

Grundlagen: Flipflops

G3078 E

Juni 2012

(D) € 7,60 • CHF 14,50 • (A, B, L) € 8,40

# elektor

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

## Nixie Thermometer/ Hygrometer

Röhren, Sensoren und  
Mikrocontroller in einer Schaltung



- + Embedded Linux leicht gemacht  
Das erste Mal booten!

## Schrittmotor-Treiber

Galvanisch  
getrennte  
Eingänge,  
2,5-A-Ausgänge



- + PC-gesteuerter Heliostat  
Sonne und Sternen auf der Spur
- + Doppel-Hitzdraht-Strömungsmesser  
Für Dichtheit- und Belüftungs-Messungen

# Oft kopiert – doch nie erreicht:



# Leiterplatten online kalkulieren

	<b>FREE STENCIL</b>
	<b>Bestückung online</b>
	<b>Kostenlose Layoutsoftware</b>
	<b>Bewertungs-Rabattsystem</b>
	<b>Akzeptierte Layoutformate</b>
	<b>Kollisionsprüfung zum Anfassen</b>
	<b>Auftragsverfolgung mit Ansprechpartner</b>
	<b>Watch"ur"PCB</b>
	<b>Pünktlich oder kostenlos</b>
	<b>8h-Eilservice</b>
	<b>Online Daten-Restore Service</b>

	Basista	Euro-circuits	Leiton	WE direkt	multi-chip
✓	✓	✓	✓	✓	✓
✓	-	-	-	-	-
✓	-	-	-	-	-
✓	-	-	-	-	-
✓	-	-	-	-	-
✓	-	-	-	-	-
✓	-	-	-	-	-
16	6	1	3	5	3
✓	-	-	-	-	-
✓	-	-	-	-	-
✓	-	-	-	-	-
✓	-	-	-	-	-
✓	-	-	✓	-	-
✓	✓	-	-	-	-
✓	-	-	-	-	-

# Das Original seit 1994!

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

# Ein perfekter Kreis.

Dank der **Software Visual TFT™** und **Visual GLCD™** ist die Erstellung von GLCD- oder TFT-User-Interfaces sehr einfach. Sie können sich voll auf Ihr Design konzentrieren und der Code wird automatisch erstellt.



Über 200 IDC10-und mikroBUS®-kompatible Click™-Zusatz-Boards helfen Ihnen bei der Umsetzung Ihrer Entwicklungs-Ideen.



Erleben Sie die Compiler **mikroC™**, **mikroBasic™** und **mikroPascal™** für ARM®-Cortex™ M3 und M4-Controller. Über 500 Library-Funktionen mit Beispielen und eine mausführlichen Help-File unterstützen Sie bei der schnellen Realisierung Ihrer Projekte.

**mikroProg™** für **Stellaris®** und **mikroProg™** für **STM32®** sind schnelle Programmer und Hardware-Debugger. Beide unterstützen sowohl die Cortex™-M3-als auch die Cortex™ M4 Familien von vielen Herstellern. Beide mikroProgs sind voll mit den **ARM®** Compilern von MikroElektronika kompatibel.



## KOMPLETTE ARM® ENTWICKLUNGSLÖSUNG FÜR STELLARIS® UND STM32®



EasyMx PRO™ v7 für Stellaris® ist ein umfangreiches Entwicklungs-Board für Stellaris® ARM® Cortex™-M3 und Cortex™-M4 Mikrocontroller. Es enthält schon on-board viele Module wie Multimedia, Ethernet, USB, CAN und mehr. Das Board wird mit einem LM359B95 im MCU-Sockel aus geliefert.

Unser Entwicklungs-Board **EasyMx PRO™ v7** für **STM32®** unterstützt alle **STM32®**-Mikrocontroller. Neben dem mikroProg™-Hardware-Debugger enthält es schon on-board viele Module wie Multimedia, Ethernet, USB, CAN, zwei mikroBUS™ -Sockel und vieles mehr.

**GET IT NOW**  
[www.mikroe.com](http://www.mikroe.com)



## Jetzt geht's los

Vor ein paar Monaten hatte ich sie schon angekündigt: Unsere „Community-Website“, auf der man eigene Projekte mit anderen Elektronikern teilen kann. Jetzt geht es los unter [www.elektor-projects.com](http://www.elektor-projects.com). Wir haben uns dabei bewusst auf die englische Sprache beschränkt, so dass es möglich wird, über die Ländergrenzen hinweg zusammen zu entwickeln. Wer im Rahmen von „Abo-Plus“ Mitglied unserer immer attraktiver werdenden Elektor-Community ist, kann sich direkt mit seinen Abo-Plus-Zugangsdaten einloggen.

Wenn die Projekte einen gewissen Reifegrad erreichen, werden sie auch für die anderen Elektor-Leser interessant. Daher schauen auch wir Redakteure uns gerne immer wieder auf der Site um. Neben einem kleinen Honorar winken Ruhm und Ehre demjenigen, dessen Projekt wir auch in der Zeitschrift veröffentlichen. Denn so ein Artikel wird in rund ein Dutzend Sprachen übersetzt und von über 120.000 Elektronikern gelesen!

Wer die Site angeschaut und/oder getestet hat, oder einfach Anmerkungen oder Ideen zu diesem neuen Konzept hat:

Schreiben Sie mir unter der E-Mail-Adresse [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).

Noch in anderer Hinsicht lade ich Sie herzlich ein, uns Feedback zu geben:

Unter [www.elektor.de/feedback](http://www.elektor.de/feedback) finden Sie ein kleines Online-Formular, mit dem Sie die zehn wichtigsten Artikel des laufenden Heftes bewerten können. Mit Hilfe einer kleinen Textbox können Sie uns außerdem Themenwünsche mitteilen – Namen oder Kontaktdata benötigen wir dabei nicht. Beim Redaktionsschluss dieser Ausgabe liegen die Ergebnisse der „April-Bewertung“ vor (siehe Seite 12); und ich wage bereits, erste Schlüsse zu ziehen, die wir bei der Artikel-Auswahl der kommenden Ausgaben sicherlich berücksichtigen werden. Ein richtig repräsentatives Bild erhoffen wir uns von einer umfassenden Leserumfrage, die wir für den (Früh-)Herbst dieses Jahres geplant haben.

Wenn wir schon bei den Ankündigungen sind: Für die Abo-Plus-Mitglieder unserer Elektor-Community wird's in Zukunft einen weiteren Service geben, den man zum Steuern eigener Elektronik benutzen kann. Mehr wird noch nicht verraten!

Jens Nickel

# elektor

**NEU:**  
Artikel bewerten unter  
[www.elektor.de/feedback!](http://www.elektor.de/feedback)

### 6 Impressum

Who is who bei Elektor

### 8 News

Neuheiten, Nachrichten und Termine

### 16 Flexible Schrittmotor-Treiber

Die vom Elektor-Labor entworfene Treiberschaltung ermöglicht eine sichere Steuerung von bipolaren Schrittmotoren über den PC.

### 20 Embedded Linux leicht gemacht (2)

Im zweiten Teil unseres Kurses schauen wir uns die wichtigsten Bauteile genauer an und starten das System zum ersten Mal!

### 28 Heliostat

Heliostate sind elektromechanische Antriebe, die bewegten Himmelsobjekten folgen. Wir zeigen ein unkompliziertes System, das mit zwei Servos arbeitet und sowohl vom PC aus als auch mit einem Mikrocontroller gesteuert werden kann.

### 34 Nixie-Thermo-/Hygrometer

Um Temperatur und Feuchtigkeit anzuzeigen, arbeiten hier moderne Sensorik, ein Mikrocontroller und vier Nixie-Röhren Hand in Hand!

### 40 Zurück zu den Wurzeln (6)

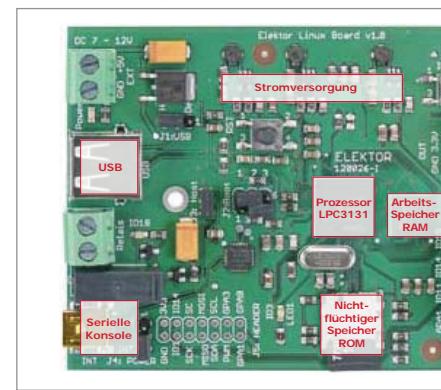
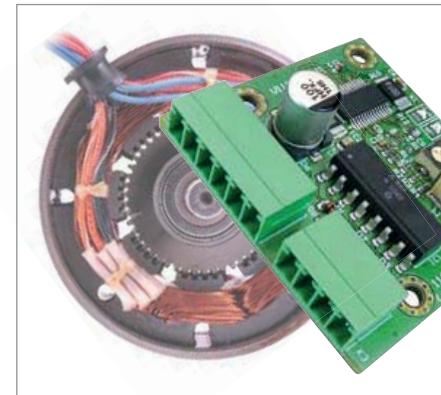
An oder Aus, jetzt wird es digital! Ein paar einfache Versuche zeigen, dass man mit einem Flipflop viele Aufgaben lösen kann.

### 44 Labcenter

Stabistor = Z-Diode umgekehrt  
Der Sommer naht...  
Echos vom BOB

### 48 Bauelemente-Tipp

In diesem Monat geht es um einen intelligenten Schalter mit integrierter Logik und eingebauten Schutzdioden. In rauen



# INHALT

43. Jahrgang  
Juni 2012  
Nr. 498

Umgebungen können solche Schutzmechanismen überlebenswichtig sein!

## 16 Flexible Schrittmotor-Treiber Mit galvanisch getrennten Eingängen

Zu den typischen Anwendungen von Schrittmotoren zählen Roboter, Scanner, Fräsmaschinen und 3D-Drucker. Die vom Elektor-Labor entworfene Treiberschaltung arbeitet mit einem Baustein, der speziell für die Ansteuerung von bipolaren Schrittmotoren entwickelt wurde. Die Ausgänge sind bis 2,5 A belastbar. Auf der Seite der Eingänge wird der Baustein durch Optokoppler galvanisch vom steuernden System getrennt. Das Anschließen an einen PC, beispielsweise an den Parallelport, ist problemlos möglich.

## 20 Embedded Linux leicht gemacht (2) Die Hardware

Die Wahl des passenden Mikrocontrollers und der übrigen ICs ist fester Bestandteil zu Beginn eines jeden Projektes. In diesem Teil unseres Kurses schauen wir uns das Schaltbild unseres Boards und die wichtigsten Bauteile genauer an. Dann booten wir zum ersten Mal und sammeln eigene Erfahrungen. Wir werden sehen, wie einfach Linux sein kann!

## 28 Heliostat Sonne und Sternen auf der Spur

Heliostate sind elektromechanische Antriebe, die bewegten Himmelsobjekten folgen. Mit solchen Systemen können Solarmodule der Sonne nachgeführt werden, Parabolantennen lassen sich wahlweise auf unterschiedliche Satelliten ausrichten, und Fotoreihen bewegter Planeten sind möglich. Hier beschreiben wir ein unkompliziertes System, das mit zwei Servos arbeitet. Das Steuern der Servos übernimmt ein PC-Programm, doch wir zeigen auch eine Stand-Alone-Lösung mit einem PIC-Mikrocontroller.

## 34 Nixie-Thermo-/Hygrometer Röhren, Sensoren und Mikrocontroller in einer Schaltung

Das Messen von Temperatur und Luftfeuchtigkeit mit einem modernen Sensor und die Anzeige der Werte auf einem Retro-Display – um das alles geht es in diesem Beitrag. Ein kalibrierter „digitaler“ Sensor liefert seine Daten per I<sub>2</sub>C-Interface an einen Mikrocontroller, der auf vier Nixie-Röhren abwechselnd und mit nettem Fading-Effekt Temperatur und Feuchtigkeit anzeigt. Muss man haben!

- 50 **Preamp 2012 (3)**  
Hier kommt der letzte Teil unseres High-End-Vorverstärker-Projekts. Die LLLL-Anzeige (Log Law Level LED) dürfte eine ziemlich neue Sache sein. Dazu kommt eine Platine, die mit den Buchsen für die Ein- und Ausgänge sowie den Relais zur Eingangsumschaltung bestückt ist. Die Frontplatten-Platine und das Netzteil runden unser Projekt ab.

- 58 **Doppel-Hitzdraht-Strömungsmesser**  
Wie viel Wärme verliert Ihr Haus? Wir stellen zwei Geräte zum Nachbau vor, die für die Messung der Dichtheit und Ventilation eines Gebäudes geeignet sind. Das Doppel-Hitzdraht-Anemometer ist in der Lage, auch sehr schwache Luftströme zu registrieren. Das zweite Gerät ist ein Pitotrohr-Anemometer, das sich zum Messen schneller Luftströme eignet.

- 66 **SDR mit AVR (4)**  
Diesmal wird es praktisch: Wir empfangen mit unserem selbstgebauten SDR sowohl DCF77 und weitere Zeitsender sowie den Deutschen Wetterdienst. Dabei deco-dieren wir Zeit- und Wettersignale!

- 72 **Platino mit LabVIEW steuern (2)**  
Diesen Monat kommt ein Relais-Board dazu und das USB-Kabel zur Verbindung von Platino und PC wird überflüssig. Man kann sogar den aktuellen Platino-Status über das Internet auf einem iPad oder Android-Tablet betrachten - was viele neue Anwendungsmöglichkeiten eröffnet!

- 78 **Retronik**  
Einplatinen-Computer Intersil IM6100
- 80 **Hexadoku**  
Sudoku für Elektroniker
- 86 **Vorschau**  
Nächsten Monat in Elektor

Aus technischen Gründen haben wir den in der letzten Vorschau angekündigten Aquameter für Schwimmer auf die nächste Ausgabe verschoben.

## Unser Team

Chefredakteur:	<b>Jens Nickel (v.i.S.d.P.)</b> ( <a href="mailto:redaktion@elektor.de">redaktion@elektor.de</a> )
Ständige Mitarbeiter:	<b>Dr. Thomas Scherer, Christopher Rausch</b>
Internationale Redaktion:	<b>Harry Baggen, Thijs Beckers, Jan Buiting, Eduardo Corral, Wisse Hettinga, Denis Meyer, Clemens Valens</b>
Elektor-Labor:	<b>Thijs Beckers, Ton Giesberts, Luc Lemmens, Raymond Vermeulen, Jan Visser</b>
Herausgeber:	<b>Don Akkermans</b>
Grafik & Layout:	<b>Giel Dols, Mart Schroijen</b>

## Unser Netzwerk



## Internationale Teams

<b>Großbritannien</b> Wisse Hettinga +31 46 4389428 <a href="mailto:w.hettinga@elektor.com">w.hettinga@elektor.com</a>	<b>Spanien</b> Eduardo Corral +34 91 101 93 95 <a href="mailto:e.corral@elektor.es">e.corral@elektor.es</a>	<b>Indien</b> Sunil D. Malekar +91 9833168815 <a href="mailto:ts@elektor.in">ts@elektor.in</a>
<b>USA</b> Hugo Vanhaecke +1 860-875-2199 <a href="mailto:h.vanhaecke@elektor.com">h.vanhaecke@elektor.com</a>	<b>Italien</b> Maurizio del Corso +39 2 66504755 <a href="mailto:m.delcorso@inware.it">m.delcorso@inware.it</a>	<b>Russland</b> Nataliya Melnikova +7 (465) 395 33 36 <a href="mailto:Elektor.Russia@gmail.com">Elektor.Russia@gmail.com</a>
<b>Deutschland</b> Ferdinand te Walvaart +49 241 88 909-0 <a href="mailto:f.tewalvaart@elektor.de">f.tewalvaart@elektor.de</a>	<b>Schweden</b> Wisse Hettinga +31 46 4389428 <a href="mailto:w.hettinga@elektor.com">w.hettinga@elektor.com</a>	<b>Türkei</b> Zeynep Köksal +90 532 277 48 26 <a href="mailto:zkoksal@beti.com.tr">zkoksal@beti.com.tr</a>
<b>Frankreich</b> Denis Meyer +33 46 4389435 <a href="mailto:d.meyer@elektor.fr">d.meyer@elektor.fr</a>	<b>Brasilien</b> João Martins +55 11 4195 0363 <a href="mailto:joao.martins@editorialbolina.com">joao.martins@editorialbolina.com</a>	<b>Südafrika</b> Johan Dijk +27 78 2330 694 / +31 6 109 31 926 <a href="mailto:J.Dijk@elektor.com">J.Dijk@elektor.com</a>
<b>Niederlande</b> Harry Baggen +31 46 4389429 <a href="mailto:h.baggen@elektor.nl">h.baggen@elektor.nl</a>	<b>Portugal</b> João Martins +351 21413-1600 <a href="mailto:joao.martins@editorialbolina.com">joao.martins@editorialbolina.com</a>	<b>China</b> Cees Baay +86 21 6445 2811 <a href="mailto:CeesBaay@gmail.com">CeesBaay@gmail.com</a>

### IMPRESSUM

43. Jahrgang, Nr. 498 Juni 2012

Erscheinungsweise: 11 x jährlich (inkl. Doppelheft 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. 42 ab 01.01.2012

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

## Die Elektor Community

277285

Mitglieder in

83

Ländern...

### Noch kein Mitglied?

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



#### Elektor-Newsletter E-weekly jetzt gratis abonnieren!

Jeden Freitagmorgen erscheint E-weekly, der kostenlose Newsletter von Elektor. Unsere E-weekly-Redakteure halten Sie mit neuesten und interessanten Meldungen, Tipps & Trends aus der Welt der Elektronik auf dem Laufenden. Außerdem werden Sie schnell und umfassend über aktuelle Elektor-Projekte (Nachlesen & Updates) sowie über das umfangreiche Elektor-Sortiment und spezielle Angebote als Erster informiert.

Daneben erhalten E-weekly-Abonnenten exklusiv vollen Zugang zu allen Newsberichten und zu unserem Forum, das von kompetenten Elektronik-Experten moderiert wird.



Klicken Sie jetzt auf  
[www.elektor.de/newsletter](http://www.elektor.de/newsletter)!



## Unsere Partner und Sponsoren

<b>audioXPRESS</b>	AudioXpress	<a href="http://www.audioamateur.com">www.audioamateur.com</a> . . . . .	87
<b>Beta</b>	Beta Layout	<a href="http://www.pcb-pool.com">www.pcb-pool.com</a> . . . . .	2
<b>EAGLE</b>	Cadsoft	<a href="http://www.element14.com/eagle-competition">www.element14.com/eagle-competition</a> . . . . .	33
<b>ELV</b>	ELV	<a href="http://www.elv.de">www.elv.de</a> . . . . .	26, 27, Beilage
<b>Eurocircuits</b>	Eurocircuits	<a href="http://www.elektorpbservice.com">www.elektorpbservice.com</a> . . . . .	13
<b>Jackaltac</b>	Jackaltac	<a href="http://www.jackaltac.com">www.jackaltac.com</a> . . . . .	57



LeitOn

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

4



MikroElektronika

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

3



pico

[www.picotech.com/PS146](http://www.picotech.com/PS146) . . . . .

9



Reichelt

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

88



Renesas Contest

[www.circuitcellar.com/RenesasRL78Challenge](http://www.circuitcellar.com/RenesasRL78Challenge) . . . . .

15

### Sie möchten Partner werden?

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

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 Lizenzen. Die in dieser Zeitschrift veröffentlichten Beiträge, insbesondere alle Aufsätze und Artikel sowie alle Entwürfe, Pläne, Zeichnungen einschließlich Platinen sind urheberrechtlich geschützt. Ihre auch teilweise Vervielfältigung und Verbreitung ist grundsätzlich nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung des

Herausgebers gestattet. Die veröffentlichten Schaltungen können unter Patent- oder Gebrauchsmusterschutz stehen. Herstellen, Fehlhalten, Inverkehrbringen und gewerblicher Gebrauch der Beiträge sind nur mit Zustimmung des Verlages und ggf. des Schutzeigentümers zulässig. Nur der private Gebrauch ist frei. Bei den benutzten Warenbezeichnungen kann es sich um geschützte Warenzeichen handeln, die nur mit Zustimmung ihrer Inhaber warentypisch genutzt 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.



© 2012 elektor international media b.v.

Druck: Senefelder Misset, Doetinchem (NL)

ISSN 0932-5468

# RL78 Green Energy Challenge

## Ein echter Low-Power-Controller



Von Mohammed Dogar (D)

In unserer umweltbewussten Zeit geht es bei Neuentwicklungen vielfach um Aspekte wie Platzbedarf, Skalierbarkeit, intelligente Funktionen und nicht zuletzt um einen geringen Strombedarf. Die RL78-Mikrocontroller-Familie von Renesas wurde speziell auf diese Design-Ziele hin optimiert. Wert gelegt haben die Entwickler auf höchste Peripherie-Integration, intelligente CPU-Architektur und erweiterte Stromspar-Techniken, um ein „True Low Power Design“ zu erreichen.

Zusätzlich zu ihren Low-Power-Fähigkeiten verfügen RL78-Controller über Spezialfunktionen zur Minimierung des Betriebsstroms. Große Teile des Controllers können abgeschaltet werden, wobei Peripherieeinheiten weiter arbeiten.

Einer der interessantesten Features ist dabei sicherlich der so genannte „Snooze-Mode“. Der Snooze-Mode reduziert die Stromaufnahme vieler typischer Controller-Funktionen dramatisch, da eine Datenerfassung und Datenübertragung ohne Aufwecken der CPU stattfinden kann (wie wir weiter unten noch etwas genauer beschreiben). Hier ergeben sich große Vorteile im Vergleich mit gängigen Stromspar-Konzepten, wo bestimmte Peripheriefunktionen nicht ohne Beteiligung der CPU möglich sind.

Wenn ein System z.B. periodisch analoge Signale erfasst, erlaubt der Snooze-Mode eine zusätzliche Einsparung von 30 % (bei einem RL78/G13-Controller).

Neben dem Snooze-Mode verfügt ein RL78 noch über andere für die Produktentwicklung relevante Low-Power-Fähigkeiten. Zu nennen wäre z.B. der große Versorgungsspannungsbereich von 1,6 V bis 5,5 V. Dies vereinfacht den Batteriebetrieb, wo die Spannung typischerweise mit der Entladung der Batterie absinkt.

### RL78-Controller – zusätzlich 30 % weniger Strom

In extremen Anwendungen muss ein batteriebetriebenes Gerät dauerhaft ohne Nachlademöglichkeit auskommen. Hier kommt es

besonders auf eine möglichst niedrige Stromaufnahme an. Dabei ist es absolut elementar, dass man ungenutzte Einheiten abschalten kann und ein Aufwachen nur dann stattfindet, wenn es wirklich notwendig ist. Wenn der Controller bei besonders niedriger Stromaufnahme darauf warten kann, bis er tatsächlich gebraucht wird, dann kann das die mögliche Betriebsdauer batteriebetriebener Elektronik dramatisch verlängern.

Die RL78-Controller von Renesas sind dank ihrer erweiterten Stromspartechniken perfekt für Embedded-Systeme geeignet, wo es existentiell um niedrigen Strombedarf geht.

Diese Techniken erlauben folgende Betriebsarten:

- 1) Betrieb mit außergewöhnlicher Effizienz im normalen Modus;
- 2) Deaktivierung der CPU, Strom sparen durch den Halt-Mode (mit schnellem CPU-Wake-up);
- 3) Deaktivierung weiterer Controller-Funktionen im Stop-Mode für noch weniger Strombedarf (auf Kosten langsameren Aufwachens);
- 4) Snooze-Mode erlaubt noch weitere Strom-Einsparungen.

**Bild 1** illustriert diese Modi anhand eines Flussdiagramms.

### RL78-Controller – der Snooze Mode

Der Snooze-Mode ermöglicht den Weiterbetrieb einiger Peripheriefunktionen für einfache Aktionen, während der Rest des Controllers abgeschaltet ist. Dies erlaubt gegenüber den Run- oder Halt-Moden deutliche Einsparungen, da hier die CPU deaktiviert ist und nur die benötigten Peripheriemodule weiter in Betrieb sind.

Wie schon erwähnt sind sowohl der Daten-Empfang als auch die Datenerfassung (z.B. per A/D-Konverter) im Snooze-Mode möglich, indem die entsprechenden Ports, aber nicht die CPU aktiv sind.

Der A/D-Konverter kann vom RTC oder dem Intervall-Timer per Interrupt aufgeweckt werden, damit er eine A/D-Konversion durchführt. Auf ähnliche Weise wird der synchrone serielle Port aktiv, wenn am seriellen Takteingang eine Flanke detektiert wird. Analog dazu wacht der UART auf, wenn an RxD eine Flanke erkannt wird.



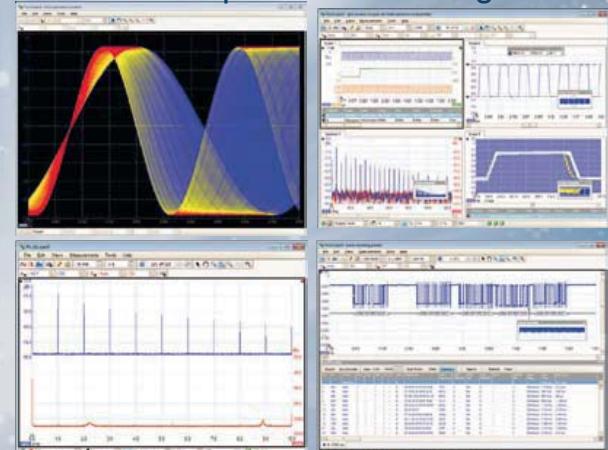
Mohammed „Mo“ Dogar arbeitet für Renesas Europe als Produkt-Manager und kümmert sich verstärkt um das Marketing und den Vertrieb von Mikrocontrollern bei größeren OEMs und Distributoren. Mo Gruppe definiert und entwickelt Produkt-Roadmaps für Controller und die Support-Infrastruktur für Industrie- und Consumer-Elektronik.

## DIE FÜHRENDEN OSZILLOSKOPE BIETEN MEHR PicoScope 6000 Serie

MEHR MODELLE • MEHR AUSWAHL  
MEHR FEATURES ALS STANDARD



Höchste Abtastrate und größter Speicher aller Oszilloskope dieser Preiskategorie

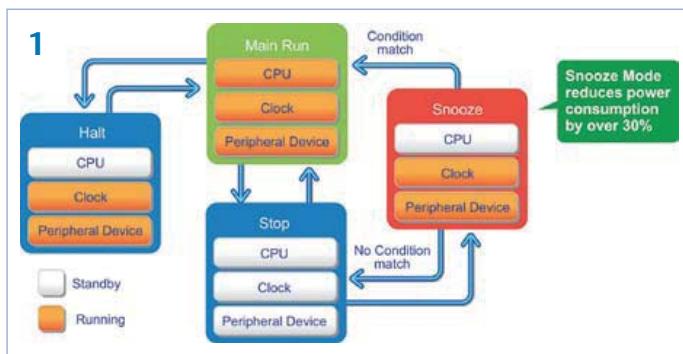


	6402A	6402B	6403A	6403B	6404A	6404B
Kanäle			4			
Bandbreite	250 MHz		350 MHz		500 MHz	
Sampling-Rate			5 GS/s			
AWG oder Funktionsgenerator	FG	AWG	FG	AWG	FG	AWG
Speicher	128 MS	256 MS	256 MS	512 MS	512 MS	1 GS
Prix (hors-TVA)	€2414	€3019	€3624	€4229	€4834	€5439

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



[www.picotech.com/PS146](http://www.picotech.com/PS146)

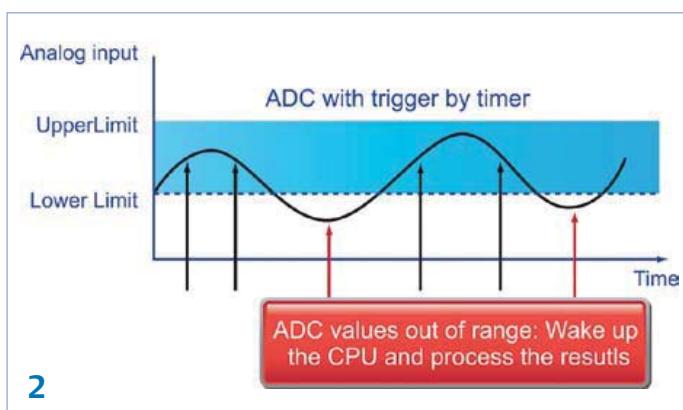


Nach jeder Datenoperation im Snooze-Mode wird eine „Match-Condition“ geprüft. Bei einem Match wird die CPU aufgeweckt und in den Run-Mode versetzt. Ohne Match folgt der Stop-Mode. Von daher wird die CPU nur dann aktiviert, wenn sie zur Bearbeitung empfangener oder erfasster Daten gebraucht wird. Bild 2 illustriert den Snooze-Mode bei einem Timer-getriggerten ADC.

Eine A/D-Konversion benötigt im Snooze Mode lediglich 0,5 mA. Im Vergleich zu den 5 mA im Run-Mode ist die Einsparung also extrem hoch. Man kann sagen, dass der Snooze-Mode verglichen mit dem Run-Mode bei einer A/D-Konversion 90% der benötigten Energie einspart.

Nach dieser Beschreibung der besonderen Low-Power-Eigenschaften von RL78-Controllern stellt sich sicher die Frage, was man damit machen kann. Wie wäre es z.B. damit, einen RL78 in Ihrem eigenen Projekt beim RL78 Green Energy Design Challenge einzusetzen? Selbstverständlich können Sie die speziellen Stromsparfähigkeiten auch jetzt schon direkt in Ihren aktuellen Projekten nutzen, wodurch diese Projekte etwas grüner werden und Sie damit einen Beitrag zur Erhaltung unserer Umwelt leisten.

[www.circuitcellar.com/RenesasRL78Challenge](http://www.circuitcellar.com/RenesasRL78Challenge)  
(120294)



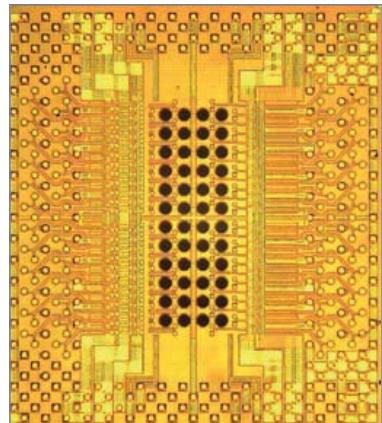
2

Von Phil Knurhahn

### Schnellster Chip überträgt 1 Terabit/s

IBM-Forscher im T.J. Watson Research Center (Yorktown Heights, NY, USA) haben einen neuen Weltrekord aufgestellt: Sie demonstrierten einen Chip, der eine Datenübertragung mit 1000 Gigabit pro Sekunde ermöglicht. Der „Holey Optochip“ ist nur  $5,8 \times 5,2 \text{ mm}^2$  groß und besteht aus 24 Sender- und 24 Empfänger-Schaltkreisen. Diese befinden sich in insgesamt 48 „Löchern“, die zur Hälfte mit Photodioden-Arrays als Empfänger und VCSEL-Arrays (Vertical Cavity Surface-Emitting Laser) als Sender ausgerüstet sind, die bei 850 nm emittieren (Bild: IBM). Der Chip wurde in 90-nm-CMOS-Technologie gefertigt. Ein System von Mikrolinsen macht die Ankopplung an eine standardmäßige 48-Kanal-Multimode-Glasfaserverbindung möglich.

[www.watson.ibm.com](http://www.watson.ibm.com)



### Brennstoffzellen-Ladegerät fürs Handy

Wie schon auf der diesjährigen Consumer Electronics Show (CES) in Las Vegas hat die schwedische Firma myFC (my Fuel Cell) auch auf dem Mobilfunk-Kongress in Barcelona Aufmerksamkeit ausgelöst: Mit einem tragbaren Brennstoffzellen-Ladegerät (Foto: myFC), das neben einem Wasserstoff-„Fuel-Pack“ nur einen Löffel Wasser für seine Aufgabe benötigt, lässt sich ein Mobiltelefon kurzfristig wieder aufladen. Dies Ladegerät ist etwa so groß wie eine Digitalkamera – und Wasser sollte ja überall kurzfristig zur Verfügung stehen.

[www.myfc.se](http://www.myfc.se)

### Faltbares Auto braucht wenig Parkraum

Der Prototyp eines elektrischen Stadtautos, das sich beim Parken zum Platzsparen zusammenfaltet (Photo: Adam Hunger, MIT), wurde kürzlich in Brüssel vorgestellt. Der Zweisitzer soll im nächsten Jahr in Spanien produziert werden. Er wurde vom Media Lab des Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Zusammenarbeit mit der spanischen Regierung und baskischen Unternehmen entwickelt. Die vier Antriebsmotoren sind in die Räder eingebaut, jedes Rad wird separat angesteuert. Benötigte Parkfläche nach dem Falten: etwa  $3 \text{ m}^2$ .

[www.media.mit.edu/news/citycar](http://www.media.mit.edu/news/citycar)



### Kleinster 128-Gigabit-Flashspeicher

Die SanDisk Corp. geht mit dem derzeit kleinsten 128-Gbit-NAND-Flashspeicher (Bild: SanDisk) in Produktion. Der  $170 \text{ mm}^2$  große Chip – etwa so groß wie eine 1-Cent-Münze - wird in 19-nm-Technologie produziert. Jede einzelne Speicherzelle kann drei Bits zugleich speichern (so genannte X3-Technologie). Der Chip wurde gemeinsam mit Toshiba auf dem Campus von SanDisk in Milpitas (Kalifornien) entwickelt. Er wird als Speicherkarte und auch als USB-Stick auf den Markt kommen.

[www.sandisk.com/about-sandisk/press-room/press-releases/2012/sandisk-develops-worlds-smallest-128gb-nand-flash-memory-chip](http://www.sandisk.com/about-sandisk/press-room/press-releases/2012/sandisk-develops-worlds-smallest-128gb-nand-flash-memory-chip)

### Leichteste und dünnste Solarzellen

Wissenschaftler der Johannes Kepler Universität Linz und der University of Tokyo haben die bislang leichtesten und dünnsten Solarzellen der Welt entwickelt. Die Zellen sind lediglich  $2 \mu\text{m}$  dick und sehr flexibel: Man kann sie sogar um ein Menschenhaar herumwickeln. Besonders beeindruckend ist: Sie können zehn Watt pro Gramm Solarzelle liefern. Als Anwendungsfelder schweben den Forschern die Robotik, synthetische Haut oder elektronische Textilien vor.

Das Besondere an diesen Solarzellen ist, dass sie zu einem Drittel aus aktivem energieproduzierendem Material bestehen. Das Substrat besteht vorwiegend aus einer Plastikfolie, welche die restlichen zwei Drittel des Materials ausmacht. Im Unterschied dazu besteht eine klassische kristalline Siliziumzelle zu 99 % aus Substrat. Obwohl die neuen organischen Solarzellen noch nicht an den Wirkungsgrad von auf Silizium basierenden Zellen herankommen, übertreffen sie diese beim Leistungsgewicht um Längen. Die Zellen bringen nämlich pro Quadratmeter nur unglaubliche 4 g auf die Waage. Wenn die Zellen auf Gummiband aufgebracht werden, sind sie sogar dehnbar. Die Ergebnisse dieser Forschungsarbeiten wurden am 3. April in der Zeitschrift Nature Communications veröffentlicht.

## 3-tägiges Seminar: 'PIC-Mikrocontroller-Programmierung in C'

In diesem 3-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 praktische 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

### Veranstaltungstermine:

25.09. bis 27.09.2012 Dortmund  
16.10. bis 18.10.2012 München  
20.11. bis 22.11.2012 Zürich

**Teilnehmergebühr (inkl. MwSt.):** 1.299,00 Euro

**Weitere Infos & Anmeldung:** [www.elektor.de/pic-prog](http://www.elektor.de/pic-prog)



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

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

### CAN und AVR

30.05.2012 Zürich  
31.05.2012 Villingen-Schwenningen  
[www.elektor.de/can-workshop](http://www.elektor.de/can-workshop)

### Eagle PCB und Design

30. + 31.05.2012 München  
12. + 13.09.2012 Dortmund  
18. + 19.09.2012 Füssen  
07. + 08.11.2012 Hanau  
[www.elektor.de/eagle-seminar](http://www.elektor.de/eagle-seminar)

### LabVIEW meets µC

14. + 15.06.2012 München  
[www.elektor.de/lv-seminar](http://www.elektor.de/lv-seminar)

### Embedded Linux

11. bis 13.09.2012 Dortmund  
13. bis 15.11.2012 Hannover  
20. bis 22.11.2012 Zürich  
[www.elektor.de/linux-seminar](http://www.elektor.de/linux-seminar)

### Visual Basic Messen und Steuerung

25. + 26.09.2012 Dortmund  
07. + 08.11.2012 Hanau  
12. + 13.12.2012 München  
[www.elektor.de/events](http://www.elektor.de/events)

### Sound Design (Akustik)

27.09.2012 Dortmund  
[www.elektor.de/events](http://www.elektor.de/events)

### PIC-Mikrocontroller-Programmierung in C

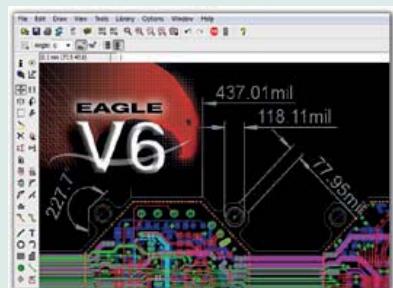
25. bis 27.09.2012 Dortmund  
16. bis 18.10.2012 München  
20. bis 22.11.2012 Zürich  
[www.elektor.de/pic-prog](http://www.elektor.de/pic-prog)

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



## 2-tägiges Seminar: 'Eagle PCB und Design'

In diesem Kurs werden Sie lernen, wie man mit dem Programm Eagle der Firma Cadsoft GmbH Leiterplatten entflechten kann. Begonnen wird mit dem Zeichnen von Schaltplänen unter Verwendung von Standard-Eagle-Bibliotheken.



Sie lernen, wie man Schaltpläne über mehrere Seiten hinweg zeichnet und wie man eigene Bibliotheken und Bauteile erstellt. Anschließend werden Sie lernen, wie man aus dem Schaltplan eine Leiterplatte definiert und diese dann entflechtet (layoutet). Dabei werden auch Spezialkenntnisse zum Layouten von HF-Schaltungen, wie Leitungswellenwiderstand, vermittelt. Nach erfolgreichem Layout werden Produktionsdaten erzeugt, die man benötigt, wenn man die Platine fertigen lassen möchte. Dabei wird auch auf die verschiedenen Produktionsarten wie fräsen und ätzen eingegangen. Zum Abschluss gibt es Tipps und Tricks zum Umgang mit Eagle. Zur Vertiefung des Stoffes werden Sie mit der Light-Version von Eagle Übungen an Ihrem eigenen Notebook durchführen.

**Referent:** Prof. Dr.-Ing. Francesco P. Volpe

### Veranstaltungstermine:

30.05. + 31.05.2012 München  
12.09. + 13.09.2012 Dortmund  
18.09. + 19.09.2012 Füssen  
07.11. + 08.11.2012 Hanau

**Teilnehmergebühr (inkl. MwSt.):** 849,00 Euro

**Weitere Infos & Anmeldung:** [www.elektor.de/eagle-seminar](http://www.elektor.de/eagle-seminar)

## ElektorLive! Seminar-Tag Zum ersten Mal in Deutschland!

Hier kommt eine Premiere, die Sie nicht verpassen sollten: Am 20. Oktober veranstaltet Elektor zum ersten Mal den Seminar-Tag „ElektorLive!“ in Deutschland, und zwar in Dortmund (Kongresszentrum Westfalenhallen). Elektronik-Fans haben dabei die einzigartige Gelegenheit, interessante Seminare zu den verschiedensten Themen zu besuchen und sich an den Ständen ausstellender Firmen über neue Elektronik-Trends zu informieren. Natürlich wird auch Elektor vor Ort sein – mit der Zeitschrift, neuen Büchern, Boards, Modulen und mehr.

Der Eintrittspreis für Abonnenten beträgt nur 25 Euro, für Nicht-Abonnenten 45 Euro. Der Besuch zweier Seminare ist im Preis inbegriffen. Schüler & Studenten bezahlen in jedem Fall nur 20 Euro.



Hier schon einmal eine kleine Liste der bei Redaktionsschluss geplanten Seminare (Änderungen vorbehalten): Embedded Linux \* Fahrzeugdiagnose mit OBD \* Elektronik steuern mit Android \* AVR-Controller in der Praxis \* FPGA-Einführung \* Radioaktivität messen mit Halbleitern \* Röhrenverstärker \* Simulieren mit EAGLE u.a.!

Auf der Website [www.elektor.de/eld-seminare](http://www.elektor.de/eld-seminare) findet man den neuesten Stand des Seminarprogramms. Dabei ist auch eine Online-Umfrage, mit der wir vorab ermitteln möchten, welche der Themen für unsere Leser besonders interessant sind, um für ausreichend Kapazität sorgen zu können. Voraussichtlich ab 1. Juli kann man sich dann bereits für die Veranstaltung anmelden und einen Platz in zwei Seminaren reservieren.

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

## Machen Sie uns noch besser – Online-Leserumfrage

Ende März haben wir auf der Seite [www.elektor.de/feedback](http://www.elektor.de/feedback) zum ersten Mal aufgerufen, die Artikel der laufenden Ausgabe zu bewerten. Ist das Thema für Sie interessant? Ist die Ausführung des Artikels gelungen oder haben Sie etwas vermisst? In einer Extra-Textbox können Leser uns auch eigene (Themen-)Wünsche mitteilen. Das Ganze kostet nur ein paar Mausklicks - Namen oder Kontaktadressen benötigen wir dabei nicht. Aktuell kann man unter dem angegebenen Link eine Bewertung für die zehn wichtigsten Artikel des Juni-Heftes abgeben.

Beim Redaktionsschluss dieser Ausgabe war die Auswertung der Umfrage zum Aprilheft abgeschlossen. Mitgemacht haben 82 Leser, davon gaben 86 % an, praktische Elektronik-Erfahrung zu haben, 36 % bezeichneten sich als (semi-)professionelle Entwickler.

The screenshot shows a survey titled "Bitte helfen Sie uns, Elektor noch besser zu machen!" (Please help us make Elektor even better!). It lists ten articles from the April issue for rating. The articles are:

- Embedded Linux leicht gemacht (1)
- FREIYO 2012 (2)
- SDR mit AVR (2)
- Audio-Rauschreduzierung (1)
- Verlustlose Lautsprecher (1)
- Trade Fico C-Gitarer (1)
- Platin mit Leiterplatte steuern (1)
- Zurück zu den Wurzeln (1)
- Alt-PC Low-Power-Mikrocontroller-Familie (1)
- Elektronik-Logikanalyse (1)

Below the articles, there are two sections for feedback: "Feedback zu Elektor" and "Feedback zur Elektrotechnik". The "Feedback zu Elektor" section has a note: "Ihre Meinung interessiert uns sehr! Dageben Sie uns bitte, wie Ihnen das aktuelle Heft gefällt." (Your opinion is very important to us! Please tell us how you like the current issue.)

Als klaren Gewinner unseres April-Ratings kann man den Grundlagen-Artikel „Zurück zu den Wurzeln“ bezeichnen: 75 % aller Teilnehmer interessierten sich für den Artikel, 65 % aller Leser vergaben sogar die Bestnote „rundum gelungen“. Auch das „Schalten via RS485“, „SDR mit AVR“ sowie das „Labor-Netzteil für Embedded-Entwickler“ fanden eine Mehrheit der Teilnehmer interessant. Glatt gespalten war unsere Leserschaft beim Thema „Preamp“ und „LED-Touchpanel“. Doch auch die übrigen Projekte und Reviews fanden ihre Liebhaber. So zum Beispiel der „Lipo-Akkuwächter“ – bei immerhin einem Drittel der teilnehmenden Leser stieß das Projekt auf Interesse. Die Umfrage bestätigt, dass unsere Leser Elektor gerne auch zum Schmöckern benutzen. So deuten zum Beispiel 42 % der Teilnehmer mit der Benotung „netter Artikel“ an, dass sie sich durch den „Lipo-Akkuwächter“ unterhalten fühlen, auch wenn sie das Thema weniger interessiert. Nur 15 % überblättern die Seiten glatt und geben an: „Nicht interessant!“ Ein wenig Kritik für die Redakteure gab es bei den Artikeln „SDR mit AVR“ und „.NET MF für Elektroniker“: etwas mehr als ein Viertel der Teilnehmer befand, dass sie beim Artikel Informationen vermisst oder Schwierigkeiten beim Verständnis hatten. Beim Artikel „Schalten via RS485“ gaben das noch ein knappes Viertel der Teilnehmer an; die anderen Texte scheinen leichter verdaulich gewesen zu sein.

Bei der Auswertung der „Gewünschten Themengebiete in Elektor“ zeigte sich wieder einmal, dass sich unsere Leser für eine breite Palette an Elektronik-Themen interessieren. Das Spektrum der Wünsche reichte von der Digital-Elektronik für Modelleisenbahnen über die BLDC-Steuering, Spektrum-Analysatoren, „Embedded Ethernet“, Linux und FPGAs bis hin zu Software-Grundlagen. Während sich viele der Teilnehmer verschiedene Mikrocontroller-Themen wünschten, forderten andere Leser mehr analoge Schaltungen, zum Beispiel im Bereich Audio. Auffallend war der vielfache Wunsch nach einfachen (Nachbau-)Projekten und Grundlagenartikeln, sowohl auf der digitalen als auch auf der analogen Seite.

Es wäre schön, wenn wir ein noch besseres Bild von Ihrer Meinung bekommen: Machen Sie mit unter:

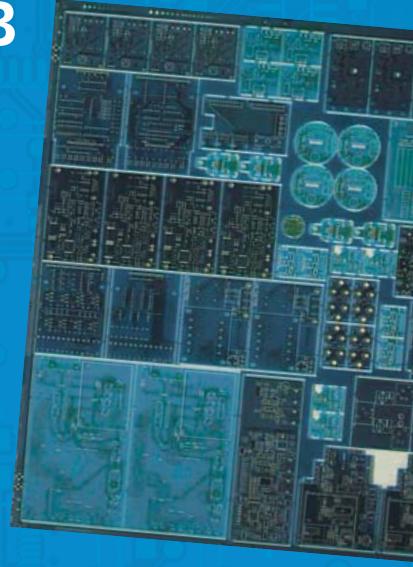
[www.elektor.de/feedback](http://www.elektor.de/feedback)

## Die europäische Referenz für PCB Prototypen und Kleinserien

Sparen Sie Entwicklungszeit und -kosten mit unseren einfach zu nutzenden Leiterplatten-Pooling-Services.

Wir bieten Ihnen:

- Top Qualität zu niedrigen Pooling Preisen
- Schnelle Lieferung nach Ihren Bedürfnissen
- Umfangreiche Technologie-Unterstützung
- Keine Einmal- oder Werkzeugkosten
- Keine Mindestbestellwerte - ab der 1 Leiterplatte
- Online-Bestellung ohne Vorauskasse
- Schablonen Service



### **PCB proto** – spezieller Prototypen-Service für Entwickler, preiswert und schnell

- |   |                         |                         |
|---|-------------------------|-------------------------|
| • 1 oder 2 LP in 2, 3, 5 oder 7 Arbeitstagen  |                         |                         |
| • DRC-geprüft, professionelle Ausführung inkl. 2x Lötstopplack und 1x Bestückungsdruck, 150µm Technologie |                         |                         |
| • 1 x 100 x 80mm in 7AT   | - 2 Lagen 46.26 €       | - 4 Lagen 93.94 €       |
| • 2 x 100 x 80mm in 7AT   | - 2 Lagen 36.28 € je LP | - 4 Lagen 73.52 € je LP |

Preise inkl. 19% MwSt und ohne Transportkosten

### **STANDARD pool** – die größte Auswahl an Eurocircuits Pooling Optionen

- 1-8 Lagen 150µm Technologie-Leiterplatten
- ab 2 AT

### **TECH pool** – 100µm-Technologie mit allen Pooling-Vorteilen

- 2-8 Lagen 100µm Technologie-Leiterplatten
- ab 4 AT

### **IMS pool** – Aluminiumkern-Leiterplatten für hohe Wärmeableitung (z.B. LED-Anwendung)

- Leiterplatten mit einlagig isoliertem Metallsubstrat
- 1.5mm Alukern mit 75µm thermisch leitfähigem Dielektrikum und 35µm Kupferfolie
- ab 3 AT

### **On demand** – Alle Optionen im Nicht-Pooling für Spezialanwendungen

- 1-16 Lagen bis 90µm-Technologie
- RF- und Hoch-Tg-Materialien
- ab 2 AT

**[www.elektorPCBservice.com](http://www.elektorPCBservice.com)**

## Wettbewerb: Mit EAGLE V6 und Microchip-Controllern entwickeln

Vom 1. Mai bis zum 31. August 2012 veranstalten CadSoft und der bekannte Distributor Farnell den „EAGLE Design Challenge“. Hierfür werden Preise im Wert von insgesamt 7.000 US-\$ ausgelobt. Ein weiterer Partner ist der Controller-Hersteller Microchip. Der Wettbewerb wird auf der Plattform element14 gehostet, auf der sich eine große Design-Community zusammengefunden hat, um gemeinsam zu entwickeln und Lösungen auszutauschen.

Die Teilnahme ist einfach: Man muss lediglich mit EAGLE Version 6 entwickeln und einen Microchip-Controller oder DSC einsetzen. Nach der Registrierung bei element14 kann man einen Screenshot des Layouts zusammen mit einer Beschreibung des Projekts auf die Webseite des Wettbewerbs hochladen. Und falls Sie noch keine EAGLE-Lizenz besitzen, ist das kein Hinderungsgrund: Sie können sich hierfür nämlich eine 30 Tage lauffähige Testversion unter der URL [www.element14.com/eagle-freemium](http://www.element14.com/eagle-freemium) herunterladen.

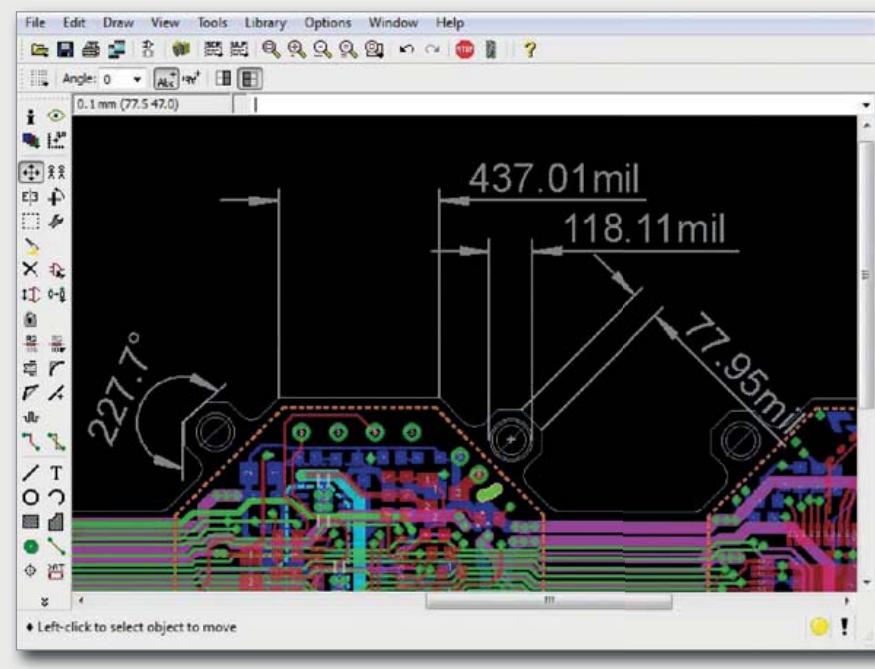
Die Platinen-Layout-Software EAGLE von CadSoft hat schon eine große Verbreitung unter Elektronikern erreicht. Erst kürzlich erst wurde sie von der Zeitschrift *Elektronik* zum siebten Mal zum Produkt des Jahres gekürt.

Dier im April 2012 erschienene EAGLE-Version 6.2 bietet ein Mehr an Flexibilität und hilft dem Anwender dank neuer Eigenschaften wie dem BGA-Escape-Routing, dem Routing differentieller Leitungen, dem automatischen Mändern oder Undo/Redo-Logs beim zeitsparenden Design. Zusätzlich bietet die neueste Softwareversion automatische Layout-Dimensionierung, Bestückungsvarianten, ausgeschnittene Polygone sowie eine Reuse-Funktion, wodurch sich Schaltungs-/Platinen-Kombinationen per „Paste“ weiterverwenden lassen.

### Die Preise:

1. DELL Alienware M17x r3 + EAGLE Version 6 Professional inklusive aller drei Module.
2. MICROCHIP DV164037 Kit, Eval, ICD3 Explorer-16 & DM163022-1 8-bit-Entwicklungsboard + EAGLE Version 6 Professional inklusive aller drei Module.
3. EAGLE Version 6 Standard inklusive aller drei Module.

Interessanterweise werden die Gewinner auch durch Peer-Voting von der element14-Community bestimmt. Die Mitglieder dieser führenden Technik-



# EAGLE

Community können Projekte „liken“ und Kommentare hinterlassen. Basierend auf den „likes“ der Community und den Kommentaren wird eine Jury aus Mitarbeitern von CadSoft, Premier Farnell und Microchip zusammen mit dem unabhängigen EAGLE-Experten Prof. Dr. Francesco Volpe von der Fachhochschule Aschaffenburg die Gewinner auswählen.

Als Beurteilungskriterien dienen die Klarheit der Beschreibung der Einsendung, das zugrunde liegende elektronische Konzept, die Design-Komplexität, die Design-Qualität und die Funktionalität.

Weitere Details und die genauen Teilnahmebedingungen finden sich unter dem Link [www.element14.com/eagle-competition](http://www.element14.com/eagle-competition).

(120355)

# Von den Machern von Elektor!

**elektor** **SPECIAL PROJECT**

# RÖHREN 8

## High-End und Musik

**Geheimnis:** Kompressionseffekt  
**Spaltung:** Phasenumkehrstufe  
**Einfluss:** Gitterwiderstand



12008  
(D) 17,50 €  
(A) 19,95 €  
CHF 29,95  
(L) 19,95 €  
(B) 19,95 €

**Jetzt neu  
am Kiosk!**

**Röhrenschaltungen in der Praxis:**

- Eintakt-A-Endstufe mit 6C33
- Single-Ended-Endstufe mit 300 B
- Mikrocontroller steuert Ruhestrom
- 2-V-1-Audion für Mittel- und Kurzwelle



Oder frei Haus unter [www.elektor.de/roehren8](http://www.elektor.de/roehren8) bestellen!

# Flexibler Schrittmotor-Treiber

## Mit galvanisch getrennten Eingängen

Von Chris Vossen (Elektor-Labor)

Die vom Elektor-Labor entworfene Treiberschaltung für Schrittmotoren arbeitet mit dem A3979 von Allegro Microsystems. Der Baustein wurde für die Steuerung bipolarer Schrittmotoren im Full-, Half-, Quarter- oder Sixteenth-Stepmode entwickelt. Die Schrittmotor-Ausgänge sind bis 2,5 A belastbar. Auf der Seite der Eingänge wird der Baustein durch Optokoppler galvanisch vom steuernden System getrennt. Das Anschließen an einen PC, beispielsweise an den Parallelport, ist problemlos möglich.



Für das Positionieren von Objekten werden in vielen Entwicklungen der Mechatronik Schrittmotoren eingesetzt. Zu den typischen Anwendungen zählen Roboter, Scanner, Fräsmaschinen und 3D-Drucker. Die Treiberschaltung, ohne die ein Schrittmotor nicht läuft, soll möglichst unkompliziert und kostengünstig sein. Während der Entwicklungsphase soll ein PC die Steuerung übernehmen, hier ist der Anschluss an den Parallelport nach wie vor beliebt.

Mit diesen Vorgaben als Grundlage hat das Elektor-Labor eine Schrittmotor-Treibplatine entworfen, die sich insbesondere durch hohe Flexibilität auszeichnet. Wir haben Wert darauf gelegt, dass möglichst viele Funktionen von einem integrierten Baustein übernommen werden und dass die Eingänge vom Motorstromkreis galvanisch getrennt sind. Die Treiberschaltung kommt allein mit der Motorbetriebsspannung aus. Aus dieser Spannung leitet ein verlustarmer Schaltregler die Spannung +5 V für den steuernden Baustein ab.

### Der A3979

Der A3979 von Allegro Microsystems ist ein so genannter Microstepping-Trei-

ber mit integrierten DMOS-Brücken und Niveau-Anpassung. Der kleine Baustein (nur 6,5 mm · 10 mm) kann Schrittmotoren über die interne PWM-Regelung im Full-, Half-, Quarter- oder Sixteenth-Stepmode steuern. Die MOSFET-Brücken am Ausgang erreichen ihre Belastungsgrenzen erst bei 2,5 A, die Spannung kann bis 35 V betragen. Durch den integrierten „Translator“ gestaltet sich das Steuern des Schrittmotors besonders einfach. Mit den Signalen an den Eingängen MS1 und MS2 wird der Stepmode festgelegt. Danach genügt ein Impuls am Eingang STEP, um den Motor einen Schritt oder Teilschritt drehen zu lassen. Bild 1 zeigt das Funktionsschema des A3979 aus dem Datenblatt, die externe Beschaltung ist ebenfalls angegeben. Das vollständige Datenblatt kann von der Website des Herstellers Allegro [1] heruntergeladen werden.

Abgesehen von der Dimensionierung der externen Komponenten, um die es später noch geht, muss der Anwender nur wenige Details beachten. Zum Steuern des Schrittmotors sind lediglich drei Signale nötig: Die Schrittmpulse, das Drehrichtungssignal sowie ein Enable-Signal.

### Die Schaltung

In der Schaltung, die Bild 2 zeigt, finden sich die am A3979 liegenden externen Komponenten aus Bild 1 wieder. Die Motorwicklungen und die Motorbetriebsspannung werden an Steckverbinder K4 angeschlossen. Die Leitungen MS1 und MS2, über die der Stepmode eingestellt wird, führen zu K1 und K2. Dies sind keine Steckverbinder, sondern Lötbrücken auf der Platine, so dass der Stepmode mit zwei Tropfen Lötzinn festgelegt werden kann. Die Konfigurationen von K1 und K2 sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Das steuernde System kann außer einem PC natürlich auch ein Mikrocontroller-Board sein. Die galvanische Trennung der Schrittmotor-Treiberschaltung übernimmt IC1, ein Vierfach-Optokoppler des Typs ACPL-847 von Avago Technologies. Wenn ein Eingang DIR, STEP oder ENABLE an Masse gelegt wird, leuchtet die zugehörige interne LED des Vierfach-Optokopplers auf. Der Fototransistor leitet und zieht den Eingang DIR, STEP oder ENABLE des Mikrocontrollers (Pin 3, 19 oder 26) nach Masse. Beim Verändern des DIR-Signalpegels kehrt der Schrittmotor seine Drehrichtung um. Der Schrittmotor dreht bei jeder ansteigenden Flanke des

## Wichtige Eigenschaften

- Kompatibel zu den meisten kleinen bipolaren Schrittmotoren
- Integrierte DMOS-Brücken, Grenzwerte: 30 V/2,5 A
- Standardmäßig eingestellter Strom: 1,5 A
- Galvanische Trennung vom steuernden System mit Optokopplern
- Full-, Half-, Quarter- und Sixteenth-Stepmode einstellbar über Lötbrücken
- PWM-Regelung für niedrigste Verlustleistung
- Integrierter „Translator“ für die Motorsteuerung
- Integrierte Blanking-Funktion für die DMOS-Brücken
- Integrierte Sicherheitsvorkehrungen gegen Grenzwertüberschreitungen

Signals STEP einen Schritt oder Teilschritt weiter. Aktiv ist der Motortreiber, solange die ENABLE-Leitung nach Masse gezogen ist. Das ENABLE-Signal wird vom A3979 bei jeder ansteigenden Flanke des Signals STEP geprüft.

Schaltregler IC3, ein LM2594M-5.0, liefert die Betriebsspannung für IC2, den A3979. Dieser Stepdown-Regler setzt die Motorbetriebsspannung auf +5 V herab, die Eingangsspannung kann zwischen 5 V und 30 V liegen. LED D4 signalisiert, dass die Spannung +5 V vorhanden ist.

### Dimensionierung

Die Widerstände R10 und R11 sind die Stromfühler der Motorwicklungen. Mit den Stromfühlern wird verhindert, dass die zulässigen Wicklungsströme überschritten werden. Die Induktivitäten dieser Widerstände müssen möglichst niedrig sein. Hohe Induktivitäten können Messfehler verursachen, im Extremfall sind Motorschäden die Folge.

Das Datenblatt des A3979 gibt vor, dass  $R_{sense}$  die Bedingung  $R_{sense} < 0,5 \text{ V}/I_{trip}$  erfüllen muss.  $I_{trip}$  ist der maximale Strom, der durch eine Motorwicklung fließen darf. Dieser Strom ist auf 1,5 A fest eingestellt, ein Wert, der zu dem viel verwendeten Schrittmotortyp Nema 17 passt. Mit dem Strom 1,5 A ergibt sich aus vorstehender Beziehung die Relation  $R_{sense} < 0,33 \Omega$ .

Ferner ist im Datenblatt des A3979 vorgegeben, dass  $V_{ref} \leq 4 \text{ V}$  sein muss. Für diese Spannung gilt die Beziehung  $V_{ref} = 8 \cdot I_{trip} \cdot R_{sense} \leq 4 \text{ V}$ . In der Schaltung sind  $I_{trip} = 1,5 \text{ A}$  und  $R_{sense} = 0,1 \Omega$ . Daraus folgt für  $V_{ref}$  der maximale Wert 1,2 V. Die Stromfühler-Widerstände müssen relativ hohe Verlustleistungen in Wärme umsetzen, für jeden Widerstand beträgt die Verlustleistung  $P = I^2 \cdot R_{sense} = 0,225 \text{ W}$ .

Mit den RC-Kombinationen R12/C9 und R1/C8 werden die Pausenzeiten der One-shot-Timer des internen PWM-Oszillators festgelegt. Von den Timern hängen die Zeiten ab, in denen die MOSFETs gesperrt sind. Nach den Angaben im Datenblatt muss der Wert für  $R_T$  zwischen 12 kΩ und 100 kΩ und der Wert für  $C_T$  zwischen 470 pF und 1500 pF liegen. Bipolare Schrittmotoren haben rela-

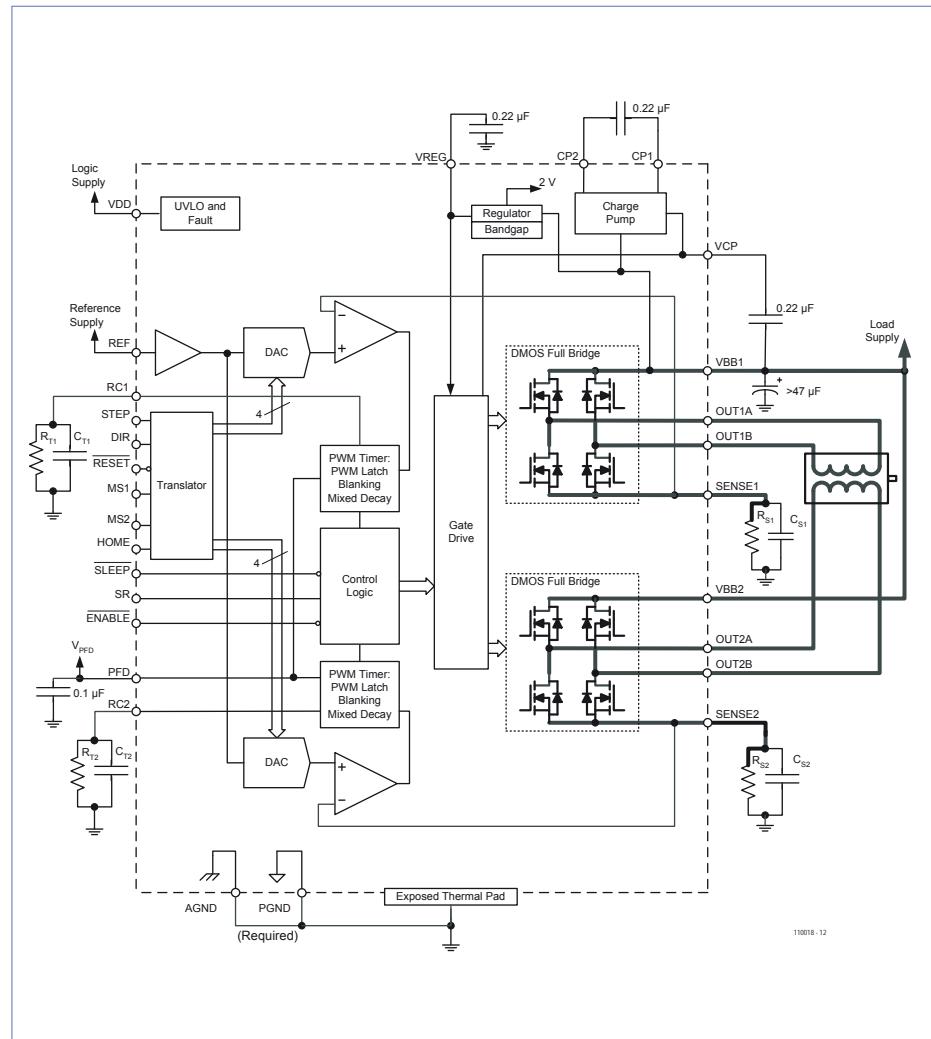


Bild 1. Internes Funktionsschema des „Microstepping DMOS Drivers“ A3979 von Allegro Microsystems.

Tabelle 1. Lötbrückenkonfigurationen

K1	K2	K1	K2	K1	K2	K1	K2
K1*	K2	K1*	K2	K1*	K2	K1*	K2
full step	half step	quarter step	sixteenth step	full step	half step	quarter step	sixteenth step

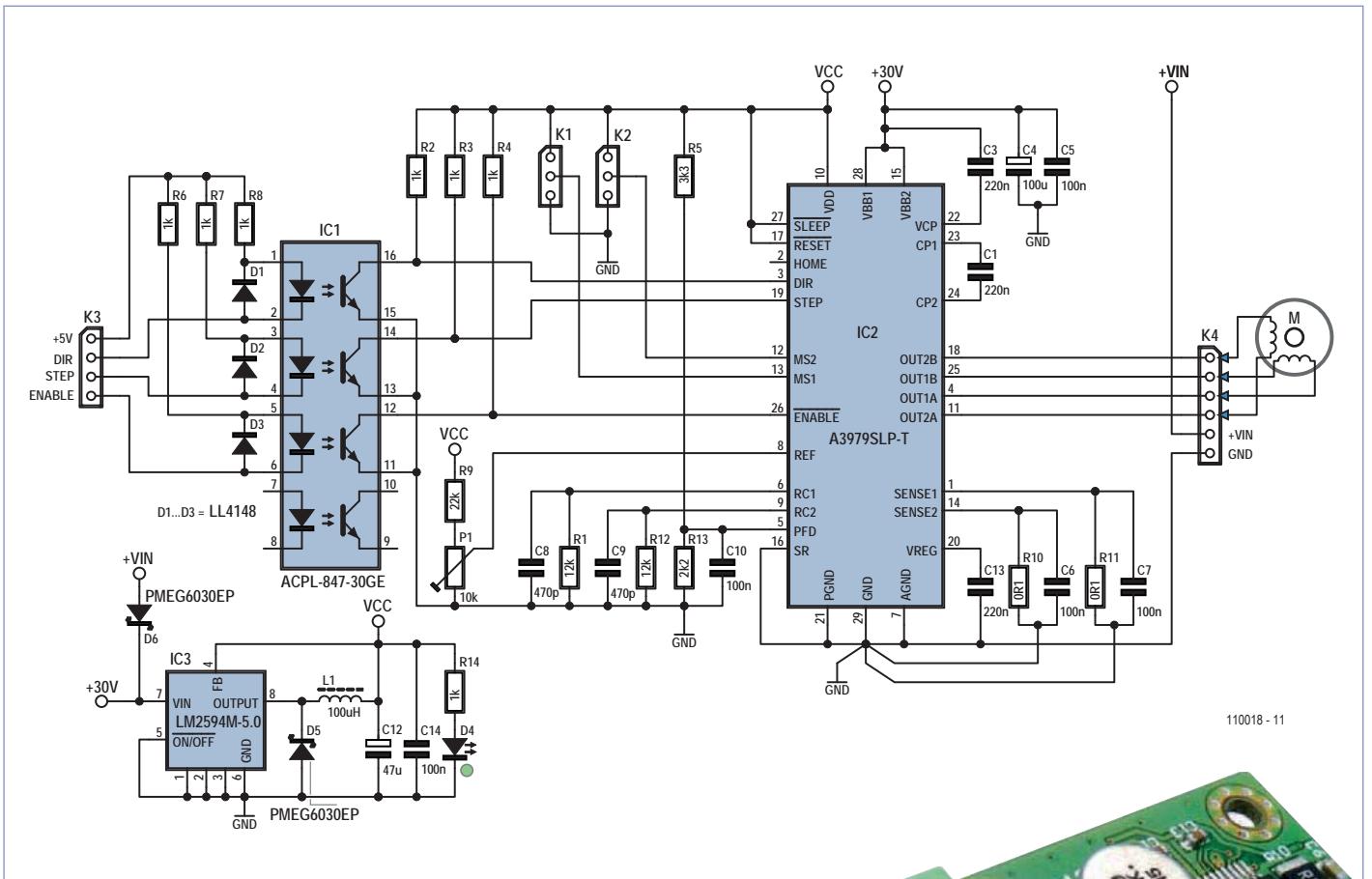


Bild 2. Schaltung des Schrittmotor-Treibermoduls. Die Optokoppler stellen die galvanische Trennung zum steuernden System her.

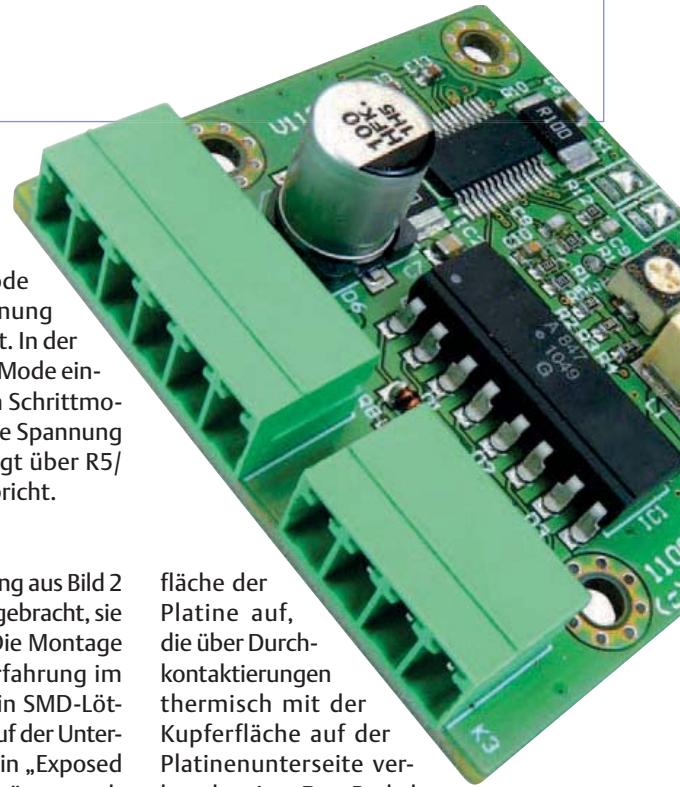
tiv niedrige Induktivitäten, so dass die Blanking-Zeit des Komparators nicht übermäßig lang sein darf. Deshalb haben die Kondensatoren in dieser Schaltung den Wert 470 pF und die Widerstände den Wert 12 kΩ. Die Blanking-Funktion verhindert auch, dass beim Umschalten der Ausgänge fehlerhafte Messungen über die Stromfühler-Widerstände stattfinden.

Wenn bei einem Schritt ein niedrigerer Strom als beim vorangegangenen Schritt fließt, schaltet der A3979 in den Decay-Mode. Der Decay-Mode kann auf Slow, Fast oder Mixed eingestellt sein, er hängt von der Spannung an Eingang PFD (Pin 5) ab. Liegt diese Spannung über  $0,6 \cdot V_{DD}$ , ist der Slow-Decay-Mode aktiv. Liegt sie unter  $0,21 \cdot V_{DD}$ , wird der Fast-Decay-Mode ver-

wendet. Der Mixed-Decay-Mode ist eingestellt, wenn die Spannung zwischen diesen Schwellen liegt. In der Schaltung ist der Mixed-Decay-Mode eingestellt, weil er für die meisten Schrittmotor-Typen die beste Wahl ist. Die Spannung an Eingang PFD des A3979 liegt über R5/R13 auf 2 V, was  $0,4 \cdot V_{DD}$  entspricht.

### Miniplatine

Die Schrittmotor-Treiberschaltung aus Bild 2 ist auf der Platine in Bild 3 untergebracht, sie ist nur 43 mm · 47 mm groß. Die Montage der SMD-Bauteile erfordert Erfahrung im manuellen SMD-Löten, oder ein SMD-Löt-ofen übernimmt diese Arbeit. Auf der Unterseite des A3979 befindet sich ein „Exposed thermal pad“, der die Verlustwärme nach außen führt. Der Pad liegt auf einer Kupfer-



fläche der Platine auf, die über Durchkontaktierungen thermisch mit der Kupferfläche auf der Platinenunterseite verbunden ist. Der Pad des A3979 muss im gleichen Arbeitsgang wie die



## Stückliste

### Widerstände (SMD 0603):

R1,R12 = 12 k  
R2...R4,R6...R8,R14 = 1 k  
R5 = 3k3  
R9 = 22 k  
R10,R11 = 0Ω100 (SMD2512, z. B. Bourns CRA2512-FZ-R100ELF, Farnell 1435952)  
R13 = 2k2  
P1 = Trimmopot 10 k (z. B. Vishay TS53YJ103MR10, Farnell 1141485)

### Kondensatoren:

C1,C13 = 220 n (SMD0603)  
C3 = 220 n (SMD0805)  
C4 = 100 µ (Case F, z. B. Panasonic EEFK1H101P, Farnell 9695958)  
C5,C6,C7 = 100 n (SMD0805)  
C8,C9 = 470 p (SMD0603)  
C10,C14 = 100 n (SMD0603)  
C12 = 47 µ (SMD 6032, z. B. Vishay 593D476X9010C2TE3, Farnell 6844626)

### Induktivitäten:

L1 = 100 µH (SMD5750, z. B. Epcos B82442H1104K, Farnell 158896)

### Halbleiter:

D1,D2,D3 = LL4148 (SOD80, Farnell 9843710)  
D4 = LED grün, 20 mA (SMD 0603)  
D5,D6 = PMEG6030EP Schottky-Diode (SOD128, Farnell 1829207)

IC1 = ACPL-847-30GE (SOP16, Farnell 1339045)  
IC2 = A3979SLP-T (Farnell 1521716)  
IC3 = LM2594M-5.0 (SO8, Farnell 9779841)

### Außerdem:

K1,K2 = Lötbrücke auf der Platine  
K3 = Steckverbinder männlich 4-polig gewinkelt, 8 A belastbar, Raster 3,5 mm (z. B. Phoenix Contact 1844236 MC1.5/4-G-3.5, Farnell 1843622)  
Zugehöriger Kabelsteckverbinder weiblich 4-polig, mit Schraubklemmen  
K4 = Steckverbinder männlich 6-polig gewinkelt, 8 A belastbar, Raster 3,5 mm (z. B. Phoenix Contact 1844252 MC1.5/6-G-3.5, Farnell 1843648)  
Zugehöriger Kabelsteckverbinder weiblich 6-polig, mit Schraubklemmen  
Kühlkörper für IC2 (Fischer ICK SMD A 13 SA, Farnell 4302199)  
Zugehöriges, thermisch leitendes doppelseitiges Klebeband 6 · 10 mm  
Platine 110018-1 (siehe www.elektor.de/110018)

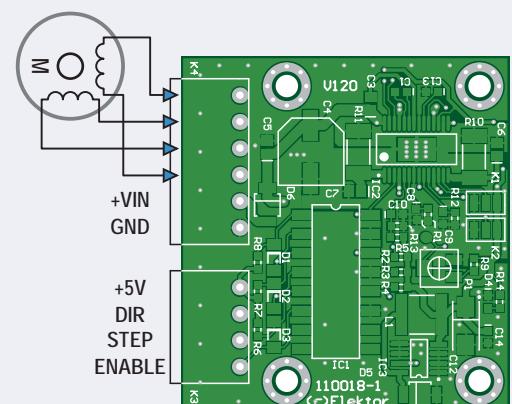


Bild 3. Die Platine ist mit SMDs bestückt, sie hat die kompakten Abmessungen 43 mm · 47 mm.

Anschlusspins gelötet werden. Damit dies gut gelingt, ist das Löten mit einer Heißluft-Lötstation oder einem Lötöfen zu empfehlen. Um auf der sicheren Seite zu sein, wird mit doppelseitigem, thermisch leitendem Klebeband zusätzlich ein kleiner Kühlkörper auf das IC geklebt.

Die einzigen herkömmlich zu montierenden Bauteile sind die Steckverbinder K3 und K4. In der Stückliste sind Typen angegeben, die Ströme bis 8 A vertragen. An die zugehörigen Stecker werden die Kabel über Schraubklemmen angeschlossen.

## Strombegrenzung

Der maximale Strom, der durch die Wicklungen des Schrittmotors fließt, ist mit Trimmoti P1 einstellbar. Dazu muss mit einem Multimeter die Referenzspannung  $V_{ref}$  an dem neben dem Trimmoti befindlichen Testpunkt gemessen werden. Die Referenzspannung  $V_{ref}$  und der Strom  $I_{trip}$  verhalten sich zueinander wie folgt:

$V_{ref}$ (V)	$I_{trip}$ (A)
0,4	0,5
0,6	0,75
0,8	1
1	1,25
1,2	1,5

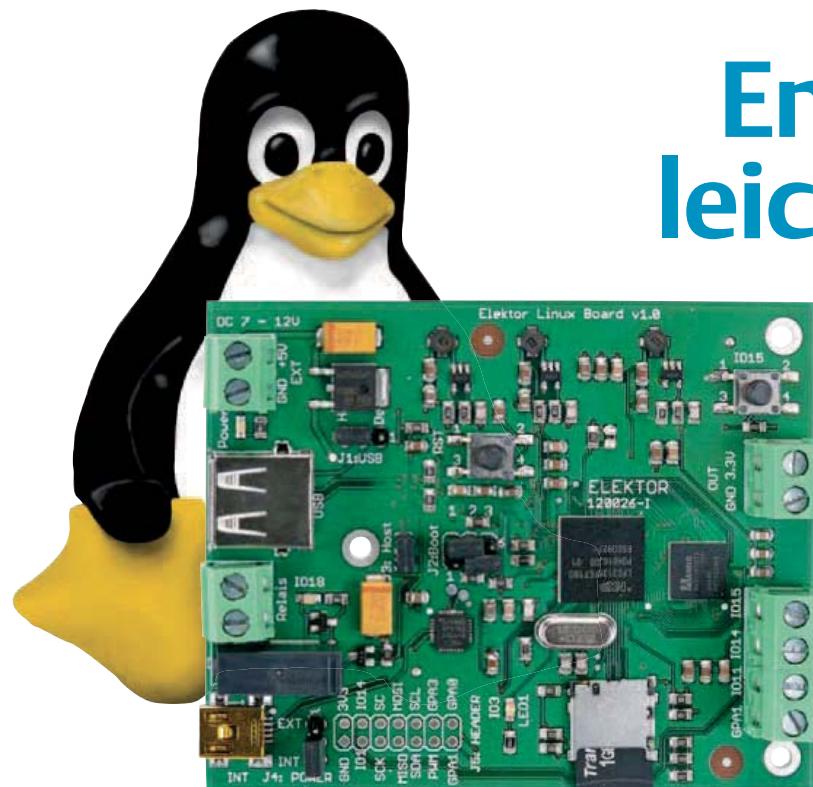
Beim Einstellen ist zu beachten, dass die Eingangsspannung nicht höher als 30 V sein darf.

Damit ist das Schrittmotor-Treibermodul einsatzbereit. Der kompakte Aufbau und die geringen Abmessungen erleichtern das Integrieren auch mehrerer Exemplare in das Zielsystem, zum Beispiel in eine Robotersteuerung.

(110018)gd

## Weblinks

- [1] [www.allegromicro.com/Products/Motor-Driver-And-Interface-ICs/Bipolar-Stepper-Motor-Drivers/~media/Files/Datasheets/A3979-Datasheet.ashx](http://www.allegromicro.com/Products/Motor-Driver-And-Interface-ICs/Bipolar-Stepper-Motor-Drivers/~media/Files/Datasheets/A3979-Datasheet.ashx)



# Embedded Linux leicht gemacht (2)

## Die Hardware

Die Wahl des passenden Mikrocontrollers und der übrigen ICs ist fester Bestandteil zu Beginn eines jeden Projektes. In diesem Teil unseres Kurses schauen wir uns das Schaltbild unseres Boards und die wichtigsten Bauteile genauer an. Dann booten wir zum ersten Mal und sammeln eigene Erfahrungen. Wir werden sehen, wie einfach Linux sein kann!

Von Benedikt Sauter [1]

Im ersten Teil der Artikelserie haben wir einen Blick auf die Geschichte von GNU/Linux und die wichtigsten Komponenten des freien Betriebssystems geworfen. Nun wollen wir uns detailliert der Hardware widmen: dem Elektor-Linux-Board.

### Hauptkomponenten

Die Schaltung ist bewusst einfach gehalten und nur mit den notwendigsten Bauteilen ausgestattet. Es soll jeder Leser die Möglichkeit haben, das komplette System zu verstehen: Vom Anlegen der Betriebsspannung bis zum Starten komplexerer Anwendungen.

Um ein GNU/Linux-Betriebssystem betreiben zu können, benötigt man die klassischen Komponenten einer Computerarchitektur: Den Prozessor, RAM (Arbeitsspeicher) und ROM (nichtflüchtiger Speicher) (**Bild 1**). Wie spielt dies alles auf unserem Board zusammen? Nach dem Start muss ein Mini-Bootloader (das Äquivalent zum

BIOS im PC) gestartet werden, der den Kernel vom ROM in das RAM kopiert. Anschließend wird der Kernel gestartet, der wiederum später Zugriff auf das ROM hat, um nach und nach die gewünschten Anwendungen in das RAM zu kopieren. Schauen wir uns nun die Komponenten im Detail an.

### Der Prozessor

Beginnen wir beim Prozessor. Er befindet sich in der Mitte des Boards und ist ein 12 x 12 mm großer BGA-Baustein. Ursprünglich ist der Linux-Kernel für einen x86er entwickelt worden, der allerdings alles andere als ein typischer Embedded-Prozessor ist. Dank der offengelegten Arbeit der Programmierer und einer durchdachten Softwarestruktur konnte der Kernel aber nach und nach auf die verschiedensten Prozessoren portiert werden. Wesentlich für eine Portierung von Linux auf eine neue Architektur ist die Verfügbarkeit der Toolchain (GCC-Toolchain) [2], die bereits kurz im ersten Artikel dieser Reihe beschrieben wurde. Der Prozessor muss einen Hardware-Timer und eine 32-bit-Architektur

besitzen. Eine MMU (Memory-Management-Unit) ist nicht unbedingt notwendig, doch erst diese ermöglicht es einem Betriebssystem, Anwendungen unabhängig voneinander stabil laufen zu lassen. Jeder Anwendung wird dabei ein eigener virtueller Speicherbereich zugewiesen, auf andere Bereiche hat sie keinen Zugriff. Bis vor kurzem gab es ein Projekt uclinux.org [3], das einen Patch (siehe Textkasten) für den Kernel bereithielt, um diesen ohne MMU zu betreiben. In der Zwischenzeit ist dieser Patch aber fester Bestandteil der Hauptlinie (Mainline) des Kernels. Wir werden aber die MMU unseres Prozessors LPC3131 nutzen und müssen daher nicht auf diesen Patch zurückgreifen.

Unser Prozessor ist ein ARM9 LPC3131 [4] der Firma NXP (ein ARM926 mit einer Befehlssatzversion armv5). Der Prozessor arbeitet mit 180 MHz und verfügt zudem über 192 KB internes SRAM. Über einen internen DRAM-Controller können externe Arbeitsspeicher-Bausteine angesteuert werden. Außerdem sind alle wichtigen Mikrocontrollerschnittstellen

### Elektronik Produkte & Service

- Elektor-Linux-Board, Platine bestückt und getestet 120026-91
- Software-Download (gratis)

Alle Produkte und Downloads sind über die Website zu diesem Artikel erhältlich: [www.elektor.de/120146](http://www.elektor.de/120146)

wie I2C, SPI und UART integriert. Mit 21 GPIO-Signalen, vier A/D-Eingängen, einer LCD-Schnittstelle, einer I2S-Audioschnittstelle und dem Highspeed-USB-Interface (480 Mbit/s) lassen sich bereits viele Features von Linux nutzen. Da das Elektor-Linux-Board nur 2-seitig ohne weitere Lagen geroutet ist, konnten natürlich nicht alle Signale nach außen geführt werden; es sind aber alle Wichtigen dabei.

Der verwendete Prozessor ist für den Einstieg in die Linux-Welt perfekt, da er sich bei Ausstattung und Peripherie auf das Wesentliche beschränkt. Er fällt in die Gruppe der „Low-Cost“- und „Low-Power“-Prozessoren. Klassische ARM9-Kerne bieten zum Teil viel mehr Features an, sind aber auch wesentlich komplizierter zu bedienen. Ist das Grundverständnis jedoch einmal vorhanden, kann man einfach auf aufwändigere Prozessoren umschwenken.

## Der Arbeitsspeicher

Der Prozessor selbst bietet intern nur ein 192 KB großes SRAM. Daher benötigt man einen externen Arbeitsspeicher, in dem später der Kernel, die anderen Komponenten des Betriebssystems und die Anwendungsprogramme ausgeführt werden können. Das interne SRAM wird nur zum Ausführen des Bootloader-Programms genutzt. Sobald der Bootloader den externen Speicher fertig konfiguriert hat (Einstellung des dort angesiedelten Controllers für das Timing, für das Aktualisieren der Speicherzellen u.a.), wird das interne SRAM nur noch verwendet, wenn es um Geschwindigkeit geht (Cache für das Betriebssystem oder Anwendungen). Als externer Speicher wird ein dynamischer Speicher (SDRAM) verwendet. Die Chips bieten für wenig Geld eine hohe Speicherkapazität. Um ein passendes IC aussuchen zu können, muss man lediglich einen Blick in das Datenblatt des LPC3131 [4] werfen. Diesem kann entnehmen, dass ein 16 bit breiter externer Datenbus mit einem maximalen Adressraum von 128 MB unterstützt wird. Als besonderes Feature bietet der LPC3131 eine Unterstützung für sogenannte Low-Power-SDRAM-Bausteine an. Diese sind hinsichtlich ihres Stromverbrauchs nochmals optimiert. Auf dem Elektor-Linux-Board verwenden wir einen

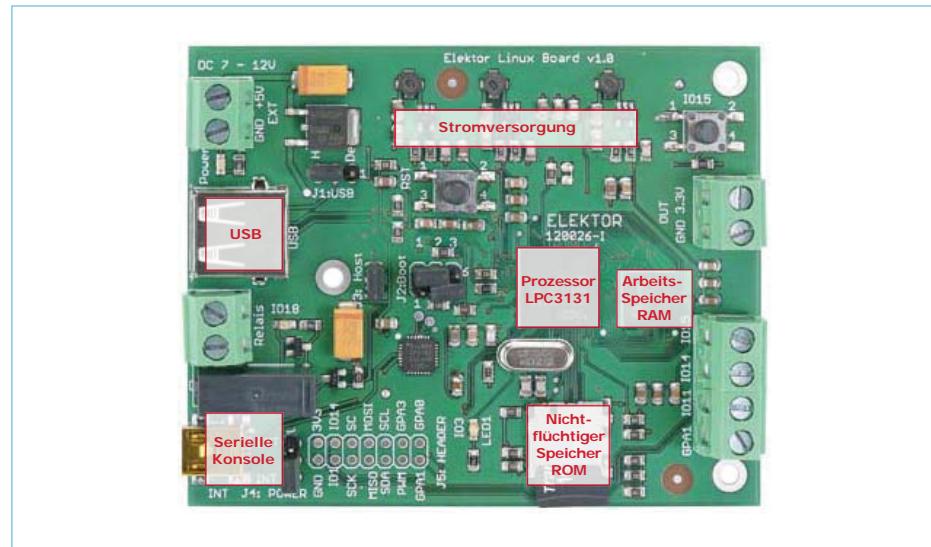


Bild 1. Die wichtigsten Komponenten des Elektor-Linux-Boards.

8 MB großen Baustein. Alternativ kann dieser später durch einen 32 MB großen Chip ersetzt werden. Da Arbeitsspeicher in der Halbleiterwelt unter dem Standard JEDEC [5] normiert ist, kann man bei vielen Herstellern einen passenden Speicher finden. In der aktuellen Schaltung haben wir den Baustein A43E26161 [6] von AMIC verwendet. Der Low-Power-SDRAM-Baustein benötigt eine Spannung von 1,8 V.

## Die Festplatte

Die „Festplatte“ unseres Boards ist eine gewöhnliche microSD-Karte (**Bild 2**), wie man sie heutzutage in fast jeder Digitalkamera und vielen Handys findet. Im Wesentlichen ist diese ein NAND-Speicher mit einem kleinen Controller. Einen solchen Speicher spricht man im Vergleich zu NOR-Speicher immer block- bzw. sektorweise an. Unsere Standard-Karte hat eine Kapazität von 1 GB, jederzeit kann eine größere gewählt werden. Zur guten Verfügbarkeit einer solchen microSD-Karte kommt noch der wesentliche Vorteil hinzu, dass man dank der Karte keinen speziellen Programmer für das Board braucht. Alle Programme und Dateien kann man einfach am PC mit Hilfe eines einfachen Kartenlesers auf die Karte kopieren.

## Die Schaltung

Nun schauen wir uns einmal den Schaltplan (**Bild 3**) an. Los geht es bei der Stromversorgung. Gespeist wird das Board zum Beispiel per USB-Kabel über den Anschluss X2. Gleichzeitig lässt sich dann direkt die serielle Konsole des Linux-Systems via USB ansprechen; CP2102 (IC7) dient dabei als USB/UART-Konverter.

Wenn das System ohne Konsole auskommt, bzw. die UART-Schnittstelle für eine Anwendung reserviert ist, kann man eine externe Spannungsquelle an Anschluss X6 hängen. Hierüber lässt sich das Board auch mit höheren Spannungen versorgen, da sich vor den eigentlichen Spannungsreglern für die Prozessorspannungen noch ein MC7805ABDT (IC8) Linearregler befindet. Wir empfehlen,



Bild 2. Eine microSD-Karte und ein SD-Karten-Adapter.

hier mit 7..12 V Gleichstrom zu arbeiten. Ob die externe oder die USB-Versorgung verwendet werden soll, stellt man über den Jumper J4 ein.

Von der internen Spannung +5 V geht es dann direkt auf die getakteten Regler IC1 bis IC3 (sie erlauben eine maximale Eingangsspannung von knapp 6 V). Über die Widerstände R6, R7 und R4 wird die entsprechende Ausgangsspannung an den Reglern eingestellt. Es werden benötigt: 3,3 V für

# MIKROCONTROLLER

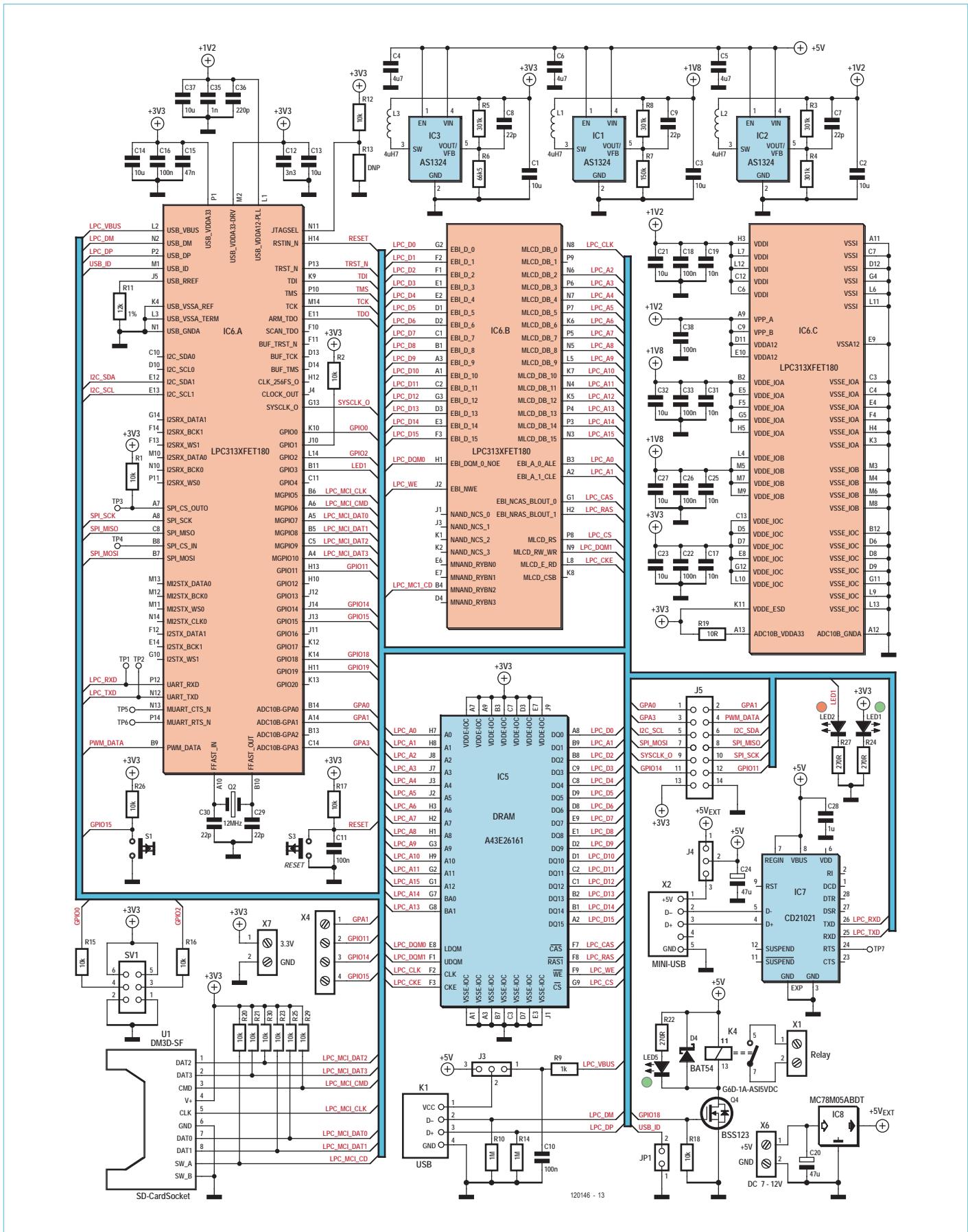


Bild 3. Schaltplan des Elektor-Linux-Boards.

den LPC3131, 1,8 V für den Arbeitsspeicher und nochmals 1,2 V für den ARM9-Kern des Prozessors. Nach Anlegen der Betriebsspannung werden die „Enable“-Signale (jeweils Pin 1) der Regler direkt aktiviert und die Erzeugung der Spannungen 1,2 V bis 3,3 V startet unverzüglich. Aufwendigere ARM-Prozessoren benötigen hier oft ein stufenweises Einschalten der Spannungen.

Jetzt ist das Board mit Strom versorgt. Als Nächstes schauen wir uns den LPC3131 im Schaltbild an. Er findet sich unter der Nummer IC6 mit den Blöcken IC6.A bis IC6.C wieder. Das Schaltbild wird übersichtlicher, wenn man große Bausteine nach logischen Gruppen aufteilt. In Block IC6.A sind alle wesentlichen Schnittstellen sowie die Ein- und Ausgänge des Prozessors zusammengefasst. In Block IC6.B ist der Daten- und Adressbus gruppiert, und schließlich findet man noch in Block IC6.C alle Stromversorgungsanschlüsse des Chips.

Ganz links unten im Schaltplan ist der SD-Karten-Halter U1 zu sehen. In diesem steckt typischerweise die SD-Karte, von der die Firmware bzw. das Linux-System geladen wird. Der LPC3131 kann jedoch von verschiedenen Speichern bzw. Schnittstellen aus booten. Die für unser Elektor-Linux-Board möglichen Varianten sind über die Steckbrücke SV1 einstellbar (siehe Bild 4). So lässt sich ein Boot via SD-Karte oder über die oben erwähnte USB/UART-Schnittstelle X2 durchführen. Eine weitere Möglichkeit ist das Booten über den zweiten USB-Anschluss K1 (siehe unten), wobei dann ein DFU-Programmer (Software-Standard für Bootloader) genutzt wird.

Für einfache Experimente oder eine Statusanzeige findet man noch die LED2 auf dem Board. Die LED1 leuchtet dagegen immer, sobald die Betriebsspannung anliegt. Mit Hilfe des Tasters S1 kann man an GPIO15 später Eingaben abfragen. Für eine spätere Steuerung externer Elektronik ist noch ein Relais (X1) vorgesehen, dazu aber an entsprechender Stelle in der Artikelreihe mehr.

Die gesamte Stromaufnahme des Boards liegt momentan bei ca. 85 bis 100 mA, was einer Leistungsaufnahme von etwa einem halben Watt entspricht.

## Schnittstellen

Linux wird dann spannend, wenn man direkt auf die vielen verschiedenen Mikrocontrollerschnittstellen wie digitale Ein- und Ausgänge, analoge Eingänge, PWM, I2C, SPI zugreifen kann. Die Controllerpins sind auf den 14-poligen Stecker J5 bzw. den Anschluss X4 herausgeführt.

## GPIO

Die 3,3-V-kompatiblen Ein- und Ausgänge GPIO11, GPIO14 und GPIO15 sind an den Schraubklemmen X4 verfügbar. Parallel kann man GPIO14 und GPIO11 auch über den 14-poligen Stecker J5 nutzen.

## A/D-Kanäle

Für einfache analoge Messungen können drei von maximal vier verfügbaren Kanälen genutzt werden. Als Referenzspannung werden aktuell 3,3 V verwendet. GPA1, GPA0 und GPA3 findet man an J5, GPA1 zusätzlich an einer Schraubklemme.

## I2C

Der LPC3131 kann I2C-Master und -Slave sein. Primär im Fokus steht jedoch die Masterfunktionalität. Mit dieser können wir externe Bausteine (wie z.B. einen PCA9555 I/O-Expander) einfach ansteuern. Die Signale SDA und SCL sind an J5 verfügbar.

## SPI

Genauso wie I2C-Bausteine kann man SPI-Peripherie ansteuern. Die Signale MOSI, MISO, SCK findet man ebenso an J5. Auf den Chip-Select-Pin OUT0 und (falls der LPC3131 als SPI-Slave betrieben wird) auf CS\_IN hat man über die Testpunkte TP3 und TP4 Zugriff.

## PWM

Geht es darum, einen Servo anzusteuern oder eine analoge Spannung zu erzeugen, dann ist ein PWM-Ausgang perfekt. Der LPC3131 bietet einen Hardware-PWM-Ausgang. Der Anschluss findet sich ebenfalls an J5.

## UART

Eine einfache Kommunikation, vor allem zwischen Mikrocontrollern, kann man sehr einfach mit dem UART-Protokoll realisieren. Leider hat der Prozessor nur einen UART-

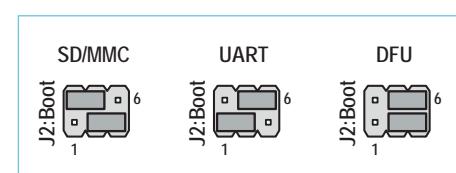


Bild 4. Bootloader-Jumper.

Ausgang, welcher in der Standardkonfiguration für die Root-Konsole verwendet wird.

Arbeitet man später aber mit einem Netzwerk-Anschluss (siehe unten), dann kann man die Root-Konsole auch über diesen Kanal verwenden, und entsprechend das UART-Interface für eigene Anwendungen nutzen. RX und TX sind hierfür über die Testpunkte TP1 und TP2 zugänglich.

## USB

An den USB-Anschluss K1 lassen sich viele Erweiterungen an das Elektor-Linux-Board anschließen. Einerseits gibt es für Linux schon lange sehr viele verschiedene Programme für USB-Geräte (Sound, Video, UTMS, WLAN, LAN, etc.). Andererseits kann man mittlerweile viele einfache 8-bit-Mikrocontroller schön per USB ansteuern. Durch solche Co-Prozessoren bzw. Steuercarder lässt sich ein Linux-System perfekt ergänzen.

## Netzwerk

Auch ein Anschluss an ein LAN- bzw. WLAN-Netzwerk ist realisierbar, und zwar über die USB-Buchse K1. Die Schnittstelle kann wahlweise im Host- oder Device-Modus betrieben werden (USB-OTG). In ersterem Fall lassen sich zum Beispiel LAN- oder WLAN-Adapter in USB-Stick-Form anschließen. Im Device-Mode fungiert das Linux-Board als USB-Gerät (z.B. als virtuelle USB-Netzwerk-karte). Wie das alles funktioniert, werden wir natürlich noch zeigen.

## Der erste Boot

Bevor wir das Board zum ersten Mal gemeinsam booten lassen, schauen wir uns einmal an, was während des Bootprozesses passiert. Um mit dem Board arbeiten zu können, verbindet man sich per USB mit einem Computer. Dort benötigt man ein RS232-

# MIKROCONTROLLER

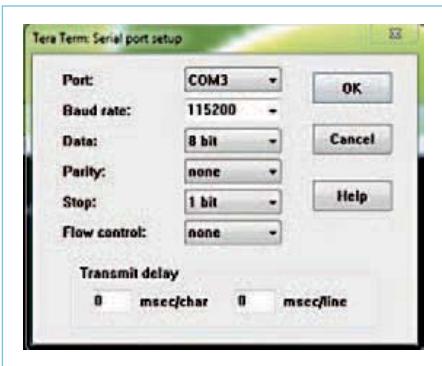


Bild 5. Terminalprogramm Teraterm.

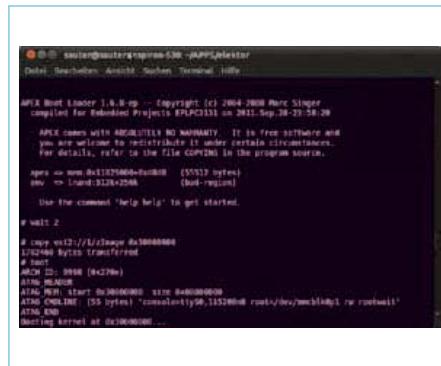
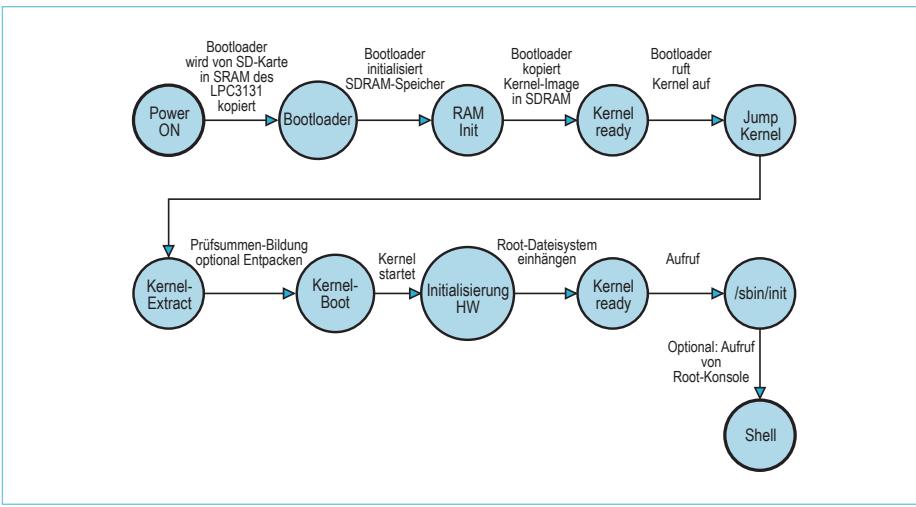


Bild 7. Bootloader APEX



## Bild 6. Bootablauf.

Terminalprogramm. Unter Windows kann man dafür TeraTerm oder Hyperterminal verwenden. Hat man einen Linux-Rechner zur Hand, kann man picocom, microcom oder ein ähnliches Programm benutzen.

Unter einem Standard-Ubuntu-System kann man sich auf der Linux-PC-Konsole mit

```
sudo apt-get install picocom
```

unc

```
picocom -b 115200 /dev/ttyUSB0
```

mit dem Elektor-Linux-Board verbinden

Unter Windows geht dies natürlich eben-

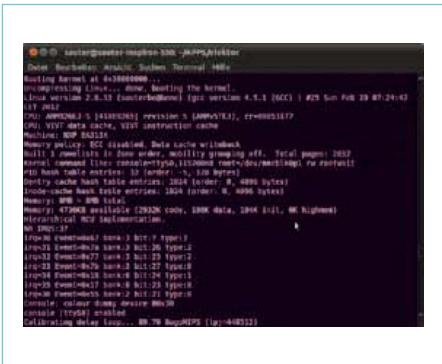


Bild 8. Linux-Kernel-Bootmeldungen.

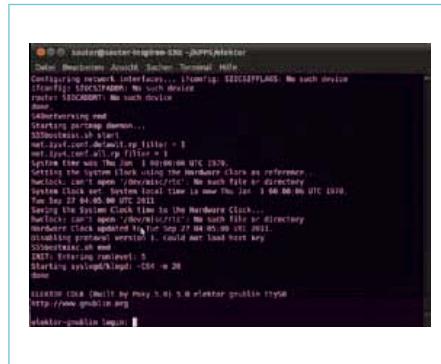


Bild 9. Login-Prompt

falls. Den VCP-Treiber für den Seriell/USB-Konverterchip muss man manuell installieren [7]. Mit TeraTerm [8] oder dem Hyperterminal kann man sich dann mit der neuen COM-Schnittstelle verbinden. Die Einstellungen findet man im Screenshot (**Bild 5**). Nachdem man sich mit der Schnittstelle verbunden hat, sieht man die Ausgaben des Bootloaders und des Kernels im Terminalprogramm auf dem PC.

Sollte die Ausgabe des Bootens schon vorbei sein, kann man mit einem Tastendruck auf Reset (RST) den Bootvorgang jederzeit neu auslösen. In **Bild 6** ist der Bootablauf grafisch dargestellt:

- Ein Power-On- und Reset-Interrupt wird ausgelöst.
  - Der interne Bootloader im LPC3131 versucht (abhängig vom Bootloader-Jumper) die Bootloader-Firmware in das interne SRAM zu kopieren (in unserem Fall von der SD-Karte).
  - Die Firmware wird in das interne SRAM kopiert und dort gestartet.
  - Die Firmware (Bootloader APEX) initialisiert das externe SDRAM und kopiert den Kernel von der SD-Karte in das SDRAM (**Bild 7**).
  - Die Firmware ruft den Kernel auf.
  - Der Kernel entpackt sich selbst und startet anschließend automatisch (**Bild 8**).
  - Der Kernel initialisiert die Hardware (UART für die Konsole u.a.).
  - Der Kernel hängt während des Bootvorgangs das Root-Dateisystem ein (liegt auf der SD-Karte).
  - Der Kernel startet den ersten Prozess/sbin/init.
  - Der Kernel startet auf der UART-Schnittstelle die Konsole.

Nachdem jetzt der Login-Prompt (**Bild 9**) auf eine Eingabe wartet, kann man sich als Benutzer „root“ am System anmelden: Dazu gibt man einfach root ein und drückt anschließend auf die Enter-Taste.

Erste Erfahrungen kann man nun mit den Befehlen machen, die wir in der **Tabelle 1** zusammengestellt haben. Zum Beispiel sollte man einmal eine Test-Datei anlegen

## Begriffe aus der Source-Code-Welt

### Patch

Ein Patch ist eine Datei, die Änderungen des ursprünglichen Quelltextes mit einer Hilfssoftware einspielen kann. Baut man eine eigene Erweiterung für ein Programm, lassen sich außerdem mittels dieser Hilfssoftware die Unterschiede zum Original-Quelltext ermitteln und eine Patch-Datei generieren.

Mit den Patch-Dateien können alle Mitglieder eines Entwicklungsteams ihren Quelltext auf den gleichen Stand bringen. Die Patch-Dateien sind das Rückgrat der Open-Source-Entwicklung, denn alle großen Projekte werden von vielen verschiedenen Entwicklern bearbeitet.

### Hauptlinie / Mainline

Die Entwicklung von großen Open-Source-Projekten ist unterschiedlich organisiert. So gibt es meist einen Maintainer. Dieser pflegt den Quelltext, speist die Patch-Dateien anderer Entwickler ein und erzeugt regelmäßig neue Programm-Versionen für die Anwender der Software. Beim Linux-Kernel gibt es eine sogenannte Hauptlinie, die von Linus Torvalds und seinem Team gepflegt wird. Da es aber eine Fülle an Patch-Lieferanten für Erweiterungen gibt, dauert es oft einige Zeit, bis neue Features in die Hauptlinie aufgenommen sind. Vor diesem Zeitpunkt kann man die Patch-Dateien direkt von den Entwicklern (über deren Homepage)

herunterziehen und selbst seinen Kernel patchen. Ziel ist es aber, alles in die Mainline aufzunehmen.

### Maintainer

Der Maintainer ist meist eine Person (oft der Erfinder des Projekts). Er pflegt die Quelltexte als oberste Instanz, spielt Patch-Dateien ein und gibt regelmäßig eine neue Version des Quellcodes frei. Bei Linux gibt es für die verschiedenen Subsysteme wie Netzwerk, Treiber, Dateisysteme u.a. eigene Maintainer, die sich um die Quelltexte kümmern und so die Stabilität und Verfügbarkeit sichern.

und diese editieren. Auch ein Verzeichnis ist schnell erzeugt. Wer ein wenig übt, kommt später gut mit dem Dateisystem zurecht. Als kleines Highlight nehmen wir uns vor, die rote LED auf dem Board ein- und wieder auszuschalten. Doch wie geht das?

Eine Grundidee von Unix lautet: Alles ist eine Datei! Jedes Gerät ist im Dateisystem als Datei symbolisiert, von der man lesen und auf die man man schreiben kann. So auch unsere LED!

Zuerst muss man folgendes eingeben:

```
cd /sys/class/gpio
```

```
echo 3 > export
```

```
cd gpio3
```

```
echo out > direction
```

Dies konfiguriert den Pin für die Ausgabe. Die Eingabe von

```
echo 1 > value
```

schaltet die LED ein. Und mit

```
echo 0 > value
```

kann man sie wieder ausschalten. So einfach kann Linux sein!

Bevor Sie mir der Arbeit stoppen, müssen Sie das Board (wie ein PC) vor dem Ausschalten herunterfahren. Dies macht man wie in der Tabelle 1 beschrieben mit halt. Sobald

System hält. auf der Konsole erscheint, kann das Board abgesteckt werden.

### Ausblick

Im nächsten Artikel werden wir das erste Mal Quelltexte herunterladen und kleine Programme selbst schreiben. Ein etwas langerer Abschnitt unseres Kurses wird die Installation der Entwicklungsumgebung werden. Doch auch hier machen wir es unseren Lesern einfach, indem wir ein fertiges Image zum Download anbieten, das man in einer virtuellen Maschine verwenden kann.

(120146)

### Weblinks

- [1] [sauter@embedded-projects.net](mailto:sauter@embedded-projects.net)
- [2] <http://gcc.gnu.org>
- [3] [www.uclinux.org](http://www.uclinux.org)
- [4] <http://ics.nxp.com/products/lpc3000/datasheet/lpc3130.lpc3131.pdf>
- [5] [www.jedec.org](http://www.jedec.org)
- [6] [www.amictechnology.com/pdf/A43E26161.pdf](http://www.amictechnology.com/pdf/A43E26161.pdf)
- [7] [www.silabs.com/products/mcu/Pages/USBtoUARTBridgeVCPDrivers.aspx](http://www.silabs.com/products/mcu/Pages/USBtoUARTBridgeVCPDrivers.aspx)
- [8] <http://ttssh2.sourceforge.jp/>

**Tabelle 1: Wichtige Linux-Befehle.**

Befehl	Beschreibung
ps ax	Anzeigen aller Prozesse
free	Speicherauslastung
date	Aktuelle Uhrzeit ausgeben
touch test.txt	Anlegen einer leeren Datei test.txt
rm test.txt	Löschen der Datei test.txt
nano test.txt	Datei test.txt im Editor öffnen (STRG-o Datei schreiben, STRG-x Editor beenden)
df	Partitionen anzeigen
mkdir test	Anlegen des Verzeichnisses „test“
cd test	Wechseln in das soeben anlegte Verzeichnis „test“
cd ..	Eine Verzeichnis-Ebene nach oben wechseln
rmdir test	Verzeichnis „test“ löschen
cat /proc/cpuinfo	Ausgabe der Datei /proc/cpuinfo
halt	Linux-System herunterfahren

- ✓ Innovative Produkte, viele aus eigener Herstellung
- ✓ Ausführliche Produktbeschreibungen
- ✓ Kauf ohne Risiko

## Gefahren erkennen – Warnmelder können Leben retten

### CO-Melder mit LC-Display



WF-10 26 40

€ 44,95

- LC-Display zeigt Kohlenmonoxid-Konzentration ab 30 ppm an
- 5 Jahre Hersteller-Garantie
- Automatischer Geräte-Selbsttest (End-of-Life-Anzeige)
- Geprüft und zertifiziert nach EN 50270:1999, EN 60335-1:1994, EN 50291:2010

### VdS-Funk-Rauchmelder BidCoS®



ab

€ 49,95

Einzeln  
WF-07 66 76  
3er-Set  
WF-10 61 68

Sie sparen € 10,85

€ 49,95  
€ 139,-

- Bidirektionales Funkprotokoll für hohe Übertragungssicherheit und Statusmeldung
- Selbsttest-, Batterie-Überwachung, Sirene, LED-Notbeleuchtung
- 4-Jahre Batterielebensdauer, Lieferung inkl. Batterien 3x Mignon/AA/LR6
- VdS-Nr. G209094



Diskutieren Sie interessante Themen und Produkte im ELV-Technik-Netzwerk. Profitieren Sie von der Kompetenz unserer Kunden und Mitarbeiter:

[www.netzwerk.elv.de](http://www.netzwerk.elv.de)

## Heimvernetzung über das vorhandene Stromnetz

### devolo dLAN 200 AVsmart+ Starter Kit



WF-09 58 68

€ 97,95

- Standards: Ethernet-Spezifikation IEEE 802.3, IEEE 802.3x, IEEE 802.3u, Auto MDI/X, HomePlug AV
- Hoher Datendurchsatz von bis zu 200 Mbit/s
- 128-Bit-AES-Verschlüsselung per Knopfdruck
- Auf 300 m Leitungslänge in jedem Raum verfügbar

### EDIMAX Powerline-Set HP-2003AVK



WF-10 29 18

€ 44,95

- Standards: HomePlug AV, IEEE 802.3, IEEE 802.3u
- Reichweite bis zu 300 m Leitungslänge
- Datenübertragung mit bis zu 200 Mbit/s
- 128-Bit-AES-Verschlüsselung
- LED-Anzeigen für Power, Ethernet und Powerline



**Immer und überall vernetzt**

Informationen und Technologien finden Sie in unserer Heimvernetzungs-Welt unter:

[www.heimvernetzung.elv.de](http://www.heimvernetzung.elv.de)



## LED-Werkstatt-Luppenleuchte „slim“



Für feine, anspruchsvolle Arbeiten in Labor und Werkstatt, in der Elektronik, Feinmechanik, Labortechnik, für Sammler, Forschung und Ausbildung. Jetzt mit moderner und sparsamer LED-Technik.

- Nur 6 W Leistungsaufnahme – ca. 72 % Energieersparnis gegenüber Standard-Luppenleuchten mit 22-W-Leuchtstoffring
- Kein 50-Hz-Flimmern, somit keine Stroboskop-Effekte und Verfälschungen
- 90 LEDs mit 6 W Leistungsaufnahme
- Kaltweiß (ca. 6400 K)
- Robuste Tischbefestigung aus Vollmetall für standfesten Betrieb (0–60 mm)
- Sichere Fixierung des Lampenkopfes – kein Absinken, kein unbeabsichtigtes Verstellen
- Wartungsfreies Haltefeder-System innenliegend, damit verbesserte Optik und höhere Funktionssicherheit
- Echtglaslinse, ø 125 mm
- 3 Dioptrien, 1,75fache Vergrößerung, mit Abdeckung
- 90-cm-Gelenkarm
- GS-geprüft

Aktion bis 31.05.2012  
**WF-09 53 82**

**€ 49,95**  
statt € 69,95

Durchschnittliche Bewertung der ELV-Kunden im Web-Shop

★★★★★ (Stand 04.2012)  
(39 Produktbewertungen)

## ELV Laser-Entfernungsmesser LDM-100, IP 54

- Bis 50 m Reichweite
- Messen ab Vorder-/Hinterkante
- 20 Messwertspeicher für Mess- und Rechenergebnisse
- Flächen- und Volumenmessung
- Addition/Subtraktion
- Indirekte Höhenmessung oben/unten
- Auch im Freien einsetzbar

Durchschnittliche Bewertung der ELV-Kunden im Web-Shop

★★★★★ (Stand 04.2012)  
(40 Produktbewertungen)



**WF-09 45 44**

**€ 69,95**

## EDIMAX WLAN-Repeater EW-7438RPN

- Erweitert die Reichweite der vorhandenen 802.11b/g/n-Wi-Fi-Netzwerke
- Findet den besten Aufstellort für die optimale Wi-Fi-Abdeckung mit Signalstärke-LED
- Kompakte Wandsteckbauweise für bequeme Anbringung
- Hat eine Hardware-WPS-Taste (Wi-Fi Protected Setup)
- Datenübertragungsgeschwindigkeiten bis zu 300 Mbit/s



**WF-10 28 88**

**€ 29,95**

## 10-W-LED-Lampe E27, Warmweiß

- Schlanke, unauffälliger Kühlkörper – nahezu überall als direkter 60-W-Glühlampen-Ersatz (A60 Retrofit) einsetzbar
- Weiter Versorgungsspannungsbereich: 100–240 VAC, 50/60 Hz, damit auch unempfindlich gegen Spannungsschwankungen
- Angenehm warmweiß, Farbtemperatur 2600–2900 K
- Lichtstark: 810 Lumen
- Abstrahlwinkel: 130°
- Hohe Lebensdauer: bis 40.000 h

Durchschnittliche Bewertung der ELV-Kunden im Web-Shop

★★★★★ (Stand 04.2012)  
(12 Produktbewertungen)



**WF-10 17 72**

**€ 27,95**

## LED-Taschenlampe mit Vario-Fokus



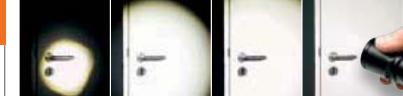
**WF-08 27 58**

**€ 24,95**

- Verstellbarer Lichtkegel: von Spot bis Flood, Reichweite bis 500 m!
- Starkes Licht: 3000 Lux in 1 m Entfernung, ca. 120 Lumen
- 3-W-Cree-LED, Lebensdauer ca. 30.000 Stunden
- Betrieb mit 3 Micro-Batterien (nicht im Lieferumfang)
- Kompakt: ø 30 mm, Länge: 135 mm

Durchschnittliche Bewertung der ELV-Kunden im Web-Shop

★★★★★ (Stand 04.2012)  
(53 Produktbewertungen)



# Heliostat

## Sonne und Sternen auf der Spur



Heliostate sind elektromechanische Antriebe, die bewegten Himmelsobjekten folgen. Mit solchen Systemen können Solarmodule der Sonne nachgeführt werden, Parabolantennen lassen sich wahlweise auf unterschiedliche Satelliten ausrichten, und Fotoreihen bewegter Planeten sind möglich. Nachfolgend beschreiben wir ein unkompliziertes System, das mit zwei Servos arbeitet. Das Steuern der Servos übernimmt ein Programm, das auf einem PC läuft.

Von Zeno Otten (NL)

Unser Heliostat folgt der Richtung, aus der die Sonne vom Himmel strahlt, damit beispielsweise ein daran gekoppeltes Solarmodul möglichst viel Energie auffängt. Abhängig vom geografischen Standort und von der genauen Tageszeit berechnet ein PC-Programm die aktuelle Sonnenposition als horizontalen und vertikalen Winkel.

Das hier beschriebene System kann keine tonnenschweren Solarmodule oder meterhohen Satellitenschüsseln bewegen. Es ist als Modell gedacht, mit dem Erfahrungen gewonnen und Ideen gesammelt werden können. Die Prinzipien der mechanischen Konstruktion und der elektronischen Steuerung sind jedoch auf große Systeme übertragbar.

### Positionieren mit Motoren

Wenn elektronische Steuerungen Objekte positionieren, sind häufig Schrittmotoren oder so genannte Servos im Spiel. Schrittmotoren können durch gepulste Ströme

relativ unkompliziert in die gewünschten Positionen gebracht werden. Außerdem sind hohe Kraftschlüsse erreichbar, so dass Schrittmotoren ihre Positionen im inaktiven Zustand nur unter einem gewissen äußeren Kraftaufwand ändern. Nachteilig kann die Eigenschaft sein, dass Schrittmotoren ihre Drehwinkel nur in definierten Schritten ändern, dazwischen liegende Positionen sind nicht anfahrbar. Der kleinste Drehwinkel vieler gebräuchlicher Typen beträgt  $360^\circ/200=1,8^\circ$ . Ein weiterer Nachteil liegt darin, dass keine Rückmeldung der tatsächlich erreichten Drehposition stattfindet. Servo-Motoren haben zwar niedrigere Kraftschlüsse, doch sie bieten einen wichtigen Vorteil: Im Motor ist ein Potentiometer integriert, das einer proportionalen Steuerung die aktuelle Position als Widerstands- oder Spannungswert rückmeldet. Dadurch können Servo-Motoren fast stufenlos in nahezu beliebige Positionen drehen. Ein willkommener Nebeneffekt ist die Selbstkorrektur, falls äußere Kräfte die Position verändern. Servos werden ebenfalls durch pulsförmige Signale gesteuert,

hier bestimmt jedoch die Impulsbreite die Position, die der Servo-Antrieb anfährt. Die Art des Antriebs ist für unseren Heliostaten nicht unbedingt entscheidend. In Elektor wurden bereits mehrere Steuerungen für Schrittmotoren beschrieben. Für uns war das ein Grund, diesmal auf einen Antrieb mit Servos zurückzugreifen. Unser Projekt soll gleichzeitig die Vorteile und Möglichkeiten der grafischen Programmierumgebung Profilab demonstrieren. Mit Profilab ist das Entwickeln von Servo-Steuerungen, die auf dem PC laufen, fast schon ein Kinderspiel.

### Servo-Steuerung

Unser Heliostat arbeitet mit zwei Servos aus dem Modellbau [1], ein Servo stellt den Azimut ein, der andere die Deklination. Der Azimut ist der Winkel in horizontaler Richtung, die Deklination ist der Winkel in vertikaler Richtung. Servos werden mit pulsförmigen Signalen gesteuert, wobei die Pulsbreite zwischen 1 ms und 2 ms variiert und die Pulsfrequenz ungefähr 50 Hz beträgt. Die Position der Motorachse ist proportional zur Pulsbreite:

Bei der Pulsbreite 1,5 ms geht die Achse in Mittelstellung, die Pulsbreite 1,25 ms bewirkt eine Linksdrehung um 90°, die Pulsbreite 1,75 ms entspricht einer Rechtsdrehung um 90°. Für alle dazwischen liegenden Werte gilt ebenfalls, dass Impulsdauer und Drehwinkel zueinander proportional sind. Allerdings können die tatsächlichen Drehwinkel infolge der unvermeidlichen mechanischen und elektrischen Toleranzen um einige Prozent abweichen. Das pulsförmige Steuersignal unserer Servos schaltet zwischen 0 V und +5 V, die Motorbetriebsspannung darf im Heliostaten zwischen 4,8 V und 6 V liegen.

In Bild 1 ist die Schaltung dargestellt, mit der die Servos über einen seriellen PC-Port gesteuert werden können. Die Optokoppler sorgen dafür, dass die Signalleitungen DTR und RTS von der übrigen Schaltung galvanisch getrennt sind. Gleichzeitig setzen sie die Signalniveaus des seriellen PC-Ports von +12 V/-12 V auf 0 V/+5 V um. Prinzipiell kann jedes PC-Programm, das auf den Leitungen DTR und RTS variable pulsförmige Signale ausgibt, die Servos steuern. Wenn ein USB-nach-Seriell-Wandler zwischen geschaltet wird, ist das Steuern der Servos auch über einen USB-Port möglich.

### Grafisch programmieren unter Profilab

Dass Programmieren nicht schwierig sein muss und obendrein Spaß macht, dafür tritt die Entwicklungsumgebung Profilab [2] den Beweis an. Durch Verbinden vorbereiteter Funktionsblöcke auf dem Bildschirm (ähnlich LabVIEW) lassen sich Projekte vollständig realisieren, ohne eine einzige Programmzeile schreiben zu müssen. Profilab kann auf parallele und serielle PC-Ports ohne Umwege zugreifen, außerdem unterstützt Profilab viele Hardware-Schnittstellen unterschiedlicher Hersteller.

Die unter Profilab erstellten Projekte können innerhalb der Programmierungsumgebung kompiliert werden. Das Ergebnis sind PC-Programme, die unter Windows eigenständig lauffähig sind, Komponenten von Profilab müssen nicht installiert sein. Ein ebenso einfaches wie anschauliches Beispiel eines Projekts unter Profilab zeigt Bild 2. Dort kann der Wert des Potentio-

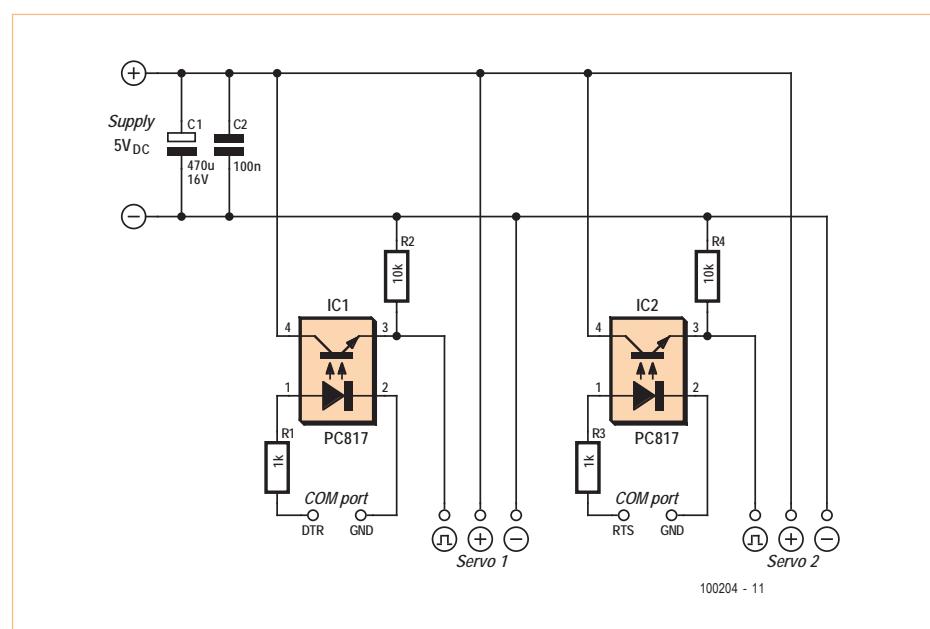


Bild 1. Über diese Schaltung werden die Servos mit dem PC verbunden.

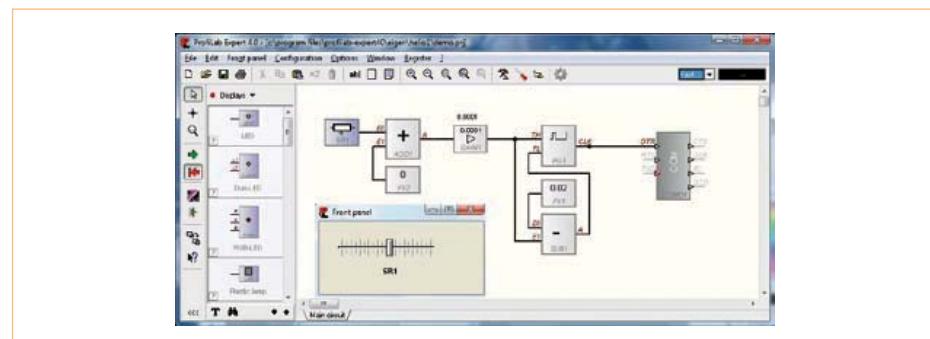


Bild 2. Ein Programm unter der Entwicklungsumgebung Profilab.

meters SR1 zwischen 10 und 20 variieren, was in den Parametern von SR1 festgelegt wird. Das Potentiometer ist im Bedienfenster (Front panel) des Programms platziert. Zum eingestellten Wert addiert Block ADD1 den Wert von Block FV2. Block GAIN1 multipliziert Ausgangssignal A mit dem Faktor 0,0001, so dass sein Ausgangssignal im Bereich 0,001...0,002 liegt. Dieses Signal ist das Eingangssignal von Block PG1, einem Rechteckoszillator, dessen Impuls- und Pausenzeiten mit TH und TL einstellbar sind. Das Signal TH gelangt auch zum Block SUB1, der vom Wert 0,02 des Blocks FV1 den Wert des Signals TH subtrahiert. Die Differenz ist

der Wert des Signals TL an Block PG1. Die Grundeinstellung der Simulationszeit beträgt bei Profilab eine Sekunde. Wenn das Programm läuft, erscheint ein pulsförmiges Signal auf Leitung DTR des seriellen Ports. Abhängig von SR1 beträgt die Impulsdauer 1...2 ms, während die Frequenz bei 50 Hz liegt. Genau dieses Signal ist geeignet, unsere Servos zu steuern. Die Fähigkeiten und Möglichkeiten, die in Profilab stecken, sind mannigfaltig. Außerdem beschriebenen grafischen Verfahren können auch vom Anwender definierte Blöcke in Form von DLL-Bibliotheken importiert werden. Davon machen wir Gebrauch, um

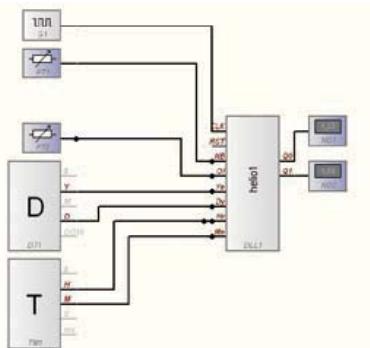


Bild 3. Die selbst entwickelte DLL „helio1“ berechnet die Position der Sonne.

unter Profilab ein Programm zu erstellen, das unseren Heliostaten entlang der Sonnenbahn führt.

### Mathematisches Heliostat-Modell

Für das Beschreiben der Sonnenbahn aus dem Blickwinkel beliebiger Punkte auf der Erde existieren zahlreiche mathematische Modelle. Wir machen von einem hochpräzisen Modell Gebrauch [3], das den Azimut (horizontaler Winkel) und die Deklination (vertikaler Winkel) in Winkelgrad berechnet. Eigentlich ist es kaum sinnvoll, unseren Heliostaten in zehntel Grad oder noch genauer zu positionieren. Da aber auch älteste PCs über genügend Rechenleistung für die hohe Genauigkeit verfügen, sind keine damit verbundenen Probleme zu erwarten.

In der Hilfe von Profilab wird an einem Beispiel demonstriert, wie aus Programmzeilen die DLL-Datei eines vom Anwender erstellten Blocks entsteht. Zuerst muss die Anzahl der Eingänge und Ausgänge festgelegt werden, dann ist der Programm Inhalt zu schreiben, der die Funktionen zwischen den Eingängen und Ausgängen festlegt. Profilab unterstützt die Sprachen Pascal und C++, unser Modell wurde geschrieben und compiliert in C++ von Borland.

In Bild 3 ist der mit „helio1“ (DLL1) bezeichnete Block dafür zuständig, die Position der

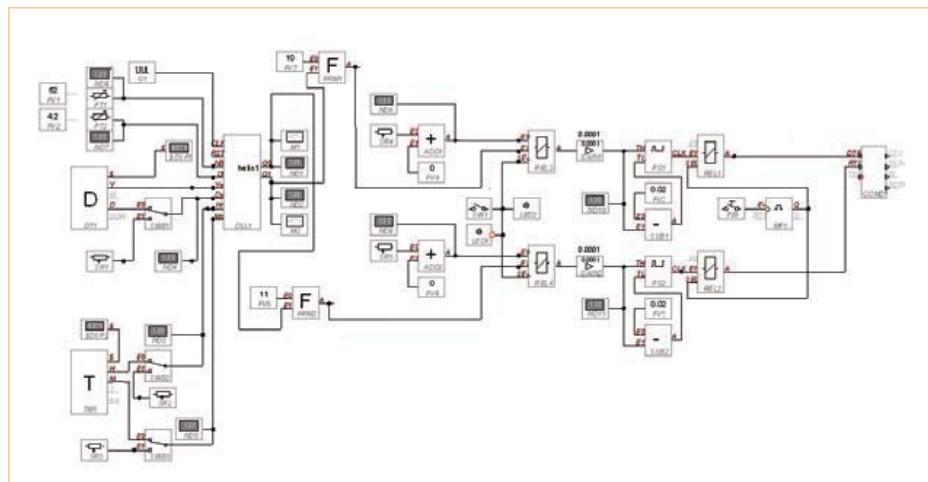


Bild 4. Das vollständige Profilab-Programm für den Heliostaten.

Sonne zu berechnen. Dieser Block hat acht Eingänge sowie die Ausgänge Q0 (Azimut) und Q1 (Deklination). An vier Eingängen liegen die Informationen zu Zeit und Datum, die Profilab bereitstellt. Block DT1 gibt das Jahr (Ye) und die Tageszahl (Dy) aus, Block TM1 die Stunde (Hr) und Minute (Mn). Der Standort auf der Erde wird mit PT1 und PT2 festgelegt, wobei PT1 einen Wert zwischen 0° und 90° nördlicher Breite und PT2 einen Wert zwischen -180° und +180° östlicher Länge ausgibt. G1 ist ein Taktoszillator, er sorgt dafür, dass die Berechnungen im Sekudentakt aktualisiert werden.

Das vollständige grafische Profilab-Programm ist in Bild 4 dargestellt. Einige Funktionen wurden hinzugefügt, damit das Programm Simulationen für frei wählbare geografische Orte und beliebige Zeiten durchführen kann. Über REL3 und REL4 ist das Umschalten der Servo-Steuerung zwischen manuellem Einstellen (mit SR4 und SR5) und mathematischem Modell möglich. Ferner wurde die Schnittstelle für die Steuerung über den seriellen PC-Port implementiert.

Wenn Taster PB1 gedrückt wird, gelangt das berechnete Signal während der Dauer von zwei Sekunden zum seriellen PC-Port. Die kontinuierliche Steuerung ist möglich, indem das Tastersignal durch ein fortlaufendes Zeitsignal ersetzt wird.

Zu jedem Profilab-Programm gehört ein so genanntes „Front panel“, das ist die Benutzeroberfläche des Programms. Bild 5 gibt die Benutzeroberfläche des Heliostat-Programms wieder, das in Bild 4 wiedergegeben ist. Die Zeiger auf den analogen Skalen (unten links) geben die Sonnenposition an, darunter sind die Zahlenwerte in Grad ablesbar. Mit den Schiebepotentiometern können die Servos gesteuert werden, wenn der Schalter oben rechts in Stellung „Manual“ steht. Bei „Real Time“ folgen die Schiebepotentiometer der aktuellen Sonnenposition. Wird der Schalter „Show position“ betätigt, gibt das Programm zwei Sekunden lang die Steuersignale an die Servos aus. Der Heliostat fährt dann in die vom Programm berechnete Position.

### Erweiterung 1: Manuelle Steuerung

Bisher sind wir davon ausgegangen, dass ein PC die Berechnungen durchführt und die Servos über den seriellen Port steuert. Damit die Servos auch ohne PC gesteuert werden können, haben wir zur Schaltung aus Bild 1 einen Mikrocontroller PIC16F628A hinzugefügt (Bild 6). In diesen preisgünstigen Mikrocontroller haben wir ein kurzes Programm geladen, das die pulsförmigen Signale für die Servos ebenfalls generieren kann. Das Programm wurde

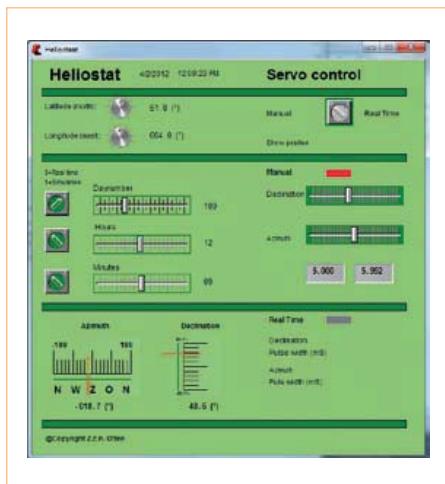


Bild 5. Auf der Benutzeroberfläche hat der Anwender die Wahl zwischen Echtzeit-Betrieb und manueller Steuerung.

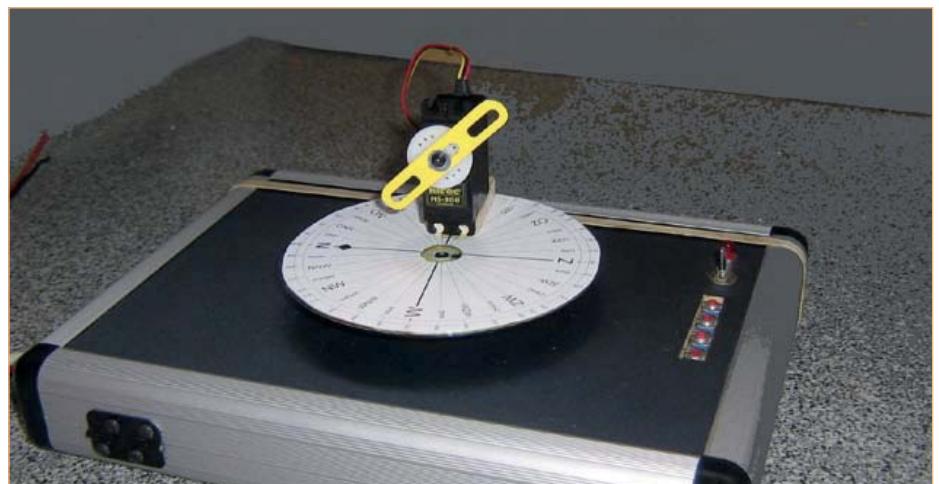


Bild 7. Versuchsaufbau des Heliostaten. Ein Servo befindet sich unter der Windrose, der zweite darüber. Der Zeiger auf der Achse weist zur Sonne.

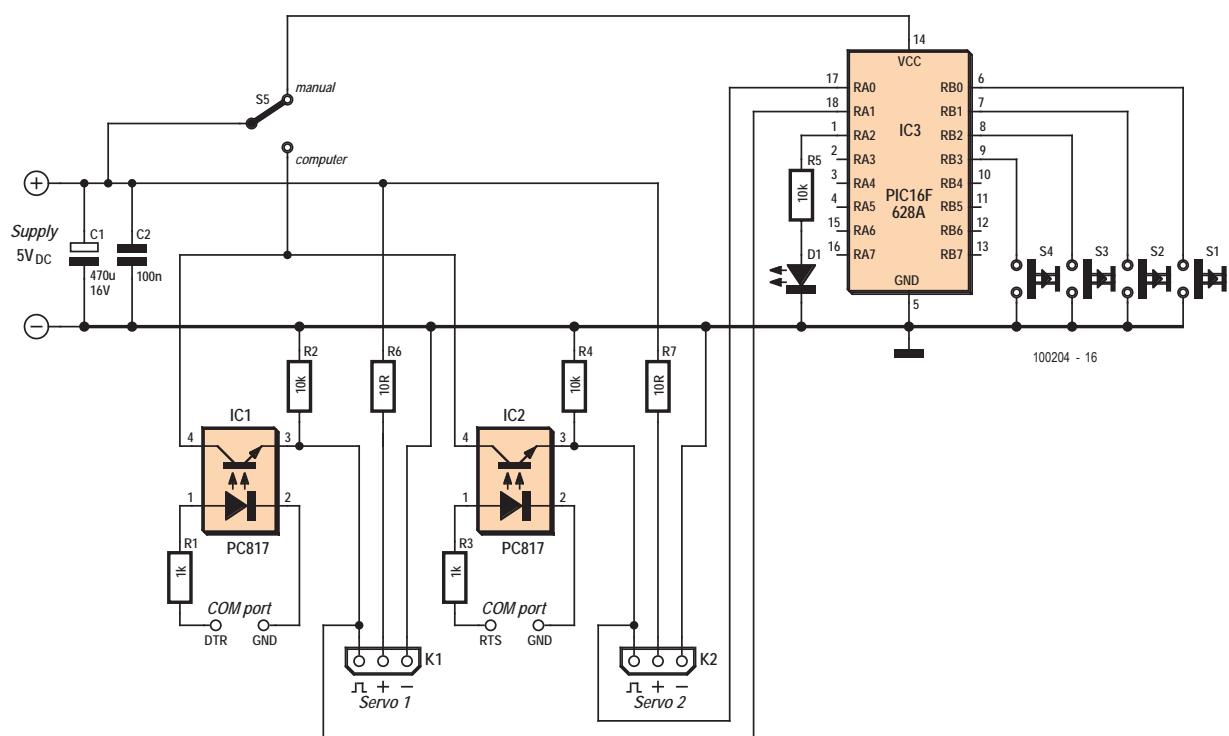


Bild 6. Der Mikrocontroller macht die manuelle Steuerung ohne PC möglich.

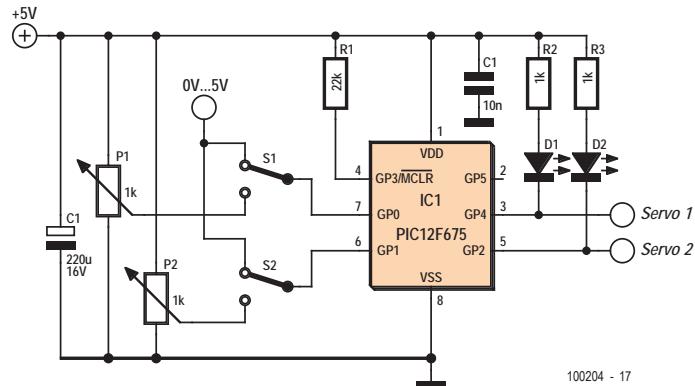


Bild 8. Über den Mikrocontroller können die Servos unabhängig vom Windows-Timing mit analogen Spannungen gesteuert werden.

unter der BASIC-Entwicklungsumgebung Proton geschrieben und nach dem Compilieren mit dem PIC-Programmer K8048 von Velleman in den PIC geladen. Natürlich ist dies auch mit anderen PIC-Programmern möglich. Unser BASIC-Programm gehört zum Download, der auf unserer Projektseite [5] verfügbar ist.

Steht S5 in Stellung „manual“, dann ist statt der PC-Schnittstelle der Mikrocontroller in Betrieb, was LED1 durch kurzes Blinken bestätigt. Beim Betätigen der Taster S1...S4 gibt der Mikrocontroller Signale aus, die Servo 1 oder Servo 2 nach links oder rechts drehen lassen. Die  $10\Omega$ -Widerstände in den Plusleitungen der Servos bewirken, dass die Servo-Betriebsspannung etwas niedriger als die Betriebsspannung des Mikrocontrollers liegt.

Das Foto in Bild 7 zeigt die Ansicht eines Versuchsaufbaus. Auf den ersten Servo haben wir eine runde Scheibe (ausrangierte CD) montiert, auf der Scheibe befindet sich eine Windrose mit Gradeinteilung von  $0^\circ$  bis  $360^\circ$ . Der zweite Servo ist auf diese Scheibe aufgeklebt. Die Achse des zweiten Servos dreht den „Sonnenzeiger“, der in die aktuelle Richtung der Sonne weist. Die Taster S1...S4 sowie Schalter S5 sind im Bild ebenfalls erkennbar.

## Erweiterung 2: Analoge Steuerung

Das präzise Erzeugen pulsförmiger Signale mit Pulsbreiten von 1...2 ms ist unter

Multitasking-Betriebssystemen wie Windows schwierig. Bemerkbar macht sich dies daran, dass der Heliostat zu zittern beginnt, wenn das Betriebssystem überwiegend mit sich selbst beschäftigt ist. Deshalb haben wir zusätzlich eine Servosteuerung entworfen, die auf analoge Eingangssignale reagiert.

Da PCs generell keine analogen Spannungen ausgeben können, arbeitet die analoge Steuerung mit der USB-Schnittstellenkarte K8061 von Velleman [4]. Diese Schnittstellenkarte, die analoge Spannungen im Bereich 0...+5 V liefert, wird von der Entwicklungsumgebung Profilab vollständig unterstützt. Was die Mechanik betrifft, haben wir auf ein „Pan and Tilt Kit“ von Lynxmotion [6] zurückgegriffen, zu dem zwei von Hitec stammende Servos gehören. Um die Servos analog steuern zu können, nutzen wir die Fähigkeiten eines PIC12F675. Dieser kleine Mikrocontroller setzt mindestens zwei analoge Spannungen mit der Auflösung 10 bit in digitale Werte um. Aus der Schaltung in Bild 8 ist ersichtlich, dass die analogen Spannungen an den Pins 6 und 7 liegen. Mit S1 und S2 sind entweder die mit P3 und P4 eingestellten Spannungen oder von außen zugeführte Spannungen wählbar. Die Signale für die Servos gibt der Mikrocontroller über die Pins 3 und 5 aus, sie werden gleichzeitig von den beiden LEDs

sichtbar gemacht. Auch das Programm dieses Mikrocontrollers haben wir unter der BASIC-Entwicklungsumgebung Proton geschrieben, das Programm gehört ebenfalls zum Download unserer Projektseite [5]. Damit die Schaltung in Bild 8 vom Heliostat-Programm gesteuert werden kann, mussten wir an dem Programm in Bild 4 einige Änderungen vornehmen. Die Sonnenpositionen werden nun als Werte ausgegeben, die von der Velleman-Schnittstellenkarte K8061 in analoge Spannungen zwischen 0 V und +5 V umgesetzt werden können.

## Zum Schluss

Zum Schluss noch eine Anmerkung zu den Servos: Die maximalen Drehwinkel dieser Servos betragen  $180^\circ$ , während die maximale Deklination der Sonne in Mitteleuropa bei etwa  $62^\circ$  liegt. Dagegen sind die Grenzen des Azimuts durch die Himmelsrichtungen Osten und Westen festgelegt. Dies hat zur Folge, dass der Sonnenaufgang und Sonnenuntergang am längsten Tag des Jahres (Sommeranfang) vom Heliostaten nicht erfasst werden können.

Für das mathematische Heliostat-Modell sind noch zahlreiche weitere Anwendungen denkbar. Das selbsttätige Öffnen und Schließen von Rollläden oder Fenstervorhängen und das Schalten von Beleuchtungen abhängig vom jahreszeitlichen Stand der Sonne sind nur zwei naheliegende Beispiele.

(100204)gd

## Weblinks und Literatur

- [1] [www.hitecrc.de](http://www.hitecrc.de)
  - [2] [www.abacom-online.de/html/profilab-expert.html](http://www.abacom-online.de/html/profilab-expert.html)
  - [3] R. Walraven: „Calculating the position of the sun“, Solar Energy Vol. 20, 1978
  - [4] [www.velleman.eu/products/view/?country=de&lang=de&id=364910](http://www.velleman.eu/products/view/?country=de&lang=de&id=364910)
  - [5] [www.elektor.de/100204](http://www.elektor.de/100204)
  - [6] [www.lynxmotion.com/Product.aspx?productID=287&CategoryID=61](http://www.lynxmotion.com/Product.aspx?productID=287&CategoryID=61)
- Erhältlich z.B. bei Anratek:  
[www.anratek.com/Servo-assemblies.html](http://www.anratek.com/Servo-assemblies.html)

**EAGLE**

**V6**

THE NEXT GENERATION

# Sind Sie ein Gewinnertyp?

## EAGLE Design Challenge

1. Mai 2012 - 31. August 2012

### Sie haben eine tolle Design-Idee?

Sie wollen einen Dell Alienware M17x r3, eine EAGLE Pro Lizenz oder das DV164037 & DM163022-1 von Microchip gewinnen?

Dann nehmen Sie am EAGLE Design Wettbewerb teil.

Integrieren Sie eine Microchip MCU oder DSC in Ihr Design, das Sie mit EAGLE version 6 erstellt haben, beschreiben Sie Ihr Projekt und posten Sie einen Screenshot Ihres Layouts auf [www.element14.com/eagle-competition](http://www.element14.com/eagle-competition)

Reichen Sie jetzt Ihre Design-Idee ein, um so schnell wie möglich so viele Stimmen wie möglich von Community-Mitgliedern zu sammeln! Denn jede Stimme zählt und bringt Sie dem Siegertreppchen näher!

Die Teilnahmebedingungen finden Sie auf [www.element14.com/eagle-competition](http://www.element14.com/eagle-competition)

In Association with



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



[www.element14.com/eagle](http://www.element14.com/eagle)



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



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

# Nixie-Thermo-/Hygrometer

## Röhren, Sensoren und Mikrocontroller in einer Schaltung

Von Hans Oppermann (D)

Das Messen von Temperatur und Luftfeuchtigkeit mit modernem Sensor und die Anzeige der Werte auf einem Retro-Display – um das alles geht es in diesem Beitrag. Ein kalibrierter „digitaler“ Sensor liefert seine Daten per I<sup>2</sup>C-Interface an einen Mikrocontroller, der auf vier Nixie-Röhren abwechselnd und mit nettem Fading-Effekt Temperatur und Feuchtigkeit anzeigt.

Muss man haben!

Als ich das Foto von den glimmenden Röhren auf der Titelseite von Elektor Januar 2011 sah, da wusste ich sofort, dass ich unbedingt so ein Thermometer mit Nixie-Röhren haben musste! Bevor ich loslegte, wollte ich mich gründlich über Nixie-Röhren informieren. Ich war völlig verblüfft, wie viele Typen davon noch immer erhältlich sind. Ein Modell hatte es mir besonders angetan: der Typ IN-19A, da man hiermit verschiedene physikalische Einheiten anzeigen kann. Ich hatte schon einige Erfahrung

mit SHT-Sensoren von Sensirion und war sowieso gerade auf der Suche nach einem Präzisionsthermometer für mein Wohnzimmer. Von daher lag der Entschluss nahe, meine eigene Schaltung ganz nach meinen Wünschen zu entwickeln – und hier gehörten Nixie-Röhren hinzu!

### Hardware

Die meisten Bauteile waren schon durch das Nixie-Thermometer-Projekt von Elektor festgelegt. Im Grunde besteht diese

Schaltung aus einem Mikrocontroller, einem Sensor, einem Aufwärts-Schaltregler mit dem MC34063 und einem Nixie-Treiber-IC auf der Basis des guten alten 74141. Diese Kombination ist in Bild 1 zu sehen. Mit Ausnahme des Sensors bekamen SMDs keinen Platz auf der Platine.

Die Stromversorgung ist der des erwähnten Elektor-Projekts sehr ähnlich. Ein externes Netzteil liefert 12...15 V Gleichspannung an K1. Der Spannungsregler IC6 macht daraus 5 V für den Mikrocontroller und die ICs vom

### Eigenschaften

- Sensor: Sensirion SHT21 [1]
- Temperaturbereich: 0...99 °C in 1/10 °
- Feuchtigkeitsbereich: 0...99 % in 1/10 %
- Stromversorgung: 12...15 V Gleichspannung, extern
- Strombedarf: Etwa 300 mA bei 12 V

- Röhren: Russische IN-14 und IN-19A
- Mikrocontroller: Microchip PIC16F876-20/SP
- Firmware: C (MPLAB)  
(Source und Hex-Datei sind kostenlos verfügbar [2])

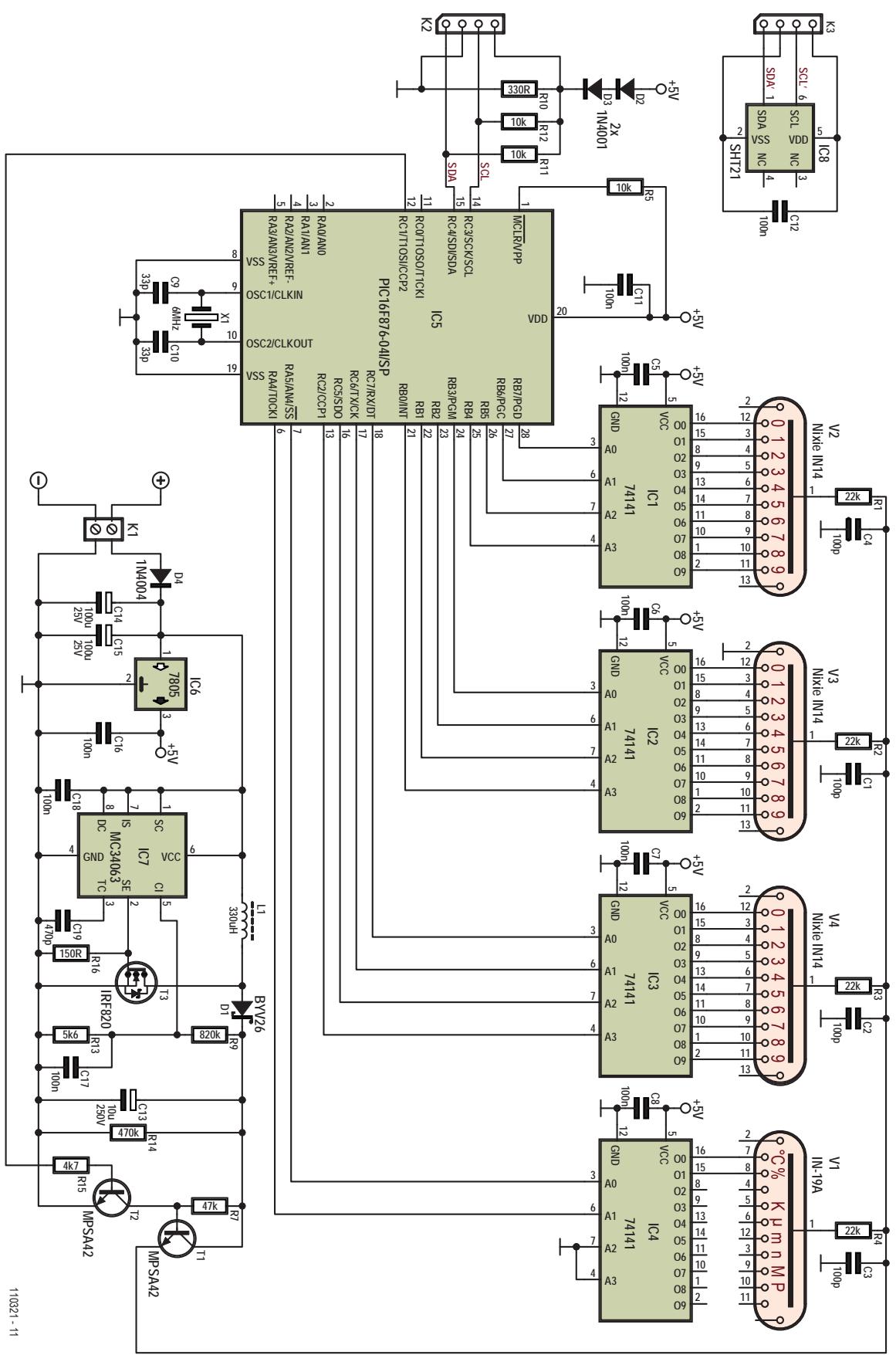


Bild 1. Die Schaltung erinnert an das frühere Nixie-Thermometer-Projekt. Aber es gibt auch Unterschiede.

## Stückliste

### Widerstände:

R1..R4 = 22 k  
 R5,R11,R12 = 10 k  
 R7 = 47 k  
 R8 = nicht bestückt  
 R9 = 820 k  
 R10 = 330  $\Omega$   
 R13 = 5k6  
 R14 = 470 k  
 R15 = 4k7  
 R16 = 150  $\Omega$

### Kondensatoren:

C1..C4 = 100 p/2000 V, 10 %, radial, RM 5 mm (Farnell #1141797)  
 C5..C8,C11,C12,C16,C18 = 100 n/50 V, 20 %, RM 5 mm  
 C9,C10 = 33 p/100 V, 5 %, RM 2,54 mm  
 C13 = 10  $\mu$ /250 V, 20 %, radial, RM 5 mm  
 C14,C15 = 100  $\mu$ /25 V, 20 %, radial, RM 2,5 mm  
 C19 = 470 p/100 V, 10 %, RM 5 mm

### Spule:

L1 = 330  $\mu$ 1 A, 20 %, axial, DxL = 11x32,5 mm max.

### Halbleiter:

D1 = BYV26  
 D2..D4 = 1N4001  
 IC1..IC4 = 74141 oder K155ID1 (К155ИД1)  
 IC5 = PIC16F876-20/SP  
 IC6 = 7805  
 IC7 = MC34063  
 IC8 = SHT21, I<sup>2</sup>C-Feuchte- und Temperatursensor [1] (Farnell #1855468)  
 T1,T2 = MPSA42

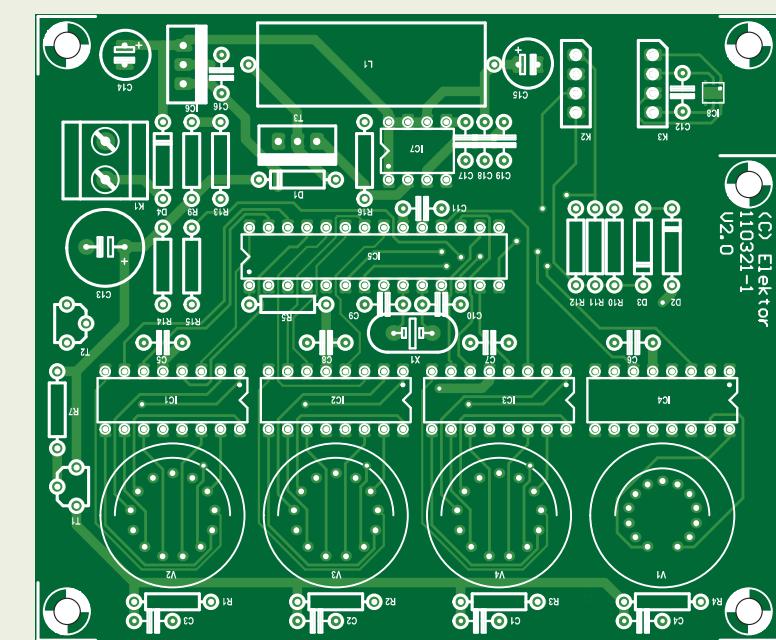


Bild 2. Die Platine kann via Elektor bezogen oder mit Hilfe des PDF-Layouts [2] selbst geätzt werden.

T3 = IRF820

### Außerdem:

X1 = Quarz 6 MHz  
 V1 = IN-19A, Nixie-Röhre (Einheiten)  
 V2..V4 = IN-14, Nixie-Röhre (Ziffern)

K1 = 2-pol. Schraubklemme für Platinenmontage, RM 5 mm

Platine #110321-1, erhältlich via [www.elektor.de/110321](http://www.elektor.de/110321)

Typ 74141. Die Hochspannung für die Nixie-Röhren wird von IC7 generiert. Dieses IC ergibt zusammen mit dem MOSFET T3, der Spule L1 und der Schottky-Diode D1 einen so genannten Step-up-Konverter. Seine Ausgangsspannung errechnet sich zu:

$$V_o = V_{ref} \times R9 / R13$$

Mit den vorgeschlagenen Werten ergibt sich also:

$$V_o = 1,25 \text{ V} \times 820 \text{ k}\Omega / 5,6 \text{ k}\Omega = 183 \text{ V}$$

Über R1...R4 gelangt diese Spannung zu den Anoden der Nixie-Röhren, wodurch sich ein Arbeitspunkt von etwa 143 V einstellt. Mit dieser relativ hohen Spannung leuchten die Elemente in den Röhren ziemlich hell. Wer es weniger hell mag, kann die Spannung reduzieren. Mit 680 k $\Omega$  für R9 reduziert sich  $V_o$  auf 153 V.

Der Mikrocontroller kann die Hochspannung für die Nixie-Röhren über T1 und T2 schalten. Das Tastverhältnis des PWM-Sig-

nals an T2 und T1 bestimmt die mittlere Spannung an den Anoden der Nixie-Röhren – der Controller kann so die Helligkeit steuern. Auf diese Weise kann nicht nur abrupt von Temperatur auf Feuchtigkeit (und zurück) umgeschaltet werden, sondern auch sanfte Überblendungen sind möglich. Ein größeres Puls/Pausen-Verhältnis hat eine dunklere Anzeige zur Folge.

Für die Erfassung von Temperatur und Luftfeuchte kommt ein anderer Sensor zum Einsatz als in der früheren Elektor-Schaltung. Hier wird der Typ SHT21 [1] von Sensirion verwendet. Dieser kalibrierte Sensor liefert seine Daten digital via I<sup>2</sup>C. Zur Versorgung sind zusätzliche 3,3 V erforderlich, was durch den Spannungsabfall über D2 und D3 erreicht wird. Die Pull-up-Widerstände für SCL und SDA sind auf der 3,3-V-Seite angeschlossen, wodurch unerwünscht hohe Spannungen beim Anschluss an den mit 5 V versorgten Controller vermieden werden. Der Takt für den PIC16-Mikrocontroller wird vom externen 6-MHz-Quarz X1 erzeugt. Da bei diesem Gerät keine Kommunikation

nach außen notwendig ist, entfallen auch die entsprechenden Interfaces. Die recht einfache Software sorgt für den Wechsel der Anzeige von Temperatur auf Feuchtigkeit und zurück.

### Software

Die in C unter der MPLAB-IDE geschriebene Software enthält keine Besonderheiten. Temperatur und Feuchtigkeit werden periodisch vom SHT21 via I<sup>2</sup>C abgefragt. Beispiel-Code zur Abfrage des Sensors ist frei via „Download Center“ auf der Sensirion-Webseite erhältlich, was die Implementation dieser Funktionen sehr einfach gestaltet. Der Einfachheit halber werden die Signale für die Decoder-ICs einfach per Lookup-Tabelle erzeugt. Da leider kein „F“-Filament in der Röhre IN-19A steckt, wurde auf eine Anzeige der Temperatur in Fahrenheit verzichtet.

### Aufbau

Die Platine von Bild 2 kann über die Projekt-Webseite [2] bezogen werden. Auf dieser

Seite kann man auch eine PDF-Datei mit dem Layout herunterladen, falls man sich seine Platine selbst ätzen will.

Der Sensor sollte mindestens 15 cm entfernt vom eigentlichen Gerät positioniert werden. Andernfalls hätte die Temperatur der Röhren oder besonders der Decoder-ICs einen verfälschenden Einfluss auf die Temperaturmessung. Der Sensor wird mit Hilfe eines vieradrigen Kabels zwischen K2 und K3 an die Elektronik angeschlossen. Eine Ecke der Platine ist zur Bestückung mit dem Sensor, C12 und K3 gedacht. Dieser Abschnitt kann abgetrennt und so bequem entfernt von der Hauptplatine positioniert werden.

Die Bestückung der Platine ist ziemlich einfach. Wie üblich beginnt man mit „niedrigen“ Bauteilen wie Widerständen. Die

höchsten Bauteile werden zum Schluss eingelötet. Das Führen der Anschlussdrähte der Nixie-Röhren durch die Löcher in der Platine kann ein ziemliches Geduldsspiel sein. Wie man das ohne Knoten in den Fingern hinbekommt, ist im Labcenter der letzten Ausgabe [3] beschrieben: Man schneidet die Drähte zu einer Art Wendeltreppe – reihum also immer etwas kürzer. Auf diese Weise kann man immer einen Draht nach dem anderen in sein Loch einfädeln. Wichtig ist die Orientierung der Röhre. Ein Pfeil auf der Unterseite der Röhre indiziert Pin 1 (siehe Datenblatt).

Da die Schaltung mit einer nicht berührungssicheren hohen Spannung arbeitet, ist ein isolierendes Gehäuse Pflicht. Wichtig ist, dass keine Metallteile herausstehen. Kunststoffscreuben und isolierte Sockel

sind obligatorisch, oder man muss andere Schutzmaßnahmen treffen.

### Nixie-Röhren

Nixie-Röhren und Decoder-ICs wie der Typ 74141 sind überall auf eBay zu finden. Speziell von Verkäufern aus der ehemaligen UdSSR werden große Mengen (aus Armee-Beständen?) zu bezahlbaren Preisen angeboten. Produziert wurden diese Röhren bis in die 1980er Jahre hinein – vielleicht aufgrund technologischer Rückständigkeit oder wahrscheinlicher wegen der guten EMP-Immunität, was für militärische Anforderungen ja von Belang ist.

Besonders der Typ IN-19A ist bemerkenswert: Diese Röhre wurde speziell zur Anzeige von Einheiten gebaut. In dieser Schaltung werden nur zwei Symbole

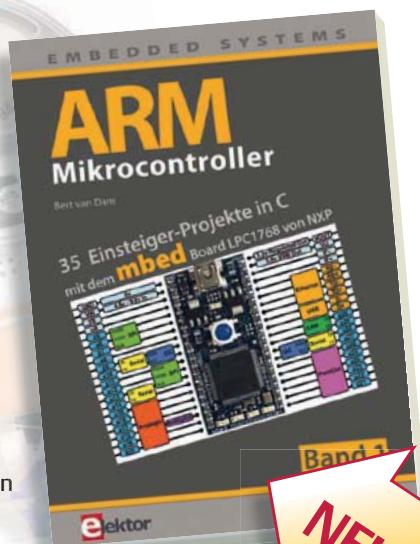
Anzeige

# ARM-Mikrocontroller

## 35 Einsteiger-Projekte in C mit dem mbed-Board

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. Sie können von jedem beliebigen Ort der Welt auf Ihr Projekt zugreifen und daran weiterarbeiten. Wenn Sie fertig sind, genügen ein paar einfache Mausklicks, um Ihr Programm auf das mbed-System zu übertragen. Natürlich können Sie die Projekte auch auf Ihren eigenen PC laden und dort speichern.

Die Quelltexte zu den Beispielprogrammen stehen gratis unter [www.elektor.de/arm-buch](http://www.elektor.de/arm-buch) zum Download bereit. Das zum Buch gehörige Hardware-Starterkit kann unter [www.elektor.de/arm-kit](http://www.elektor.de/arm-kit) geordert werden.



**NEU!**

261 Seiten (kart.)  
Format 17 x 23,5 cm  
ISBN 978-3-89576-262-8  
€ 39,80 • CHF 49,40

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



benutzt: die Zeichen „%“ und „°C“. Das Suffix „A“ ist relevant! Was in so einer Röhre steckt, kann man dem Illustrationsfoto entnehmen. Wer keine kyrillische Schrift lesen kann, kann sich mit der nachfolgenden „Übersetzungstabelle“ behelfen:

IN-19A	IN-19B	IN-19V
%	S	-
M	F	A/B
P	H	~
m	V	II
K	T	<
n	A	>
μ	Hz	dB
°C	Ω	+

Aber Achtung! Der kyrillische Buchstabe „B“ entspricht dem lateinischen „V“. Das Zeichen „Б“ wiederum entspricht dem „B“ in

westlichen Zeichensätzen.

Interessanterweise sind die Filamente für „2“ und „5“ identisch und relativ zueinander auf dem Kopf stehend. Ob es in der UdSSR ökonomisch denkende Schwaben gab, das lässt sich heute leider nicht mehr herausfinden ;-).

### Details

Nach Bestückung und Anschluss der Stromversorgung sollte die Schaltung direkt funktionieren. Es gibt keine Kalibrierung oder sonstige Einstellungen. Die Genauigkeit des Sensors beträgt im Temperaturbereich von 5...60 °C typisch  $\pm 0,3$  °C, wobei die Auflösung 0,01 °C erreicht. Eine angezeigte Temperatur von 25,0 °C entspricht also einer realen Temperatur zwischen 24,7 °C und 25,3 °C.

Noch ein Hinweis zum Sensor: Die gemessene Feuchtigkeit kann durchaus außerhalb

des Möglichen liegen. Falls Sie so ein Verhalten für einen kalibrierten Sensor etwas merkwürdig finden sollten: Vielleicht hat es etwas damit zu tun, dass der Sensor auf der Hauptplatine steckt. Ein Datenlogger, der letztes Jahr in Elektor veröffentlicht wurde, zeigt ein ganz ähnliches Phänomen. Hier ist noch investigative Arbeit nötig.

Zurzeit arbeitet der Autor an einer drahtlosen Anbindung des Sensors, der dann zusammen mit einem PIC und einem Funkmodul RFM-12 auf einer Platine untergebracht ist.

Einen optischen Eindruck vom eingebauten Überblend-Effekt erhält man in einem YouTube-Video auf dem Elektor-Kanal [4].

(110321)

### Weblinks

- [1] [www.sensirion.com/sht21](http://www.sensirion.com/sht21)
- [2] [www.elektor.de/110321](http://www.elektor.de/110321)
- [3] [www.elektor.de/120229](http://www.elektor.de/120229)
- [4] [www.youtube.com/ElektorIM](http://www.youtube.com/ElektorIM)

### Elektor-Produkte & Downloads

- Source-Code und Hex-Datei
- Platine

Erhältlich via [www.elektor.de/110321](http://www.elektor.de/110321).



green energy energy efficient low power hydropower  
solar embedded Renesas RL78 home automation  
turbines reduce metering controllers monitoring  
bio-technology high performance win big  
prizes



## The RL78 Green Energy Challenge

It's time to turn those big ideas into great, green solutions! Join the Renesas RL78 Green Energy Challenge today and show the world how your design solutions will revolutionize the way we experience energy efficiency.

**The competition ends on August 31, 2012.** Submit your Green Energy Project Entry today for your chance to win a share of a \$17,500 cash grand prize and a trip to Renesas DevCon in October where winners will be announced.



In association with *Elektor* and *Circuit Cellar*



Follow Renesas on Twitter and Facebook for your chance to win prizes from official partners throughout the competition. Answer weekly challenge questions correctly and you'll be entered into drawings to win free development tools, Pmods, Wi-Fi modules, books, and more!

@Renesas\_Europe • [www.facebook.com/renesaseurope](http://www.facebook.com/renesaseurope)

Participation in Weekly Challenges and receipt of partner prizes is not a factor in selecting winners for the Grand Cash Prize from Renesas. Remember, a complete Project Entry is your Abstract, Complete Documentation, Photos and all supporting Source Code, zipped in one comprehensive file, labeled with your unique Project Registration Number, and uploaded to the contest Dropbox. See website for complete rules and details. Void where prohibited by law.

For complete details, visit

[www.circuitcellar.com/RenesasRL78Challenge](http://www.circuitcellar.com/RenesasRL78Challenge)



# Zurück zu den Wurzeln (6)

## Flipflops

Zurück zu den Wurzeln bedeutet, dass man nicht nur in großen Schaltungsblöcken denkt, sondern auch einmal nachschaut, was im Einzelnen dahinter steckt. Ein Mikrocontroller besteht z.B. aus vielen kleinen Funktionsblöcken, die jeweils nur aus wenigen Transistoren zusammengesetzt sind. Wie diese Untereinheiten funktionieren, lernt man am besten durch einfache Versuche.

Von Burkhard Kainka (D)

An oder Aus, jetzt wird es digital! Mit Transistoren können nicht nur analoge, sondern auch digitale Aufgaben gelöst werden. Es gab sogar Computer, die vollständig aus Einzelhalbleitern aufgebaut waren. Eine der wichtigsten digitalen Grundschaltungen ist das Flipflop. Schon ein einzelnes Flipflop lässt sich bereits sinnvoll einsetzen.

### Das Flipflop

Eine Schaltung mit zwei stabilen Zuständen nennt man Kippschaltung oder auch Flipflop. Flipflops sind wichtige Grundelemente der digitalen Computertechnik, insbesondere werden sie in Speichern und Zählern verwendet.

Flipflop-Schaltungen besitzen eine Rückkopplung eines phasengleichen, verstärkten Signals. Man kann dies durch zwei invertierende Verstärkerstufen realisieren (**Bild 1**). Da jede Stufe das Signal invertiert, sind die Eingangs- und Ausgangssignale der Gesamtschaltung phasengleich. Durch die Rückkopplung vom Ausgang auf den Eingang wird erreicht, dass z.B. eine anstei-

gende Ausgangsspannung sich selbst verstärkt. Die Schaltung kippt dann ganz in den eingeschalteten Zustand. Anders herum geht es aber auch, eine abfallende Spannung führt dazu, dass der Ausgang sehr schnell völlig ausgeschaltet ist.

Als Verstärker kommt z.B. eine zweistufige, direkt (über Widerstände) gekoppelte Transistorschaltung in Frage. Jede Stufe in Emitterschaltung (**Bild 2**) invertiert ihr Eingangssignal. Die einfache Schaltung bildet nun ein bistabiles Flipflop. Das bedeutet: Die Ausgangsspannung kann entweder tief (fast 0 V) oder hoch (fast gleich der Betriebsspannung) sein, und sie bleibt beliebig lange im gegebenen Zustand stehen. Eine Änderung kann nur durch einen äußeren Eingriff erreicht werden.

Ist die Ausgangsspannung gerade tief, dann erhält der linke Transistor keinen Basisstrom, d.h. er ist gesperrt. Damit steigt seine Kollektorspannung; der rechte Transistor erhält den vollen Basisstrom und steuert ganz durch. Die Ausgangsspannung bleibt also tief. Ist die Ausgangsspannung gerade hoch, dann sind die Verhältnisse gerade umgekehrt. Welcher Zustand sich

beim Einschalten zuerst einstellt, kann nicht vorhergesagt werden. Da ist Zufall im Spiel!

### RS-Flipflop

Jetzt soll die Schaltung mit zwei LEDs ausgestattet werden. Außerdem bauen wir zwei Tastschalter ein, um den Zustand gezielt zu verändern (**Bild 3**). Nach dem Einschalten werden wir feststellen, dass eine von beiden LEDs leuchtet. Es kann nicht vorhergesagt werden, welche Seite eingeschaltet sein wird. Meist entscheidet die ungleiche Stromverstärkung der Transistoren darüber, zu welcher Seite die Schaltung beim Einschalten kippt. Falls zufällig genau gleiche Daten vorliegen sollten, kommt das immer vorhandene Rauschen ins Spiel. Es kann daher sein, dass die Schaltung bei mehrmaligem Einschalten mal den einen und mal den anderen Zustand einnimmt.

Jetzt ist es aber möglich, den Zustand gezielt zu ändern. Dazu genügt es, einen der beiden Tastschalter zu betätigen, was den Basisstrom des jeweiligen Transistors kurzschließt. Die Schaltung bezeichnet man auch als RS-Flipflop (R = Reset, Ausschalten, S = Set, Einschalten).

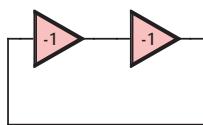


Bild 1. Prinzip des rückgekoppelten Verstärkers.

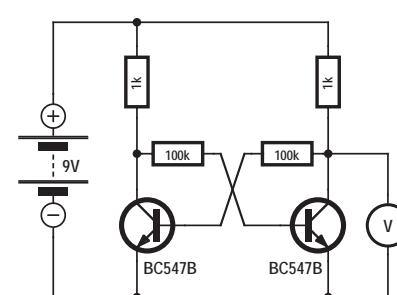


Bild 2. Bistabiles Flipflop mit zwei Transistoren.

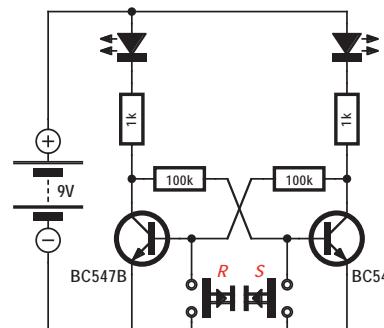
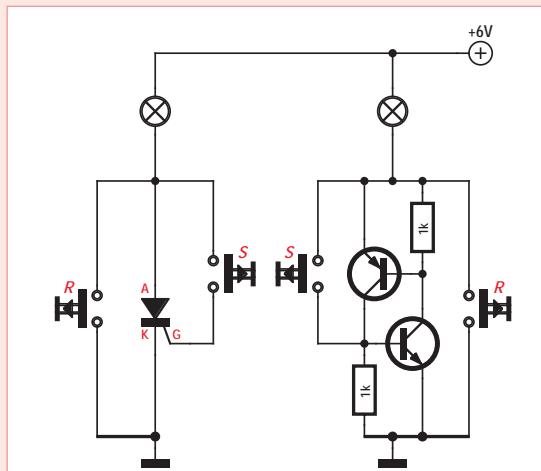


Bild 3. RS-Flipflop.

## Der Thyristor

Thyristoren sind bistabile Schaltelemente mit drei Anschlüssen (Kathode K, Gate G, Anode A). Über eine Steuerelektrode (das Gate) wird der Thyristor „gezündet“, also eingeschaltet. Er bleibt leitend, bis der Stromkreis unterbrochen wird. Der Thyristor ist ähnlich aufgebaut wie der bipolare Transistor, besitzt aber vier Halbleitereschichten NPNP. Die Steuerelektrode entspricht in ihrer Funktion etwa der Basis eines NPN-Transistors. Wird eine gewisse Schwelle des Gate-Stroms überschritten, zündet der Thyristor und geht in den leitenden Zustand über. Um ihn zu



löschten muss er stromlos geschaltet werden: Man kann entweder die Betriebsspannung abschalten oder den Thyristor kurz überbrücken. Üblich ist auch ein Betrieb mit Wechselstrom, wobei die Nulldurchgänge jeweils den leitenden Zustand beenden.

Das Schaltbild zeigt auch die Ersatzschaltung mit bipolaren Transistoren. Damit ist das Einschalten („Zünden“) und das Ausschalten („Löschen“) in gleicher Weise möglich. Beide Schaltungen lassen sich wie ein RS-Flipflop verwenden.

Das RS-Flipflop kann als 1-Bit-Datenspeicher verwendet werden. Es speichert den Zustand Rot oder Grün (wenn man farbige LEDs einsetzt) bzw. an oder aus, ja oder nein. So etwas könnte man sich zuhause aufstellen, um eine Nachricht zu hinterlassen: „Komme gleich“ oder „Bin dann mal weg“. Die Nachricht bleibt solange stehen, bis sie geändert wird.

Reset-Taster und Reset-Eingänge kennt man auch von Computern und Mikrocontrollern. Ist ja auch klar, denn solche komplexen Systeme enthalten viele Flipflops. Einige davon dienen als Datenspeicher. Wenn nun die Betriebsspannung eingeschaltet wird, nehmen alle statischen Flipflops zunächst einen zufälligen Zustand ein. Um Ordnung ins Chaos zu bringen, braucht man die Reset-Funktion. Ein kurzer Reset-Impuls reicht, dann steht alles sauber auf Null. Die Arbeit kann beginnen.

Übrigens, heutige Mikrocontroller arbeiten nicht mit bipolaren Transistoren, sondern

mit MOSFETs. Und damit geht es noch einfacher. Das RS-Flipflop mit zwei BS170 (**Bild 4**) kann gegenüber der bipolaren Variante auf die Basiswiderstände verzichten.

### Zünden und Löschen

Ein Flipflop lässt sich nach **Bild 5** mit einem NPN- und einem PNP-Transistor aufbauen. Der Kollektorstrom eines Transistors wird zugleich zum Basisstrom des anderen Transistors. Damit sind entweder beide Transistoren gemeinsam gesperrt oder leitend. Nach dem Einschalten befindet sich die Schaltung zuerst im Sperrzustand. Eine kurze Schalterbetätigung schaltet sie in den An-Zustand um. Nur durch Abschalten der Betriebsspannung kehren die Transistoren in den gesperrten Zustand zurück. Diese Schaltung verhält sich damit wie ein Thyristor (siehe Kasten). Der Kondensator in der Schaltung verhindert übrigens, dass die Schaltung beim Anlegen der Betriebsspannung ungewollt von allein zündet.

### Monoflops

In vielen Fällen soll eine Umschaltung nicht statisch, sondern nur für eine bestimmte Zeit erfolgen. So kann man z.B. einen Zeitschalter bauen, der durch einen Tastschalter gestartet wird und nach einer bestimmten Zeit selbstständig wieder abschaltet. Dieses Verhalten lässt sich erzielen, wenn man in die Rückkopplungsleitung einen Kondensator legt. Mit dem Auslösen des Zeitschalters beginnt sich der Kondensator umzuladen. Ist er vollständig geladen, fließt in der Rückkopplungsleitung kein Strom mehr, und die Schaltung fällt in den stabilen Grundzustand zurück. Die Schaltzeit der Schaltung nach **Bild 6** liegt bei ungefähr zehn Sekunden.

### Schmitt-Trigger

Als Schmitt-Trigger bezeichnet man eine Schaltung, die einer beliebigen Eingangsspannung eindeutige Zustände (An und Aus) zuordnet. Dabei gibt es zwei Schaltwellen, zwischen denen eine Hysterese

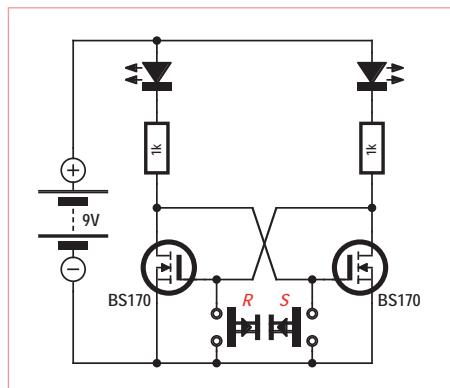


Bild 4. RS-Flipflop mit MOSFETs.

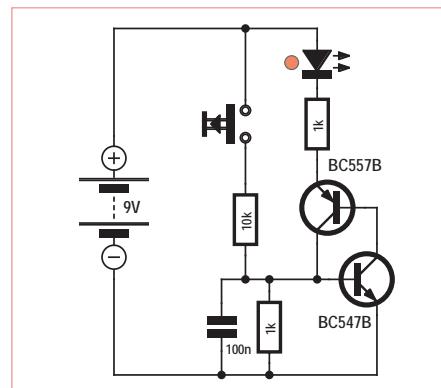


Bild 5. Bistabile Schaltung mit komplementären Transistoren.

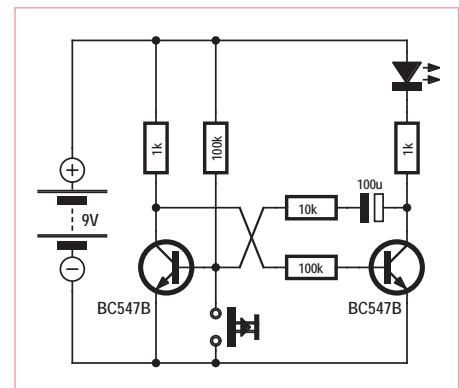
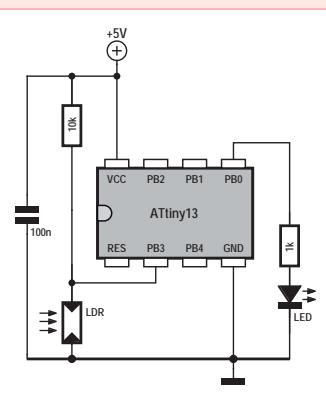


Bild 6. Ein Monoflop.

## Dämmerungsschalter



Mit einem Mikrocontroller lässt sich die Funktion eines Schmitt-Triggers ganz einfach realisieren. Man misst immer wieder die Eingangsspannung und vergleicht sie mit vorgegebenen Grenzwerten. In Abhängigkeit vom Ergebnis dieser Vergleiche wird dann ein Ausgang ein- oder ausgeschaltet. Die beiden Schaltschwellen werden unabhängig voneinander festgelegt. Damit hat man die

Hysteres voll im Griff. Außerdem kann man dem Programm eine gewisse Trägheit verordnen. Eine Warteschleife von einer Sekunde hilft außerdem gegen ungewolltes, schnelles Hin-und-Her-Schalten.

Mit ein paar zusätzlichen Bauteilen haben wir einen Tiny13-

Dämmerungsschalter realisiert.

```
'Dämmerungsschalter
$regfile = "attiny13.dat"
$crystal = 1200000
$hwstack = 8
$swstack = 4
$framesize = 4
Dim U As Word
Config Adc = Single , Prescaler = Auto
Start Adc
Config Portb = 1           'Output B.0
Do
    U = Getadc(3)
    If U < 400 Then Portb.0 = 0
    If U > 600 Then Portb.0 = 1
    Waitms 1000
Loop
End
```

liegt. Die Schaltung geht z.B. beim Überschreiten von 2 V in den Aus-Zustand, fällt jedoch erst beim Unterschreiten von 1 V in den An-Zustand zurück. Im Zwischenbereich (Hysteres) bleibt jeweils der letzte Zustand erhalten.

Die klassische Schmitt-Trigger-Schaltung (**Bild 7**) verwendet eine Rückkopplung über einen gemeinsamen Emitterwiderstand. Schaltschwellen und Hysteresen lassen sich durch die Wahl der Widerstände gut einstellen.

Ein kleiner Hochfrequenzversuch am Rande: Am Eingang schließen wir zusätzlich einen offenen Draht als Antenne an. Wir stellen das Poti ganz scharf vor einen der Umschaltpunkte. Und dann betätigen wir einen

Lichtschalter. Im Radio hört man vielleicht ein Knacken. Und gleichzeitig wird unsere Schaltung getriggert, der Zustand schaltet um. Aus dem Schmitt-Trigger wird so ein Breitband-Funkempfänger, der Lichtschalter ist der zugehörige Funkensender.

Ein anschauliches Beispiel für die Anwendung des Schmitt-Triggers ist ein Dämmerungsschalter (**Bild 8**). Wenn es dunkel wird, soll eine Lampe eingeschaltet werden. Wichtig ist, dass es im Übergangsreich nicht zum Flackern der Lampe kommt. Die Schaltung darf also erst bei einer größeren Helligkeit wieder ausschalten. Zwischen beiden Schaltpunkten muss es eine gewisse Hysteresen geben. Die Spannung am Eingang des Schmitt-

Triggers wird durch den Widerstand des LDR bestimmt. Abdunkeln vergrößert seinen Widerstand und führt zum Einschalten der LED, eine hellere Beleuchtung zum Ausschalten. Zwischen beiden Schaltpunkten ist eine deutliche Hysteresen zu erkennen. Sie sollte im Normalfall ausreichen, um eine Reaktion auf das Flackern von Kunstlicht zu vermeiden.

### Vereinfachter Schmitt-Trigger

Ein Schmitt-Trigger lässt sich noch einfacher mit der Schaltung nach **Bild 9** realisieren. Zwei NPN-Transistoren in Emitterschaltung sind direkt gekoppelt. Ein zusätzlicher Widerstand vom Ausgang zum Eingang sorgt für die nötige Rückkopplung und damit für die Schalthysterese.

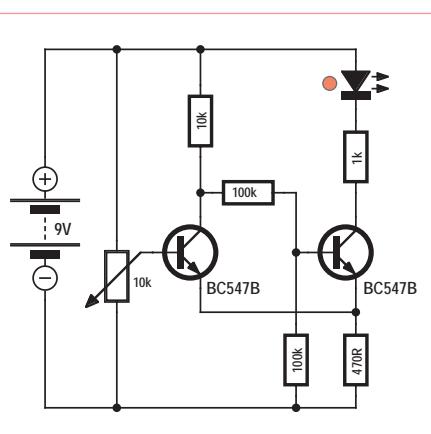


Bild 7. Der klassische Schmitt-Trigger.

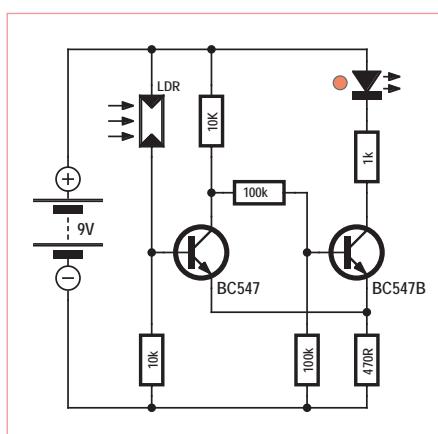


Bild 8. Ein Dämmerungsschalter.

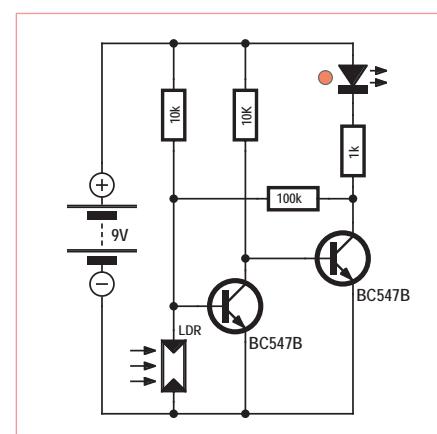
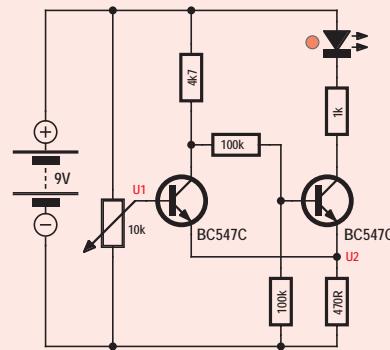


Bild 9. Vereinfachter Schmitt-Trigger.

# Quiz

Das Schaltbild zeigt den Schmitt-Trigger aus Bild 7 mit einer etwas anderen Dimensionierung und mit zwei Messpunkten. Die Transistoren sind C-Typen mit möglichst hoher Verstärkung, damit man die Basisströme bei den Berechnungen vernachlässigen kann.

Die Spannungen U1 und U2 werden jeweils gegen Masse, also gegen den Minuspol der Batterie gemessen. Das Poti soll zuerst am unteren Anschlag stehen. Der linke Transistor ist damit gesperrt. An seinem Kollektor liegt eine hohe Spannung, sodass der rechte Transistor genügend Basisstrom erhält, um durchzuschalten. Am gemeinsamen  $470\text{-}\Omega$ -Emitterwiderstand findet man im eingeschalteten Zustand eine Spannung U2, die sich aus der Summe beider Emitterströme ergibt. Wir erhöhen nun U1, bis die Schaltung umkippt. U2 ist nun geringer als vorher, weil durch den linken Transistor im leitenden Zustand weniger Strom fließt als durch den rechten Transistor. Aus dem Unterschied der Kollektorströme ergibt sich die Hysterese. Ein wichtiger Tipp: Es ist einfacher, die Schaltung mal schnell aufzubauen und durchzumessen, als alles genau auszurechnen.



Wer uns die richtige Lösung zusendet, kann ein „Minty Geek Electronic 101 Kit“ gewinnen!

Senden Sie dazu den Lösungscode (ergibt sich durch Aneinanderreihung der Buchstaben der drei richtigen Antworten) per E-Mail an: basics@elektor.com.

Als Betreff der E-Mail bitte nur den Lösungscode angeben.

Einsendeschluss ist der 30.6.2012.

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

**Der richtige Lösungscode aus dem Aprilheft lautet „CDH“.**

Hier die Erklärung:

#### Lösung 1:

In der Frage 1 hatte sich leider ein (dreifacher) Kommafehler eingeschlichen. Hierfür bitten wir um Entschuldigung.

Statt A) 100 Ohm B) 47 Ohm C) 22 Ohm  
hätte es heißen müssen A) 10 Ohm B) 4,7 Ohm C) 2,2 Ohm.

$$R_x = 0,7 \text{ V} / 0,35 \text{ A} \quad R_x = 2 \Omega$$

Ergebnis: 2,2 Ω, C) passt am besten, der erlaubte Strom wird um 10 % unterschritten.

Hinweis: Die Lösung dieser Frage wurde wegen unseres Fehlers nicht bewertet.

#### Lösung 2:

An allen drei LEDs zusammen liegen 10,2 V.

$$\text{Wirkungsgrad} = U_{\text{gesamt}} / U_{\text{nutzen}}$$

$$= 10,2 \text{ V} / 12,6 \text{ V} = 81 \%$$

D) stimmt.

#### Lösung 3:

$$U_{ce} = 14 \text{ V} - 10,2 \text{ V} - 0,7 \text{ V} = 3,1 \text{ V}$$

$$P = U * I$$

$$P = 3,1 \text{ V} * 0,35 \text{ A}$$

$$P = 1,085 \text{ W}$$

Also stimmt H), ca. 1 W.

#### 1) U1 = 0 V. Die LED leuchtet. Welche Spannung U2 wird gemessen?

- A) ca. 0,47 V
- B) ca. 1 V
- C) ca. 2,3 V

#### 2) U1 wird langsam erhöht. Bei welcher Spannung U1 kippt der Ausgang um?

- D) ca. 2,9 V
- E) ca. 4,5 V
- F) ca. 6 V

#### 3) U1 wird langsam verringert. Bei welcher Spannung U1 kippt der Ausgang zurück?

- G) ca. 1,4 V
- H) ca. 2 V
- I) ca. 2,5 V

Der Versuch verwendet wieder den LDR als veränderlichen Widerstand. Diesmal wird jedoch die LED bei großer Helligkeit eingeschaltet und bei Dunkelheit ausgeschaltet. Auch bei langsamer Abschattung lässt sich kein Übergangsbereich finden. Wie es für einen Schmitt-Trigger typisch ist, wird eine

allmähliche Änderung in abrupte Sprünge umgesetzt. Die Empfindlichkeit der Schaltung lässt sich in weiten Grenzen an die Lichtverhältnisse anpassen, indem man den Spannungsteiler am Eingang verändert. Mit einem Festwiderstand von 10 kΩ wird erst bei großer Helligkeit (z.B. nahe bei einer

Lampe) geschaltet. Mit einem Widerstand von 100 kΩ erfasst man den mittleren Helligkeitsbereich in Wohnräumen.

(120006)

# Der Sommer naht...

Von Thijss Beckers

Die im Labor arbeitenden Elektor-Mitarbeiter kontrollieren gerade die letzten Lötstellen an den Projekten für die kommende Sommerausgabe von Elektor — der *Projekt Generator Edition (PGE)*. In diesem Jahr geht es in der Doppelausgabe um Klasse statt Masse. Schon bei der Auswahl der Ideen und Artikel wurden die Qualitätsanforderungen hochgeschraubt. Alle Beteiligten setzten sich dieses Jahr ein großes Ziel: die Veröffentlichung von Projekten mit der best-machbaren Qualität, den klarst-darstellbaren Details - und vielen Platinen.

Dieses Vorhaben hätten wir alleine übrigens



nie stemmen können! Daher bedanken wir uns an dieser Stelle bei unseren geschätzten freien Mitarbeitern und externen Experten, deren Beiträge in dieser dickeren Elektor-Ausgabe unverzichtbar waren.

Als diese Zeitschrift gedruckt wurde, fehlte die Redaktion noch an den letzten Texten und Artikeln für die kommende PGE. Wir hoffen, Ihnen damit die richtige Lektüre für einen schönen Sommer zu bieten und wünschen Ihnen schon jetzt viel Spaß beim Lesen. Und natürlich beim Ausprobieren der Schaltungen!

(120395)

# Stabistor = Z-Diode umgekehrt

Von Thijss Beckers

Jeder Elektroniker sollte eigentlich im Schlaf herbetzen können, wie eine Z-Diode funktioniert und wo und vor allem wie herum man sie einsetzt. Doch beim Begriff „Stabistor“ wird man doch etwas unsicher. Was macht so ein Bauteil eigentlich?

Lassen Sie mich erzählen, wie dieses Ding in mein Blickfeld geriet. Bei der Arbeit an einer Schaltung zur Steuerung eines Elektromotors löste Kollege Chris Vossen eine 2-V-Zener-Diode ein, die gerade vorrätig war. Sie war mit „BZV46-2V0“ beschriftet. Beim Ausprobieren der Schaltung aber musste Chris feststellen, dass diese nicht recht funktionieren wollte. Und kurz darauf fand er die Ursache für das Problem...

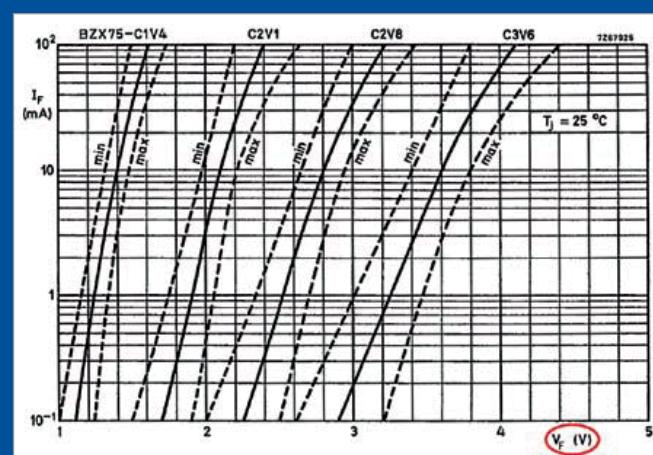
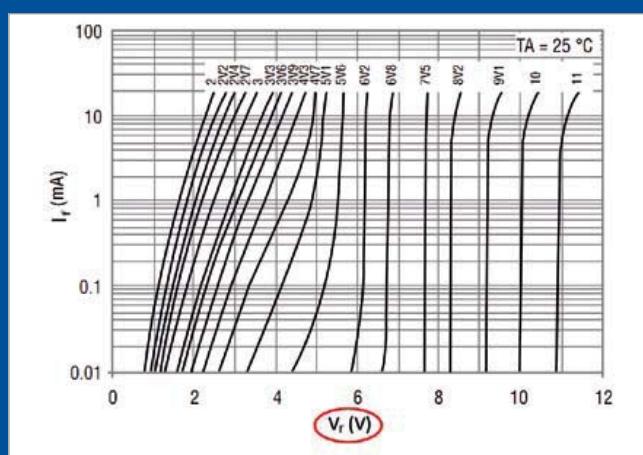
Werfen Sie mal einen Blick auf die aus den Datenblättern entnommenen Kennlinien. Fallen Ihnen Unterschiede auf (abgesehen von der Skalierung und der Anzahl der Kurven)? Wenn

nicht: Achten Sie genau auf die Beschriftung der X-Achsen. Bei den Z-Dioden steht da „ $V_r$ “ (reverse Voltage) und bei den Stabistoren „ $V_F$ “ (forward Voltage). Trotz unterschiedlichem inneren Aufbau machen Zener-Diode und Stabistor im Prinzip also das Gleiche, bis auf die andere Polung...

Da bei der BZV46 die Kathode markiert ist (wie bei einer Z-Diode), ist es nicht mehr so klar, wie herum sie eigentlich eingebaut gehört – vor allem kann man sich ohne einen Blick ins Datenblatt nicht wirklich sicher sein. Wenn aber klar geworden ist, dass eine BZV46-2V0 ein Stabistor und keine Zener-Diode ist, dann weiß man auch, dass man sie genau andersrum einlöten muss. Dann klappt das auch mit der Funktion der Schaltung...

Als kleiner Rat an alle, die gelegentlich Z-Dioden aus der Basiskiste einsetzen: Bei niedrigen Spannungen auf die Polarität achten!

(120313)



# First Step

NEU!

## Erste Schritte mit dem Mikrocontroller

Sie interessieren sich als Auszubildender, Schüler, Student – oder einfach nur so – für Mikrocontroller-Technik?

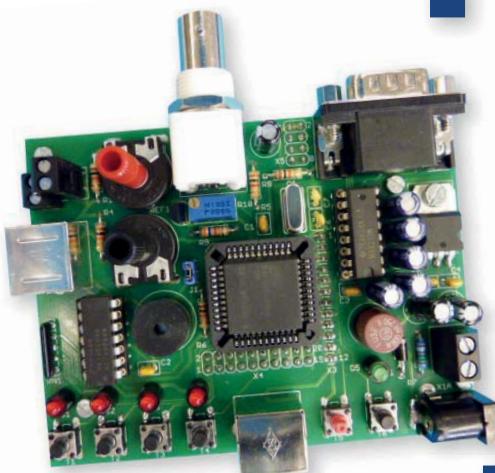
Mit dem neuen „First Step“-Paket haben Sie den Schlüssel und alle nötigen Werkzeuge für diese faszinierende Welt in der Hand! Das fertig bestückte und getestete „First Step“-Board und drei exakt darauf abgestimmte Arbeitshefte (plus Software-CD) machen die ersten Experimente mit einem Mikrocontroller zum Kinderspiel.

### Bestandteile des „First Step“-Pakets:

#### → 3 Arbeitshefte

(inkl. passendes DIN A4-Ringbuch)

- Beschreibung der Hardware
- Beschreibung der integrierten Entwicklungsumgebung IDE
- Einführung in die Programmiersprache „C“
- Zahlensysteme, Arithmetik, Variable
- Logische Operationen
- Digitale I/O-Ports
- A/D-Wandler, Timer/Counter



#### → 1 „First Step“-Mikrocontroller-Board

- 8051er-Mikrocontroller: AT89C51CC03
- 2,5-V-Referenzspannungsgeber für A/D-Wandler: LT1009
- TTL/RS-232-Pegelwandler MAX232
- Treiber für LEDs und Piezo-Summer: 74HC04
- 4 Taster (Eingabe von binären Signalen)
- 4 LEDs (Ausgabe von binären Signalen)
- Piezo-Summer (Ausgabe von akustischen Signalen)
- BNC-Buchse (Ein-/Ausgabe von externen binären Signalen)
- 2 Potentiometer (Eingabe von analogen Signalen)
- 2 Mini-DIN-Buchsen und eine Doppelstock-Schraubklemme
- Karten-Format: 98 x 75 mm
- Spannungsversorgung: 9 V DC, max. 100 mA, Verpolungsschutzdiode und Miniatursicherung

#### → 1 CD-ROM mit Zusatzinfos

- Datenblätter
- Systemdokumentation
- Entwicklungsumgebung
- Beispielprogramme

Das gesamte „First Step“-Paket kostet nur 199,00 Euro.

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

# Echos vom BOB

Von Antoine Authier (Elektor-Labor)

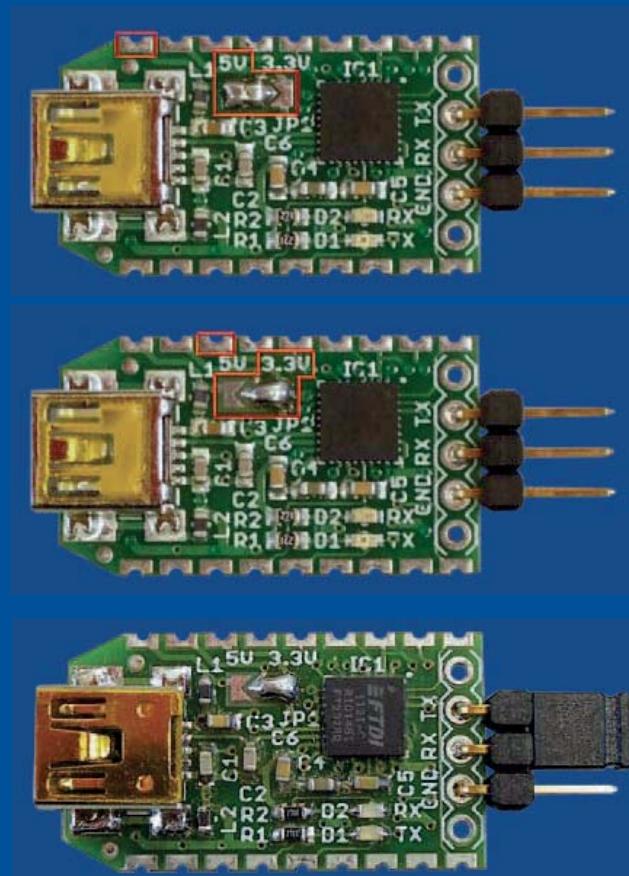
Zu den Aufgaben der Entwickler im Elektor-Labor gehört es auch, bei technischen Fragen zu helfen. Einige Anfragen sind einfach und werden nebenbei erledigt, andere benötigen mehr Aufmerksamkeit plus Zeit und manche sind in die Kategorie „Interessant...“ einzuordnen. Die folgende Frage von M. Da Silva gehört wohl in diese letzte Kategorie:

*Ich kaufe vier Ihrer BOBs ([1], USB-FT232R Breakout-Board, Elektor September 2011; die Redaktion) und mit jedem Exemplar hatte ich die gleichen Kommunikationsprobleme. Wenn ich etwas von meinem PC an den BOB schicke, dann blinken die LEDs und am seriellen Ausgang erscheinen die richtigen Signale. Doch umgekehrt klemmt es: Wenn ich über den Eingangs-Pin des BOB eine Nachricht an den PC schicke, dann blinkt weder eine LED noch erreicht die Nachricht meinen Computer. Können Sie mir bitte einen Hinweis zur Lösung meiner Probleme geben?*

Nun ist es höchst unwahrscheinlich, dass alle vier Platinen fehlerhaft sind. Um die BOBs zu überprüfen wurde vorgeschlagen: Stellen Sie bitte sicher, dass nur **eine** der beiden GPIO-Versorgungsspannungen (3,3 V oder 5 V) angeschlossen ist. Also nicht alle SMD-Jumper-Pads miteinander verbinden. Nur ein äußeres Pad (das mit der gewünschten Spannung) darf per Lötzinn-Tropfen mit dem mittleren Pad verbunden sein. Siehe die ersten zwei Fotos.

Nun ein Echo-Test. Hierzu braucht es weder Tal noch Wald. Man muss lediglich TX und RX miteinander verbinden. Dazu genügt ein gewöhnlicher Jumper, wie das dritte Foto beweist. Nun wird der BOB per USB mit dem PC verbunden. In Ihrem Terminal-Emulations-Programm wird zunächst die lokale Echo-Funktion deaktiviert und dann eine Nachricht an den BOB geschickt. Die Nachricht sollte sofort als Echo zurückkommen. Bei abgezogenem Jumper sollte die Meldung dagegen nicht als Echo im Empfangsfenster erscheinen.

Als Terminal eignet sich z.B. ein Programm wie *Tera Term Pro*. Es ist kostenlos über [2] erhältlich und wirklich sehr einfach zu bedienen. Es bringt außerdem eine Reihe nützlicher Funktionen mit (mit denen man die Sache wieder kompliziert machen kann). Bei einem modernen Computer (legacy free – ohne serielle Ports) und mit korrekt erkanntem BOB (muss eingesteckt sein, bevor man das Programm startet) wird der entsprechende COM-Port als Standard eingestellt, wenn man ein neues Kommunikationsfenster öffnet. Das lokale Echo ist via Menü *Setup*



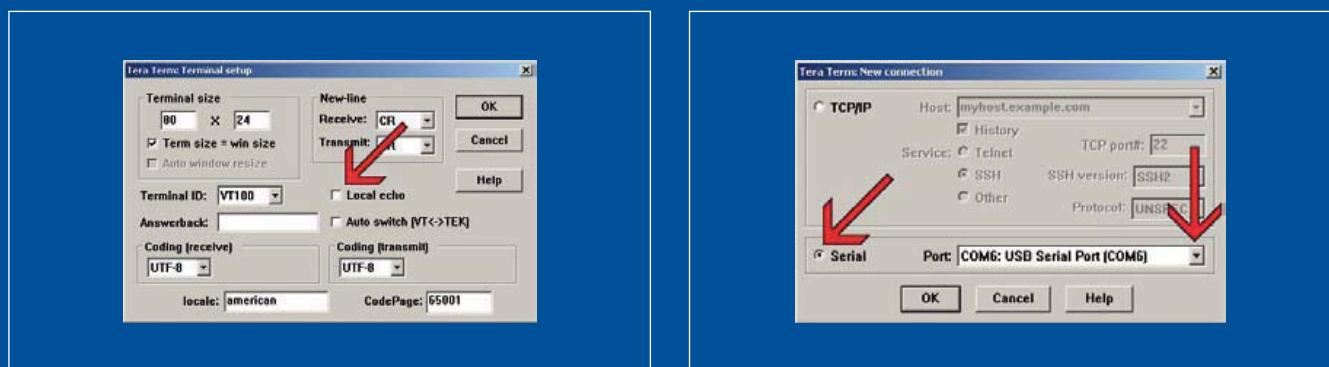
-> Terminal konfigurierbar, indem man das passende Häkchen setzt oder entfernt.

Wenn es bis hierher geklappt hat, dann wird der Fehler irgendwo anders zu suchen sein. Wenn nicht, dann überprüfen Sie bitte Ihre Einstellungen und nochmals die Lötstellen, bevor Sie sich an den Elektor-Service wenden.

(120230)

## Weblinks

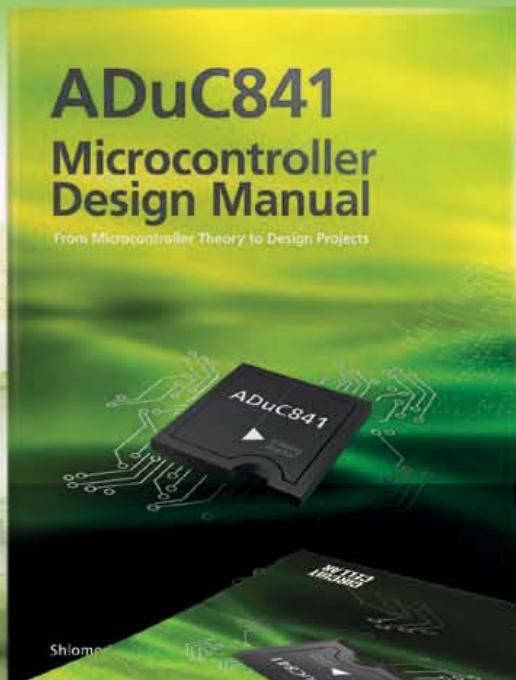
- [1] [www.elektor.de/110553](http://www.elektor.de/110553)
- [2] <http://en.sourceforge.jp/projects/ttssh2>



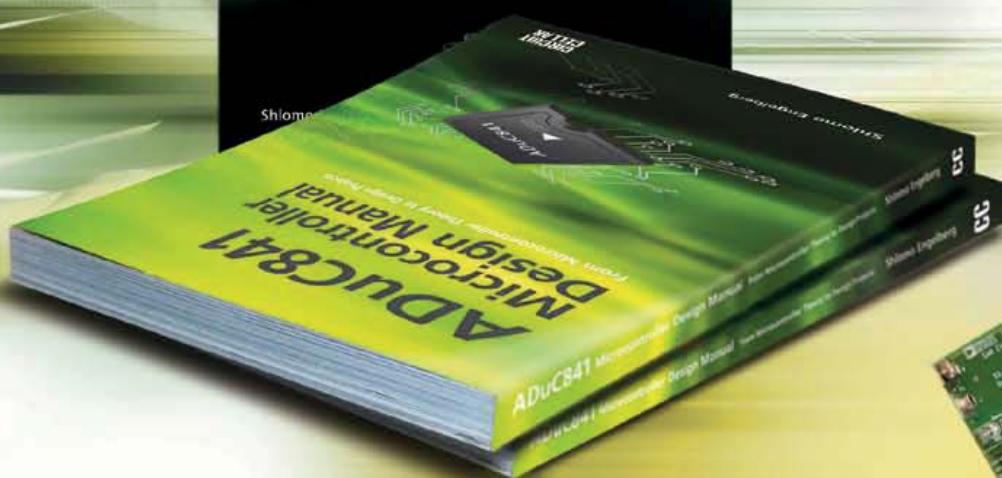
# ADuC841 Microcontroller Design Manual:

## From Microcontroller Theory to Design Projects

If you've ever wanted to design and program with the ADuC841 microcontroller, or other microcontrollers in the 8051 family, this is the book for you. With introductory and advanced labs, you'll soon master the many ways to use a microcontroller. Perfect for academics!



**Now  
Just  
\$35.00**



**Buy it today!**  
**[www.cc-webshop.com](http://www.cc-webshop.com)**

# Bauelemente-Tipp

Von Raymond Vermeulen (Elektor-Labor)

## Robust im Schalten

In der letzten Elektor-Ausgabe hatten wir einen MOSFET vorgestellt, mit dem hindurchfließende Ströme effizient gemessen werden können. Diesmal geht es um einen intelligenten Schalter, verkörpert durch einen MOSFET mit eingebauten Schutzdioden und integrierter Logik. Solche Bauelemente bieten meistens Schutz vor Verpolung, vor Schaltspitzen bei induktiven Lasten, vor Überströmen und Übertemperaturen sowie vor Schäden durch ESD. In rauen Umgebungen (Industrie, Automotive) können solche Schutzmechanismen überlebenswichtig sein.

(120226)gd

## BTS432E2

Der BTS432E2 ist ein so genannter intelligenter Highside-Switch. In ihm steckt außer einem N-MOSFET eine Ladungspumpe für das Gate, außerdem wurden umfangreiche Maßnahmen zum Schutz vor Beschädigungen und Zerstörung getroffen. Entwickelt wurde dieses Bauelement für den Einsatz in der Bordelektrik von Kraftfahrzeugen (12 V oder 24 V). Dort kann es resistive, induktive oder kapazitive Lasten schalten. Für induktive Lasten empfiehlt der Hersteller das Parallelschalten einer Diode. Ohne die internen Schutzmaßnahmen würden die Stoßspannungen, die beim Schalten induktiver Lasten auftreten, den MOSFET zerstören. Der BTS432E2 ist so konzipiert, dass er in Kraftfahrzeugen viele Typen elektromechanischer Relais ersetzen kann. Aus der Tabelle geht hervor, dass der BTS432E2 auch für höhere Spannungen geeignet ist.

Der Highside-Switch kann von einem Mikrocontroller geschaltet werden, der mit der Betriebsspannung 2,7 V arbeitet. Für diesen Zweck ist ein so genannter Level-Shifter integriert. Ferner ist ein Status-Ausgang vorhanden, er ist low bei offenem Schaltausgang, bei Kurzschluss nach Masse oder  $V_{bb}$ , oder bei Übertemperatur. Nach Auftreten von Unter- oder Überspannungen startet der MOSFET ohne äußeres Zutun, dabei verhält sich der Status-Ausgang passiv. Ein Schutz gegen Verpolungen der Betriebsspannung und Un-

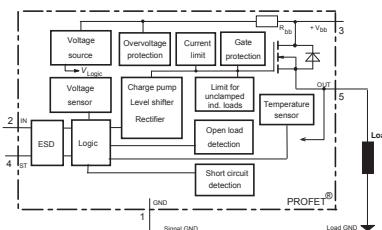


Bild 1. Funktionsschema und Anschlüsse.

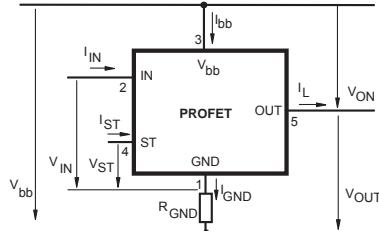


Bild 2. Ströme und Spannungen.

terbrechungen der Masseleitung ist ebenfalls vorhanden.

Die Strombegrenzung setzt während der ersten 400 µs wesentlich später als bei Dauerstrom ein, was dem Schalten kapazitiver Lasten oder kalter Glühlampen entgegen kommt. Zur Strombegrenzung bei Verpolung können die Anschlüsse 1, 2 und 4 Widerstände vorgeschaltet werden. Der durch die so genannte Body-Diode fließende Strom wird von der angeschlossenen Last begrenzt. Wie lange der Strom fließt, hängt von der Kühlung des Bauteils ab. Wenn im Normalbetrieb die Temperatur über 150 °C steigt, schaltet der BTS432E2 ab, nach der Abkühlung schaltet er selbsttätig wieder ein.

Neben allen guten Eigenschaften haben diese MOSFET-Schalter auch einige Handicaps. Der schwerwiegendste Nachteil sind die langen Schaltzeiten, die oft um den Faktor 1000 höher als bei „nackten“ MOSFETs liegen. Deshalb ist der BTS432E2 für Anwendungen nicht geeignet, die schnelles Schalten erfordern. Wenn die Schaltzeiten unkritisch sind, ist dieser MOSFET-Typ eine voll taugliche Alternative zum elektromechanischen Relais.

Weblink: [www.infineon.com](http://www.infineon.com)

Suchbegriff: BTS432E2

Parameter	Condition	Value
On resistance $R_{on}$	$I_L = 2 \text{ A}$	$30 \text{ m}\Omega \text{ (typ)}$
Turn-on time $t_{on}$	$90\% V_{OUT}$	$160 \mu\text{s} \text{ (typ)}$
Input turn-on voltage $V_{IN(T+)}$	$T_j = -40...+150 \text{ }^\circ\text{C}$	$2,4 \text{ V (max)}$
Input turn-off voltage $V_{IN(T-)}$	$T_j = -40...+150 \text{ }^\circ\text{C}$	$1,0 \text{ V (min)}$
Undervoltage shutdown, $V_{bb(\text{under})}$	$T_j = -40...+150 \text{ }^\circ\text{C}$	$4,5 \text{ V (max)}$
Oversupply shutdown $V_{bb(\text{over})}$	$T_j = -40...+150 \text{ }^\circ\text{C}$	$42 \text{ V (min)}$
Thermal overload trip temperature $T_{jt}$		$150 \text{ }^\circ\text{C}$
Nominal load current $I_{L(\text{ISO})}$	$T_c = 85 \text{ }^\circ\text{C}$	$9 \text{ A (min)}$
Repetitive short circuit current limit $I_{L(\text{SCR})}$	$T_j = 150 \text{ }^\circ\text{C}$	$35 \text{ A (typ)}$
Initial peak short circuit current limit $I_{L(\text{SCP})}$	$T_j = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	$44 \text{ A (typ)}$
Output clamp, voltage under $V_{bb}$	$I_L = 30 \text{ mA}$	$58 \text{ V}$
Reverse battery $-V_{bb}$	Pin 3 to 1	$-32 \text{ V (max)}$

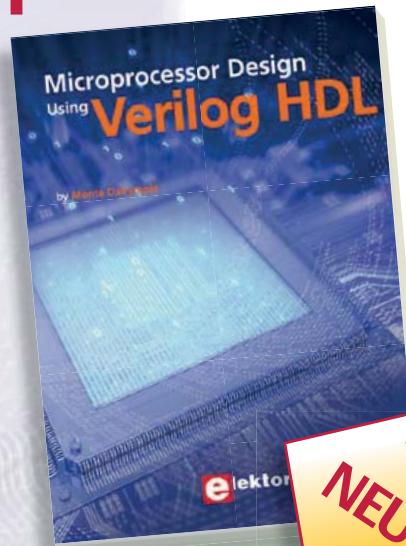
# Microprocessor Design using Verilog HDL

Neues Fachbuch in englischer Originalsprache

Mit den richtigen Tools sollte die Entwicklung eines Mikroprozessors heute nicht mehr allzu kompliziert sein. HDL – die *Verilog Hardware Description Language* – ist ein solches Tool. Man kann damit eine elektronische Schaltung beschreiben, simulieren und synthetisieren. Dies wiederum steigert die Produktivität, da so der notwendige Aufwand bei einem Projekt geringer ausfällt.

Dieses neue englischsprachige Fachbuch ist eine konkrete und praxisorientierte Anleitung zur Entwicklung von Prozessoren. Es präsentiert Verilog HDL auf leicht verdauliche Art und Weise. Außerdem führt es gründlich durch die Reduktion einer Computer-Architektur samt Befehlssatz bis hin zur Praxistauglichkeit.

Man wird vom Anfang bis zum Ende eines Mikroprozessor-Entwicklungsprozesses geleitet, wobei alle essenziellen Schritte vom Schreiben in Verilog bis hin zum Debuggen und Testen dargelegt werden.



NEU!

337 Seiten (kart.)  
Format 17 x 23,5 cm  
ISBN 978-0-9630133-5-4  
€ 34,50 • CHF 42,80

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



**Elektor Electronic Toolbox**  
Erhältlich im  
**App Store**

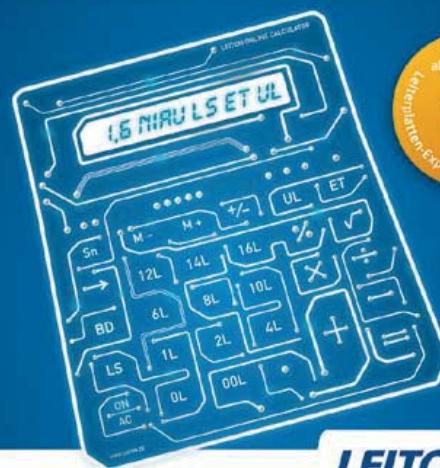
Umfangreiche Elektroniker-App von Elektronikern für Elektroniker

Die neue „Elektor Electronic Toolbox“-App ist ganz auf die Belange von Elektronikern zugeschnitten. 33 Einzelprogramme/Anwendungen können über eine übersichtliche Oberfläche ausgewählt werden. Sehr hilfreich im Entwickleralltag sind die Datenbanken für die Bauteilgruppen Bipolar-Transistoren, FETs, Triacs, Thyristoren, Dioden und ICs. Ein Bauteil kann anhand der Typenbezeichnung kinderleicht ausgewählt werden – eine Internetverbindung ist nicht notwendig. Insgesamt sind über 45.000 Bauteile in den Datenbanken verzeichnet. Hinzu kommt eine Spezialdatenbank, in der die Belegung einer Vielzahl von Steckverbindern aus den Bereichen Audio & Video, Computer-technik und Telefon nachgeschlagen werden kann. Nützlich sind auch die interaktiven Bauteilwert-Kalkulatoren.

Tools wie eine virtuelle Widerstandsuhr, ein Umrechner zwischen Maßeinheiten, eine Schaltsymboldatenbank und vieles mehr runden die Elektor-App ab.  
Die neue „Elektor Electronic Toolbox“ (geeignet für iPhone, iPod und iPad) kann zum Preis von nur 3,99 Euro heruntergeladen werden.

**BESSER GLEICH  
ONLINE KALKULIEREN.**

STARRE- UND FLEXIBLE LEITERPLATTEN.



**LEITON**

RECHNEN SIE MIT BESTEM SERVICE

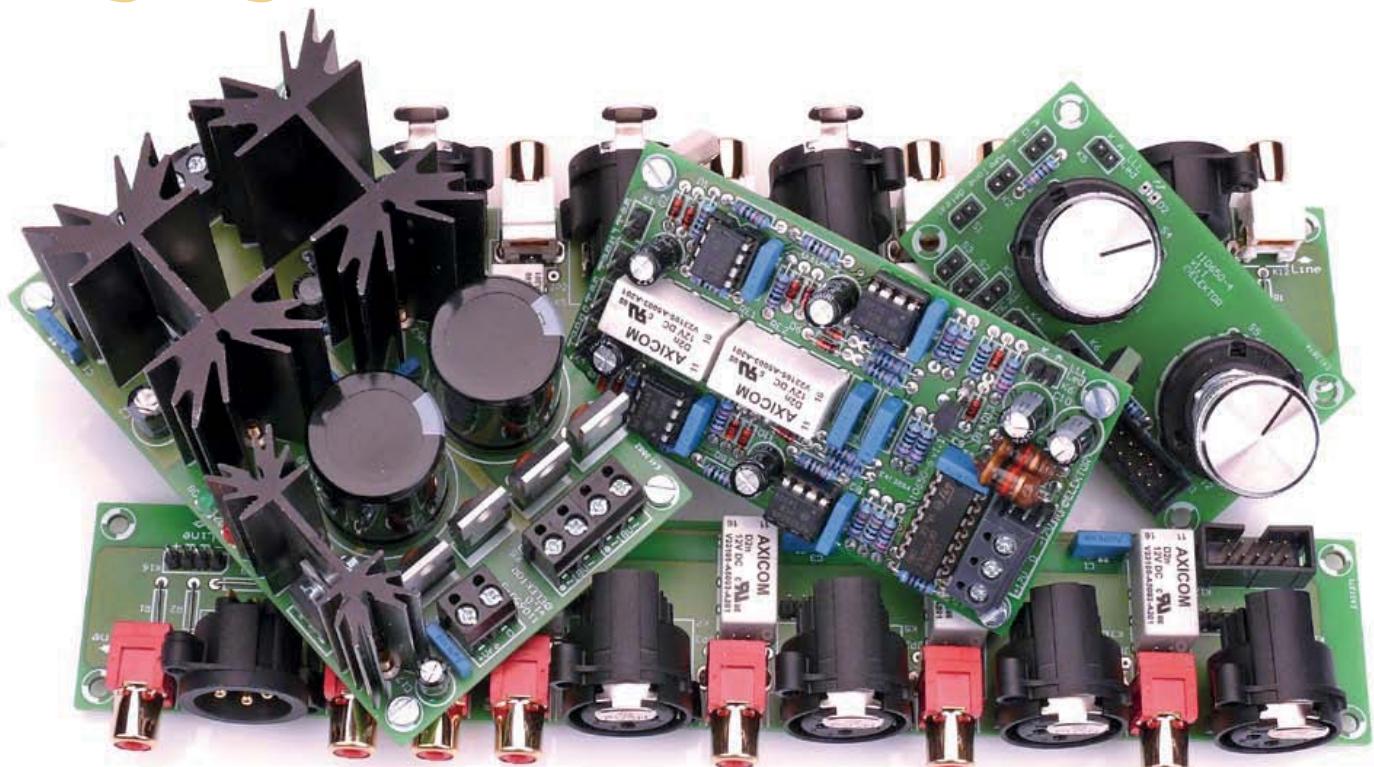
Schluss mit umständlichen Rechenoperationen! Bei uns kalkulieren Sie auch Ihre exotischsten Leiterplatten jederzeit schnell und einfach online. Doch nicht genug: Bei Leiton gilt die Online-Kalkulation auch für Serien und flexible Leiterplatten! Ebenso einmalig ist der Leiton Leiterplatten-Expressdienst mit Top-Garantie: Platinen sind gratis bei überschrittenem Liefertermin! Neugierig? Unsere persönliche Telefonberatung und unser kompetenter Außendienst helfen Ihnen gerne weiter. Denn Sie wissen: Bei Leiton rechnen Sie immer mit bestem Service.

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

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

# Preamp 2012 (3)

## Teil 3: Pegelanzeige, Eingangswahlschalter und Netzteil



Von Douglas Self (UK)

Diesen Monat schließen wir die Beschreibung der Funktionsweise und des Aufbaus der einzelnen Platinen unseres High-End-Vorverstärkers ab.

### LLLL – die Pegelanzeige

Soweit mir bekannt ist, dürfte diese LLLL-Anzeige (Log Law Level LED) eine ziemlich neue Sache sein. Normale Indikatoren mit einzelnen LEDs werden von einem Komparator angesteuert und gehen daher in einem schmalen Bereich von etwa 2 dB an oder aus, wenn man sie mit Musik (keine Sinuswellen) ansteuert. Sie sind daher nicht sehr informativ. Eine LLLL hingegen enthält einen simplen logarithmischen Konverter, was den Anzeigebereich (immer aus bis immer an) auf etwa 10 dB spreizt. Der interne Pegel des Vorverstärkers ist dann richtig, wenn die LED zu etwa 50 % der Zeit leuchtet. Dies ergibt eine deutlich besser ablesbare Anzeige, da man den Pegel über das Tast-

verhältnis annähernd schätzen kann.

In der Schaltung von **Bild 1** bildet IC1A mit R1, R2, D1, D2 einen Präzisions-Einweggleichrichter. Kombiniert man dessen Signal mit dem von R3, ergibt sich an IC1B ein vollweg-gleichgerichtetes Signal. Dieser Opamp ist ein weiterer Präzisionsgleichrichter, der C2 auf seinen Spitzenwert auflädt. Dessen Spannung wird wiederum von IC2A gepuffert. Der gepufferte Spitzenwert steuert dann den logarithmischen Konverter um IC2B an. Bei kleinem Pegel wird die Verstärkung durch R6 und R7 bestimmt. Bei steigenden Pegeln beginnt D5 zu leiten, wodurch die Verstärkung durch die stärkere Gegenkopplung mit R8 reduziert wird. Bei noch höheren Pegeln wird über D6 zusätzlich noch R9 wirksam,

wodurch die Verstärkung weiter abnimmt. Diese einfache Schaltung ist natürlich nur eine grobe Annäherung an einen richtigen Logarithmierer, genügt aber den Ansprüchen an so eine Pegelanzeige.

Die so vorverarbeitete Spannung gelangt schließlich an den Komparator IC5A. Bei Überschreitung der mit R21 und R22 eingestellten Schwelle liefert der Ausgang von IC5A ein „low“. Der mit IC5B aufgebaute Inverter liefert dann ein „high“, was zur Folge hat, dass der Strom der Stromquelle um T1 durch die an K6 angeschlossene LED fließen kann. Die beiden Stereo-Kanäle sind über die Verbindung der Open-Collector-Ausgänge von IC5A und IC5C „verodert“. Von daher reagiert die LED auf Stereo-Sig-

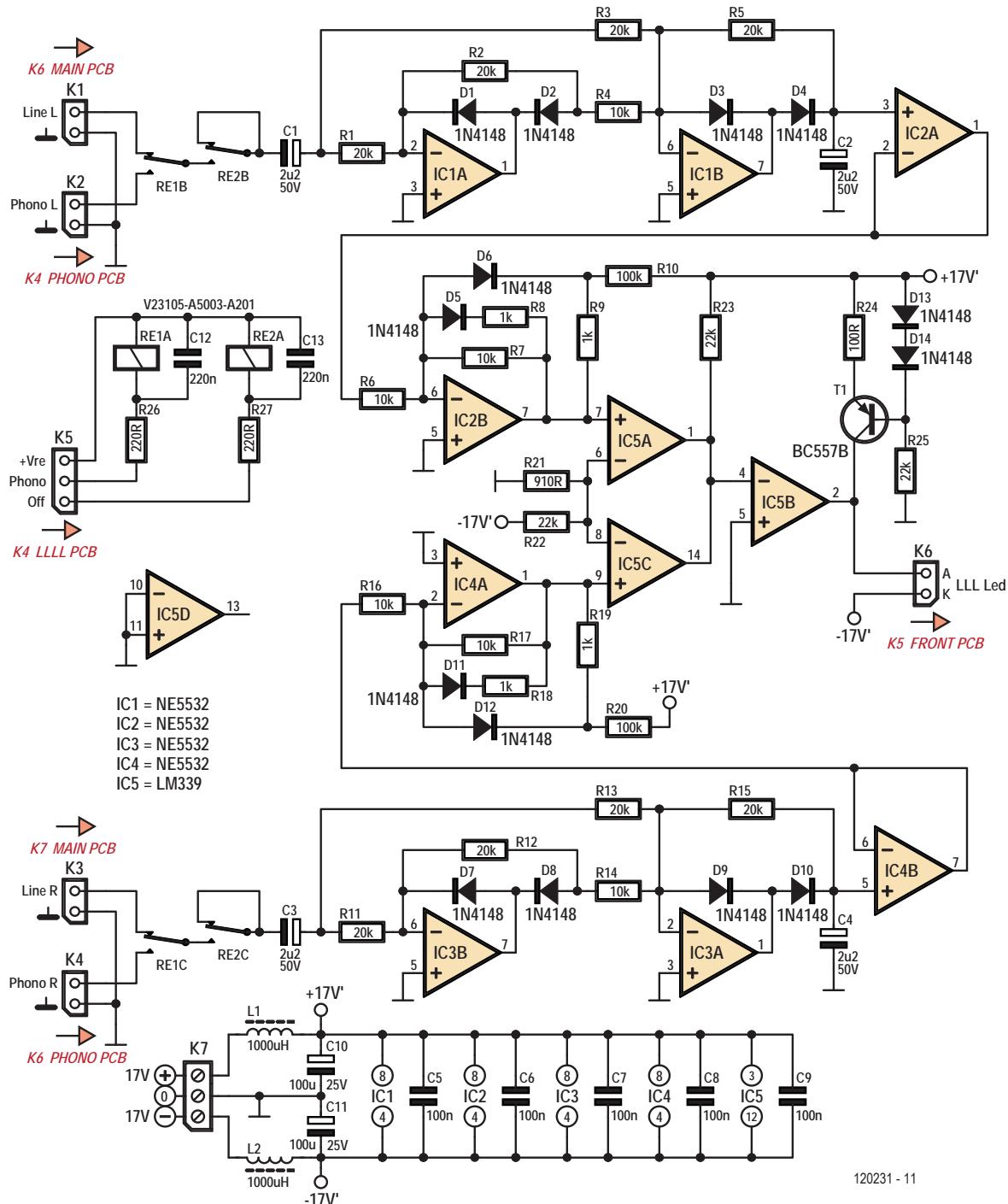


Bild 1. Schaltung des LLLL-Indikators.

nale. IC5D wird nicht gebraucht.

Die LLLL kann entweder direkt das Signal des Phono-Eingangs überwachen (damit man dessen Verstärkung sauber einstellen kann), oder aber man legt sie hinter die Relais der Eingangsumschaltung und kann dann den Pegel jedes Eingangs beobachten. Diese Umschaltung wird durch die Relais-Kontakte RE1B und

RE1C vorgenommen. Mit den Relais-Kontakten RE2B, RE2C kann die Anzeige nach erfolgter Einstellung abgeschaltet werden, sollte das Flackern der LED stören.

Die LLLL wird auf der Platine # 110650-6 von Bild 2 aufgebaut. Hier kommen wieder nur bedrahtete Bauteile zum Einsatz, was die Bestückung sehr einfach macht.

Das Gleiche gilt übrigens auch für die nachfolgend beschriebenen drei oder vier Platten. Eine fertig aufgebaute LLLL-Platine ist in Bild 3 zu sehen.

### Eingangs-Platten

Die Platten für die Eingänge (je eine pro Kanal) sind mit den Buchsen für die Ein- und

## Stückliste

### LLLL-Platine (# 110650-6)

#### Widerstände:

(0,25 W; 1 %)  
 R1..R3,R5,R11..R13,R15 = 20 k  
 R4,R6,R7,R14,R16,R17 = 10 k  
 R8,R9,R18,R19 = 1 k  
 R10,R20 = 100 k  
 R21 = 910  $\Omega$   
 R22,R23,R25 = 22 k  
 R24 = 100  $\Omega$   
 R26,R27 = 220  $\Omega$

#### Kondensatoren:

C1..C4 = 2,2  $\mu$ /100 V, 20 %,  $\varnothing$  6,3 mm, RM 2,5 mm  
 C5..C9 = 100 n/100 V, 10 %, RM 7,5 mm  
 C10,C11= 100  $\mu$ /25 V, 20 %,  $\varnothing$  6,3 mm, RM 2,5 mm  
 C12,C13 = 220 n/100 V, 10 %, RM 7,5 mm

#### Spulen:

L1,L2 = 1 mH, 3,6  $\Omega$ , 370 mA, axial

#### Halbleiter:

D1..D14 = 1N4148  
 T1 = BC557B  
 IC1..IC4 = NE5532  
 IC5 = LM339

#### Außerdem:

K1..K4,K6 = 2-pol. Stiftleiste, RM 0,1"  
 Pfostenverbinder für K1..K4,K6  
 K5 = 3-pol. Stiftleiste, RM 0,1"  
 Pfostenverbinder für K5  
 K7 = 3-pol. Schraubklemme für Platinenmontage, RM 5 mm  
 RE1,RE2 = Relais V23105-A5003-A201, 2 x um, 12 V/960  $\Omega$   
 Platine # 110650-6  
[www.elektorpcbservice.de](http://www.elektorpcbservice.de)

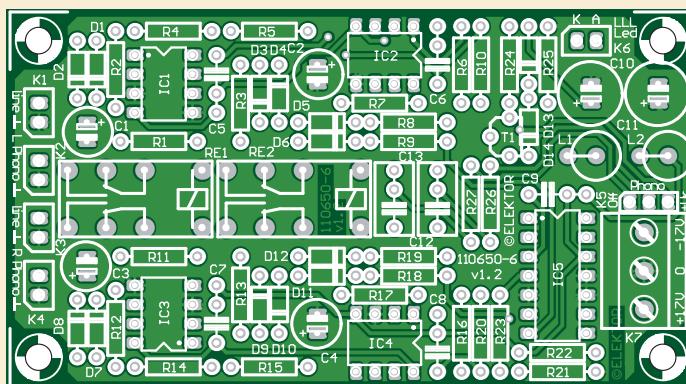


Bild 2. Die kombinierte Mess- und Treiberschaltung der LLLL-Anzeige kommt auf diese Platine, die via [www.elektorpcbservice.de](http://www.elektorpcbservice.de) erhältlich ist.

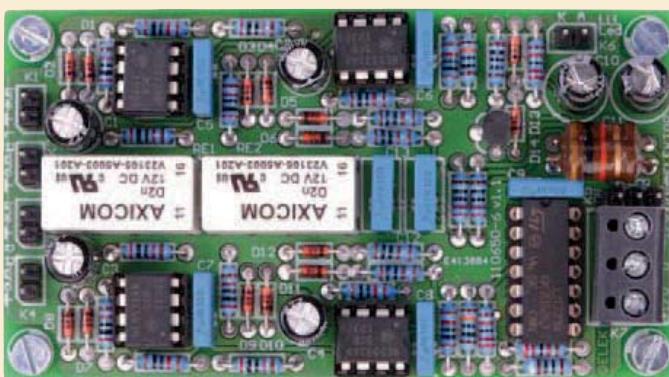


Bild 3. Prototyp der LLLL-Platine aus dem Elektor-Labor.

Ausgänge sowie den Relais zur Eingangsumschaltung bestückt. Der Schaltplan findet sich in Bild 4. Die vier Line-Eingänge können entweder symmetrische oder die üblichen unsymmetrischen Signale führen. Symmetrische Eingänge sind aufgrund der geringeren Störempfindlichkeit und der Trennung der Masseleitungen zu bevorzugen. Letzteres kann man sogar bei unsymmetrischen Signalquellen erreichen. Hierzu wird der invertierende symmetrische Eingang direkt bei der Signalquelle auf Masse gelegt, wozu natürlich dreipolare Kabel erforderlich sind. Von daher gibt es eigentlich keinen technischen Grund für die zusätzlichen Cinch-Buchsen. Sie dienen lediglich der Bequemlichkeit. Um sie zu verwenden müssen die Jumper JP1...JP4 gesteckt sein.

Die Signale von Eingang 1 gelangen über die Relais-Kontakte RE1B und RE1C zum eigentlichen Eingang des Vorverstärkers. Ist RE1A angezogen, gelangen die Signale über K15 an die Hauptplatine des Preamplifiers.

Es ist auch noch die Möglichkeit vorgesehen, die XLR-Buchsen unsymmetrisch zu verwenden. Hierzu werden die Jumper S1...S4 so gesteckt, dass die Kontakte RE1B...R4B jeweils die Pins 3 der XLR-Buchsen auf Masse legen. Aber wenn man schon das Geld für XLR-Buchsen ausgibt, sollte man sie auch symmetrisch nutzen.

Über Eingang 4 werden übrigens auch die Signale des Phono-Eingangs gefahren, wenn eine entsprechende Platine vorgesehen ist. Eingang 4 kann dann sowohl für MM- als auch MC-Tonabnehmer verwendet werden, wie dies in Teil 2 der Artikelserie beschrieben wurde. Für einen Phono-Betrieb muss natürlich weder K7 noch K8 bestückt werden. Ohne Phono-Eingang kann Eingang 4 als ganz normaler Line-Eingang mit K7/K8 genutzt werden. Dann gibt es auch keine Verbindung zu K13.

Da weder MC- noch MM-Tonabnehmer symmetrische Signale liefern, sind hierfür lediglich Cinch-Buchsen vorgesehen.

Die Eingangselektronik wird auf der Platine # 110650-3 (siehe Bild 5) aufgebaut. Ein fertig bestücktes Exemplar zeigt Bild 6.

## Die Frontplatte

Die Schaltung für die Platine der Frontplatte ist in Bild 7 zu sehen. Hier finden sich der Eingangswahlschalter, die Signalumschal-

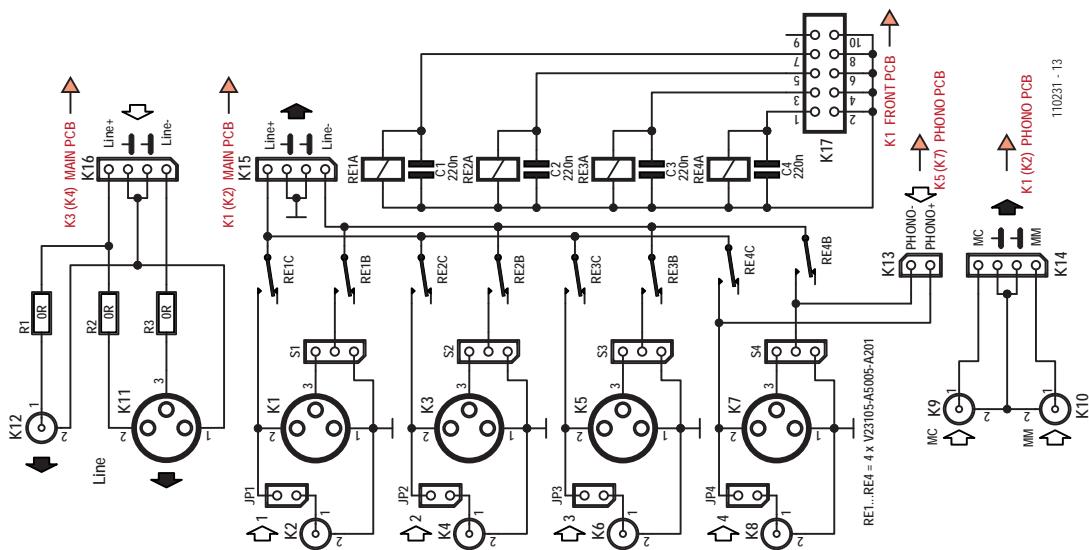


Bild 4. Schaltung der Eingangsstufe des Vorverstärkers.

## Stückliste

### Eingangsplatine (# 110650-3)

#### Widerstände:

R1,R2 = 0  $\Omega$

#### Kondensatoren:

C1..C4 = 220 n/100 V, 10 %, RM 7,5 mm

#### Außerdem:

K1,K3,K5,K7 = 3-pol. XLR-Buchse für Platinenmontage, horizontal  
K12 = Cinch-Buchse für Platinenmontage, horizontal, PSG01545 (rot) oder PSG01546 (weiß)

K11 = 3-pol. XLR-Stecker für Platinenmontage, horizontal

K2,K4,K6,K8..K10,K12 = Cinch-Buchse für Platinenmontage, horizontal, PSG01545 (rot) oder PSG01546 (weiß)

K13,JP1..JP4 = 2-pol. Stiftleiste, RM 0,1"

Pfostenverbinder für K13

K14,K15,K16 = 4-pol. Stiftleiste, RM 0,1"

Pfostenverbinder für K14,K15,K16

K17 = 10-pol. Wannenstecker, 2x5, RM 0,1"

S1..S4 = 3-pol. Stiftleiste, RM 0,1"

Jumper für S1..S4,JP1..JP4

RE1..RE4 = Relais V23105-A5003-A201, 2 x um, 12 V/960  $\Omega$

Platine # 110650-3 ([www.elektorpcbservice.de](http://www.elektorpcbservice.de)): 2 Stück für stereo

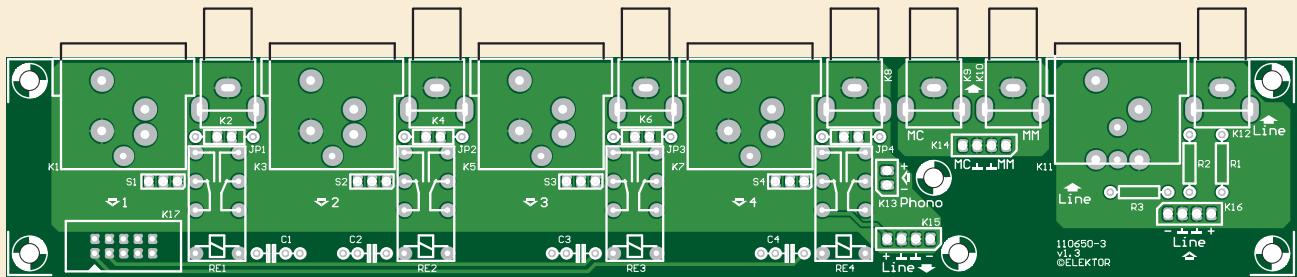


Bild 5. Die Eingangs-Platine (hier auf 75 % verkleinert). Für Stereo-Betrieb braucht man zwei davon.  
Die Platten sind via [www.elektorpcbservice.de](http://www.elektorpcbservice.de) erhältlich.

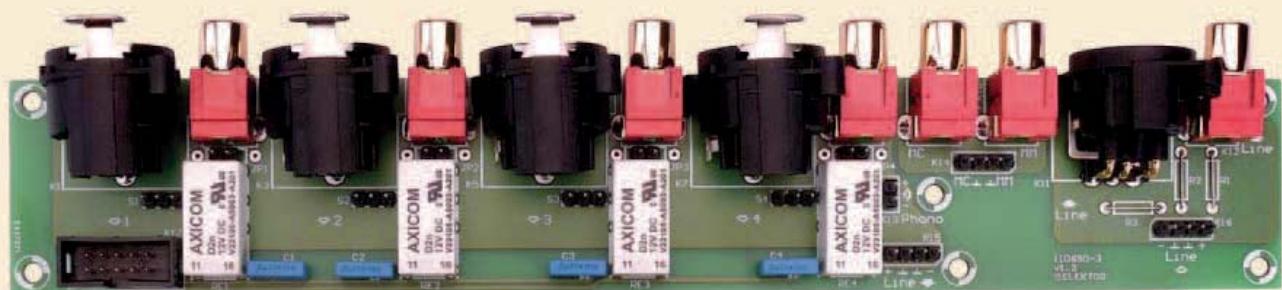


Bild 6. Fertig bestückte Eingangs-Platine.

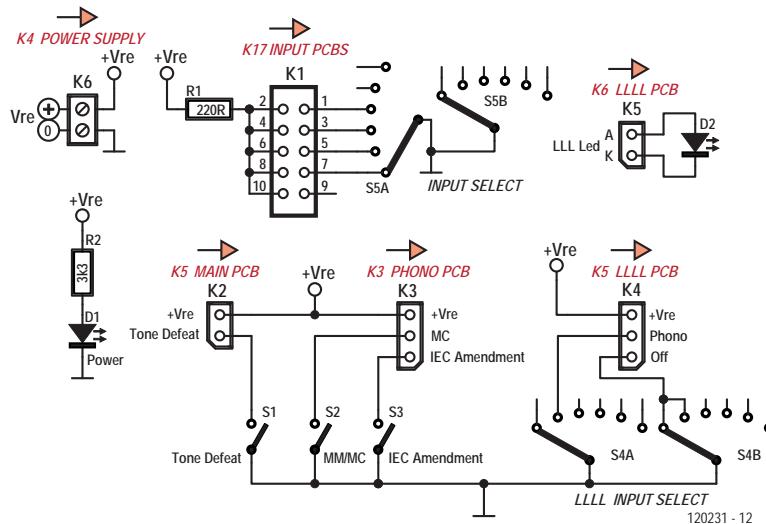


Bild 7. Schalter, LEDs, Widerstände und Steckverbinder erfordern eine eigene Platine, die mit der Frontplatte des Preamp verschraubt wird.

tung für die LLLL, die drei Modus-Schalter sowie eine Power- und eine LLL-LED. S5A ist der Eingangswahlschalter. Für die Ansteuerung der Relais auf der Eingangs-

platine sind nur die ersten vier Positionen erforderlich. Die letzten beiden Stellungen werden mechanisch blockiert. S5B wird nicht genutzt. Die Umschaltung zwischen

MM/MC und Line wird vom Extra-Schalter S2 vorgenommen.

S4A und S4B steuern die Funktion der LLLL. In Position 1 wird die LLLL vom Eingang angesteuert, wodurch der Pegel jedes ausgewählten Eingangs angezeigt wird. In Position 2 wird lediglich das Signal der Phono-Stufe überwacht. In Position 3 erhält die LLLL gar kein Signal und bleibt daher dunkel. Auch hier werden nur drei Stellungen benutzt (Line, Phono und Off), die übrigen drei sind mechanisch blockiert.

Schalter S1 steuert die Relaisabschaltung der Klangeinstellung. Bei geschlossenem S1 wird die Klangeinstellung einfach überbrückt.

Schalter S2 wählt zwischen dem MM- und dem MC-Tonabnehmer. Hierzu dienen die Kontakte RE1B und RE1C auf der Phono-Platine. Bei geschlossenem S2 ist der MC-Eingang aktiv.

S3 wählt die IEC-Korrektur, bei der es sich

## Stückliste

### Frontplatten-Platine (# 110650-4)

#### Widerstände:

(0,25 W; 1 %)  
R1 = 220  $\Omega$   
R2 = 3k3

#### Halbleiter:

D1 = LED, grün, 3 mm  
D2 = LED, rot, 3 mm

#### Außerdem:

K1 = 10-pol. Wannenstecker, 2x5, RM 0,1''  
K2,K5,D1,S1..S3 = 2-pol. Stiftleiste, RM 0,1''  
Pfostenverbinde für K2,K5,D1,S1..S3  
K3,K4 = 3-pol. Stiftleiste, RM 0,1''  
Pfostenverbinde für K3,K4  
K6 = 2-pol. Schraubklemme für Platinenmontage, RM 5 mm  
S1,S2,S3 = Schalter, 1 x um  
S4,S5 = 2-pol. Drehschalter, 6 Stufen, für Platinenmontage, z.B. Lorlin CK1050  
Platine # 110650-4  
([www.elektorpcbservice.de](http://www.elektorpcbservice.de))

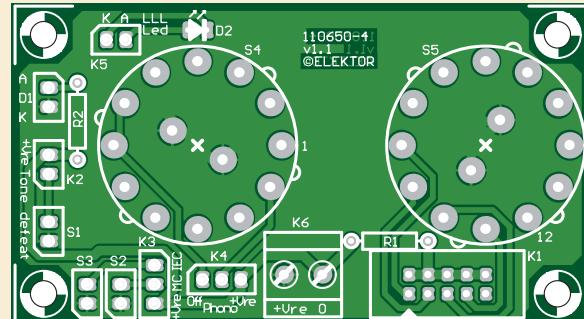


Bild 8. Die Schaltung der Frontplatten-Platine. Die Platine ist via [www.elektorpcbservice.de](http://www.elektorpcbservice.de) erhältlich.



Bild 9. Die fertig bestückte Frontplatten-Platine.

um die in der Regel unerwünschte Absenkung bei 20 Hz handelt, die später zur RIAA-Spezifikation hinzukam. Bei geschlossenem S3 ist die IEC-Korrektur eingeschaltet. Die kleine Platine # 110650-4 eignet sich zur Befestigung an der Frontplatte des Vorverstärker-Gehäuses (siehe Bild 8). Bild 9 zeigt die bestückte Platine.

### Das Netzteil

Das Netzteil ist recht konventionell gehalten, da die Versorgungsspannungen keine besondere Rauschfreiheit benötigen. Nach Bild 10 genügen ein 2x18-V-Trafo mit Mittelanzapfung, ein Brückengleichrichter aus D3...D6 und die Siebkondensatoren C8 und C10 für die Bereitstellung der unstabilisierten Spannungen. Die Kondensatoren C14...C17 blocken die bei der Gleichrichtung entstehenden höheren Frequenzanteile ab. Die auf der Platine befindlichen LEDs D7 und D8 dienen als Einschaltindikatoren und leuchten bei vorhandener unstabilisierter Spannung.

Die stabilisierten  $\pm 17$  V zur Versorgung der Opamps werden von den Spannungsreglern IC1 und IC2 bereitgestellt. Mit den Widerständen R1 und R2 bzw. R3 und R4 werden die Spannungen der Regler eingestellt. C5 und C6 reduzieren die Welligkeit der Ausgangsspannungen. D1 und D2 verhindern, dass die in C5 und C6 gespeicherte Ladung bei einem Kurzschluss die ICs beschädigen könnte. C1...C4 sorgen für eine niedrige Ausgangsimpedanz bei hohen Frequenzen. Der zusätzliche Spannungsregler IC3 liefert +15 V zur Versorgung der Relais. Er wird von der gleichen unstabilisierten Spannung versorgt, an der auch der +17-V-Regler hängt. Wichtig ist, dass die Massen von Audio-Teil und Relais nur an einem einzigen Punkt im Netzteil Verbindung haben, damit die Spulenströme keine Klickgeräusche einstreußen können.

Jetzt ist nur noch die Platine # 110650-5 zum Aufbau des kompletten Preamp erforderlich. Die Platine ist leer in Bild 11 und bestückt in Bild 12 zu sehen.

### Verkabelung

Ein Audio-System aus insgesamt sieben Platinen erfordert verständlicherweise besondere Sorgfalt bei der Verdrahtung. Zur besseren Übersicht sind die Steckverbinder

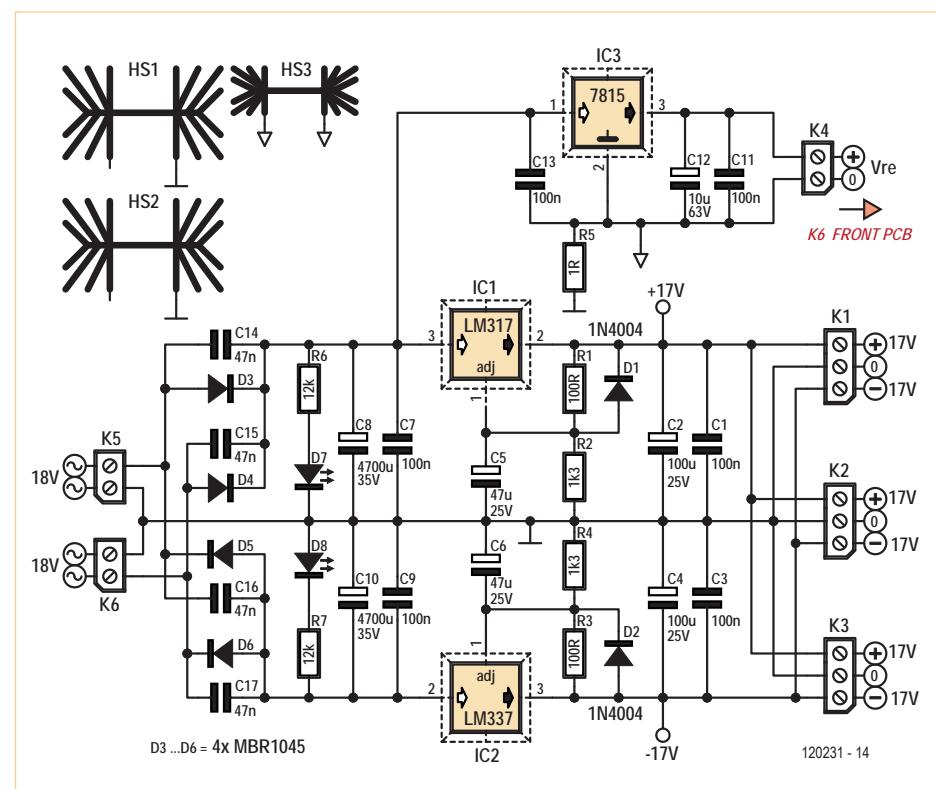
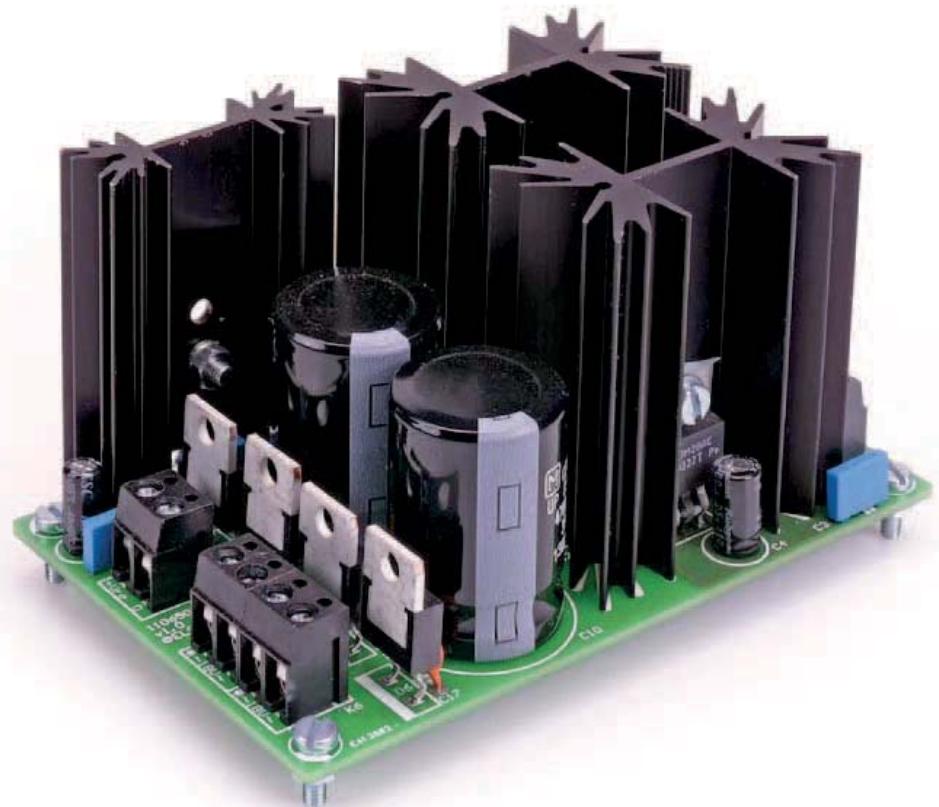


Bild 10. Die Netzteilschaltung kommt mit Wald- und Wiesen-Bauteilen aus und bietet wenig Überraschendes. Für die Relais ist ein eigener 15-V-Spannungsregler vorgesehen.



## Stückliste

### Netzteil-Platine (# 110650-5)

#### Widerstände:

(0,25W; 1%)

R1,R3 = 100  $\Omega$

R2,R4 = 1k3

R5 = 1  $\Omega$

R6,R7 = 12 k

#### Kondensatoren:

C1,C3,C7,C9,C11,C13 = 100 n/100 V, 10 %, RM 7,5 mm

C2,C4 = 100  $\mu$ /25 V, 20 %, ø 6,3mm, RM 2,5 mm

C5,C6, = 47  $\mu$ /25 V, 20 %, ø 6,3mm, RM 2,5 mm

C8,C10 = 4.700  $\mu$ /35 V, 20 %, ø 22mm, RM 10 mm

C12 = 10  $\mu$ /63 V, 20 %, ø 6,3mm, 2,5 mm

C14..C17 = 47 n/50 V, keramisch, RM 5 mm

#### Halbleiter:

D1,D2 = 1N4004

D3-D6 = MBR1045

D7 = LED, rot, 3 mm

D8 = LED, grün, 3 mm

IC1 = LM317

IC2 = LM337

IC3 = 7815

#### Außerdem:

K1,K2,K3 = 3-pol. Schraubklemme für Platinenmontage, RM 5 mm

K4,K5,K6 = 2-pol. Schraubklemme für Platinenmontage, RM 5 mm

HS1,HS2 = Kühlkörper, 50,8 mm, Fischer Elektronik SK 129 50,8 STS

HS3 = Kühlkörper, 50,8 mm, Fischer Elektronik SK 104 50,8 STS

Platine # 110650-5 ([www.elektorpcbservice.de](http://www.elektorpcbservice.de))

#### Nicht auf der Platine:

Tr1 = Netztrafo 50 VA, 115/230 V primär, 2x 18 V sekundär, z.B. Multicomp # MCTA050/18, Farnell # 9530380

F1 (230V) = Sicherung, 0,315 A träge

F1 (115V) = Sicherung, 0,63 A träge

Sicherungshalter für F1

S1 = Wahlschalter für Netzspannung

115/230 V, z.B. Arcolectric T22205BAAC

S2 = Netzschalter 2 x ein

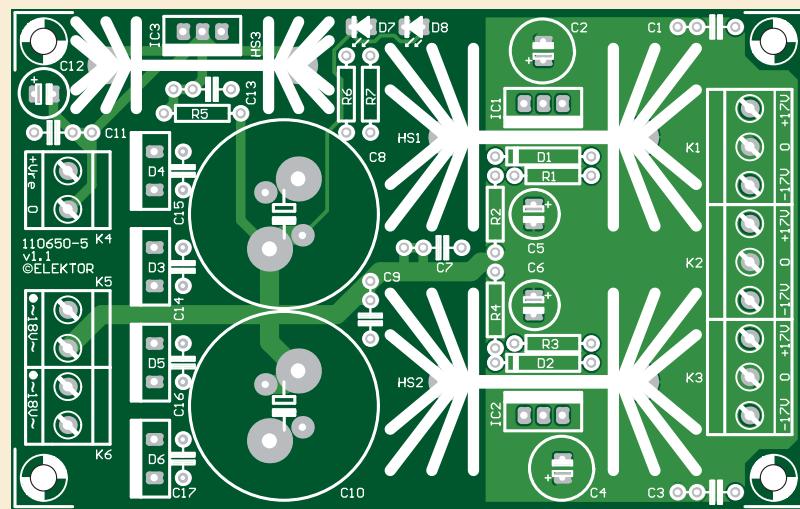


Bild 11. Die Platine des Netzteils ist via [www.elektorpcbservice.de](http://www.elektorpcbservice.de) erhältlich.

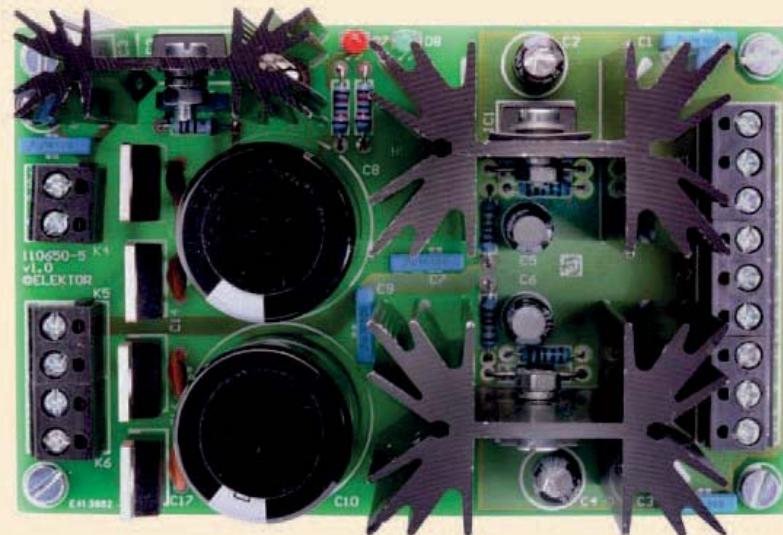


Bild 12. Die im Elektor-Labor bestückte Netzteil-Platine.

Kx in diesem Monat mit aussagekräftigen Labels versehen. Die meisten Verbindungen zwischen den Platten bestehen aus kurzen flexiblen Litzen. Aus Konvention wählt man die Masseverbindungen schwarz. Man verdrillt Signal und Masselleitungen und lötet/quetscht die Enden an/auf Stecker, die man in die entsprechenden Buchsen auf den Platten stecken kann. Wenn man auf die richtige Orientierung bzw. Polung der Steckverbinder achtet, gibt es auch keine Verbindungsprobleme. Die zehnpolige Verbindung zwischen der

Frontplatten- und der Eingangs-Platine wird mit einem zehnpoligen Flachbandkabel realisiert, auf das sich entsprechende IDC-Buchsen quetschen lassen.

Bei allen Verbindungen und Bauteilen, die Netzspannung führen, sind die entsprechenden Sicherheitsrichtlinien einzuhalten. Im Zweifel hole man sich die Unterstützung eines Fachmannes.

Als dieser Beitrag geschrieben wurde, befand sich der Prototyp des Preamp

2012 komplett verdrahtet im Audio-Labor von Elektor – nackt und bloß, also ohne Gehäuse. Die beiden Eingangs-Platten wurden einfach mit Abstandshaltern aufeinander montiert. Je nach Nachfrage ist vorgesehen, im Laufe des Jahres eventuell noch den Einbau in ein hochqualitatives Gehäuse zu beschreiben. Doch jetzt übergeben wir das vorläufig fertige Projekt zu Ihren treuen Händen und hoffen, dass Sie viel Freude an der hohen Klangqualität des Preamp 2012 haben werden.

(120231)

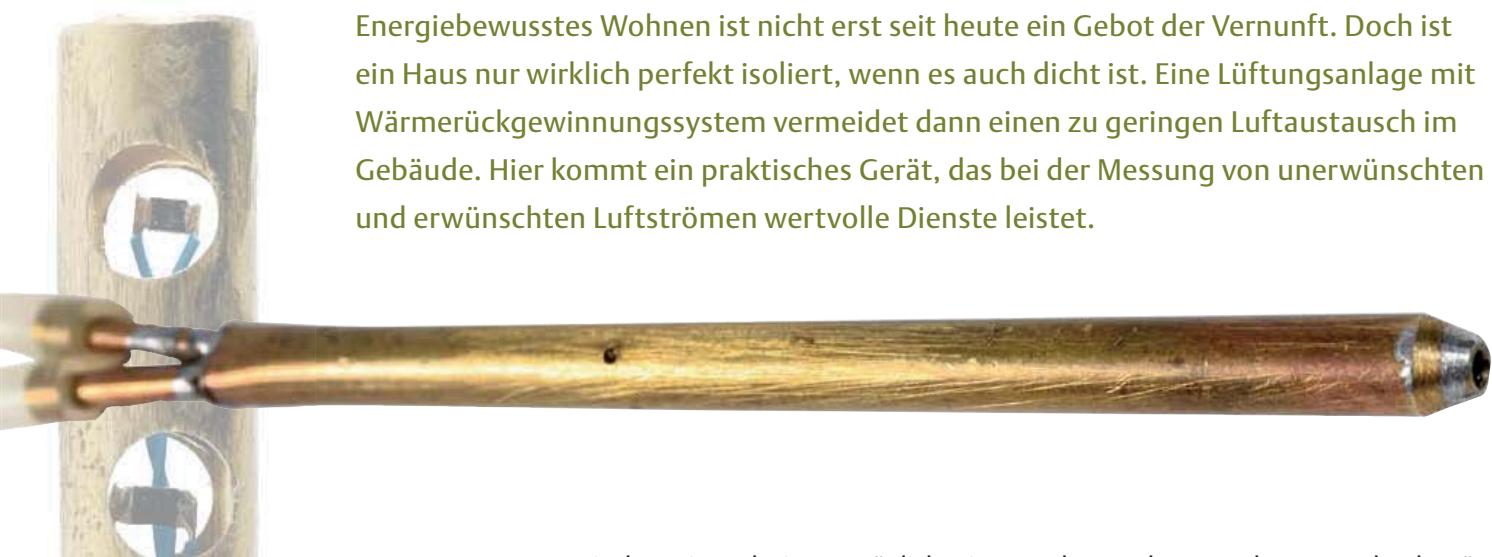
 <p>Entwicklung industrietauglicher Software und Hardware sowie Elektronik 03303/212166 oder <a href="http://www.jasys.de">www.jasys.de</a></p>	<p>Grauer Service • Weißer Bildschirm      Schillerne Frontblenden • Leiterplatten</p> <p>Gravuren / Schilder / Frontblenden <a href="http://www.webgrav.de">www.webgrav.de</a></p>	 <p>LCDs und mehr <a href="http://www.lcd-store.de">www.lcd-store.de</a> <a href="http://www.LC-Design.de">www.LC-Design.de</a> <a href="http://www.crystalfontz.de">www.crystalfontz.de</a></p>	<p>Leiterplatten für Pragmatiker!</p>  <p><a href="http://wwwpcb-joker.com">wwwpcb-joker.com</a></p>
<p><b>Alles Spule!</b></p> <p>Wir liefern und fertigen: Drähte, HF-Litzen, Ferrit- und Eisenpulverkerne, Spulenkörper, Isoliermaterial, Klebeänder, Tränklacke, Übertrager, RFID-Spulen, Sensor- und Aktorspulen, Prototypen, Kleinserien, Serien, Ersatzteile und vieles mehr.</p> <p><b>MM</b> Menting Mikroelektrik <a href="http://www.spulen.com">www.spulen.com</a></p>	<p>Auch Ihr Unternehmen ist eine Anzeige wert!</p>	<p><b>LOETRONIC</b> Embedded MP3 Module <a href="http://www.loetronic.com">www.loetronic.com</a></p>	<p><b>SCOPES</b> und mehr</p> <p><b>HAMEG</b><sup>®</sup> Instruments A Rohde &amp; Schwarz Company</p>
<p><b>HEXWAX LTD</b> <a href="http://www.hexwax.com">www.hexwax.com</a></p> <p>Treiberunabhängige USB-ICs von einem der Weltmarktführer</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• USB-UART/SPI/I2C-Konverter • TEAleaf-USB Authentifizierungs-Dongles • expandIO-USB I/O-USB-Expander • USB-FileSys Flash-Drive mit SPI-Interface • USB-DAQ Flash-basierter Datenlogger</li> </ul>	<p>Bausätze zu ELEKTOR 1986 bis heute!</p> <p>Teilesätze, Platinen, programmierte Kontroller sowie Cds zu fast allen Elektor-Projekten vom Spezialist. Alle Elektor-Artikel zum Verlagspreis. Ihr zuverlässiger Partner für aktive und passive elektronische Bauteile und Komponenten:</p> <p><b>Geist Electronic-Versand GmbH</b> Tel.: 07720/36673 Fax: 07720/36905 Mail: <a href="mailto:info@geist-electronic.de">info@geist-electronic.de</a> Shop: <a href="http://www.geist-electronic.de">www.geist-electronic.de</a></p>	<p><b>MESSTECHNIK</b> zum fairen Preis</p>	<p><a href="http://www.antronic.de">www.antronic.de</a> ab 1 Stck. <b>ANT</b> TRONIC Leiterplatten zu TOP-Preisen!!</p>
<p>Günstige Platinen clever bestellen!</p>  <p><a href="http://wwwpcb-joker.com">wwwpcb-joker.com</a></p>	<p><b>NienTech</b> SCHNITTSTELLENWANDLER von WLAN LAN USB nach RS485 RS422 RS232 TTY über virtuellen COM-Port ansprechbar <a href="http://www.NienTech.de">www.NienTech.de</a></p>	<p><b>USB-ISOLATOR</b></p>  <p>Art.Nr. C028149 <b>CESYS</b> <a href="http://www.cesys.com">www.cesys.com</a></p> <p>Kristallklarer Sound Störfreie Messungen Sicherheit &amp; Schutz Galvanische Trennung</p>	<p>Kleinrechner mit FPGA <a href="http://www.bomerenzprojekt.de">www.bomerenzprojekt.de</a></p>
<p><b>Ausgabe:</b> September 2012 <b>Anzeigenschluss:</b> 17. Juli 2012 <b>Erscheinungstermin:</b> 15. August 2012</p>			

**www.elektor.de**

 <p><b>PCBs</b> <b>Muuuuch Cheaper...</b></p>	<p><b>17.22 EURO*</b></p> <p>5 pcbs, 100 mm x 100 mm *per piece, incl. VAT (23%) + shipping costs e. g. Germany 10.89 EURO</p>	 <p><a href="http://www.jackaltac.com">www.jackaltac.com</a></p>
<p><b>No-frills policy</b></p>		

# Doppel-Hitzdraht-Strömungsmesser

## Geeicht mit Pitotrohr-Anemometer



Von Marc Gerin (B)

Die Dictheit von Gebäuden wird nach einem ähnlichen Prinzip gemessen wie die Lecks in Druckbehältern: Eine Pumpe erzeugt Überdruck im Druckbehälter, gemessen wird das, was entweicht. Bei so genannten Blower-Door-Messungen an geschlossenen Gebäuden ist ein stellbarer Luftkompressor in einer Öffnung montiert, das kann zum Beispiel eine Tür sein. Alle übrigen Gebäudeöffnungen sind hermetisch verschlossen. Mit einem Hitzdraht-Strömungsmesser wird die Druckdifferenz zwischen der Innenseite und Außenseite des Gebäudes bestimmt. Künstlicher Rauch, der durch die Lecks dringt, kann die Arbeit unterstützen. Nach dieser Methode lassen sich auch kleinste Lecks aufspüren.

Das Messgerät, das Luftströmungen misst, ist ein Strömungsmesser, auch *Anemometer* genannt. Nachfolgend sollen zwei Geräte beschrieben werden, die geeignet sind, die Dictheit und Ventilation eines Gebäudes zu messen. Das erste Gerät ist ein **Doppel-Hitzdraht-Anemometer**, es ist in der Lage, auch sehr schwache Luftströme zu registrieren. Solche Messeinrichtungen werden in Wärmerückgewinnungssystemen eingesetzt, die der abfließenden Luft Wärme entziehen, um die Frischluft mit dieser Energie zu erwärmen. Das zweite Gerät ist das **Pitotrohr-Anemometer**, das sich mehr zum Messen schneller Luftströme eignet.

Mit dem Pitotrohr ist es möglich, einen Hitzdraht-Strömungsmesser zu eichen. Unser Doppel-Hitzdraht-Strömungsmesser kann Druckdifferenzen bis ungefähr 2 kPa messen.

### Pitotrohr-Anemometer

Flüssigkeiten oder Gase, die um feste Körper strömen, verursachen einen von der Strömungsgeschwindigkeit abhängigen Druck. Dieser physikalische Zusammenhang ist die Grundlage des Pitotrohrs, eines Messfühlers, mit dem der dynamische Druck flüssiger oder gasförmiger Stoffe gemessen werden kann. Pitotrohre gehören beispielsweise zur technischen Ausrüstung von Flugzeugen.

Unser Modell ist nicht für den Einsatz in der Fliegerei bestimmt, es kann jedoch Strömungsgeschwindigkeiten bis ungefähr 200 km/h messen. Das entspricht einer Druckdifferenz von 1882 Pa zwischen dem Eingang und Ausgang des Rohrs (vergleiche Excel-Tabelle, sie kann von der Projektseite [3] heruntergeladen werden).

Am Anfang unseres Projekts steht die Konstruktion des Pitotrohrs, es ist in **Bild 1** skizziert. Wir nehmen ein Stück Messingrohr, Länge 8 cm, Durchmesser 5 mm. Solche Messingrohre gehören zum Sortiment der meisten Modellbau-Fachhändler. Auf halber Rohrlänge bohren wir auf dem Umfang vier Löcher mit dem Durchmesser 0,8 mm. In das Rohr schieben wir zwei dünnere Röhre unterschiedlicher Länge ein (siehe Bild 1),

der Durchmesser der Innenrohre beträgt 2,5 mm. Um die Röhre einschieben zu können, müssen wir das Ende des äußeren Rohrs etwas abplatten. Das lange Innenrohr lassen wir mindestens einen Zentimeter herausragen, denn es muss mit dem Außenrohr verlötet werden. Dabei muss die Öffnung des Innenrohrs durchgängig bleiben.

Wir löten mit einem Gaslötzgerät und Lötdraht, wie er zum Löten kupferner Wasserrohre verwendet wird. Damit das flüssige Lötmittel nicht in das Rohr eindringt, spannen wir die Konstruktion senkrecht mit den Anschlussstutzen nach unten ein, wenn wir die Anschlussstutzen löten. Die Zwischenräume zwischen dem Außenrohr und den Innenrohren müssen am Rohrende absolut dicht sein. Andernfalls entstehen im Rohr Turbulenzen, die Ergebnisse statischer und dynamischer Druckmessungen können verfälscht werden.

Zum Löten des Rohreingangs drehen wir die Konstruktion um, so dass die Eingangsöffnung nach unten zeigt. Nach dem Löten sägen wir das herausragende Rohrstück ab. Damit ist das Pitotrohr einsatzbereit.

### Drucksensor und Genauigkeit

Was den Drucksensor betrifft, haben wir uns für den Typ MP3V5004G von Freescale entschieden. Das Datenblatt weist für Druckwerte im unteren Bereich aus, dass die Ungenauigkeit 1,5 % von 3 kPa bzw. 1,8 V beträgt (zwei Drittel des Skalenwerts). Das entspricht einer Ungenauigkeit von 45 Pa oder 27 mV

# Luftströme messen, Belüftungen regeln oder nur experimentieren...

oder etwa 30 km/h. Der exakte Wert hängt von der Temperatur, Linearität und Hysterese des Sensors ab, er wird auch von mechanischen Parametern beeinflusst. Leider ist der Messfehler bei niedrigen Drücken, hier die wichtigste Größe, nicht angegeben. Aus dem Datenblatt können wir keine Rückschlüsse auf das Verhalten des Sensors im unteren Teil des Messbereichs ziehen. Die Praxis hat jedoch gezeigt, dass die Abweichungen nicht größer als einige Millivolt sind. Allerdings müssen wir dafür sorgen, dass keine übermäßigen mechanischen Kräfte auf den Sensor einwirken und dass die Messungen nicht zu schnell aufeinander folgen. Der Sensor braucht eine gewisse Zeit, um sich zu stabilisieren. Unter diesen Vorbehalten können wir Strömungsgeschwindigkeiten ab etwa 15 km/h messen.

Es gibt noch eine weitere Einschränkung: Das Rauschen, das der Sensor-Betriebsspannung überlagert ist, geht vollständig in das Ausgangssignal ein. Deshalb leiten wir die Betriebsspannung 3,3 V von der Referenzspannung des A/D-Wandlers ab, der das Sensorsignal digitalisiert. Damit wird gleichzeitig der analoge Teil vom übrigen Teil der Schaltung getrennt.

Wenn die Genauigkeit im Millivolt-Bereich liegen soll, muss der A/D-Wandler mindestens eine Wortbreite von 12 bit haben. Wir haben uns für den Typ ADS1100 entschieden, ein 16-bit-ADC mit I<sup>2</sup>C-Ausgang, der acht Abtastwerte in der Sekunde liefert. Um möglichst stabile Messwerte zu erhalten, bilden wir den Mittelwert aus fünf aufeinander folgenden Abtastwerten, das entspricht ungefähr einer dreiviertel Sekunde. Die Wandler-Geschwindigkeit lässt sich noch etwas steigern, indem wir die Abtastwerte von 16 bit auf 14 bit verkürzen. Die I<sup>2</sup>C-Adresse ist im Chip fest eingebrannt (es gibt Varianten mit unterschiedlichen Adressen, gewählt haben wir einen Chip mit Label AD0 und der Adresse 01001000). Andere Adressen sind auch verwendbar, dann muss jedoch die Datei *adc.h* angepasst werden. Anschließend wäre eine neue Compilierung notwendig.

Der Sensor (**Bild 2a und 2b**) ist als separates Modul aufgebaut, so dass er auch zusammen mit anderen Projekten eingesetzt werden kann. Auf der Platine verbindet ein Tropfen

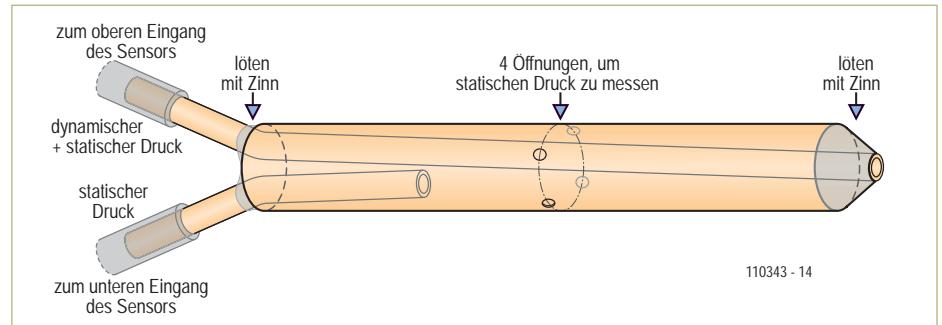


Bild 1. Mit diesem Pitotrohr, dem Drucksensor und dem Wandler aus Bild 2 kann der doppelte Hitzdraht-Strömungsmesser (Bild 6) kalibriert werden.

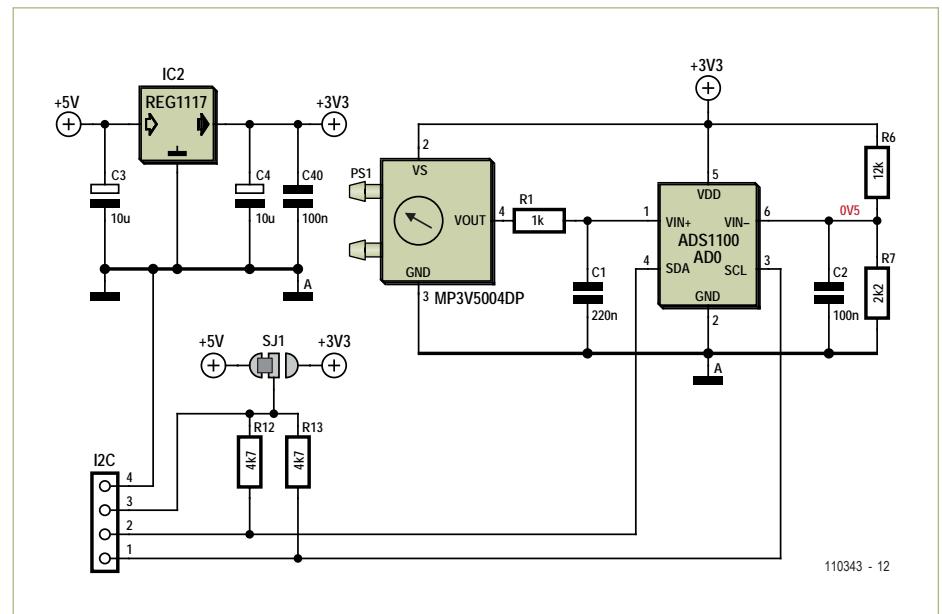


Bild 2a. Das Pitotrohr wird an den Drucksensor angeschlossen. Zusammen mit dem Display (Bild 3 und 4) entsteht das Anemometer für die Kalibrierung.

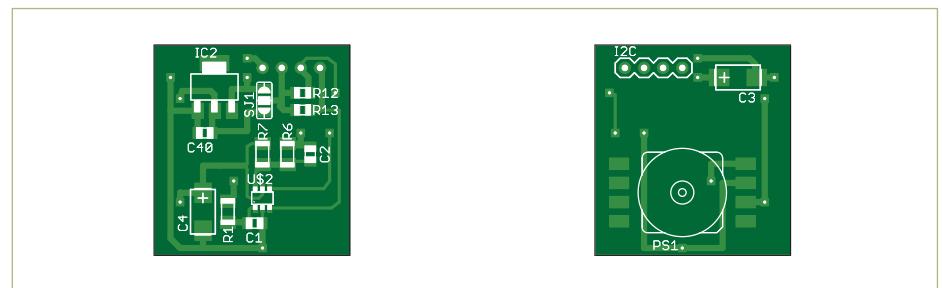
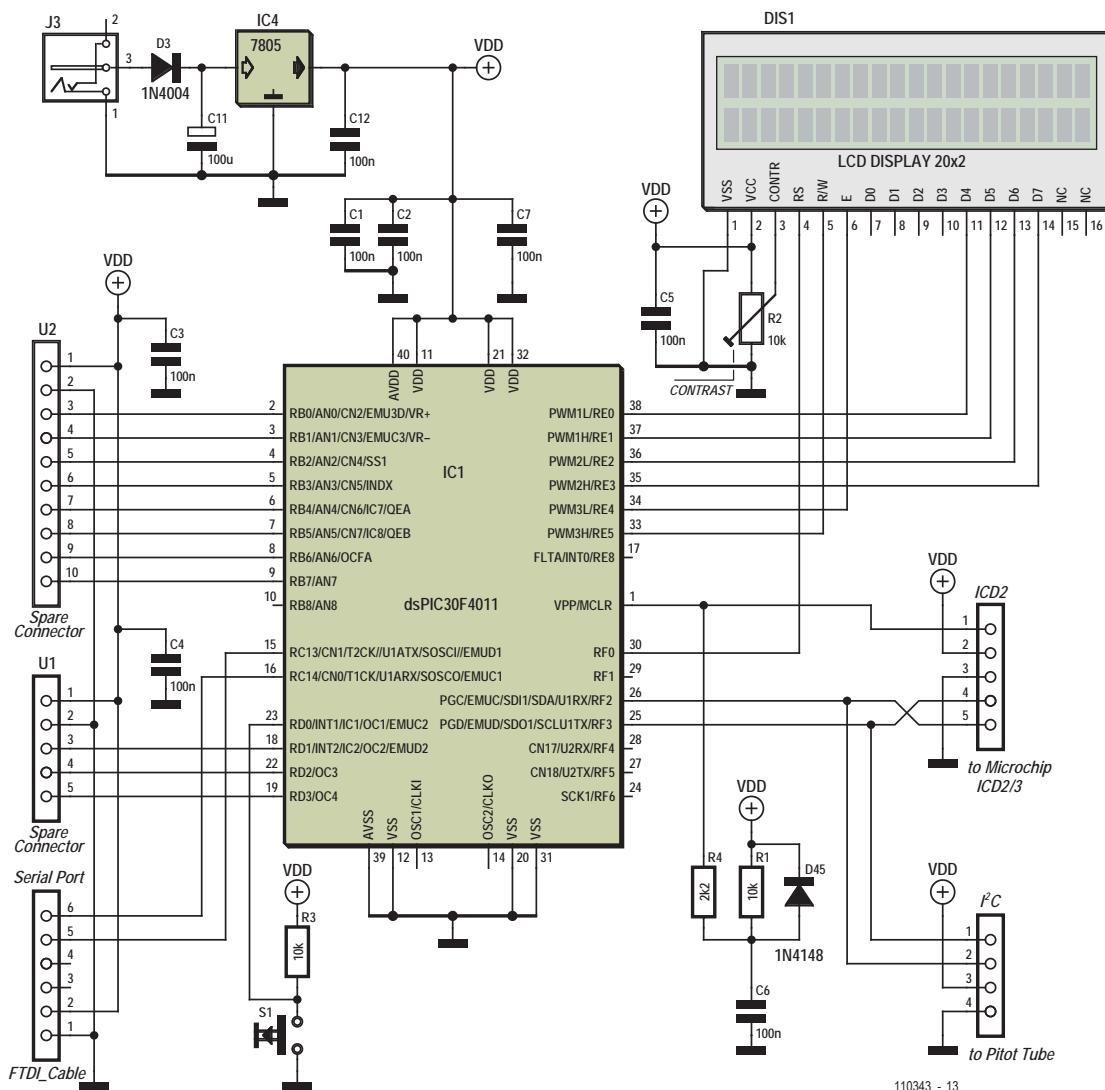


Bild 2b. Diese kleine, doppelseitige Platine ist für das Pitotrohr-Anemometer bestimmt.



110343 - 13

Bild 3. Das Display-Modul arbeitet mit einem dsPIC, es wurde ursprünglich für ein anderes Projekt entwickelt.

Lötzinn die Punkte 2 und 3 der Lötbrücke SJ3, sie legt die Pullup-Widerstände des I<sup>2</sup>C-Bus an +5 V. Muss die Spannung 3,3 V betragen, wird die Lötbrücke zwischen den Punkten 1 und 2 gesetzt. Für die Konstruktion ist noch wichtig, dass eine Drahtverbindung unter dem Sensor verlaufen muss. Der Draht soll möglichst dünn sein, und die Lötstellen müssen vor dem Erkalten flach gedrückt werden, damit der Sensor trotzdem plan aufliegt.

### Display mit dsPIC

Als Anzeige dient eine universelle Ausführung mit einem Mikrocontroller dsPIC30F4011 (Schaltung in Bild 3), die ursprünglich für ein anderes Projekt entwickelt wurde. Die Anzeige kann über ein USB-

Kabel TTL-232R-5V von FTDI [1] oder aus einem externen Netzteil 9...12 V mit Strom versorgt werden. Den zweiten Testaufbau, diesmal für dieses Projekt, zeigt Bild 4. Der erste Teil des dsPIC-Programms ist für das Kalibrieren und Speichern der Referenzwerte im EEPROM zuständig. Referenzwerte sind der Nullpunkt bei offenem Sensor ohne äußeren Druck sowie ein Kalibrations-Wert, der sich auf 200 mm Wassersäule bezieht. Die Hauptschleife übernimmt den vom Sensor gemessenen Druckwert, berechnet die Strömungsgeschwindigkeit und übergibt diesen Wert der Anzeige. Innerhalb der Hauptschleife können die Referenzwerte für den Umgebungsdruck jederzeit durch Drücken eines Tasters geändert werden.

Das Programm wurde unter der von Microchip für den dsPIC bereit gestellten Entwicklungsumgebung in C geschrieben. Jeder peripheren Komponente ist eine separate Programmdatei zugeordnet, so dass das Projekt ohne viel Mühe ganz oder teilweise auf andere Hardware portiert werden kann.

### Display für Pitotrohr-Anemometer

Das Display und die Drucktaster befinden sich auf der Lötseite der doppelseitigen Platinen. Vielleicht stehen Ihnen die Werkzeuge zum Anfertigen durchkontaktierter Platten nicht zur Verfügung. Alternativ können die Pins der IC-Fassungen, die für den dsPIC-Mikrocontroller und das LC-Display vorgesehen sind, als Durchkontaktierung

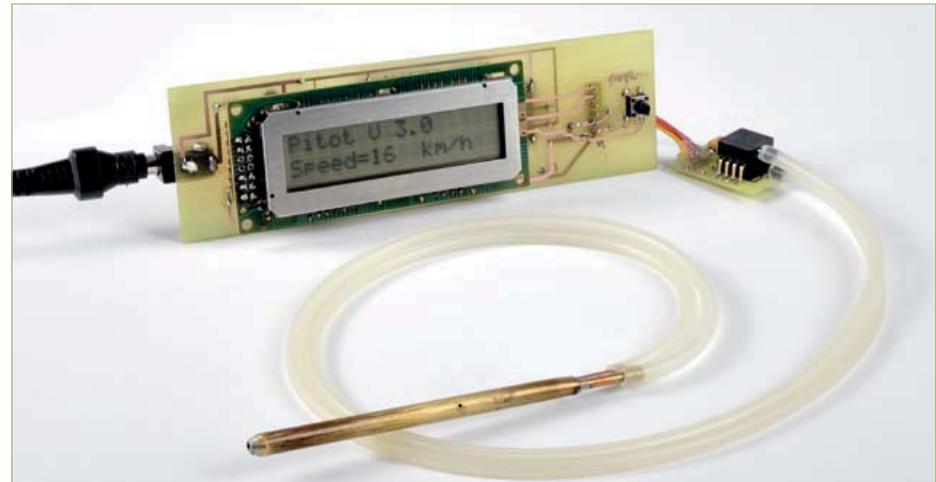


Bild 4. Zweites Labormuster des Pitotrohr-Anemometers, angefertigt vom Autor dieses Beitrags.

dienen. Die Pins müssen dann auf beiden Platinenseiten verlötet werden. Falls Ihnen diese Lösung nicht zusagt, haben wir noch eine andere: Mit einem Stift zum Dosieren pastenförmiger Lötmittel (siehe [2]) tragen Sie Lötpaste auf die Kontaktinseln auf. Dann bringen Sie die Fassung etwa einen viertel Millimeter über der Platinenfläche in Position. Halten Sie die heiße Lötkolbenspitze auf der Unterseite an den zu lötenden Pin, während Sie auf der Oberseite Lötmittel in die Ritze zwischen Fassung und Platine drücken. Infolge der Kapillarwirkung fließt das Lötmittel in die durchzukontaktierende Bohrung. Ein Foto dieser Aktion können Sie von der Projektseite [3] herunterladen. Am LC-Display montieren Sie Stiftkontakteleisten, so dass das Display in die Fassung auf der Platine gesteckt werden kann.

### Inbetriebnahme und Konfiguration

Der Drucksensor MP3V5004G von Freescale ist ziemlich empfindlich. Sobald der Sensor bewegt wird oder irgendwo anstößt, entstehen Störsignale. Schon ein am Sensor angeschlossener Schlauch drückt so auf das Gehäuse, dass ein Offset des Messwerts entsteht. Der aus dem Modellbau bekannte, weiche Silikonschlauch ist hier am besten geeignet. Der Schlauch darf nicht zu stramm befestigt werden, er darf seine Lage nicht ändern, solange das Messsystem arbeitet. Lassen Sie dem Messsystem fünf bis zehn Minuten Anlaufzeit, so dass sich der Drucksensor stabilisieren kann. Dann kalibrieren Sie zuerst die Temperatur, die Kalibrierung mit dem Pitotrohr führen Sie später durch. Schalten Sie die Betriebsspannung aus und wieder ein, während Sie den Taster gedrückt halten. Im Display erscheint jetzt die Meldung *Config Mode*. Das Messsystem braucht etwa 20 Sekunden, um sich zu stabilisieren. Danach wird der Nullwert des Drucks gemessen, dieser Wert ist die Referenz. Das Display zeigt nun *Pit Column 200 mm* an, was bedeutet, dass Sie den Druck 200 mm Wassersäule an den Sensor anschließen müssen. Wie das geschehen kann, ist in Bild 5 skizziert. Alternativ können Sie auch wie folgt verfahren: Nehmen Sie einen genügend langen Schlauch, befestigen Sie das Ende mit Kabelbindern oder Klebeband (nicht zu stramm!) an einem 30 cm langen

Lineal und stecken Sie das Schlauchende genau 20 cm tief senkrecht in einen mit Wasser gefüllten Eimer.

Sobald sich die Druckmessung nach diesem Vorgang stabilisiert hat, erscheint auf dem Display *Push SW when Rdy*. Wenn Sie jetzt den Taster drücken, werden die Bezugswerte nicht flüchtig im EEPROM gespeichert. Im laufenden Betrieb können Sie die Bezugswerte nach Drücken des Tasters ändern. Bei jedem Systemstart und jedem Kalibrivorgang werden über den seriellen Port (38400 Baud) die Bezugswerte ausgegeben, im normalen Betrieb sind die ausgegebenen Werte die Messwerte.

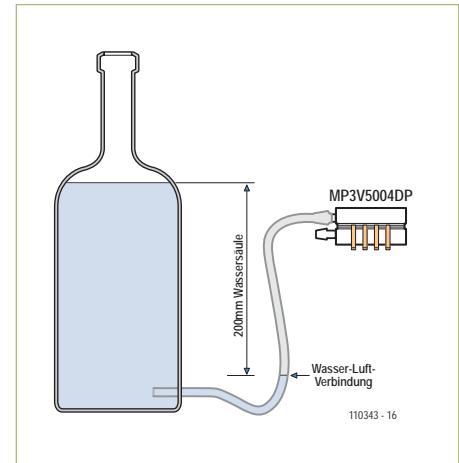


Bild 5. Mit dieser Hilfsanordnung kann der Drucksensor kalibriert werden.

### Doppel-Hitzdraht-Anemometer

In hermetisch abgeschotteten Gebäuden, die mit Wärmetauschsystemen ausgerüstet sind,



Bild 6. Der Doppel-Hitzdraht-Strömungsmesser für Wärmetauschsysteme, mit zwei Sensoren und zwei Displays.

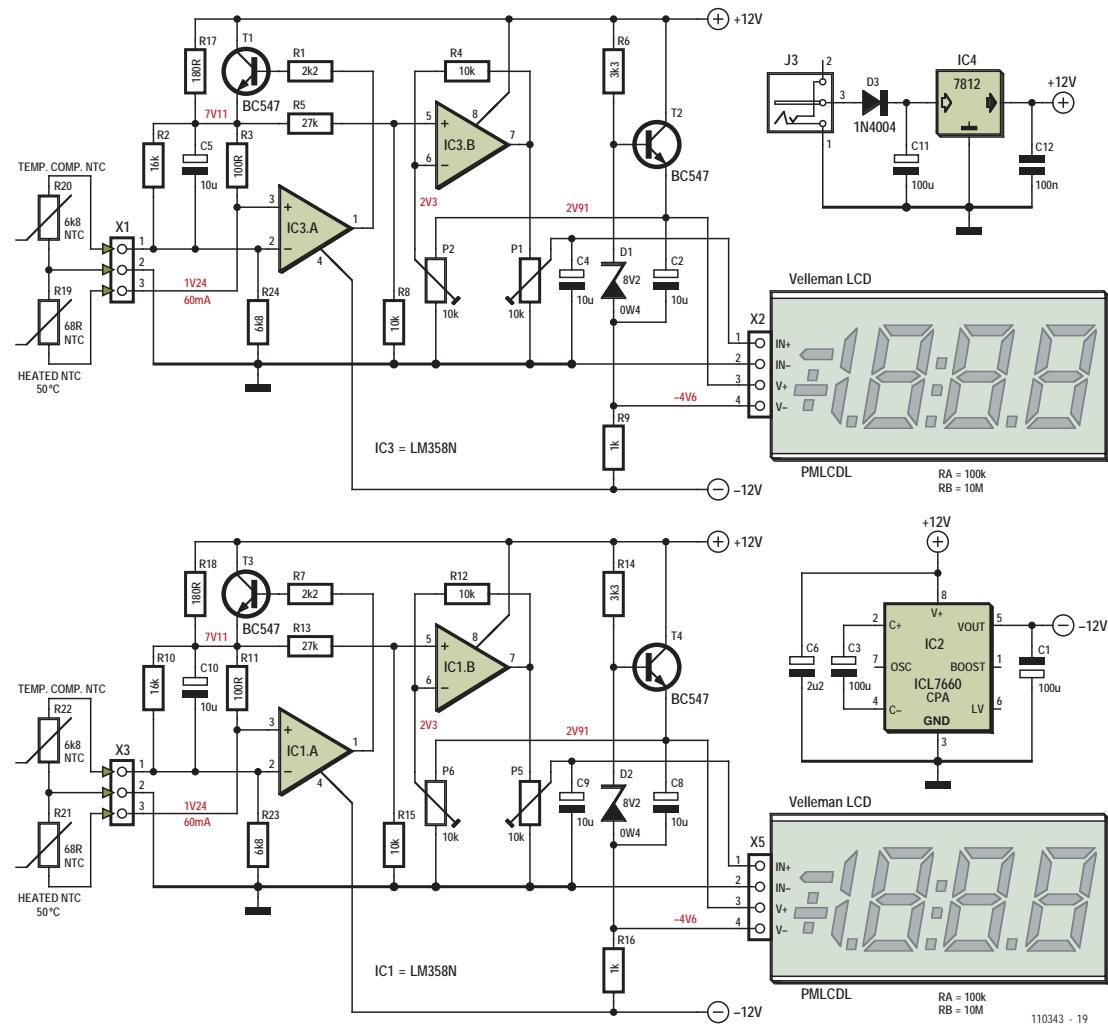


Bild 7. Die Schaltungen des ersten und zweiten Hitzdraht-Strömungsmessers (oben und unten) sind identisch.

müssen zufließende und abfließende Luftmassen einander gleich sein. Nur dann ist der Wirkungsgrad des Systems optimal, und im Gebäude ist weder Überdruck noch Unterdruck vorhanden. Leider begnügen sich die meisten Hausbesitzer mit dem einmaligen Einstellen nach der Systeminstallation, und auch dann verzichten sie auf das messtechnische Erfassen exakter Werte. Die Basis für den Betrieb sind lediglich die theoretischen Werte der zufließenden und abfließenden Luftströme.

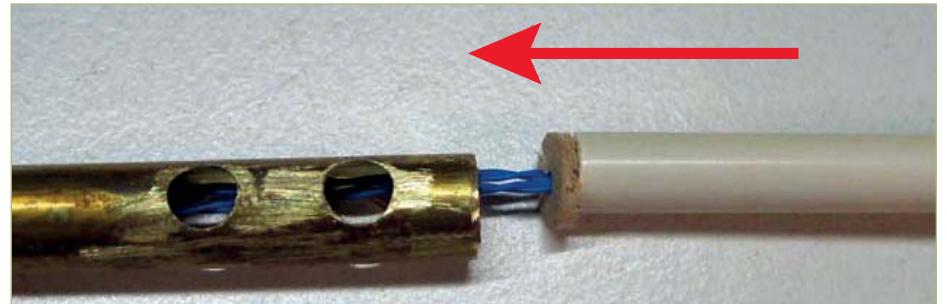
Im Lauf der Zeit gerät das System unweigerlich aus der Balance. Das Filter im Zustrom setzt sich schneller zu als das Filter im Abstrom, insbesondere wenn die zufließende Luft durch einen Pollenfilter geführt wird, während die abfließende Luft nur durch einen Standardfilter strömt. Die Durchmesser der Filterrohre im Zustrom und Abstrom sind in aller Regel gleich. Wer-

den bei beiden die mittleren Strömungsgeschwindigkeiten gemessen, lassen sich Rückschlüsse auf die Differenz ziehen. Mit Kenntnis dieser Größen werden die Luftpumpressoren so eingestellt, dass das angestrebte Gleichgewicht entsteht.

Das doppelte Anemometer, um das es hier geht (Bild 6), arbeitet nach dem Hitzdraht-Prinzip. Mit diesem Gerät können Sie die beschriebenen Messungen durchführen, eventuelle Lecks aufspüren und die notwendigen Einstellungen vornehmen. Die Sensoren werden in Öffnungen des Zustrom- und Abstromrohrs eingeführt. Die Elektronik verwendet ausschließlich analoge Schaltungstechnik, mehr als Rückgriff auf Bewährtes, weniger wegen der Kosten oder einer höheren Genauigkeit. Natürlich hätte ein Mikrocontroller die gleichen Funktionen übernehmen können.

## NTC-Sensoren

Die Schaltung unseres Doppel-Hitzdraht-Strömungsmessers ist in Bild 7 dargestellt. Der „Hitzdraht“ ist ein temperaturabhängiger  $68\text{-}\Omega$ -Widerstand mit negativem Temperaturkoeffizienten (NTC), er bildet einen Zweig einer Wheatstone-Brücke. Dieser NTC-Widerstand ist den zu messenden Luftströmungen ausgesetzt. Ein zweiter NTC-Widerstand ( $6800\ \Omega$ ) befindet sich zur Kompensation im anderen Brückenzweig, er hat seinen Platz außerhalb der Luftströme. Die Brückenspannung ist zur Geschwindigkeit der Luftmasse proportional, die den  $68\text{-}\Omega$ -NTC-Widerstand umströmt. Der Arbeitspunkt des NTC-Widerstands bei  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  und die thermische Kompensation wurden mit einem Programm [3] berechnet, geschrieben in MathCad. Die Brückewiderstände müssen so dimensioniert werden, dass die Temperatur des „kalten“



Drahts  $50^{\circ}\text{C}$  beträgt. Außerdem sind R2, R24 und R10, R23 für optimale Temperaturstabilität zu dimensionieren. Mit MathCad ist das Berechnen durch sukzessive Näherung nicht schwierig.

Opamp IC3A ist für das Signal des ersten Strömungsmessers und die Temperaturkompensation zuständig. An seinen Eingängen liegt die Spannung der Wheatstone-Brücke, die aus R2, R3, dem  $68\text{-}\Omega$ -NTC und dem  $6800\text{-}\Omega$ -NTC besteht. R2 und R3 sind so dimensioniert, dass die Brücke mit dem  $68\text{-}\Omega$ -NTC bei  $50^{\circ}\text{C}$  temperaturkompen-

Bild 8. Ein Stück Kunststoffrohr und eine Holzscheibe halten den NTC-Sensor und das Anschlusskabel an ihrem Platz.

### Zwei Displays

Die Strömungsgeschwindigkeiten werden von zwei LCD-DVM-Modulen angezeigt, die vom Messgeräte-Spezialisten Velleman stammen. Gemessen werden müssen die

arbeitet und für eine schwebende Betriebsspannung des DVM-Moduls sorgt. Eingang IN- kann deshalb unmittelbar an  $0\text{ V}$  (GND) liegen. An den Eingängen der DVM-Module befinden sich einstellbare Spannungsteiler,

## Lecks finden ist hier nicht schwer

siert ist. Der Luftstrom entlang dieses NTC-Widerstands bringt die Brücke aus dem Gleichgewicht, so dass der Opamp über T1 die Brückenbetriebsspannung ändert. Diese Spannung ist proportional zur Strömungsgeschwindigkeit der Luft. Widerstand R17 ist so bemessen, dass durch den  $68\text{-}\Omega$ -NTC ein genügend hoher Strom fließt, ohne dass die Temperatur von T1 hohe Werte annimmt. Der zweite Hitzdraht-Strömungsmesser mit IC1A ist identisch aufgebaut. Im Foto am Anfang dieses Artikels sind beide NTCs deutlich erkennbar. Die Verbindungen haben wir mit sehr dünnen Leitungen hergestellt, so dass thermische Kopplungen über die Leitungen vermieden werden. Als Leitungstyp haben wir Mikrofonkabel verwendet, das exakt in die Messinghülsen passt. Zwei Bohrungen in den Messinghülsen sorgen für die notwendige Luftzirkulation. Die NTCs sind mit Scheiben aus Balsaholz fixiert, sie müssen wegen der thermischen Leitfähigkeit möglichst dünn sein. Ein Stück Kunststoffrohr hält, wie Bild 8 zeigt, die NTCs an ihrem Platz. Die Konstruktion wurde mit einer Klebe pistole durch eine Öffnung hindurch befestigt, die sich dort befindet, wo die Kabel an die NTCs gelötet sind.

Bekanntlich folgt die Praxis nicht immer der Theorie: In diesem Fall waren die Anschlussdrähte der NTCs die Ursache für einen spürbaren Messfehler. Der Messfehler konnte eliminiert werden, indem R2 und R10 durch sukzessive Näherung neu dimensioniert wurden.

Spannungen bezogen auf  $0\text{ V}$ , und die Spannung am Differenzeingang IN- muss mindestens um  $1\text{ V}$  höher liegen als die negative Betriebsspannung  $V_-$ . Deshalb ist Transistor T2 (T4) hinzugefügt, der als Stromquelle

$R_A$  ist  $100\text{ k}\Omega$  und  $R_B$  ist  $10\text{ M}\Omega$ . Die Feineinstellung wird mit einem weiteren Potentiometer vorgenommen. IC2 ist ein DC/DC-Wandler, er stellt die negative Betriebsspannung für die DVM-Module und Opamps

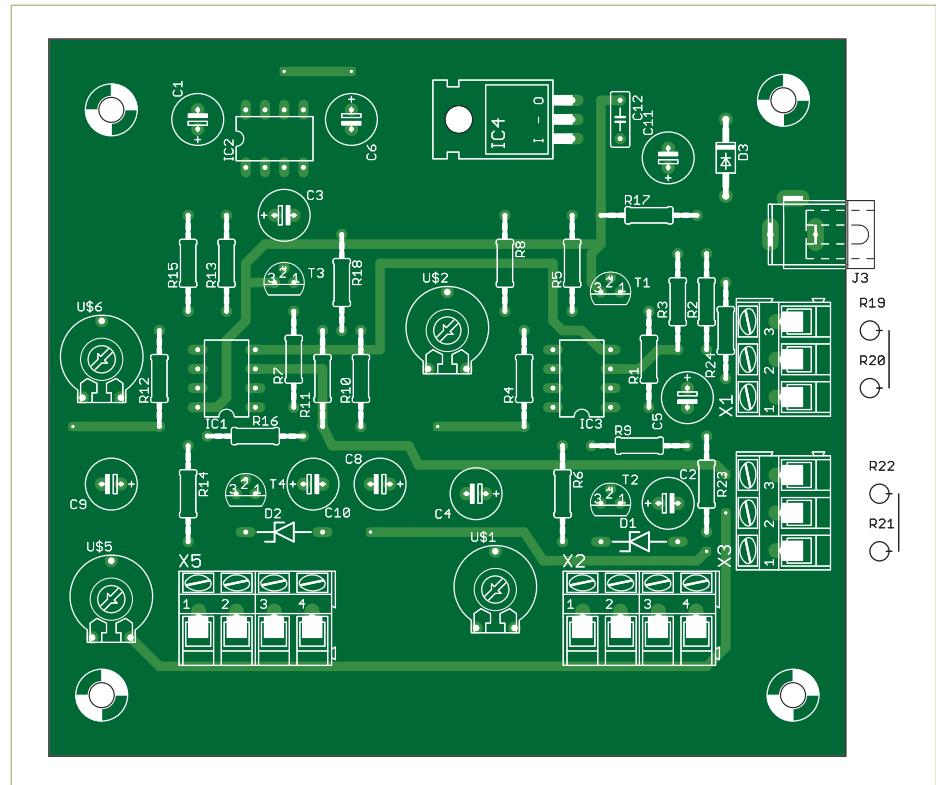


Bild 9. Platine für die Schaltung in Bild 7.

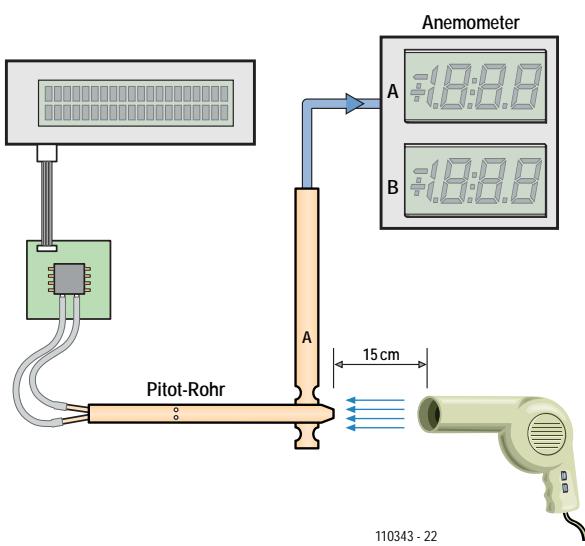


Bild 10. Während der Kalibrierung liegen das Pitotrohr und der NTC-Sensor in dem gemeinsamen Luftstrom, den der Fön erzeugt.

bereit. IC3B (IC1B) kompensiert das von der ersten Stufe verursachte Spannungsgefälle, und mit Poti P1 (P5) wird die Gesamtverstärkung eingestellt.

### Zum Schluss die Kalibrierung

Wenn der Doppel-Hitzdraht-Strömungsmesser und das Pitotrohr fertiggestellt sind, fehlt noch die Kalibrierung. Ein gewöhnlicher Haartrockner oder Fön leistet Hilfe-

stellung. Zuerst muss mit P2 (P6) der Nullpunkt eingestellt werden. Das kann geschehen, nachdem die NTC-Sensoren in einem geschlossenen Behältnis untergebracht sind, dort ist keine Luftströmung vorhanden. Dann wird der Strömungsmesser wie folgt kalibriert:

Wir schalten den Haartrockner in der Stufe ein, in der die Luft nicht erwärmt wird. Die Messfühler werden zusammen mit dem

## Der Autor

Seit seinen frühen Lebensjahren hielt Marc Gerin (48) lieber einen Lötkolben als ein Schreibwerkzeug in Händen. Während der Schulzeit glänzte er in den naturwissenschaftlichen Fächern, später studierte er Elektrotechnik, Betriebswirtschaft und Energiemanagement. Heute ist er beim belgischen Telekommunikationsunternehmen Belgacom tätig.



Pitotrohr so im Luftstrom positioniert, dass der Luftstrom die Messfühler und das Pitotrohr in gleichem Maß erfasst (siehe Bild 10). Potentiometer P1 (P5) wird so eingestellt, dass der angezeigte Wert mit der Anzeige des Pitotrohr-Systems übereinstimmt. Falls nötig muss die Verstärkung des DVM-Moduls korrigiert werden.

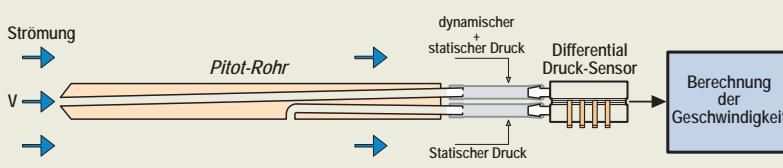
Jetzt ist das Messsystem einsatzbereit, mit dem wir das Wärmerückgewinnungssystem optimieren können. Stürmische Wetterlagen sind gute Gelegenheiten, um den Lecks auf die Spur zu kommen. Die Schwachstellen können vielfältige Gestalt haben: Nicht nur Fenster- und Türritzen, Dachkanten und Wandfugen gehören dazu, auch Steckdosen, Schalter und Fußleisten sind potentielle Durchlässe.

(110343)gd

## Weblinks

- [1] [www.elektor.de/080213](http://www.elektor.de/080213)
- [2] <http://nl.rs-online.com/web/p/products/2513637>
- [3] [www.elektor.de/110343](http://www.elektor.de/110343)

## Pitotrohr



Messen von Strömungsgeschwindigkeiten mit Pitotrohr und Drucksensor.

Pitotrohre führen das Messen von Strömungsgeschwindigkeiten auf zwei Druckmessungen zurück. Ein Druckmesser misst die Summe aus Umgebungsdruck und Strömungsdruck (statischer und dynamischer Druck), der zweite Druckmesser misst nur den Umgebungsdruck (statischer Druck). Für die Strömungsgeschwindigkeit gilt folgende Beziehung:

$$V = \sqrt{\frac{2(p_t - p_s)}{\rho}}$$

mit  $V$  = Geschwindigkeit

$p_t$  = Gesamtdruck

$p_s$  = Statischer Druck

$\rho$  = Dichte der Flüssigkeit oder des Gases

Da die Abhängigkeit exponentiell verläuft, sind niedrige Strömungsgeschwindigkeiten wegen der geringen Druckdifferenzen nur schwierig messbar.

# Alle Elektor-Artikel der “80er-Jahre” auf DVD

**NEU!**



ISBN 978-3-89576-258-1  
€ 89,00 • CHF 110,40

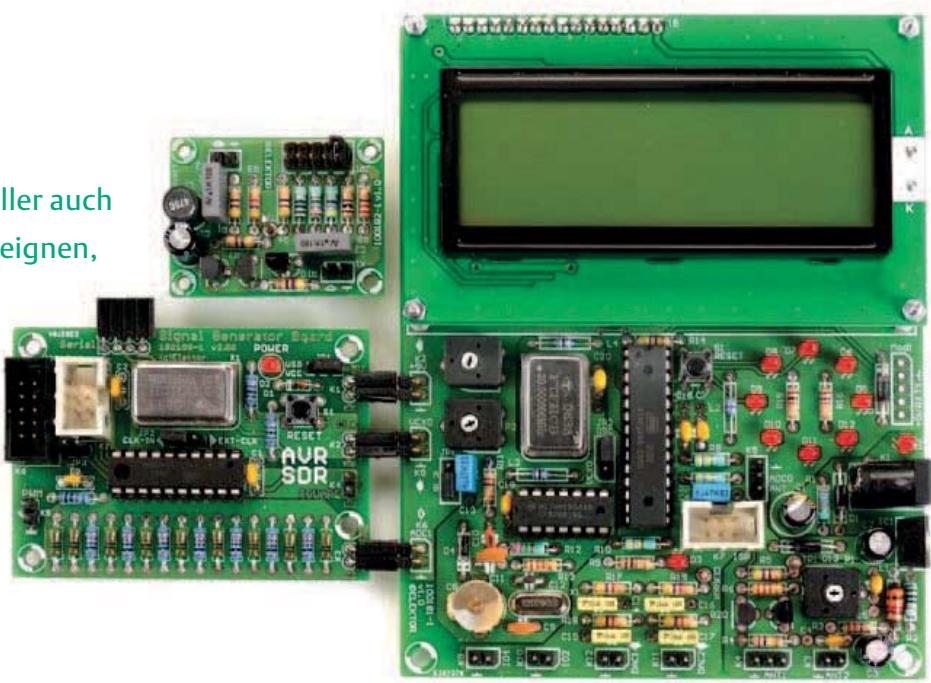
Jetzt unter [www.elektor.de/80-89](http://www.elektor.de/80-89) bestellen!

# SDR mit AVR (4)

## Digitaler Rundfunkempfang: DCF77, Wetterdienst und mehr...

Von Martin Ossmann (D)

Dass sich die beliebten AVR-Controller auch für die digitale Signalverarbeitung eignen, soll diese Serie zeigen. Diesmal wird es praktisch: Wir empfangen mit unserem selbstgebauten SDR sowohl DCF77 und weitere Zeitsender sowie den Deutschen Wetterdienst. Dabei decodieren wir Zeit- und Wettersignale!



In der letzten Folge [3] haben wir einen Testsender und eine aktive Ferritantenne in Betrieb genommen, die wir in dieser Folge gut gebrauchen können. Jetzt widmen wir uns dem weiteren Aufbau unseres digitalen Empfängers. Den digitalen IQ-Mischer hatten wir ja bereits besprochen. Nun kommen die dahinterliegenden Filter an die Reihe. Um einen schmalbandigen Empfang zu realisieren, folgen nach dem Mischer noch Tiefpassfilter, und zwar jeweils die gleichen für den Inphase- und den Quadraturphase-Anteil. Die direkt auf den Mischer folgenden Filter arbeiten mit der Abtastrate unseres Frontends, also z.B. mit 10 kHz bei DCF77.

Die Filter müssen einfach sein, damit sie auf einem AVR in Echtzeit gerechnet werden können. In unserem Frontend werden dazu sogenannte CIC-Filter verwendet. Nachfolgend wird beschrieben, wie diese unkomplizierten Filter arbeiten.

### Vom gleitenden Mittelwert zum CIC-Filter

CIC-Filter beruhen auf gleitenden Mittelwerten. **Bild 1** zeigt ein Filter, das einen gleitenden Mittelwert über fünf Werte berechnet. Eine Kette aus Verzögerungsstufen speichert die vergangenen Werte, welche dann jeweils summiert werden. Setzt man das

Filter in einen Algorithmus um, so werden die Werte in einem Ringspeicher gespeichert. Der jeweils neue Wert ersetzt den ältesten Wert. Dann wird der Positionszeiger weitergerückt. Zur Berechnung des Ausgangswerts werden alle im Ringspeicher stehenden Werte addiert (vier Additionen). Bei einem Filter für N Werte braucht man N-1 Additionen. Ein großes N benötigt viel Rechenzeit.

Man kann zeigen, dass das in **Bild 2** dargestellte Filter dasselbe macht wie das Filter von Bild 1. Lineare zeitinvariante Filter sind durch die sogenannte Impulsantwort vollständig charakterisiert. Die Impulsantwort

### Elektor Produkte & Service

- Signalgenerator (Kit mit Platine und allen Bauteilen 100180-71)
- Universeller Empfänger (Kit mit Platine und allen Bauteilen 100181-71)
- Aktive Ferritantenne (Kit mit Platine und allen Bauteilen 100182-71)
- Kombi-Kit aus allen drei Bauteilsätzen plus USB/TTL-Konverter BOB FT232: 100182-72

- USB/TTL-Konverter BOB FT232, bestückt und getestet 110553-91
- USB-AVR-Programmer, SMD-bestückte Platine plus alle anderen Bauteile 080083-71
- Gratis Software-Download (Hex-Files und Source-Code)

Alle Produkte und Downloads sind über die Website zu diesem Artikel erhältlich: [www.elektor.de/120088](http://www.elektor.de/120088)

ist das Ausgangssignal auf eine einzelne Eins (als Folge 0,0,1,0,0,0,0,0,0,...) am Eingang. Die Folge 0,0,1,1,1,1,1,0,0,0,... ist die Impulsantwort des gleitenden Mittelwertfilters, da die eine Eins einfach an den fünf Summationsabzweigungen vorbeiläuft. Nun schauen wir uns an, was eine Eins macht, die in das Filter nach Bild 2 einläuft. Das Filter besteht aus zwei Teilen: einer Verzögerungskette aus fünf Stufen und einem darauf folgenden Integrator (Summierer). Der Integrator summiert einfach alle ankommenden Werte und gibt diese Summe aus. Wenn eine einzelne 1 in das Filter einläuft, durchläuft sie die Verzögerungskette. Die 1 gelangt aber auch auf direktem Wege zum Integrator. Die 1 bleibt nun im Integrator gespeichert und dieser gibt solange 1 aus, bis endlich auch die 1 aus der Verzögerungskette eintrifft. Diese wird mit -1 multipliziert. Die so entstehende -1 neutralisiert im Integrator nach fünf Schritten die vorher angekommene 1, so dass danach wieder Nullen aus dem Filter laufen. Damit erzeugt auch dieses Filter genau fünf Einsen als Impulsantwort.

Den ersten Teil des Filters (die Verzögerungskette mit nachfolgendem Subtrahierer) bezeichnet man als Comb-Filter (Kammfilter), weil der Frequenzgang kammartig aussieht. Unser Filter besteht also aus einem Comb-Filter, gefolgt von einem Integrator. Diese Form des Filters benötigt nur 2 Additionen pro Zeitschritt - unabhängig von N, der Zahl der Verzögerungsstufen. Diese Realisierung vereinfacht die Sache für Mikrocontroller also beträchtlich. Die Verzögerungskette realisiert man wieder mit einem Ringspeicher.

Da man bei mehreren linearen zeitinvarianten Filtern deren Reihenfolge vertauschen kann, hat auch das Filter in Bild 3 die gleiche Wirkung, nur dass sich diesmal der Integrator vor dem Comb-Filter befindet.

Man kann nun durchspielen, ob dieses Filter tatsächlich die richtige Impulsantwort liefert. Wenn eine einzelne 1 in das Filter läuft, liefert der Integrator danach ständig eine Eins. Nun stellt sich die Frage, wie dieses Filter reagiert, wenn es lauter Einsen erhält. Irgendwann läuft der Integrator „über“, doch wenn man die richtige Ganzzahlarithmetik bei der Implementation benutzt, funktioniert das Filter trotzdem. Dieser

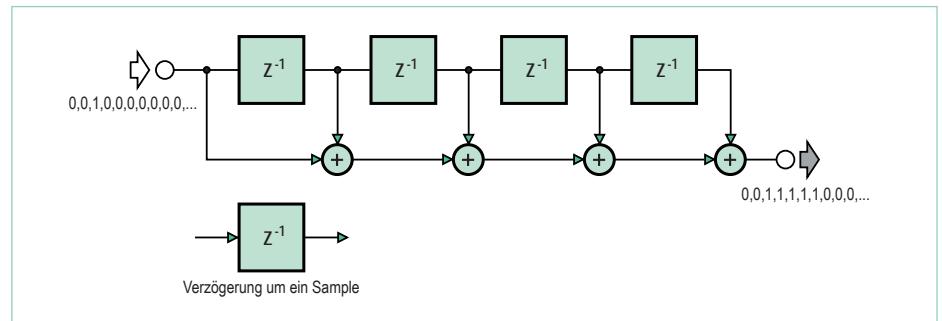


Bild 1. Filter mit gleitendem Mittelwert.

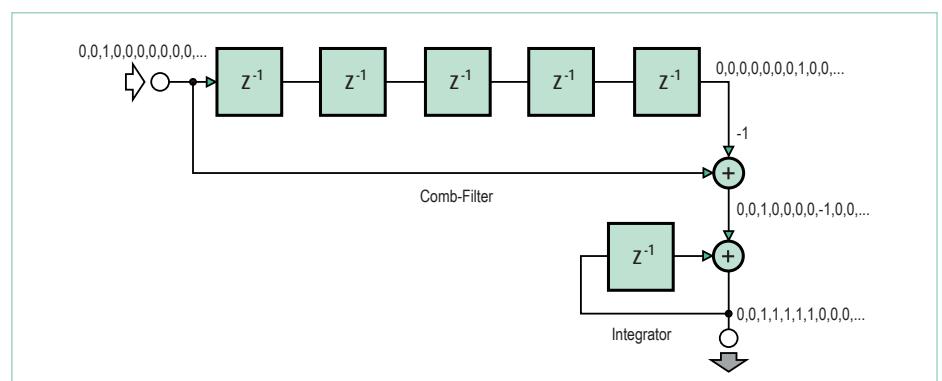


Bild 2. Verzögerungskette aus fünf Stufen und Integrator als Ersatz für Bild 1.

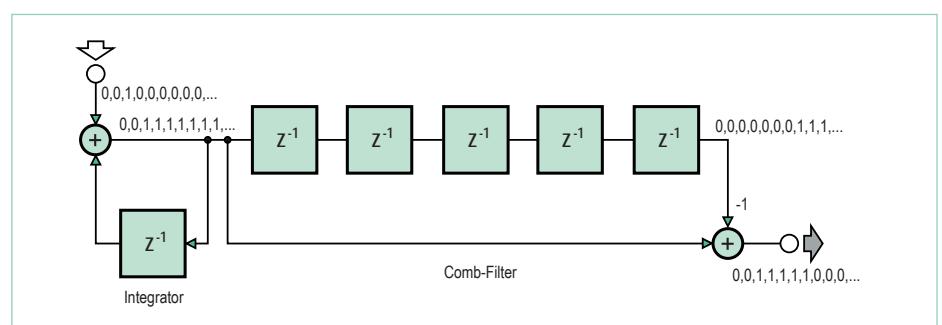


Bild 3. Umkehrung der Filterteile gegenüber Bild 2; aber gleiche Wirkung.

Sachverhalt ist wesentlich dafür, dass diese Filtervariante anwendbar ist.

### Filtern und Downsamplen

Das Frontend hat wegen der hohen Abtastrate nicht viel Zeit für komplizierte Filteral-

gorithmen. Wenn das zu verarbeitende Signal schmalbandig genug ist, kann man das Signal nach der Vorfilterung um einen Faktor R downsamplen (dezimieren): Man nimmt nur jedes R-te Sample und verarbeitet dieses weiter. Wenn man gleitende

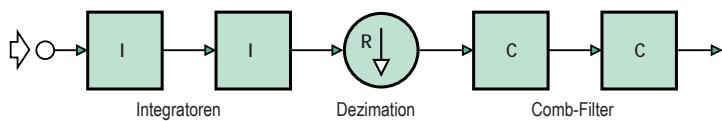


Bild 4. Die CIC-Struktur ist besonders effizient.

Mittelwertfilter verwenden will, kann man die besonders effiziente CIC-Struktur nach **Bild 4** einsetzen.

Die Integrationen führt man noch mit der schnellen Datenrate aus. Die Comb-Filter

(hier der Länge R oder 2R oder NR) braucht man dann nicht mit der schnellen Datenrate laufen zu lassen, sondern nur mit der um den Faktor R niedrigeren Datenrate nach der Dezimation. Damit ist die schnelle Inter-

rupt-Routine, welche die ADC-Werte verarbeiten muss, deutlich entlastet. Für den Inphasen-Kanal sieht die Routine dann wie im **Listing 1** dargestellt aus.

$M_d$  ist der Downsampling-Faktor. Die Werte werden vom Frontend in eine FIFO-Schlange gepackt, aus der sie von der nachfolgenden Stufe geholt werden. Ist die nachfolgende Stufe kurzzeitig nicht schnell genug, um den Wert direkt zu verarbeiten, bleiben einer oder gar mehrere Werte in der Schlange, bis sie abgeholt werden. Durch diese Technik ist es leichter, die nachfolgenden Stufen zu programmieren. **Listing 2** zeigt den fertigen Code hierzu.

Das Resultat nach der zweifachen Filterung steht dann in der Variable „ $Ilcomb2out$ “. Es wird deutlich, dass CIC-Filter mit wenigen Additionen auskommen. Da zwei Filter hintereinander noch nicht schmalbandig genug sind, wurde ein drittes Filter hinzugefügt. Dies dezimiert allerdings nicht, sondern lässt die Samplerate gleich. Der zugehörige Code ist in **Listing 3** enthalten. Wieder sind nur wenige Operationen notwendig, und die Anzahl der Operationen hängt auch nicht von der Länge des Filters ab.

Damit haben wir die Filterung der I- und Q-Signale besprochen. Das Frontend mit den Filtern sieht damit so aus, wie in **Bild 5** dargestellt. Timer 1 taktet das ADC-Sampling mit den Raten  $20\text{ MHz}/Ns = F_s$ . Durch Unterabtastung des Eingangssignals mit der Frequenz  $f$  entsteht ein Signal der Frequenz  $f_{IF}$ . Diese Frequenz muss genau ein Viertel der Abtastfrequenz sein, damit es mit den Signalen des lokalen Oszillators auf die Frequenz Null gemischt wird. Diese dann entstehenden Signale werden jeweils durch ein dreifaches Tiefpassfilter gefiltert. Die ersten beiden Filter haben die Ordnung  $M_d$ , um welche auch dezimiert wird. Das letzte Filter hat die Ordnung  $M_c$ . Je größer man  $M_c$  und  $M_d$  wählt, umso niedriger sind die Grenzfrequenzen der Filter. Zur Weiterbearbeitung stehen nach den Filtern dann die Signale X und Y bereit.

## Empfangsfrequenzen

Um das beschriebene Konzept anwenden zu können, muss der Quotient „ $f/F_s$ “ genau ein Viertel von einer ganzen Zahl abweichen. In **Tabelle 1** sieht man, dass man diese Bedingung für eine ganze Reihe von Empfangs-

### Listing 1: Inphasen-Kanal

```

if (sampleTime & 1) {
if (sampleTime & 0b10) {
IIintegrator1 += ADCv ;
}
else {
IIintegrator1 -= ADCv ;
}
IIintegrator2 += IIintegrator1 ;
}

sampleTime++ ;
if (sampleTime==Md) {
sampleTime=0 ;
IntFifoII[IntFifoInPtr]=IIintegrator2 ;
IntFifoInPtr=(IntFifoInPtr+1) & IntFifoMask ;
}

```

### Listing 2: FIFO-Filter

```

IIsample=IntFifoII[IntFifoOutPtr] ;
IntFifoOutPtr=(IntFifoOutPtr+1) & IntFifoMask ;
// do 1.st comb-step of two stage downsampling CIC filter
IIcomb1out=IIcomb1store-IIsample ; IIcomb1store=IIsample ;
// do 2.nd comb-step of two stage downampling CIC filter
IIcomb2out=IIcomb2store-IIcomb1out ; IIcomb2store=IIcomb1out ;
;

```

### Listing 3: Dritte Filterstufe

```

// integration step of smoothing CIC filter I-channel
IIintegrator3 += IIcomb2out / P ;
// comb step of smoothing CIC filter
IIcic3out = IIintegrator3 - IIfifo[CICfifoPTR] ;
// FIFO update of smoothing CIC filter
IIfifo[CICfifoPTR] = IIintegrator3 ;
// advance pointer and bump around
CICfifoPTR++ ; if ( CICfifoPTR==Mc ) { CICfifoPTR=0 ; }

```

frequenzen erfüllen kann. Notfalls reicht es auch, die Bedingung nur näherungsweise einzuhalten. Dann wird quasi nicht auf DC gemischt, sondern auf eine sehr niedrige Frequenz.

### CORDIC-Idee für Phase und Amplitude

Im ersten Experiment wollen wir DCF77 wie im letzten Teil beschrieben [3] empfangen. Zum Einsatz kommt die Software EXP-Simple-DCF77-RX-IQ-V01 [4].

Nach der Tiefpassfilterung steht das Eingangssignal, zerlegt in die I- und Q-Komponente, zur Verfügung. Häufig braucht man aber die Amplitude oder die Phase bzw. Frequenz. Das entspricht einer Umwandlung von rechtwinkligen in Polarkoordinaten. Mit Fließkommazahlen kann man die Phase mit Hilfe der „atan2“-Funktion bestimmen. Fließkommaberechnungen sind allerdings aufwändig. Daher wird eine Methode vorgestellt, die mit reinen Integer-Berechnungen auskommt.

Zunächst zu Bild 6: Es geht um die Bestimmung der Phase des Punkts P mit den Koordinaten X0 und Y0. Die Grundidee besteht darin, die Lage des Punktes im Uhrzeigersinn solange zu drehen, bis der Punkt auf der positiven X-Achse liegt. Dabei geht man so ähnlich vor wie ein ADC, der nach dem Verfahren der sukzessiven Approximation arbeitet. Man probiert zuerst eine Rotation um 180°. Ist dann der Y1-Wert des neuen Punktes schon negativ, hat man zu weit gedreht. Ist Y1 positiv (wie in unserem Beispiel) dreht man mit 90°, dann mit 45° usw. Man addiert dabei alle benötigten Winkel auf. Hat man in einem Schritt zu weit gedreht, dreht man wieder zurück. Am Ende liegt der Punkt dann im Rahmen der Genauigkeit auf der X-Achse, und die aufaddierten Winkel ergeben die ursprüngliche Phase.

Zur Implementierung speichert man die Koeffizienten der Drehmatrizen um den Faktor 65536 multipliziert in einer Tabelle. Für 22,5° ergibt sich beispielsweise:

$$\begin{aligned} 60547 &= 65536 \cdot \cos(22,5^\circ) \\ 25080 &= 65536 \cdot \sin(22,5^\circ) \end{aligned}$$

Die Berechnung der Rotation des Punkts (X0,Y0) zum neuen Punkt (X1,Y1) findet

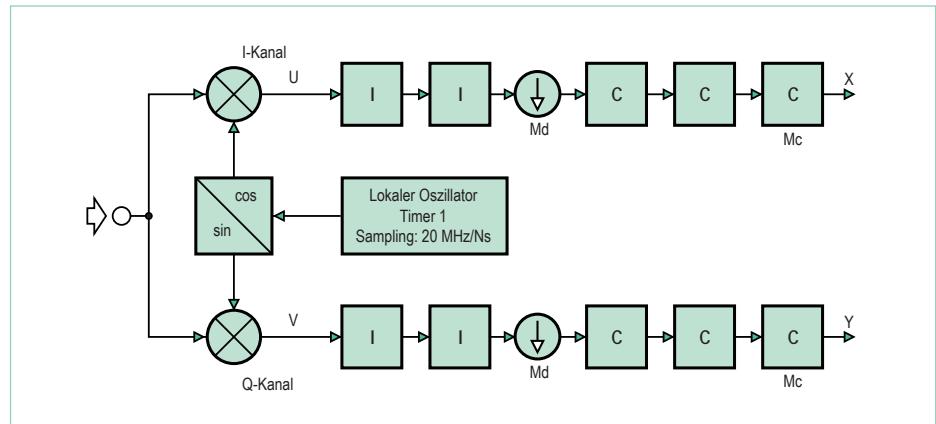


Bild 5. Blockschaltung der Kombination von Frontend mit Filtern.

Tabelle 1: Empfangsfrequenzen und Parameter

Empfangsfrequenz f	Teiler Ns	20 MHz/Ns =Fs	f/Fs	Name
60,0 kHz	2250	8,888... kHz	6,75	MSF
75,0 kHz	1800	11,111... kHz	6,25	HBG
77,5 kHz	2000	10,0 kHz	7,75	DCF77
125,0 kHz	1800	11,111... kHz	11,25	Test
162,0 kHz	2500	8,0 kHz	20,25	TDF
198,0 kHz	2500	8,0 kHz	24,75	BBC
648,0 kHz	1875	10,666... kHz	60,75	BBC

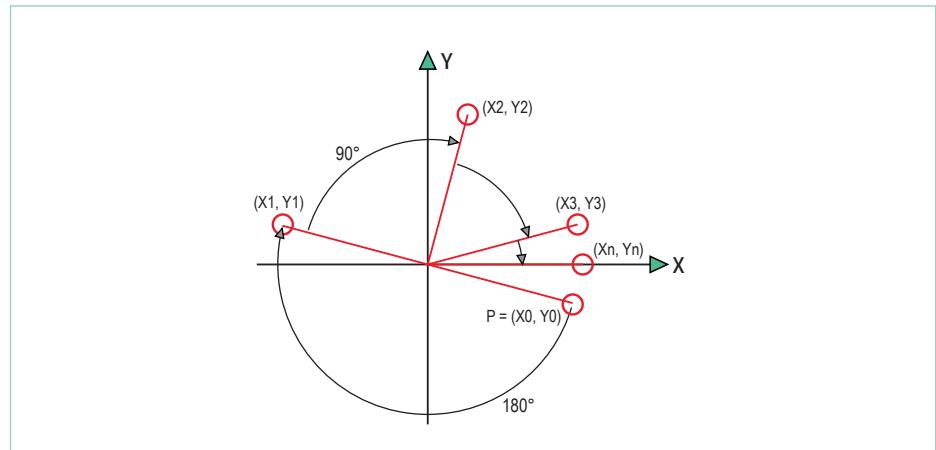


Bild 6. Funktionsweise der CORDIC-Rotation.

Listing 4: Cordic-Rotation

```
c=iCordicCosTab[k_cordic];  
s=iCordicSinTab[k_cordic];  
// rotate (x0,y0) by phi into (x1,y1)  
x1=( c*x0+s*y0) / 65536L;  
y1=(-s*x0+c*y0) / 65536L;
```

## HOCHFREQUENZ

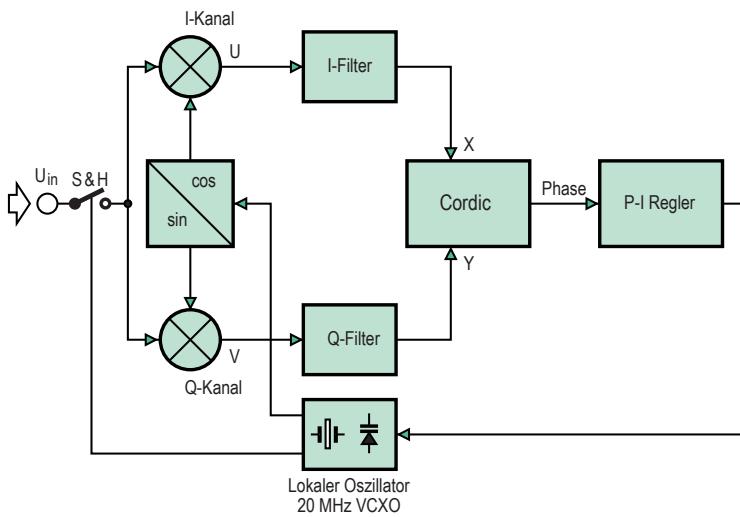


Bild 7. Blockschaltung der PLL.

Sender angepasst werden. Dies geschieht einfach durch Aktivieren der entsprechenden Option per „#define“ im Quellcode. Zuerst wurde der Empfang des DCF77 getestet. Das DCF77-Signal ist in ganz Europa gut zu empfangen. Im Westen Deutschlands (in Aachen) gilt dies auch für die Signale der BBC auf 198 kHz und France Inter auf 162 kHz. Dieses Konzept kann also auch in Frankreich und England mit jeweils lokalen Sendern benutzt werden.

### Inbetriebnahme der PLL

Damit der Empfänger auf das Empfangssignal einrastet, muss er vorher entsprechend abgeglichen werden. Dabei geht man wie folgt schrittweise vor: Zuerst gleicht man die aktive Ferritantenne ab. Dazu benutzt man den Signalgenerator und lässt diesen ein Sinus-Signal mit der gewünschten Frequenz erzeugen. Dieses Signal koppelt man schwach in die Antenne ein, indem man das Ausgangssignal des Generators über 1 pF mit dem Schwingkreis (heißer Anschluss) verbindet. Dann verstellt man den Drehkondensator so lange, bis am Ausgang der aktiven Antenne das Signal maximal wird. Die aktive Antenne muss dabei zwecks Stromversorgung natürlich mit dem Empfänger verbunden sein. Zur Amplitudenmessung kann man unser RMS-Voltmeter verwenden. Anschließend lädt man den ATmega88 mit dem Programm „EXP-VCXO-PLL-V01“, welches für die richtige Frequenz kompiliert wurde. Jumper 1 stellt man in Position A, so dass der VCXO mit Trimmkondensator P2 eingestellt werden kann. P2 stellt man zunächst in Mittelstellung. Wenn man nun die Empfangsantenne ausrichtet, müsste auf dem LED-Kreis die leuchtende LED mehr oder weniger schnell rotieren. Mit dem Trimmkondensator C8 stellt man die VCXO-Frequenz so ein, dass der LED-Punkt stehen bleibt oder nur noch sehr langsam rotiert. Wenn man nun P1 verstellt, müsste man Drehrichtung und Geschwindigkeit des LED-Punkts verändern können. Ist das nicht möglich, kann man versuchen einen anderen 20-MHz-Quarz zu verwenden oder die Werte von C9 und C12 leicht zu verändern. Die beschriebene Maßnahme gewährleistet, dass der VCXO durch die Steuerspannung 0...5 V im richtigen Bereich variiert werden kann. Indem wir nun den Jumper JP1 in Position B bringen,

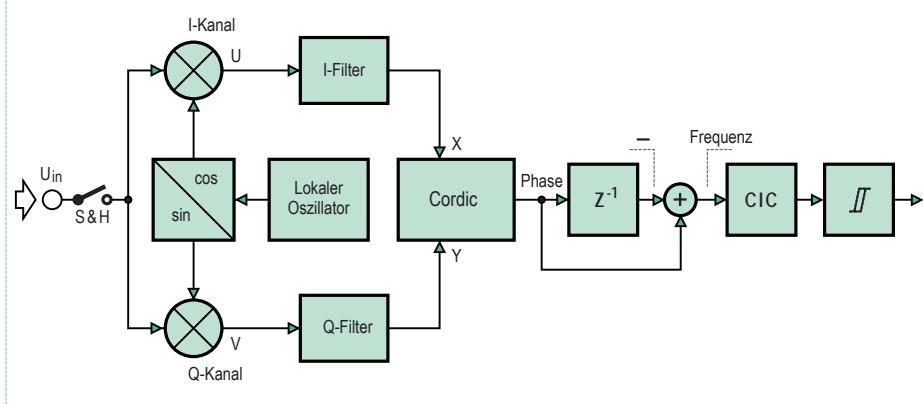


Bild 9. Blockschaltung der RTTY-Dekodierung.

sich in **Listing 4**.

Diese Methode ist dem sogenannten COR-DIC-Verfahren [6][7] sehr ähnlich. Wenn der Punkt auf die X-Achse gedreht wurde, dann entspricht seiner X-Koordinate die Amplitude. Diese ergibt sich also auf einfache Weise. Unsere CORDIC-Routine liefert den Winkel so skaliert, dass eine Umdrehung ( $360^\circ$ ) exakt dem Wert 256 entspricht. Wenn die Phase also von  $0\dots360^\circ$  wandert, durchläuft der CORDIC-Phasenwert alle Werte eines Bytes.

### Hochgenaue Frequenz durch PLL

Nun verwenden wir die Software EXP-Simple-DCF77-RX-V01 [4] zur Anzeige von Amplitude und Phase.

Wenn man den Zeitzeichensender DCF77 empfängt, wird man feststellen, dass seine Phase langsam wandert. Dieses Phänomen röhrt daher, dass unsere Quarzfrequenz nicht exakt 20 MHz beträgt. Mit dem Trimmer kann man versuchen, den Oszillator abzulegen, indem man versucht, die Phase auf minimale Änderungsgeschwindigkeit einzustellen. So eine Justierung ist natürlich nicht lange stabil. Die bessere Möglichkeit besteht darin, eine PLL (Phase-Locked Loop) aufzubauen. Dazu wird das Phasensignal über einen Regler auf den Steuereingang des VCXO geführt (siehe Bild 8). Wenn alles korrekt dimensioniert und abgeglichen ist, rastet die PLL ein und das Signal unseres Quarzoszillators ist dann phasenstarr mit dem Empfangssignal. Indem man einen Sender empfängt, der als Frequenznormal betrieben wird, kann man damit sein eigenes Frequenznormal herstellen.

Unser Empfänger kann durch einfaches Ändern einiger Parameter an verschiedene Sender angepasst werden. Dies geschieht einfach durch Aktivieren der entsprechenden Option per „#define“ im Quellcode. Zuerst wurde der Empfang des DCF77 getestet. Das DCF77-Signal ist in ganz Europa gut zu empfangen. Im Westen Deutschlands (in Aachen) gilt dies auch für die Signale der BBC auf 198 kHz und France Inter auf 162 kHz. Dieses Konzept kann also auch in Frankreich und England mit jeweils lokalen Sendern benutzt werden.

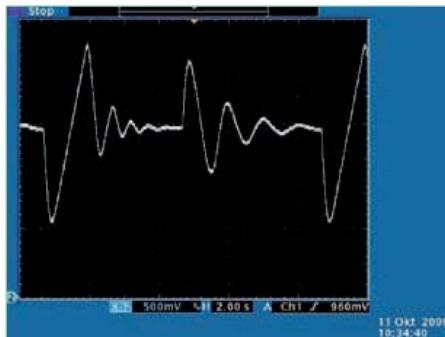


Bild 8. Phasenverlauf der PLL.

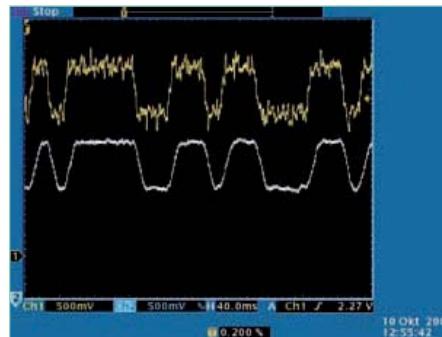


Bild 10. Frequenzverlauf vor (gelb) und nach Filterung (blau).

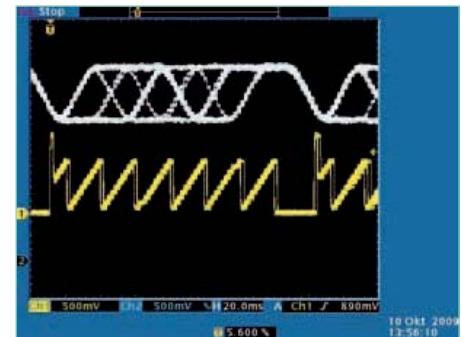


Bild 11. Augendiagramm (blau) und Taktverlauf (gelb).

schließen wir den Regelkreis. Nach dem Reset sollte der LED-Punkt ein wenig hin- und herwandern, bis er schließlich an einer Stelle zur Ruhe kommt. Dann ist die PLL eingerastet und der 20-MHz-Oszillator erzeugt sehr genaue 20 MHz. Die beiden PWM-AC-Ausgänge unseres Empfängers liefern übrigens wieder Amplitude und Phase des Empfangssignals, welche man als Abstimmhilfe verwenden kann. Bei DCF77-Empfang erkennt man die Amplitudenabsenkung, die jede Sekunde erfolgt. Bei den Sendern TDF162 (France Inter) und BBC189 zeigt sich die Phasenmodulation.

Um das Verhalten der PLL zu testen, wurde unser Signalgeneratorprogramm so geändert, dass es 125 kHz erzeugt, aber die Frequenz jeweils nach ein paar Sekunden um  $\pm 1\text{Hz}$  springen lässt. Im Oszilloskopogramm von **Bild 8** sieht man den Phasenverlauf. Die abklingende Schwingung zeigt jeweils das Einrasten auf die neue Frequenz.

## DDH47: Funkfernschreiben auf 147,3 kHz

Der Deutsche Wetterdienst sendet auf 147,3 kHz den Seewetterbericht als Funkfernenschreiben. Dabei wird zwischen zwei Frequenzen umgetastet, was einer Frequenzmodulation entspricht. Nach der Bestimmung der Phase mit Hilfe des Cordin-Verfahrens kann man die Frequenz recht einfach bestimmen: Sie ergibt sich aus der Differenz aufeinanderfolgender Phasenwerte, weil die Frequenz ja der zeitlichen Phasenänderung entspricht. Wenn das Signal nicht sehr sauber ist, ist dieses Frequenzsignal aber stark verrauscht. Die Abhilfe ist allerdings einfach: Filterung mit einem CIC-Tiefpass. Das Ausgangssignal gelangt an einen Schmitt-Trigger und als Resultat ergibt sich damit das demodulierte RTTY-Signal.

In Bild 9 ist das Blockschaltbild dieses Konzeptes dargestellt. In Bild 10 oben sieht

man das Frequenzsignal direkt nach der Differenzbildung. In Bild 10 unten ist das gefilterte Signal zu sehen, welches wesentlich sauberer ist. Nach dem Schmitt-Trigger gelangt das Signal auf einen Software-UART. Dies beinhaltet die Startbiterkennung, die Seriell/Parallel-Wandlung und die Umsetzung vom Baudot- in den ASCII-Code.

Nun stimmen wir die Ferritantenne auf 147,3 kHz ab (siehe [3]) und laden EXP-DDH47-RTTY-RX-V01 in den Controller des Empfängers. An den DAC-Ausgängen wird das RTTY-Signal und der Bit-Takt ausgegeben, auf dem LCD die Feldstärke angezeigt.

In Bild 11 ist das Frequenzsignal als Augendiagramm dargestellt. Dabei wird die Ablenkung des Oszilloskops von der Startbiterkennung getriggert, und es werden mehrere Signalverläufe übereinander gezeichnet. Sind die „Augen“ unverrauscht und weit geöffnet, kann das Signal gut empfangen werden.

Die empfangenen Zeichen werden dann über die serielle Schnittstelle des ATmega88 ausgegeben und können mit einem Terminalprogramm auf dem PC angesehen werden. In Listing 5 ist ein kurzer Ausschnitt der empfangenen Daten gezeigt.

Im nächsten Heft geht es weiter: Mit einem Testsender und weiteren Details bei der Decodierung diverser Sendersignale.

(120088)

## Weblinks

- [1] [www.elektor.de/100180](http://www.elektor.de/100180)
  - [2] [www.elektor.de/100181](http://www.elektor.de/100181)
  - [3] [www.elektor.de/100182](http://www.elektor.de/100182)
  - [4] [www.elektor.de/120088](http://www.elektor.de/120088)
  - [5] [www.ak-modul-bus.de](http://www.ak-modul-bus.de)
  - [6] [www.dspguru.com/dsp/faqs/cordic](http://www.dspguru.com/dsp/faqs/cordic)
  - [7] <http://de.wikipedia.org/wiki/CORDIC>

### **Listing 5: Empfanger Text des Wetterdienstes**

# Platino mit LabVIEW steuern (2)

In Teil 1 haben wir einen Einblick in LabVIEW und LIFA gegeben – und dabei gleich ein virtuelles Instrument entwickelt, das eine Platino-LED blinken lässt. Diesen Monat kommt ein Relais-Board dazu und das USB-Kabel zur Verbindung von Platino und PC wird überflüssig. Man kann sogar den aktuellen Platino-Status über das Internet auf einem iPad oder Android-Tablet betrachten - was viele neue Anwendungsmöglichkeiten eröffnet!

Von Clemens Valens

## LIFA verstehen

Wie schon im ersten Teil beschrieben nutzt LIFA einen seriellen Kommunikations-Server auf einem Slave-Device zur Steuerung mit LabVIEW (LV). Serielle Kommunikation impliziert eine Art Kommunikations-Protokoll – das von LIFA benutzte ist einfach und nicht sehr robust. Es besteht aus 15-Byte-Paketen Richtung Slave und der Rückgabe von Paketen variabler Länge. Die von LV geschickten Pakete beginnen mit 0xFF und enden mit einer Checksumme, die über die Nutzdaten plus dem ersten Byte berechnet wird - die Checksumme selbst natürlich ausgeschlossen (**Bild 1**). Das zweite Byte enthält den Befehl und der Rest der Nutzdaten hängt von ihm ab. Die vom Slave retournierten Daten haben keine feste Struktur. Meistens kommt nur ein einzelnes Byte als „acknowledge“ zurück, wobei nicht einmal sein Wert überprüft wird. Andere Befehle haben andere Antwort-Längen zur Folge – man muss sich lediglich an die Vorgaben des empfangenden virtuellen Instruments (VI) halten. Es sind keine Checksummen oder Synchronisationszeichen erforderlich; später wird sich noch zeigen, dass diese Freiheit auch Schwierigkeiten mit sich bringt.

Um zu verstehen, wie das Protokoll implementiert ist, muss man das VI Digital Write Pin von Bild 5 der ersten Folge betrachten. In LV kann man das entsprechende Symbol doppelklicken und nachschauen, was sich dahinter verbirgt (**Bild 2**). Links oben sieht man den Befehl digitalWritePin (allgemein ein numerischer Wert im Bereich 0...255, digitalWritePin = 3). Darunter befindet sich die Nummer des Pins und darunter dann dessen Wert (0 oder 1). Diese drei Bytes werden zu einem Array kombiniert und an das VI mit der Brille übergeben (Send Receive). Die Pin-Nummer wird zusammen

mit dessen Typ (Digital oder Analog) vom VI mit dem roten Punkt mit weißem Kreuz geprüft (Check For Pin Out Of Range). Wenn die Pin-Nummer nicht im zulässigen Bereich des Slaves ist, wird das VI ein Error-Flag setzen.

Ein Doppelklick auf das VI Send Receive macht klar, was Brille und Stift zu bedeuten haben: Das Instrument ist ziemlich intellektuell. **Bild 3** zeigt, was es genau macht. Der Arduino-Kasten links ist das VI Packetize, das ein 15-Byte-Paket für die Verschickung an den Slave zusammenbaut. Der VISA-Block (mit abc drin) übernimmt die eigentliche Datenübertragung. Dann wartet das Arduino-VI Wait For Bytes darauf, dass Daten vom Slave zurückkommen. Ihre Anzahl wird durch die Variable Bytes To Read oben links festgelegt. Wenn die richtige Anzahl an Bytes in der festgelegten Zeit ankommt, wird die Case-Struktur mit Max Retries einfach übersprungen. Die zweite Case-Struktur wird dann die Daten in den Read Buffer schreiben (nicht gezeigt, er steckt im Case True, nicht im gezeigten False). Andernfalls setzt es Fehler.

Der serielle Server ist für Leute mit C-Erfahrung einfacher zu verstehen. Wenn hier ein 15-Byte-Paket empfangen wird, wird die Checksumme verifiziert und im positiven Fall das Kommando im zweiten Byte ausgeführt. Wenn ein Befehl keine Rückgaben benötigt (wie bei digitalWritePin), wird fast immer ein einzelnes Byte zurückgegeben. Falls Daten vom Host benötigt werden, werden diese ohne Acknowledge-Byte verschickt.

## LIFA erweitern

Nachdem nun etwas Verständnis für LIFA und seine Funktion vorhanden ist, könnte man ein eigenes VI bauen. Das bedeutet, dass man den seriellen Server modifizieren muss, damit er mit dem neuen VI interagieren kann.

Ein gutes Übungsbeispiel ist das 8-Kanal-Relais-Board mit seriell

## Elektor Projekte & Produkte

- ATM18 Relais-Board und Port-Expander (Oktober 2008); Bausatz: Elektor # 071035-72 & 071035-95
- Bluetooth mit dem ATM18 (Dezember 2009), Bausatz, Elektor # 080948-71
- Bluetooth für OBD-2 (April 2010), BTM222 + Platine, Elektor # 090918-71

- Touch-LEDs für Arduino (Oktober 2009), Platine, Elektor # 090527-1
- Super-Arduino (Oktober 2011), Platine, Elektor # 100892-1
- Mikrocontroller für Dummies, Arduino für die Schlauen (März 2009), ATmega168 mit Arduino-Bootloader, Elektor Shop 080931-41

# Bluetooth, WLAN und Data Dashboard auf einem iPad oder Android-Tablet

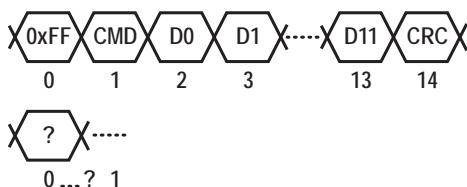
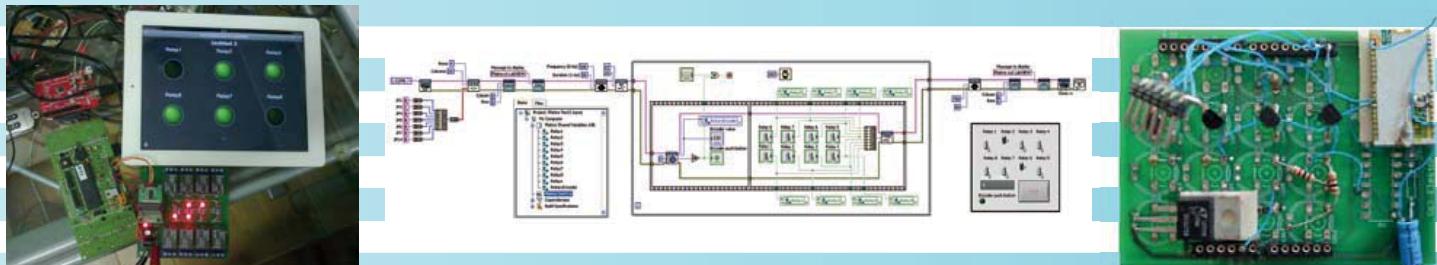


Bild 1. LIFA sendet feste, 15 Byte lange Datenpakete an das Slave-Device (oben), welches dann mit irgendetwas antwortet, um das empfangende VI (unten) zufrieden zu stellen.

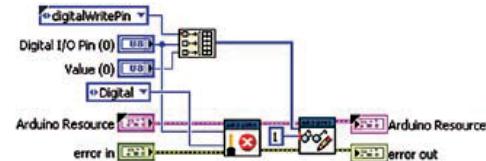


Bild 2. Im VI Digital Write Pin steckt die „Intelligenz“ in dem Kästchen mit dem Label „Arduino“.

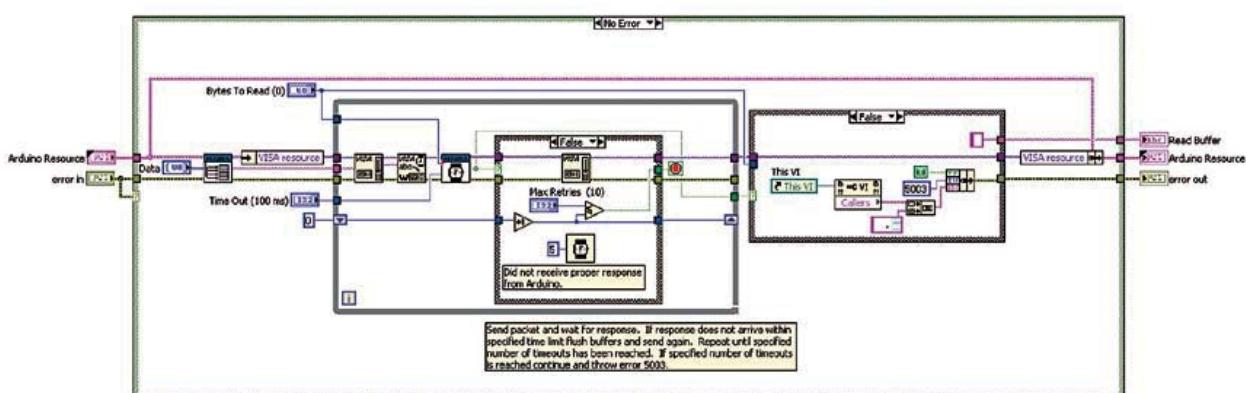


Bild 3. Im VI Send Receive sind die Pfade sichtbar, die bei einem Fehler durchlaufen werden.  
Im Normalbetrieb sind die schwarzen Case-Strukturen nahezu leer.

## Firmata, eine LIFA-Alternative

LIFA nutzt einen seriellen Server auf Arduino um I/O anzusprechen. Das ist keine neue Idee: Das LIFA-Team hätte kein neues Protokoll entwickeln müssen, denn es gab schon eine existierende Alternative. Die erste ist wohl Firmata, die jahrelang schon in den Arduino-Distributionen enthalten war. Laut Firmata-Webseite kommt das offizielle Uno-Board sogar schon vorprogrammiert mit Firmata 2.2. Firmata ist ein MIDI-basiertes Protokoll (der Musik-Welt entlehnt), das für die Steuerung von Mikrocontrollern durch einen PC geeignet ist und für das man schon viele Implementationen im Internet findet. Das Protokoll ist gut definiert und wird vielfach in der Robotik und in Multimedia-Anwendungen eingesetzt. Ein Firmata-VI existiert ebenfalls schon: labviewduino (<http://code.google.com/p/labviewduino>).



Bild 4. Das 8-Kanal-Relais-Board mit synchronem seriellen Interface, das von LabVIEW gesteuert werden soll.

Interface (**Bild 4**, Elektor # 071035-72). Sein serielles 2-Draht-Interface ist etwas eigen, so dass ich mich zunächst um die Implementierung der Slave-Seite gekümmert habe. Der Code basiert auf einem originalen BASCOM-Beispiel [1], das ich in C übersetzt habe. Wen die Details interessieren, der kann den Code im Download-Bereich zu diesem Artikel [2] herunterladen und inspizieren.

Für das Relais-Board werden in LV zwei Funktionen benötigt: eine für die Einstellung der Ports von Platino [3] (Arduino) zwecks Kommunikation mit dem Relais-Board und eine zweite Funktion zur Steuerung der Relais. Diese VIs ähneln den LIFA-VIs Set Digital Pin Mode und Digital Write Pin, die deshalb als Vorlage dienten. Tatsächlich können sie simpler ausfallen, da das VI Check For Pin Out Of Range nicht nötig ist.

Wenn nicht schon geschehen, setzt man eine Instanz des VIs Digital Write Pin in sein VI-Diagramm. Hierzu öffnet man es per Doppelklick und klickt auf File -> Save As.... Nun ein Klick auf Open additional copy gefolgt von Continue. Nach der Eingabe eines Namens für das VI kann man es irgendwo sichern, aber besser nicht im LIFA-Ordner. Nun schließt man das VI Digital Write Pin, damit man es nicht versehentlich ändert.

Dann beim neuen VI auf File -> VI Properties klicken. Im sich öffnenden Fenster kann man einige grundlegende Eigenschaften wie Bezeichnung und Icon des VIs festlegen. Als Category taugt General. Nun noch ein Klick auf Edit Icon... um ein eigenes Icon zu zeichnen. Bei Documentation kann man eine Kurzbeschreibung des VIs eingeben, und bei Window Appearance legt man den Titel des VIs fest. Die restlichen Parameter kann man vorerst ignorieren.

Im VI-Diagramm (Ctrl-E, falls nicht schon offen) kann man das VI Check For Pin Out Of Range zusammen mit der Konstante Pin Type löschen. Nun muss man noch Arduino Resource und error in mit dem VI Send Receive verbinden. Die Bezeichnungen der Pin- und Mode-Konstanten werden per Doppelklick geändert. Noch eine letzte Sache ist zu erledigen: Die Definition eines neuen Befehls. Dieser Punkt ist nicht so einfach.

Einfach wäre die Umwidmung eines vorhandenen Befehls, den man nicht benötigt. Möglich wäre sevenSegment\_Configure (man wählt ihn durch einen Klick auf die Drop-Down-Liste Command aus). Das funktioniert zwar, aber man kann später andere Probleme bekom-

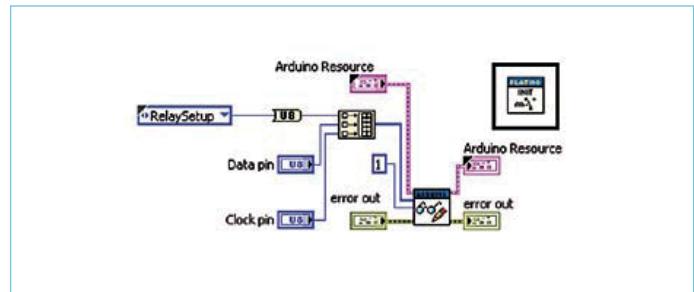


Bild 5. Das VI Relais Init wird zur Definition der Platino-Pins genutzt, die mit dem Relais-Board kommunizieren sollen.

men, wenn man diese Änderungen vergessen hat. Es ist auch nicht schön, da der Name des Befehls nichts mehr mit seiner Funktion zu tun hat.

Eine andere Lösung wäre, die Drop-Down-Liste durch eine Byte-Konstante mit einem bislang unbenutzten Wert zu ersetzen. Die benutzten Werte kann man erfahren, indem man nach einem Rechtsklick auf die Liste die Properties inspiziert. Beim Tab Edit Items sind die bereits genutzten Werte aufgelistet. Der letzte Eintrag in meiner Liste war FiniteSampleStart mit einem Wert von 45. Also sollte 46 frei sein, oder? Das stimmt tatsächlich, aber nur zufällig. Denn wenn man den Code des seriellen Servers (in der Datei LabVIEWInterface.pde) inspiziert, dann wird man dort vier Befehle finden, die sich nicht in der Drop-Down-Liste befinden. Man könnte diese natürlich durch Auskommentierung aus dem Weg räumen, doch das zeigt, dass einige LIFA-Entwickler die gleiche Methode wie wir verwendeten: einfach Befehle „hard coded“ implementieren und sie nicht in die Befehlsliste aufnehmen.

Die saubere Lösung ist natürlich, dass man eigene Befehle zur Befehlsliste hinzufügt. Hierzu genügt ein Rechtsklick auf die Drop-Down-Liste und die Auswahl von Advanced -> Customize.... Im sich öffnenden Fenster kann man eine Kopie der Type Def (File -> Save As...) anlegen und dann editieren. Nun ein Rechtsklick auf die Edit-Box mit setArduinoMode darin und Edit Items... ausgewählt. Jetzt kann man Befehle hinzufügen und neu anordnen. Die Schrittmotor-Befehle sollten ebenfalls hinzugefügt werden. Nun wird die im VI vorhandene Drop-Down-Liste Command durch die erweiterte Kopie ersetzt.

Ich bin mir nicht sicher, ob dies die beste und eleganteste Methode ist, doch sie funktioniert.

Wie man anhand der **Bilder 5** und **6** sehen kann, unterscheiden sich die Befehls-Arrays in der Größe. Die Größe von Arrays und etlichen anderen komplexen LV-Objekten kann man bequem mit der Maus ändern.

Zwecks Dokumentation und leichterem VI-Verständnis empfiehlt sich die Verwendung von Labels. Hierzu wählt man nach einem Rechtsklick auf das jeweilige Icon Visible Items -> Label aus.

Der Status jedes Relais wurde als Bit in einem boolschen 1D-Array codiert, das in ein Byte umgewandelt wird.

Auf diese Weise habe ich eine Menge anderer VIs erstellt, die Platino-Peripherie wie Buzzer oder Dreh-Encoder behandeln. Das wichtigste davon ist sicher das Platino-Konfigurations-VI, das für das LCD und die Lötbrücken zuständig ist.

## LIFA entwanzeln

Wie schon erwähnt, klemmt es bei LIFA an einigen Stellen. Die hartcodierten Befehle für den Schrittmotor wären nur ein Punkt. Wenn

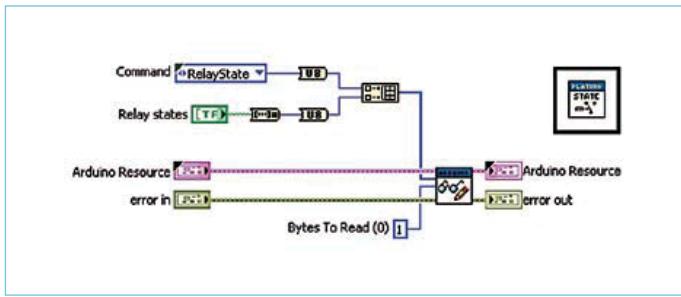


Bild 6. Das VI Relais State togglet den Status der Relais. Der Status jedes Relais wird durch ein Bit im Datenbyte repräsentiert.

das LIFA-Team die Library auf diese Art erweitert, wird es sicher noch mehr Probleme geben. Doch das war noch nicht alles.

Wenn man sich die Befehle anschaut, die mehr als 1 Byte an Daten brauchen, dann erkennt man mangelnde Konsequenz. Einige VIs verwenden das Little-Endian-Format während andere auf Big-Endian setzen. Diese Konfusion kann schnell zu Fehlern führen.

Beim seriellen Server fällt die schlampige Programmierung auf. Zu beklagen ist nicht nur der verschwenderische Umgang mit knappem Programmspeicher, der Code ist auch schwierig zu warten. Schon wenn man ihn compiliert, erscheinen einige Warnungen (wenn man diese in den Arduino-IDE-Preferences aktiviert), die einfachst gefixt werden könnten. Die Befehle wurden zudem nicht per define mit aussagekräftige Bezeichnungen definiert, sondern schlicht als Hex-Werte in einer großen, schlecht lesbaren Case-Struktur. Daher optimierte ich den Code. Bei dieser Gelegenheit kamen auch noch ein paar Konfigurations-Optionen hinzu, wodurch unbenutzte Bits ausgeblendet werden können, was Speicherplatz frei gibt.

Zum Schluss gab es noch Schwierigkeiten, die wohl auf die inhärente Parallelität von LV und dem schwachen Kommunikationsprotokoll zurückgehen. Beim Versuch ein VI zur Anzeige der Werte eines Dreh-Encoders und der Steuerung der Relais zu erstellen, fiel mir auf, dass es falsche Zuordnungen von Daten und VIs gab. Der Fehler verschwand nach Einbau eines Serial-Port-Flush in das VI Send Receive. In Bild 3 ist das der VISA-Block mit der kleinen Mikrowelle und der Wii-Spielkonsole (nettes Icon, nicht wahr?) - das Icon links von jenem mit dem abc drin. Diese Erweiterung ist nicht in der offiziellen LIFA-Distribution enthalten. Das VI leert den seriellen Eingangspuffer direkt nach der Absendung eines Befehls zu Platino. Da Platino nur einen Befehl nach dem anderen bearbeitet, erreicht man so eine Synchronisierung von LV und Platino. Hier wäre ein extra Sync-Byte im Protokoll sinnvoll gewesen.

## Durchschneiden der Nabelschnur

Wer mag schon Kabel und Drähte? Sie sind immer zu kurz oder verknotet oder haben den falschen Stecker am Ende. Heute gibt es viele drahtlose Optionen und eine davon ist Bluetooth (BT). Mein PC hat BT. Falls Ihrer das nicht hat, reicht das Einsticken eines kleinen BT-Sticks. Selbst Platino kann man einfach verBTen, wenn man lediglich eine serielle Schnittstelle in Luft verlegen will. In Elektor wurden schon einige BT-Module von Rayson verwendet, die das können. Sie sind zwar teuer und schlecht dokumentiert, aber Letzteres kann einen Elektroniker ja nicht stoppen [4]. Zum Anschluss eines BTM220, BTM222, BTM112 etc. braucht es einen Pegewandler für RX und TX, da es 3,3-V-Module sind. Wie so etwas gemacht wird, wurde schon in Elektor gezeigt [5]. Bild 7 dient als Spickzettel. Ich

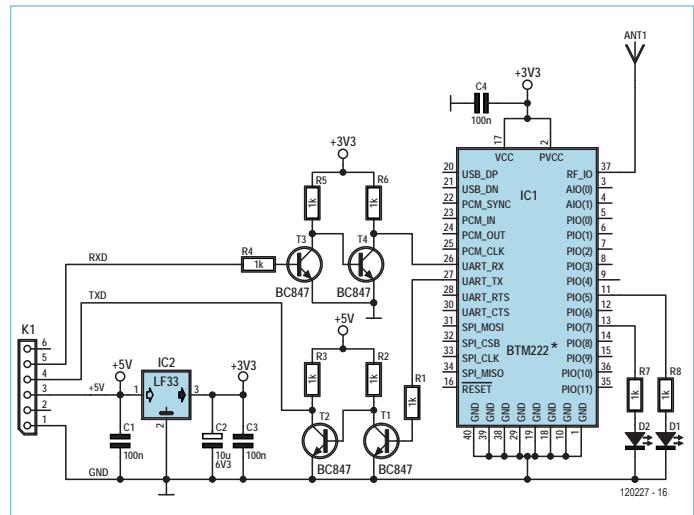


Bild 7. Pegelwandlung für das Bluetooth-Modul von Rayson. Es eignet sich jedes Bluetooth-Modul, das mit dem Serial Port Profile (SPP) umgehen kann, und das sind die meisten.

habe mir eine Erweiterungskarte im Arduino-Shield-Format gebaut, auf der zwei Pegelwandler, das BT-Modul und ein 3,3-V-Spannungsregler (Bild 8) sitzen. Man kann auch das Modul [6] verwenden, das schon einen Spannungsregler dabei hat.

Bevor man das BT-Modul einsetzen kann, muss man es konfigurieren. Dazu gibt es verschiedene Möglichkeiten, doch die einfachste dürfte der Anschluss an den seriellen Port eines PCs sein. Wenn Sie das Beschriebene mit Platino ausprobieren, haben Sie vermutlich auch, was man bei einem modernen PC brauchen kann: Ein USB/Seriell-Adapterkabel mit FTDI-Chip. Dieses kann man an den Pegelwandler auf dem zusammengestrickten Shield anschließen und dann ein Terminal-Emulations-Programm auf dem PC starten. Man wählt den passenden Port und stellt das Datenformat auf 19.200 Bd, 8 Datenbits, 1 Stopbit, kein Parity-Bit und kein Hardware-Handshake. Dann verbinden und nach einem Enter (erzeugt ein Zeilenumbruch-Zeichen) sollte das BT-Modul mit OK antworten. Bei Erfolg geht es an die weitere Konfiguration:

- Das Modul soll aufhören, Ergebnis-Codes zu senden. Hierzu im Terminal ATQ1 plus Enter eingeben. Andernfalls liefert das BT-Modul etwas wie CONNECT ,1234-56-789012' (mit echter Netzwerk-Adresse), wenn eine BT-Verbindung zustande kommt. Doch da der serielle Server damit nicht umgehen kann, verhindert man so eine Antwort besser.
- Die Baudrate wird auf 115.200 Bd eingestellt. Hierzu im Terminal ATL5 plus Enter eingeben. Im Prinzip ist dieser Schritt nicht zwingend, da man die Übertragungsgeschwindigkeit auch in einem VI einstellen könnte. Nach diesem Befehl muss man die Konfiguration des Terminals an das höhere Tempo anpassen.
- Man gebe dem BT-Modul einen Namen. Dieser Schritt ist optional, aber er hilft bei der Identifikation der Verbindung. Hierzu im Terminal ATN=PLATINO (der Name darf maximal 16 Zeichen haben) plus Enter eingeben.

Das war (fast) alles. Jetzt kann man das BT-Modul mit Platino verbinden. Nach dem Einschalten von Platino (und gegebenenfalls dem Aktivieren von BT am PC), kann man den PC nach BT-Geräten scan-

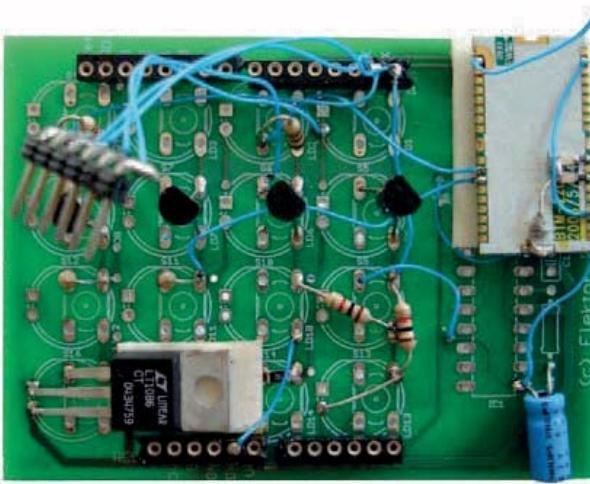


Bild 8. Ein Bluetooth-Shield, das ich aus einem alten Board mit Arduino-Form-Faktor (Elektor # 090527-1, Oktober 2009) zusammenstricke. Man kann auch das Modul OBD-2 NG BT aus Elektor April 2010 (Elektor # 090918-71) nehmen. Der baumelnde Steckverbinder ist für den Anschluss des USB/Seriell-Wandlers gedacht, um das Modul zu konfigurieren. Die Antenne ist etwa 31 mm lang.

nen lassen. Platino-BT sollte aufgrund der Namensgebung leicht zu finden sein. Nach der Auswahl gibt man auf Aufforderung das Passwort 1234 ein. Das sollte für eine Verbindung ausreichen. Normalerweise behält der PC die gemachten Einstellungen für das BT-Modul. Um den Ersatz des USB-Kabels durch eine BT-Verbindung abzuschließen, muss man diese am PC noch als virtuellen seriellen Port konfigurieren. Das geht mit Windows sehr einfach – unter anderen Betriebssystemen kann das verwickelter sein. Der absolut letzte Schritt ist dann, das VI Arduino Init anzulegen, diesen virtuellen seriellen Port zu verwenden.

Das war nun wirklich alles. Sobald das VI startet, wird zuvor (automatisch) die drahtlose Verbindung aktiviert, und ab da geht alles den von der Kabelverbindung gewohnten Gang – nur eben per Funk.

## Im World Wide Web

Wenn man sich ein Tablet gekauft hat, dann sinniert man natürlich darüber, was man damit so alles machen könnte. Hier eine Idee dazu:

National Instruments (NI) hat eine kostenlose App für Android- und iPad-Tablets mit der Bezeichnung „Data Dashboard“ vorgestellt. Mit dieser App kann man Variablen visualisieren, die von einem VI veröffentlicht werden. Bis jetzt kann man zwar mit Data Dashboard leider noch nichts ansteuern, doch NI will diese Funktion noch nachreichen. Jetzt stellt sich noch die Frage, wie man mit einem VI eine Variable veröffentlicht.

Zunächst braucht man dazu ein Projekt. Ein VI allein reicht nicht. Das VI muss Teil des Projekts sein. Man erstelle also ein neues Projekt, dann ein Rechtsklick auf My Computer, ein Klick auf Add -> File... und nun navigiert man zu seinem VI, um es zum Projekt hinzufügen. Ein Doppelklick auf das VI öffnet es und man wählt die Diagramm-Ansicht.

Eine so genannte Shared Variable fügt man mit einem Rechtsklick auf My Computer durch Auswahl von New -> Variable hinzu. Im sich öffnenden Fenster Shared Variable Properties gibt man der Variable einen Namen und stellt Variable Type auf Network-Published. Als Data Type wählt man das, was man benötigt. Es werden leider nicht alle Datentypen von Data Dashboard unterstützt, weshalb man besser bei Double oder Boolean bleibt. Laut NI sollen noch weitere Datentypen folgen.

Beim Schließen des Fensters sieht man, dass eine neue Variable zu einer neuen Library im Projekt hinzugefügt wurde. Diese Library kann man bei Bedarf umbenennen. Um diese Variable nun im VI zu verwenden, zieht man sie einfach mit der Maus ins Diagramm (oder auf die Vorderansicht, wenn das notwendig sein sollte). Da man diese Variable nur beobachten kann, empfiehlt sich die Änderung ihres Access Mode in Write (per Rechtsklick), so dass man sie mit beliebigen Datenquellen verbinden kann.

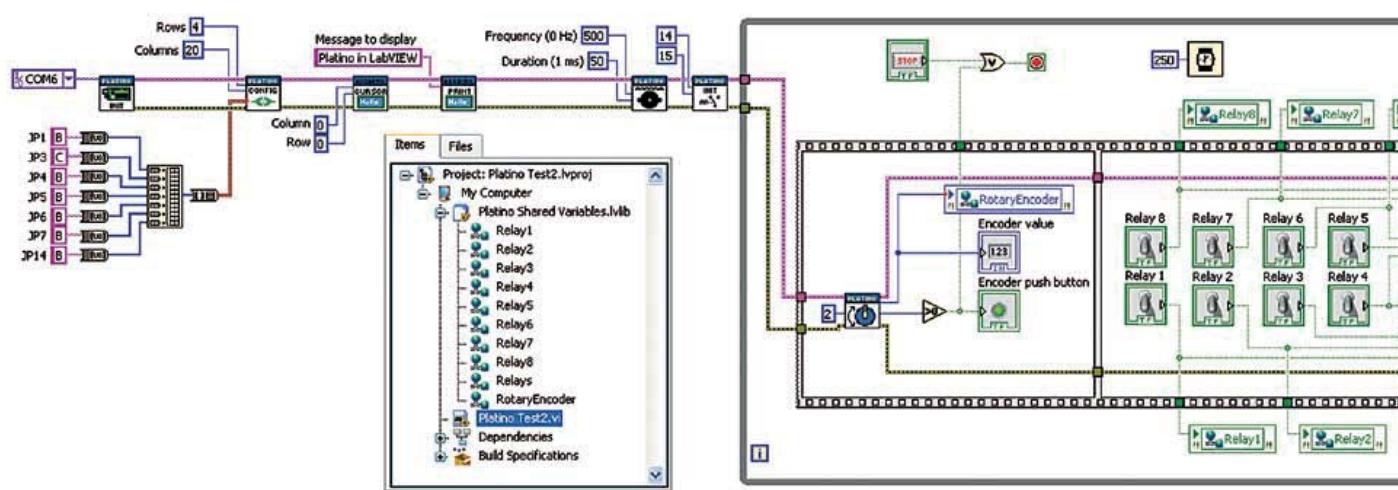


Bild 9. Das VI zur Relais-Steuerung enthält die Shared Variables, auf die vom Data Dashboard aus zugegriffen wird.



Bild 10. Das Fenster der Server-Auswahl im Data Dashboard auf einem iPad. Steht der Server in der Liste, genügt ein Tap darauf. Ansonsten muss es ein Tap auf Connect to shared variable sein.



Bild 11. Das Data Dashboard zeigt den Status von sechs Relais. Doch wo sind die Relais 4 und 5? Auf der nächsten Seite, da man nicht mehr als sechs Anzeigen pro Seite festlegen kann.

Man kann so viele Shared Variables hinzufügen wie man möchte. Anschließend muss man sie noch einsetzen. Normalerweise wird dies automatisch beim Start des VIs erledigt, aber es stört nicht, wenn man das manuell macht. Hierzu genügt ein Rechtsklick auf die Library und die Auswahl von Deploy All. Wenn alles gut ging sieht man kurz darauf das Fenster Deploy Progress, das sich auch zeigt, wenn das VI startet.

Das VI ist jetzt fertig (**Bild 9**) und „shared“ Variablen. Der nächste Schritt ist die Einstellung von Data Dashboard.

Die App Data Dashboard holte man sich aus dem iTunes-App-Store für das iPad oder dem passenden Market für ein Android-Tablet. Nach dem Start der App wählt man ein Seiten-Layout (1, 2, 4 oder 6 Anzeigen pro Seite). Dann benennt man die Seite (ein Tap auf Untitled 1) und dann noch ein Tap auf Add bei der gewünschten Anzeige. Dies startet das Fenster Select a server (**Bild 10**). Da noch kein Server existiert, hilft ein Tap auf Connect to shared variable...

wo man den Namen des Servers oder dessen IP-Adresse (bei mir 192.168.0.2) eingibt und auf Connect tapt. Ohne Server kann man das auch mit den Demo variables ausprobieren. Wenn der Server gefunden wurde, zeigt sich das Fenster Select a variable, das die Shared Libraries des Servers auflistet. Vermutlich sieht man auch die Library System, die man schon durch die Installation von LV erhält. Nun ein Tap auf die Library des VIs und noch ein Tap auf die anzugebende Variable. Es gibt relativ wenig Optionen für die Anzeige. Eine numerische Variable kann als String, Gauge oder Chart dargestellt werden. Für eine boolsche Variable sind String, LED oder Chart möglich. Bei Chart oder Gauge muss man auch minimale und maximale Werte eingeben.

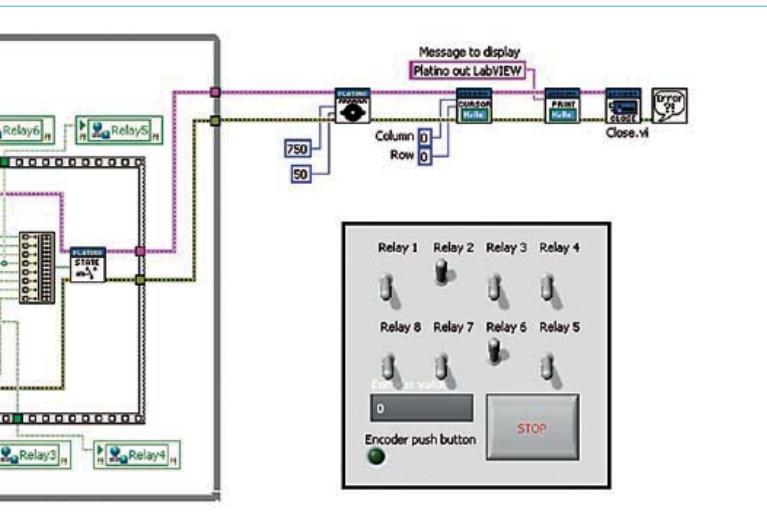
Wenn alle Anzeigen konfiguriert sind, genügt ein Tap auf Run, um die Anzeige zu starten (**Bild 11**). Natürlich sollte dabei auch das zugehörige VI laufen. Bei Verbindungsproblemen werden die Anzeigen gelbe Warndreiecke zeigen.

Ab jetzt kann Platino-Elektronik auf einem drahtlos gesteuerten Roboter sitzen, während sie weiter über BT mit dem VI auf einem Laptop kommuniziert und so die Daten über das Internet an ein beliebiges Tablet überall auf der Welt überträgt. Das ist doch was, oder? Vielleicht wird das Konzept später noch durch die Webdienste von LV erweitert, um noch mehr Features zu ermöglichen.

(120227-I)

## Weblinks und Referenzen

- [1] 8-Kanal Relais-Board mit synchronem seriellem Interface: [www.elektor.de/080357](http://www.elektor.de/080357)
- [2] Code-Beispiele für diese Folge: [www.elektor.de/120227](http://www.elektor.de/120227)
- [3] Platino: [www.elektor.de/100892](http://www.elektor.de/100892)
- [4] Experimente mit den Bluetooth-Modulen von Rayson: <http://elektorembedded.blogspot.com/2010/08/rayson-btm222-btm112-bluetooth-modules.html>
- [5] Bluetooth mit dem ATM18: [www.elektor.de/080948](http://www.elektor.de/080948)
- [6] Bluetooth für OBD-2: [www.elektor.de/090918](http://www.elektor.de/090918)



Vorderseite und der Projekt-Baum sind ebenfalls sichtbar.

# Einplatinen-Computer

Von Geoff Newton (UK)

Dieses „Entwicklungs-Kit“ entspricht dem Stand der Technik - von 1977. Man musste schon ein ziemlicher Freak sein, um damit etwas anfangen zu können. Es gab nämlich keinen Compiler und nicht einmal einen Assembler dafür. Man schrieb Programme also auf Papier und übersetzte sie von Hand, um die Daten dann per Tastatur direkt in den Speicher einzugeben. Viel Speicher gab es nicht: genau 256 Worte zu 12 bit.

Tastatur und Anzeige waren rechts vorne auf der Platine. Die Adresse der ausgewählten Speicherzelle und ihr Inhalt wurden von acht 7-Segment-Displays dargestellt. Die Tastatur hatte vier Reihen und drei Spalten. Die meisten Tasten waren mehrfach belegt. Aufgrund des 12-bit-Formats wurde eine oktale statt der später üblichen Hex-Darstellung verwendet. Es gab nicht mal Pfeiltasten, mit denen man zur nächsten Speicherzelle springen könnte. Stattdessen musste man für jedes Wort die komplette Adresse neu eingeben. In einem ROM (1 KB x 12 bit) steckte ein „micro code interpreter“, der sich um die Tastatur sowie drei Erweiterungssteckplätze u.a. kümmerte. Zwecks Versorgung befand sich oben eine Schiene zur Aufnahme von vier Batterien des Typs „A“ in einer Röhre. Ich besitze nur eine Erweiterungskarte, die mit Lautsprecher, etlichen Schaltern, LEDs und vier weiteren 7-Segment-Displays bestückt ist. Es gab auch noch Karten mit 1 K RAM (1.024 Worte) oder ROM. Sogar eine Karte mit UART und paralleler Schnittstelle – High-Tech pur! Das Motherboard sieht gut aus, ganz wie wenn damals schon eine Layout-Software zum Einsatz gekommen wäre.

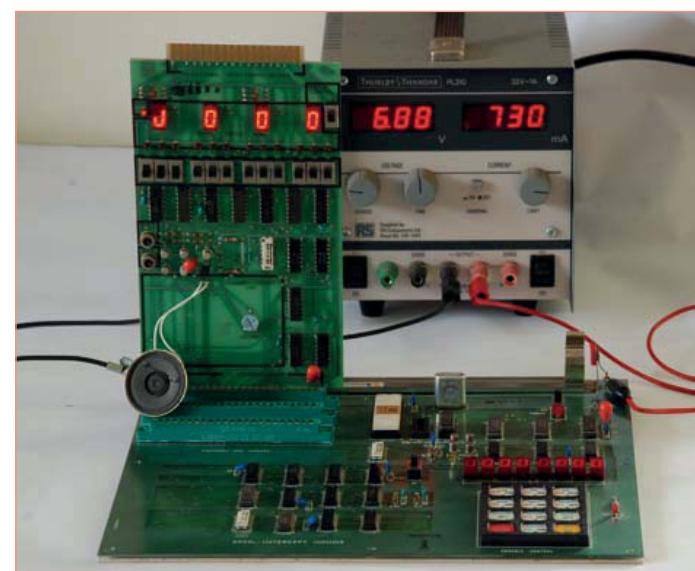
## Speicher

Der Speicher ist fortschrittlich aus drei RAM-Chips zu je  $256 \times 4$  bit zusammengesetzt. Die Vorgängerversion hatte noch zwölf Chips zu je  $256 \times 1$  bit. Damit ist auch klar, welcher Aufwand damals getrieben werden musste, um ausreichend Speicher zusammenzubekommen. Selbst Mainframes hatten oft nur  $64 \text{ K} \times 16$  bit – ein Programmierer durfte dann nur eine 2-KB-Partition belegen. Brauchte er mal mehr Speicher, musste das via „Overlays“ vom Magnetband realisiert werden.

## Prozessor

Der wichtige CMOS-Prozess wurde von Intersil erst 1972 entwickelt. Der hier verwendete Prozessor-Typ stammt von 1975.

Der Prozessor macht einen guten ersten Eindruck. Haken und Ösen zeigen sich erst bei näherer Betrachtung. Der eindrucksvolle Takt von immerhin 8 MHz wird dadurch relativiert, dass es mindestens 10 Takte braucht, damit etwas passiert. Selbst ein NOP wird langsam abgearbeitet. Ein bedingter Sprung benötigt unglaubliche 22 Takte! Hinzu kommt, dass der Quarz auf diesem Board mit nur 2,4576 MHz schwingt, was zur Mindest-Ausführungszeit eines Befehls von gut 6 µs führte.



Auch mit den 64 Adressen für I/O kam man im wahrsten Sinne des Wortes nicht weit. Da nur 12-bittig adressiert wurde, konnten maximal 4 KB angesprochen werden.

Es gab nur 3 Register – in Worten: drei! Und keinen Stack-Pointer. Um von einer Subroutine wieder zurückzukommen, musste die Rücksprung-Adresse in der ersten Zeile der Subroutine gesichert werden. Am Ende der Routine musste sie eingelesen werden, erst

# Intersil M6100

„PDP8-on-a-chip“



PIN	SYMBOL	ACTIVE LEVEL	DESCRIPTION
1	$V_{cc}$		Supply voltage.
2	RUN	H	The signal indicates the runstate of the CPU and may be used to power down the external circuitry
3	DMAGNT	H	Direct Memory Access Grant—DX lines are three-state.
4	DMAREQ	L	Direct Memory Access Request—DMA is granted at the end of the current instruction. Upon DMA grant, the CPU suspends program execution until the DMAREQ line is released.
5	CPREQ	L	Control Panel Request—a dedicated interrupt which bypasses the normal



dann konnte der Rücksprung erfolgen.

Es gab zwar tatsächlich einen Interrupt, doch zur Detektion des Auslösers musste man I/O-Devices pollen. Überraschenderweise gab es sogar DMA und Acknowledge-Lines.

Verglichen mit dem praktisch zeitgenössischen Z80 zeigt sich Weiteres: Zilog designte den Z80 enorm fortschrittlich als kompletten Mikroprozessor, bei dem nur Daten, Adressen und wichtige Steuerleitungen als Pins herausgeführt waren. Im Vergleich dazu sieht ein IM6100 wie ein Teil eines Bit-Slice-Systems aus, das in einem Chip zusammengefasst wurde – und genau so etwas war der Computer eigentlich auch.

## PDP8

Beim IMS6100 handelt es sich um die Single-Chip-Version von DEC's legendärem Minicomputer PDP8 aus den 1960er Jahren, der für historisch Interessierte ebenfalls abgebildet ist (die seltene Version /E; Quelle: *WikiMedia Commons*). Der (englische) Wikipedia-Artikel [1] zum PDP8 lohnt sich. Noch mehr vielleicht ein Besuch im eindrucksvollen Computer History Museum im kalifornischen Mountain View [2].

Etwas merkwürdig scheint, dass einige IMS6100-Pins explizit für das Einlesen des 12-bit-Latch einer Tastatur vorgesehen sind. Im Kontext der PDP8 ist das allerdings verständlich. Ein PDP8 hatte kein OS im heutigen Sinne. Stattdessen musste das System mit einem Schalter auf der Frontplatte gebootet werden.

Weitere Pins waren für I/O zuständig. Ein I/O-Zyklus läuft über c0, c1, c2 mit der „skip Pin Carry information“ des I/O-Device zurück zur CPU, um zu bestimmen, welche Operation stattfinden soll. Der Skip-Eingangs-Pin führt zum Überspringen der nächsten Instruktion. Spannende Sache das! Ein Link-Ausgangs-Pin scheint ein Carry-Flag zu sein.

Ein IM6100 verwendet den Befehlssatz des PDP-8, was den Chip zum Zwischending aus Bit-Slice-System und modernem, voll integriertem Mikroprozessor macht. Er ist zwar ziemlich antiquiert und schwierig zu programmieren, doch der PDP8 war damals sehr populär und daher lag eine Single-Chip-Version wohl nahe. Der IMS6100 wurde auch militärisch genutzt. Es gab dann sogar eine FORTRAN-Version dafür. Die Entwicklung wurde aber jäh gestoppt, als 1982 der IBM-PC auf der Basis von Intels 8088 das Licht der Welt erblickte.

(120161)

[1] <http://en.wikipedia.org/wiki/PDP-8>

[2] [www.computerhistory.org/](http://www.computerhistory.org/)

## Bit Slice

In einem Bit-Slice-System besteht der Prozessor aus einer Platine (typisch 15×18“), voll mit ICs im DIL-Gehäuse. Jeder Prozessorteil wurde mit separaten ICs realisiert. So gab es z.B. eine 16-bit-ALU (arithmetische Logikeinheit) aus vier 4-bittigen 74LS181. Analog dazu bestand die State Machine aus LS74-D-Latches und so weiter. Die Platine hatte Steckverbinder, deren Pins funktional den Pins eines Mikroprozessors entsprachen.

In weiteren Platinen steckte der Speicher, die I/O, Bandgerät-Interfaces etc. Das Ganze wurde dann in ein 19"-Gestell mit eigenem Netzteil montiert.

Als Farbmonitore aufkamen, hatte dies weitere Gehäuse voll mit Platinen und ein extra Netzteil zur Folge.

Eine Zeit lang stand mir einmal eine „Eclipse“ von Data General zur Verfügung. Sie benötigte 15 A an 240 V!

# Hexadoku

## Sudoku für Elektroniker

Hier ist wieder ein neues Hexadoku für die Rätselfans unter den Elektronikern (und die Rätselfreunde in der Familie). Bei 16 x 16 Kästchen kann man sich auch immer auf ein paar knifflige Stündchen freuen.

Füllen Sie überall die richtigen Zahlen ein und schicken Sie uns die Lösung zu – hier warten vier Gutscheine auf die Gewinner!

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 ELEKTOR-Gutschein im Wert von 100 € und drei ELEKTOR-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 30. Juni 2012!**

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

Die richtige Lösung ist: 78BE0.

Der Elektor-Gutschein über 100 € geht an: Wolfgang Kallauch aus Freiberg.

Einen Elektor-Gutschein über je 50 € haben gewonnen: Francis Biette, Bruno Couillard und Luis Fernando Fox González.

Herzlichen Glückwunsch!

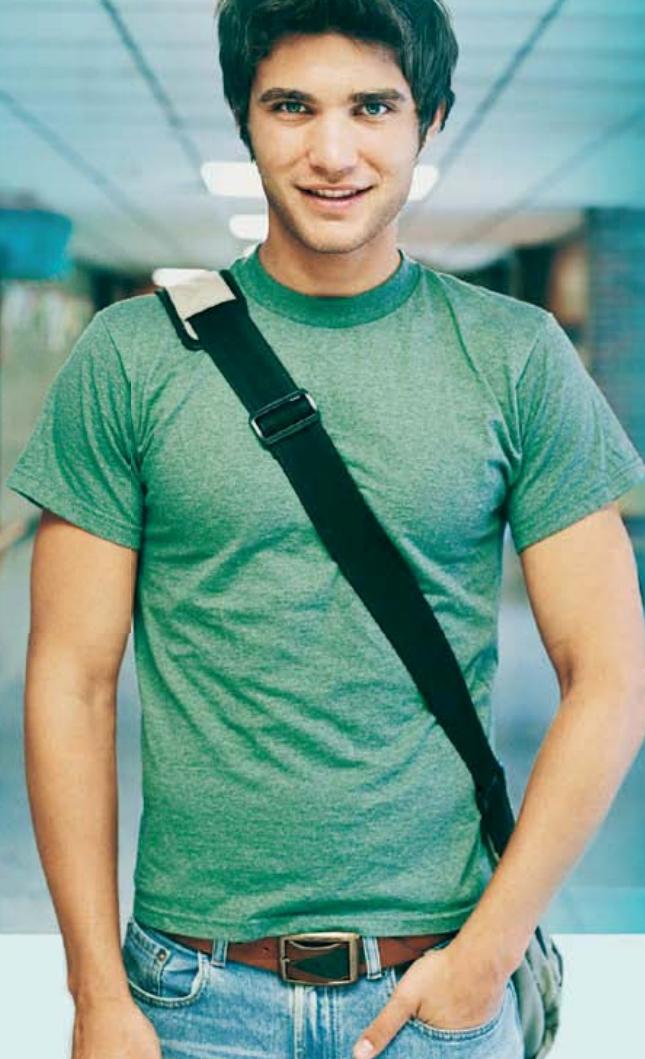
		B	0	1	E	9	3		D	4					
A	E			2	8	C		B	4		6	F	1		
D			C	E					0		7	8			
	6	A						8	E	C					
5		1	A				8		3		B				
		C	1		3	E		F			2	7			
9	2	A		3	4			1			D				
B	E	F					D			6	5				
E	4		C							7	1	3			
A			E			1	0			8	C	9			
C	7		0	8	9		3	E							
6	9		5			C		A		F					
	8	C	9					B	1						
2	1	E			9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

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

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

**„Elektor ist Wissen für Profis und für die, die es werden wollen. Der perfekte Einstieg in mein Studium!“**

– Christian, 19 Jahre, Abiturient –



**30%**  
Preis-  
Vorteil

**Elektor ist Wissen für Profis.**

**Sichern Sie sich jetzt Ihren  
Wissensvorsprung durch ein Abo!**



**Ihre Vorteile im Abo:**

- Preisvorteil: Schüler und Studenten sparen **30%** gegenüber dem Einzelkauf
- Abonnenten erhalten exklusiv auf spezielle Elektor-Produkte bis zu **40% Rabatt**
- Keine Ausgabe verpassen: Elektor kommt pünktlich, bequem und zuverlässig frei Haus
- Immer up-to-date: Lesen Sie jede Elektor-Ausgabe vor allen anderen

[www.elektor.de/studentenabo](http://www.elektor.de/studentenabo) · Tel. 02 41/88 909-0

**Elektor**

# Starke Stücke

Die ganze Welt der Elektronik  
in einem Shop!



Theorie und Praxis mit WinFACT und Multisim

## 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 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



Von 0 und 1 zum FPGA

## Digitale Logik selbst entwickeln

Dieses Buch nimmt Sie mit auf eine Entdeckungsreise in die Welt der digitalen Elektronik. Nach dem Aufbau einer soliden Wissensbasis hierüber verlagert sich der Schwerpunkt zur programmierbaren Logik. Wie lassen sich mit vorhandenen Bausteinen logische Systeme aufbauen und wie koppelt man sie sicher und störungsfrei an die analoge Außenwelt? Das sind Fragen, die das Buch beantwortet.

603 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-254-3  
€ 49,00 • CHF 60,80

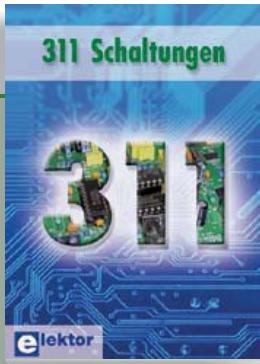


Band 1: Grundlagen

## Stromversorgung ohne Stress

Die Funktion aller elektronischen Schaltungen und Geräte steht und fällt mit der Stromversorgung. Schon deshalb muss man dieser Baugruppe besondere Aufmerksamkeit widmen. Dieses Buch beinhaltet Grundlagen und Schaltungen der Stromversorgungstechnik für elektronische Geräte aus der Praxis. Dem aktuellen Trend folgend hat der Autor der mobilen Stromversorgungstechnik und der Schaltnetzteiltechnik besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

294 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-248-2  
€ 38,00 • CHF 47,20



Kreative Lösungen aus allen Bereichen der Elektronik

## 311 Schaltungen

Das mittlerweile zwölftes Buch aus Elektors erfolgreicher „Dreihunderter“-Schaltungsreihe bietet ein weiteres Mal neue Konzepte sowie einen (fast) unerschöpflichen Fundus zu allen Bereichen der Elektronik: Audio & Video, Spiel & Hobby, Haus & Hof, Prozessor & Controller, Messen & Testen, PC & Peripherie, Stromversorgung & Ladetechnik sowie zu Themen, die sich nicht katalogisieren lassen.

544 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-255-0  
€ 36,80 • CHF 45,70

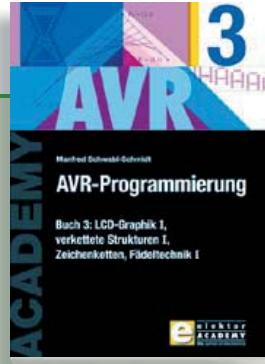


„Die Spannung steigt!“

## Stromversorgungen in der Praxis

Die Elektronik bestimmt unser tägliches Leben mehr denn je – Tendenz steigend. Dabei benötigen alle elektronischen Geräte und Systeme eine gut funktionierende Stromversorgung mit spezieller Anpassung an die Betriebsbedingungen. Dieses neue Buch beschreibt die entsprechenden Möglichkeiten vom Transformator bis zum passenden Kühlkörper. Behandelt werden die wichtigsten Merkmale, Einsatzmöglichkeiten und das Betriebsverhalten von vielen unterschiedlichen Stromversorgungsgeräten.

366 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-239-0  
€ 46,00 • CHF 57,10

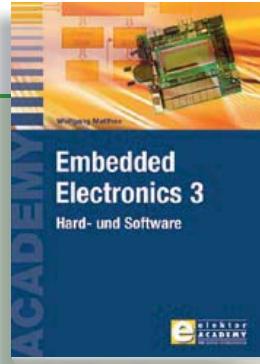


LCD-Graphik I, verkettete Strukturen I,  
Zeichenketten, Fädeltechnik I

## AVR-Programmierung 3

Dieser dritte Band der Buchreihe zur Assembler-Programmierung von AVR-Mikrocontrollern richtet sich nicht nur an Einsteiger. Auch die C-Programmierer von AVR-Prozessoren profitieren von der Erläuterung der Besonderheiten, die es bei der Assembler-Programmierung zu beachten gilt. Nach der Erläuterung der statischen Datenstrukturen in Buch 2 folgt in diesem Buch der Einstieg in die dynamischen Strukturen. Er beginnt nach einer allgemeinen Einführung mit der einfachsten Struktur, der verketteten Liste. Der letzte Teil führt in den Selbstbau von Fädelsprachen ein, die ein äußerst personalisiertes und projektorientiertes Programmieren erlauben.

319 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-231-4  
€ 46,00 • CHF 57,10



Der 3. Band der neuen Buchreihe  
**Embedded Electronics 3**

Die Bände Reihe wenden sich an jene, die sich – als Auszubildende, Studierende oder Berufseinsteiger – von A bis Z in die professionelle Schaltungs- und Systementwicklung einarbeiten wollen. Sie bieten, was Praktiker und Lernende brauchen: Eine Auffrischung und Vertiefung der Grundlagen, Anregungen zu eigenen Gedanken und Zugänge zu Einzelheiten, Querverbindungen und Spitzfindigkeiten.

412 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-185-0  
€ 49,00 • CHF 60,80



Visual Studio

## C# 2010 Programmierung und PC-Anbindung

Ziel dieses Buches ist, auf einfache Weise zu zeigen, wie mit der populären Hochsprache C# ein PC programmiert werden kann. Am Anfang beschreibt das Buch Datentypen und Programmsteuerungen, die dann um fortschrittliche Konzepte wie die objektorientierte Programmierung, Threads, die Internetkommunikation und Datenbanken erweitert werden. Alle verwendeten Code-Beispiele können kostenlos von der Elektor-Webseite heruntergeladen werden.

349 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-244-4  
€ 44,00 • CHF 54,60

**Elektor**

## SHOP CD- &amp; DVD-ROMs, BAUSÄTZE &amp; MODULE



**NEU!**

Kompletter Elektor-Jahrgang 2011 auf DVD

### Elektor-DVD 2011

Die neue Elektor-Jahrgangs-DVD enthält alle Artikel des Jahrgangs 2011. Sie verfügt über eine sehr übersichtlich gestaltete Benutzeroberfläche. Mit der Elektor-DVD 2011 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 978-90-5381-276-1 • € 27,50 • CHF 34,10



Der Logikbaukasten für Jederman

### Workshop-DVD „FPGA“

In diesem Workshop werden Sie in die Lage versetzt, auf die neuen Möglichkeiten einzugehen. Sie lernen den Aufbau und die Funktionsweise von FPGAs (Field Programmable Gate Arrays) kennen und sind danach in der Lage, den für Sie geeigneten Hersteller und Bausteintyp auszuwählen. Sie werden mit einem Schaltplan-Eingabewerkzeug arbeiten und erfahren, welchen „Logikbaukasten“ der FPGA-Hersteller für Sie in seinen Bibliotheken bereithält.

ISBN 978-3-89576-259-8 • € 29,80 • CHF 37,00



### Elektor-Linux-Board

(Elektor Mai 2012)

Linux läuft heutzutage auf den unterschiedlichsten Geräten – sogar in Kaffeemaschinen. Es gibt daher viele Elektroniker, die an Linux als Basis für eigene Controller-Projekte interessiert sind. Eine Hürde ist jedoch die scheinbar hohe Komplexität, außerdem sind Entwicklungsboards oft recht teuer. Mit diesem kompakten Modul, das bereits für modernste Embedded-Projekte fertig bestückt ausgestattet ist, gelingt der Linux-Einstieg ideal und preiswert zugleich.

*Bestückte und getestete Platine*

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



### SDR mit AVR

(Elektor März 2012)

AVR-Controller von Atmel sind sehr beliebt, was nicht zuletzt an den kostenlos erhältlichen Tools liegt. Wie man AVR-Mikroprozessoren im Bereich Signalverarbeitung einsetzt, zeigt dieses aus 3 Platten bestehende Projekt. Bei der ersten Platine handelt es sich um einen Signalgenerator mit einem ATtiny2313. Die zweite Platine enthält einen kompletten SDR-Empfänger mit Display. Die dritte Platine schließlich dient zum Aufbau einer aktiven Antenne. Die fertig bestückte Mini-Platine USB-FT232R Breakout-Board (Art.-Nr. 110553-91) gibts gratis obendrauf.

3 Bausätze im Set (Signalgenerator + Universalreceiver + aktive Antenne) inkl. USB-FT232R Breakout-Board

Art.-Nr. 100182-72 • € 119,95 • CHF 148,80



### AndroPod

(Elektor Februar 2012)

Android-Smartphones und -Tablets sind aufgrund ihrer Ausstattung (hochauflösender Touchscreen, Rechenleistung satt, WLAN und Telefoniefunktionen) geradezu prädestiniert, als Schaltzentrale in eigenen Projekten eingesetzt zu werden. Bisher war es allerdings nicht ganz einfach, die Geräte an externe Elektronik anzuschließen. Mit der Interface-Platine „AndroPod“, die einen seriell-TTL- und einen RS485-Ausgang mitbringt, ist dies nun möglich.

*Bestückte und getestete Platine mit RS485-Erweiterung*

Art.-Nr. 110405-91 • € 59,95 • CHF 74,40



### Verbesserter Strahlungsmesser

(Elektor November 2011)

Für die Messung radioaktiver Strahlung braucht man nicht viel mehr als eine PIN-Fotodiode und den passenden Sensorverstärker. Bei diesem Projekt handelt es sich um einen optimierten Vorverstärker mit einem Mikrocontroller-Zähler. Der Controller übernimmt auch gleich die Zeitmessung und zeigt die Impulsrate in „counts per minute“ an. Das Gerät kann mit unterschiedlichen Sensoren für Gamma- und Alphastrahlung verwendet werden. Es eignet sich gut für Langzeitmessungen und für Untersuchungen an schwach strahlenden Proben.

*Bausatz mit allen Bauteilen inkl. Platine, Display und progr. Controller*

Art.-Nr. 110538-71 • € 39,95 • CHF 49,60

<b>Juni 2012 (Nr. 498)</b>	€
+++ Das Lieferprogramm zu dieser Ausgabe finden Sie auf <a href="http://www.elektor.de">www.elektor.de</a> +++	
<b>Mai 2012 (Nr. 497)</b>	
<b>Embedded Linux leicht gemacht</b>	
120026-91 .... Elektor-Linux-Board (bestückt und getestet) .....	64,95
<b>SDR mit AVR (3)</b>	
100182-71 .... Bausatz (aktive Ferritanenne) mit allen Bauteilen inkl. Platine .....	29,95
100182-72 .... 3 Bausätze im Set (Signalgenerator + Universalreceiver + aktive Antenne) inkl. USB-FT232R Breakout-Board .....	119,95
<b>April 2012 (Nr. 496)</b>	
<b>Schalten via RS485</b>	
110727-91 .... RS485-Relais-Modul (bestückt und getestet).....	44,95
110727-92 .... Set aus 3 Relais-Modulen: RS485-Relais-Modul (bestückt und getestet) .....	119,95
<b>SDR mit AVR (2)</b>	
100181-71 .... Bausatz (Universalreceiver) mit allen Bauteilen inkl. Platine und Display .....	59,95
100182-72 .... 3 Bausätze im Set (Signalgenerator + Universalreceiver + aktive Antenne) inkl. USB-FT232R Breakout-Board .....	119,95
<b>Thermometer mit Gottlieb®-Display</b>	
110673-41 .... Progr. Controller ATTiny2313-20PU .....	9,95
<b>März 2012 (Nr. 495)</b>	
<b>SDR mit AVR (1)</b>	
100180-71 .... Bausatz (Signalgenerator) mit allen Bauteilen inkl. Platine.....	29,95
100181-71 .... Bausatz (Universalreceiver) mit allen Bauteilen inkl. Platine.....	74,95
100182-71 .... Bausatz (aktive Antenne) mit allen Bauteilen inkl. Platine.....	29,95
100182-72 .... 3 Bausätze im Set (Signalgenerator + Universalreceiver + aktive Antenne) inkl. USB-FT232R Breakout-Board .....	119,95
080083-71 .... Bausatz (USB-AVR-Programmer) mit allen Bauteilen inkl. SMD-bestückter Platine .....	32,00
110553-91 .... USB/TTL-Konverter BOB (bestückt und getestet) .....	15,00
<b>Sensible PC-Lüfter-Regelung</b>	
100160-41 .... Progr. Controller ATmega168PA-PU .....	12,50
<b>Februar 2012 (Nr. 494)</b>	
<b>AndroPod (1)</b>	
110405-91 .... Bestückte und getestete Platine mit RS485-Erweiterung.....	59,95
110258-91 .... USB/RS485-Konverter (bestückt und getestet).....	24,95
110553-91 .... USB/TTL-Konverter BOB (bestückt und getestet) .....	15,00
120103-92 .... USB-Kabel Micro-B auf USB-A (1,8 m) .....	3,95
120103-94 .... Netzadapter mit Micro-B-USB-Stecker 5V / 1A (5W).....	8,95
<b>Pico C-Plus und Pico C-Super</b>	
110687-41 .... Progr. Controller ATTiny2313-20PU (Pico C-Plus) .....	4,95
110687-42 .... Progr. Controller ATTiny2313-20PU (Pico C-Super) .....	4,95
<b>Zurück zu den Wurzeln (2)</b>	
ELEX-1 ..... Experimentier-Platine Elex-1 Größe 1 .....	5,50
ELEX-2 ..... Experimentier-Platine Elex-2 Größe 2 .....	9,95
<b>Januar 2012 (Nr. 493)</b>	
<b>Interface für Breitband-Lambdasonde</b>	
110363-41 .... Progr. Controller ATmega8-16AU .....	9,95
<b>Netzlupe</b>	
110461-41 .... Progr. Controller AT89C2051-24PU, 50 Hz (Europa) .....	9,95
<b>Hier kommt der Bus (11)</b>	
110258-1 ..... Platine (Experimental-Knoten) .....	5,95
110258-1C3 ... 3x Platine (Experimental-Knoten) .....	12,95
110258-91 .... USB/RS485-Konverter (bestückt und getestet) .....	24,95
<b>Audio-DSP-Kurs</b>	
110002-71 .... Teilbestückte Platine mit allen SMD-Bauteilen inkl. Steckverbindern und LED-Balkenanzeige .....	49,95

# Bestseller

Bücher	
1 <b>Regelungstechnik</b> ISBN 978-3-89576-240-6..... € 49,00 ..... CHF 60,80	
2 <b>Digitale Logik selbst entwickeln</b> ISBN 978-3-89576-254-3..... € 49,00 ..... CHF 60,80	
3 <b>Embedded Electronics 3</b> ISBN 978-3-89576-185-0..... € 49,00 ..... CHF 60,80	
4 <b>311 Schaltungen</b> ISBN 978-3-89576-255-0..... € 36,80 ..... CHF 45,70	
5 <b>AVR-Programmierung 3</b> ISBN 978-3-89576-231-4..... € 46,00 ..... CHF 57,10	
CD- & DVD-ROMs	
1 <b>Elektor-DVD 1980-1989</b> ISBN 978-3-89576-258-1..... € 89,00 ... CHF 110,40	
2 <b>Elektor-DVD 2011</b> ISBN 978-90-5381-276-1..... € 27,50 ..... CHF 34,10	
3 <b>Elektor-DVD 2010</b> ISBN 978-90-5381-267-9..... € 27,50 ..... CHF 34,10	
4 <b>ECD 6</b> ISBN 978-90-5381-258-7..... € 29,50 ..... CHF 36,60	
5 <b>The Audio Collection 3</b> ISBN 978-90-5381-263-1..... € 21,50 ..... CHF 26,70	
Bausätze & Module	
1 <b>Elektor-Linux-Board</b> Art.-Nr. 120026-91..... € 64,95 ..... CHF 80,60	
2 <b>AndroPod</b> Art.-Nr. 110405-91..... € 59,95 ..... CHF 74,40	
3 <b>USB-FT232R Breakout-Board</b> Art.-Nr. 110553-91 .....	€ 15,00 ..... CHF 18,60
4 <b>SDR mit AVR</b> Art.-Nr. 100182-72..... € 119,95 ... CHF 148,80	
5 <b>Verbesserter Strahlungsmesser</b> Art.-Nr. 110538-71..... € 39,95 ..... CHF 49,60	

Bestellen Sie jetzt einfach und  
bequem online unter

[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)

# Elektor-Halbleiterheft 2012

Die extra-dicke Ausgabe mit extra-vielen Schaltungen!

Nächsten Monat erscheint wieder die von vielen Elektor-Lesern freudig erwartete Sommer-Doppelausgabe von Elektor.

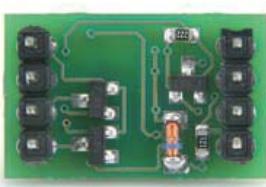
In diesem Jahr lautet das Motto „Klasse statt Masse“ – Sie können also besonders interessante und gut getestete Projekte erwarten.

Redaktion und Labor arbeiten momentan unter Hochdruck daran,

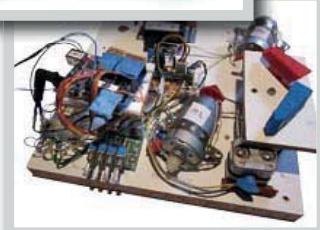
die vielen Seiten dieser Spezialausgabe mit detaillierten Beschreibungen und gut nachvollziehbaren Anleitungen zu füllen.

Diese besondere Ausgabe von Elektor gibt es nur einmal im Jahr – also nicht verpassen!

## Vorgeschmack auf den Inhalt:



Programmierbarer Leistungsschalter  
Vielseitiges AVR-I/O-Modul  
Rechteckgenerator  
Einschaltstrombegrenzer  
Laser-Beam mit Arduino  
LED-Dimmer  
Reiherschreck  
Hygrometer mit ATM18



USB-Power-Monitor  
Motor-Alarm  
Testsystem für Lautsprecher  
Drehzahlmesser  
Akku-Regenerator  
Arduino-LCD  
RJ45-Kabeltester

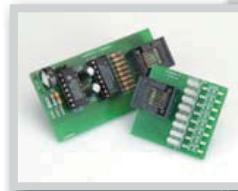
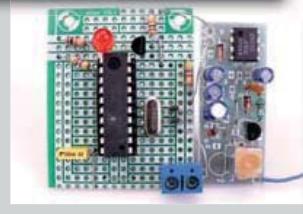


### Auch in der nächsten Ausgabe:



### Aquameter für Schwimmer

Mit Hilfe eines Accelerometers wird exakt festgehalten, wie viele Bahnen man schon gezogen hat.



Elektor Juli/August erscheint am 20. Juni 2012.

Änderungen vorbehalten!

w.elektor.de www.elektor.de www.elektor.de www.elektor.de www.elektor.de www.elektor.de www.elektor.de

## Elektor im Netz

Alle Magazin-Artikel ab 1996 können einzeln im PDF-Format heruntergeladen werden (gegen Elektor-Credits). Zu jedem Artikel findet man eine kurze Zusammenfassung, technische Daten und eine Stückliste (sofern vorhanden), was bei der Projektauswahl hilft. Dazu kommen eventuelle Updates/Berichtigungen und die Downloads zum Artikel (z.B. Software und Zusatzinfos). Auch die zum Projekt gehörenden Produkte wie Platinen, programmierte Controller und mehr lassen sich hier bestellen.

Im Elektor-Shop findet man alle anderen Angebote von Elektor, wie CD-ROMs, DVDs, Kits, Module, Software und Bücher. Mit der Suchfunktion können Sie die ganze Site nach Stichwörtern durchforsten.

### Ebenfalls unter [www.elektor.de](http://www.elektor.de):

- News aus der Elektronikwelt
- Leserforum
- Download des E-Magazins
- Spezialangebote (zeitlich begrenzt)
- FAQs, Inhaltsverzeichnisse und Kontaktformular

The screenshot shows the Elektor website homepage. At the top, there's a search bar and a navigation menu with links to Home, News, Zeitschrift, Shop, Abonnement, Forum, Projekte, Seminare, and Service. Below the menu, there's a banner for 'FLOWCODES PICmicro'. The main content area features several news articles with headlines like '1980 bis 1989', 'AndroPod', and 'Platinen perfekt zusammensetzen'. On the left, there's a sidebar for 'Mein Elektor' with login information and a shopping cart icon. The bottom right corner has a 'Feedback zu Elektor' link.

# •Subscribe to audioXpress magazine!

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

Then you should be **reading audioXpress!**

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

## What will you find in **audioXpress**?

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

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

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



**audioXpress**



### „Der Kompakte“

Motor und Steuerung in einem  
 Pandrive 60 mm / NEMA 24

- nom. 48 V DC Versorgungsspannung (18 V bis 55 V)
- bis zu 2,8 A RMS Spulenstrom
- CAN, USB, RS232, RS485
- Speicher für 2048 TMCL Kommandos
- stallGuard<sup>TM</sup> sensorlose Lasterkennung
- coolStep<sup>TM</sup> sensorlose lastabhängige Stromregelung
- microPlyer<sup>TM</sup> 16 bis 256 mal Mikroschritt Interpolation
- integrierter absoluter sensOstep<sup>TM</sup> Encode



**226,95**

PD-3-PD60-1060

**Markenqualität • Top-Service • günstige Preise**  
[www.reichelt.de](http://www.reichelt.de)

### „Der Einsteiger“

TMCM-MOTOR

42 x 42 mm / NEMA 17  
 Spulentromm von 0,8 - 1,5 A  
 Achsdurchmesser: 5 mm  
 Achslänge: 2 cm



**TMCM-MOTOR 19,25**

### „Die Hybriden“

1,8°-Hybrid-Schrittmotoren



#### Flanschmaß 28 x 28 mm

28 x 28 mm / NEMA 11  
 Baulänge 32 mm  
 0,67 A / 0,06 Nm  
**QSH2818-32-07 29,95**

28 x 28 mm / NEMA 11  
 Baulänge 51 mm  
 0,67 A / 0,06 Nm

**QSH2818-51-07 38,95**

#### Flanschmaß 42 x 42 mm

42 x 42 mm / NEMA17  
 Baulänge 33,3 mm  
 1,0 A / 0,26 Nm  
**QSH4218-35-026 23,65**

42 x 42 mm / NEMA17  
 Baulänge 39,4 mm  
 1,0 A / 0,33 Nm

**QSH4218-40-033 28,80**

42 x 42 mm / NEMA17  
 Baulänge 49,5 mm  
 1,0 A / 0,50 Nm

**QSH4218-51-049 32,35**

### „Die Starken“

1,8°-Hybrid-Schrittmotoren



57 x 57 mm / NEMA 24  
 Baulänge: 51,0 mm  
 2,8 A / 1,01 Nm

**QSH5718-51-101 44,60**

60 x 60 mm / NEMA 24  
 Baulänge: 65,0 mm  
 2,8 A / 2,10 Nm  
**QSH6018-65-28 68,50**

### Surfen Sie gleich los!

Mehr zum Thema Schrittmotoren  
 finden Sie in unserem Online-Shop.

<http://rch.lt/3D>

Einfach Kurzlink  
 eingeben oder  
 QR-Code per  
 Smartphone  
 scannen:



### 2-Phasen Schrittmotoren- treiber

**TMC 260 TQFP44 11,60**  
**TMC 261 TQFP44 12,95**  
**TMC 262 QFN32 11,40**



### 3-Achsen Motion Controller

für Schrittmotoren



**TMC 429 QFN32 8,95**  
**TMC 429 SOP24 11,95**  
**TMC 429 SSOP16 11,35**

### Doppelbrücken- treiber

34 V  
**TMC 236A-PA 11,45**  
**TMC 239A-SA 7,50**  
**TMC 246A-PA 11,85**  
**TMC 249A-SA 7,90**



### Das „Leistungsstarke“ - Treibermodul

Das TMCM-351 ist ein leistungsstarker 3-Achsen 2-Phasen-Schrittmotor-Controller / Treiber-Modul mit Encoder-Interface. Mit dem integrierten zusätzlichen I/O Schnittstellen können Sie komplett System-Control-Anwendungen realisieren!

- bis zu 2,8 A Spulenstrom RMS
- nom. 24 V DC Versorgungsspannung (28,5 V DC max)
- RS-232, RS-485, CAN 2.0B-Host und USB serielle Kommunikationsschnittstellen
- jede Achse einzeln programmierbar
- Größe: 160 x 100 mm

TMCM-351

**261,95**



### Das „Ready-To-Use“ - Treibermodul

1-Achsen Controller StepRocker  
 • 24V DC (Nominalwert) Versorgungsspannung  
 • bis zu 2,8 A RMS Spulenstrom (programmierbar)  
 • USB und RS485  
 • Größe: 85 x 55 mm

**StepRocker**

**64,95**  
 TMCM-1110

Katalog kostenlos!

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

