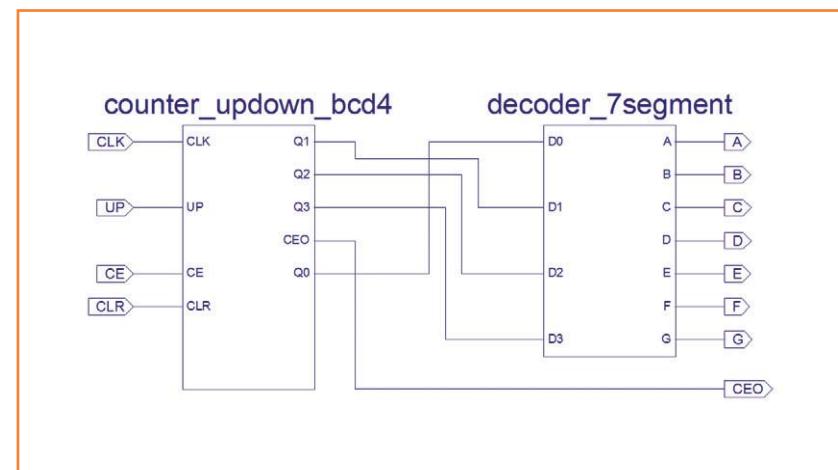
Das Flipflop FDC hat eine wichtige Funktion. Eigentlich könnte man mit dem Signal L ja auch direkt eine nachfolgende Zählerstufe steuern. Bei dem Versuch, dies zu implementieren, gibt ISE allerdings folgende Warnmeldung aus:

```
WARNING:PhysDesignRules:372 - Gated clock.
Clock net XLXN_116 is sourced by a combinatorial pin. This is not good design
practice. Use the CE pin to control the loading of data into the flip-flop.
```

Darin ist XLXN\_116 der Name des Netzes, er hängt vom Projekt ab. Die Warnung besagt, dass in FPGA-Projekten (und anderen logischen Schaltungen) keine kombinatorischen Signale als Takt-Signale verwendet werden sollen, und „kombinatorisch“ bedeutet, dass das Signal aus mehreren logischen Operationen resultiert. Solche Signale sind mit Laufzeiten behaftet, die von der Anzahl der durchlaufenen Gatter abhängen. Die Laufzeiten können zeitlich instabil oder nicht definiert sein. Es ist nicht gewährleistet, dass die Signale synchron zum Haupttakt sind. Als Folge können nicht definierte Zustände auftreten, beispielsweise so genannte *Glitches*, die zu Fehlfunktionen führen. Das Flipflop jedoch synchronisiert das Signal mit dem Haupttakt, die oben zitierte Warnung erscheint nicht mehr. Wenn der BCD-Zähler vollständig ist, können Sie auf dem bekannten Weg eine Komponente erzeugen.

### Siebensegment-Decoder

Die Siebensegment-LED-Displays, die den Stand des BCD-Zählers anzeigen, müssen von einem



Siebensegment-Decoder gesteuert werden. In den ISE-Bibliotheken ist ein Decoder dieses Typs nicht enthalten, so dass wir ihn konstruieren müssen. Funktional ist der Decoder unkompliziert, lediglich die Leitungen erfordern etwas Aufwand. Unsere Version besteht, wie **Bild 5** zeigt, ausschließlich aus Logikgattern. Der Decoder ist auch mit Look-up-Tabellen realisierbar (*lookup tables*, LUTs), wir haben uns jedoch für die andere Lösung entschieden. Dieser Teil des Zählers darf kombinatorisch aufgebaut sein, eine Synchronisation der Signale mit dem Taktignal ist nicht notwendig. Übernehmen Sie den Entwurf in ein neues *schematic source file* und erzeugen Sie daraus eine Komponente.

**Bild 6.**  
Ein einstelliger BCD-Zähler mit Siebensegment-Ausgängen.

### Siebensegment-Zähler

Durch Kombinieren der beiden Komponenten entsteht eine neue Komponente, ein BCD-Zähler mit integriertem Siebensegment-LED-Treiber. Erzeugen Sie ein weiteres *schematic source file* und ziehen Sie den BCD-Zähler *up/down* und den Siebensegment-Decoder hinein. Verknüpfen Sie diese Komponenten miteinander wie in **Bild 6** dargestellt. Wenn das kombinierte Schema fertig gestellt ist, können Sie daraus die neue Komponente erzeugen. Anschließend werden Sie feststellen, dass dieser neuen Komponente im ISE-Tab *Design* die beiden anderen Komponenten untergeordnet sind. Die hierarchische Struktur nimmt Gestalt an.

### Gesamtschema

Nachdem alle Komponenten bereit stehen, können sie im Schema *top* zu einem Gesamtschema zusammen gefügt werden. Außer der Komponente *clock* werden zwei Siebensegment-Zähler

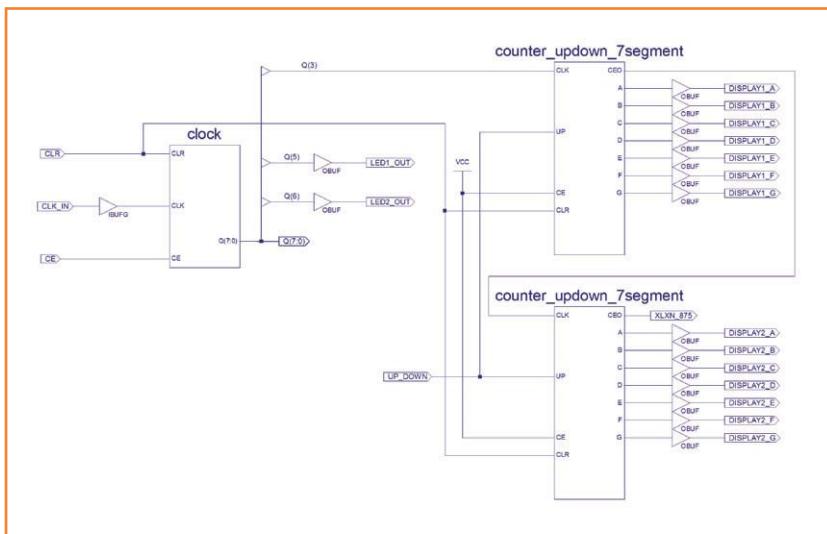


Bild 7.  
Schema des zweistelligen Siebensegment-Zählers up/down.

benötigt, denn die Anzeige ist zweistellig. Hängen Sie an die Ausgangsleitungen, die mit Pins des FPGA verbunden werden sollen, Puffer des Typs OBUF an. Auf der Eingangsseite sind abgesehen vom Signal CLK keine Puffer erforderlich, die Eingänge erhalten lediglich Label. Auch der nicht benutzte Ausgang CEO des zweiten Siebensegment-Zählers sowie der Bus Q(7:0) werden mit Labels versehen, um Warnungen wegen nicht angeschlossener Ausgänge aus dem Weg zu gehen. Nebenbei sei bemerkt, dass ISE ein in *top* nicht angeschlossenes Label trotzdem mit einem Pin verknüpft. Wenn Sie die nicht angeschlossenen Pins des FPGA-Boards mit einem Oszilloskop abtasten, finden Sie dies bestätigt. An die genannte Eigenart sollten Sie denken, wenn Sie externe Komponenten mit dem FPGA verbinden, die (im Moment noch) nicht vom FPGA gesteuert

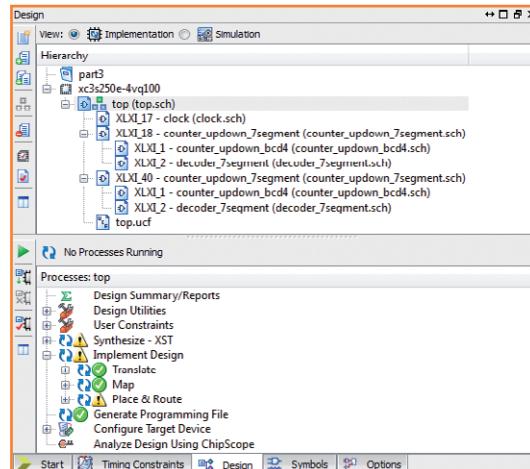


Bild 8.  
Hierarchische Struktur der Entwicklungskomponenten.

werden. Es ist zweckmäßig, diese Pins zunächst auf ein definiertes Niveau zu legen.

Unser Gesamtschema ist in **Bild 7** dargestellt. Wir haben die Zählfrequenz auf 7,6 Hz festgelegt (Ausgang Q3 von *clock*), was eventuell etwas zu hoch ist. Wählen Sie einen anderen Ausgang, damit der Zähler langsamer zählt.

Die Hierarchie im Tab *Design* ist nun vollständig: Aus **Bild 8** ist ersichtlich, dass der FPGA die Hierarchie anführt, dann folgen *top* und die übrigen Komponenten.

## UCF-Datei bearbeiten

Nun müssen nur noch die Pins des FPGAs angeschlossen werden. Das geschieht über die UCF-Datei, sie ist in der Hierarchie auf der Ebene von *top* angesiedelt. Öffnen Sie den Tab *Design* und klappen Sie falls noch nicht geschehen *top* aus, indem Sie auf das Pluszeichen klicken. Im unteren Teil des Baums erscheint der Dateiname *top.ucf*. Doppelklicken Sie darauf und warten Sie, bis ISE die Datei öffnet. Die Datei ist eine Textdatei, in der die Pin-Definitionen aus unserer zweiten Artikelfolge stehen. Alle Pins sind über eine Variable LOC an ein NET gekoppelt. Der Name des Net muss natürlich im Projekt vorkommen. LOC steht für *location*, die Variable enthält die Nummer des FPGA-Pins. Zu jedem Pin gehört ferner ein IOSTANDARD, diese Variable ist für unser FPGA-Board immer LVCMS33. Eingänge und Ausgänge werden hier nicht unterschieden. Einige Pins können außerdem das Attribut PULLUP oder PULLDOWN haben, was auf einen FPGA-internen Pullup- oder Pulldown-Widerstand hindeutet. Die Netze CLK\_IN, LED1\_OUT und LED2\_OUT bleiben bei unserem FPGA-Board stets unverändert. Wir können sie im oberen Teil der Datei anordnen und müssen sie nicht weiter beachten. Die übrigen Netze können gelöscht oder bearbeitet werden; hier werden sie durch andere Netze ersetzt. Kommentarzeilen müssen mit dem Zeichen „#“ beginnen. Denken Sie beim Zuweisen der Pins daran, dass Pin 37 (FPGA-Anschluss 13) nur Eingang sein kann. Dies ist der Anfang unserer Liste:

```
# Hardwired pins
NET „CLK_IN“ LOC = P32;
NET „CLK_IN“ IOSTANDARD = LVCMS33;
NET „LED1_OUT“ LOC = P90;
NET „LED1_OUT“ IOSTANDARD = LVCMS33;
NET „LED2_OUT“ LOC = P91;
NET „LED2_OUT“ IOSTANDARD = LVCMS33;
```



## 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.)

## PIC-Mikrocontroller-Programmierung in C (2-tägiges Seminar)

In diesem 2-tägigen Kurs werden Sie die Programmierung von „Eingebetteten Systemen“ in der Programmiersprache C kennenlernen. Dazu wird auf die PIC-Mikrocontroller-Familie der Firma Microchip anhand des C18-/C30-Compilers eingegangen. Das Hauptaugenmerk liegt auf der C-Sprache, um sich besser auf die verschiedenen Elemente von C selbst zu konzentrieren. Die Darstellung wird von einer Reihe praktischer Übungen, die Sie selbst an Ihrem Notebook durchführen werden, begleitet. Dabei werden Übungen innerhalb des MPLAB-Simulators ausgeführt und ermöglichen Ihnen, die Vertiefung des Stoffes. Ferner ist es möglich, das Erlernte mit jedem ANSI C-Compiler anzuwenden. Abgeschlossen werden die Betrachtungen mit praktischen Übungen, die Sie selber mit einem PICkit 3 Debug Express und zugehöriger Platine durchführen werden. Das Hardware-Tool im Wert von ca. 69,00 € nehmen Sie im Anschluss mit nach Hause.

Referent: Prof. Dr.-Ing. Francesco P. Volpe – Teilnahmegebühr: 899,00 € (inkl. MwSt.)



## 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 großer 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 Spanner - Teilnahmegebühr: 349,00 € (inkl. MwSt.)

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

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

**SEHR GUT**

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

### 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

### Arduino – Programmierung und Projektentwicklung

09.03.2013 München  
16.04.2013 Hanau  
05.09.2013 Dortmund  
07.11.2013 Zürich (CH)

### PIC-Microcontroller- Programmierung in C

05. + 06.03.2013 Hanau  
16. + 17.04.2013 München

### Echtzeitbetriebssysteme in Theorie und Praxis

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)

# Projects

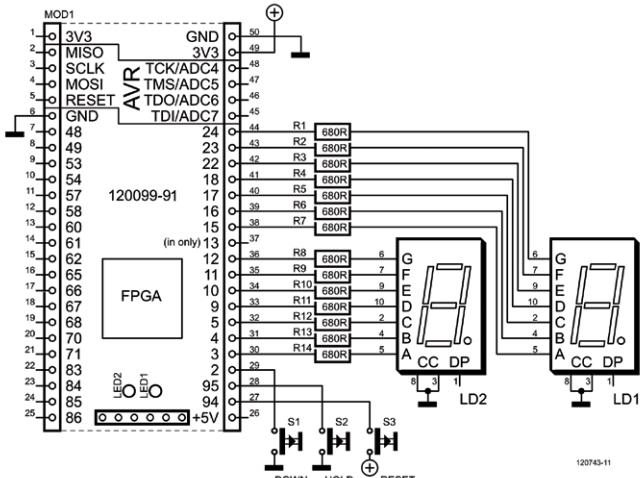


Bild 9.  
Verbindungen der  
Siebensegment-Displays mit  
dem FPGA-Board.

```
# 7-segment display 1
NET „DISPLAY1_A“ LOC = P15;
NET „DISPLAY1_A“ IOSTANDARD = LVCMOS33;
NET „DISPLAY1_B“ LOC = P16;
NET „DISPLAY1_B“ IOSTANDARD = LVCMOS33;
...
```

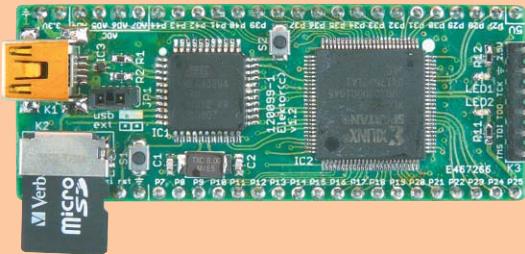
## Implementieren

Jetzt steht alles bereit, um einen Bitstream für den FPGA zu generieren. Klicken Sie auf die Schaltfläche *Implement Top Module* (lesen Sie gegebenenfalls im ersten Teil der Artikelfolge nach) und warten Sie, bis ISE startklar ist. Es erscheinen wieder einige Warnungen, auch diesmal können Sie die Warnungen ignorieren. Die Warnungen des Typs

WARNING:Xst:653 - Signal <dummy> is used but never assigned.

**Das FPGA-Experimentierboard, vollständig aufgebaut und getestet, ist über Elektor für 59,95 € plus Versandkosten erhältlich.**

Auf [www.elektor.de/120099](http://www.elektor.de/120099) steht Näheres!



werden von XST verursacht. XST verwendet Hilfsnetze beim Aufbau der Siebensegment-Decoder und Siebensegment-Zähler, die Hilfsnetze haben nur eine Nebenfunktion. Der Prozess *Place & Route* (PAR) erzeugt die Warnung

WARNING:Route:455 - CLK Net:Q\_3\_OBUF may have excessive skew because

Dem lässt sich nicht viel entnehmen, denn hinter „because“ ist nichts angegeben. Die Ursache dieser Warnung bleibt im Unklaren. Die Warnung kann ignoriert werden, weil unser Projekt (hoffentlich) kein Problem mit excessive skew hat. Erzeugen Sie den Bitstream mit der Funktion *Generate Programming File* und kopieren Sie ihn unter dem Namen config.bin auf die SD-Speicherkarte des FPGA-Board. Starten Sie das Board neu. Wenn das Board wie in Bild 9 angeschlossen ist, muss jetzt der Zähler zählen. Sie können ihn beeinflussen, indem Sie Signale an die Pins 27 (reset, aktiv high), 28 (Stopp, aktiv low) oder 29 (up = high, down = low) legen. Die beiden LEDs auf dem FPGA-Board müssen blinken wie zuvor.

## Kleine Hausaufgabe

Bauen Sie den Siebensegment-Decoder mit Look-up-Tabellen (LUTs) auf. Beachten Sie, dass Sie eine Komponente nach einer Modifizierung nicht nur neu generieren müssen, auch in den darüber liegenden Ebenen ist ein Update erforderlich. Wenn Sie kein Update durchführen, erhalten Sie bei der Implementierung eine Fehlermeldung. Vielleicht finden Sie einen Weg, der ISE veranlasst, diese Updates selbsttätig vorzunehmen?

## Wird fortgesetzt...

In der nächsten Folge der Artikelreihe wollen wir uns mit der Simulation unseres Up-Down-Zählers beschäftigen. Voraussichtlich werden wir auch mit einer *Hardware Description Language* (HDL) wie VHDL oder Verilog in Berührung kommen.

(120743)gd

## Weblinks

- [1] [www.elektor-magazine.de/120743](http://www.elektor-magazine.de/120743)
- [2] [www.xilinx.com/support/answers/14065.htm](http://www.xilinx.com/support/answers/14065.htm)

## 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

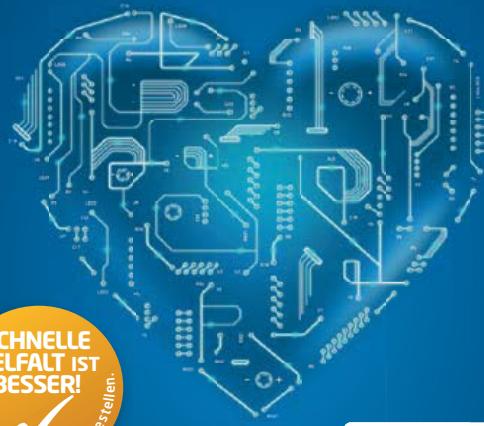


Preisbeispiel: 34,90 €  
zzgl. Ust./Versand

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)

## WIR LIEBEN, WAS WIR MACHEN.

LEITERPLATTEN MIT LEIB UND SEELE.



**SCHNELLE  
VIELFALT IST  
BESSER!**

Online kalkulieren. Online bestellen.

**LEITON**

RECHNEN SIE MIT BESTEM SERVICE

Mit ganzem Herzen bei der Sache. Die Fertigung hochwertiger Leiterplatten betreiben wir täglich mit größtem Engagement und Leidenschaft. Herzblut inklusive. Damit haben wir uns nach der Gründung 2004 in kürzester Zeit am Markt etabliert. Heute ist das dynamische Team mit langjähriger Branchenerfahrung flexibel und servistark genug, um auch Ihre ausgefallensten Wünsche erfüllen zu können. **Wir lieben was wir tun** und freuen uns jeden Tag erneut über die Aufgaben, die Sie uns stellen. Lassen Sie sich von einer großen Auswahl an Lösungen begeistern. Was Sie nicht selbst online kalkulieren können, lösen wir gerne persönlich für Sie. Das bedeutet: 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

**NEU**

Herbert Bernstein

## Formelsammlung

Das Taschenbuch für Elektronik und Elektrotechnik

$$\begin{aligned} I &= \int_{\text{S}} \mathbf{J} \cdot d\mathbf{A} = 0 & \omega = \frac{2\pi}{T} & \{\omega\} = \frac{2\pi}{3} = \frac{1}{3} \pi^2 \cdot 5 \cdot 5 \cdot \sin \theta \cdot \cos(\theta) \\ I_m &= \sqrt{\int_{\text{S}} I^2 d\mathbf{A}} & |R| = \frac{V}{I} & A = \sqrt{\frac{V}{I}} \cdot \sin \theta \cdot \cos(\theta) \\ R &= \sum I_r & V = \frac{I}{A} & I = \frac{V}{R} \cdot \sin \theta \cdot \cos(\theta) \\ U &= \frac{IR_1}{(R_1 + R_2 + R_3)} = \frac{R_1}{R_{\text{tot}}} & T = \frac{1}{f} & T = \frac{1}{f_{\text{tot}}} = \frac{1}{f_1 + f_2 + f_3} \\ \frac{U_1}{U} &= \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{R_1}{R_{\text{tot}}} & H = P + \frac{P^2 - f^2}{2} & R = \frac{V}{I} = \frac{U}{I} = f \cdot R + \\ & H = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{f^2}{P^2}} & \eta = \frac{P}{P_{\text{max}}} = \frac{R_1 \cdot I^2}{(R_1 + R_2) \cdot I^2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} & \eta = \frac{\sqrt{C_1 + C_2}}{\sqrt{C_1 \cdot C_2}} \\ & \eta = \frac{1}{1 + \frac{f^2}{P^2}} & R_1 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)^{-1} & R_2 = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2}} \\ & \eta = \frac{1}{1 + \frac{f^2}{P^2}} & R_2 = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)^{-1} & R_1 = \frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_1}} \\ & U = \frac{W}{Q} = \frac{F \cdot S}{I \cdot t} & p(t) = \frac{d\psi(t)}{dt} = \frac{d\phi(t)}{dt} \cdot \frac{d\theta(t)}{dt} & p(t) = v(t) \cdot \dot{\theta}(t) \end{aligned}$$

Elektor

## 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 simpifizieren.

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 Grundschaltungen der Elektrotechnik • Wechselstromkreis • Dioden mit Berechnungen und Anwendungen • Transistoren mit Kennwerten und Kennlinien • Feldeffekttransistor, MOSFET und Röhren • Spezialbauelemente mit Thermistoren • Operationsverstärker mit Grundschaltungen • Leistungselektronik • Messtechnik • Digitaltechnik

272 Seiten (kart.) · Format 14 x 21 cm · ISBN 978-3-89576-251-2

€ 29,80 · CHF 37,00

**Elektor**

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

# Universeller Power-LED-Treiber

## Klein, effizient und praktisch

Von Ingo Burret (D)

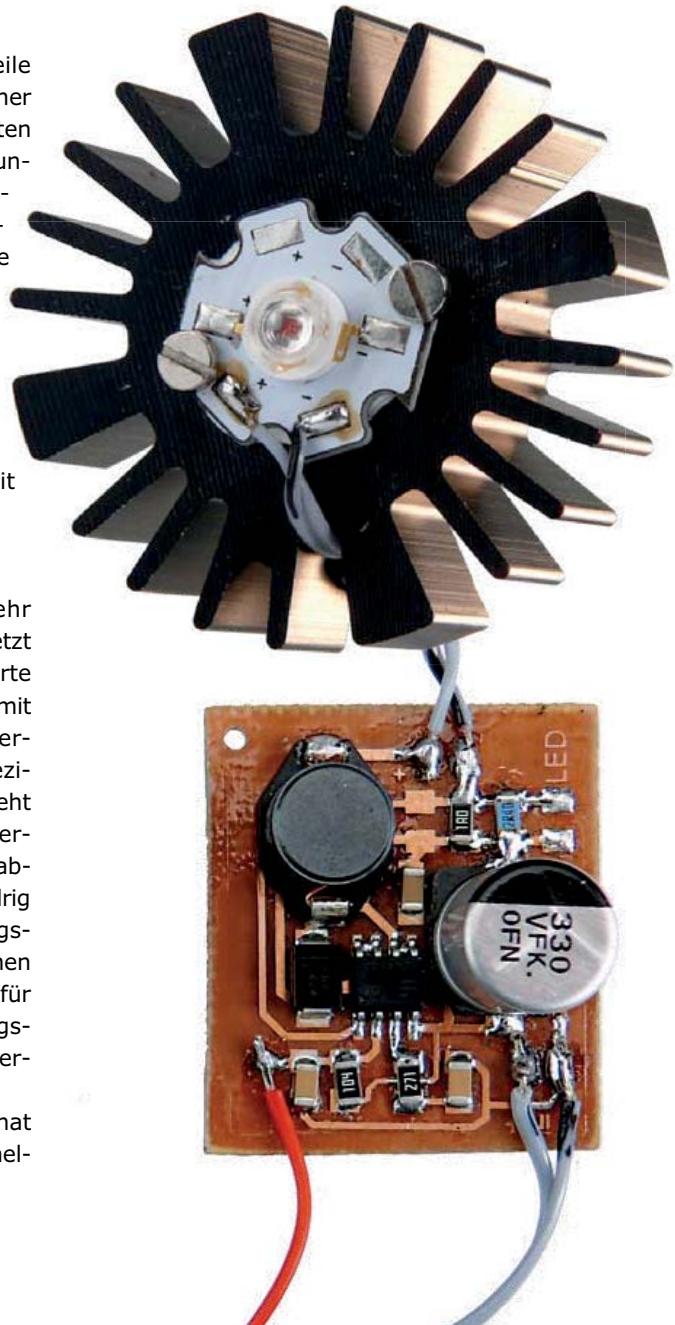
LEDs betreibt man bekanntlich mit Konstantstrom. Bei Power-LEDs fällt der Strom entsprechend kräftig aus, weshalb sich zur Vermeidung von Verlusten ein Schaltregler anbietet. Seit Power-LEDs immer besser und zudem preiswert geworden sind, gibt es für diese Aufgabe spezialisierte ICs, die den Bau eines Power-LED-Treibers sehr vereinfachen.

Weder Akkus oder Primärzellen noch Netzteile liefern normalerweise einen für den Betrieb einer LED erforderlichen konstanten Strom. Sie bieten lediglich mehr oder weniger konstante Spannungen. Für normale LEDs mit einem Strombedarf im mA-Bereich genügt der übliche Vorwiderstand. Bei höheren Strömen aber würde man mit solch einer Primitivlösung ordentlich Energie verheizen, was den eigentlich sehr hohen Wirkungsgrad moderner Power-LEDs wieder zunichte machen würde. Von daher drängt sich die Verwendung eines Schaltreglers auf, der statt der üblichen konstanten Spannung eben einen konstanten Strom mit hohem Wirkungsgrad liefern muss.

### Geschalteter Konstantstrom

Seit einigen Jahren nun werden immer mehr Power-LEDs zu Beleuchtungszwecken eingesetzt und folglich entstand ein Markt für spezialisierte LED-Schaltregler-ICs. Das hier eingesetzte IC mit der Bezeichnung TS19377 vom Halbleiterhersteller Taiwan Semiconductor ist so eine Speziallösung. Die Spezialisierung solcher ICs besteht darin, dass die Referenzspannung für den internen Fehlerverstärker, die mit dem Spannungsabfall an einem Shunt verglichen wird, recht niedrig ausfällt. Das IC benötigt hier einen Spannungsabfall von 0,25 V – das ist sehr wenig verglichen mit den üblichen 2,5 V gängiger Schaltregler für Konstantspannungen. Selbst bei 1 A Ausgangstrom fallen am Shunt also nur 250 mW an Verlustleistung ab.

Das IC ist dank SMD-Ausführung sehr klein, hat aber trotzdem einen p-Kanal-MOSFET als schnel-



len und effektiven Leistungsschalter für Ströme bis zu 2 A an Bord. Dank der hohen Taktfrequenz von 330 kHz kommt die damit aufgebaute Schaltung mit einer kleinen Spule aus. Das IC glänzt noch mit weiteren Features: Es ist nicht nur ein Kurzschluss-Schutz in Form einer Strombegrenzung eingebaut, der Chip reduziert auch seine Ausgangsleistung, wenn es zu warm wird. Man muss übrigens nicht einmal befürchten, dass so ein „Spezial-IC“ schwer zu kriegen und teuer ist. Es ist bei jedem größeren Elektronikshop selbst in Einzelstückzahlen für unter 1 € erhältlich.

### Schaltungsdetails

Die in **Bild 1** abgebildete Schaltung weicht nur wenig von der im Datenblatt [1] ab. Interessant ist, dass am Ausgang kein Speicher kondensator vorhanden ist. Die LED wird also mit gepulstem Gleichstrom betrieben. Bei 330 kHz wird auch die schnellste Fliege kein Flackern mehr bemerken. Die kleine Spule hat aufgrund dieser hohen Frequenz nur eine Induktivität von 68 µH, was nicht nur kompakte Spulen-Exemplare erlaubt, sondern aufgrund des geringen ohmschen Widerstands der Wicklung auch hier die Verluste begrenzt. Am Eingang der Schaltung ist neben dem obligatorischen Elko C1 noch C2 zur Entkopplung vorhanden. C1 kann aufgrund der hohen Frequenzen mit nur 330 µF ebenfalls klein ausfallen. An den Eingang kann bei einer einzigen angeschlossenen Power-LED eine Versorgungsspannung von 3,6...23 V angelegt werden. Im Prinzip reicht zur Versorgung sogar eine pulsierende Wechselspannung: Ein Trafo plus Brückengleichrichter ist genug, da C1 als Sieb-Elko ausreicht. Man muss dann aber aufpassen mit der maximalen Spannung, da C1 über den Gleichrichter ja auf den Spitzenwert der Wechselspannung aufgeladen wird. Der Trafo sollte also eine Sekundärspannung von maximal 15 V haben.

Die Masse der Eingangsspannung kommt an Pin 1 von JP1. Am Ausgang wird die Anode der LED an Pin 2 von JP2 angeschlossen. Der einzelne Pin von JP4 kann zum Ein- und Ausschalten der LED genutzt werden. Wenn C4 nicht bestückt wird, kann man an diesem Pin auch ein pulsbreitenmoduliertes Signal mit TTL-Pegel anlegen. Über das Tastverhältnis lässt sich dann die Helligkeit der LED einstellen. Werden beide Möglichkeiten nicht genutzt, kann man Pin 2 von IC1 über einen 0-Ω-Widerstand (für R6) auf V<sub>CC</sub> legen. In diesem Fall ist C4 ebenfalls überflüssig.

Minimale U<sub>in</sub> in V nach Anzahl LEDs und Farbe

Anzahl LEDs	1	2	3	4	5	6	7	8
U <sub>in</sub> , LEDs rot:	3,6	6	8	11	13	16	18	21
U <sub>in</sub> , nicht rot:	4	8	12	16	19			

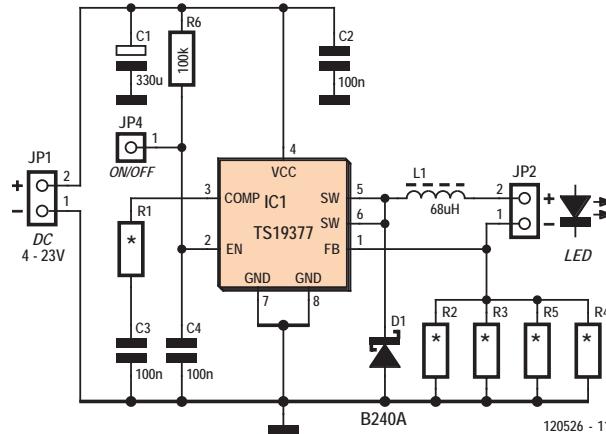


Bild 1. Die Schaltung des universellen Power-LED-Treibers.

### Technische Daten Universeller Power-LED-Treiber

- Betrieb von LEDs mit 1, 3 und 4 W
- Betrieb von bis zu 8 LEDs in Serie
- Betriebsspannung 3,6...23 V
- Ausgangstrom bis max. 1 A
- Wirkungsgrad bei 1-W-LEDs:
  - U<sub>in</sub> = 5 V: 81,6 %
  - U<sub>in</sub> = 12 V: 74,7 %
  - U<sub>in</sub> = 16 V: 69,2 %

### Aufbau und Betriebsvarianten

Bei der Bestückung der Platine geht es zwar etwas eng zu (siehe **Bild 2**), doch sollte dies kein wirkliches Problem sein, wenn man schon einmal ein paar SMDs erfolgreich mit Zinn auf eine Platine geheftet hat. Bei der Bestückung muss man vor allem auf die Polung von C1 und D1 achten. Auch um 180° verdreht aufgelötete ICs sollen schon vorgekommen sein. Die Layout-Dateien für die Platine warten wie immer unter [2] auf den kostenlosen Download.

Der Power-LED-Treiber kann sinnvoll für LEDs mit Betriebsströmen von 0,35...1 A eingesetzt werden. Bei 1-W-Typen beträgt der Strom typisch 350 mA, 3-W-Ausführungen werden meistens

## Übrigens sollte man LEDs wirklich nie parallel schalten!

mit 750 mA betrieben und 1 A ist für 4-W-LEDs gedacht. Da mit R2...R5 gleich vier normale SMD-Widerstände als Shunt parallelgeschaltet werden (können), reichen hier normale SMD-Ausführungen im 1206-Gehäuse aus.

Für 1 A hat man es da einfach: Bei den angepeilten 0,25 V Spannungsabfall schaltet man einfach vier 1-Ω-Widerstände parallel. Für 750 mA sind  $1 \times 1 \Omega$  plus  $3 \times 1,5 \Omega$  passend. Bei 350 mA kommt man mit zwei Widerständen aus, denn  $1,2 \Omega$  parallel zu  $1,8 \Omega$  ergeben 347 mA. Auch R1 muss noch an den Strom angepasst werden. Der Wert von  $220 \Omega$  ist für 350 mA geeignet. Für die beiden höheren Stromklassen sollte R1 dann  $470 \Omega$  haben.

Wie aus dem Kasten mit den technischen Daten zu entnehmen ist, sinkt der Wirkungsgrad bei steigender Eingangsspannung. Das Phänomen ist bei Schaltreglern „normal“ und von daher ist es im Sinne einer effizienten Beleuchtung, wenn man mehrere LEDs in Serie schaltet, um die Ausgangsspannung zu erhöhen. Dann steigt nämlich nicht nur der Wirkungs-

grad der Schalterei, es fallen auch der Spannungsabfall des Shunts und die Schwellenspannung der Gleichrichterdioden weniger ins Gewicht. Der Wirkungsgrad wird dann durchweg besser. Eine Einschränkung gibt es allerdings: Die Ein-

gangsspannung muss größer sein als die Summe aus Ausgangsspannung plus dem Spannungsabfall über dem Shunt.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich, dass man für eine Serienschaltung von drei LEDs am Ausgang eine Eingangsspannung von mehr als 12 V wählt, denn weiße LEDs z.B. benötigen je nach Fabrikat Spannungen von gut 3,7 V. Bei  $3 \times 3,7 \text{ V} + 0,25 \text{ V}$  liegt man mit 12 V am Eingang nur noch 0,65 V über der Ausgangsspannung. Es folgt weiter, dass man kaum mehr als fünf weiße LEDs in Serie schalten kann, da sonst die notwendige Eingangsspannung zu knapp wird. Man muss bei LED-Modulen mit mehreren intern in Serie geschalteten Einzel-LEDs also aufpassen. Sechs rote LEDs stellen aber kein Problem dar. Es gehen sogar acht rote LEDs in Serie, da eine einzelne rote LED praktisch immer unter 2,5 V benötigt. Die Tabelle mit der minimalen Versorgungsspannung in Abhängigkeit von der LED-Zahl und der Farbe gibt Anhaltspunkte zur Beschaltung.

Übrigens sollte man LEDs wirklich nie parallel schalten, denn aufgrund der Exemplarstreuungen kriegt sonst leicht eine LED viel Strom und die parallel geschaltete andere geht leer aus. Das kann auf Dauer nicht gut gehen.

(120526)

### Weblinks

- [1] [www.taiwansemi.com/home/en/products/product\\_info.php?partid=TS19377CS](http://www.taiwansemi.com/home/en/products/product_info.php?partid=TS19377CS)
- [2] [www.elektor-magazine.de/120526](http://www.elektor-magazine.de/120526)

### Stückliste

Werte für 350 mA

#### Widerstände:

(alle 1206)

R1 =  $220 \Omega$  \*

R2 =  $1\Omega 2$  \*

R3 =  $1\Omega 8$  \*

R4,R5 = entfällt \*

R6 =  $100 \text{ k}$

#### Kondensatoren:

C1 =  $330 \mu/35 \text{ V}$ , SMD-Elko (z.B. Panasonic EEEFK1V331AP)

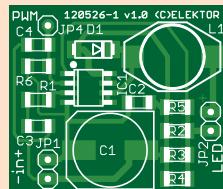


Bild 2. Der universelle Power-LED-Treiber fällt dank SMD-Bestückung sehr kompakt aus.

C2..C4=  $100 \text{ n}/50 \text{ V}$ , keramisch (X7R), 1206 \*

#### Spulen:

L1 =  $68 \mu/1,6 \text{ A}$ ,  $0\Omega 24$ , SMD (z.B. Würth 74456168 oder Fastron PISM-680M-04)

#### Halbleiter:

D1 = B240-13-F, DO-214AA (SMB)  
IC1 = TS19377CS, SO8 (z.B. Reichelt)

#### Außerdem:

JP1,JP2 = 2x1-Stiftleiste, RM 2,54 mm  
JP4 = Stift  
Platine # 120526-1

\* siehe Text

# Von den Machern von Elektor!

**Jetzt neu  
am Kiosk!**

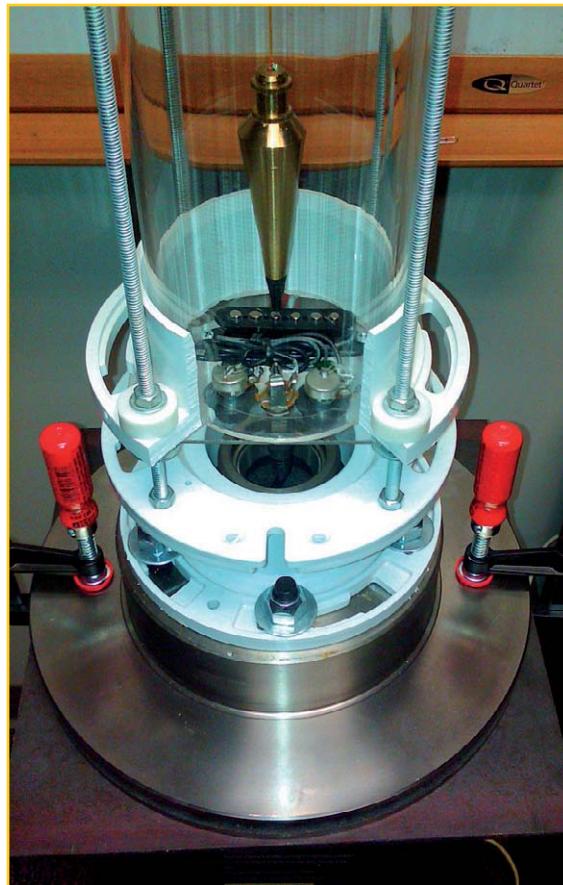
Oder frei Haus unter  
[www.elektor.de/mikrocontroller7](http://www.elektor.de/mikrocontroller7) bestellen!

# Topfgucken in Elektors Küche



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

Elektor dot Labs ist der Kern von Elektor - der Ort, wo alle Elektronik-Entwicklung beginnt. Auf dieser Webseite werden Projekte und Ideen gepostet. Dort werden Schaltungen entwickelt, debugged und in unserem Labor getestet. Und man kann sich über Fortschritte und Ergebnisse informieren. Elektor dot Labs ist also die Küche, wo alles zusammengebracht wird. Lüften wir ein paar Topfdeckel...



## Name gesucht

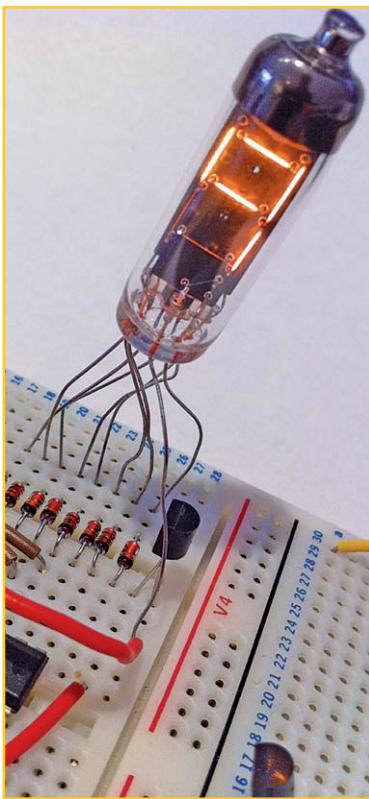
Titel und Produktbezeichnungen sollten kurz und prägnant sein, um die Aufmerksamkeit des Publikums auf sich zu ziehen, keine Frage. Der Nachteil griffiger Namen ist aber, dass sie nicht viel Information über Inhalte oder das Produkt transportieren. Aus diesem Grund werden häufig spezialisierte Marketing-Firmen eingeschaltet. Der Original-Autor (OA) SuperlabTV auf .Labs hat ein interessantes Projekt begonnen, bei dem er irgendwie nicht auf eine eingängige Bezeichnung gekommen ist. Das ist schade, denn das wäre dringend erforderlich. Bislang läuft sein Projekt unter „*Electric guitar pickup seismograph mit Arduino cell phone remote control*“. Das ist sicherlich informativ und detailliert, aber doch schwierig im Kopf zu behalten.

SuperlabTV entwickelte den Seismographen zur Demonstration und für Unterrichtszwecke rund um die Seismographie von Erdbeben, Arduino-Brettern, smartphone-gesteuerte Servos sowie das Upcycling. Upcycling? Wikipedia meint dazu: „**Beim Upcycling** ... werden Abfallprodukte oder nutzlose Stoffe in neuwertige Produkte umgewandelt.“ Wieviel bei diesem Projekt „upgecycelt“ wird, das liegt wohl am Leser. Tatsächlich werden einige ausgediente Teile wiederverwendet: Basis ist eine ausgediente Bremsscheibe von einem Auto und der von OA verwendete Sensor ist ein Tonabnehmer einer alten E-Gitarre.

Falls Sie sich fragen, wozu die Arduino-Mobilfunksteuerung gut ist: Man kann eine künstliche Erschütterung erzeugen, indem man eine SMS an das Gerät sendet. Man weiß so, dass die Sache funktioniert. Nett, oder?

Haben Sie einen Vorschlag für einen guten Titel?

Dann nichts wie hier hin: [www.elektor-labs.com/9121102688](http://www.elektor-labs.com/9121102688)



### Keine Schaltung, keine Follower

Elektor hat schon einige Uhren und Thermometer mit Nixie-Röhren als Anzeige veröffentlicht. Jetzt tauchen diese auch auf **.Labs** auf. Das Projekt „*Numitron Arduino Clock and Thermometer*“ von OA Courty ist eines davon. Das Interessante daran ist, dass der OA noch keine Erfahrung mit Numitron-Röhren hatte und folglich vom Start ab berichtet, wie er das Ganze letztlich doch zum Laufen gebracht hat. Unglücklicherweise hat er weder Schaltplan noch Software eingestellt, so dass dies nur von begrenztem praktischen Nutzen ist. Wenn Sie das Numitron-Projekt von Courty nachbauen wollen, dann posten Sie doch einen Beitrag oder einen Kommentar. Bei genügendem Interesse versuchen wir Courty dazu zu bewegen, sein Projekt samt Schaltung in Elektor zu veröffentlichen.

OA JmBee hat ein ähnliches Projekt eingestellt, das auf einem PIC16F887 statt einem ATmega328 wie bei Courty basiert. Er ging sogar soweit, sein Projekt nicht nur auf Englisch („*Numitron desktop clock - Using only classical components*“), sondern auch auf Französisch („*Horloge du bureau à tubes Numitron et composants classiques*“) einzustellen. JmBee verwendet nicht nur die gleichen Numitron-Röhren wie Courty, sondern stellte ebenfalls weder Schaltplan noch Source-Code ein, so dass man seinen Entwurf genauso schlecht nachbauen kann. Daher die gleiche Anregung: Posten Sie etwas, wenn Sie wollen, dass diese Schaltung veröffentlicht wird. Und bitten Sie den OA, den Schaltplan und weitere Files einzustellen. Fertige Projekte mit fehlenden Nachbau-Infos mögen zwar interessant sein, bekommen aber letztlich doch nicht viel Aufmerksamkeit.

Machen Sie mit – regen Sie an:

Courty: [www.elektor-labs.com/9120902460](http://www.elektor-labs.com/9120902460)

JmBee (Englisch): [www.elektor-labs.com/9120702370](http://www.elektor-labs.com/9120702370)

JmBee (Französisch): [www.elektor-labs.com/9120702371](http://www.elektor-labs.com/9120702371)

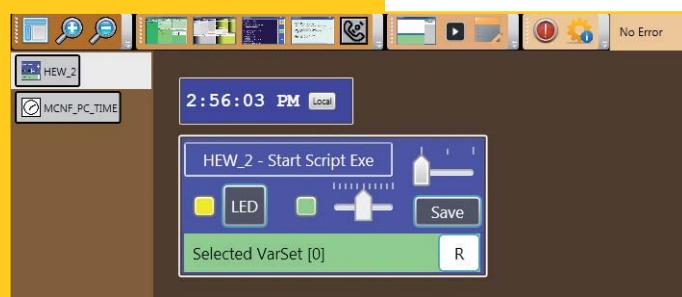
### Wahl der Redaktion

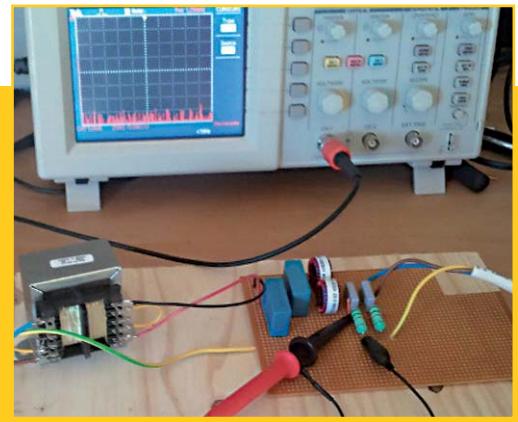
Einige **.Labs**-Projekte wurden von unseren Redakteuren ausgewählt und werden in naher Zukunft veröffentlicht. Leider stellte sich bei einigen davon heraus, dass der jeweilige OA nicht auf unsere Anfragen reagiert. Deshalb eine Bitte: Falls Sie ein Projekt einstellen, so checken Sie doch regelmäßig die Mails des E-Mail-Accounts, den Sie beim Zugriff auf **.Labs** verwendet haben. Ohne Kontakt können wir Ihr Projekt auch nicht in Elektor veröffentlichen. Hier eine Auswahl der Projekte, die wir für interessant halten und die wir in Elektor veröffentlichen wollen:

### Mikrocontroller Networking Framework

MCNF ist ein Framework für Mess-, Steuer- und Automatisierungs-Anwendungen. Es geht um die Steuerung von Echtzeitfunktionen eines Embedded Systems durch einen PC. Das Netzwerk basiert auf einem Command-Response-Protokoll, das von einem kleinen Kernel auf jedem Mikroprozessor ausgeführt werden kann. Viele Standardfunktionen wie Verbindungstests, Gateway-Funktionen oder das Lesen, Schreiben und Speichern von Variablen im EEPROM sind schon eingebaut. Es können normale serielle, I<sup>2</sup>C-, SPI-, Ethernet- und andere Protokolle gemischt zum Einsatz kommen.

[www.elektor-labs.com/9121202735](http://www.elektor-labs.com/9121202735)

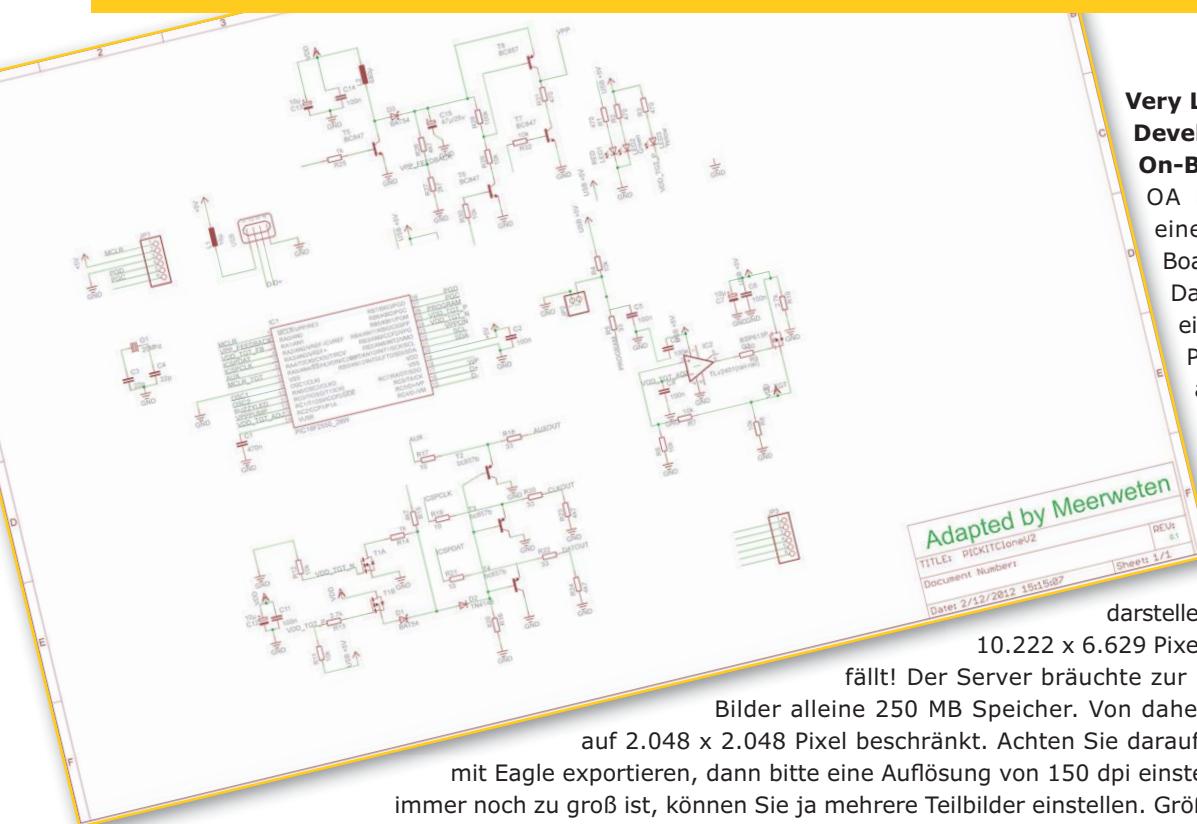




## Conducted Emissions Tester

Stellen Sie sich Folgendes vor: Ihr Projekt funktioniert morgens gut, wird aber abends instabil. Nach drei Tagen Raufen der Haare kommen Sie zur Erkenntnis, dass dies an den Energiesparlampen liegen könnte, die Sie abends zur Beleuchtung eingeschaltet haben. Bizar? Genau das ist OA Hooligan0 passiert. Angeregt durch diese Zeitverschwendungen entschied er sich dazu, ein kleines Netzwerk zur Impedanz-Stabilisierung zu entwickeln, so dass man per Spectrum-Analyser oder Oszilloskop mit einer FFT die Störungen im Netz untersuchen kann.

[www.elektor-labs.com/9121202710](http://www.elektor-labs.com/9121202710)

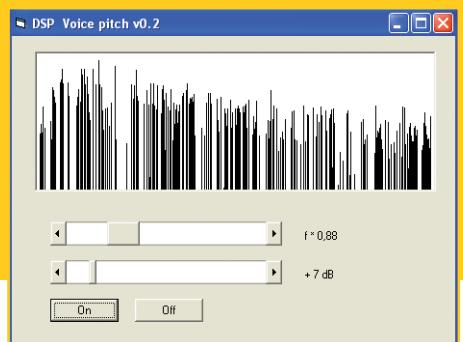


**www.elektor-labs.com**

## Real-Time Pitch Shifter

Es gibt Leute, die glauben nicht an Zufälle. Doch wie erklärt man sich dann das Folgende? OA bkelektronik (dahinter verbirgt sich der Elektor-Autor Burkhard Kainka) stellte ein Projekt mit dem deutschen Titel *Echtzeit-Stimmhöhen-Teiler* ein - ein Hilfsmittel für Leute, die Probleme mit dem Hören hoher Töne haben. Wenige Tage später erhielt ich eine Mail einer Person, die genau solch eine Schaltung suchte. Zufall oder nicht? Schauen Sie selbst einmal bei .Labs vorbei, dort könnte genau das stehen, was Sie suchen!

[www.elektor-labs.com/9121002536](http://www.elektor-labs.com/9121002536)





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 Privatleute, 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)!**

# Netzteilgeschichten

Von **Thijs Beckers**  
(Elektor Redaktion)

Beim Test von neuen Prototypen kam es mehrmals hintereinander zu Funken, Knall und Rauchwölkchen auf einem unserer Labortische. Schnell drängte sich der Verdacht auf, dass da wohl eines unserer Netzteile beteiligt sein könnte. Ein paar kurze Messungen am Netzteilausgang schienen aber die Unschuld des Netzteils zu belegen. Die Ausgangsspannung zeigte sich stabil und entsprach



dem Wert, der auf seinem Display abzulesen war. Doch relativ zum geerdeten Masseanschluss wurde es merkwürdig: Sowohl positiver als auch negativer Pol zeigten negative Spannungen gegenüber Masse. Bei einer Ausgangsspannung von 12 V wurden der positive Pol mit -14 V und der negative mit -26 V gemessen! Oft machte das keine Probleme, doch wenn die damit versorgte Elektronik irgendwo mit Erdpotential verbunden war, wie es beim Anschluss

an einen PC der Fall ist, traten die oben beschriebenen Nebenwirkungen auf. Also öffneten wir das Netzteil, um die Ursache für sein Fehlverhalten zu finden. Zunächst war da nichts Ungewöhnliches zu sehen. Weder dunkle Kupferbahnen noch verschmorte Bauteile waren zu finden. Also checkten wir den Widerstand verdächtiger Bauteile gegen Masse. Siehe da: Der Kollektor eines der Leistungstransistoren hatte wohl irgendwie eine Verbindung damit. Das war ein Indiz für einen Transistor, der nicht wirklich isoliert auf dem Kühlkörper befestigt war. Der Kühlkörper ans Gehäuse festgeschraubt und schon hatte man eine unvorteilhafte Masseverbindung. Da die Isolierscheiben deutlich sichtbar waren, stellte sich die Frage, ob diese oder die Kunststoffhülsen für die Schrauben bei der Montage beschädigt worden waren. Nach dem Lösen der Schrauben fanden wir den Übeltäter: ein ordentlicher Tropfen Lötzinn war da eingequetscht – nach Murphys Law natürlich beim letzten demontierten Transistor. Der Tropfen hatte ein Loch in die Iso-Scheibe gedrückt und so floss da Strom, wo keiner fließen sollte.

„Zum Glück“ war der Rest der Schaltung gegenüber Masse potentialfrei, so dass kein Bauteil beschädigt wurde. Bedenklich ist aber, wie dieses Netzteil ohne aufzufallen durch die Qualitätskontrolle des Herstellers kam, was berechtigte Zweifel an dieser Art von Tests weckt. Nach dem Zusammenbau ohne Lötzinnperle plus Test zeigten sich keine weiteren Abnormitäten. Das Netzteil funktioniert jetzt wie gedacht. Jetzt müssen nur noch die Prototypen repariert werden. Freiwillige vor...

(130020)

## Stresstest für 7805-Ersatz

Unser Entwickler Raymond Vermeulen baute eine Testumgebung für das Projekt „Energiebewusste Spannungsregler“ (Elektor November 2012) auf, um damit bessere Oszilloskop-Screenshots für ein Webinar zu erstellen. Da bemerkte er eine kleine Unregelmäßigkeit im Verhalten der Schaltung. Raymond schloss eine schwierige Last in Form eines statischen Teils mit einem  $47\text{-}\Omega$ -Widerstand (5 W) parallel zu einem dynamischen Teil mit

einem  $6,8\text{-}\Omega$ -Widerstand (10 W), der per IRF530-MOSFET geschaltet wurde.

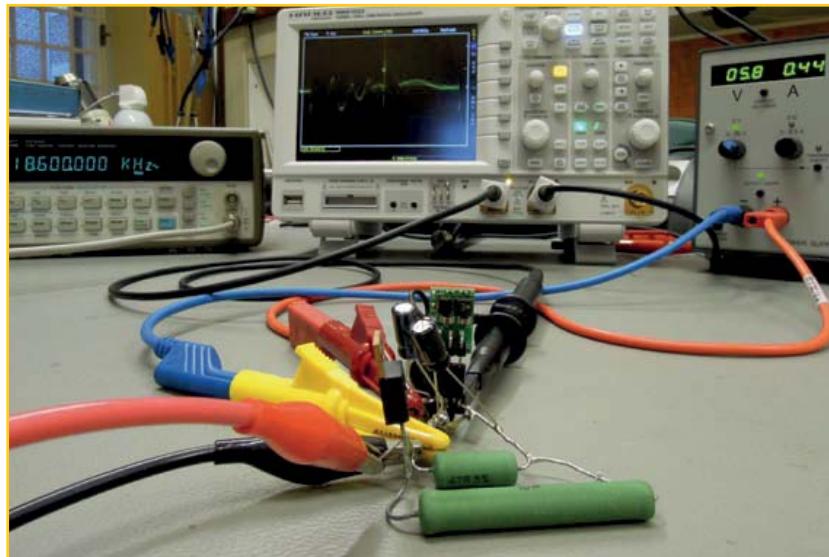
Das Gate des FET wurde von einem Funktionsgenerator angesteuert, der ein Rechtecksignal mit einem Tastverhältnis von 50 % lieferte. Der Strom wurde so mit 18,6 kHz (der Resonanzfrequenz des Ausgangsfilters) zwischen 106 und 840 mA umgeschaltet. Der Ausgang des 7805-Ersatzes zeigte sich zwar stabil, doch

waren einige kleine Unschönheiten auf dem Oszilloskop zusehen (siehe Foto).

Normalerweise wird die Ausgangsspannung nicht so „schlecht“ wie auf dem Foto sein, denn die Eingangsspannung wurde hier auf das Minimum von 5,8 V (siehe das Netzteil rechts) abgesenkt, um das Grenzverhalten zu prüfen. Im Normalbetrieb sieht es anders (besser) aus. Die Scope-Einstellung war vertikal 50 mV/Teilstrich. Die Maximalamplitude des Spikes liegt also bei rund 200 mV. Und die Moral von der Geschichte? Beruhigenderweise kann man sagen, dass die Ergebnisse gar nicht schlecht sind, denn bei diesen extremen Bedingungen versagen viele andere Schaltungen - oder die Ausgangsspannung bricht gleich ganz zusammen.

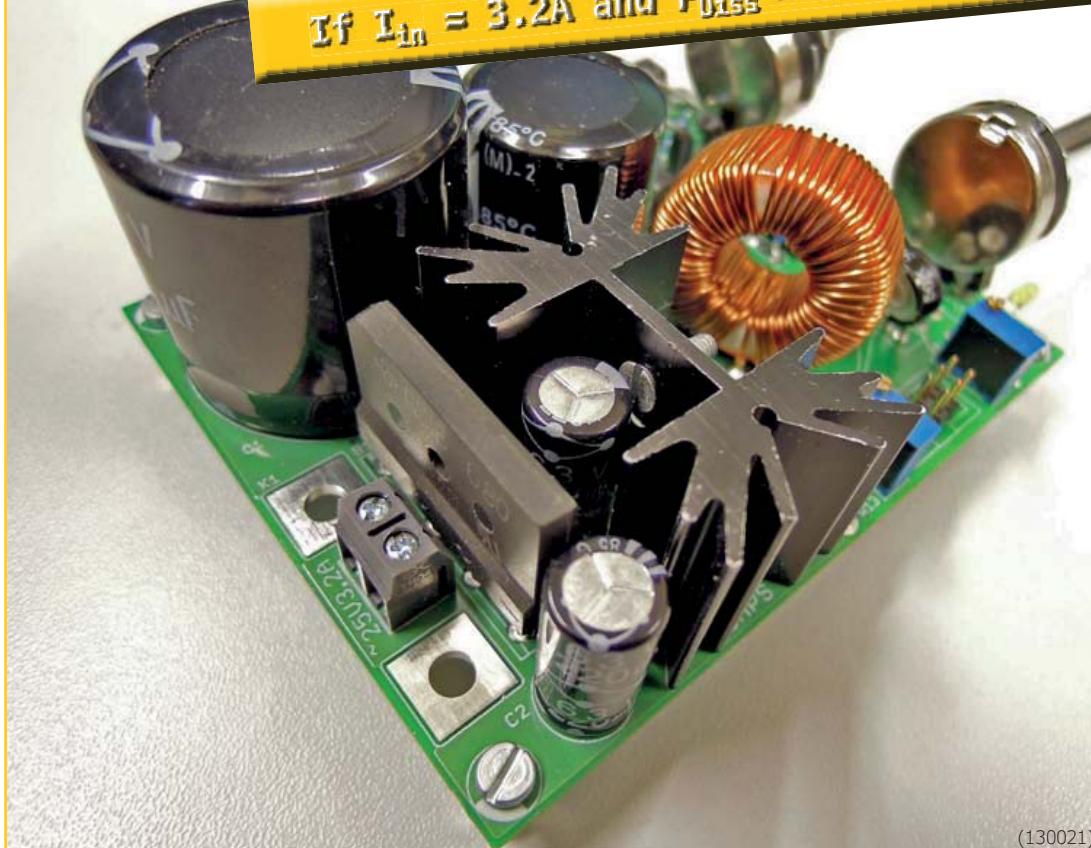
(120702)

[www.elektor-labs.com/120212](http://www.elektor-labs.com/120212)



# Prototypenkracher

If  $I_{in} = 3.2A$  and  $P_{Diss} > 11W$  then „Feuer frei!“



Wenn diese Kopfnuss  
verwirrt:

Der Prototyp dieses Labormetz- teils hat eine Platine, die Opti- milierungspotential aufweist. Se- hen Sie, wie der Silberklo zwit- schen Brückenelektroden und Kühlerpfeil eingedreht ist? Da der gemeinsame Elko für gewohnt- lich Probleme mit (exzessivem) Hitze hat, kann es für ihn bzw. seine Abluhulle nur eine Reaktion geben: aufgegeben und aufgehen.

Natürlich mit viel Schall, Licht und Rauch.

# Hypermoderner 7-Tage-Wecker (2)

Digitaluhren mit Alarmfunktion sind wahrlich nicht neu, doch unsere im letzten Heft vorgestellte Variante ist wirklich etwas ganz Besonderes. In diesem zweiten Artikel-Teil wird die Elektronik näher beschrieben.

Die Schaltung der Hauptplatine in **Bild 3** zeigt

einen charakteristischen industriellen Controller mit wenigen externen I/O-Interface-Anschlüssen. Eine bemerkenswerte Ausnahme ist der Teil mit dem Audiogenerator, der dann doch komplexer ist, als man es für einen Allzweck-Controller erwarten könnte.

Von Michael J. Bauer  
(Australien)

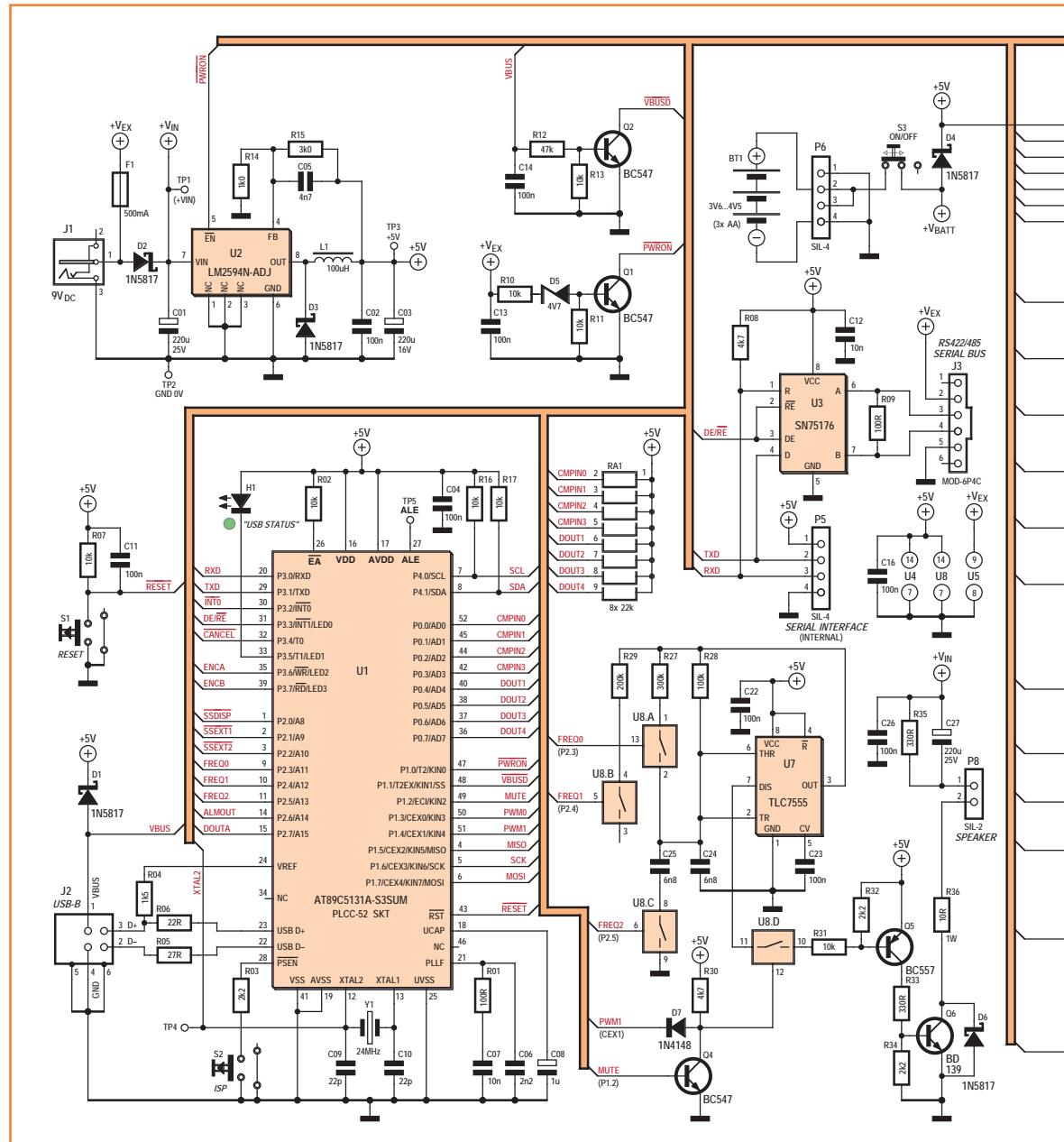
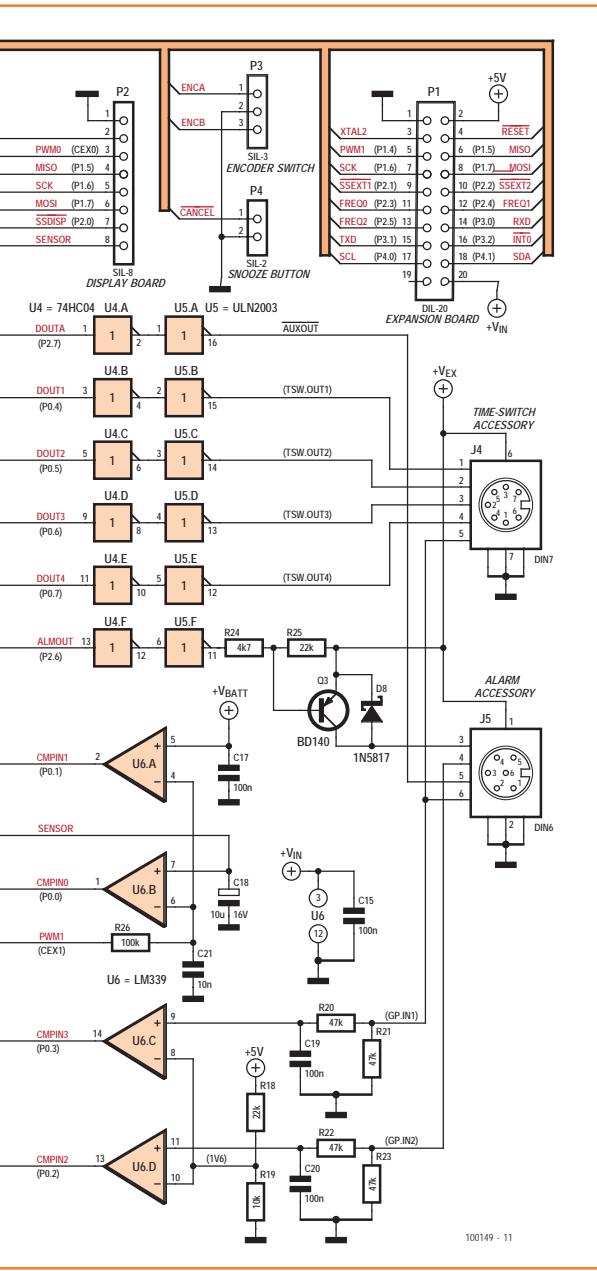


Bild 3.  
Schaltung der Elektronik der  
Hauptplatine.

# Beschreibung von Hauptplatine, Display-Platine und Bestückung

Der Grund für die Wahl des Controllers wurde im letzten Artikelteil schon erläutert. Der AT89C5131 ist ein Derivat der 8051-Familie von Intel und weist so viele Charakteristika des 8051 auf, inklusive der unbeschreiblich bizarren I/O-Port-Konfigurationen. Port0 zum Beispiel ist open-drain



und benötigt deswegen externe Pull-up-Widerstände (und dies an Pins, die als Ausgänge fungieren). Andere Ports besitzen schwache Pull-ups ( $\sim 25\text{ k}\Omega$ ), was für viele Zwecke nicht reicht. Doch der 89C5131 hat nicht nur Nachteile, sein Einsatz wird von einem sehr schnellen Prozessorkern gerechtfertigt. Mit einem 24-MHz-Quarz und dem „X2“-Taktmodus läuft der Kern mit satten 48 MHz! Dazu kommt, das der Controller über umfangreiche Peripherie verfügt, als da wären USB, Timer T2, PCA (für PWM-Ausgänge), SPI und TWI (I2C).

Der AT89C5131 verfügt über einen separaten Flash-Programmspeicher-Block („boot block“). Wenn man den Controller kauft, ist darin der USB-Bootloader enthalten, der dem Anwender die Programmierung des Haupt-Programmspeicherbereichs (32 KB) via USB und ohne zusätzliche Programmiereinheit erlaubt. Wird der Prozessor resettet, während PSEN# mit der ISP-Taste auf Low gelegt ist, startet der Bootloader an Stelle des Anwenderprogramms.

Die TX- und RX-Signale des UART werden nicht nur zum Erweiterungsstecker P1 geleitet, sondern auch zu einem 4-Pin-Header, der zum Anschluss eines seriellen RS232-Interfaces genutzt werden kann. Außerdem werden die UART-Signale zu einem RS422/485 Transceiver (U3 = SN75176) geführt, der externe Gerätschaft über den seriellen Bus ansprechen kann. Die aktuelle Firmware unterstützt diesen seriellen Bus allerdings (noch) nicht.

Die Schaltung überwacht die externe Gleichspannung +V<sub>EX</sub>. Fällt diese unter etwa 6 V, schaltet Transistor Q1 ab, so dass das logische Signal PWRON# wegen des Pull-up-Widerstands im Controller High wird. Die Firmware überwacht dieses Signal und kann dann eine Power-Fail-Led einschalten. Das Signal PWRON# wird ebenfalls zum Enable-Eingang EN# des schaltenden Spannungsreglers LM2594 geführt. Wenn die externe 9 V-Spannung entfällt, stellt der Regler den Betrieb ein und erlaubt es, dass der +5 V-Schiene vom USB oder von der Batterie Energie zugeführt wird.

Die USB-Leitung V<sub>bus</sub> wird via Transistor Q2 überwacht. Fällt auch die USB-Spannung weg, schaltet

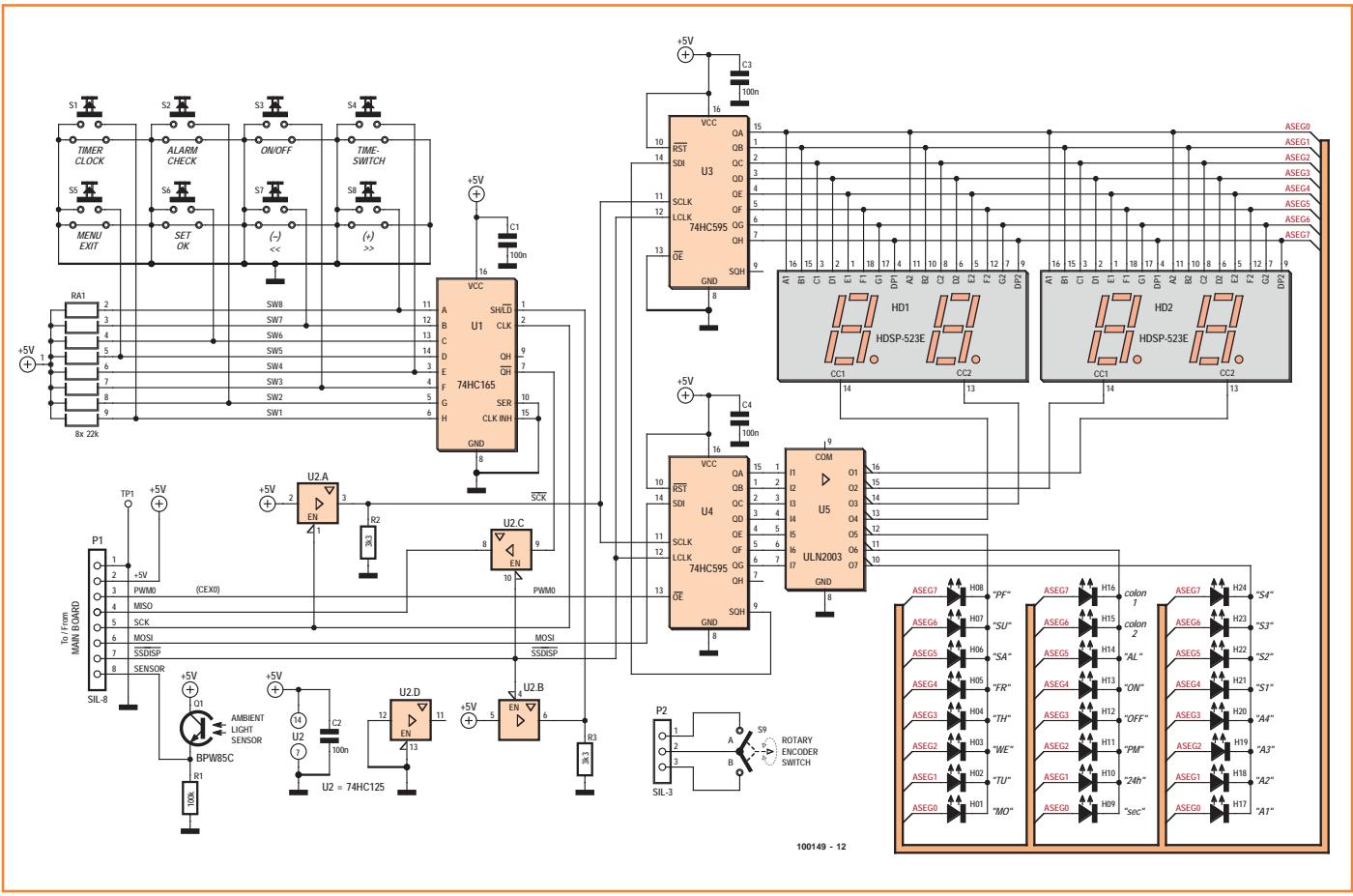


Bild 4.  
Schaltung der Anzeige- und  
Bedieneinheit.

der Transistor ab und das Signal VBUSD# wird High. Die Firmware erkennt dies und passt den Betriebsmodus entsprechend an. Der Status des USB-V<sub>bus</sub>-Signals kann auch von der Firmware benutzt werden, um einen oder mehrere Ausgänge für Peripherie zu steuern.

### I/O für Accessoires

Über die Buchsen J4 und J5 sind sechs Logik-Ausgänge verfügbar. Die vier Zeitschalter-Ausgänge sind aktiv Low und können jeder als Stromsenke bis zu 50 mA aufnehmen. Sie sind geeignet, um Optokoppler (isolierte Eingänge) auf einem Solid-state-Relais-Board (AC) zu treiben. Der alarmgeschaltete 9-V-DC-Ausgang ist aktiv High und liefert bis zu 500 mA (begrenzt von der rücksetzbaren Sicherung F1). Die korrespondierenden Controller-Ausgänge haben nicht ausreichend Power, um den Leistungstreiber U5 (ULN2003A) zu treiben, so dass ihnen ein CMOS-Hex-Inverter-IC U4 zu Hilfe kommen muss.

Die Komparatoren U6C und U6D implementieren zwei Logik-Eingänge. Der Logik-Schwellwert ist

auf +1,6 V gesetzt. Die externen Eingänge sind von RC-Netzwerken gepuffert und gefiltert, um die Controller-Pins vor schädlichen Störeinflüssen (ESD) zu schützen.

### Analogeingänge

Der AT89C5131 besitzt keine analogen ADC-Eingänge. Da die Applikation jedoch zwei Analogeingänge benötigt (für den Umgebungslichtsensor und die Überwachung der Batteriespannung), greift die Firmware zu einem Algorithmus, der den Pulsweitenmodulationsausgang des Controllers zur Hilfe heranzieht, um eine variable analoge Referenzspannung zu erzeugen. Ein Tiefpassfilter (R26,C21) entfernt die hochfrequenten Anteile (47 kHz) des PWM-Signals und lässt nur eine sich langsam ändernde analoge Spannung zu, die vom Tastverhältnis bestimmt wird.

Die PWM-Referenzspannung liegt an den (-)-Eingängen der beiden Komparatoren U6A und U6B, die zu messenden analogen Eingangsspannungen an den (+)-Eingängen. Durch Wechseln der Referenzspannungen in bestimmten Abständen

kann die Firmware beide Eingangsspannungen bestimmen. Der Fehler der Wandlung wird von der Auflösung, der Linearität und dem Rauschen der PWM-generierten Referenzspannung auf etwa 1 % begrenzt. Wegen der Zeitkonstante des Filters benötigt die Referenzspannung nach dem Wechsel des PWM-Tastverhältnisses ein paar Millisekunden zur Stabilisierung. Deshalb ist die Wandlungszeit ein wenig lang verglichen mit der eines Hardware-Wandlers, aber glücklicherweise kommt es uns nicht auf Hochgeschwindigkeit an.

### **Audio-Generator und Leistungsverstärker**

Mit einem CMOS-Timer U7 (TLC555) ist ein Rechteck-Oszillator aufgebaut. Die Ausgangsfrequenz des Oszillators wird durch das Umschalten von Widerstand (R27, R29) und Kapazität (C25) des RC-Netzwerks bestimmt. Der Controller kann über die Logikausgänge FREQ2, FREQ1 und FREQ0 und die angeschlossenen vier CMOS-Analogschalter des CD4066B (U8) aus acht verschiedenen Frequenzen im ungefähren Bereich 0,5...2 kHz wählen. Die einzelnen Frequenzen stehen in einem harmonischen Verhältnis zueinander.

Das Tastverhältnis des PWM-Signals CEX1 „köpft“ über den Steuereingang des Analogschalters U8D das Rechtecksignal und bestimmt damit seine Amplitude, also die Lautstärke des Audiosignals. Die PWM-Frequenz liegt mit 47 kHz deutlich über dem hörbaren Bereich, außerdem kann der Lautsprecher diese Frequenz ohnehin nicht wiedergeben. Das Tastverhältnis ist über das 8-bit-Duty-Register des Controllers im Bereich 256:1 variabel. Dies ergibt einen annehmbaren Dynamikbereich für die Anwendung (eine Auflösung von 10 bit oder mehr wäre allerdings noch besser).

Wie auch immer, das auf 47 kHz begrenzte Audio-Signal gelangt zum Treiber-Transistor Q6. Wir haben es hier mit einer Klasse-D-Anordnung zu tun. Da der PWM-Analogschalter U8D nicht mehr als 2 mA liefern kann, muss Q5 den Basisstrom für Q6 zusätzlich verstärken. Zwar kann der Klasse-D-Verstärker keine größere Leistung erzeugen als ein linearer Verstärker, er weist aber doch einige Vorteile auf: Wenn der Audio-Generator stummgeschaltet ist (die Firmware setzt das Mute-Signal auf High), ist der PWM-Schalter U8D und damit der Ausgang des Transistors Q6 vollständig abgeschaltet, so dass unabhängig von einem eventuellen Rauschen auf der Versorgungsspannungsleitung  $+V_{IN}$  garantiert kein Strom über den Lautsprecher fließen kann. Das

ist ziemlich wichtig, kann sich der Wecker auf dem Nachttischschränchen doch näher als einen Meter am „schlafenden Ohr“ befinden.

Die Lautstärke wird vom Sound-Synthesizer der Firmware alle 2 ms neu eingestellt. Der Synthesizer generiert eine Hüllkurve, deren Parameter attack (Anstieg), sustain (Zeit), release (Abfall) und hold-off (Intervallzeit des Signals, nicht zu verwechseln mit der unabhängig davon wählbaren „Snooze-Zeit“) vom Anwender einstellbar sind. Zusätzlich erlaubt es die Firmware, die Audio-Amplitude und/oder die Frequenz mit (virtuellen) Signalen zu modulieren, deren Periodendauer auf jedes (ganzzahlige) Vielfache von 2 ms (also 2, 4, 6, 8...ms) bis zu 512 ms gesetzt werden kann. Alles in allem ermöglicht der einfache und billige Audiogenerator in Zusammenarbeit mit der cleveren Firmware-Treiberroutine eine Vielzahl von reizvollen und reizenden Soundeffekten.

### **Schaltung der Displayplatine**

Zugegeben, ein weißes oder buntes grafisches LC-Display wäre vielleicht eine ästhetischere und anspruchsvollere Lösung, aus Preisgründen verfügt der Wecker „nur“ über vier 7-Segment-Displays (beziehungsweise, wie Bild 4 zeigt, über zwei 2-Digit-Bausteine Avago HDSP-523X, erhältlich in den Farben rot, grün und gelb), deren Helligkeit sich leicht einstellen lässt. Die genannten Displays lassen sich natürlich durch pinkompatible Typen anderer Hersteller ersetzen.

Die 7-Segment-Displays und die Anzeigen-LEDs werden in einer 7x8-Matrix mit gemeinsamer Kathode gemultiplext. Die Kathoden werden (aktiv Low) vom 7-Element-Peripherietreiber ULN2003A (U5), einem Array von sieben Darlington-Transistoren mit TTL/CMOS-kompatiblen Eingängen, getrieben. Für die Ansteuerung der Segmentleitungen (Anoden) ist ein 8-bit-CMOS-Schieberegister zuständig. Aufmerksame Leser werden feststellen, dass keine Strombegrenzungswiderstände vorhanden sind. Die Schaltung verlässt sich hier auf die Quellwiderstände der CMOS-Ausgänge von ungefähr 60 Ω. Die Ausgänge des ULN2003 weisen (wegen der Darlingtons) eine Low-Spannung von etwa 1 V auf, der Spannungsverlust an den LEDs liegt (je nach Farbe) bei etwa 2 V (verwenden Sie übrigens keine blauen oder weißen LEDs, deren Schwellspannung typisch bei 4 V liegt!). Zusammen sind dies 3 V, und abgezogen von den 5 V der Versorgungsspannung ergibt das nach Georg Simon Ohm einen maximalen Strom durch die LEDs von 33 mA.

# Projects

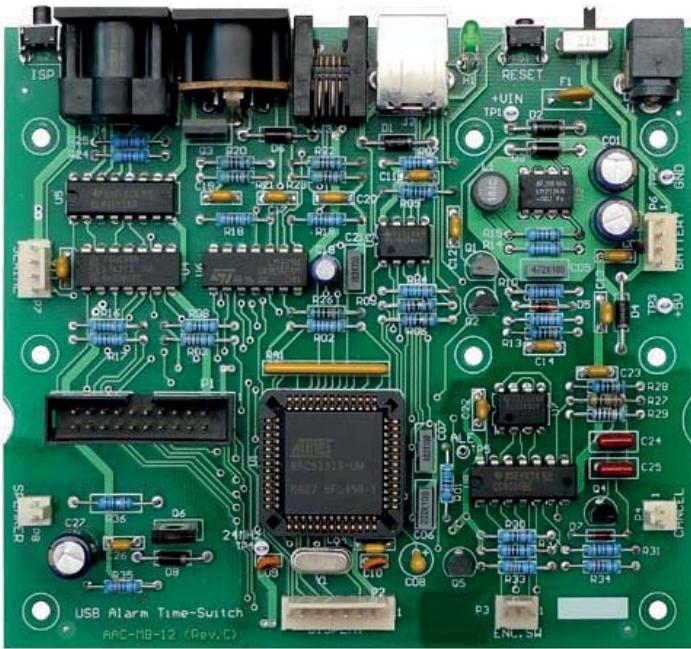
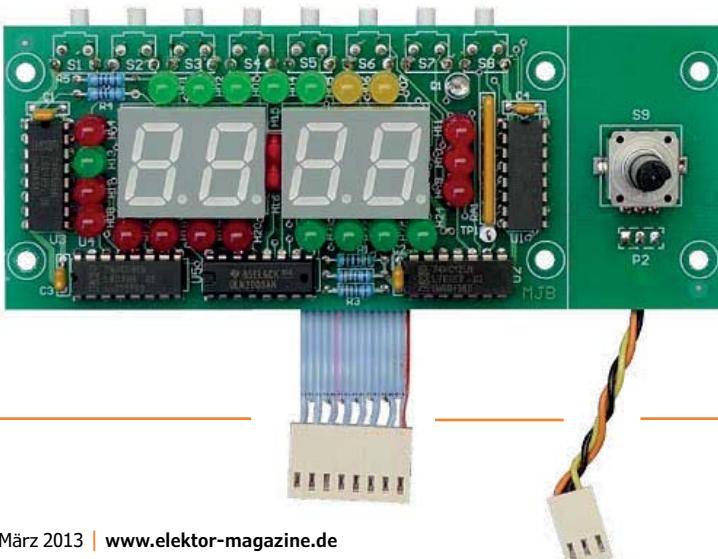


Bild 5.  
Die aufgebaute  
Hauptplatine.

Bild 6.  
Blick auf die aufgebaute  
Displayplatine.

Dies erscheint immer noch recht viel, doch ange-  
sichts des Multiplexens (8:1) ist dieser Spitzen-  
strom durchaus zulässig. Schließlich erreicht der  
gemittelte Strom durch eine LED gerade einmal  
2 mA. Die Helligkeit ist durch ein 47-kHz-PWM-  
Signal am Output-Enable-Eingang (OE#) des  
LED-Kathodentreiber-Register (U4) variabel. Der  
Bereich des Tastverhältnisses (also der Helligkeit)  
beträgt 256:1, und selbst beim minimalen Duty-  
cycle von 1:256 reicht die Helligkeit in einem  
abgedunkelten Schlafzimmer immer noch aus.  
Das LED-Display benötigt zwei 8-bit-Ausgangs-  
ports, die Drucktaster einen 8-bit-Eingangs-  
port. Dies erfordert eine I/O-Erweiterung, die



mit einem 8-bit-Schieberegister mit parallelen  
Datenlatches und serieller Transferlogik realisiert  
ist. Die Schieberegister sind nahezu direkt kompati-  
ibel mit dem SPI-Bus (serial peripheral interface)  
des Controllers. Mit einer kleinen Logik, einem  
vierfachen Tri-state-Buffer (U2 = 74HC125), den  
Display-Ausgangsregistern (U3, U4 = 74HC595)  
und dem Taster-Eingangsregister (U1 = 74HC165)  
lässt sich alles an den SPI-Bus anpassen. U2A und  
U2B sind hier mit den Pull-down-Widerständen an  
den Tri-state-Ausgängen als Inverter geschaltet,  
um die Polarität des SPI-Taktsignals SCK zu dre-  
hen und so zu ermöglichen, dass der gleiche SPI-  
Clock-Modus für simultanes Lesen (slave input)  
und Schreiben (slave output) verwendet wird.  
Durch die Verwendung des SPI-Busses ist die  
Zahl der Signale, die von der Haupt- zur Dis-  
playplatine geführt werden muss, auf ein Mini-  
mum beschränkt. Display- und Taster-Register  
verwenden das gleiche SPI-Signal „slave select“  
(SSDISP#), die Display-Register werden geschrif-  
ten und das Taster-Register wird im gleichen  
2-Byte-SPI-Datentransfer-Zyklus gelesen. Da das  
Taster-Eingangsregister nur ein Byte breit ist,  
wird das zweite gelesene Byte von der Firmware  
nicht beachtet.

Das Slave-select-Signal SSDISP# wird inver-  
tiert, um ein Shift/Load-Signal SH/LD# zu erhalten.  
Während der Eingangsport abgeschaltet ist  
(SSDISP# High), werden parallele Daten vom  
Eingangslatch akzeptiert. Während einem SPI-  
Transfer wird SSDISP# auf Low gehalten (SH/LD#  
geht auf High), das Eingangslatch ist blockiert  
und der serielle Takt freigegeben, das heißt, dass  
die Eingangsdaten beim Herausschieben konstant  
gehalten werden.

Die Ausgangsregister 74HC595 enthalten ein  
8-bit-Schieberegister mit seriell Ein- und  
paralleler Ausgang sowie ein 8-bit-D-Latch,  
das die Ausgänge treibt. Wenn das Latch-clock-  
Signal (LCLK) gepulst wird, verursacht die stei-  
gende Flanke einen Transfer der acht Bits vom  
internen Schieberegister zum Ausgangslatch.  
Ist LCLK High, bleiben die Ausgangslatches sta-  
bil. Die Bits im internen Schieberegister wech-  
seln, wann immer ein SPI-Transferzyklus (lesen  
oder schreiben) durchgeführt wird, ob das SPI-  
Slave-select-Signal anliegt oder nicht. Mit ande-  
ren Worten, die Daten im Schieberegister kön-  
nen sich beliebig (und auch unsinnig) ändern,  
wenn andere Elemente (wenn vorhanden) am  
SPI-Bus ausgewählt und beschrieben werden.  
Dies macht nichts, so lange LCLK gehalten wird.

# 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 Doppel-  
ausgaben 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 Commu-  
nity-Bereich [www.elektor-labs.com](http://www.elektor-labs.com) bietet Ihnen zusätz-  
liche 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 Print-  
ausgaben) alle Leistungen und Vorteile der GOLD-Mitgliedschaft.



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



Bild 7.  
Ansicht der  
beeindruckenden Reihe von  
Anschlussmöglichkeiten auf  
der Rückseite des Weckers.

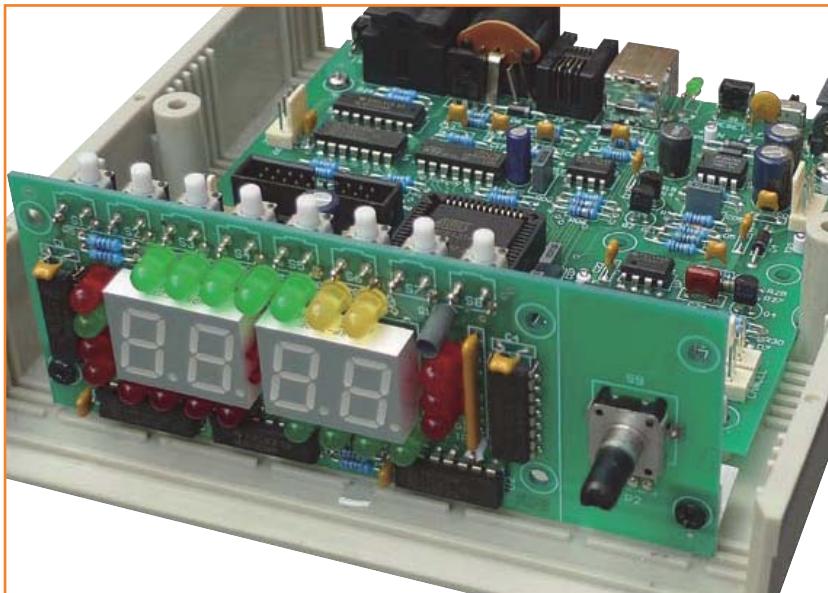
Das gewünschte Verhalten wird erreicht, indem LCLK am Slave-select-Pin des Displays SSDISP# angeschlossen ist.

Auf der Displayplatine ermittelt ein Fototransistor Q1 (BPW85C) die Helligkeit der Umgebung, die sich als Strom durch den Emitterwiderstand respektive Spannungsabfall darüber abbildet. Die Emitterspannung wird vom Komparator überwacht und mit der einfachen, vorhin beschriebenen Analog/Digital-Wandlung der Firmware übermittelt.

Es ist nicht unbedingte Vorschift, den Drehencoder S9 genau an der auf der Platine bezeichneten Stelle zu belassen, entscheidet man sich für ein vom Standard abweichendes Gehäusedesign. Dann schneidet man die Platine einfach in zwei Teile, bringt Lötfüße an und verbindet den kleineren Teil mit dem Drehencoder über ein Flachbandkabel mit der Displayplatine.

Intern weist der Drehencoder zwei Sets von Kontakten auf, die bei Drehung der Achse öffnen und schließen. Schließt man einen Pull-up-Widerstand an die +5 V-Versorgungsspannungsleitung an, so erzeugen bei Drehung der Achse die beiden

Bild 8.  
So wird die Displayplatine  
vertikal im Pactec-Gehäuse  
fixiert.



Schalter-Ausgänge A und B Impulszüge im Quadratur-Phasenverhältnis (sie sind gegeneinander um 90 Grad verschoben). Jeder Ausgang produziert 24 Impulse pro Achsumdrehung, aber die relativen Phasen der beiden Pulsausgänge sind verschieden (um 180 Grad), abhängig von der Drehrichtung. Die Decoder-Routine der Firmware entfernt das Rauschen der Signale.

## Auf- und Zusammenbaubau

Der Aufbau des Weckers wird ausführlich (in englischer Sprache) in den *Assembly Instructions* beschrieben, die im kostenlosen Download-Paket [1] enthalten sind.

Aus Platzgründen beschränken wir uns hier auf wenige Fotos, welche die aufgebauten Hauptplatine (**Bild 5**), die Displayplatine (**Bild 6**), die Buchsenreihe auf der Geräterückseite (**Bild 7**) und die Kombination von Haupt- und Displayplatine im Gehäuse (**Bild 8**) zeigen.

## Sie sind eingeladen!

Die Firmware ist reich kommentiert und kann Studenten der Elektrotechnik als lehrreiches Beispiel für Echtzeit-Software dienen, auch wenn sie den Wecker nicht aufbauen. Das Projekt hat das Potential einer Brutstätte für zahlreiche Spinoffs, nicht nur, was Accessoires für den Wecker betrifft, sondern weitere Projekte wie: ein AC-Power-Board mit vier Solid-state-Relais-Ausgängen (Triac), eine dimmbare Niederspannungs-LED-Nachttischlampe, ein Infrarot-Fernbedienungsinterface fürs TV/AV-Equipment, eine Platine für PCM/MP3-Soundeffekte mit SPI-Link zum Controller (wobei die letzteren Beispiele natürlich Firmware-Updates der Uhr erfordern würden). Elektor-Leser, die auf der Website [.Labs](#) [2] unterwegs sind, sind herzlich eingeladen, ein Windows-GUI für den Wecker zu entwickeln, mit dem man in der Lage ist, Alarm- und Zeitschemen zu editieren, zu speichern und wiederherzustellen sowie Optionen und Parameter einzustellen. Softwareentwickler ans Werk! Noch läuft der Wecker stand-alone und benötigt keine PC-Software. Scheuen Sie sich nicht, irgendwelche Erweiterungen, neue Funktionen und Anwendungen auf der [.Labs](#)-Website vorzuschlagen!

(100149)

## Weblinks

[1] [www.elektor-magazine.de/100149](http://www.elektor-magazine.de/100149)

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

**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* 25<sup>th</sup> 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!



# Proggen wie die Profis

## Weniger Bugs mit Zustandsdiagrammen

Von Peter Müller (D)

Ursprünglich aus der Hardwareentwicklung stammend, werden Zustandsdiagramme zunehmend auch auf der Softwareseite eingesetzt. Dieser Artikel beschreibt, wie man mit Hilfe von Zustandsdiagrammen zu robusten Programmen mit weniger Bugs kommt.

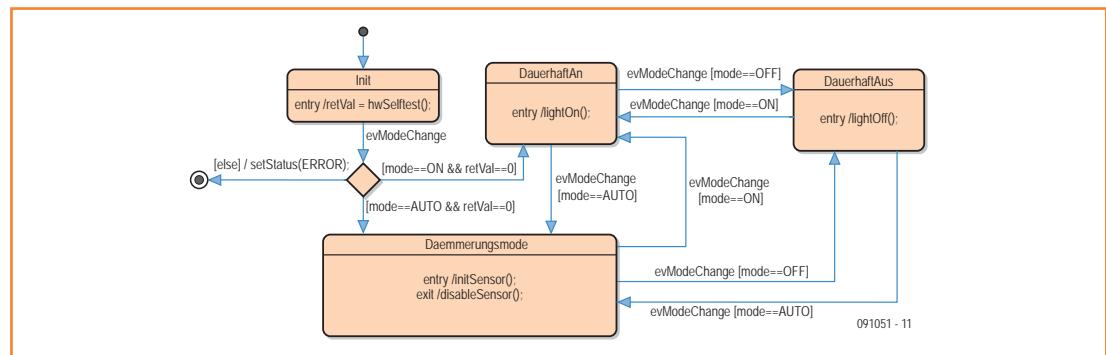


Bild 1.  
Vereinfachtes Modell eines  
Dämmerungslichtschalters.

Wie der Name schon sagt, kann man mit Hilfe von Zustandsdiagrammen einerseits die Zustände eines Systems und andererseits die Bedingungen, bei denen ein Zustandswechsel stattfindet, eindeutig beschreiben. Dies ist deshalb so interessant, weil viele Geräte auf eine Vielzahl von externen oder internen Ereignissen reagieren müssen. Die Reaktion auf diese Ereignisse ist aber nicht immer gleich, sondern hängt vom aktuellen Zustand des Gerätes ab. Das heißt die Historie eines Geräts – also welche Events in der Vergangenheit aufgetreten sind – bestimmt dessen aktuelle Reaktion.

Hier einige Beispiele:

- Ein Fahrstuhl reagiert beim Halten in einem Stockwerk anders auf den Knopf „Tür auf“ wie während der Fahrt.
- Ein Getränkeautomat verlangt erst eine Auswahl, und gibt dann nach vollständiger Bezahlung das gewählte Getränk aus. Ein leeres Fach erfordert wiederum ein anderes Verhalten. Das Fehlen von Wechselgeld ebenso.
- Ein automatischer Dämmerungslichtschalter reagiert auf Personen in Abhängigkeit der

Helligkeit und gemäß der Betriebsart (Dauerlicht, Party, ...).

Diese Liste lässt sich noch lange fortsetzen. Hat man erst einmal angefangen, ein Gerät als „Zustandsautomat“ zu betrachten, wird man schnell feststellen, wie leistungsfähig diese Methode ist.

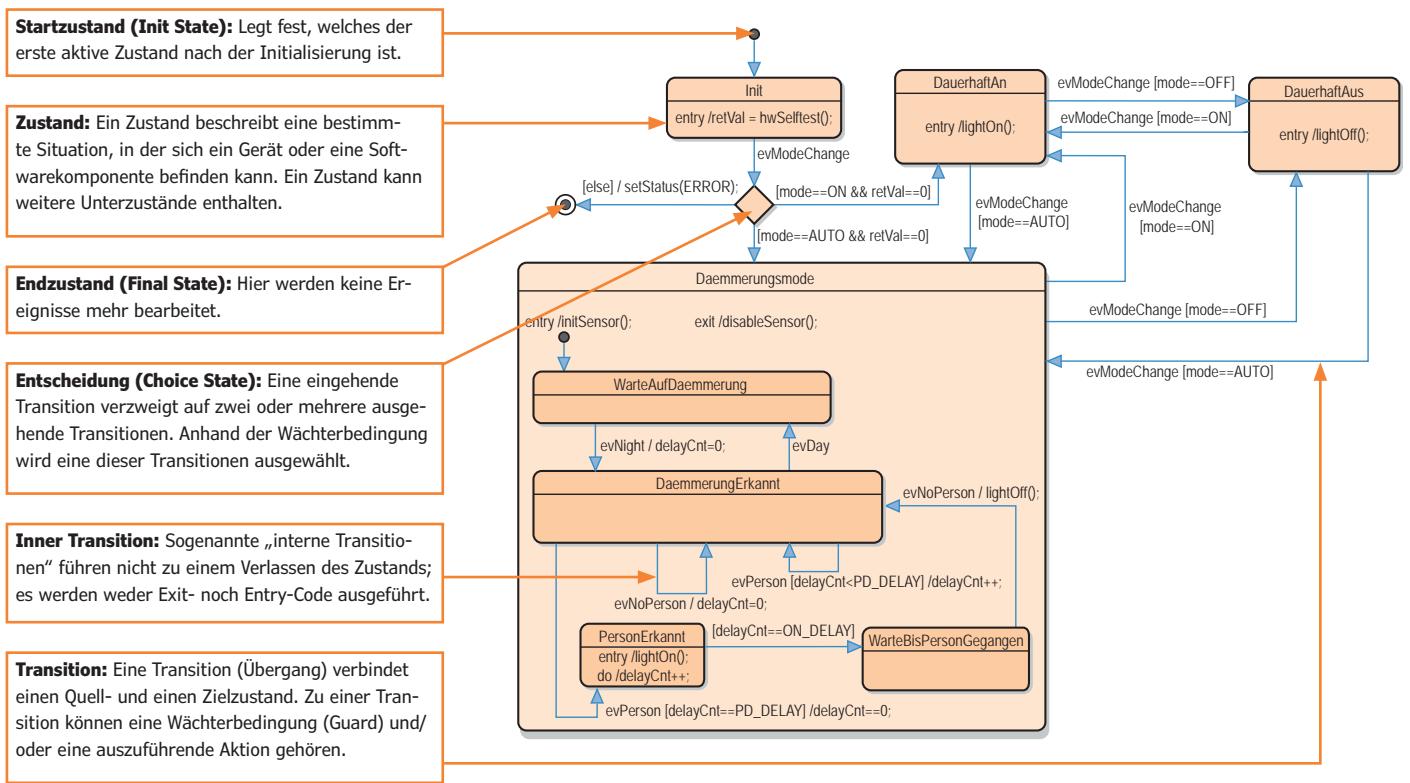
### Ein Beispiel

Betrachten wir als Beispiel einen Dämmerungslichtschalter mit Bewegungsmelder, wie er vor vielen Haustüren montiert ist. Er reagiert auf äußere Ereignisse, z.B.

- Wahl der Betriebsart (Auto, Dauer-Aus, Dauer-An)
  - Erkennen einer Person
  - Wechsel Tag/Nacht, Nacht/Tag
- aber auch auf interne Ereignisse wie den Ablauf einer bestimmten Wartezeit. Als Reaktion auf diese Ereignisse schaltet er das Licht ein oder aus. Nicht alle Interaktionen sind zu jedem Zeitpunkt möglich: So wird eine Person ignoriert, wenn der Dämmerungssensor noch „Tag“ meldet. Erst bei Dunkelheit führt das Detektieren einer Person zum Einschalten des Lichts. Nach dem Einschalten der Stromversorgung ist der Dämmerungsschalter

### Leicht verständlich

Eine der großen Stärken von Zustandsdiagrammen: Sie können nach kurzer Gewöhnungszeit auch von Nicht-Programmierern verstanden werden und eignen sich hervorragend als Grundlage für Software-Reviews oder Besprechungen mit Kollegen oder Kunden.



im sogenannten Initialzustand. Welche anderen Zustände von hier erreichbar sind, kann über ein Zustandsdiagramm (Englisch *State Chart* oder *State Diagram*) anschaulich dargestellt werden. Zustände (Englisch *States*) werden als Rechtecke mit abgerundeten Ecken gezeichnet. Die Zustände sind durch Pfeile verbunden, wenn ein Wechsel möglich ist (Englisch *Transition*). Der Text an der Transition gibt an, welches Ereignis (*Event*) den Wechsel vom Start- in den Zielzustand ermöglicht (*triggert*). Ob das Event tatsächlich zu einem Zustandswechsel führt, kann über eine Bedingung (*Guard*) noch eingeschränkt werden.

**Bild 1** zeigt ein einfaches Zustandsdiagramm des Dämmerungsschalters. In welchen State die Maschine nach dem Initialisieren geht, wird über einen kleinen runden Kreis und einen daran angeschlossenen Pfeil dargestellt. Nach dem Einschalten geht das Gerät hier in den Zustand „Init“. Aus dem Init-Zustand führt eine Transition, die über eine sogenannte *Choice* (als Raute dargestellt) je nach Guard in drei verschiedene States verzweigen kann.

Es ist möglich, Aktionen beim

- Eintritt in einen Zustand (*onEntry*)

- Verlassen eines Zustands (*onExit*) und
- beim Verbleib im Zustand (*do*) auszuführen.

Bei einem Zustandswechsel werden gegebenenfalls zuerst der Exit-Code des Quellzustands und dann der Entry-Code des Zielzustands abgearbeitet. So führt der Dämmerungslichtschalter beim Eintritt in den Zustand „Init“ einen Selbsttest durch. Schlägt dieser fehl, wird dem Anwender ein Fehler signalisiert (else-Pfad aus der Choice). Der Kreis mit dem Schwarzen Innenkreis ist das Symbol für einen Endzustand (*Finalstate*). Aus einem Finalstate führen keine Transitionen mehr heraus, das heißt alle Ereignisse werden ab da ignoriert.

War der Selbsttest erfolgreich (*retVal == 0*), geht die Maschine entweder in den Zustand „Daemmerungsmode“ oder „DauerhaftAus“, abhängig von der Variablen „mode“.

Eine Transition kann übrigens ebenfalls mit einer Aktion (also mit auszuführendem Programmcode) verbunden werden: Im Beispiel oben wird der Gerätestatus im „else“-Pfad der Choice auf „Error“ gesetzt.

**Bild 2.**  
Diagramm mit Details des Dämmerungsmodes.

## Verfeinerung

Zustandsmaschinen können hierarchisch oder flach sein. Die Maschine in Bild 1 ist flach, da kein Zustand weitere Unterzustände besitzt. Wenn wir nun den Zustand „Daemmerungsmodus“ verfeinern, erzeugen wir eine hierarchische Maschine. **Bild 2** zeigt die verfeinerte Maschine von Bild 1. Beim Wechsel in den Zustand „Daemmerungsmodus“ wird in den inneren Initialzustand „WarteAufDaemmerung“ gesprungen. Wird der Maschine das Event „evNight“ geschickt, verzweigt sie in den Zustand „DaemmerungErkannt“. Nachdem eine Person erkannt wurde, bleibt das Licht für eine feste Zeit an und schaltet danach wieder ab, falls keine Person mehr anwesend ist. Beim Betrachten der Zustandsmaschine fallen einem bestimmte Designentscheidungen ins Auge, die im Code ungleich schwerer sichtbar sind. Zum Beispiel bleibt das Licht nach Ablauf der Wartezeit weiter an, bis keine Person mehr erkannt wird. Eventuell war das aber gar nicht vorgesehen und das Licht soll auf jeden Fall erst einmal ausgehen. Beim Wechsel von „DauerhaftAn“ nach „Daemmerungsmodus“ ist das Licht schon an. Ist das so sinnvoll oder fehlt hier noch eine Aktion?

## Abarbeitung

Zustandsdiagramme reagieren auf Ereignisse. Die Reaktion erfolgt in einer für das betreffende System typischen Zeit, das können wenige Millisekunden, aber auch Sekunden sein. Für eine korrekte Abarbeitung muss man davon ausgehen können, dass ein Event vollständig verarbeitet wurde, bevor das nächste Event eintrifft. Ist das nicht gewährleistet, kann eine Warteschlange (*Eventqueue*) als Zwischenpuffer verwendet werden.

Bei hierarchischen Diagrammen werden Events zuerst dem innersten aktiven Zustand „angeboten“. Wird das Event hier nicht verarbeitet, geht man schrittweise eine Hierarchieebene nach außen, bis man auf der obersten Ebene angelangt ist. Das Event „evModeChange“ kann zum Beispiel nur eine Transition von „Daemmerungsmodus“ auslösen, wenn es nicht bereits von einem weiter innen liegenden Zustand „konsumiert“ wurde (was hier nicht der Fall ist). Der Hintergrund ist die Idee, dass innere Zustände einen äußeren verfeinern. Daher muss der Zustand, der am weitesten innen liegt, zuerst die Chance haben, auf ein Event zu reagieren.

## Zustandstabelle

Die Darstellung von Zustandsdiagrammen kann bei sehr vielen States schnell unübersichtlich werden. Daher bietet sich alternativ die Darstellung als Zustandstabelle an. Hierbei werden die Zustände z.B. nach rechts und nach unten aufgelistet. In den Schnittpunkten trägt man dann die Trigger ein, die einen entsprechenden Wechsel auslösen.

**Bild 3** zeigt auszugsweise die Zustandstabelle des Diagramms aus Bild 2. Die Tabellendarstellung ist sehr übersichtlich. Man sieht deutlich noch viele Lücken, was aber völlig normal ist. Undefinierte Übergänge sind per Definition Events, die verworfen werden. Zum Beispiel wird im Zustand „WarteAufDaemmerung“ das Event „evPerson“ nicht bearbeitet.

Bei einem Review des Designs bietet es sich an, die Kreuzungspunkte systematisch durch zu gehen und zu prüfen, ob Events, Aktionen und Guards richtig gewählt wurden und ob bei Leerstellen eventuell eine Transition vergessen wurde.

## Implementierung

Nach dem Design und gegebenenfalls einem Review folgt die Implementierung der „Zustandsmaschine“. Hier wird häufig eine verschachtelte switch/case-Struktur verwendet.

 Im Webdokument [1] ist ein Listing zu finden, das eine Implementierung der Maschine aus Bild 2 auf Basis einer switch/case Struktur zeigt.

Die Implementierung von nicht-trivialen Zustandsdiagrammen per Hand ist allerdings mühsam. Schnell ist eine Transition vergessen oder eine Entry-Aktion an der falschen Stelle eingefügt. Insbesondere wenn man nachträglich Änderungen durchführen will, schleichen sich schnell schwer zu findende Fehler ein.

Nun schlägt die Stunde der Tools, die aus Zustandsdiagrammen automatisch Code erzeugen können. Zustandsdiagramme eignen sich im Allgemeinen sehr gut, um komplett generiert zu werden. Dies ist ein Vorteil, den man schnell zu schätzen lernt, da das Design immer konsistent mit dem Code bleibt und man sich eine Menge mühsamer Codierarbeit erspart. Um lauffähigen Code erzeugen zu können, muss man sich beim Design allerdings an bestimmte Spielregeln halten. Einige Beispiele:

	DauerhaftAus	DauerhaftAn	Daemmerungsmodus	WarteAufDaemmerung	DaemmerungErkannt	PersonErkannt	WarteBis PersonGegangen	Init	FINAL_0
DauerhaftAus		evModeChange [mode==OFF]	evModeChange [mode==OFF]						
DauerhaftAn	evModeChange [mode==ON]		evModeChange [mode==ON]					evModeChange [mode==ON && retVal==0]	
Daemmerungsmodus	evModeChange [mode==AUTÖ]	evModeChange [mode==AUTÖ]						evModeChange [mode==AUTÖ && retVal==0]	
WarteAufDaemmerung					evDay				
DaemmerungErkannt				evNight	evNoPerson evPerson [delayCnt<PD_DELAY]		evNoPerson		
PersonErkannt					evPerson [delayCnt==PD_DELAY]				
WarteBisPersonGegangen						[delayCnt==ON_DELAY]			
Init									
FINAL_0								evModeChange[else]	

091051 - 13

- Zustände müssen eindeutige Namen haben
- Zustandsnamen müssen gültige Bezeichner in der generierten Sprache sein (z.B. dürfen sie in C keine Leerzeichen enthalten und nicht mit einer Zahl beginnen)
- Aktionen müssen entweder Funktionsaufrufe oder gültigen Programmcode enthalten
- Guards müssen immer den Wert Wahr/Falsch ergeben

Viele dieser Regeln kann der Code-Generator automatisch abprüfen. Daneben kann er automatisch noch weitere Prüfungen durchführen, zum Beispiel:

- Sind alle Zustände erreichbar oder gibt es „tote Enden“?
- Ist überall wo nötig ein Init-Zustand definiert?
- Ist für jede Transition ein Trigger vorhanden?

Damit lassen sich viele Ungereimtheiten des Designs schnell und automatisiert erkennen. Es sei noch darauf hingewiesen, dass Generatoren häufig noch weitere Funktionen bieten, die beim Debuggen und bei der Fehlersuche helfen.

## Simulation und Debuggen

Beim Entwurf von Zustandsmaschinen ist es sehr hilfreich, wenn man das Modell simulieren kann. Zustandsübergänge werden dabei durch simulierte Events ausgelöst; dann erkennt man, welcher Code ausgeführt wird und ob sich die Maschine wie gewünscht verhält. Im nächsten

Schritt ist die Beobachtung der Maschine im realen Gerät von großem Nutzen. Im einfachsten Fall lässt man sich den aktuellen Zustand und eintreffende Events einfach in einem Textfenster anzeigen.

Bild 3.  
Darstellung des Zustandsdiagramms aus Bild 2 als Zustandstabelle (Auszug).

 Im Webdokument [1] ist ein Beispiel zu finden, wie man sich selbst eine passende Funktion schreiben kann, die ein solches *Tracing* realisiert. Dazu findet man dort ein zweites Beispiel, das den kleinen mobilen Robotor ASURO [2] mit etwas Intelligenz ausstattet.

Wer sich näher mit Zustandsdiagrammen beschäftigen will, dem sei der Einsatz eines UML-Tools (Unified Modeling Language [3]) empfohlen. Insbesondere sei hier das Open Source Tool ARGO UML [4] erwähnt. Die ersten Versuche zur automatischen Codegenerierung kann man mithilfe der Demoversion von Sinelabore [5] durchführen.

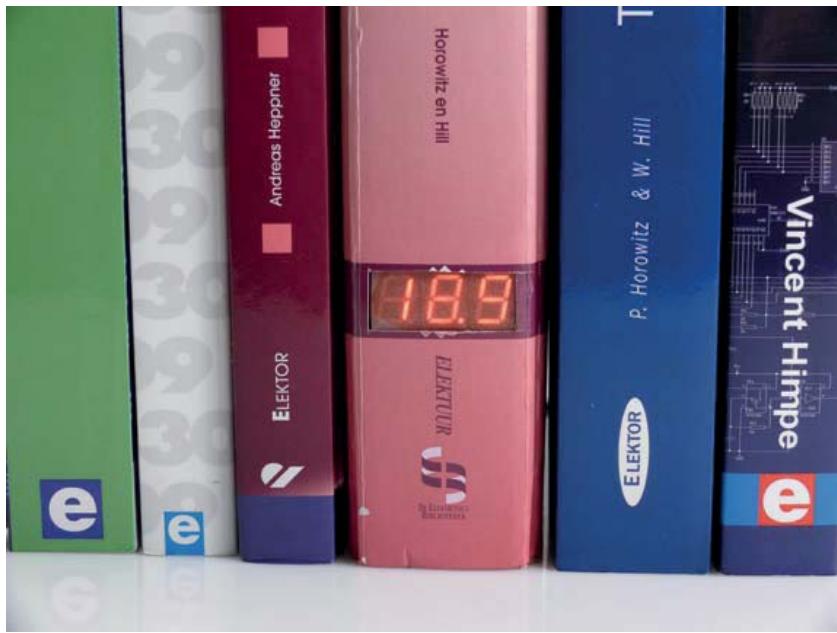
(091051)

## Weblinks

- [1] [www.elektor-magazine.de/091051](http://www.elektor-magazine.de/091051)
- [2] [www.youtube.com/watch?v=pIpuR\\_LlwY4&feature=player\\_embedded](http://www.youtube.com/watch?v=pIpuR_LlwY4&feature=player_embedded)
- [3] [http://de.wikipedia.org/wiki/Unified\\_Modeling\\_Language](http://de.wikipedia.org/wiki/Unified_Modeling_Language)
- [4] <http://argouml.tigris.org>
- [5] [www.sinelabore.com](http://sinelabore.com)

# Thermobuch

## Temperatur und Luftfeuchte messen



Von Willem Tak (NL)

Ist dies die Neuauflage eines alten Themas? Nein, nicht ganz! Das Thermobuch misst außer Temperaturen auch die Luftfeuchte, es kommt im Gewand eines mittelformatigen Buchs daher. Das Display im Einbandrücken zeigt auf Händeklatschen wahlweise an, wie warm oder feucht die Raumluft ist. Eingereiht unter konventionelle Bücher ist das Thermobuch ein Blickfang in jedem Bücherregal!

Ein erster Meilenstein in der Laufbahn vieler Elektroniker dürfte der Bau einer Digitaluhr sein, und auch Thermometer stehen auf der Rangliste von Newcomern ganz oben. Was hat uns bewogen, zu den zahllosen bekannten Entwürfen eine weitere Variante hinzufügen? Nicht die Technik dieses Temperatur- und Feuchtemessers ist es, was ihn von der Masse abhebt, es ist die ausgefallene Gestaltung. Das Thermobuch harmoniert nicht nur mit der Gegenwartsliteratur, auch neben den Klassikern von Goethe oder Schiller überrascht es den erstaunten Betrachter. Da sowohl die Temperatur als auch die Luftfeuchte hochgenau angezeigt werden, ist hier das messtechnisch Nützliche mit dem visuell Attraktiven vereint.

### Hardware

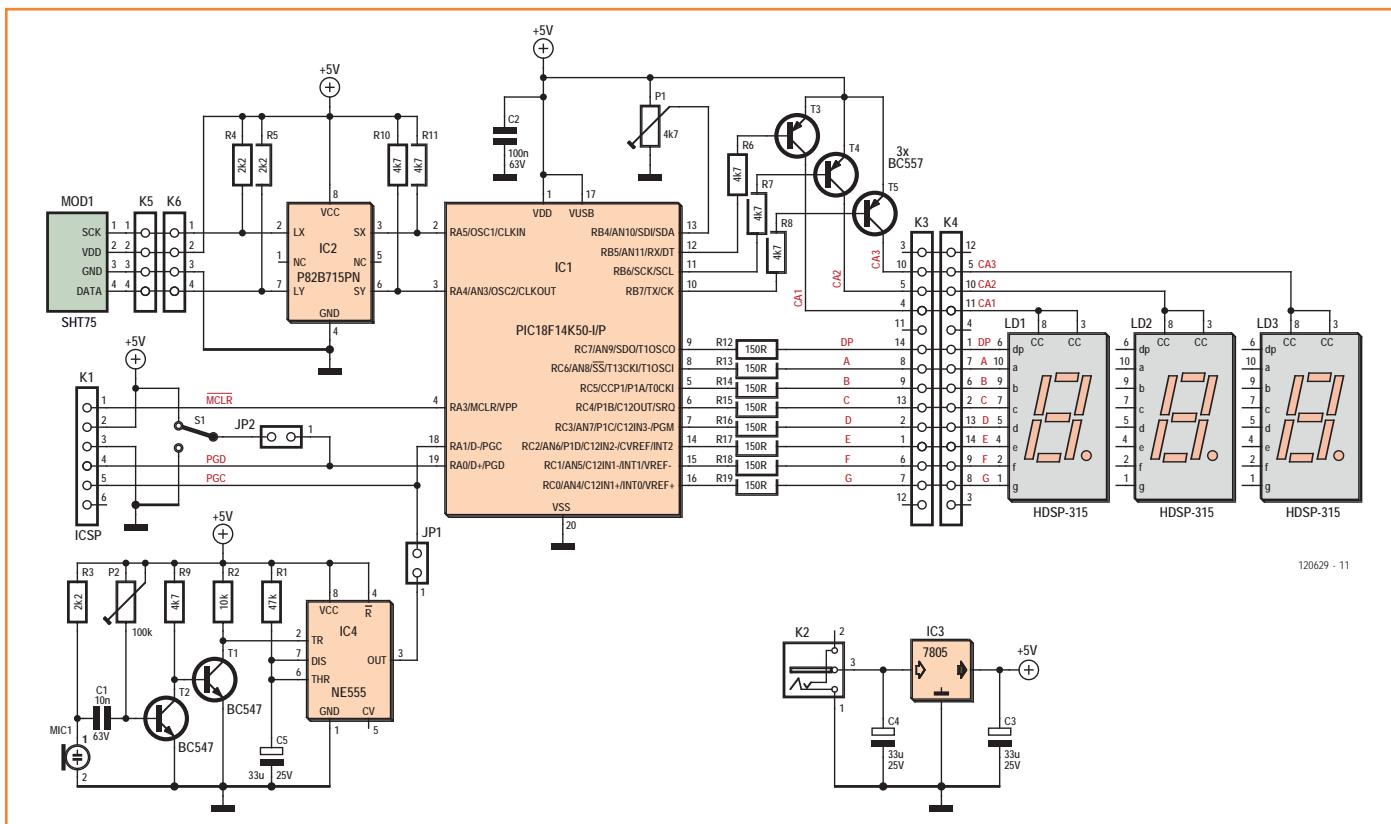
Wichtigstes Bauelement der Schaltung in **Bild 1** ist zweifellos der duale Sensor SHT75 von Sensirion, der Temperaturen und Luftfeuchtewerte misst. Dieser Typ hat zwar einen vergleichsweise hohen Preis, doch er misst mit höchster Präzision und die Messdaten-Auswertung ist unkompliziert. Der etwas günstigere Typ SHT15 ist elektrisch kompatibel, die Bauform (SMD-Mini-Platine)

weicht jedoch vom SHT75 ab.

Der Mikrocontroller, ohne den es natürlich nicht geht, ist ein PIC18F14K50, der intern mit 8 MHz getaktet wird. Die gemeinsamen Anoden der Siebensegment-Displays LD1...LD3 werden über T3...T5 gesteuert. Die Kathoden liegen über die Widerstände R12...R19 an acht Portleitungen des Mikrocontrollers. Der Wert von Trimmstoti P1, das zum Einstellen der Display-Helligkeit dient, wird vom Mikrocontroller zyklisch abgefragt.

Der Sensor liegt über den I<sup>2</sup>C-Extender IC2 an den Anschlüssen RA4 und RA5 des Mikrocontrollers. Zwingend notwendig ist der Extender zwar nicht, doch er trägt maßgeblich zur Störsicherheit und Zuverlässigkeit des Messaufbaus bei.

Der Mikrocontroller speichert die Werte, die der Sensor für die Temperatur T und die Luftfeuchte H misst. Die Siebensegment-Displays zeigen diese Werte abwechselnd an, wobei die Temperatur im Verhältnis zur Luftfeuchte doppelt lange auf dem Display erscheint. Alternativ wird die Luftfeuchte nur dann angezeigt, wenn der mit T1 und T2 aufgebaute Klatschschalter über das Mikrofon MIC1 ein Händeklatschen erkennt. Beim Händeklatschen erzeugt der Timer 555 (IC4) einen



Impuls, der den Mikrocontroller veranlasst, die Luftfeuchte für vier Sekunden auf dem Display einzublenden. Vom Umschalter S1 hängt ab, in welchem Modus die Anzeige arbeitet.

Zum Programmieren des Mikrocontrollers ist auf der Platine der ICSP-Anschluss K1 vorhanden, hier kann beispielsweise ein PICkit-Programmer angeschlossen werden. Wenn K1 mit dem Programmer verbunden ist, müssen die Jumper JP1 und JP2 abgezogen werden, anderenfalls müssen sie aufgesteckt sein. Der programmierte Mikrocontroller ist im Elektor-Shop unter der Nummer 120629-41 bestellbar. Wer den Mikrocontroller in eigener Regie programmieren möchte, kann den zugehörigen Quell- und Hex-Code von der Projektseite [1] herunterladen.

In der Schaltung ist ein Reset-Taster entbehrlich, weil der Mikrocontroller bei jedem Start eine Initialisierungsroutine durchläuft. Während dieser Routine zeigt das Display eine aus horizontalen Linien bestehende Zeichenfolge an.

Die Stromversorgung übernimmt ein handelsübliches Steckernetzteil, die Spannung darf im Bereich 7...12 V liegen. Der Strombedarf beträgt weniger als 100 mA.

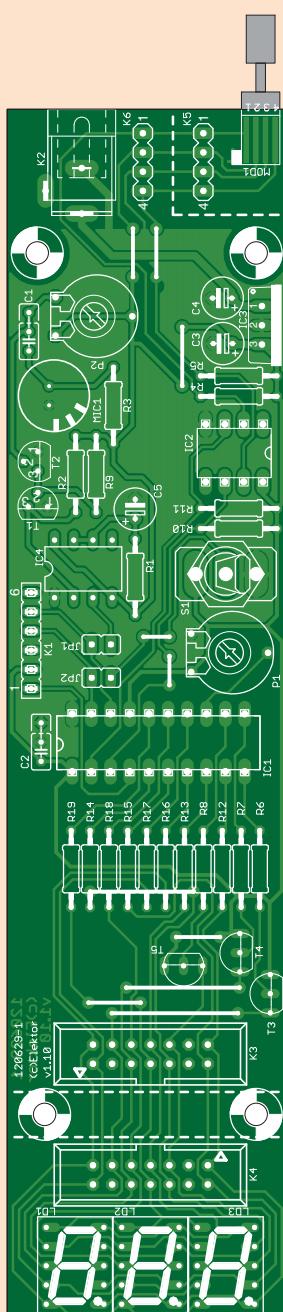
## Software

Die meiste Zeit beschäftigt sich das Programm mit dem Steuern der drei Siebensegment-Displays. Die Routine *LDD cycle*, die etwa 0,5 s dauert, ist für das Schalten der gemeinsamen Anoden und der Kathoden (Segmente) zuständig. Die Schaltzeiten sind änderbar, sie hängen von der mit P1 eingestellten Helligkeit ab. Die am Schleifer von P1 liegende Spannung wird vom A/D-Wandler des Mikrocontrollers in einen äquivalenten digitalen Wert gewandelt. Dieser Wert steuert die Schaltzeiten der Displays.

Am Anfang der Hauptschleife steht ein Startkommando, danach werden zwei Display-Zyklen durchlaufen, anschließend werden die Sensor-Messwerte gelesen. Die in dem herstellerspezifischen Sensirion-Format vorliegenden Werte müssen in das Display-Format umgesetzt werden. Für die Temperatur T ist eine Tabelle vorhanden, wobei auch durch 100 geteilte Zwischenwerte berücksichtigt werden. Den Anzeigewert der Luftfeuchte H entnimmt der Mikrocontroller ebenfalls einer Tabelle. Um der Selbsterwärmung des Sensors entgegenzuwirken, ist zwischen dem Start und Lesen der Werte eine Pause eingefügt.

Bild 1.

Der Sensor SHT75 misst Temperaturen und Luftfeuchte-Werte. Die Anzeige des Siebensegment-Displays wechselt auf Händeklatschen.



## Stückliste

### Widerstände:

R1 = 47 k  
R2 = 10 k  
R3,R4,R5 = 2k2  
R6...R11 = 4k7  
R12...R19 = 150  $\Omega$   
P1 = 4k7 Trimpotio, liegend  
P2 = 100 k Trimpotio, liegend

### Kondensatoren:

C1 = 10 n, MKT, Raster 5 mm  
C2 = 100 n, MKT, Raster 5 mm  
C3,C4,C5 = 33  $\mu$ 25 V stehend, Raster 2,5 mm

### Halbleiter:

IC1 = PIC18F14K50-I/P, DIP-20 (programmiert, 120629-41)  
IC2 = P82B715PN, DIP-8 (NXP)  
IC3 = MC7805CTG, TO-220 (On Semiconductor)  
IC4 = NE555P, DIP-8 (TI)  
LD1,LD2,LD3 = Siebensegment-Display, HDSP-315L (Farnell 1241274)  
T1,T2 = BC547C  
T3,T4,T5 = BC557B

### Außerdem:

JP1,JP2 = Stiftkontakteleiste 2-polig, Raster 2,54 mm, mit Jumper  
K1 = Stiftkontakteleiste 6-polig, Raster 2,54 mm  
K2 = Stromversorgungsbuchse, Raster 2,1 mm (Digikey CP-102A-ND)  
K4,K5 = Stiftkontakteleiste, 2x7-polig, Raster 2,54 mm (optional, siehe Text)  
K5,K6 = Stiftkontakteleiste 4-polig, Raster 2,54 mm (optional, siehe Text)  
MOD1 = Temperatur- und Feuchtesensor, Sensirion SHT75 (Farnell 1590514)  
S1 = Umschalter 1-polig (z. B. Multicomp 1MS1T1B5M1QE, Farnell 9473378)  
MIC1 = Electret-Mikrofon, Durchmesser 9,7 mm (Farnell 1736563)  
Elektor-Platine 120629-1, siehe [1]

Zu den Anzeige-Modi „Auto“ und „Klatschen“ gehören im Programm zwei separate Hauptschleifen, sie sind wie schon erwähnt mit Schalter S1 wählbar. Eine Schalteränderung wird erst am Zyklusende erkannt (etwa 3 s nach dem Start), was zur Folge hat, dass der Anzeige-Modus verzögert umschaltet.

Im Modus „Klatschen“ prüft der Mikrocontroller am Ende jedes Zyklus, ob der Ausgang des Klatschschalters aktiv ist. In diesem Fall verzweigt das Programm in eine Routine, die den Wert H für ungefähr 4 s auf das Display setzt. Außerdem wird bereits der nächste Wert H gelesen, so dass er im folgenden Zyklus sofort verfügbar ist.

## Platine

Das Elektor-Labor hat für das Thermobuch eine schmale, hohe Platine entworfen, das Layout ist in **Bild 2** abgedruckt. Die Platine ist ebenso wie der programmierte Mikrocontroller im Elektor-Shop erhältlich [1]. Der Platinenteil, auf dem sich die Siebensegment-Displays befinden, kann bei Bedarf abgesägt werden, so dass er an beliebiger Stelle des „Buchs“ montierbar ist. Die Verbindungen zwischen K3 und K4 werden über ein 14-adriges Flachkabel hergestellt. Bei nicht abgesetztem montiertem Display können K3 und K4 entfallen. Auch der Teil der Platine, der für den Sensor bestimmt ist, lässt sich abtrennen und an einem geeigneten Ort montieren. Nur wenn der Sensor kontinuierlich von der Raumluft umströmt wird, können die Werte von Temperatur und Luftfeuchte exakt sein. Der Sensor-Platinenteil wird über ein 4-adriges Flachkabel mit dem Hauptteil der Platine verbunden.

Die Montage der Bauelemente auf der Platine ist unkompliziert, es sind ausschließlich Komponenten mit Drahtanschlüssen vorhanden. Die Jumper JP1 und JP2 müssen im Normalbetrieb auf die zugehörigen Kontakte gesteckt sein.

## Gestaltung

Bei der äußerlichen Gestaltung des „Buchs“ sind der Phantasie kaum Grenzen gesetzt. Für das Labormuster wurden fünf transparente, 5 mm dicke Acrylglasscheiben zu einem Gehäuse in Buchform zusammen geklebt. Als Buchrücken kann ein Stück Karton mit einem aufgedruckten Titel eingelegt werden. Der Einband eines ausrangierten Buchs, das ein möglichst identisches Format hat, ist eine gute Alternative. Die Fotos auf der

Bild 2.

Die zum Sensor und zum Display gehörenden Teile können von der Platine abgetrennt werden, so dass sie beliebig montierbar sind.

Projektseite demonstrieren, wie das Thermobuch aussiehen kann [2]. In dem steifen Einband, einem so genannten Hardcover, wurden zwei Bügel eingeklebt. Wie das Titelfoto zeigt, ist die Platine an den Bügeln befestigt.

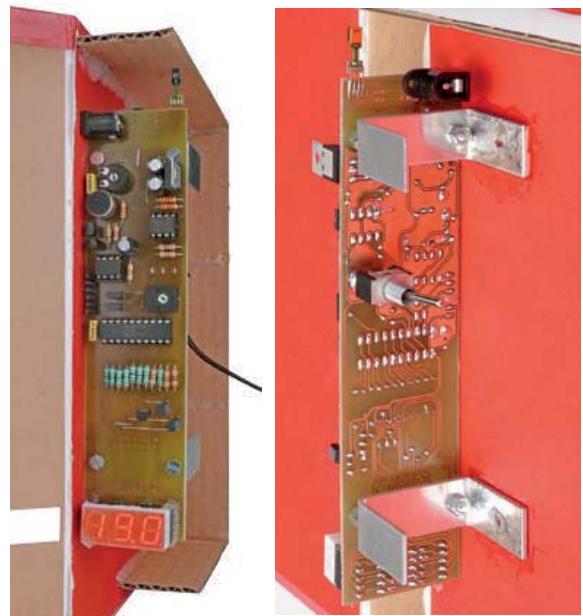
In den Einbandrücken muss ein rechteckförmiger Durchbruch geschnitten oder gesägt werden, in den die Siebensegment-Displays passen. Der Sensor ist funktional korrekt positioniert, wenn er über die oberen Buchumrisse einen oder zwei Zentimeter hinausragt. Das Kabel des Stecker-Netzteils wird von der Rückseite durchgeführt. Wenn eine Gehäusewand abnehmbar ist, kann Anzeige-Umschalter S1 seinen Platz auf der Platine haben. Ein geeigneter alternativer Montageort ist ebenfalls die Gehäuserückseite.

Das Thermobuch gehört zu den Projekten, bei denen der Erfolg maßgeblich von einer ideenreichen äußeren Gestaltung abhängt. Die erstaunten und anerkennenden Mienen der Betrachter lohnen die Mühe!

(120629)gd

#### Weblinks

- [1] [www.elektor-magazine.de/120629](http://www.elektor-magazine.de/120629)
- [2] [www.elektor-labs.com/project/thermobook.12410.html](http://www.elektor-labs.com/project/thermobook.12410.html)



**pico**  
Technology

# DAS WELTWEIT ERSTE USB 3.0 OSZILLOSKOP

[www.usb3scope.com/TR112](http://www.usb3scope.com/TR112)

PicoScope	3207A	3207B
Bandbreite	250 MHz	250 MHz
Sampling	1 GS/s	1 GS/s
Speicher	256 MS	512 MS
Signalgenerator	Funktionsgenerator	AWG
Preis	€1813	€1451
Stromversorgung	Aus USB angeschluss	
Kompatibilität	USB 2.0 & 3.0	

ALLE MODELLE WERDEN MIT TASTKÖPFEN, KOMPLETTER SOFTWARE UND 5 JAHRE GARANTIE GELIEFERT. DIE SOFTWARE ENTHÄLT: MESSUNGEN, SPEKTRUM-ANALYZER, KOMPLETTES SDK, ERWEITETER TRIGGER, FARB-PERSISTENZ, SERIELLE DEKODIERUNG (CAN, LIN, RS232, I²C, I²S, SPI), MASKEN, MATHEM. KANÄLE - ALLES ALS STANDARD. KOSTENLOSE UPDATES.

# Akku-Checker

## Kapazität messen durch kontrollierte Entladung



Von Martin Ossmann

Die Akkusammlung des Verfassers umfasst eine Unzahl von 1,2-Volt-Akkus verschiedenen Typs, Alters und Zustands. Nicht nur für ihn ist so ein Kapazitätsmesser äußerst interessant!

Um die Kapazität eines Akkus zu ermitteln, kann man ihn einfach frisch laden und dann kontrolliert wieder entladen. Mit einem solchen Entlademeter kann man gut prüfen, ob sich die Kapazität nach ein paar Lade/Entladezyklen wieder erhöht oder ob ein Akku irreparabel sein Lebensdauerende erreicht hat. Kern der Schaltung ist der MOSFET T1 mit den Shuntwiderständen R6...R9. Der Transistor wird durch PWM so angesteuert, dass ein vorgegebener Entladestrom vom Akku (an K2) durch den Shunt fließt. Der Entladestrom und die Spannung des Akkus werden gemessen, durch Integration über den Strom die entnommene Ladung Q ermittelt und in mAh umgerechnet angezeigt. Von 1,1 V bis zur Schlussspannung von 1,0 V wird der Strom vom maximalen Wert bis 0 linear reduziert. Die aktuellen Parameter Zeit, Spannung, Strom und Ladung werden jeweils auf dem LCD dargestellt und auch über die serielle Schnittstelle ausgegeben, so dass man den Entladevorgang mit einem PC protokollieren kann.

### Die Schaltung

Was sich recht einfach anhört, ist auch in der Realität (sprich, der Schaltung in **Bild 1**) nicht besonders kompliziert. Der ATmega88-Controller IC1 übernimmt alle Mess-, Rechen- und Ausgabeaufgaben. Der Prozessor wird mit 11,0592 MHz getaktet. Ein LM7805 liefert die Betriebsspannung von 5 V (Versorgungsspannung an K4 stammt von einem 9...12 V-Stickernetzteil), die 2,5-V-Referenzspannung für die AD-Wandlung erzeugt ein LM285-2V5 (IC2). Mit der Rechteckspannung an Pin 12 (PD6/PWM C0A) wird eine negative Spannung für den Kontrast des LCDs erzeugt, der an P1 einstellbar ist. An Jumper JP1 kann man optional eine Hintergrundbeleuchtung für das Display aktivieren.

Die PWM an Pin PB1 wird durch C2 und R3 in eine Steuergleichspannung für den MOSFET T1 umgewandelt. Der Entladestrom wird über dem Shunt R6...R9 gemessen und mit T1 so geregelt, dass der programmierte Entladestrom eingehalten wird.

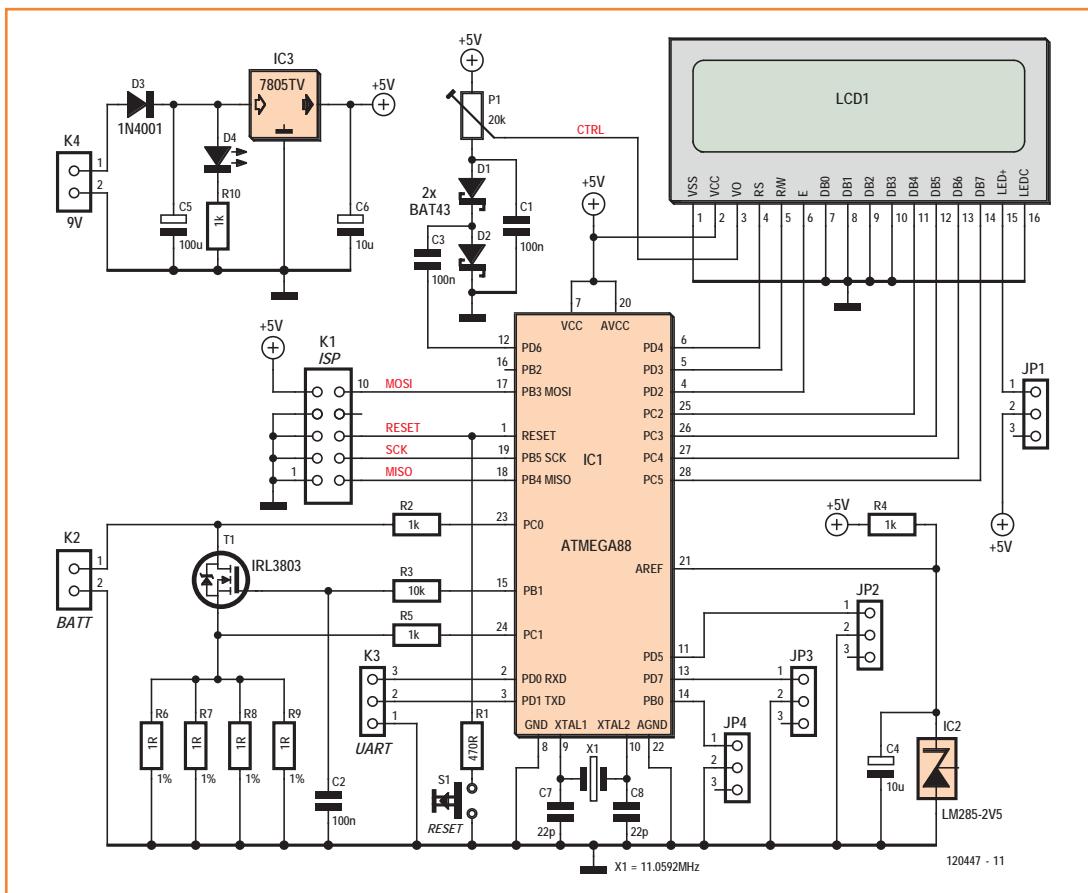


Bild 1.  
Der Akku-Checker mit der  
Entladevorrichtung um T1.

strom fließt. Die beiden Analogkanäle ADC0 (PC0) und ADC1 (PC1) erfassen Spannung und Strom. Mit den Jumpern JP2...JP4 kann man den Entladestrom zwischen 50 mA und 1 A einstellen (**Tabelle 1**).

PDO und PD1 des Controllers stellt die serielle Schnittstelle dar. Hier kann man beispielsweise einen USB/TTL-Konverter anschließen und mit 19200 Baud alle Parameter im Format

T=00043 sek U=1.396 V I=0.502 A

Iset=0.500 A Charge=0003 mAh

auslesen.

Auf der Platine befindet sich mit K1 auch eine ISP-Programmierschnittstelle, so dass man bei Bedarf neue Firmware in den Controller laden kann.

### Aufbau und Anwendung

Für das Projekt stellen wir Ihnen eine Leerplatine und einen fix und fertig programmierten

Controller im Elektor-Service zur Verfügung. Natürlich können Sie auch selber Hand anlegen und von der Website hierzu wie gewohnt das Platinenlayout und sämtliche Software downloaden [1].

Zum Aufbau des Akku-Checkers auf der einseitigen Platine in **Bild 2** ist eigentlich nicht viel zu sagen. Beginnen Sie die Bestückungsarbeiten am besten mit den sieben Brücken, wovon eine

**Tabelle 1.**  
Jumper-Settings für die Stromeinstellung

Strom (mA)	JP-4	JP-3	JP-2
1000	set	set	set
500	set	set	not set
250	set	not set	set
100	set	not set	not set
50	not set	set	set

# Projects

## Stückliste

### Widerstände:

R1 = 470 Ω  
R2,R4,R5,R10 = 1 k  
R3 = 10 k  
R6...R9 = 1 Ω, 1 %/0,5 W  
P1 = 20-k-Trimmstelle, liegend

### Kondensatoren:

C1...C3 = 100 n  
C4,C6 = 10 μF/10 V, radial RM  
2 mm/5 mm  
C5 = 100 μF/10 V, radial RM  
2,5 mm/6 mm  
C7,C8 = 22 p

### Halbleiter:

D1,D2 = BAT43  
D3 = 1N4001

D4 = LED, rot, 3 mm  
T1 = IRL3803  
IC1 = ATmega88-20 (programmiert  
120447-41)  
IC2 = LM285-2V5  
IC3 = 7805

### Außerdem:

LCD1 = LC-Display 2x16, z.B. Elektor  
120061-71  
K1 = Stiftleiste, 2\*5-pol., 2,54 mm  
K2,K4 = Schraubklemme für Platinen-  
montage, RM 5,08 mm  
K3 = Buchsenleiste, 3-pol., 2,54 mm  
JP1...JP4 = Stiftleiste, 3-pol., 2,54 mm  
S1 = Taster  
Platine 120447-1

(die unter dem Quarz) auf der Leiterbahnseite angebracht werden müssen. Alle Bauteile sind „through hole“, auf SMDs wurde verzichtet. Das Display sitzt huckepack auf der Platine, aber so, dass das Bedien-Interface (Klemmen, Taster und Jumper) noch zugänglich ist.

Dank der LM385-Referenz ist kein Abgleich erforderlich. Die Fuses des Controllers sind so einzustellen, dass er mit dem externen Quarz läuft. Transistor T1 benötigt einen kleinen Kühlkörper, damit er die maximale Leistung von  $1 \text{ A} * 1,3 \text{ V} = 1,3 \text{ W}$  verkraften kann. Die Widerstände R6 bis R9 (Strommessschunt) sollten 1-Prozent-Typen sein, damit die Strommessung zuverlässig genau ist.

Nach dem Einlegen eines frisch geladenen 1,2-V-Akkus an K2 (hier einen Batteriehalter anschließen) wird der Reset-Knopf S1 betätigt, um den Timer neu zu starten und die Ladungsintegration zurückzusetzen. Dann geht alles wie von selbst: Die Schaltung stellt den Strom auf den vorgegebenen Wert ein. Die Spannung sinkt dann innerhalb der ersten Stunde von 1,4 V auf 1,2 V ab. Dann bleibt die Spannung relativ lange auf einem konstanten Niveau von 1,2 V, wie man es auch erwartet. Am Ende sinkt die Spannung wieder. Erreicht sie 1,1 V, fängt der Entlader an, den Entladestrom zu reduzieren. Dadurch verlangsamt sich auch die Entladung. Bei 1,0 V wird der Entladestrom auf 0 reduziert, sodass der Akku nicht tiefentladen wird. Am Ende der Entladzeit kann man die Kapazität des Akkus unten links auf dem LCD ablesen.

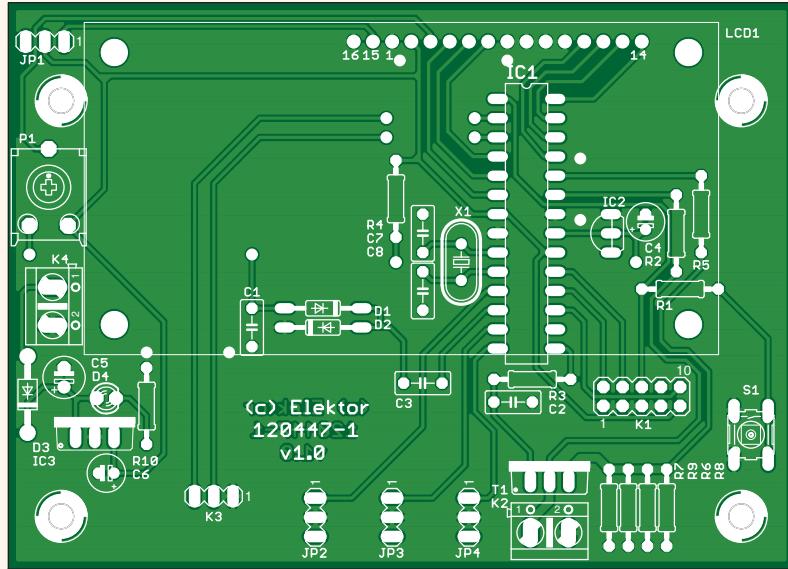


Bild 2.  
Die Platine des Akku-  
Checkers.

(120447)

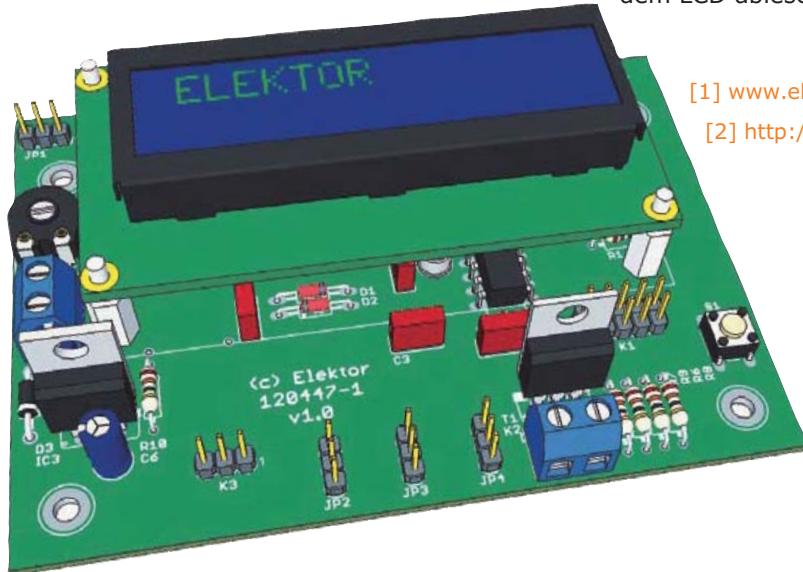


Bild 3.  
Bestückte Platine in  
SketchUp, die mit EagleUp  
[2] erstellte 3D-Datei kann  
man ebenfalls von der  
Elektor-Website downloaden.

[1] [www.elektor-magazine.de/120447](http://www.elektor-magazine.de/120447)  
[2] <http://eagleup.wordpress.com>

# 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 Ihnen in seinem 90-minütigen 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) Ihnen in einem 60-Minuten-Crash-Kurs, wie Sie Ihr Android-Smartphone oder -Tablet als Schaltzentrale in eigenen Projekten benutzen können.

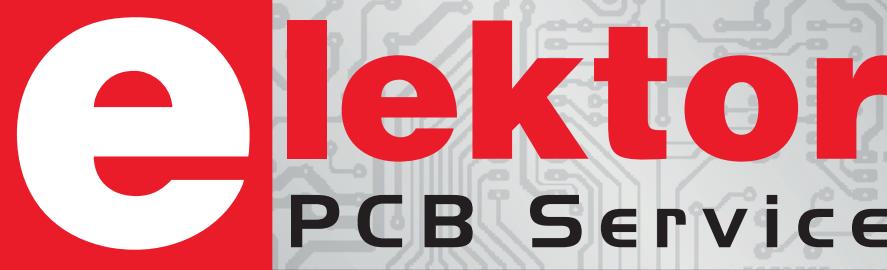


ISBN 978-3-89576-272-7

€ 24,90 • CHF 30,90



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

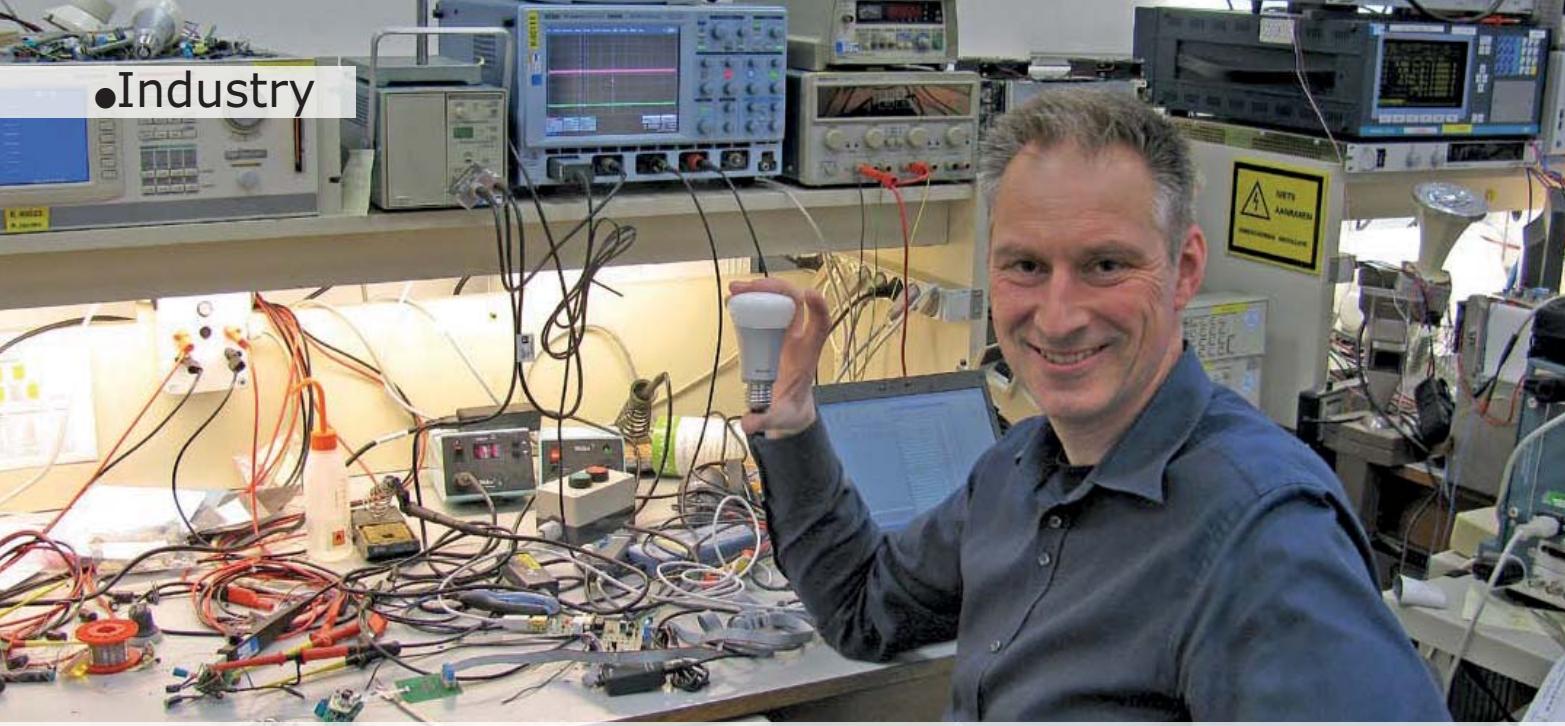


powered by Eurocircuits

**25% Rabatt auf alle neuen Elektor-Platinen!**

Der Elektor-PCB-Service gewährt auf jede neue Elektor-Platine (ab Erscheinungsdatum) 90 Tage lang 25% Rabatt!

Elektor-Platinen jetzt unter [www.elektor.de/pcb](http://www.elektor.de/pcb)  
zum Einführungspreis bestellen und 25% sparen!



# Philips hue Hintergründe einer innovativen Lampe

Von **Thijs Beckers**  
(Elektor Editorial)

*Hue* [1], das neueste Beleuchtungskonzept von Philips, wird sogar über den Apple-Store verkauft. Trotz seines schicken Aussehens ist es für allgemeine Beleuchtungs-zwecke gedacht und einfach zu installieren. Nachdem ich die zahllosen Möglichkeiten in einem speziell für diesen Zweck hergerichteten Wohnraum demonstriert bekam, wandte ich mich daher an Aart Vroegop, seines Zeichens Ingenieur bei Philips Lighting, um mehr über die Technologie dieser Leuchten zu erfahren.

Allein der Name *hue* – der terminus technicus für den Farbton, der ähnlich wie „you“ klingt – war schon ein kluger Schachzug von Philips. Bis zu 50 intelligente RGB-Leuchten lassen sich über Funk mit nur einer Zentrale („Bridge“) steuern. Diese Steuerung hat Netzwerkzugriff über WLAN und kann daher über das Internet angesprochen werden. Mit einer speziellen App für das iPad hat man das ganze System unter Kontrolle. Selbstverständlich ist auch eine entsprechende App für Android mit den gleichen Möglichkeiten verfügbar. Nach meiner Erfahrung musste ich zugeben, dass man mit *hue* die eigene Stimmung sehr viel stärker beeinflussen kann, als ich das für möglich gehalten hatte.

Philips Lighting hat einen Ruf zu bewahren. Von einem neuen Produkt dieser Firma erwarten die Kunden hohe Qualität. Um diesen Ansprüchen zu genügen, wurde intensive Forschung betrieben. Einige tausend Prototypen wurden von Freiwilligen in Shanghai, Berlin und New York quasi weltweit

getestet. Die zu bewertenden Kriterien waren die (Einfachheit der) Installation, die Lichtqualität und der allgemeine Eindruck. Die Ingenieure haben sich außerdem intensiv mit Regularien und Sicherheitsanforderungen beschäftigt, um etwas zu kreieren, das ein optimaler Kompromiss zwischen einem attraktiven Produkt und diesen Anforderungen wurde.

## Hue-Innenleben

Die Lampe hat ein Aluminium-Gehäuse mit Kunststoff-Beschichtung (siehe Bild 1). Nach dem Einbau der Elektronik wird das Gehäuse mit einer Vergussmasse gefüllt. Dieser elektrisch isolierende Füllstoff wurde wegen der guten Wärmeleitung ausgewählt, sodass die in der Elektronik entstehende Wärme gut ans Gehäuse und von da in die Umgebung gelangt.

Um die gewünschten Farbtöne realisieren zu können - Stichworte sind hier Schwarzkörperstrahlung und Farbtemperatur weißen Lichts – wurde ordent-

lich getüftelt und schließlich ein Satz roter, blauer und hellgrüner Rebel-LEDs von Luxeon (**Bild 2**) verwendet. Etliche Prototypen wurden mit einer Silikonhaube versehen, doch die fertigen Lampen bekamen ein beschichtetes Spezialglas, um die optimale Diffusion des Lichts der LEDs zu erreichen. Die Farbtemperatur wird auch von der Temperatur der LEDs beeinflusst. Während der Fertigung wird jede Lampe kalibriert und die Messergebnisse kommen in den permanenten Speicher des in der Lampenelektronik befindlichen Mikrocontrollers. So wird erreicht, dass jede Lampe bei gleicher Ansteuerung exakt den gleichen Farbton produziert.

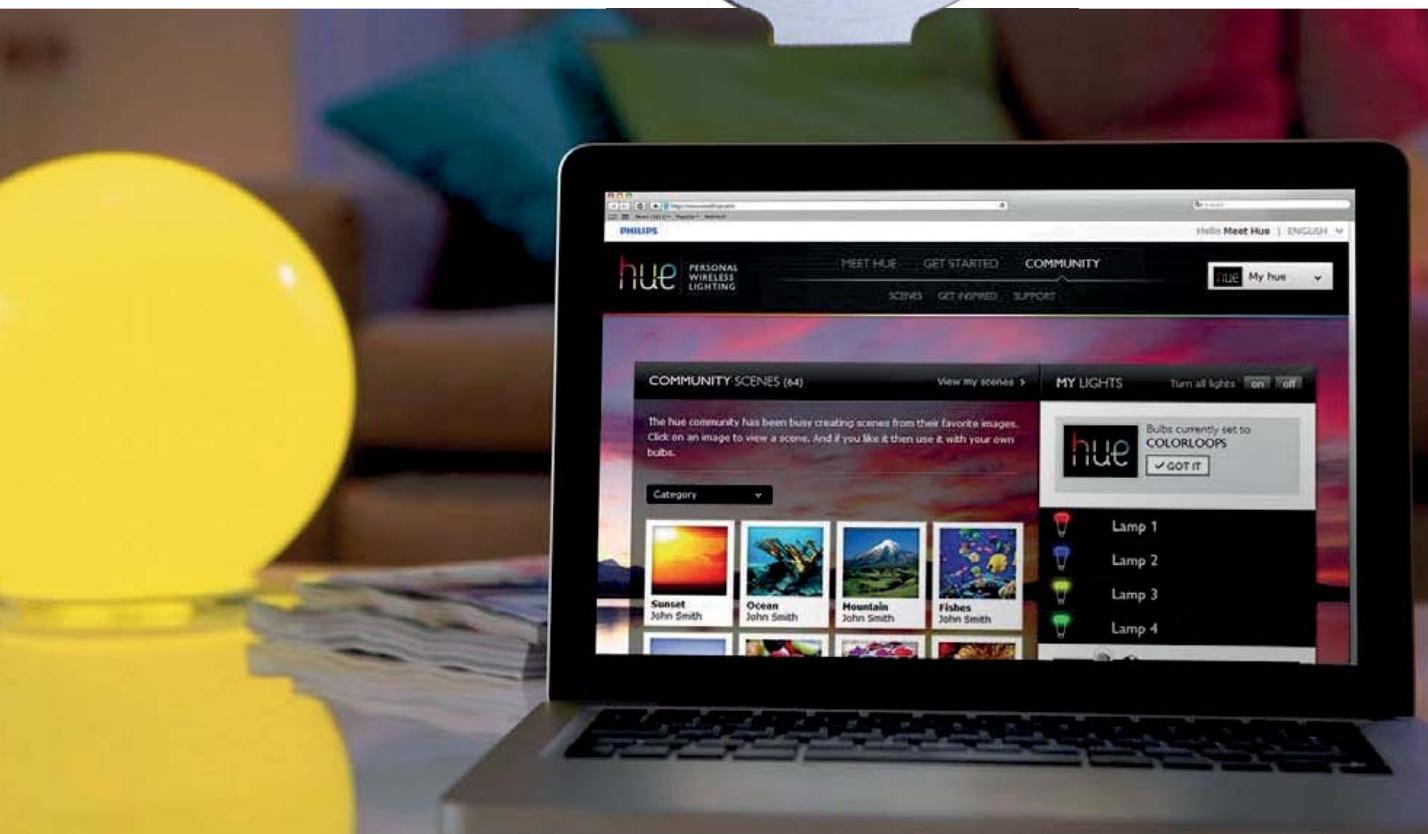


## Stromversorgung

Aart Vroegop und sein Team waren für das Schaltnetzteil und die Steuerung des LED-Stroms verantwortlich. **Bild 3** zeigt die Prinzipschaltung der gewählten Lösung (aus urheberrechtlichen Gründen dürfen wir leider nicht die detaillierte Schaltung abdrucken).

Ein Sperrwandler (**Bild 4**) macht aus der Netzwechselspannung eine Gleichspannung von 35 V, womit die Stromquelle für die LEDs und die Steuerelektronik versorgt wird. Die Stromquelle besteht aus einem Abwärtswandler, der ohne Siebkondensatoren am Ausgang auskommt. Da die ins-

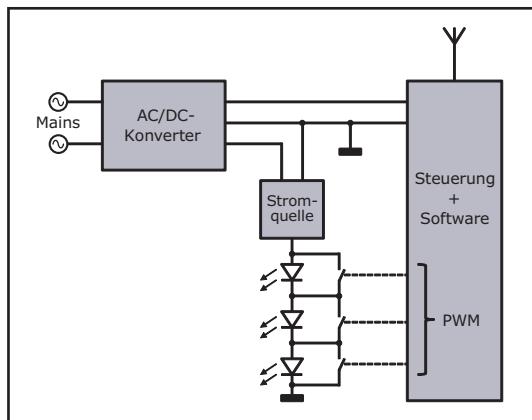
**Bild 1.**  
hue komplett zerlegt. In der oberen Reihe sieht man die Einzelteile einer Lampe und darunter die Bridge.



**Bild 2.**  
Eine hue-Lampe ist mit elf  
Rebel-LEDs bestückt.

# ●Industry

Bild 3.  
Die Blockschaltung der  
Innereien einer Lampe.



gesamt elf LEDs in Serie geschaltet sind und per PWM farbspezifisch gesteuert werden, muss die Stromquelle schnell genug sein, um einen konstanten Strom auch bei schnellen Spannungsänderungen zu gewährleisten, damit die Farben ohne kurzzeitige Abweichungen bei Änderungen der Farbansteuerung bleiben. Die PWM-Signale werden von einem Mikrocontroller innerhalb der Lampe erzeugt, der die Helligkeit jeder LED-Farbe und so die Helligkeit und den Farbton der Lampe steuert.

Passend für die zwei verbreiteten Netzspannungen von 230 V und 120 V gibt es zwei unterschiedliche Lampenausführungen. Bei einer Weitbereichslösung wäre der Trafo größer ausgefallen. Eine Lösung für alle Netzspannungen würde außerdem größere Störpegel für das Netz bedeuten. Die Schaltung funktioniert zwar auch dann, wenn sie an einen Dimmer angeschlossen ist, doch gedimmt kann sie dabei nicht werden. Wenn die mittlere Spannung nämlich einen bestimmten Wert unterschreitet, verlöscht die Lampe komplett. Ein Betrieb an einem Dimmer ist auch nicht

empfehlenswert, da dies die Lebensdauer der Lampe beeinträchtigen kann.

## Lampen hacken

Auch wenn Philips schöne Apps für Android und iOS zur Verfügung stellt, die leicht verständlich sind und die 90 % der denkbaren Funktionen abdecken, wird doch auch zu Eigenentwicklungen angeregt, denn die nötige Software ist Open Source. Auf der Hardware-Seite kann ja nicht groß etwas gehackt werden, aber die Software bittet quasi danach. Die ersten „Disco-Apps“ sind schon aufgetaucht.

Zur Kommunikation zwischen der Bridge und den Leuchten wird „Zigbee Light Link“ verwendet, ein offener Standard für interoperable und sehr einfach einzusetzende Beleuchtungsprodukte für den Consumer-



Bereich. Dabei sind die Aspekte Internet und niedriger Stromverbrauch schon abgedeckt. Die Reichweite beträgt bis zu 400 m im freien Feld und eine AES-128-Verschlüsselung ist auch schon vorgesehen.

Wäre Ihnen je in den Sinn gekommen, einer Lampe ein Firmware-Update zu verpassen? Mit hue ist das so ungewöhnlich nicht.

(120641)

Dank an Aart Vroegop für seine Zeit und Mühe sowie für die Gastfreundschaft von Philips Lighting in Eindhoven (NL)s.

## Weblinks

[1] [www.meethue.com](http://www.meethue.com)

[2] [www.elektor-magazine.com/120641](http://www.elektor-magazine.com/120641)

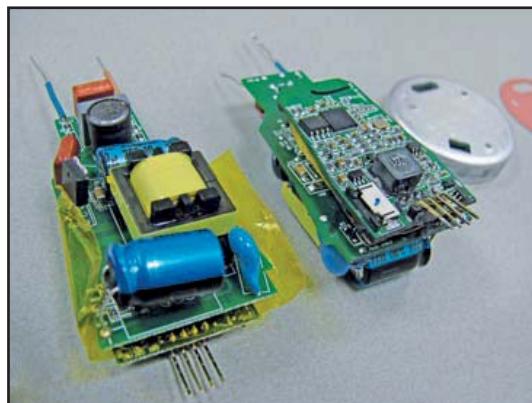


Bild 4.  
Links sieht man die Platine mit dem Sperrwandler und rechts die mit dem Mikrocontroller. Noch detailliertere Fotos findet man online [2].

# Second Step

NEU!

Sie haben den „First Step“-Kurs erfolgreich durchgearbeitet und haben Lust auf mehr bekommen?

Dann machen Sie doch einfach den nächsten Schritt in die große Welt der Mikrocontroller!

Aufbauend auf Ihrem bisherigen Wissen beschäftigen Sie sich beim Fortsetzungskurs „Second Step“ mit weiteren interessanten und wichtigen Mikrocontroller-Anwendungen:

Steuern Sie zum Beispiel ein alphanumerisches LCD an, oder erweitern Sie Ihr System um einen Uhrenbaustein (Real Time Clock), oder lernen Sie eine doppelte UART-Schnittstelle und einen Watch Dog kennen und nehmen diese Bausteine in Betrieb!

## Bestandteile des Second Step -Pakets:

### → 3 Arbeitshefte

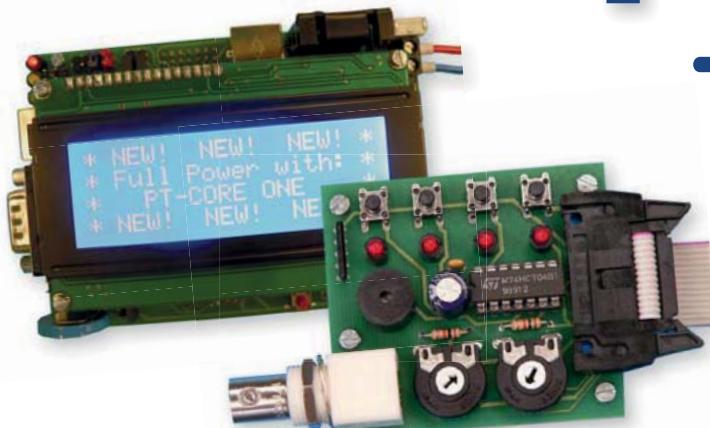
(inkl. passendem DIN A4-Ringbuch)

- Beschreibung der neuen Hardware
- Selbst geschriebene Funktionen, lokale und globale Variablen und Header-Dateien
- Externe parallele Peripherie-Einheiten: RTC, LCD und DUART
- Strings und Arrays
- Watch Dog und CS\-\Logik
- Serielle Datenübertragung
- Umfang aller Arbeitshefte: 450 Seiten



### → 1 PT-CORE-Mikrocontroller-Board + 1 PT-DAA-Zusteckkarte

- 8051er-Mikrocontroller AT89C51CC03
- 2,5-V-Referenzspannungsgeber für A/D-Wandler LT1009
- TTL/RS232-Pegelwandler MAX232
- CAN-Buskoppelstufe PCA82C250
- Watch Dog MAX807
- Uhrenbaustein mit Batteriepufferung RTC72421
- Alphanumerisches LC-Display (4x20 Zeichen)
- Doppelter UART-Baustein SCC2681
- Chip-Select-Dekodierung inkl. 4 freier CS\-\Signale GAL16V8
- Datenlatch 74HCT573
- Karten-Format: 117 x 83 mm<sup>2</sup>
- Spannungsversorgung 9 V DC, Verpolungsschutzdiode und Miniatusicherung
- PT-DAA-Zusteckkarte enthält den kompletten optischen, akustischen und analogen Funktionsumfang des „First Step“-Boards



### → 1 CD-ROM mit Zusatzinfos

- Datenblätter
- Systemdokumentation
- Entwicklungsumgebung
- Beispielprogramme

Das gesamte Second Step -Paket kostet nur 249,00 Euro.

Weitere Infos und Bestellung unter  
[www.elektor.de/second-step](http://www.elektor.de/second-step)

# Portables Stroboskop Philips PR9103 (1956)

## Nix Disco — was dann?

Von Jan Buiting



Ein Stroboskop war ursprünglich ein optisches Gerät für die wissenschaftliche Untersuchung von Bewegungen oder von mit dem bloßen Auge nicht wahrnehmbaren Rotationen. Gerade periodische Änderungen werden quasi „eingefroren“. Ab etwa 1940 wurden erste elektrische Stroboskope in Kombination mit Präzisionsdrehmaschinen, Fräsmaschinen oder anderen Werkzeugmaschinen eingesetzt. Wenige Jahre später erfreute sich das Stroboskop auch in Autowerkstätten zunehmender Beliebtheit, da man damit bequem den Zündzeitpunkt mit Markierungen an der Schwungscheibe einstellen kann. Bei diesen Anwendungen wurden Stroboskope geringer Leistung eingesetzt, die gerade zur Ausleuchtung des Objekts ausreichten.

Als dann der Disco-Hype Anfang der 1980er Jahre seinen Höhepunkt erreichte, wurden in Clubs und Diskotheken Hochleistungsstroboskope installiert, welche Tanzflächen und Bühnen mit erbarmungs-

losen Blitzlichtgewittern überzogen. Diese Effekte waren damals ein Muss, denn Tänzer oder Musiker in der Bewegung schienen einzufrieren, und auch der merkwürdige Effekt, dass Personen scheinbar von Ort zu Ort sprangen, war gerne gesehen. Leider hatte diese Beleuchtung auch leicht halluzinogene oder hypnotische Wirkungen und im schlimmsten Fall konnten bei entsprechend sensiblen Personen sogar epileptische Anfälle ausgelöst werden.

Das hier beschriebene Gerät war zur Qualitätskontrolle in der mechanischen Fertigung der 1950er Jahre gedacht. Für den Einsatz als Disco-Effektgerät taugt es überhaupt nicht, denn dazu sind die Blitze viel zu schwach. Es gibt aber durchaus auch eine sinnvolle aktuelle Anwendung, die den Philips-Entwicklern vor 60 Jahren niemals in den Sinn kam – dazu später mehr.

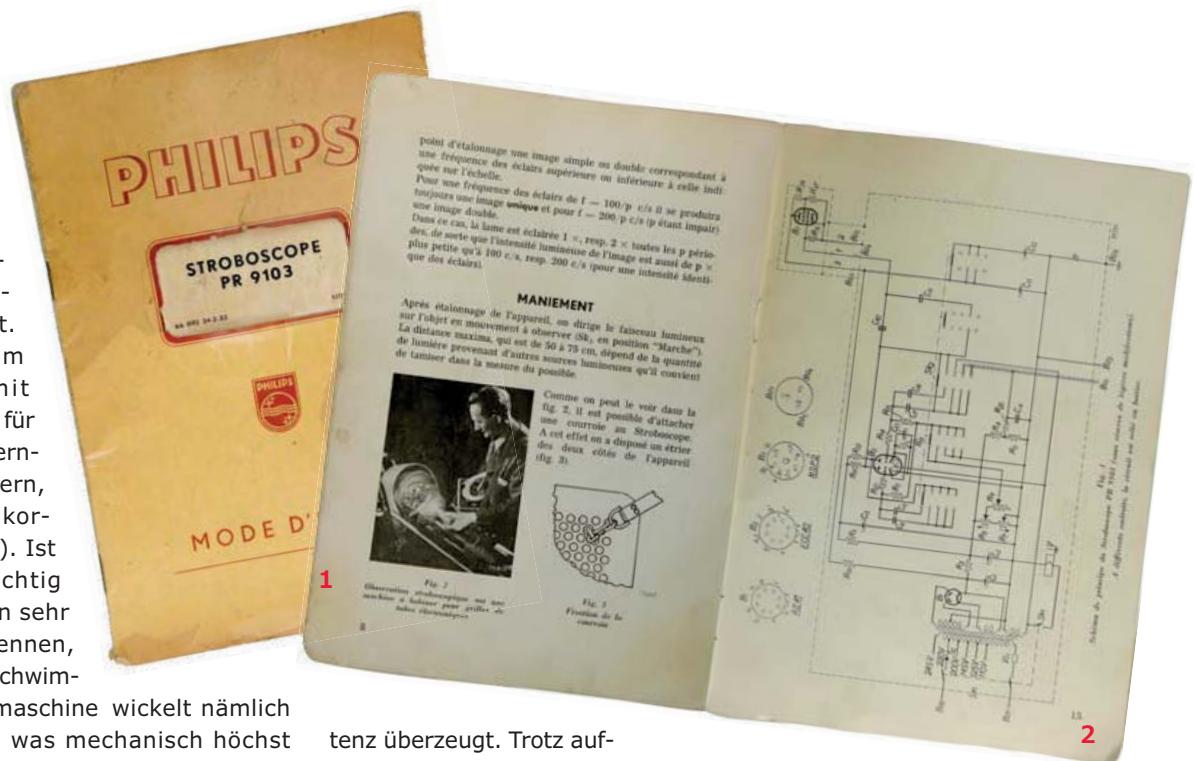
Wenn man damit z.B. den Rotor eines Ventilators optisch still stehen lassen will, dann rich-

Retronik ist eine monatliche Rubrik, die antiker Elektronik und legendären Elektor-Schaltungen ihre Referenz erweist. Beiträge, Vorschläge und Anfragen telegrafieren Sie bitte an Jan Buiting ([editor@elektor.com](mailto:editor@elektor.com)).

tet man den Parabolspiegel auf das Objekt und dreht am Frequenzknopf, bis die Frequenz mit der Rotationsfrequenz des Ventilators übereinstimmt. Philips illustriert im PR9103-Manual mit einer Wickelmaschine für Ablenkspulen eines Fernsehers aus den 1950ern, wie man das Gerät korrekt einsetzt (**Bild 1**). Ist die Blitzfrequenz richtig eingestellt, kann man sehr gut Wickelfehler erkennen, die sonst optisch verschwimmen. So eine Wickelmaschine wickelt nämlich mit hoher Drehzahl, was mechanisch höchst anspruchsvoll ist. Wenn da etwas schief geht, entsteht ein heftiges Chaos am Arbeitsplatz.

### Mode d'emploi...

Der **Kasten** erklärt, warum dieses PR9103-Exemplar mit französischer Bedienungsanleitung ausgeliefert wurde. Selbst mit meinen begrenzten Französischkenntnissen merkte ich nach wenigen Zeilen auf Seite 1, dass dies die trockene Übersetzung eines ebenso trockenen niederländischen Textes war. Wie Sie vermutlich wissen, war Philips für mehr als 50 Jahre der niederländische Elektronikkonzern schlechthin. Und in guter niederländischer Tradition war Philips wohl zutiefst von der eigenen Fremdsprachenkompe-



tenz überzeugt. Trotz aufwändiger Bemühungen war es mir nicht möglich, ein englisches Handbuch aufzutreiben. Das Manual ist erschöpfend und erläutert detailliert, wie man damit umgeht, wenn statt einem mehrere Bilder erscheinen.

Zur Schaltung von **Bild 2**: Eine Doppeltriode des Typs ECC40 (6SN7) fungiert als Kippschwinger mit einer Frequenz von 15..240 Hz, die zwischen zwei Bereichen auf der Frontplatte umschaltbar ist. Die Blitzfrequenz entspricht der Drehzahl von 900...14.400 U/min rotierender Objekte. Aus für mich nicht verständlichen Gründen fehlt der Bereich mit 0...15 Hz. Das Gerät kann extern mit 0...60 Hz (EXT.I) oder 60...240 Hz (EXT.II) getriggert werden.



Zur eingesetzten „Strobotron“-Blitzröhre NSP2 (CV2296) gibt es erfreulicherweise technische Daten im Internet [1].

## Praxis

Vor dem Ausprobieren öffnete ich das Gerät (**Bilder 3 und 4**): Ein makelloses Innenleben erschien. Das Gehäuse mit seiner guten Lüftung ähnelt einer umfangreichen Serie professioneller Messgeräte von Philips aus den 1950er Jahren. Mein Stroboskop ist ein seltenes Exemplar, da der Tragegriff aus Leder fast 60 Jahre intakt überstanden hat. Die Qualität der grauen und schwarzen Lackierung von Gehäuse und Frontplatte ist unglaublich. Wie in **Bild 5** zu sehen muss das abgeschirmte Kabel zwischen Reflektor und Steuergerät dringend repariert werden.

Also ausschalten und mit dem Handbuch mein Französisch entrostern...

## Good Vibrations

Der Abgleich ist sehr simpel: Innen befindet sich ein Elektromagnet, der mit einer Wechselspannung von 6,3 V betrieben wird. Sein Magnetfeld lässt einen einseitig befestigten Metallstreifen mit dem Doppelten der 50-Hz-Netzfrequenz vibrieren (**Bild 6**). Das rote Ende des Streifens ist bei entsprechender Auslenkung durch einen Schlitz neben dem Knopf der Frequenzeinstellung sichtbar (**Bild 7**). In der Position „Calibrate“ stellt man den Knopf auf 100 Hz und richtet das Blitzlicht auf diesen Schlitz. Nun stellt man „Freq. Cal. Min.“ an der Frontplatte so ein, dass der rote Streifen statisch wird und sich nicht mehr bewegt.

## Antiquités

Ich bekam das Stroboskop von einer älteren Dame, die unglaublicherweise etwa einen Kilometer von Elektors Wasserschloss entfernt in Limbricht (NL) wohnt.

Die Geschichte: Zusammen mit ihrem Mann und ihrem Sohn reiste sie in den 1970er und 1980er Jahren häufiger nach Frankreich, um dort Antiquitätenmessen, Trödelmärkte etc. zu plündern. Sie sammelte Nippes, alte Café-Einrichtungen und abgenutzte Sessel, um diese in den Niederlanden zu verkaufen.

Hintergrund: Für die meisten Niederländer ist Französisch ein Trauma aus vergangenen Schultagen, doch im reiferen Alter lernt man den Wein, das Wetter und die französische Küche mehr und mehr schätzen. Im Gegensatz dazu lebte diese dreiköpfige Familie 150 km näher an Frankreich als die meisten niederländischen Flachlandbewohner. Und sie war so frankophil, dass sie mit ihrer französischen Großraumlimousine kreuz und quer durch Frankreich fuhr, um schöne Dinge zu ergattern, die nach Norden entführt und dort an weniger frankophone Landsleute verkauft werden sollten. Dieses Geschäftsmodell trug über zwanzig Jahre. Mit dem Aufkommen des Internets, mit eBay und dem schwindenden Interesse an Antiquitäten ging das Geschäft zurück. Zudem stiegen auch die Benzinpreise in dieser Zeit massiv an. Als der Spaß vorüber war und die meisten verkäuflichen Waren weg, entschied sich die Familie dazu, den Dachboden, den Hinterhof und die Garage zu entrümpeln. Hier hatten sich im Laufe der Zeit Sachen angesammelt, die irgendwie nie verkauft wurden. Genau wie dieses Lampendingsda von Philips, das niemand wollte. Außer mir.

Philips verwendete hier einen dreipoligen Stecker für hohe Spannungen.

Wie immer bei alten Röhrengeräten weckt man lange schlafende Schätze besser sanft mit Hilfe eines einstellbaren Trafos. Beginnend mit 0 V erhöht man alle zehn Minuten um 20 V. Bei etwa 70% der Nennwechselspannung des Geräts blitzt es - begleitet von den hörbaren Klicks der Gasentladungen. Die Frequenz lag bei 20 Hz. Zuversichtlich erhöhte ich weiter auf Nennspannung und siehe da: Mein Stroboskop war im KRN-Zustand (Keine Reparatur Nötig). Die sich um die Blitzquelle versammelnden Kollegen staunten über die in der Blitzröhre sichtbaren Farben, waren aber leicht enttäuscht über die Intensität. Irgendjemand murmelte (glaube ich) „John Travolta?“

Anschließend stellt man 200 Hz ein und wiederholt das Procedere mit „Freq. Cal. Max.“ bis ein doppeltes stationäres Bild entsteht. Eine ganz langsame Bewegung ist akzeptabel. Die Einstellung von Minimum und Maximum beeinflussen sich gegenseitig, weshalb man dies mehrfach wiederholen muss, bis beide Einstellungen gut sind. Als Resultat hat das Stroboskop PR9103 dann eine Frequenzgenauigkeit von <1 %, und das bis zu Änderungen der Netzspannung von 10 %.

## Im Smartphone/Camcorder-Zeitalter

Außer für die Einstellung des Zündzeitpunkts beim Fiat 500 von 1965 eines Freundes fallen mir kaum Anwendungen für das Stroboskop ein. Kollege Thijs Beckers kam aber auf die brillante Idee,





dass man damit die Bildfrequenz der Videokameras untersuchen könnte, die in Smartphones und in Camcordern eingebaut sind. Wir richteten also einige Smartphones von Samsung und HTC auf das Stroboskop und schauten, was sich auf deren Displays tat, während wir an der Stroboskopfrequenz spielten. In der Nähe der angegebenen Bildfrequenz begann ein schwarzer Balken durchs Bild zu wandern – ganz wie früher bei asynchronen alten Fernsehern. Bei stationärem Balken (unabhängig vom Bildinhalt), kann man direkt die Bildfrequenz in fps am Drehknopf des Stroboskops ablesen (**Bild 8**). Wir kamen auf Werte von 30 Hz (fps) bei Smartphones und 60 Hz (fps) bei Camcordern. Als Zugabe konnten wir das Changieren der Farben in der Blitzröhre nach der Zündung bis zum Erreichen der maximalen Intensität und dem folgenden Abfall beobachten. Die Auszeit der Blitzröhre entspricht dem Kehr-

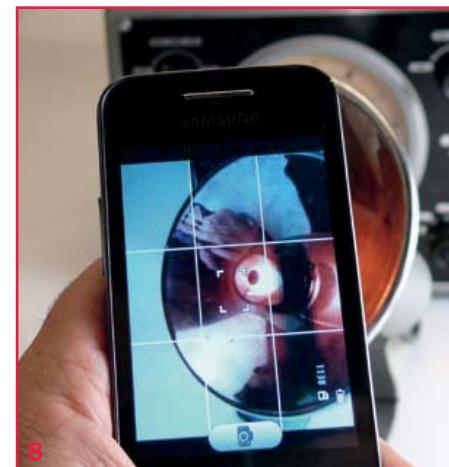
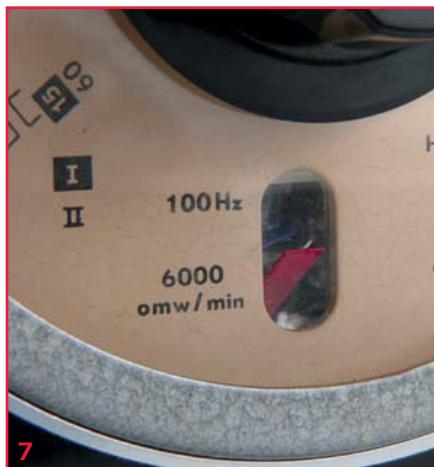
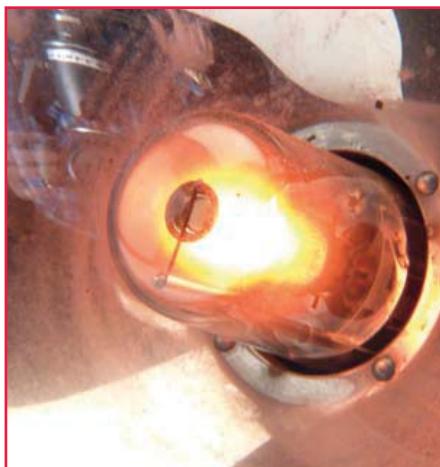
wert der Blitzfrequenz (z.B. 16 ms bei 60 Hz). Man kann damit auch Interferenzen mit der (doppelten) Netzfrequenz bei Leuchtstofflampen und sogar bei Halogenlampanen feststellen.

(120593)

[1] Virtuelles Röhrenmuseum von Jeremy M. Marmer: [www.tubecollector.org/cv2296.htm](http://www.tubecollector.org/cv2296.htm)

#### Retronik-Webinar

Das Webinar „Best of Retronics“ von Jan Buiting kann auf der Element14-Website von Farnell als Video abgerufen werden. Jan präsentiert hier die schönsten „Schätzchen“ aus vielen Jahrzehnten Elektronik-Geschichte:  
[www.element14.com/community/videos/7831/l/  
elektor-academy--retronics--the-best-of](http://www.element14.com/community/videos/7831/l/elektor-academy--retronics--the-best-of)



# Hexadoku      Sudoku für Elektroniker

Unser Vorrat an hexadezimalen Rätseln ist noch lange nicht aufgebraucht! Hier kommt wieder ein neues Exemplar, mit dem Sie Ihre kombinatorischen Fähigkeiten unter Beweis stellen können. Und gewinnen können Sie auch etwas – wenn Sie uns die richtigen Zahlen in den grauen Kästchen zusenden!

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  
 Als Betreff bitte nur die Ziffern der Lösung angeben!

**Einsendeschluss ist der 31. März 2013!**

## Die Gewinner des Hexadokus aus dem Novemberheft stehen fest!

Die richtige Lösung ist: **621BA**.

Der Elektor-Gutschein über 100 € geht an: Manuel Aléjandros Masip Ruera aus Alicante (Spanien).  
 Einen Elektor-Gutschein über je 50 € haben gewonnen: Claude Ghyselen, Dominique Jacobs und Reto Strub.  
 Herzlichen Glückwunsch!

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

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

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

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



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

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

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

**elektor**



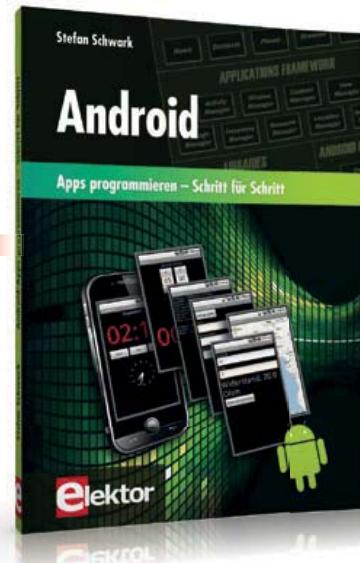
## Schaltungsprojekte für Profis

### 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 größer Wert auf eine praxisorientierte Ausrichtung gelegt.

**270 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-257-4**

**€ 39,80 • CHF 49,40**



### 3

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**

### 4

Systems und Schritt für Schritt die Programmierung von Applikationen.

**256 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-252-9**

**€ 34,80 • CHF 43,20**

## 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-

## Theorie und Praxis mit WinFACT und Multisim

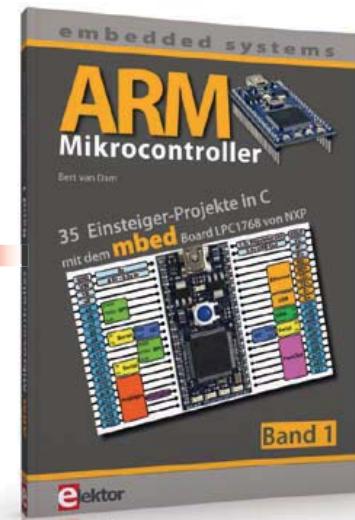
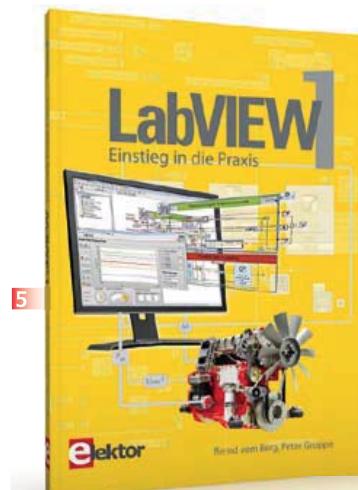
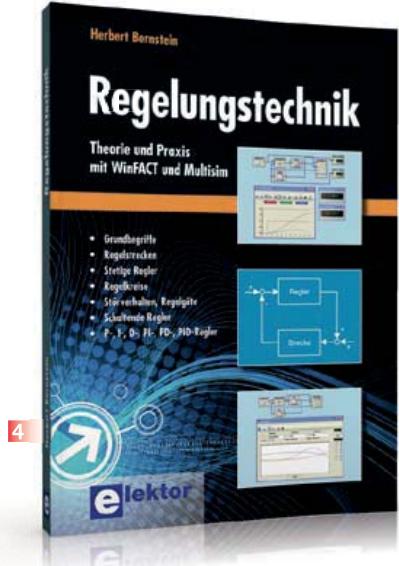
### 4 Regelungstechnik

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

## Bestückte und getestete Platine

### 2 Elektor-Linux-Board

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



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**

### 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

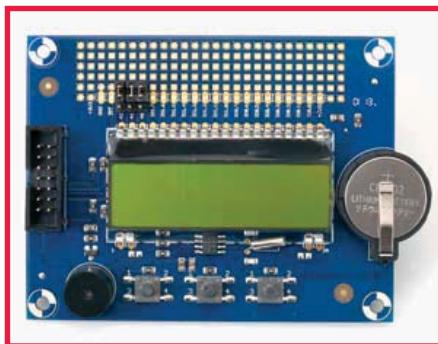
E-Mail: [bestellung@elektor.de](mailto:bestellung@elektor.de)

# ● Nächsten Monat in Elektor



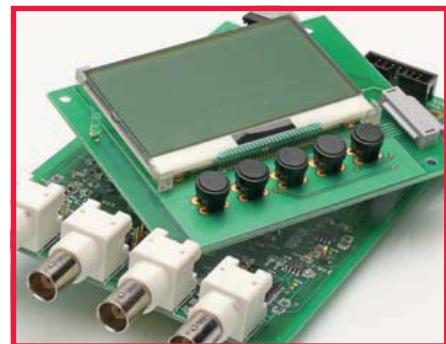
## Modellsucher

Nein, der Modellsucher ist keine elektronische Hilfe bei der Suche nach weiblichen oder männlichen Fotomodellen. Es geht um ein Ortungssystem für abgestürzte Modellflugzeuge, die bisher oft unauffindbar waren. Im Flugzeug wird ein Minisender installiert, der anpeilbare Signale abstrahlt. Gepaart wird mit einer Richtantenne und dem dazugehörigen Miniempfänger. Die handelsüblichen 433-MHz-Module im Sender und Empfänger machen den Aufbau kinderleicht.



## Linux-Erweiterungsboard

Unser Linux-Board bekam von unseren Lesern viel positives Echo, die Schar der Linux-Freunde ist groß. In der nächsten Ausgabe ergänzen wir das Linux-Board durch ein Erweiterungsboard, auf dem vielfältig nutzbare peripherie Komponenten untergebracht sind: Drei Taster, ein LC-Display mit 2 x 16 alphanumerischen Zeichen, ein Buzzer, eine autonome Echtzeituhr sowie eine Porterweiterung mit 16 digitalen, bidirektionalen Leitungen. Ferner ist ein 1,5 x 6 cm großes Lötpunkt-Rasterfeld vorhanden.



## LCR-Meter: Der Bau

In der vorliegenden Ausgabe haben wir den Hintergrund, das Konzept und die Schaltung unseres brandneuen, hochpräzisen LCR-Meters beschrieben. Bis zum nächsten Monat ist noch etwas Zeit, die komplexe Materie zu verdauen. Doch dann werden wir endlich mit dem Bau dieses High-End-Messgeräts beginnen. Ein solches technisches Juwel verlangt nicht nur nach überlegter Auswahl der Bauelemente und übrigen Komponenten, auch die konstruktiven Arbeiten wollen gut überlegt sein.

**Elektor April 2013 erscheint am 27. März 2013. Änderungen vorbehalten!**

**Rund um die Uhr und  
sieben Tage die Woche**

**Projekte, Projekte, Projekte:  
[www.elektor-labs.com](http://www.elektor-labs.com)**

**Machen Sie mit!**

A screenshot of the elektor-labs website. The header features the logo "elektor e-labs" and the tagline "Sharing Electronics Projects". Below the header is a navigation bar with links for Home, News, Proposals, In Progress, Finished, and Log in. A large banner image shows a blue airplane on a runway with the text "help wanted" overlaid. The main content area is divided into sections: "Proposals" (Active, Popular), "In Progress" (Active, Popular), and "Finished" (Active, Popular). Each section contains thumbnail images of projects like "Pedelec-Ladegerät für Wohnmobile", "The PSoCamorph", and "Elektor.POST - No. 2 (Universal Square Wave Generator)". To the right, there are boxes for "About Elektor.LABS", "Create a Project", and "Not a member?". The "Create a Project" box includes a link to "Create a new project or enter a proposal" and a note about getting help from other visitors. The "Not a member?" box encourages users to post projects and promises free access if they are not a member.

# • **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!



**audio**  
**XPRESS**

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

### Kundenbewertungen:



Über 97 % unserer Kunden sind vom reichelt-Service überzeugt\*

\* Quelle: Shopauskunft.de (14.11.2012)

### Handheld-Messgeräte

Präzise & preiswert!



#### Digitalmultimeter

GS-geprüftes Multimeter mit USB-Schnittstelle und Software.

- Grundgenauigkeit: 0,5%
- Strom-/Spannungsmessung (AC/DC)
- Kapazitäts-/Widerstandsmessung
- Frequenz-/Temperaturmessung
- Sicherheit: CAT II 600 V, CAT III 300 V

UT 61B

46,95

### UNI-T

#### Digitales Speicher-Oszilloskop mit Multimeter

- 1 Kanal, 25 MHz, 200 MS/s Echtzeitabtastrate
- LCD-Farbbildschirm (8,89 cm/3,5") 320 x 240 Pixel
- USB-Schnittstelle
- umfangreiche Multimeterfunktionen
- inkl. DC Adapter, Messleitungen, Tastkopf, 10 A Stromteiler, Netzteil, Akku, USB-Kabel, Software, Tasche, Anleitung

UTD 1025 CL



Jetzt bestellen! [www.reichelt.de](http://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

Für Verbraucher: Es gelten die gesetzlichen Widerrufsregelungen. Alle angegebenen Preise in € inklusive der gesetzlichen MwSt., ab Lager Sande, zzgl. Versandspesen für den gesamten Warenkorb. Es gelten ausschließlich unsere AGB (unter [www.reichelt.de/agb](http://www.reichelt.de/agb), im Katalog oder auf Anforderung). Zwischenverkauf vorbehalten. Alle Produktnamen und Logos sind Eigentum der jeweiligen Hersteller. Abbildungen ähnlich. Druckfehler, Irrtümer und Preisänderungen vorbehalten. reichelt elektronik GmbH & Co. KG, Elektronikring 1, 26452 Sande (HRA 200654 Oldenburg) • Preisstand: 06.02.2013 • Tagesaktuelle Preise: [www.reichelt.de](http://www.reichelt.de)

## PC-Messtechnik & Co.

Professionelle Qualität zu attraktiven Preisen

### USB-Datenlogger

Erfassung von 32.000 Temperatur- und Luftfeuchtewerten über interne Sensoren

- Temperatur-Messbereich: -40 bis +85°C, ±0,6°
- Luftfeuchte-Messbereich: 0,1 - 99,9 % rH, ±3 %
- Datenerfassung auch nach definierbarem Zeitplan
- Messintervall einstellbar: 1 s bis 6 h
- programmierbarer, optischer Alarm
- Online- sowie Offline-Betrieb möglich
- Betrieb mit langlebiger Lithium-Batterie
- Inkl. Batterie, Handschlaufe, Software-CD



### PC-Oszilloskop

Kombigerät

velleman®

- ✓ Transientenrecorder
- ✓ Spektrumanalysator

PCSGU 250

154,00



### USB-PC-Oszilloskop mit Funktionsgenerator

2-Kanal-Speicher-Oszilloskop, Spektrumanalyser, Transientenrecorder, Funktionsgenerator und Frequenzschreiber in einem Gerät.

- Standard-Oszilloskopfunktionen
- 2 Kanäle, 12 MHz Bandbreite
- Frequenzgenerator von 0,005 Hz - 500 kHz
- generiert Sinus-, Rechteck- und Dreieck-Signale
- Spektrumanalyser: 0 - 120 Hz zu 12 MHz
- Frequenzschreiber: 10 Hz - 10 kHz
- autom. Synchronisation zw. Oszilloskop und Generator
- Transientenrecorder
- inkl. Tastkopf, BNC-Adapter, USB-Kabel, PC-Software, Bedienungsanleitung

### PC-Oszilloskope

Handlich & kompakt!



225,00

### USB-Kombi-Messgerät, 4-in-1

2-Kanal-Oszilloskop, Spektrum-Analysator, Datenlogger und Arbitrar-Waveform-Generator in einem Gerät.

- USB-Oszilloskop, 10 MHz Bandbreite
- Sample-Rate bis zu 100 MS/s
- für USB 2.0 (USB 1.1 kompatibel)
- Stromversorgung via PC über USB



### Multi-I/O-USB-Messlabor, 16 Bit

- Analoge Messwerte erfassen: 14 Eingänge, 16 Bit, 85 kps
- Spannungen ausgeben: 2 Ausgänge, Bereich ±10 Volt
- Digitale Signale kontrollieren: 20 I/O Signale, kurzzuschlussfest
- Messung von Spannungen und Widerständen
- Sensorsignale und digitalen Zuständen erfassen
- Automatisieren von Experimenten
- Überwachen von Prozessen
- Einstellen analoger Größen vom PC
- Schalten von digitalen Signalen



Katalog kostenlos!  
Jetzt anfordern!

