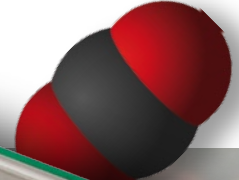
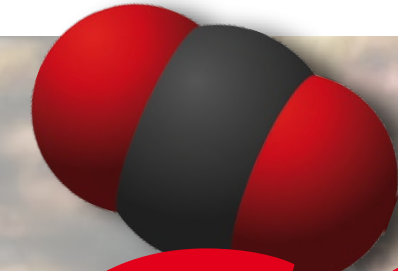


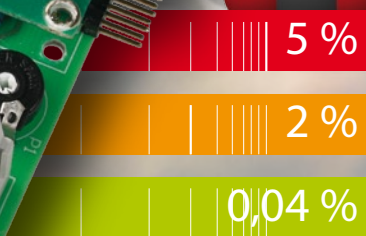


# elektor

electronics worldwide



# CO<sub>2</sub>



*Gefahr nicht nur fürs Klima!*  
**Sensor, Bargraph und Alarm**



# TEST

**Energiemesser nachgemessen**

# POWER-METER

**Strom, Spannung & Co.**



- Drahtlos Energie übertragen: So funktioniert's
- Standby-Killer: Strom sparen mit Komfort
- Steuerung für Energiesparlampen



# DARF'S EIN BISSCHEN MEHR SEIN?

<b>Ihr Vorteil:</b>	<b>Das Jahresabo-PLUS</b>
67,00 €	10 Einzelhefte
+ 11,90 €	1 Doppelausgabe (Juli/August)
+ 31,50 €	Jahrgangs-CD 2007 (inkl. Versand)
+ 49,95 €	1-GB-MP3-Player
-----	
<b>= 160,35 €</b>	Gesamtwert bei Einzelbestellung
<b>- 79,95 €</b>	<b>Elektor-Jahresabo-PLUS</b>
-----	
<b>= 80,40 €</b>	<b>Ersparnis</b>

## Das Elektor PLUS-Abo

Sparen Sie jetzt über **€ 80,-!**

## Ihre PLUS-Abovorteile:

- Preisvorteil: Sie sparen **27%** gegenüber dem Einzelkauf
- Abonnenten erhalten exklusiv auf spezielle Elektor-Produkte bis zu **40% Rabatt**
- Top-Aboprämie: attraktiver 1-GB-MP3-Player **gratis** (Wert: 49,95 Euro)
- Keine Ausgabe verpassen: Elektor kommt pünktlich, bequem und zuverlässig frei Haus
- Immer up-to-date: Lesen Sie jede Elektor-Ausgabe vor allen anderen



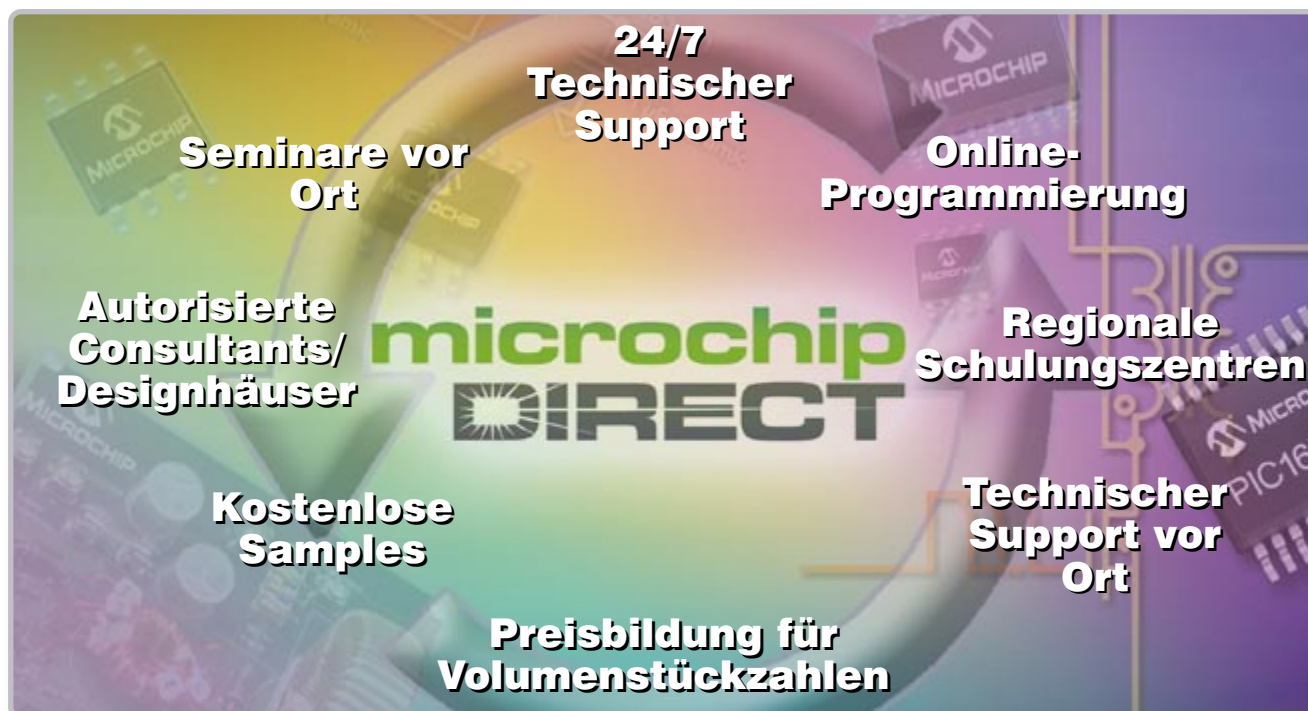
[www.elektor.de/abo](http://www.elektor.de/abo) • Tel. +49 (0)241 88 909-0

Verwenden Sie bitte für die Abobestellung die portofreie Bestellkarte am Heftende.

**elektor**  
electronics worldwide



# Weiter zum Erfolg



**24/7 Technischer Support**

**Seminare vor Ort**

**Online-Programmierung**

**Autorisierte Consultants/ Designhäuser**

**Regionale Schulungszentren**

**Kostenlose Samples**

**Technischer Support vor Ort**

**Preisbildung für Volumenstückzahlen**

**microchip DIRECT**

## Mehr Support und Ressourcen gefällig?

Erfolgreiche Unternehmen schätzen eine reibungslose Zusammenarbeit mit ihren strategischen Zulieferern, die dazu beitragen, deren innovative Produkte zeit- und kosteneffizient auf den Markt zu bringen. Microchip Technology unterstützt mehr als 45.000 Kunden weltweit und trägt auch weiterhin zu Ihrem Erfolg bei!

Neben hochleistungsfähigen Halbleiterlösungen bietet Microchip eine Vielzahl von Supportfunktionen, mit denen sich die Time-to-Market als auch die Gesamtsystemkosten verringern lassen. Unsere technischen Ressourcen vor Ort wurden außerdem erheblich erweitert.

### Nutzen Sie microchipDIRECT:

**Registrieren Sie sich noch heute!**



- Direkte Bestellung bei Microchip, 24 Stunden täglich, 7 Tage die Woche mit Kreditkarte oder Kreditrahmen
- Wettbewerbsfähige Preise für alle Bausteine in Volumenstückzahlen
- Überprüfung der Lagerbestände
- Beschädigte Bauteilrollen zu erheblichen Nachlässen
- Schnelle und kostengünstige Produktionsprogrammierung (ab jetzt verfügbar)
- Bestellung und Bestellstatus über sichere Verbindung über jedes Netzwerk
- Zuweisung einer eigenen Bestellnummer
- Zuweisung einer eigenen Teilenummer für jedes bestellte Bauteil
- E-Mail-Bestätigung für Bestellung, Lieferung, Kostenvoranschlag etc.

**microchip**  
**DIRECT**  
[www.microchipdirect.com](http://www.microchipdirect.com)

Now  
**Pb-free!**  
RoHS Compliant

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

## CO<sub>2</sub>008

Gegen Ende der Produktion einer Elektor-Ausgabe wird die Glaswand meines Büros zunehmend mit fertigen Artikelseiten zugeklebt. Da hängt jetzt ein CO<sub>2</sub>-Messer, ein Test von Energiemessgeräten, ein Artikel über drahtlose Energieübertragung und noch eine Reihe von Projekten. Über den CO<sub>2</sub>-Messer gab es bei uns einige Diskussionen. Wozu braucht man so etwas und wie soll man die angezeigten Messwerte bewerten? CO<sub>2</sub> ist zu einem heißen Thema gemacht worden. Jeder spricht darüber, aber wie steht es mit diesen Kohlenstoff-und-zwei-Sauerstoffatomen in unserer unmittelbaren Wohn- und Arbeits-Umgebung? Es ist ganz klar, dass wir bei der Annäherung an die (tödliche!) 8%-CO<sub>2</sub>-Konzentration ganz schnell ein Fenster öffnen oder andere Maßnahmen ergreifen müssen. Was uns betrifft, sollte dieses Messinstrument gleich neben das Thermometer und Hygrometer gehängt werden.

In dieser Elektor-Ausgabe geht es hauptsächlich um den Energieverbrauch und unsere Möglichkeiten, Energie einzusparen. Natürlich gibt es noch mehr durch Elektronik verursachte Umweltprobleme. Greenpeace versucht gerade, unsere Aufmerksamkeit auf das E-Müll-Problem zu lenken. Weil wir so häufig unsere Handys und Computer wechseln, nimmt die Menge an Elektronik-Abfall enorm zu, welcher dann beispielsweise in China entsorgt wird. Sollten wir als Elektor-Leser da nicht ein besonderes Verantwortungsgefühl entwickeln? Wissen wir nicht - wie kaum jemand sonst - dass all diese schönen elektronischen Gerätschaften nicht nur verbraucht, sondern auch eingespart oder wiederverwendet werden können?

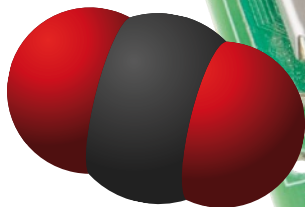
Wissen bedeutet nun einmal auch Verantwortung. Wenn Sie dazu besondere Ideen haben, zögern Sie bitte nicht, mir diese mitzuteilen. Auf unserer Website (Menüpunkt „Service“) finden Sie ein Kontaktformular für Mitteilungen an die Redaktion. Das bringt mich gleich zum Start unserer spanischen Website ([www.elektor.es](http://www.elektor.es)). Ganz im Elektor-Stil ist jetzt ein neuer „Kanal“ mit News, Produkten und Service für unsere spanischen Leser dazugekommen. Ein Besuch lohnt sich!

Auf ein sauberes und interessantes Jahr - mit den besten Wünschen vom gesamten Elektor-Team

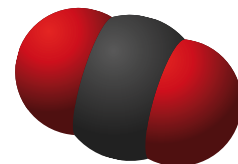
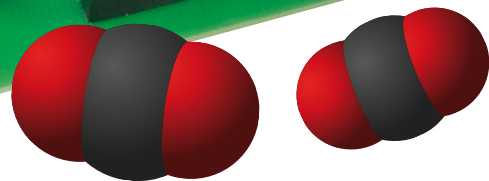
Wisse Hettinga  
Internationaler Chefredakteur

# CO<sub>2</sub>-Messer

## 16



Kohlendioxid ist nicht nur eine Gefahr fürs Klima, sondern auch ein wichtiger Faktor für die Luftqualität in Büro- und Wohnräumen, der oft nicht beachtet wird. Eine zu hohe CO<sub>2</sub>-Konzentration führt zu Ermüdungserscheinungen, Konzentrationsstörungen und auch zu Kopfschmerzen. Mit unserem CO<sub>2</sub>-Messer lässt sich die Kohlendioxid-Konzentration in der Luft einfach ermitteln. Ein Mikrocontroller überwacht den Messwert und kann bei Überschreiten eines Grenzwerts einen Alarm auslösen oder ein Belüftungssystem einschalten.



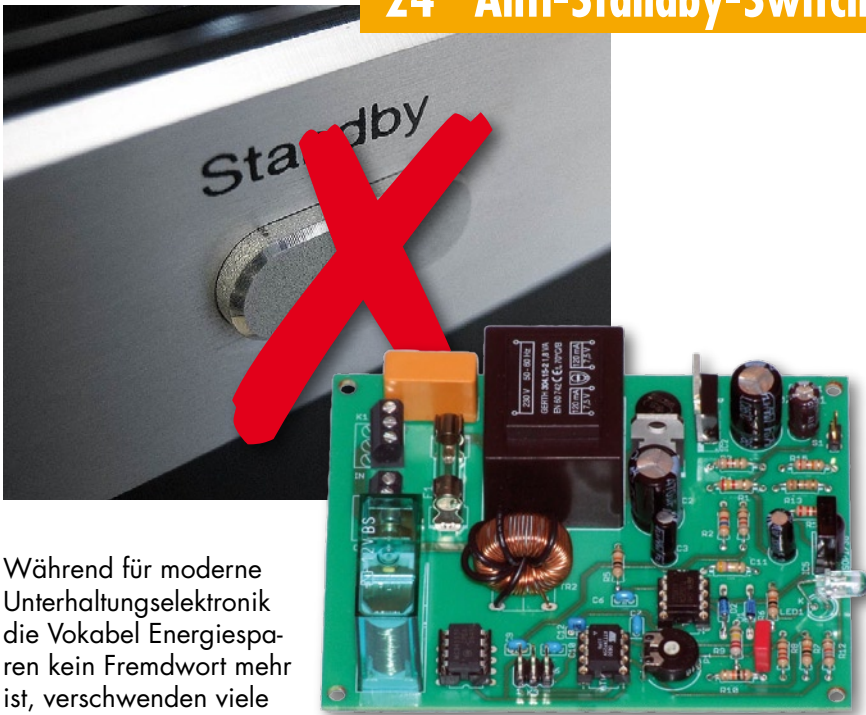
## 30 Preiswerte Energiemesser

Wenn Sie sparsam mit Energie umgehen wollen, müssen Sie den Energiebedarf Ihrer Geräte kennen. Auskunft sollen die handlichen Energiemesser geben, die zwischen Steckdose und Gerät geschaltet werden. Doch was messen diese Geräte eigentlich, und mit welcher Genauigkeit arbeiten sie? Das Elektor-Labor hat 10 der teils sehr preiswerten Geräte unter die Lupe genommen.



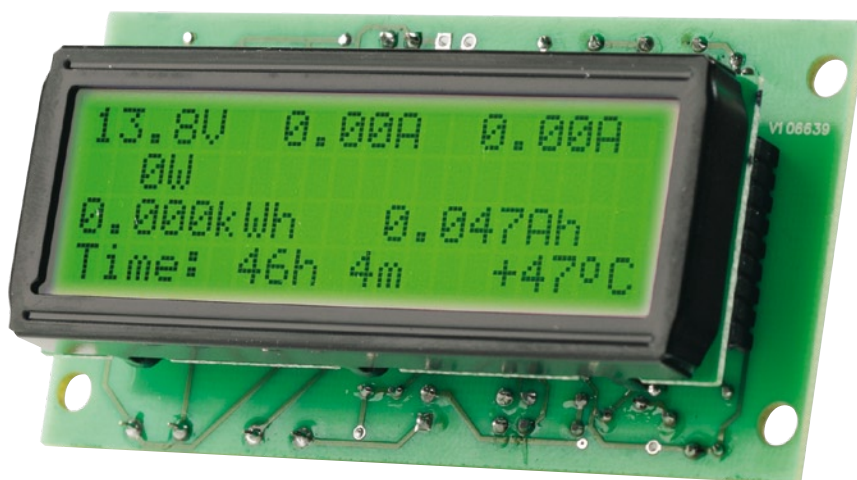


## 24 Anti-Standby-Switch



Während für moderne Unterhaltungselektronik die Vokabel Energiesparen kein Fremdwort mehr ist, verschwenden viele Millionen älterer und auch neuerer Geräte viel zu viel Energie im Standby-Betrieb. Preiswerte Satellitenreceiver haben in der Regel nicht einmal ein extra Netzteil für die Standby-Schaltung. Unser cleveres, fernbedienbares und selbst sehr sparsames Vorschaltgerät ist die Lösung - und das ohne den Komfort einzuschränken.

## 38 Vielseitiges DC-Power-Meter



Ein Netzgerät ohne Strom- und Spannungsanzeige ist eigentlich nicht vorstellbar. Unser kompaktes DC-Power-Messmodul stattet neu entwickelte und alte Einfach-Netzgeräte mit einer solchen Anzeige aus. Darüber hinaus ermöglicht es auch die totale (Entlade-)Kontrolle bei einer Batterie- oder Akku-Stromversorgung. Und dies – dank Mikrocontroller – mit einigen Extras!

## Grundlagen

- 62 CO<sub>2</sub>-Bilanz des Geräte-Lebens
- 70 Stromverbrauch von PC-Chips

## Praxis

- 16 CO<sub>2</sub>-Mess
- 24 Anti-Standby-Switch
- 38 Vielseitiges DC-Power-Meter
- 48 Steuerelektronik für Energiesparlampen

## Technik

- 44 Energiesparen mit Motorsteuerungen
- 52 Wirkungsgrad-Messungen bei kleinen Leistungen
- 55 Laborgeflüster
- 56 Drahtlose Energieübertragung
- 65 Entwicklungstipp
- 66 Ein Lader für Dallas Future Energy Challenge 2007
- 74 E-blocks: So wird der Prius noch sparsamer

## Info & Markt

- 6 Impressum
- 8 Mailbox
- 11 News
- 30 Preiswerte Energiemesser
- 84 Vorschau

## Infotainment

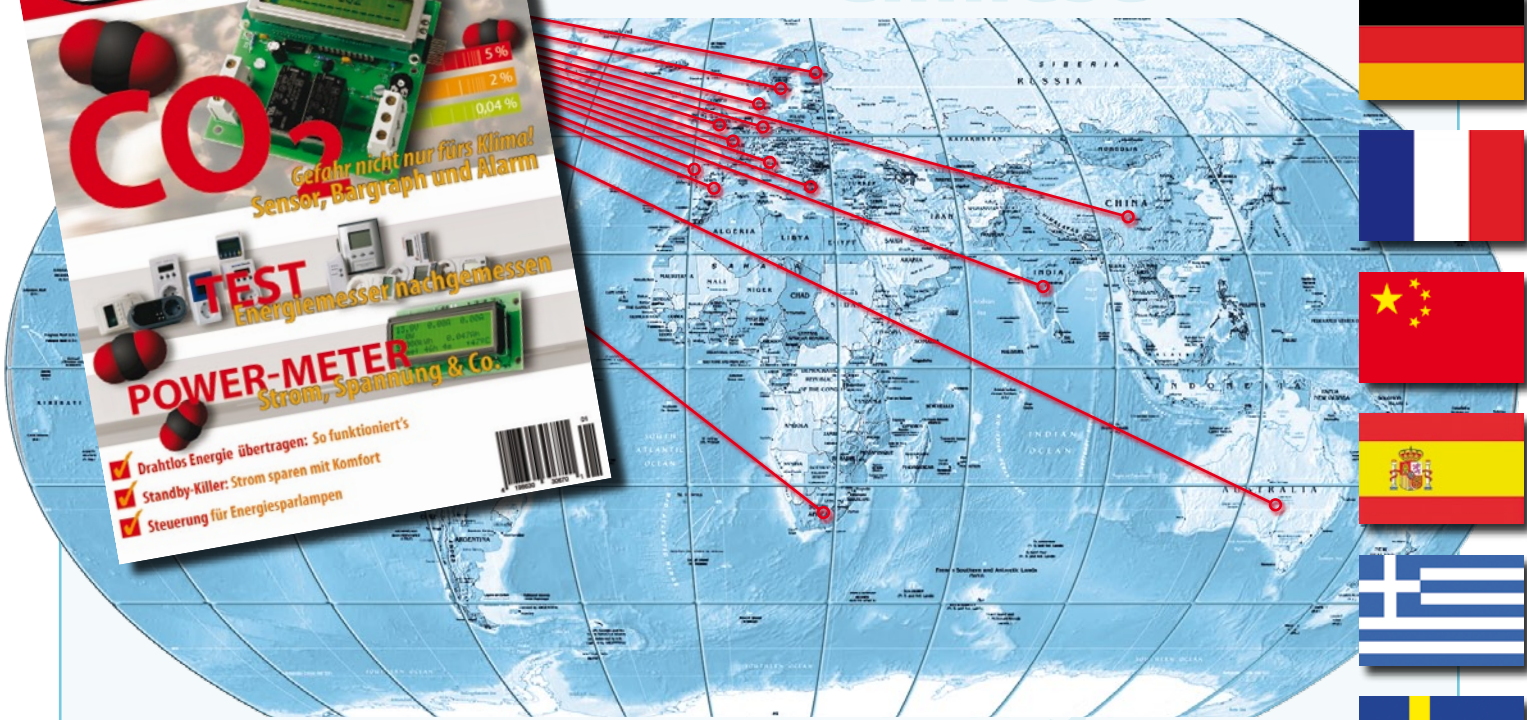
- 78 Hexadoku
- 79 Retronik: Sondernorm-Dekoder

# elektor international media

Eine multimediale und interaktive Plattform für jeden Elektroniker - das bietet Elektor International Media. Ob Anfänger oder Fortgeschrittener, ob Student oder Professor, ob engagierter Profi oder leidenschaftlicher Hobbyist: Hier finden Sie wertvolle Informationen, Inspiration für die eigenen Entwicklungen, Unterstützung bei der Ausbildung und nicht zuletzt eine gute Portion Unterhaltung. Gedruckt und im Web. Analog und digital. In Theorie und Praxis.



English  
German  
Dutch  
French  
Chinese



Greek  
Spanish  
Swedish  
Finnish

## IMPRESSUM

39. Jahrgang, Nr. 445 Januar 2008

Erscheinungsweise: 11 x jährlich (inkl. Doppelheft Juli/August)

Elektor möchte Menschen anregen, sich die Elektronik zu Eigen zu machen – durch die Präsentation von Projekten und das Aufzeigen von Entwicklungen in der Elektronik und technischen Informatik.

Elektor erscheint auch in Englisch, Französisch, Niederländisch, Spanisch und weiteren Sprachen. ELEKTOR ist in über 50 Ländern erhältlich.

## 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.

## Internationale Chefredaktion

Wisse Hettinga

## Redaktion Elektor Deutschland

Ernst Krempelsauer (Chefredakteur, v.i.S.d.P.)  
Jens Nickel  
(E-Mail: [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de))

## Internationale Redaktion

Harry Baggen, Thijs Beckers, Jan Buiting, Guy Roedersdorf

## Redaktionssekretariat

Hedwig Hennekens

## Labor / Technische Redaktion

Antoine Authier (Ltg.), Ton Giesberts, Paul Goossens, Luc Lemmens, Jan Visser, Christian Vossen

## Grafische Gestaltung und Layout

Giel Dols, Mart Schroyen



# Einstieg in die Welt der Mikrocontroller



## Elektor-Fernlehrgang

Sind Sie Auszubildender, Schüler, Student oder nur einfach interessiert an der Mikrocontroller-Technologie?

Dann ist dieser Fernlehrgang für Sie das Portal in die faszinierende Welt dieser zukunftsorientierten Technik!

Bestandteile des Fernlehrgangs:

- 6 Lehrbriefe, die monatlich im Abo verschickt werden einschließlich Sammelordner



- 1 Mikrocontroller-Board, das sich aus einem **Grund-Board** mit Real Time Clock, alphanumerischem LC-Display, Watchdog und vieles mehr zusammensetzt. Für die ersten Schritte gibt es noch eine kleine **Digital/Analog-Adapter-Platine**, die an das Grund-Board angesteckt wird.

*In einer weiteren Ausbaustufe kann das Grund-Board auf ein Zusatz-Board mit Porterweiterungen, I<sup>2</sup>C-Buscontroller, Temperatursensoren und mehr gesteckt werden (das Zusatz-Board gehört nicht zur Grundausstattung des Fernlehrganges)*



- 1 ganztägiger Abschluss-Workshop mit Zertifikataushändigung.

Beginn: Februar 2008

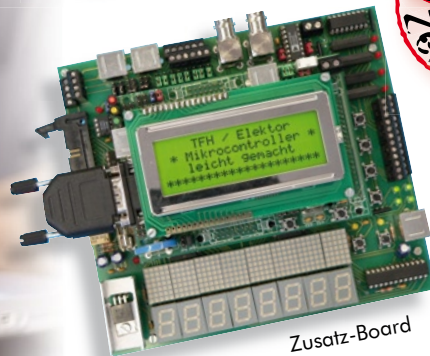
Dauer: 6 Monate

Das **GESAMTE** Fernlehrgangspaket kostet

**nur € 449,-**



Grund-Board



Zusatz-Board



Weitere Infos unter [www.elektor.de/tfh](http://www.elektor.de/tfh)

Geschäftsführer/Herausgeber: Paul Snakkers

Marketing/Vertrieb (Leitung): Carlo van Nistelrooy

Kundenservice/Auftragsabwicklung (Leitung): Anouska van Ginkel

Anzeigen: ID Medienservice  
Tel. 05 11/334 84-36 - Fax 05 11/334 84-81  
E-Mail: [elektor@id-medienservice.de](mailto:elektor@id-medienservice.de)  
Es gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 37 ab 01.01.2007

Vertriebsgesellschaft: IPS Pressevertrieb GmbH  
Postfach 12 11, 53334 Meckenheim

Tel. 0 22 25/88 01-0 - Fax 0 22 25/88 01-199  
E-Mail: [elektor@ips-pressevertrieb.de](mailto:elektor@ips-pressevertrieb.de)  
Internet: [www.ips-pressevertrieb.de](http://www.ips-pressevertrieb.de)

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

Der Herausgeber ist nicht verpflichtet, unverlangt eingesandene Manuskripte oder Geräte zurückzusenden. Auch wird für diese Gegenstände keine Haftung übernommen. Nimmt der Herausgeber einen Beitrag zur Veröffentlichung an, so erwirbt er gleichzeitig das Nachdruckrecht für alle ausländischen Ausgaben inklusive Lizenzen. Die in dieser Zeitschrift veröffentlichten Beiträge, insbesondere alle Aufsätze und Artikel sowie alle Entwürfe, Pläne, Zeichnungen einschließlich Platinen sind urheberrechtlich geschützt. Ihre auch teilweise Vervielfältigung und Verbreitung ist grundsätzlich nur mit vorheriger schriftlicher

Zustimmung des Herausgebers gestattet.

Die veröffentlichten Schaltungen können unter Patent- oder Gebrauchsmusterschutz stehen. Herstellen, Feilhalten, Inverkehrbringen und gewerblicher Gebrauch der Beiträge sind nur mit Zustimmung des Verlegers und ggf. des Schutzrechtsinhabers zulässig. Nur der private Gebrauch ist frei. Bei den benutzten Warenbezeichnungen kann es sich um geschützte Warenzeichen handeln, die nur mit Zustimmung ihrer Inhaber warenzeichengemäß benutzt werden dürfen.

Die geltenden gesetzlichen Bestimmungen hinsichtlich Bau, Erwerb und Betrieb von Sendeeinrichtungen 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.

© 2008 elektor international media b.v.

Druck: Senefelder Misset, Doetinchem (NL)



ISSN 0932-5468

### CR2032 und musikalische Teelichter

Neulich schien der Batterie meines PCs die Luft auszugehen. Sie kennen sicherlich auch die Meldung beim Booten „CMOS Checksum error, Defaults loaded“. Es handelte sich um eine 3-V-Lithium-Batterie vom Typ CR2032, wie sie außer auf PC-Motherboards auch in vielen Geräten wie Fernbedienungen für die Haustechnik, elektronischen Thermometern oder Pulsmessern zu finden ist. Da eine solche Batterie in guter Qualität schon ein paar Euro kostet, machte ich mich auf die Suche nach einer preisgünstigen Alternative. Da erinnerte ich mich an die prächtigen „Elektronischen Teelichter“ letztens beim Discounter, die wie „richtige“ Teelichter aussahen und die Flamme durch eine flackernde gelbe LED simulierten.

Beim Durchblättern der täglichen Postwurfsendungen stieß ich auf das Angebot: „Elektronische Teelichter, inklusive Batterie, zwei Stück für 0,99 €“. Also nichts wie zurück in das Geschäft und die Teelichterbatterie näher untersucht! Es handelte sich um eine Knopfzelle, deren Format einer CR2032 auffällig ähnelte. Natürlich keine Markenbatterie, aber bei diesem Preis kann man nichts falsch machen und so habe ich einen kleinen Vorrat davon gekauft. Damit sollte ich mein Motherboard und viele Geräte im Haushalt noch einige Zeit mit preiswerten Batterien versorgen können (so hoffe ich). Die Geschichte ist aber noch nicht zu Ende, denn nun saß ich vor einem Haufen von



Teelichtern. Neugierig wie ich bin, entschloss ich mich zu einer näheren Untersuchung. Nach dem Öffnen des Gehäuses präsentierte sich mir ein in einem Tropfen Harz versenkter Chip, der für den Flackereffekt verantwortlich war. Ich dachte zuerst an einen Zufallsgenerator, doch dann fiel mir ein sich wiederholendes Flacker-Muster der Teelichter auf. Wie mag sich das wohl anhören, wenn man einen Lautsprecher anschließt? Also den Lötcolben her und an die Anschlussdrähte der LED ein Kabel zu meinem Audioverstärker angeschlossen. Zu meinem großen Erstaunen ertönte aus den Boxen die bekannte Melodie von „Happy Birthday“! Es handelte sich offensichtlich um einen Chip von der Art, wie sie auch in elektronischen Glückwunschkarten zu finden ist.

Mit einem Fototransistor und dem Verstärker aus einem Scannerempfänger war schnell ein Teelichtmusikdetektor realisiert. Etwas mehr als die Hälfte der Teelichter spielte „Happy Birthday“, der Rest eine mir unbekanntere andere Melodie. „Merry Christmas“ wäre auch nicht schlecht, denn damit hätten wir wieder ein interessantes Gesprächsthema für die Weihnachtszeit: „Was spielt denn dein Teelicht?“

**Martien Jansen**

Dazu (und zu meiner Schaltung) möchte ich Folgendes bemerken:

Es gibt immer verschiedene Lösungen. Ich habe bewusst diese Lösung mit dem Relais gewählt, weil

- auch Lasten mit kapazitiver oder induktiver Komponente problemlos angeschaltet werden können.

- ein nicht fest an das 230V-Netz angeschaltetes Gerät immer zweipolig abgeschaltet werden muss, sonst besteht die Gefahr, dass bei einpoliger Abschaltung der Nullleiter abgeschaltet wird und die Phase angeschaltet bleibt.

Diese Gründe waren ausschlaggebend für die Verwendung eines Relais.

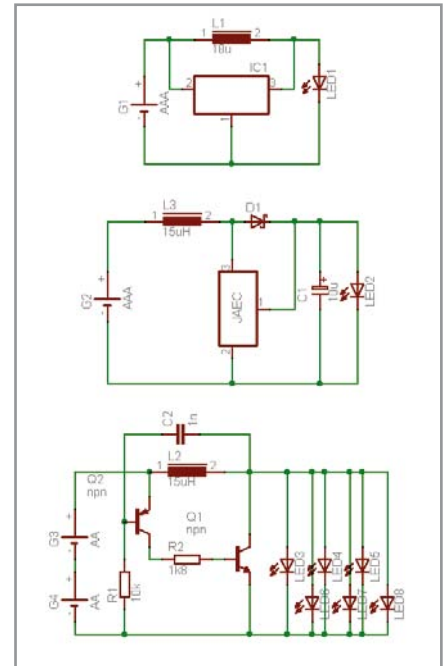
**Wolfram Finfera**

### Deja vu

Die LED-Treiber-Platine mit dem PR4401 im Heft 9-07 war eine Art „deja vu“-Erlebnis. Einen „Dreifuß“, der eine LED treibt, habe ich schon vor etwa zwei Jahren entdeckt. Die Schaltung (ich fand zwei Varianten) steckt in Alu-Taschenlampen für eine einzige AAA-Zelle und startet bei ca. 0,7 V. Falls man das Ausschalten vergisst, arbeitet sie bis unter 0,2 Volt. Das müsste mit Ihrem IC auch möglich sein. Sie würde dann auch für einzellige Solarmodule anwendbar sein, die dann Handy-Akkus laden könnten.

Eine andere Schaltung habe ich ebenfalls in einer Alu-Lampe aus China gefunden. Sie arbeitet mit sechs diskreten Bauteilen und treibt sechs weiße LEDs ab einer Spannung von ca. 0,7 V. Die Platine ist nur unwesentlich größer, da die Transistoren in einem SOT23-Gehäuse stecken.

**Fredy Stahnke**



### Standby-Switch – noch grüner?

Ich begrüße jeden Beitrag, der zum Energiesparen führt und unsere Welt etwas grüner macht, so auch den „Grünen USB-Schalter“ von Wolfram Winefera in Elektor 11/07 (S.60). Auf den Standby-Verbrauch kann man nicht oft genug hinweisen.

Allerdings könnte man auch einen noch grüneren USB-Schalter realisieren, der auch selbst keinen Standby-Strom verbraucht: Einfach ein 230-V-Opto-Halbleiterrelais mit Optokopplereingang nehmen und an den USB anschließen.

Benötigte Komponenten:  
1 x (altes) USB-Kabel oder auch

- USB-Buchse
- 1 x 230V-Opto-Halbleiterrelais mit Schraubklemmen (z.B. von Clare)
- 1 x aufschraubbare Steckdosenleiste
- 1 x Sicherungshalter
- 1 x Sicherung (je nach Optokoppler)

Sofern die Schaltung nicht mit in eine Steckerleiste passt, kann man auch den Netzschalter entfernen, um Platz für das Optorelais zu schaffen. Mit Kunststoffschrauben einen kleinen Kunststoffdeckel (z.B. Platinenrest) auf die Schalteröffnung schrauben, in dem auch der Sicherungshalter Platz findet.

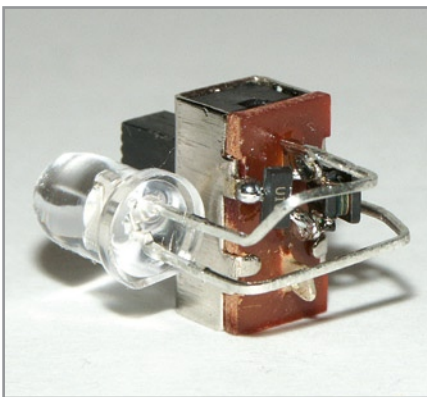
**Ralf Schmiedel**



Für einen Solar-Lader mit nur einer Solarzelle ist der PR4401 nicht optimal. Dafür müsste die minimale Eingangsspannung noch etwas niedriger und der maximale Ausgangsstrom noch etwas höher sein. Eine Empfehlung wäre für diese Anwendung der TPS61200 von TI, die allerdings durch das 3x3 QFN-Gehäuse etwas eingeschränkt wird. Ganz aktuell gibt es von PREMA den PR4403 speziell für Solarlampen, der sich aber bei der erforderlichen Eingangsspannung (0,9 V) nicht vom PR4401 unterscheidet.

## Playmobil

Vielen Dank für die kleine Platine mit dem LED-Treiber. Als verspätetes Weihnachtsgeschenk hatte ich bereits zum letzten Jahreswechsel meinen Kids ihre Playmobil-Stadt mit weißen LEDs beleuchtet. Ganz klar: Da kam nur der PR4401 in Frage. SMDs in ‚fliegender‘ Verdrahtung wollte ich schon immer mal ausprobieren...



Das Innenleben der Lampen besteht im Wesentlichen aus einem Batteriehalter, einem Miniaturschiebeschalter und der ‚Elektronik‘. Die wenigen Bauelemente werden direkt am Schalter verlötet. Als Gehäuse dient ein Playmobil-Wandverbinder (Art.-Nr. 30-23-4510 bzw. 30-06-7620), aus dem ein Trennsteg entfernt wird. Nach dem Einsetzen der elektrischen Teile werden diese vorsichtig mit Heißkleber vergossen. Die Spannungsversorgung übernimmt ein Akku oder eine Batterie im Micro-Format (AAA). Als besonderes Highlight gegenüber käuflichen Lampensätzen sei neben dem Preis die gänzlich fehlende externe Verkabelung erwähnt. Die Kids werden es Ihnen danken.

Falls sich jemand ernsthaft dafür interessiert, kann ich gern noch ein paar Zeilen Text dazu schreiben und das Ganze mit einer Fotoserie illustrieren.

**Jörg Engelhardt**

*Wir geben Text und Bilder gerne an andere Leser weiter (als Download auf der Mailboxseite zu dieser Ausgabe auf [www.elektor.de](http://www.elektor.de))*

## Heizungsregelung

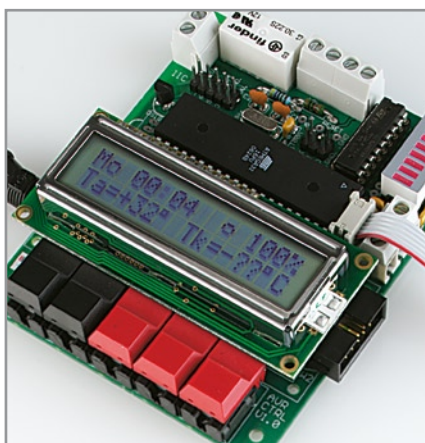
Zur AVR-Heizungssteuerung in Heft 11/07 meinen Glückwunsch zu dem gelungenen und interessanten ELEKTOR-Artikel!

Ich habe bereits in den Siebzigern der vergangenen Jahrhunderts vor der gleichen Frage gestanden, als die von der Fachfirma (!) eingerichtete „Innenregelung“ einer Gas-Zentralheizung in keiner Weise funktioniert hat!

Ich habe damals im Zusammenarbeit mit den Kontakten an der Uni eine Lösung mit den folgenden konventionellen Bauteilen gefunden: Außen-Regelung für gleitende Kesseltemperatur (damals so exotisch, dass die in Deutschland gar nicht zu bekommen war!), eine Zeitschaltuhr mit Relais und die vorhandene Innenregelung (siehe unten!). Ich wollte das Ganze dann immer wieder „gleich“ auf eine der dann erhältlichen „MinisPS“ umstellen, aber da die „alte“ Lösung bis heute funktioniert...

Dabei bin ich damals bereits auf eine Information gestoßen, wie sich die Energieersparnis weiter vergrößern lässt - und nach meiner Durchsicht des Elektor-Artikels ließe diese sich in Ihr Mikrocontroller-Projekt ja zumindest von der Hardware her problemlos integrieren: Mit einem dritten Temperatursensor könnte die Nachtabsenkung „innenraumgeführt“ erfolgen, was zu weiteren Einsparungen führen könnte:

Zeitgesteuert wird abends auf den Innenraumsensor umgeschaltet, für den die nachtabgesenkte Temperatur direkt/ohne Steuerkurve so programmiert ist, dass die Anlage auf die abgesenkte Temperatur „stützt“ (Nachbildung der in den Innenregelungen üblichen



Wärmerückführung mittels Heizwiderstand per Software!?).

Regelschwingungen treten nach meiner Erfahrung dabei keine auf: Wenn der Innenraum-Fühler in einem Raum montiert ist, in dem die Thermostat-Ventile an den Heizkörpern auf die Tagestemperatur eingestellt sind, ist die Temperatur-Differenz so groß, dass diese ganz öffnen. Natürlich

nur, wenn sie nicht nachts noch zusätzlich „heruntergedreht“ werden!

Am Morgen wird auch - noch ohne Außenregelung - innenraumgesteuert so lange aufgeheizt, bis der Innenraumsensor, der jetzt natürlich auf die Tagestemperatur eingestellt sein muss, erstmalig „Temperatur erreicht“ meldet. Dann wird wieder auf die Außenregelung umgeschaltet.

Wenn ich die Hardware richtig überblicke, müsste der Anschluss eines dritten analogen Sensors ja problemlos machbar sein. Vielleicht findet sich dann auch noch jemand der die Software erweitert?

**Martin Schanz**

*Ihr Ansatz der Heizungsregelung klingt logisch. Eine Überlagerung der Regelungen wäre bei Nacht sicher auch sinnvoll. So sollte zum Beispiel die Kesseltemperatur bei Frost (unter -x Grad) angehoben werden, auch wenn es im Referenzraum noch warm genug wäre. Das würde den Frostschutz bei schlecht isolierten Räumen (oder offen stehenden Fenstern) ermöglichen.*

*Das Problem wird wohl bei vielen die Wahl des „Referenzraums“ für die Innentemperaturregelung sein.*

**Holger Buss**

## USB stört SDR?

Die im Heft 05.2007 vorgestellte Schaltung hatte schlechte Empfangseigenschaften. Die Ursache lag in den starken Störungen auf dem USB-Bus. Leider sind PC-Schaltnetzteile keine gute Stromversorgung für empfindliche Analogschaltungen. Da hilft nur eine Siebung. Beim SDR-Projekt muss deshalb der Kondensator C9 = 4,7 µ durch einen 470 µ/10 V ersetzt werden. Das wirkt Wunder!

Die von Burkhard Kainka vorgeschlagene Fremdversorgung der Schaltung war nicht so befriedigend wie der Elkotausch und die USB-Stromversorgung ist ja auch reizvoller.

**Helmut DH6KR**

*Den größeren Elko habe ich mal getestet. Er säubert sichtbar, aber unter ca. 30 Hz bleibt noch immer Gerumpel übrig. Ich vermute, das Spektrum der Störungen ist bei jedem PC anders. An meinem hatte ich mit dem Spannungsregler mehr Erfolg.*

*Übrigens haben einige Leser versucht, den Bereich um 0 Hz direkt zu nutzen. Das geht aber nur schlecht, weil z.B. ein AM-Träger dort „versickert“. Ich habe die untere Grenzfrequenz relativ hoch gelegt, damit die USB-Störungen weniger durchkommen. Deshalb sollte man bei einer ZF von 10-15 kHz arbeiten. Dort gibt es keine Störungen vom USB.*

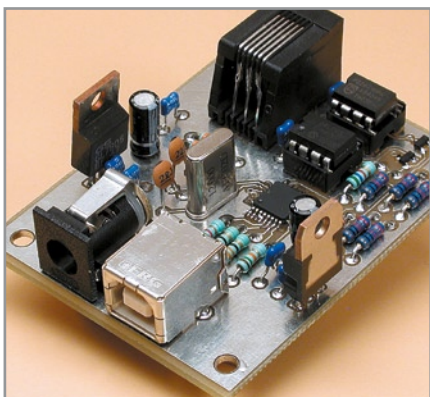
**Burkhard Kainka**

## LabVIEW Bibliothek für USB/I<sup>2</sup>C

In Elektor 12/04 gab es den Artikel „USB /I<sup>2</sup>C Interface“. Hierfür habe ich eine LabVIEW-Bibliothek mit Beispiel zur Ansteuerung eines PCF8574 erstellt.

Ich hatte bereits im Jahr 2005 damit angefangen, das Ganze scheiterte jedoch an der „Nichtbeschaffbarkeit“ der beiden Treibertransistoren. Mittlerweile habe ich einen Pegelwandler PCA9306 von Microchip eingebaut und die Bibliothek vervollständigt. Die Bibliothek ist unter LabVIEW 7.1 erstellt. Vielleicht hat ja jemand Verwendung dafür!

**Sascha Hochhard**



Das ist sicher für einige Leser interessant, weshalb wir Ihre ZIP-Datei auf der Projektseite zum USB/I<sup>2</sup>C-Interface (Projekt-Nummer 040334-1) sowie auf der Mailboxseite zu dieser Ausgabe bei [www.elektor.de](http://www.elektor.de) zum kostenlosen Download bereitstellen.

## Elektronik in der Schule

Hier ein kurzer Bericht über den Nachbau des in Elektor 4/2004 vorgestellten VHF-Empfängers:

Ich habe diesen Empfänger mit 5 Schülern (zwischen 11 und 15 Jahre alt) an der Hauptschule in Pfaffenhofen/Roth in rund sechs Stunden aufgebaut. Das Ätzen der Platine, das Bohren und Bestücken - alles wurde selbst gemacht. Die Platine wurde aus dem Heft kopiert und mit einem Grafikprogramm leicht modifiziert. Alle Bauteile bis auf die Varicaps konnten bei Reichelt für ca. sieben Euro pro Empfänger besorgt werden. Die Spulen wurden von den Schülern selbst gewickelt. Die Varicap BB911 konnte ich nicht mehr auftreiben, jedoch konnte ich von einem anderen Funkamateurliebhaber (Helmut, DJ0FW) noch eine ausreichende Anzahl der BB609 bekommen. Wir haben auch Versuche mit der BB 405 gemacht, die noch bei Conrad Electronic für ca. 90 Cent zu bekommen ist. Zwei von diesen parallel geschaltet funktioniert auch.

Die Platine ohne Lötstopplack zu bestücken,

ist für Anfänger, die noch nie gelötet haben, nicht ganz einfach. Nach einigen Lötübungen an alten Platinen hat es dann doch geklappt. Nach dem Bestücken habe ich die Platinen dann mit der Lupe kontrolliert und die eine oder andere Lötbrücke beseitigt.

Da der Empfänger im ursprünglichen Frequenzbereich nur von lizenzierten Amateuren betrieben werden darf, wurde der Empfang in das UKW-Rundfunkband gelegt. Der Frequenzbereich wurde noch mit meinem alten R&S SMDU geprüft.

Alle Empfänger funktionierten dann auch nach sorgfältiger Kontrolle beim ersten Einschalten. Insgesamt ein lohnendes Projekt, das den Schülern riesigen Spaß bereitete. Mit solchen Projekten kann man die Schüler begeistern.

**J. Hidde (DL2PR)**

Wir freuen uns sehr über diesen Bericht und würden uns über weiteres Feedback von anderen Schulen ebenfalls sehr freuen.

Es wäre ja auch denkbar, für das „Miniprojekt“ in Elektor gezielt Vorschläge und Anregungen von Schulen aufzugreifen und vielleicht auch darüber hinaus solche Vorhaben auch auf der Elektor-Website mit einem Forum und Infoseiten zu unterstützen.

## Mac und Mikrocontroller

Ich habe mir ein AVR-USB-Board gekauft und würde gerne das Programmieren des Boards erlernen. Durch die verständlichen Artikel in ihrer Zeitschrift bin ich hoch motiviert, aber da gibt es ein kleines Problem.

Ich habe ein neues Macbook von Apple mit dem Betriebssystem Leopard und finde nach langem, wirklich langem Suchen nicht ein einziges Programm, mit dem ich mein Board programmieren kann.

Es gibt im Internet einige komplizierte Anleitungen, wie es anzustellen wäre, jedoch sind die meisten davon kaum nachvollziehbar. Gibt es irgendeine Software, die ich verwenden kann?

Wenn nicht: Wäre es nicht einen Artikel wert, in dem Sie erklären, wie es anzustellen wäre? Ich meine damit wirklich nachvollziehbar und nicht diesen Wirrwarr, der im Internet verbreitet wird.

**Peter Pantott**

*Ich selbst verwende über 20 Jahren Macs für alle möglichen Zwecke. Aber in Sachen Mikrocontroller kann ich Ihnen nur raten:*

*Versuchen Sie es gar nicht erst, passende Software zu finden. Die gibt es so gut wie überhaupt nicht.*

*Aber die Lösung haben Sie in den Händen: Das Macbook nämlich. ;-)*

*Installieren Sie mit Bootcamp einfach zusätz-*

*lich Windos XP auf einer kleinen Partition. 6 GB sollten für diese Zwecke locker ausreichen. Dann haben Sie mit dem Mac vollen Zugriff auf alles, was es so gibt. Ich selbst mache das auch so und fahre gut damit.*

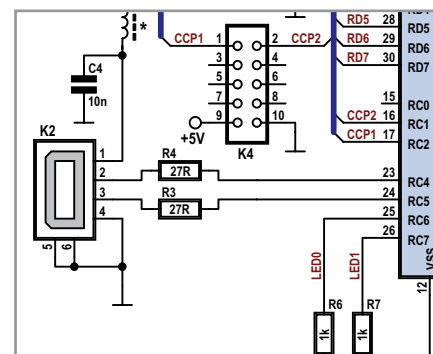
**Dr. Thomas Scherer**

## Updates und Ergänzungen

### Datenakquisition über USB,

Elektor November 2007, S. 18

(Platine 070148-1)



Im Schaltplan sind die beiden USB-Leitungen zwischen USB-Buchse K2 und dem Mikrocontroller IC1 vertauscht. Wie es richtig ist, zeigt der Schaltplanausschnitt: Pin 2 von K2 ist mit Pin 23 (RC4) von IC1 und Pin 3 von K2 ist mit Pin 24 (RC5) von IC1 zu verbinden. Auf den Platinenlayout-PDFs bei [www.elektor.de](http://www.elektor.de) ist der Fehler seit dem 27.11.2007 korrigiert, und der Fehler wurde zum Glück noch rechtzeitig bemerkt, so dass im Elektor-Shop keine fehlerhaften Platinen ausgeliefert wurden.

## MailBox

In dieser Rubrik veröffentlichen wir Kritik, Meinungen, Anregungen, Wünsche oder Fragen unserer Leser. Die Redaktion trifft die Auswahl und behält sich Kürzungen vor. Bitte geben Sie immer an, auf welchen Artikel und welche Ausgabe (Monat/Jahr) sich Ihr Schreiben oder Mail bezieht.

Sie erreichen uns per E-Mail [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de),

per Fax (02 41/88 909-77)

oder unter der Anschrift:

Redaktion Elektor  
Süsterfeldstr. 25  
52072 Aachen



# AM und doch Stereo

Von Burkhard Kainka

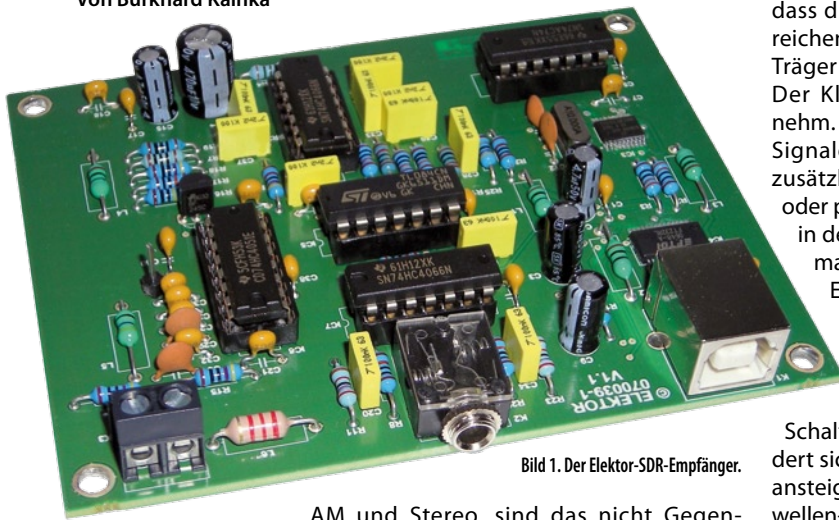


Bild 1. Der Elektor-SDR-Empfänger.

AM und Stereo, sind das nicht Gegensätze? Klar, die meisten Radios spielen in den AM-Bereichen nur Mono, und die Sender auch - zumindest in ganz Europa. Ganz Europa? Nein, da gibt es ein kleines Dorf nahe Paris, Villebon sur Yvette, da sendet France Bleu [1] auf 864 kHz in AM-Stereo[2]. Und das kann man in den Abendstunden sogar in weiten Teilen Europas hören, dank einer Leistung von 300 kW. Und die Musik ist auch nicht schlecht! Der Sender verwendet das in den USA übliche Motorola C-QUAM [3]. Ein Quadratur-Amplituden-Signal enthält auf den realen Seitenbändern die Summeninformation R+L und auf dem um 90° verschobenen Quadratursignal die Differenz L-R. Für den Empfang gibt es auch einen Decoder, den MC13028. Man findet sogar ein paar Radios, die diese Betriebsart unterstützen. Neu ist, dass AM-Stereo jetzt auch per Software demoduliert werden kann. Denn Bernd Reiser hat in sein Programm SoDiRa [4] nun auch diese Betriebsart aufgenommen. Als Hardware empfiehlt sich der Elektor-SDR-Empfänger mit USB-Interface aus dem Heft 5/07 (Bild 1). Bild 2 zeigt das C-QUAM-Signal im Spektrum. Man erkennt deutliche Unterschiede zwischen dem unteren und dem oberen Seitenband. Das Signal wird mit dem Elektor-SDR und einer Langdrahtantenne (am Standort Essen) in guter Qualität empfangen. Den Stereo-Modus wählt man im Dialog-Menü (Bild 3). Wichtig ist,

Mit SoDiRa und dem Elektor-SDR

dass die Abstimmung ausreichend genau ist und der Träger synchronisiert wird. Der Klang ist sehr angenehm. Auch bei schwachen Signalen entstehen keine zusätzlichen Verzerrungen oder plötzliche Übergänge in den Mono-Modus, wie man es von UKW kennt.

Es spielt auch keine Rolle, wenn der Stereo-Pilotton bei 25 Hz nicht erkannt wird, denn für die Dekodierung muss nur der AM-Träger stabil stehen.

Schaltet man bei einem normalen AM-Sender auf Stereo um, ändert sich normalerweise nichts, allenfalls das Rauschen kann leicht ansteigen. Interessante Stereo-Effekte ergeben sich aber bei Kurzwellen-AM-Stationen, die von Mehrfachempfang und damit von selektivem Fading betroffen sind. Der Klang wandert dann mit dem Fading durch den Hörraum.

## Stereo mit zwei Mono-Radios

Sie haben kein AM-Stereo-Radio und auch keinen SDR-Empfänger, wollen aber trotzdem einmal hören, wie France Bleu in Stereo klingt? Dann nehmen Sie doch einfach zwei ganz normale AM-Radios, es dürfen auch zwei alte Röhrenradios sein. Stimmen Sie zunächst beide Empfänger auf 864 kHz ab. Verstimmen Sie dann eines der Radios etwas nach oben, das andere etwas nach unten. Wenn sie dann noch etwa gleich laut sind und günstig aufgestellt wurden, hören Sie tatsächlich Stereo! Warum das überhaupt funktioniert? Durch Verstimmen der Empfänger auf die Flanke des ZF-Filters kann man erreichen, dass die Phase des AM-Trägers um -45° bzw. +45° gedreht wird. Wenn man ganz optimistisch davon ausgeht, dass das jeweils verbleibende Seitenband weitgehend ohne Phasendrehung durchkommt, erhält man links etwa  $0,7 \cdot (R+L) + 0,7 \cdot (L-R) = 1,4 \cdot L$  und rechts  $0,7 \cdot (R+L) - 0,7 \cdot (L-R) = 1,4 \cdot R$ . Tatsächlich gibt es wahrscheinlich gewisse Phasenfehler im Durchlassbereich und deshalb vermutlich keine perfekte Kanaltrennung. Aber man hört deutlich Stereo, und das auch mit 50 Jahre alten Radios, deren Entwickler noch nichts davon wissen konnten!

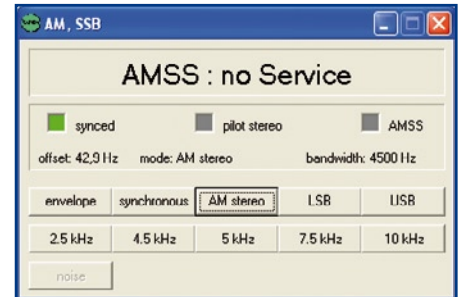


Bild 3. Wahl der AM-Betriebsart.

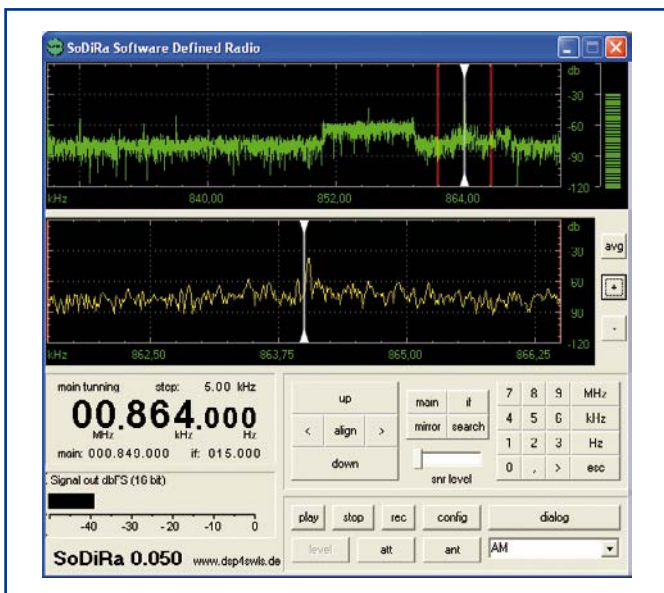


Bild 2. Das Programm SoDiRa.

## Weblinks

- [1] [www.radiofrance.fr/](http://www.radiofrance.fr/)
- [2] <http://pagesperso-orange.fr/tvignaud/am/rbleue/rbleue.htm>
- [3] [www.fading.de/german/amstereo.html](http://www.fading.de/german/amstereo.html)
- [4] [www.dsp4swls.de/sodira/sodira.html](http://www.dsp4swls.de/sodira/sodira.html)

(079026)

Anzeige

**U \*\*\* NEU \*\*\* NEU \*\*\***

## Zefant LC3E

Universelles Spartan-3E  
FPGA Modul

Einführungspreis! **79€**

---

## JTAG-Kabel

kompatibel zu  
Xilinx Impact

**19€**

...und vieles mehr!

**Simple Solutions**  
Individuelle Lösungen in Hard- und Software  
[www.simple-solutions.de](http://www.simple-solutions.de)



# Productronica-Streifzug

Von Klaus H. Knapp

Dem legendären MIT-Professor Joseph Weizenbaum wird der Ausspruch nachgesagt: „Wer sicher wissen will, wohin die Reise geht, der sollte auf dem Fahrersitz Platz nehmen“. Also laden wir unsere Leser ein, neben uns auf dem Beifahrersitz Platz zu nehmen und mit uns die Productronica 2007 [1] zu erkunden. Weit mehr als 400 Fachjournalisten aus rund 30 Ländern kamen nach München (**Bild 1**), um über diese Weltleitmesse zu berichten. Knapp 1.500 Aussteller präsentierten ihre Entwicklungen in zehn Hallen (**Bild 2**), für die sich rund 40.000 Besucher aus 100 Ländern interessierten. Die Ausstellungsschwerpunkte der Messe deckten die ganze Fertigungskette der Elektronik ab. Produktionstechniken für die Bauelemente fanden wir gleichermaßen wie für die Bestückung der Leiterplatten. Die Mess- und Prüftechnik und die Qualitätssicherung waren genau so



Bild 1. So schön wie auf unserem Bild zeigte sich die Productronica 2007 nur gelegentlich - Schnee und der Lokomotivführerstreik bei der Deutschen Bahn setzten den Besuchern zu (Bild: MMI).



Bild 2. Gut gefüllte Hallen mit kompetenten Besuchern - das repräsentierte schon immer die Productronica (Bild: Knapp).

vertreten wie die Produktionslogistik. Es wäre kein großes Problem gewesen, aus den Ausstellungsstücken ganze Fertigungslinien zusammen zu stellen.

## 100.000 Bauelemente pro Stunde

Dieses Riesenangebot bedarf der Gliederung. 15 Ausstellungsbereiche hatte man dafür geschaffen, einige überwältigten durch ihre Größe und Vielfalt, wie die Löt- und Bestückungstechnik. Hier ging es vor allem um Produktivitätsverbesserungen bei weiter schrumpfenden Bauelemente-Dimensionen. Wir haben eine sehr große Zahl von Bestückungsanlagen gesehen – mit teils verwirrenden Leistungsangaben, die üblicherweise in cph (components per hour) angegeben



Bild 3. Der neue Bestückungsautomat Siplace X4i dürfte derzeit einen Weltrekord an montierten Bauteilen pro Stunde aufstellen. Leider haben noch nicht alle Hersteller auf die neue Bewertungsnorm umgestellt, was Vergleiche erschwerte (Bild: Siemens).

werden. Allerdings sind die Zahlen oft nicht vergleichbar. Manchmal wird die theoretische Spitzenleistung beziffert, die in der Praxis nie erreicht werden wird. Siemens hatte seine neue Siplace X4i [2] (**Bild 3**) schon auf die „IPC9850“-Bewertungsnorm [3] ausgerichtet: Weltrekordverdächtige 102.000 Bauelemente pro Stunde wurden spezifiziert; nach „alter“ Rechnung wären das sogar 135.500 Bauelemente pro Stunde gewesen. Zahlen von über 100.000 sah man auch noch bei anderen Ausstellern, was aber vermutlich theoretische An-



Bild 4. Elektronik von der Rolle - hier demonstriert durch Dr. Karl-Heinz Bock von der Fraunhofer-Gesellschaft (Bild: Knapp).



gaben waren.

Am anderen Ende rangieren flexible Kleinanlagen, die sich sehr gut für die Prototypenfertigung eignen. Die schweizerische Essemtec [4] hatte dafür ein paar Beispiele: Mit einer Bestückungsleistung von 4.500 Bauelementen pro Stunde passt sie sich den Erfordernissen von Kleinserien an.

Als Wachstumshemmnis gilt in der Branche der Fachkräftemangel. Das liegt auch daran, dass es hier um die Produktion von Elektronik geht. Traditionell nämlich wird mehr Maschinenbau studiert als Elektrotechnik – aber in dieser Sparte müssen nun mal hinreichend Kenntnisse der Elektronik vorhanden sein, um gute Fertigungsgeräte zu bauen.

## Fernglas für das „Morgen“

Innovative Technologien hatten schon immer einen hohen Anteil auf dieser Messe. Typisch dafür ist die Photovoltaik. Eine großzügige Förderung hat Deutschland mittlerweile an die Spitze gebracht. Die Deutschen stellen etwa 50 % des Photovoltaik-Weltmarktes (Umsatz 2006: ca. 5 Mrd. €), sie sind auch die Nummer 1 weltweit, was die Nutzung durch Endverbraucher angeht. 25 % der weltweit produzierten Solarzellen kommen aus Deutschland. Im vergangenen Jahr wurde weltweit eine Leistung von ca. 1,5 GW neu installiert – mehr als die Leistung eines Kernkraftwerks. Vorsichtige Prognosen nennen für 2011 eine Gesamtleistung von 7 GW weltweit, mit überwiegendem Wachstum in Europa.

Auch bei der organischen Elektronik hat die Zukunft schon begonnen. Diese könnte wohl die Schlüsseltechnologie für das 21. Jahrhundert werden. Dünner, leichter, flexibler und billiger sollen die Produkte sein, und das in naher Zukunft auch im Nanometermaßstab. Damit würden zum Beispiel Abgassensoren möglich werden, mit denen man sogar einzelne Moleküle diagnostizieren kann. Sie könnten zur Optimierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emission beitragen. Mit ihren spezifischen Eigenschaften ist die organische Elektronik ein heißer Kandidat für eine Massenproduktion „von der Rolle“ (Bild 4). Ein Anwendungsbeispiel hatte auf der Productronica Premiere: Interaktive Pappkarten mit gedruckter Elektronik [5] (Bild 5). Wir haben sie ausprobiert: Mit Hilfe eines kleinen Lesegeräts stellen diese billigen Datenträger Verbindungen zu den Webseiten der werbenden Firmen her – ein neues elektronisches Marketinginstrument.

Als weitere Treiber der Elektronik wurden in München die MEMS (Mikro-Elektromechanische Systeme) ausgemacht. Angefangen hat alles anno 1994 mit Beschleunigungssensoren im Airbag. Später kam dann der Drehratensensor hinzu, der durch den „Elchtest“ berühmt geworden ist. Mittlerweile findet man MEMS-Beschleunigungssensoren auch in digitalen Kameras gegen das Verwackeln von Bildern, dennoch bleibt der Automobilmarkt derzeit der größte Abnehmer. Hier werden neue Anwendungen hinzukommen: MEMS-Mikrophone zum Beispiel oder Hochfrequenz-MEMS. Man wird verschiedene Sensoren in einem Chip kombinieren und dabei neue Sensoren (z.B. zur Messung des Erdmagnetfeldes) integrieren. Auf der nächsten Productronica wird das Testen von MEMS sicher auch ein Thema sein.

## Systeme statt Produkte

Wie man auf der Mikro-Ebene Systeme zusammensetzen kann, zeigte eine Sonderausstellung „Systems in Package“. Manches hat man da schon gesehen, aber kaum in der hier gezeigten Komplexität. Die Technologietrends für die Elektronik sind rasch aufgezählt: Höchste Miniaturisierung, Schritt in die dritte Dimension, „Chipthinning“ (d.h. das „Abschleifen“ der Chips auf unter 10 µm Dicke; NXP hat bereits 6 µm erreicht). Damit steigt die „Stapelfähigkeit“ der Chips in einem Flachgehäuse auf zehn Chips und mehr an, was für Mobiltelefone sehr gefragt ist. Diese „gedünnten“ Chips sind dann schon durchsichtig (Bild 6). Dabei werden nicht nur Speicher und Prozessoren gestapelt, sondern auch Hochfrequenzbausteine, Sensoren und Aktuatoren. Derartig dünne Chips lassen sich sogar in die Leiterplatten

hineinsetzen, zwischen die einzelnen Ebenen.

## Originellste Idee

Leica Microsystems [6] überraschte mit einem Stereomikroskop, das die Auflösungsgrenzen der bisherigen Lichtmikroskope sprengt (Bild 7). Die Auflösung von optischen Mikroskopen wird durch die Linsen beschränkt, die – wegen der Lichtbrechung im Glas – gekrümmt sein müssen. Das wiederum steht der Auflösung entgegen. Mit mehreren

Linse in Abfolge kann man die Ergebnisse verbessern, aber irgendwann ist Schluss. Bildauflösung und Tiefenschärfe haben optisch ihre Grenzen. Leitz hat nun versucht, die beiden Begrenzungen – jede für sich – in je einem der beiden optischen Strahlengänge des Stereomikroskops zu erhöhen. Im linken Strahlengang wird eine möglichst hohe Tiefenschärfe erbracht,



Bild 5. Diese billigen Papp-Karten enthalten gedruckte Elektronik und sind ein schönes neues Marketing-Instrument für Unternehmen: Über einen Kartenleser bekommt man eine PC-Internetverbindung zur Firmen-Homepage (Bild: Knapp).

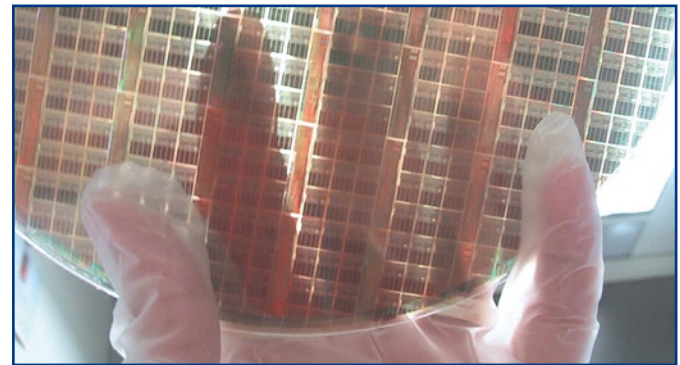


Bild 6. „Gedünnte“ Chips sind heute in Mobilfunkgeräten schon Standard (der hier gezeigte Siliziumwafer wurde auf weniger als 40 µm „gedünnt“ (Bild: IBM).

im rechten Strahlengang das Bild in möglichst hoher Auflösung bereitgestellt. Das menschliche Gehirn kombiniert diese beiden Informationen und fügt sie zu einem Stereobild von bisher nicht erreichter Auflösung zusammen. Das menschliche Hirn als Integrator: Vielleicht steht diese Idee überhaupt hinter der ganzen Productronica.

(070973)

- [1] [www.productronica.de](http://www.productronica.de)
- [2] <http://ea.automation.siemens.com>
- [3] [www.ipc.org](http://www.ipc.org)
- [4] [www.essemtec.com/d](http://www.essemtec.com/d)
- [5] [www.printed-systems.de](http://www.printed-systems.de)
- [6] [www.leica-microsystems.com](http://www.leica-microsystems.com)



Bild 7. Ein Stereomikroskop, bei dem das linke Auge etwas anderes vom Objekt wahrnimmt als das rechte. Das Gehirn setzt beide Teilbilder zusammen. So gewinnt man eine Detailauflösung, die bisher mit optischen Stereomikroskopen nicht erreichbar war (Bild: Leica Microsystems).

### Kostenlose Entwicklungsumgebung für ARM

Hitex hat seine kostenlose Entwicklungsumgebung, die „Hitex Developer Suite for ARM“ (HDS), neu aufgelegt. Die neue Suite enthält einen unlimitierten HiSIM Instruction-Set-Simulator, die HiTOP IDE mit Debugger, einen GNU C-Compiler, eine Evaluierungsversion des Tasking VX C-Compilers für ARM sowie Application Notes für das Compiler-Benchmarking.

Mit der HDS können sich Anwender rasch mit den ARM-spezifischen Funktionen und der universellen HiTOP-Debug-Software vertraut machen. Die neueste HiTOP-Version erlaubt eine vollständige Integration von Compilern wie z.B. des erwähnten Tasking C-Compilers. Außerdem bietet HiTOP für alle gängigen ARM-Derivate jetzt Template-Files, mit denen sich die wesentlichen Einstellungen besonders schnell vornehmen lassen. Ergänzt wurde auch ein graphischer SFR-Editor (Special Function Register).

[www.hitex.de/download.html](http://www.hitex.de/download.html)



### 32-bit-Controller von Microchip

Die wichtigste Nachricht des „Controller-Monats“: Microchip stellt mit der PIC32-Familie erstmals 32-bit-Mikrocontroller vor. Anschlussbelegung, Peripherie und Entwicklungswerkzeuge sind mit den 16-bit-MCUs und DSCs des Herstellers kompatibel. Die ersten sieben Controller der PIC32-Familie arbeiten mit bis zu 72 MHz und bieten bis zu 512 KB Flash-Speicher und 32 KB RAM sowie einen 16 bit breiten Parallel Master Port zur Unterstützung zusätzlicher Speicher und Displays. Die Familie basiert nicht auf einem ARM-Core, sondern auf der MIPS32-Architektur. Der MIPS32 M4K-Kern leistet 1,5 DMIPS/MHz and bietet eine fünfstufige Pipeline, eine hardwaremäßige Multiply-Accumulate-Einheit und bis zu 8 Sets von 32 Kernregistern.

Alle PIC32-Produkte werden durch die Entwicklungswerkzeuge von Microchip unterstützt. Hierzu gehören die MPLAB IDE, der neue MPLAB C32 C-Compiler, das MPLAB REAL ICE Emulationssystem, der MPLAB ICD 2 In-Circuit Debugger und die Explorer 16 Entwicklungsplatine (siehe Elektor April 2007). Der PIC32 wird weiterhin durch MIPS-basierte Werkzeuge unterstützt – hierzu gehören C- und C++-Compiler, IDEs und Debugger. RTOS-Unterstützung und GUI-Tools sind ebenfalls von verschiedenen Anbietern erhältlich, die vollständige Liste der Drittanbieter kann unter [www.microchip.com/PIC32](http://www.microchip.com/PIC32) eingesehen werden. Ein PIC32-Starter-Kit zum Preis von 49 US-\$ wird inklusive der MCU-Platine mit USB-Spannungsvorsorgung, MPLAB IDE und MPLAB C32 C-Compiler, Dokumentation, Beispielen mit Tutorials, Schaltplänen und kompatiblen 16-bit-Peripheriebibliotheken geliefert.

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

Quelle: [www.channel-e.de](http://www.channel-e.de)  
(070980)

Anzeige

# PCB-POOL®

**1dm<sup>2</sup>**

- + Stopplack (für beide Seiten gleich)
- + Einrichtung
- + Fotoplot
- + MwSt.

€ 48,<sup>86</sup>\*

\*Preisbeispiel für 8 AT zzgl. Versandkosten UPS Standard (D) € 6,90

DIN EN ISO 9001:2000  
Zertifikat Nr. 01 100 004044

**WATCH "ur" PCB®**

Überwachen Sie die Produktion Ihrer Leiterplatten in **REALTIME**

ROHS / WEEE konform

**Industrie Qualität**

ISO 9001:2008

**PÜNKTLICH oder KOSTENLOS!**  
(\*) oder früher, gibt bei 3-4 AT Elementen

**Kooperationspartner [conrad.com](#)**  
Conrad Electronic DEUTSCHLAND / ÖSTERREICH / SCHWEIZ

*Einfach Datei senden und ONLINE bestellen:*  
**PCB-POOL.COM**

**Beta**  
Layout  
Tel.: 0 61 20 / 90 70 10  
Fax: 0 61 20 / 90 70 14  
info@pcb-pool.com

### Winziger Linux-Computer

Der schwedische Embedded-PC-Spezialist Hectronic hat mit dem H6043 ein kostengünstiges ARM9-basiertes Embedded-Linux-PC-Board angekündigt. Mit Maßen von 52,5 mm x 20 mm ist das Board einer der kleinsten momentan erhältlichen Linux-Computer (es gibt aber zumindest noch einen kleineren, siehe [www.picotux.de](http://www.picotux.de)).



Das Modul wird "ready-to-run" geliefert, inklusive Software (Open-source Linux Board Support Package), 32 MB Low-Voltage-DRAM, 16 MB Flash, SPI- und I2C-Interfaces, GPIO- und USB 2.0 Port. Das batteriebetriebene Board verfügt über einen integrierten Li-Ion-Lader, der über den USB versorgt wird. Die maximale Leistungsaufnahme soll bei 450 mA, der typische Wert bei nur 100 mA liegen.

Zum H6043, das in Hunderter-Stückzahlen ab 99 US-\$ erhältlich ist, wird außerdem ein Carrierboard mit verschiedenen Erweiterungsmöglichkeiten (USB-Host, RFID) angeboten. Wer noch mehr Optionen wünscht, kann das kreditkartengroße Embedded-PC-Board H6042 bestellen. Neben dem ARM-Controller ist hier sogar ein FPGA-Chip onboard. Dazu kommen Ethernet und viele weitere Features.

[www.heckronic.se/arm\\_products.html](http://www.heckronic.se/arm_products.html)



# elekTermine

## JANUAR 2008

**7. - 10.** Las Vegas (USA)  
**Consumer Electronics Show**  
 In Vegas sieht man Technik von morgen und übermorgen - eine Reise könnte sich lohnen. In diesem Jahr wird die Automobil-Elektronik einer der Schwerpunkte sein.  
[www.cesweb.org](http://www.cesweb.org)

**12.** Leipzig  
**Elektor Röhren-Workshop**  
 Mit den bekannten Röhren-Experten Menno van der Veen und Rainer zur Linde. Neben Grundlagenwissen wird viel Wert auf die Praxis gelegt.  
[www.elektor.de/workshop](http://www.elektor.de/workshop)

**29. + 30. + 31.**  
 München / Nürnberg / Stuttgart  
**LabView 8.5 Tage**  
 Auf der kostenlosen Veranstaltung wird die neueste Version der grafischen Entwicklungsumgebung LabVIEW präsentiert. Weitere Termine siehe Website.  
[http://digital.ni.com/worldwide/germany.nsf/sb/Events?OpenDocument&node=163200\\_d](http://digital.ni.com/worldwide/germany.nsf/sb/Events?OpenDocument&node=163200_d)

## FEBRUAR 2008

**12. - 13.** Baden-Baden  
**Autoreg 2008**  
 VDI-Tagung zur Steuerung und Regelung von Fahrzeugen und Motoren. Themen unter anderen: Sensorik, Aktorik, Bus-Systeme und digitale Signalverarbeitung.  
[www.vdi-wissensforum.de/index.php?id=188](http://www.vdi-wissensforum.de/index.php?id=188)

**19. - 21.** Düsseldorf  
**EMV 2008**  
 Der Name dieser Messe ist Programm. Zur elektromagnetischen Verträglichkeit findet parallel ein internationaler Kongress mit Vorträgen statt.  
[www.e-emv.com](http://www.e-emv.com)

**26. - 28.** Nürnberg  
**Embedded World**  
 Neben der Electronica ist diese Messe rund um Mikrocontroller und Co. das Highlight des Jahres. Auch das Konferenzprogramm kann sich sehen lassen. Aktuelle Infos und Vorankündigungen findet man als News unter [www.elektor.de](http://www.elektor.de)!  
[www.embedded-world.de](http://www.embedded-world.de)

Die Leser der Zeitschrift **Elektronik** haben in den letzten Jahren jede neue EAGLE-Version zum **Produkt des Jahres** gewählt.



# Aus gutem Grund die Nummer eins.

**EAGLE 4.1**  
 Schaltplan · Layout · Autorouter

Platinen, die mit EAGLE entwickelt wurden, befinden sich in Patientenüberwachungsgeräten, Chipkarten, Trockenrasierern, Hörgeräten, Autos und Industriesteuerungen. Sie sind klein wie ein Daumennagel oder groß wie ein PC-Motherboard. Sie wurden in Einmannbetrieben oder Großkonzernen entwickelt.

Unter den Top-100-Unternehmen in Deutschland dürfte es kaum eines geben, in dem EAGLE nicht eingesetzt wird. Der entscheidende Grund für den Einsatz von EAGLE ist meist nicht der günstigste Preis, sondern die einfache Handhabung. Hinzu kommt der hervorragende Support, der bei CadSoft grundsätzlich kostenlos ist und jedem Kunden unbeschränkt zur Verfügung steht. Diese Kriterien sind die wahren Kostenkiller!

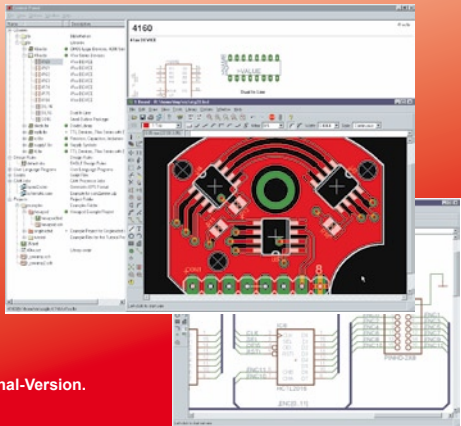
für  
**Windows®**  
**Linux®**  
**Mac®**

### EAGLE 4.1 Light ist Freeware!

Zum Testen und für nicht-kommerzielle Anwendungen dürfen Sie EAGLE Light kostenlos verwenden. Diese Version ist auf Platinen im halben Europaformat mit maximal zwei Signallayern und ein Schaltplanblatt beschränkt. Alle anderen Features entsprechen denen der Professional-Version. Sie steht zum Download im Internet bereit.



Wenn Sie sich für die kommerzielle Light-Version entscheiden, bekommen Sie zusätzlich das Handbuch und die Lizenz für kommerzielle Anwendungen. Unsere Standard-Version eignet sich für Platinen im Europaformat mit bis zu vier Signallayern. In der Professional-Version gibt es solche Einschränkungen nicht.



Preise	Light	Standard	Professional
Layout		238 €	476 €
Layout+ Schaltplan		476 €	952 €
Layout+ Autorouter		476 €	952 €
Layout+ Schaltplan+ Autorouter	49 €	714 €	1428 €

Alle Preise inklusive 19% MwSt. Upgrades zum Differenzpreis

Jedem EAGLE-Paket in der Professional- bzw. Standard-Ausführung liegt ein Gutschein über eine professionell gefertigte doppelseitige Europakarte bei.

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



CadSoft Computer GmbH  
 Hofmark 2, 84568 Pleiskirchen  
 Tel. 08635-6989-10, Fax -40  
 E-Mail : [info@cadsoft.de](mailto:info@cadsoft.de)

Windows ist ein eingetragenes Warenzeichen der Microsoft Corporation. Linux ist ein eingetragenes Warenzeichen von Linux Torvalds. Mac ist ein eingetragenes Warenzeichen der Apple Computer, Inc.

**28. - 29.** Berlin  
**Wireless Automation**  
 Der jährliche Branchentreff der „Fun-ker“ im Bereich der Automation. Gebäudeautomation, Logistik und Verfahrenstechnik sind nur einige der Anwendungen.  
[www.vdi-wissensforum.de/index.php?id=188](http://www.vdi-wissensforum.de/index.php?id=188)

## MÄRZ 2008

**4. - 9.** Hannover  
**CeBIT**  
 Ein absoluter Pflichttermin - unzählige Produkte aus den Bereichen Hard- & Software, Kommunikation und Unterhaltungselektronik werden hier zum ersten Mal gezeigt.  
[www.cebit.de](http://www.cebit.de)

**5. - 6.** Düsseldorf  
**Mobile Netzwerke in der Automation**  
 VDI-Seminar über Wireless-Technologien: Mobilfunk, WLAN, Bluetooth, ZigBee, kabellose Sensoren/Aktoren und vieles mehr.  
[www.vdi-wissensforum.de/index.php?id=180](http://www.vdi-wissensforum.de/index.php?id=180)

**11. - 12.** Dresden  
**Nanofair 2008**  
 Auf dem Kongress steht die Nanotechnologie auf den Gebieten Automobil, Elektronik, Optik, Materialwissenschaften und mehr im Fokus.  
[www.nanofair.com](http://www.nanofair.com)

**11. - 12.** Ludwigsburg  
**Sensoren & Messsysteme 2008**  
 Tagung und Ausstellung zu bildgebenden Sensoren, Sensorarrays, Luftgütesensoren, Kraftfahrzeugsensoren und vielem mehr.

[www.vdi-wissensforum.de/index.php?id=188](http://www.vdi-wissensforum.de/index.php?id=188)

**12. - 15.** Frankfurt  
**Prolight and Sound**  
 Fachmesse mit den Themenschwerpunkten Licht- und Bühnentechnik, Beschallung, Veranstaltungstechnik und Kommunikation.  
[www.prolight-sound.com](http://www.prolight-sound.com)

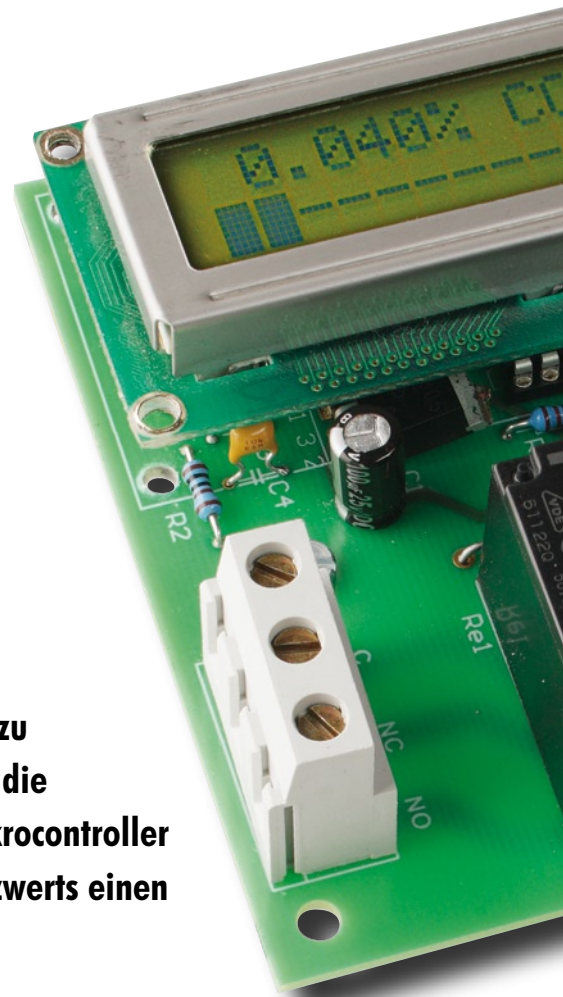
## APRIL 2008

**6. - 11.** Frankfurt  
**Light + Building**  
 Die Fläche von 110.000 m<sup>2</sup> teilen sich die Bereiche Licht, Elektrotechnik (mit dem Fokus auf Sicherheitssysteme und Netzwerke) sowie Gebäudeautomation.  
[www.light-building.messefrankfurt.com](http://www.light-building.messefrankfurt.com)

# CO<sub>2</sub>-Messer

## Watchdog für dicke Luft

CO<sub>2</sub> ist nicht nur eine Gefahr fürs Klima, sondern auch ein wichtiger Faktor für die Luftqualität in Büro- und Wohnräumen, der oft nicht beachtet wird. Eine zu hohe CO<sub>2</sub>-Konzentration führt zu Ermüdungserscheinungen, Konzentrationsstörungen und auch zu Kopfschmerzen. Mit dem hier vorgestellten CO<sub>2</sub>-Messer lässt sich die Kohlendioxid-Konzentration in der Luft einfach ermitteln. Ein Mikrocontroller überwacht den Messwert und kann bei Überschreiten eines Grenzwerts einen Alarm auslösen oder ein Belüftungssystem einschalten.



### Eigenschaften (mit Messmodul CDM4161)

- Misst CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Luft zur Überwachung des Raumklimas
- Unempfindlich für andere Gase sowie Temperatur und Feuchte
- CO<sub>2</sub>-Messbereich: Frischluft (ca. 400 ppm) bis 4000 ppm (0,04 % bis 4 %)
- Schaltausgang 230 V/10 A für Lüftungssteuerung mit vier einstellbaren CO<sub>2</sub>-Grenzwerten
- Schaltausgang 230 V/10 A für Fehleralarm oder Notbelüftung
- Messwertanzeige digital und analog auf LC-Display
- Trendanzeige
- Kein Abgleich, automatische Kalibrierung
- Einfache Stromversorgung durch Steckernetzteil

Welche Eigenschaften, Wirkungen und Nebenwirkungen die sehr stabile Verbindung eines Kohlenstoffatoms mit zwei Sauerstoffatomen hat, ist in einem großen Textkasten in diesem Artikel dargestellt. Die Motivation für den Bau des hier vorgestellten CO<sub>2</sub>-Messgeräts ist jedoch nicht die Klimaforschung, sondern die Überwachung und bei Bedarf auch die Verbesserung der Qualität der Raumluft. Die Konzentration von CO<sub>2</sub> ist nämlich ein guter Indikator für die Luftqualität in Büro- und Wohngebäuden. Ein erhöhter CO<sub>2</sub>-Wert zeigt an, dass gelüftet werden sollte. Unser CO<sub>2</sub>-Messgerät zeigt aber nicht

nur den Wert an, sondern verfügt auch über eine Grenzwertüberwachung, die ein Relais ansteuert. Damit kann man zum Beispiel den Motor eines Lüfters oder den Antrieb einer Lüftungs-klappe bedarfsgesteuert ein- und ausschalten.

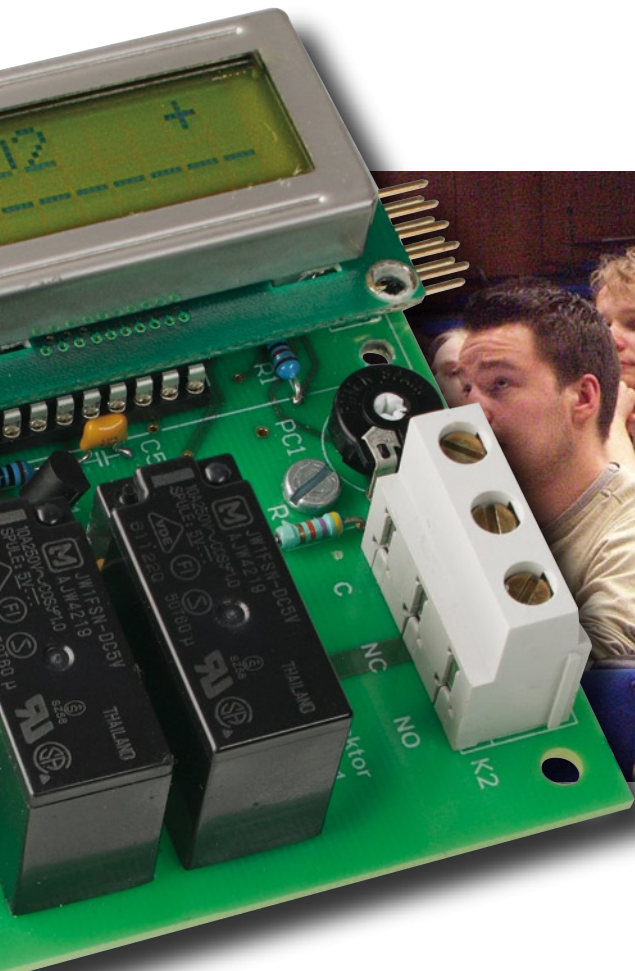
### Sensortechnik

Die bekannteste Methode zur CO<sub>2</sub>-Messung ist die *NDIR-Methode* (Nicht-Dispersive InfraRot-Absorptionsmessung). Sie nutzt die Tatsache, dass CO<sub>2</sub> infrarotes Licht auf einer Wellenlänge von 4,27 µm absorbiert. Mit dieser Methode

kann der CO<sub>2</sub>-Partialdruck sehr selektiv und genau bestimmt werden (vor allem große, absolute CO<sub>2</sub>-Konzentrationen). Die Messung kleiner CO<sub>2</sub>-Konzentrationen erfordert allerdings einen langen optischen Weg durch das Gas, was eine große Bauform und wegen der hochwertigen Optik auch hohe Kosten mit sich bringt.

CO<sub>2</sub>-Sensoren auf Basis von *Nasselektrolyten* sind zwar kompakter, konnten sich aber wegen der begrenzten Stabilität und Haltbarkeit für den Einsatz im Bereich der Raumluftüberwachung nicht durchsetzen. Besser geeignet sind Gassensoren, bei denen ein Feststoff die Funktion des Elektrolyten übernimmt. Eine kommerzielle Serienproduktion ließ aber wegen mangelnder Stabilität und Reproduzierbarkeit sowie einer zu großen Abhängigkeit von der Luftfeuchte noch lange auf sich warten. Erst vor einigen Jahren ist es Figaro, dem bekannten japanischen Hersteller von Halbleiter-Gassensoren, gelungen, ein Verfahren zu entwickeln, mit dem langzeitstabile CO<sub>2</sub>-Sensoren als Standardbauelemente in reproduzierbarer Qualität bei niedriger Feuchtigkeitsempfindlichkeit hergestellt werden können. Das Ergebnis war der Gassensor TGS4160, der bereits in Elektor 11/2004 vorgestellt wurde [1].





Für den hier vorgestellten CO<sub>2</sub>-Messgerät wird eine miniaturisierte Weiterentwicklung des TGS4160, der TGS4161 verwendet. **Bild 1** zeigt den Aufbau des Sensors, der aus einer CO<sub>2</sub>-empfindlichen Festelektrolytzelle auf einem keramischen Substrat besteht, das auf der Rückseite beheizt wird, um Temperatureinflüsse auszuschließen.

Da ein länger andauernder Stromfluss durch die ohnehin sehr hochohmige Messzelle den Sensor zerstören würde, sollte der Eingangswiderstand der Messschaltung über 100 MΩ und der Bias-Strom unter 1 pA liegen. Dies lässt sich aber mit einem handelsüblichen CMOS-Opamp bewerkstelligen (siehe **Bild 2**). Der Kaltwiderstand des Heizelements beträgt etwa 70 Ω. Es wird direkt an 5 V betrieben, wobei sich der Strom bei etwa 50 mA einpendelt, was einer Heizleistung von rund 250 mW entspricht.

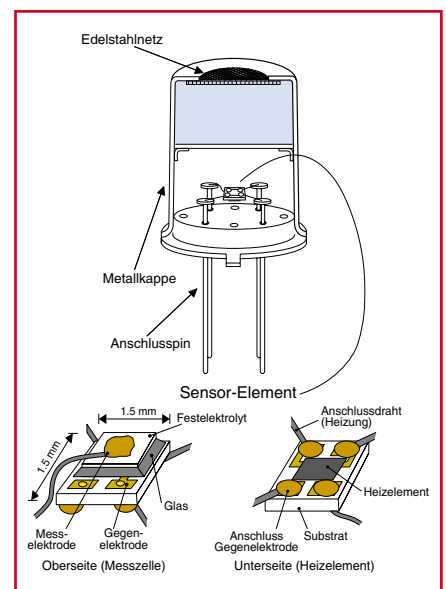
Die Messzelle liefert eine EMK (Englisch: EMF), deren Größe von der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Luft abhängt. Der absolute Wert kann abhängig von Exempleigenschaften und Lagerung variieren. Dagegen bleibt die Differenz ΔEMF zwischen der EMF bei 350 ppm CO<sub>2</sub> („Frischluftwert“) und der EMF bei höheren CO<sub>2</sub>-Konzentrationen sehr stabil. Die ΔEMF des TGS4161 zeigt ei-

nen linearen Zusammenhang mit der auf einer logarithmischen Skala aufgetragenen CO<sub>2</sub>-Konzentration (**Bild 3**). Das Bild zeigt auch die Unempfindlichkeit gegenüber CO und Ethanol.

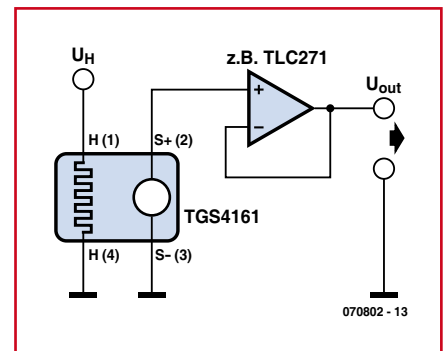
### Messmodul

Wie schon erwähnt, ist der Sensor aufgrund möglicher Drifteffekte für die Messung der absoluten CO<sub>2</sub>-Konzentration weniger geeignet. Hingegen lässt sich CO<sub>2</sub>-Konzentration in Bezug zur „natürlichen“ Frischluft-Konzentration sehr gut ermitteln. Für die Signalauswertung der Zellenspannung wurde von Figaro eine Mikrocontroller-Firmware mit einem speziellen Messalgorithmus entwickelt, der den „Frischluftwert“ als Referenzwert ermittelt und verwendet. Um die Anwendung des CO<sub>2</sub>-Sensors zu vereinfachen, bietet Figaro zwei Messmodule an, die neben dem TGS4161-Sensor eine komplette, ab Werk abgeglichene Auswerteschaltung mit einem Mikrocontroller enthalten. Beim Messmodul CDM4161 in **Bild 4** ist es ein PIC16LF88. Über die wichtigsten Daten informiert **Tabelle 1**, die Anschlussbelegung ist in **Tabelle 2** angegeben.

Der analoge Messausgang (Pin 2) liefert eine Gleichspannung zwischen



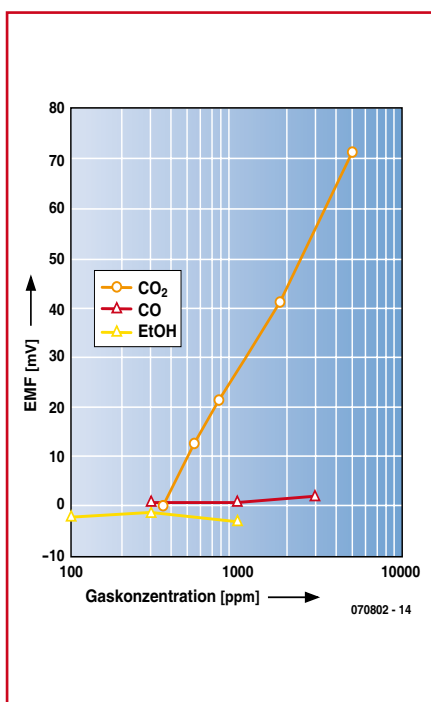
**Bild 1.** Aufbau des Sensors. Die Kathode (Messelektrode) besteht aus einer Lithiumkarbonatschicht (Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) auf Gold, die Anode (Gegenelektrode) nur aus Gold. Dazwischen befindet sich der Festelektrolyt.



**Bild 2.** Das Sensorelement muss extrem hochohmig abgeschlossen werden.

**Tabelle 1. Kurzdaten (CO<sub>2</sub>-Messmodul CDM4161)**

Messbereich	ca. 400 ppm (Frischluff) bis 4000 ppm
CO <sub>2</sub> -Sensor	TGS4161 mit Festelektrolyt (Lebensdauererwartung 10 Jahre unter Normalbedingungen)
Betriebstemperaturbereich	-10 bis + 40 °C
Betriebs-Lufffeuchtebereich	5 bis 70 % rel. Lufffeuchte (Kondensation vermeiden)
Aufheiz-/Kalibrierdauer	2 Stunden
Ansprechzeit	2 Minuten (90 % Änderung)
Genauigkeit	ca ±20 % vom Endwert
Messzyklus-Dauer	1 Sekunde
Leistungsaufnahme	ca. 300 mW
Nennbetriebsspannung	5 V (vergl. Tabelle 2)



**Bild 3. CO<sub>2</sub>-Empfindlichkeit des TGS4161 (und Unempfindlichkeit gegenüber CO und Ethanol).**

0 und 4 V, die einer CO<sub>2</sub>-Konzentration von 0 bis 4000 ppm (0 bis 0,4 %) in der Luft entspricht. An Pin 3 steht ein Schaltsignal zur Verfügung. Dieser Ausgang wechselt von Low auf High (0 V/5 V), wenn ein CO<sub>2</sub>-Grenzwert überschritten wird. Durch das Setzen von zwei Jumpers kann man zwischen vier vorprogrammierten Grenzwerten auswählen (siehe **Tabelle 3**). Das Modul verfügt auch über drei Anzeige-LEDs für die Betriebszustände (siehe Kasten LED-Anzeige). Nach dem Einschalten der Betriebsspannung (5 V an Pin 1) beginnt eine zweistündige Aufwärm- und Kalibrierphase. Während dieser Zeit sollte das Modul von frischer Luft umgeben sein, damit der Mikrocontroller die Schaltung auf den Frischluftwert abgleichen kann. Während dieser Zeit blinkt die grüne LED, und die Ausgangsspannung an Pin 2 beträgt konstant 0,4 V. Wenn diese Phase abgeschlossen ist, brennt die grüne LED kontinuierlich. Die während der Aufheizphase vorgefundene CO<sub>2</sub>-Konzentration bildet

den Referenzwert („base line“), bei dem die Schaltung eine Spannung von 400 mV an Pin 2 liefert. Der Mikrocontroller nimmt also an, dass die CO<sub>2</sub>-Konzentration beim Aufwärmen etwa 400 ppm beträgt. Pro ppm Differenz zum Referenzwert ändert sich die Ausgangsspannung um ca. 1 mV. Eine von 400 ppm abweichende CO<sub>2</sub>-Konzentration beim Aufheizen führt zu einem falschen Referenzwert und dadurch zu einem entsprechenden Offset der Ausgangsspannung und der Schaltschwellen am Steuerausgang Pin 3. Um ein ganz allmähliches Wegdriften des automatischen Abgleichs zu vermeiden, sollte das Modul von Zeit zu Zeit frische Luft mit nicht mehr 400 ppm CO<sub>2</sub> zu schnuppern bekommen. Mit Hilfe eines Tasters auf der Modulplatine lässt sich der Referenzwert auch manuell zurücksetzen beziehungsweise neu justieren. Wird dieser Taster gedrückt, so übernimmt der Mikrocontroller den aktuellen Messwert am Modulausgang als Referenzwert, der 400 ppm zugeordnet wird. Das passiert auch beim Drücken des Tasters während der Aufwärmphase. Die grüne LED hört dann sofort auf zu Blinken, und das Modul betrachtet sich als aufgeheizt und geht in den normalen Betrieb über. Das Trimpoti auf der Platine dient nur dem Abgleich im Werk und soll nicht verstellt werden. Auf der Platine gibt es auch noch zwei Messpunkte, die eventuell von Interesse sein können: An CP3 liegt das gepufferte Signal des TGS4161-Sensors, und an CP4 ein Temperatursignal, das von einem NTC stammt und der Temperaturkompensation des Sensors dient.

**Mini-Messmodul**

1. Anstelle des CDM4161 lässt sich für den CO<sub>2</sub>-Messer auch das neuere Mini-Messmodul CDM4161A (**Bild 5**) verwenden. Es unterscheidet sich hauptsächlich durch die SMD-Bestückung und den niedrigeren Preis von der größeren Ausführung. Anstelle des PIC im CDM4161 kommt hier ein kleiner 16-bit-Controller von Renesas zum Einsatz (R5F211B1SP).

Die wesentlichen Funktionen sind zwar identisch, ein paar Unterschiede gibt es aber doch zu beachten:

- 2. Etwas kleinerer Steckverbinder.
- 3. Kein Reset-Taster auf der Platine.
- 4. Pin 4 ist kein Fehlersignal-Ausgang, sondern ein Reset-Eingang. An Pin 4 kann ein Taster (Schließer) nach

**Tabelle 2. Anschlussbelegung (CO<sub>2</sub>-Messmodul CDM4161)**

Pin-Nummer	Bezeichnung	Details
1	Betriebsspannung + U <sub>B</sub>	3,5 bis 5,5 V, typisch 5 V, maximale Stromaufnahme ca. 60 mA
2	Messspannungsausgang	0,4 V bis 4 V Gleichspannung (bei 400 ppm bis 4000 ppm CO <sub>2</sub> -Konzentration)
3	Schaltausgang	Schaltverhalten siehe Tabelle 3 Low = 0,2 V, High = + U <sub>B</sub> - 0,6 V (typ. bei 1 mA Belastung), max. Spannung 5,5 V, maximale Belastung 25 mA
4	Fehlersignal-Ausgang	Open-Collector-Ausgang, I <sub>C</sub> = max. 100 mA, U <sub>CE</sub> = max. 50 V, schaltet nach Masse, wenn Sensorheizung oder SchwellwertEinstellung unterbrochen ist



High geschaltet werden, der die gleiche Funktion hat wie der Taster auf der Platine des größeren Moduls. Die gleiche Wirkung hat auch das Anlegen eines High-Pegels an Pin 4.

5. Da kein Fehlersignal-Ausgang mehr vorhanden ist, liefern Pin 2 und Pin 3 im Fehlerfall ein Signal: Pin 2 geht im Fehlerfall auf Low (0 V), Pin 3 geht im Fehlerfall auf High. Eine über Pin 3 aktivierte Lüftung wird somit im Fehlerfall genauso eingeschaltet wie bei zu hoher CO<sub>2</sub>-Konzentration.
6. In der Aufwärmphase geht Pin 2 (CO<sub>2</sub>-Messwert 0 bis 4,2 V) auf 4,5 V (beim großen Modul sind es nur 0,4 V).
7. Keine Jumper auf der Platine, daher nur ein einziger, fest eingestellter Grenzwert für das Schaltsignal an Pin 3. Die Schaltschwellen sind:

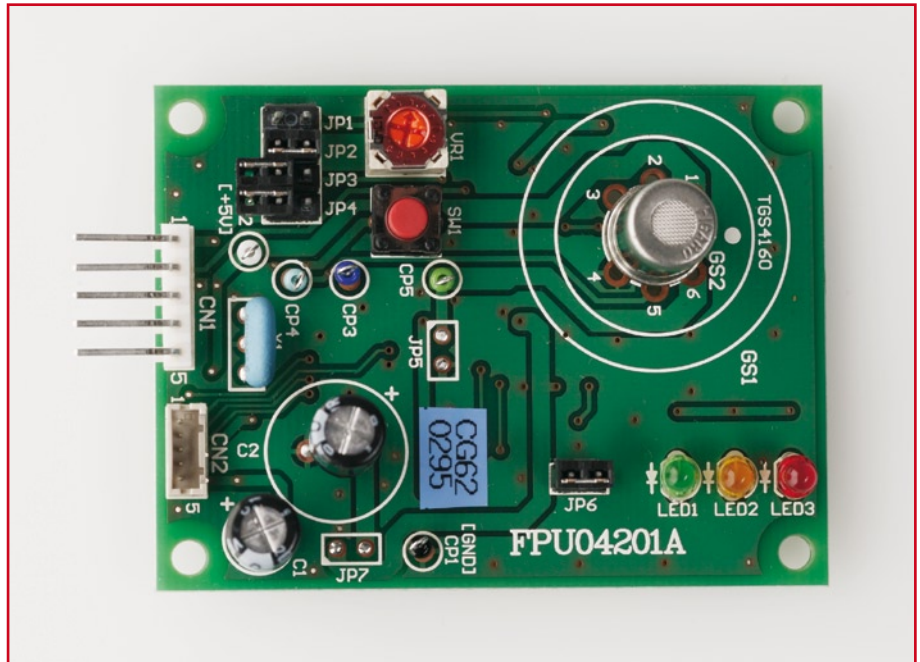


Bild 4. Das Messmodul CDM4161 von Figaro enthält neben dem TGS4161-Sensor eine komplette, ab Werk abgeglichene Auswerteschaltung mit einem PIC-Mikrocontroller (PIC16LF88).

## LED-Anzeige

(CO<sub>2</sub>-Messmodul CDM4161)

### Grüne LED:

Blinkt nach dem Einschalten während der zweistündigen Aufheiz-/Kalibrierphase und leuchtet anschließend kontinuierlich, so lange Modul in Betrieb.

### Gelbe LED:

Fehler-LED, blinkt, wenn der Fehlersignal-Ausgang gesetzt wird (vergleiche Tabelle 1).

### Rote LED:

Zeigt Überschreiten des eingestellten CO<sub>2</sub>-Schwellwerts an, blinkt, wenn der Schaltausgang Pin 3 „High“ ist (vergleiche Tabelle 2).

Low nach High bei 1000 ppm, High nach Low bei 900 ppm.

8. Keine LEDs auf der Platine.

## Basisplatine

Die „eigentliche“ Schaltung des CO<sub>2</sub>-Messers in Bild 6 ist auf einer Platine (Bild 7) untergebracht, auf die das CO<sub>2</sub>-Messmodul an K7 ebenso aufgesteckt wird wie das zweizeilige LC-Display an K8. Es sind Buchsen für beide Modulvarianten (CDM4161 und CDM4161A) vorhanden. Wenn das CDM4161A-Modul eingesetzt wird, gibt es nur zwei Änderungen gegenüber dem Aufbau mit CDM4161: Ein Reset-Taster muss extern (an Pin 4) angeschlossen werden (wenn man ihn haben möchte), und das optionale Relais Re2 entfällt ganz.

Tabelle 3. Jumperbelegung zur Auswahl der Triggerschwellen der Schaltfunktion (CO<sub>2</sub>-Messmodul CDM4161)

Einstellung	JP3	JP4	CO <sub>2</sub> -Grenzwert (ppm)	Schaltausgang Pin 3	Kontakt Relais Re1
I	offen	offen	800 720	Low nach High High nach Low	schließt öffnet
II	offen	gesetzt	1000 900	Low nach High High nach Low	schließt öffnet
III	gesetzt	offen	1500 1350	Low nach High High nach Low	schließt öffnet
IV	gesetzt	gesetzt	2000 1800	Low nach High High nach Low	schließt öffnet

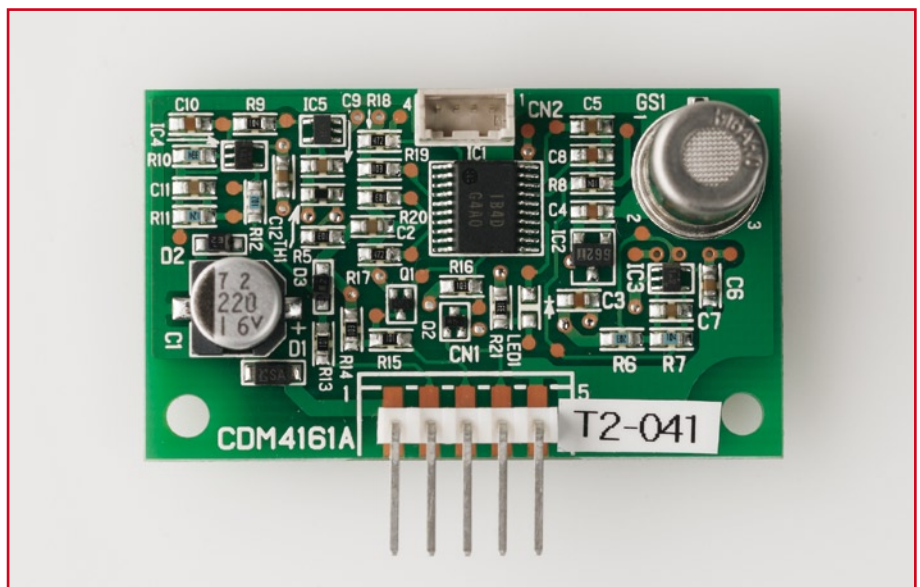


Bild 5. Die Schaltung der CDM4161A-Version unterscheidet sich hauptsächlich durch die SMD-Bestückung, die Abmessungen und den (niedrigeren) Preis von der größeren Platine in Bild 4.

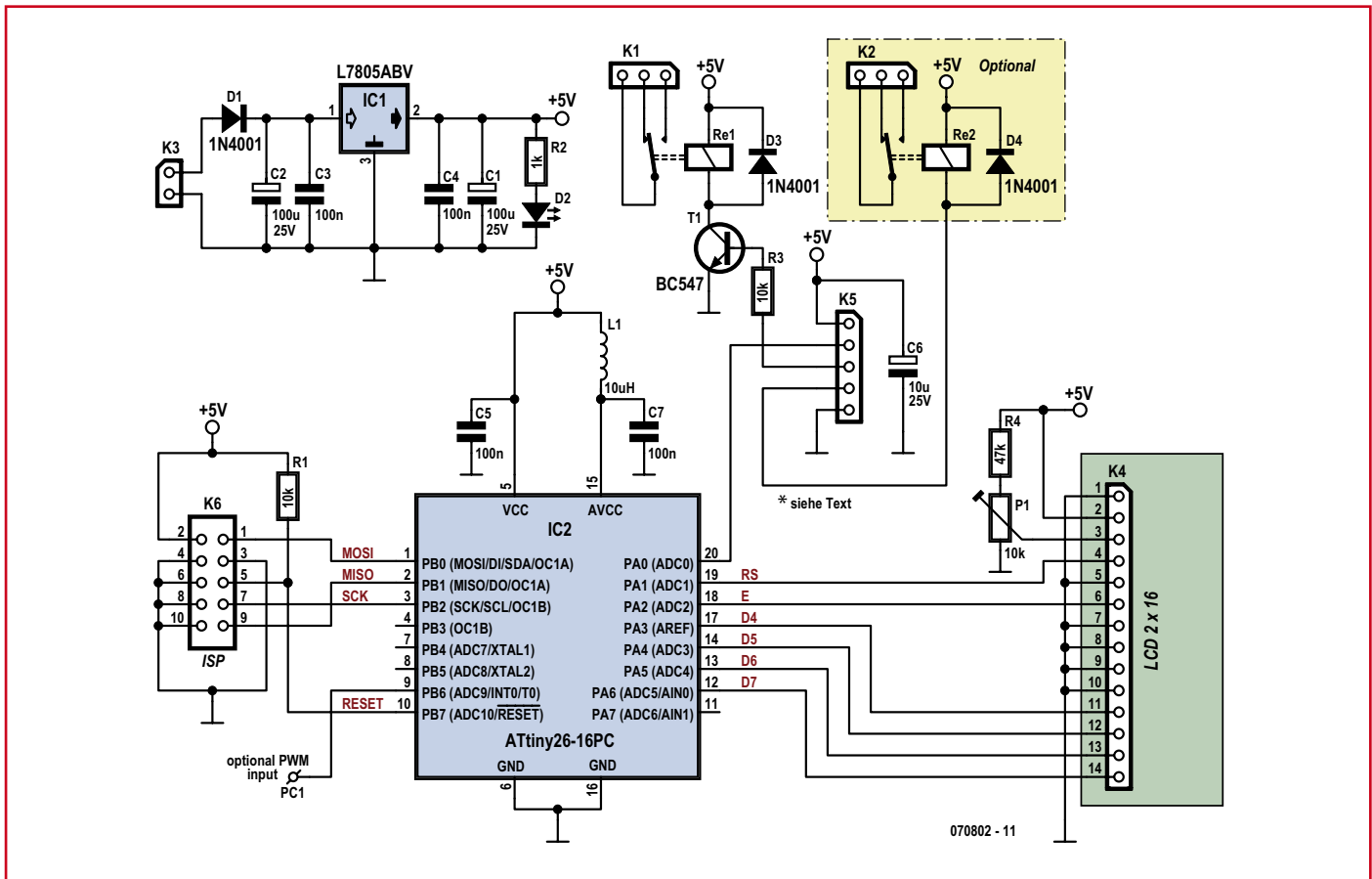


Bild 6. Schaltplan des CO<sub>2</sub>-Messers mit einem Mikrocontroller ATtiny26, der den analogen Messwert des CO<sub>2</sub>-Messmoduls an K7 digitalisiert und ein zweizeiliges LC-Display ansteuert.

Die Schaltung selbst ist sehr übersichtlich. Der Mikrocontroller ATtiny26 (IC2) hat lediglich die Aufgabe, den analogen Messwert des CO<sub>2</sub>-Messmoduls (an Pin 2 von K7) zu digitalisieren und auf einem zweizeiligen LC-Display darzustellen. Das Display zeigt in der oberen Zeile den aktuellen Messwert und den Trend. Ein Plus- oder Minus-Symbol zeigt an, ob die CO<sub>2</sub>-Konzentration zunimmt oder abnimmt. Zusätzlich wird in der unteren Zeile der Messwert durch eine Balkengrafik auch analog dargestellt, wobei der Balken den gesamten Messbereich von 0 bis 4000 ppm überstreicht. Der Kontrast des Displays lässt sich mit P1 einstellen.

Die Stromversorgung für die Schaltung inklusive Messmodul übernimmt der 5-V-Spannungsregler IC1, der an K3 eine Eingangsgleichspannung im Bereich von 8 bis 14 V erwartet. Der Strombedarf der gesamten Schaltung beträgt maximal etwa 150 mA. Zusätzlich zur Anzeige der CO<sub>2</sub>-Konzentration nutzt der CO<sub>2</sub>-Messer mit dem Relais Re1 auch die Grenzwert-

Schaltfunktion, die das CO<sub>2</sub>-Messmodul an Pin 3 von K7 zur Verfügung stellt. Damit lässt sich bei Überschreiten des Grenzwerts ein Belüftungssystem einschalten. An Pin 4 von K7 ist das optionale zweite Relais Re2 angeschlossen, das im Fehlerfall anzieht und zum Beispiel einen Ausfallalarm oder einen Standby-Lüfter schalten kann. Dieses Relais ist wie schon erwähnt nur beim großen Modul verwendbar, weil ja beim Kompaktmodul Pin 4 von K7 als Reset-Eingang dient. Die in der Stückliste angegebenen Relais schalten 230 V bei maximal 10 A.

### Programmieren und verwenden

Der Aufbau der Schaltung gestaltet sich dank der Platine in Bild 8 ziemlich einfach. Der Mikrocontroller ist im Elektor-Shop fertig programmiert erhältlich (siehe Stückliste), man kann ihn aber auch selbst programmieren. Wie (fast) immer finden Sie auf der Elektor-Website den Source- und Hexcode zum Download. In der Download-Datei finden Sie auch die **sehr wichtige** Information, wie die „Fuses“ des Mikro-

controllers ATtiny26 beim Programmieren gesetzt werden müssen. In jedem Fall empfiehlt sich für den Mikrocontroller eine Fassung, damit man ihn gegebenenfalls austauschen oder auch extern programmieren kann. Auf der Platine ist aber auch ein ISP-Anschluss (K6) vorhanden, mit dem der Controller auch direkt auf der Platine mit einem ISP-Programmer (zum Beispiel mit dem USB-Prog von ELEKTOR 10-2007) geflasht werden kann. Bevor man Mikrocontroller, LCD und CO<sub>2</sub>-Messmodul auf die Platine steckt, sollte man die Platine noch einmal auf richtige Bestückung und Lötung kontrollieren und dann das (Stecker-)netzteil (8-14 V DC, 150 mA) an K3 anschließen. Kontrollieren sie nun, ob LED D2 leuchtet und ob an den 5-V-Anschlüssen von IC2 (Pin 5 und 15) sowie an K7 (Pin 1) K8 (Pin 2) und K6 (Pin 2) auch überall 5 V anliegen. Dann das Netzteil wieder abkoppeln und IC2, LCD und CO<sub>2</sub>-Modul einstecken. Noch einmal alles kontrollieren und Netzteil wieder an K3 anschließen. Auf der Modulplatine wird jetzt die grüne LED blinken und das LCD 0,04 % CO<sub>2</sub> anzeigen. Wenn



# CO<sub>2</sub> – nicht nur fürs Klima schädlich

CO<sub>2</sub> – auch Kohlenstoffdioxid oder (vereinfacht) Kohlendioxid genannt, ist ein farb- und geruchloses Gas. Ein Kubikmeter wiegt rund 2 kg (die gleiche Menge Luft dagegen 1,3 kg). CO<sub>2</sub> entsteht bei der Verbrennung (und Verrottung) kohlenstoffhaltigen Materials wie Holz und anderer Biomasse, Erdgas, Erdöl, Kohle und deren Derivaten, aber auch bei der Atmung von Menschen und Tieren. Pflanzen dagegen nehmen CO<sub>2</sub> aus der Luft auf, um den enthaltenen Kohlenstoff im Organismus einzubauen. Daher stellt sich in der Atmosphäre ein Gleichgewicht ein, das freilich, so weiß man aus Analysen von Gletschereis, auch ohne Zutun des Menschen gewissen (periodischen) Schwankungen unterworfen ist.

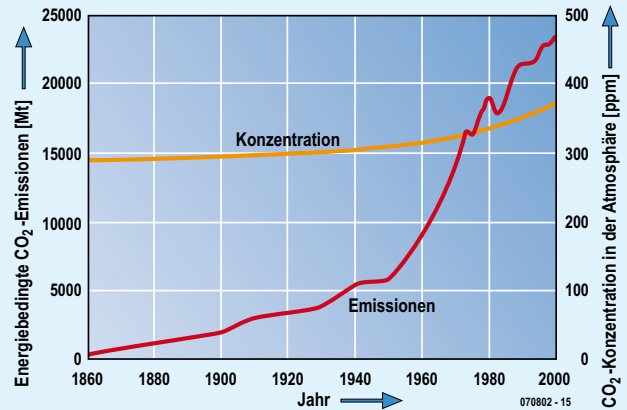
Seit Beginn der Industrialisierung in Europa zu Anfang des 19. Jahrhunderts kommt es durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe (die nichts anderes als umgewandelte Biomasse, also Kohlenstoff-Speicher sind) zu einer menschengemachten, kontinuierlichen Zunahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre. Bei der Verbrennung von 1 Liter Heizöl/Diesel entstehen (neben rund 10 kWh Wärmeenergie) 2,6 kg CO<sub>2</sub>, bei 0,9 m<sup>3</sup> Erdgas (entspricht ebenfalls 10 kWh) sind es rund 2,1 kg. Die weltweite Emission soll 36 Milliarden Tonnen pro Jahr betragen. Inzwischen ist der CO<sub>2</sub>-Anteil so hoch wie seit mindestens 400.000 Jahren nicht mehr, was zusammen mit anderen Treibhausgasen wie Methan (das hauptsächlich aus der Landwirtschaft stammt) zu einer globalen Erwärmung mit nie gekannter Geschwindigkeit führt.

Ein paar Zahlen: In frischer Außenluft herrscht im weltweiten Mittel eine CO<sub>2</sub>-Grundkonzentration von ca. 380 ppm (Parts per Million = 0,0001 %, hier bezogen auf den Volumenanteil in der Luft). Pro Jahr kommen 1,5 bis 2 ppm hinzu. Zum Vergleich: Die CO<sub>2</sub>-Konzentration vor rund 20.000 Jahren lag bei lediglich 220 ppm, zu Beginn der Industrialisierung (1850) waren es etwa 260 ppm. Natürlich ist die Konzentration in Stadtluft noch höher als 380 ppm, was vor allem mit der Gebäudeheizung und dem Straßenverkehr zusammenhängt. Typische Werte liegen bei 700 ppm und mehr.

Diese Zahlen werden in geschlossenen Räumen aber noch weit übertroffen – vor allem, wenn sich viele Menschen gleichzeitig darin aufhalten. Die Konzentration an CO<sub>2</sub> in der menschlichen Ausatemluft liegt bei 4 bis 5 %, was für andere Personen - direkt eingeatmet - im wahrsten Sinne des Wortes schwindelerregend wäre. Bei jedem Atemzug atmet ein Erwachsener rund 30 ml Kohlendioxid aus, bei 16 Atemzügen in der Minute ergeben sich rund 30 Liter pro Stunde. Befinden sich zehn Personen in einem 80 m<sup>2</sup> großen Raum (3 m hoch), so verdoppelt sich die anfängliche CO<sub>2</sub>-Konzentration von 500 ppm auf 1000 ppm innerhalb von nur 1,5 Stunden. Bei 40 Menschen - was noch nicht einmal eine enge Bestuhlung bedeutet - liegt die Konzentration aber schon nach 1 Stunde bei 3.000 ppm (!). In der Praxis wurden in Klassenzimmern nach dem Unterricht schon 4.000 ppm und in Kinos sogar schon Spitzenwerte von 7.000 ppm gemessen!

Was bedeutet das Ganze nun für die Gesundheit? In normalen Konzentrationen ist Kohlendioxid ungiftig, der MAK-Wert (maximale Arbeitsplatz-Konzentration für einen Acht-Stunden-Arbeitnehmer) liegt bei immerhin 0,5 % oder 5.000 ppm. Kurzzeitig werden noch Konzentrationen von 20.000 ppm, das sind 2 %, vertragen. Ab 3 % stellen sich Atembeschwerden ein, ab 6 % soll es zu Lähmungserscheinungen kommen. Die tödliche Dosis liegt bei 8 bis 10 %. In der Tat kommen Todesfälle in Brunnen, Kellern, Silos (vor allem durch Gärprozesse), Bergwerken und so weiter vor. Ähnlich wie bei den weitaus giftigeren Gasen Kohlenmonoxid (entsteht vor allem bei Bränden) oder Schwefelwasserstoff (Jauchegruben und Biogasanlagen) sollte man bei Unfällen auf keinen Fall selbst eine Rettung von bewusstlosen Personen versuchen, denn das Gas ist schwerer als Luft und sammelt sich in Gruben, Senken und tief gelegenen Räumen. Eine Kohlendioxid-Katastrophe ereignete sich 1986 im Kamerun, als der Vulkankratersee Nyos rund 1,6 Millionen Tonnen des Gases ausstieß. Unglücklicherweise „floss“ dieses in zwei tiefer gelegene Täler und erstickte dort rund 1.700 Menschen und unzählige Tiere.

Obwohl in diesem Fall das CO<sub>2</sub> die sauerstoffhaltige Luft verdrängte, ist die Ansicht falsch, dass dessen schädliche Wirkung nur auf diesem Effekt beruht. Schon eine CO<sub>2</sub>-Konzentration von über 2 % führt zu einer Beeinträchtigung des Atemzentrums. Darüber hinaus wird nun mehr CO<sub>2</sub> im Blut gelöst, was das Blut saurer macht (man denke an sauren Sprudel, was nichts anderes als Mineralwasser mit darin gelöstem CO<sub>2</sub> ist). Dies wiederum bewirkt, dass der rote Blutfarbstoff

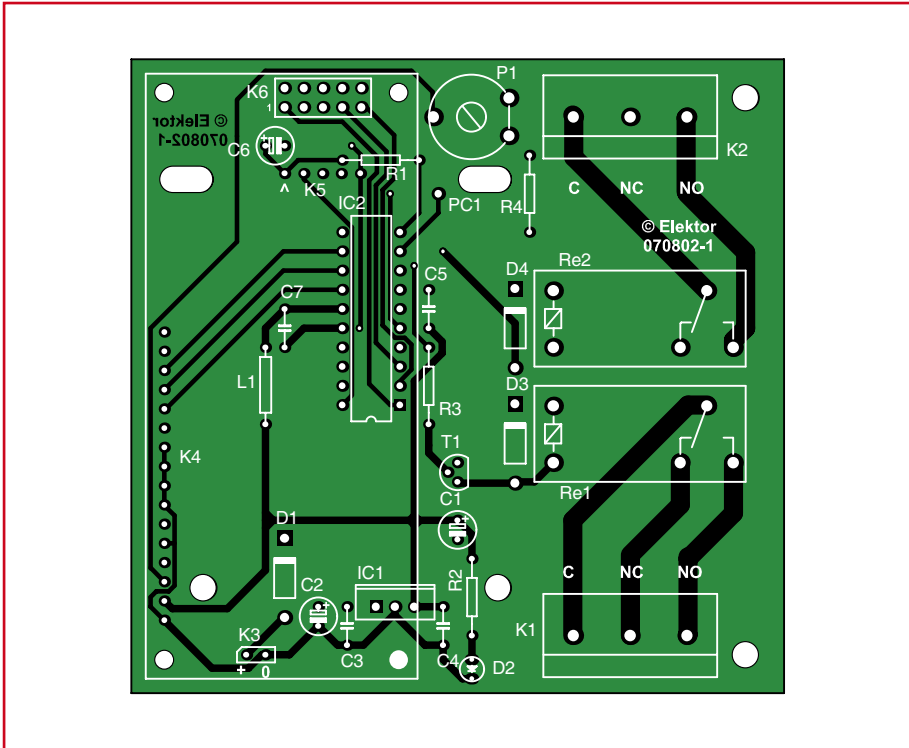


Quelle: www.volker-quaschning.de

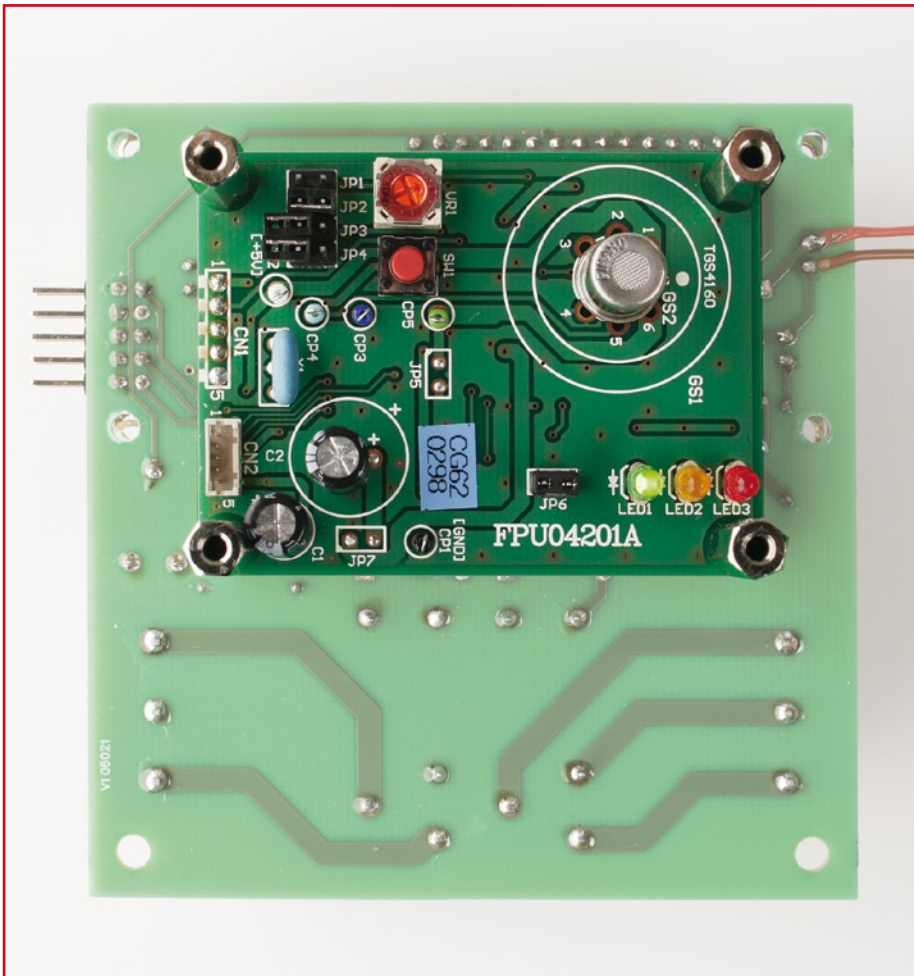
CO <sub>2</sub> -Volumenanteil und Effekte (Angaben in %)	
0,038	Globaler Durchschnittswert (= 380 ppm)
0,07	Stadtluft im Freien
0,08	Zunehmende Geruchsempfindlichkeit
0,14	Stadtluft in Wohnungen
0,4	Maximalwerte in Klassenzimmern
0,5	MAK-Wert für CO <sub>2</sub> (= 5000 ppm)
2	Kurzzeitig vertragener Wert
2,5	Beginnende Rauschzustände bei Tauchern
3	Beginnende Atembeschwerden
4 - 5,2	Ausatmungsluft
5	Auftreten von Schwindel und Bewusstlosigkeit
6 - 8	Lähmungserscheinungen
8 - 10	Tödliche Dosis

Hämoglobin weniger Sauerstoff binden kann. Beide Effekte führen zu einer verminderten Versorgung der Körperzellen mit Sauerstoff, und das wohlgerne auch bei normal gebliebener Sauerstoffkonzentration in der Luft (etwa 21 %). Man kann sich daher in keinem Fall auf eine Kerze als Sensor verlassen!

Auch schon bei viel niedrigeren CO<sub>2</sub>-Konzentrationen kommt es zu Beeinträchtigungen der Gesundheit und des Wohlbefindens. Schon ab 800 ppm steigt die Empfindlichkeit gegenüber Gerüchen, was wohl zum subjektiven Empfinden von „schlechter Luft“ beiträgt. Es sind zwar noch diverse andere Stoffe für die Luftqualität ausschlaggebend, dennoch kann CO<sub>2</sub> als „Leitsubstanz“ für die Ermittlung der Luftqualität in Innenräumen genutzt werden. Vor allem, wenn man einen „belasteten“ Raum betritt, verspürt man das unmittelbare Bedürfnis nach frischer Luft („Konferenzraumeffekt“). Umgekehrt bedeutet das: Wer sich in einem solchen Raum aufhält, nimmt die höhere und höher werdende CO<sub>2</sub>-Konzentration unter Umständen gar nicht mehr wahr. Genau daher ist unser Messgerät nützlich, das neben einer absoluten Anzeige der Kohlenstoffdioxid-Konzentration auch eine Trendanzeige bietet.



**Bild 7.** Die Platine wird im Wesentlichen mit dem Messmodul, dem LC-Display, dem Mikrocontroller und einem (oder zwei) Relais bestückt.



**Bild 8.** Auf der Rückseite der Platine ist das CO<sub>2</sub>-Messmodul CDM CDM4161 montiert.

das Display nichts anzeigt, kann es an der Kontrasteinstellung mit P1 liegen. Wenn Sie jetzt den Reset-Taster des Messmoduls betätigen, wird die grüne LED aufhören zu blinken und dauernd leuchten, gleichzeitig wird sich der angezeigte Messwert schon etwas ändern. Wenn Sie den Sensor jetzt verbrauchte (ausgeatmete) Luft schnupfern lassen, wird der angezeigte Messwert deutlich ansteigen. Ist so weit alles in Ordnung, können Sie den CO<sub>2</sub>-Messer wieder ausschalten und in frischer Luft wieder einschalten, um ihn die zweistündige Aufwärm- und Kalibrierphase durchlaufen zu lassen. Anschließend eingeschaltet lassen – der CO<sub>2</sub>-Messer ist jetzt bereit für Ihre Mess- und Überwachungsaufgaben!

(070802e)

**Links:**

[www.figaro.co.jp/en/make\\_html/item\\_2\\_sen\\_112115.html](http://www.figaro.co.jp/en/make_html/item_2_sen_112115.html) (Datenblätter)

[www.unitronic.de](http://www.unitronic.de) (Distributor für Figaro)

**Stückliste**

- Widerstände:**  
 R1,R3 = 10 k  
 R2 = 1 k  
 R4 = 47 k  
 P1 = Trimpotentiometer 10 k
- Kondensatoren:**  
 C1,C2 = 10 µ/25 V, radial  
 C3..C5,C7 = 100 n  
 C6 = 10 µ/25 V, radial
- Halbleiter:**  
 D1,D3,D4 = 1N4001  
 D2 = Low-current-LED  
 T1 = BC547B  
 IC1 = 7805  
 IC2 = Attiny26-16PC (programmiert: 070802-41\*)

- Außerdem:**  
 L1 = 10 µH (Festinduktivität)  
 LC-Display, 2 x 16 Zeichen, z.B. Displaytech 162  
 K1,K2 = 3-polige Anschlussklemme, RM 7.5 mm  
 K6 = 2x5-polige Stiftleiste, gewinkelt, RM 2,54 mm  
 Re1, Re2\* = 5V-Relais SPDT 250V/10A AC, z.B. Panasonic JW1FSN-5V Figaro CO<sub>2</sub>-Messmodul CDM4161 oder CDM4161A (siehe Text)  
 Platine 070802-1\* oder Bauteilsatz 070802-71\* (komplett mit allen Bauteilen, Platine, programmiertem Controller und CO<sub>2</sub>-Modul)  
 Hinweis: Software- und Layout-Download (gratis) bei [www.elektor.de](http://www.elektor.de)  
 \*siehe Elektor-Shop-Anzeige im Heft und [www.elektor.de](http://www.elektor.de)



## Elektor-Workshops Röhren in Audio- und Instrumentalverstärkern für Audio- und E-Gitarrenfreaks sowie Selbstbauer



Totgesagte leben länger! Das gilt erst recht für die Röhrentechnik, die seit einigen Jahren wieder richtig aufblüht und somit auch die Mythen und Märchen, die sich um die Röhren und deren Technik ranken. Es ist also an der Zeit, das Wissen um die alte-neue Technik wieder aufzufrischen bzw. sich anzueignen.

### Nutzen Sie hierfür die von Elektor angebotenen Röhren-Workshops!

Elektor hat zwei renommierte Referenten gewinnen können:

#### MENNO VAN DER VEEN

(international bekannter Entwickler von Röhrenverstärkern) und

#### RAINER ZUR LINDE

(anerkannter Autor vieler Bücher zum Thema Röhren).

Beide vermitteln technisches Wissen von Grund auf und rücken so die Mythen und Märchen zurecht.



**Termin** **Anmeldeschluss: 07.01.2008**  
**Leipzig (Radisson SAS Hotel)**  
**Samstag, 12. Januar 2008**  
**von 10:00 Uhr bis ca. 16:00 Uhr**



### Teilnehmerbeitrag:

Der Kostenbeitrag beträgt pro Teilnehmer 124,00 EUR (inkl. Mittagsbuffet mit kalten Speisen und Getränken + Zertifikataushändigung).

**Achtung: Elektor-Abonnenten erhalten 5% Rabatt!**

Alle interessierten Teilnehmer erhalten nach ihrer Anmeldung umgehend eine Bestätigung mit allen weiteren Einzelheiten.

### Programmpunkte Röhren-Workshop

(Änderungen und Ergänzungen vorbehalten)

#### 1. Vorverstärkung

- Definition von  $\mu$ , S und  $R_i$
- Inkonstanz der drei Röhrengrundgrößen
- Die Arbeit mit Kennlinienfeldern
- Aussagekraft und Zuverlässigkeit von Kennlinienfeldern
- Die eingeschränkte Aussagekraft von Formeln; Kennlinienfelder besitzen eine größere Aussagekraft
- Statische Lastgerade, Aussteuerung und Verstärkungsfaktor, effektive Ausgangsimpedanz
- Dynamische Lastgerade, Berechnung von  $C_{aus}$ ,  $f_{3L}$  und Katodenkondensator für den tieffrequenten Bereich
- Frequenzverhalten im oberen Audiobereich
- Die Röhre als Modell: Herleitung der grundlegenden formelmäßigen Zusammenhänge; Kennlinien und Interpretation grafischer Daten als Grundlage für den Schaltungsentwurf von Eingangs-Audio-Verstärkern
- Trioden und Pentoden als Anfangsstufenverstärker: unterschiedliche Anforderungen im HiFi- und Instrumentalverstärkerbereich
- Periphere Beschaltung und ihre Wirkung auf das Übertragungsverhalten

#### 2. Endstufen

- Eintakt-Stufen (SE) und ihre Eigenschaften; die Bedeutung des Luftspaltes beim Ausgangsübertrager
- Gegentakt-Endstufen (PP) und ihre Eigenschaften; Bestimmung nach Thomson, Berechnung von Klasse-A, -AB und B.
- Vor- und Endstufenschaltungstechnik der Instrumentalverstärker
- Spezielle Schaltungstechniken und soundbestimmende Elemente: Signalaufbereitung und Frequenzgangbeeinflussung – Der Verstärker als Teil des Instruments
- Beispielhafte Schaltplananalyse legendärer Gitarrenverstärker: Klangformung in den Vorstufen
- Die Besonderheiten von Instrumentalverstärker-Endstufen: Schaltungen kommerzieller Geräte im Eintakt- und Gegentaktbetrieb

#### 3. Transformatoren

- Eintakt-Stufen (SE) und ihre Eigenschaften; die Bedeutung des Luftspaltes beim Ausgangsübertrager

#### 4. Gegenkopplung

- Lokale Gegenkopplung und Über-alles-Gegenkopplung
- Die formelmäßige Darstellung der Gegenkopplung ( $A$ ,  $Z_{aus}$ , THD ...)
- Stabilitätsanforderungen im tieffrequenten Übertragungsbereich
- Stabilitätsanforderungen im höherfrequenten Audiobereich
- Das „Menno-Kriterium“
- Die besonderen Wirkungen der Gegenkopplung im Instrumentalverstärker

#### 5. Nachbesprechung



# Anti Funk

Wenn es nach der Grünen-Chefin Künast ginge, dann würde die Standby-Funktion elektrisch betriebener Geräte generell verboten. In diesem Sinne jedenfalls äußerte Sie sich im Frühling letzten Jahres – eine Provokation, die von der Presse dankbar aufgenommen wurde. Auch wenn so eine Maßnahme für Couch-Potatoes sicherlich gesünder wäre, da so abendliches Fernsehen in fast unerträglichen Sport ausarten würde, und selbst wenn dies tatsächlich volkswirtschaftlich und ökologisch sinnvoll wäre, so bleibt doch die Frage, ob der gemeine Alltagsmensch sich die Abschaffung der Fernbedienung einfach so vorschreiben lassen würde. Eher würde wohl die Hölle zufrieren...

## Verschwender

Tatsächlich sind nicht wenige Gerätschaften der Unterhaltungsindustrie in Sachen Standby-Schaltung eher schlecht als recht konstruiert. Preiswerte Satellitenreceiver haben in der Regel kein extra Netzteil für die Standby-Schaltung. Oft sind sogar große Teile der Elektronik weiter sinnlos in Betrieb und lediglich das Display ist aus kosmetischen Gründen abgeschaltet. Solchen schaltungstechnischen Nachlässigkeiten kommt man unter Umständen schon durch bloßes Handauflegen auf die Spur: Schlimme

Ruhestromverbraucher werden nämlich auch inaktiv ganz schön warm. Genauer (aber nicht ohne Tücken: es grüßen Effektivwerte und die Phasenverschiebung) ist natürlich das Messen des Energieverbrauchs.

Doch nicht nur Billig-Fernostware gehört an den Pranger. Auch manches Marken-TV-Gerät der Röhren-Ära, das immer noch klaglos seinen Dienst tut, verbraucht einige Watt zuviel beim Nichtstun. Und es wäre eine echte Ökomilchmädchenrechnung, einen funktionierenden Fernseher nur wegen zu hohem Standby-Verbrauch zu entsorgen. Ein neues Gerät benötigt bei Herstellung und Transport ja auch Energie - und das nicht zu knapp. Geradezu verrückt ist die Tatsache, dass sich auf dem Gebiet des höchsten High-Tech, bei Computern und deren Peripherie, die übelsten weil vermeidbaren Ökoschweineereien abspielen. So haben die allermeisten Geräte heutzutage keinen echten Netzschalter mehr, sondern sind auch ohne Fernbedienung mit einer Standby-Schaltung beglückt, die dann via Niedervolt-Taster pseudo-ausgeschaltet immer noch einige Watt wirklich sinn- und zwecklos verheizt. Und die Ladeteile moderner Laptops haben schon überhaupt gar keinen Schalter. Die Elektronik dieser Schaltnetzteile bleibt also praktisch immer am Netz.

## Sparer

Soweit die unbefriedigende Ausgangslage, die wohl dem Preisdruck und der Gedankenlosigkeit der Konsumenten wie auch dem konsequenten Nicht-handeln der Politik geschuldet ist, denn leider ist die Angabe der Energieaufnahme im Standby-Modus (und ausgeschaltet) nicht zwingend vorgeschrieben. Anzunehmen, dass sich die Käufer trotzdem diese Daten mühsam besorgen und sich dann danach richten, wäre ziemlich blauäugig. Doch bei den explodierenden Energiepreisen macht das Kleinvieh der Standby-Ver-schwendung eben auch eine Menge Energie aus, die sich einsparen lässt. Das könnte etwas an der Gedankenlosigkeit ändern. Möchte man aber nicht mit Künast'scher Logik zu überzogenen Maßnahmen greifen oder alternativ in die Haltung „kann man ja eh nichts machen“ verfallen, dann gibt es mit Cleverness und Elektronik immer Wege, Energieverschwendung zu reduzieren, ohne dabei steinzeitliche Verhältnisse akzeptieren zu müssen. In Sachen PC & Peripherie gibt es eine relativ einfache Lösung: Eine schaltbare Steckdosenleiste und notfalls eine Master-Slave-Steckdosenleiste schaffen das Problem aus der Welt. Und wer nicht unter den Tisch kriechen, aber auch keine Kabel auf dem



# i-Standby-Switch

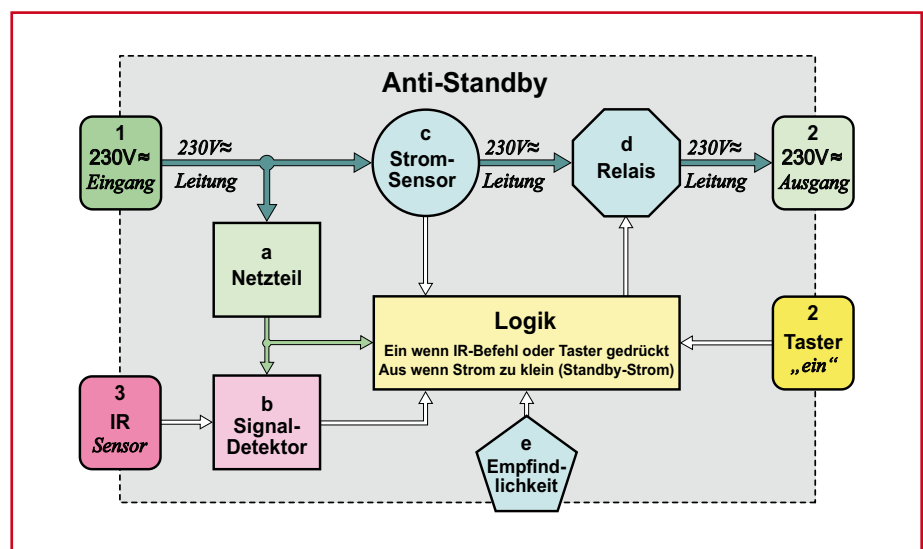
## tioniert auch mit der Fernbedienung!

Von Dr. Thomas Scherer

**Während für Unterhaltungselektronik modernster Fertigung die Vokabel Energiesparen langsam kein Fremdwort mehr ist, verschwenden viele Millionen älterer und auch neuerer Geräte viel zu viel Energie im bequemen Standby-Betrieb. Das hier beschriebene Vorschaltgerät spart Strom – ohne den Komfort einzuschränken!**

Schreibtisch haben möchte, der wähle ein schickes Modell mit herausgeführtem Schalter, wie an anderer Stelle dieser Ausgabe erwähnt. Und die genauere Inspektion der technischen Daten **vor** der nächsten Neuanschaffung ist von einem Elektroniker eigentlich nicht zu viel verlangt, oder?

Bei Geräten der Unterhaltungselektronik aber haben so simple Maßnahmen wie die schaltbare Steckdosenleiste einen entscheidenden Nachteil: Ein- und Ausschalten lassen sich damit nicht mehr per Fernbedienung erledigen. Ein echtes Manko vor allem dann, wenn man den Gerätepark aus Bequemlichkeit häufig länger als nötig eingeschaltet sein lässt oder ganz vergisst, diesen Zusatz-Netzschalter auch zu betätigen. Für die Vergesslichen gibt es daher Vorschaltgeräte (Standby-Safer etc.), die anhand des fließenden Stroms das Gerät überwachen und kurz nach dem Übergang in den Standby-Modus den „Saft“ komplett abdrehen. Der große Vorteil einer solchen Lösung ist, dass praktisch nie unnützer Standby-Strom fließt. Der große Nachteil ist, dass sich das Gerät nicht mehr per Fernbedienung einschalten lässt. Zuvor muss nämlich am halbintelligenten Standby-Switch ein Taster zwecks Wiedereinschalten gedrückt werden, und das ist nur die halbe (mögliche) Miete.



**Bild 1.** Die Blockschaltung des Anti-Standby-Switch.

Nach dem Motto: „Wenn schon Elektronik, dann aber richtig!“ sollte ein wirklich „intelligentes“ (und komfortables) Vorschaltgerät auf Tastendrücke einer Infrarot-Fernbedienung reagieren und - für den Benutzer völlig unmerklich - gleichzeitig die Stromzufuhr aktivieren, während das überwachte Gerät eingeschaltet wird. Auf diese Weise werden Luxus und Ökologie sinnvoll vereint. Und genau das macht die hier vorgestellte Schaltung.

### Anti-Standby-Vorsatz

Dem aufmerksamen Leser dürfte nicht entgangen sein, dass ein Vorschaltgerät mit Ruhestromabschaltung und infraroter Einschaltung im Prinzip nichts anderes ist als eine Art externe Standby-Schaltung. Und das ist komplett richtig. Der zentrale Unterschied zu „handelsüblichen“ bzw. „schon eingebauten“ Standby-Lösungen ist, dass

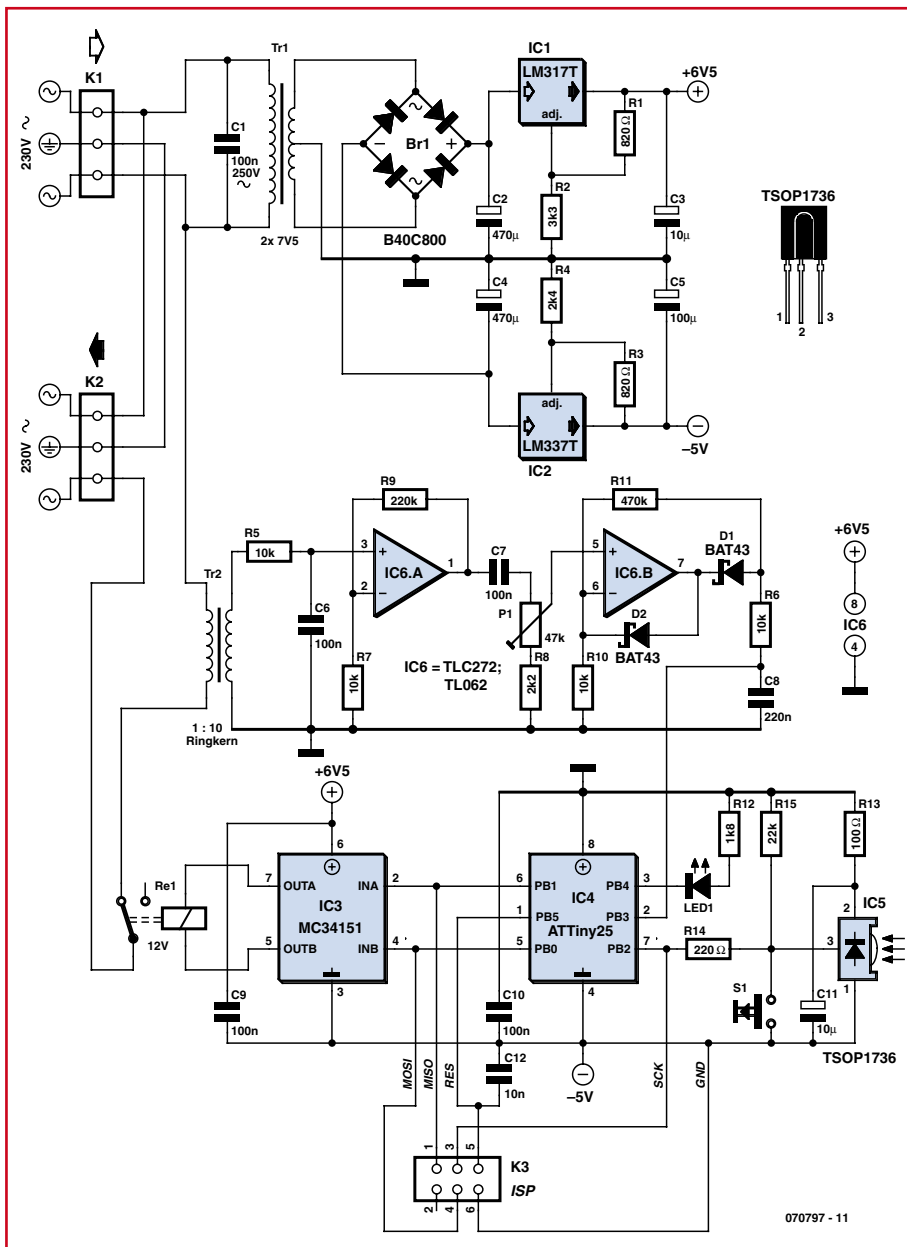


Bild 2. Die Schaltung des Anti-standby-Switch enthält zwei Spannungsregler, drei achtpolige ICs und ein bistabiles Relais

die hier vorgestellte Schaltung konsequent auf Energiesparen getrimmt ist. Und außerdem reagiert sie auf fast jeden Tastendruck fast jeder IR-Fernbedienung. Man stülpt also einem vorandenen Gerät mit schlechter Standby-Elektronik eine externe, aber sehr sparsame Standby-Lösung über und reduziert so sehr wirksam den Standby-Strom. Die Anti-standby-Schaltung ist also genau genommen ein Standby-Verbesserer. Und da sie universell auf Fernbedienungen reagiert, braucht da nichts konfiguriert und eingestellt zu werden. Diese Vorschaltlösung funktioniert wirklich „plug&play“.

Damit ist die prinzipielle Funktion des Vorschaltgeräts auch schon umfassend beschrieben. Bild 1 zeigt die dafür nötigen Detailfunktionen. Die Schnittstelle zur Außenwelt besteht aus einem 230-V-Ein- und Ausgang sowie aus einem Infrarot-Sensor und einem Taster für manuelles Einschalten – insgesamt vier Funktionseinheiten. Wird auf einer Infrarot-Fernbedienung eine Taste betätigt und wird dies vom IR-Sensor (3) registriert, so macht der Signaldetektor daraus einen (oder mehrere) Trigger-Impuls(e) für die Steuerlogik der Schaltung. Diese schaltet daraufhin das Relais (d) ein und der 230-V-Ausgang (2) steht unter Spannung.

Außerdem wird ab jetzt für zumindest einige Sekunden der fließende Strom überwacht (c). Erkennt die Logik Normalbetrieb, dann bleibt das Relais aktiv. Sinkt der Strom unter einen mit (e) einstellbaren Schwellwert, wird das Relais nach einigen Sekunden deaktiviert und der Netzausgang ist stromlos. Mit dem Taster (3) kann man manuell einen Tastendruck auf der Fernbedienung simulieren. Da Elektronik ohne Strom nicht funktioniert, braucht man noch ein Netzteil (a). So einfach funktioniert ein Blockschaltbild. ;-)

### Sparsame Elektronik

An der Schaltung kann man nachvollziehen, wie die zuvor spezifizierten Kriterien (insbesondere der geringe Energieverbrauch) in konkrete Elektronik umgesetzt werden - und das ganz ohne Spezialbauteile. K1 und K2 in Bild 2 entsprechen dem 230-V-Ein- und Ausgang von Bild 1. Schon das Netzteil ist für das Energiesparen wichtig: Würde man nämlich konventionelle Spannungsregler aus der 78XX- bzw. 79XX-Reihe einsetzen, dann wäre hier schon ein Ruhestrom von 5...6 mA fällig, was an gut 20 V-Eingangsspannung (nach Gleichrichtung und Siebung) leicht über 100 mW bedeutet. Da sparsame Spezialregler nicht überall erhältlich und relativ teuer sind, wurden einstellbare Varianten gewählt. Diese liefern bei einem Ruhestrom von rund 1,5 mA (= 30 mW) eine ausreichend stabile Ausgangsspannung. Weitere Sparüberlegungen betreffen das eingesetzte Relais. Solid-State-Relais könnte man zwar energiearm ansteuern, doch deren Restspannung im durchgeschalteten Zustand von gut 1 V würde bei bis zu 1 A Last (durch ein größeres TV-Gerät) immerhin schon 1 W sinnlos verplempern. Ein konventionelles Relais hingegen bräuchte dauernd Strom, wenn die Kontakte angezogen sein sollen. Bei gängigen Typen mit ordentlichen 230-V-Kontakten wird da ebenfalls leicht ein ganzes Watt fällig. Also muss ein unkonventionelles, nämlich ein bistabiles Relais her (siehe Kasten). Hier wird nur kurzfristig während des Schaltvorgangs Energie verbraucht, sodass man so ein Relais energetisch glatt vernachlässigen kann. Ein Widerstand als Stromsensor verbietet sich aus nahe liegenden (Heiz-)Gründen. Hier wird ein Selbstbau-Trafo aus einer konventionellen Ringkern-Entstörspule (Bild 3) verwendet, dessen Primärwicklung aus drei bis vier selbst her-



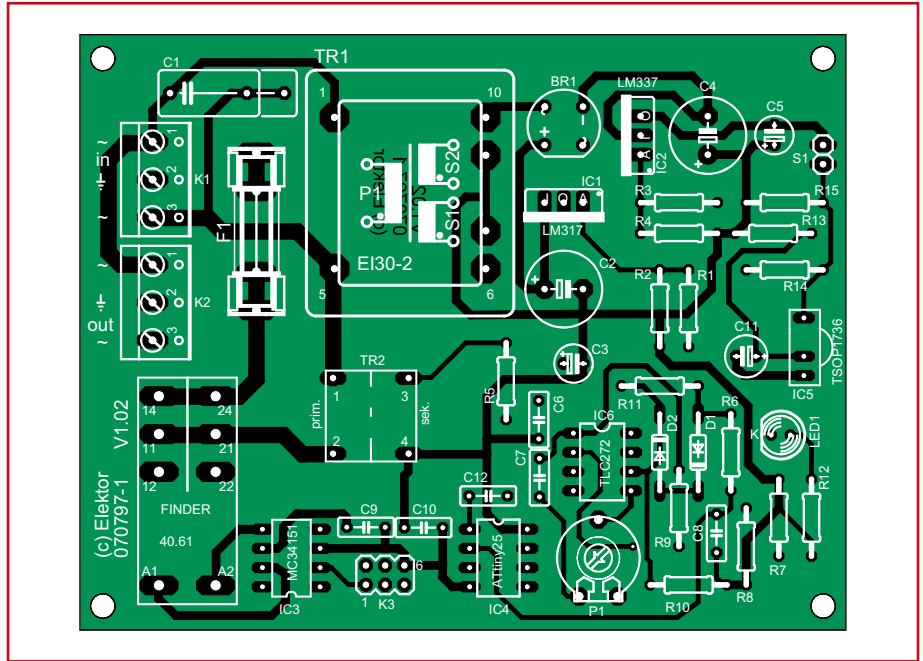
gestellten Windungen isolierter Litze mit 0,5 mm<sup>2</sup> Querschnitt besteht. Die Induktivität spielt keine Rolle, und da solche Spulen üblicherweise 30...40 Windungen aufweisen, ergibt sich ein „Stromfühltrafo“ mit einem Windungsverhältnis von etwa 1:10. Die Sekundärspannung wird durch A1 etwa 23-fach und durch A2 nochmals um den Faktor 48 verstärkt und einweggleichgerichtet. Die Gesamtverstärkung kann mit dem Empfindlichkeitsregler P1 etwa im Bereich 50...1000 eingestellt werden. Da der IC4-interne Schwellwert für Standby bei -0,5 V liegt (die Spannung liegt an C8 an), reicht hierfür ein Spannungsabfall um 0,1 mV an der Primärwicklung von Tr2. Wem die Empfindlichkeit nicht ausrei-



**Bild 3.** Tr2 der Schaltung besteht aus einer kleinen Ringkern-Entstörspule, auf die zusätzlich 3...4 Windungen aufgebracht werden.

cht, der kann R8 vergrößern oder aber in die Software eingreifen und da die Konstante Sensivity reduzieren – Werte unter 50 sollten aber vermieden werden. C8 ist der Speicherkondensator für die dem Strom entsprechende Gleichspannung (Schwellwert -0,5 V) der mit der Summe aus R6, R10 und R11 eine Zeitkonstante von 50 ms bildet. R6 begrenzt dabei lediglich puls-förmige Ladeströme.

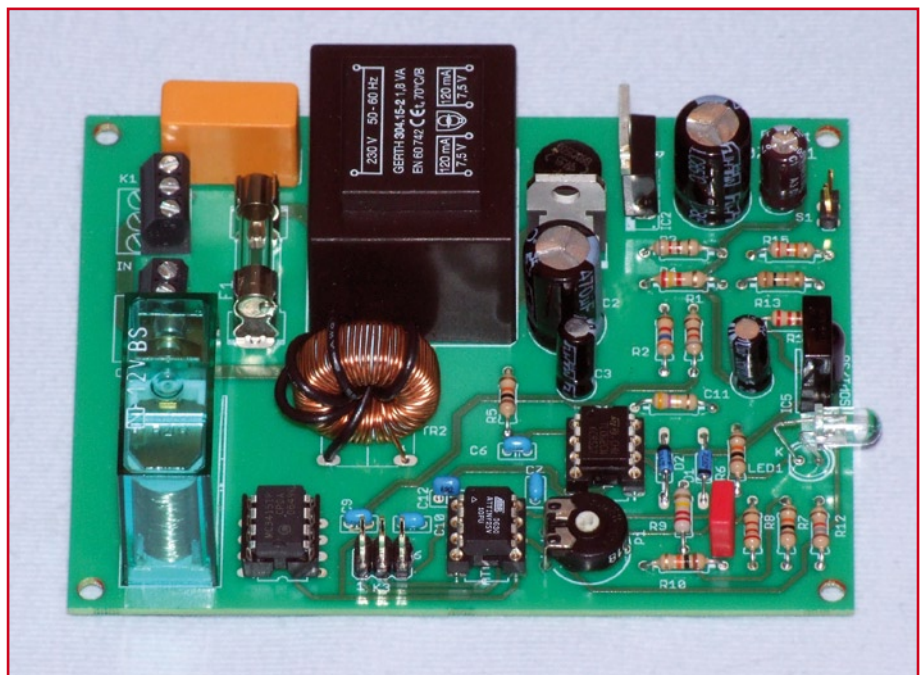
IR-Sensor und Signaldetektor ist in IC5 vereint, das typischerweise weniger als 1 mA an 5 V benötigt. Von diesem IC gibt es unterschiedliche Ausführungen, die bei Modulationsfrequenzen



**Bild 4.** Bestückung der Platine (Layout-PDFs als Gratis-Download bei [www.elektor.de](http://www.elektor.de)).

zwischen 30 und 56 kHz maximal empfindlich sind. Experimente haben aber gezeigt, dass sie so schmalbandig gar nicht sind. Mit den insgesamt acht unterschiedlichen Fernbedienungen des Autors plus dreien seiner Nachbarn ergaben sich unterschiedslos Reichweiten von über 10 m mit der Variante für 36 kHz. Man kann also fast ein beliebiges Exemplar verwenden. Nun zur Logik: Ein Mikrocontroller

sieht nur auf den ersten Blick nach Stromverbrauch aus. Das hier verwendete 8-Pin-Modell ATtiny25 von AVR benötigt allerdings weniger als 100 µA, wenn man es schön langsam mit dem eingebauten 128-kHz-Takt betreibt. Die sechs I/O-Pins und der niedrige Takt reichen vollständig für diese, einen Mikrocontroller doch eher unterfordernde Aufgabe aus. Wer die Software komplexer ausbauen möchte, der kann



**Bild 5.** Die fertig bestückte Platine des Anti-Standby-Switch.

## Stückliste

### Widerstände:

R1, R3 = 820 Ω  
 R2 = 3k3  
 R4 = 2k4, 1%  
 R5...R7, R10 = 10 k  
 R8 = 2k2  
 R9 = 220 k  
 R11 = 470 k  
 R12 = 1k8  
 R13 = 100 Ω  
 R14 = 220 Ω  
 R15 = 22 k  
 P1 = Trimpotentiometer, 50 k oder 47 k, liegend, kleine Ausführung

### Kondensatoren:

C1 = 100 n/250 V≈

C2, C4 = 470 μ/16 V  
 C3, C11 = 10 μ/16 V  
 C5 = 100 μ/16 V  
 C6, C7, C9, C10 = 100 n/63 V  
 C8 = 220 n/63 V  
 C12 = 10 n/63 V

### Halbleiter:

D1, D2 = BAT43 (Schottkydiode)  
 LED1 = LED, 5 mm, rot  
 Br1 = B40C800, 4-poliger Rundgleichrichter  
 IC1 = LM317T (T0220)  
 IC2 = LM337T (T0220)  
 IC3 = MC34151  
 IC4 = ATtiny25-10V\* (programmiert: 070797-41)  
 IC5 = TSOP 1736 (IR-Empfänger 36 kHz\*)  
 IC6 = TLC272 oder TL062\*

### Außerdem:

F1 = 3,15AT + Sicherungshalter für Platinenmontage  
 Re1 = 12 V bistabil\* (1 x UM) mit 16-A-Kontakt, z.B. Finder 40.61.6 12V (Reichelt)  
 S1 = Taster (1 x Ein)  
 Tr1 = 2x7,5V\* (1,5 VA)  
 Tr2 = Ringkern-Entstörspule 2A (+ 4 Wind., 0,5 mm2)\*  
 K1, K2 = 3-polige Schraubklemme für Platinenmontage, Rastermaß 5,08 mm  
 K3 = 2x3-poliger DIL-Pfostenstecker  
 Gehäuse TEKO D13 (135,5x150x54 mm, erhältlich z.B. bei Reichelt Elektronik)  
 Platine 070797-1 (erhältlich im Elektor-Shop, siehe Anzeige in diesem Heft und www.elektor.de)

\* siehe Text

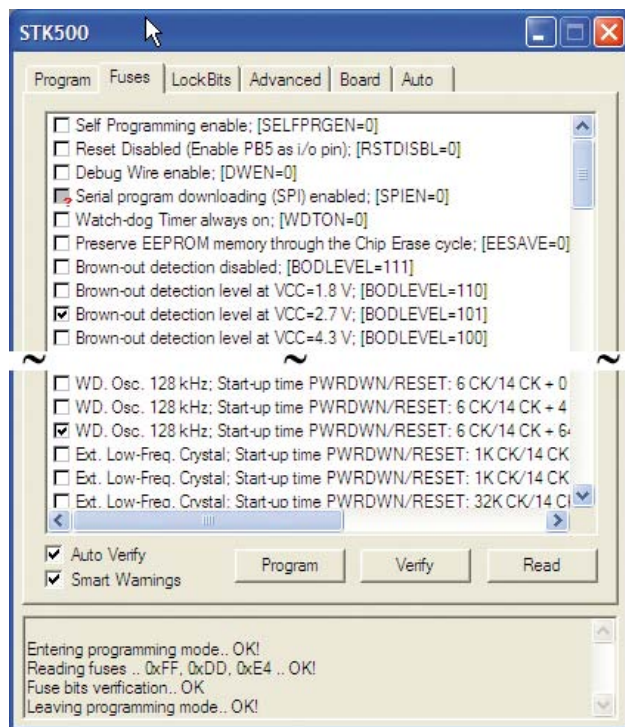


Bild 6. So müssen die „Fuses“ des Mikrocontrollers ATtiny25 gesetzt werden.

```

Remote_isr:
  If Relay = 0 Then
    Waits 1
    If PINB.2 = 0 Then
      Relay = 1
    End If
  End If
  Return
    
```

Bild 7. Auszug aus der Software. Diese Interrupt-Routine unterdrückt eventuelle Störimpulse von IC5.

auch ein Modell mit mehr internem Programmspeicher wie die Typen ATtiny45 (4 KB) oder ATtiny85 (8 KB) verwenden. Die bereit gestellte Software selbst läuft mit ihren knapp 800 Byte ohne Änderung auf allen dreien.

Da der Mikrocontroller zu wenig Ausgangsleistung an seinen Pins liefern kann, kommt mit IC 3 noch ein CMOS-Treiberbaustein hinzu, der nur wenige μA Ruhestrom benötigt und gleichzeitig die nötige Pegelkonversion von 5 auf 12 V vornimmt. Dieser kleine Treiber könnte maximal sogar 2 \* 1,5 A Strom liefern! Durch den Gegentakt-Betrieb sind trotz Induktivität der Relaispule keine Schutzdioden notwendig. Da für die beiden Opamps ebenfalls eine Stromsparvariante eingesetzt wird (TLC272 mit etwa 1,5 mA oder TL062 mit etwa 0,2 mA), benötigt die gesamte Elektronik etwa 50...80 mW. Das ist im Vergleich mit dem Energiebedarf konventioneller Standby-Schaltungen wirklich vernachlässigbar. Pro Jahr käme nicht einmal eine einzige Kilowattstunde zusammen – wenn da nicht der Trafo wäre! Die sind zwar in den letzten Jahrzehnten immer besser geworden, doch bei so kleinen Ausführungen im 1...2-VA-Bereich muss man für den Trafo alleine mit Verlusten in der Größenordnung von 100...400 mW rechnen. Ein Exemplar mit guter Qualität ist also eine gute Idee. Trotz allem kann man die Schaltung als besonders sparsam einstufen.

### Aufbau und Software

Der Aufbau der Schaltung ist dank der Platine von Bild 4 ziemlich einfach. Für die ICs und ganz besonders für den Controller (wenn man ihn extern programmieren möchte) empfehlen sich Fas-



sungen. Dank K3 kann IC4 auch direkt auf der Platine mit einem ISP-Programmer wie zum Beispiel dem USB-Prog von ELEKTOR 10-2007 „gebrannt“ werden. Die nötige Software gibt es als Datei „ANTI-STANDBY.HEX“ nebst voll kommentiertem Quelltext „Anti-Standby.bas“ kostenlos auf der zum Artikel gehörenden Projektseite. Und wie Sie jetzt richtig vermuten, ist der Quelltext für den Compiler BASCOM-AVR gedacht, wofür die kostenlose Demo-Version [6] völlig ausreicht. Durch Einsatz von BASIC sollten eigene Änderungen nun wirklich kein Problem sein. Im Listing werden Sie eine Stelle finden (Bild 7), wo ein Schönheitsfehler von IC5 ausgegübelt wird. Dieses IC liefert nämlich sporadische Störimpulse von wenigen  $\mu$ s Breite, die so ignoriert werden.

Wollen Sie das Relais und die Sicherung voll ausreizen und richtig schwere Verbraucher schalten, dann sollten die 230-V-Leiterbahnen mit aufgelöteten Litzen verstärkt werden und die Sicherung entsprechende Werte aufweisen. Dass bei Schaltungen am Stromnetz entsprechend sauber gearbeitet werden sollte, versteht sich wohl von selbst.

Falls Sie statt dem vorgeschlagenen Exemplar ein bistabiles Relais mit zwei Wicklungen verwenden, sollten Sie die Erläuterungen im Kasten berücksichtigen.

Wenn alle Bauteile verlötet und IC 4 programmiert ist, kann die Schaltung in ein Kunststoffgehäuse eingebaut werden. Am besten in eines mit roter Plexiglasfrontplatte (Bild 8), damit die IR-Strahlen ihren Weg zu IC 5 finden. Der Einfachheit halber bietet es sich an, einfach die Leitung einer Dreifachsteckdose in der Mitte zu halbie-

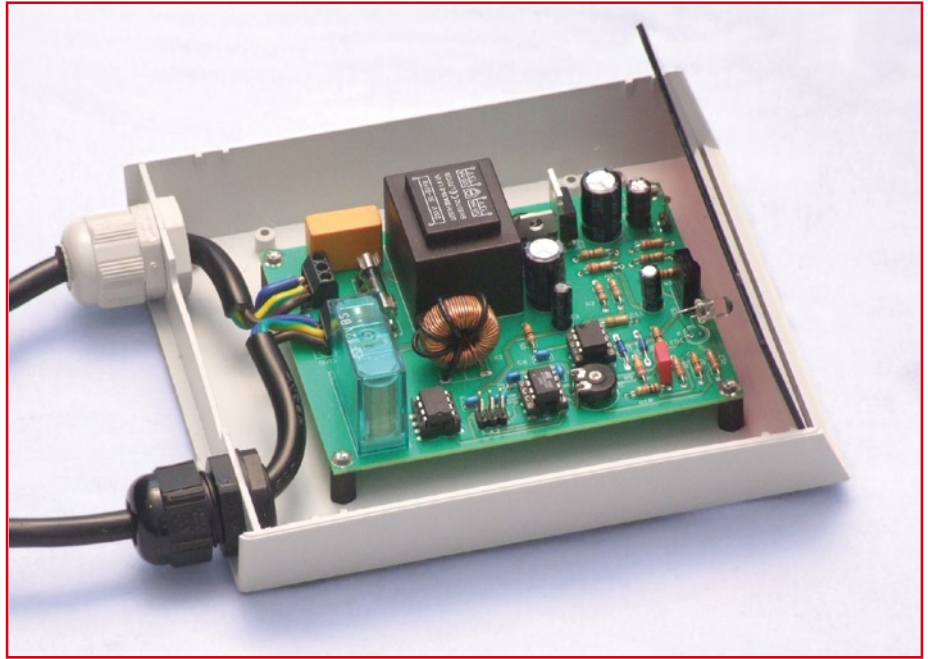


Bild 8. Das Anti-Standby-Vorschaltgerät im Kunststoffgehäuse mit transparenter roter Front.

ren. Dann hat man einen Stecker mit Leitung und gleich drei Steckdosen als Ausgang, was prima für einen Fernseher nebst DVB-T- oder Satelliten-Receiver plus Videorekorder reicht. Nach Verdrahtung und Einschalten (ohne Verbraucher) sollte die LED nicht leuchten. Ein Druck auf S1 oder eine Fernbedienung sollte das Relais hörbar klacken und die LED leuchten lassen. Nach 10 s klackt es nochmals und die LED geht aus. Ist das auch bei Ihrem Exemplar so, dann haben Sie vermutlich alles richtig gemacht.

(070797-1e)

## Links

**[1] ATtiny25\_Datenblatt:**

[www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc7598.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc7598.pdf)

**[2] TSOP17XX-Datenblatt:**

[www.vishay.com/docs/82030/82030.pdf](http://www.vishay.com/docs/82030/82030.pdf)

**[3] MC34151-Datenblatt:**

[www.onsemi.com/pub/Collateral/MC34151-D.PDF](http://www.onsemi.com/pub/Collateral/MC34151-D.PDF)

**[4] Relais-Datenblatt:**

[www.finder.de/comuni/pdf/S40DE.pdf](http://www.finder.de/comuni/pdf/S40DE.pdf)

**[5] Remanenz-Relais, Funktion:**

[de.wikipedia.org/wiki/Haftrelais](http://de.wikipedia.org/wiki/Haftrelais)

**[6] BASCOM-AVR-Compiler:**

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

## Bistabiles Relais

Um nicht unnütz Energie zu vergeuden, kommt in der Anti-Standby-Schaltung ein spezielles Relais zum Einsatz, das nur für den kurzen Zeitpunkt des Umschaltens Strom benötigt. Davon gibt es prinzipiell zwei Arten: Das Stromstoß-Relais (dem Elektriker auch als „Eltako“ geläufig) und das hier eingesetzte Remanenz- oder auch Haft-Relais. Bei letzterem sorgt nach dem Stromstoß der Restmagnetismus (die Remanenz) dafür, dass der Anker angezogen bleibt, der den Kontakt betätigt. Damit so ein Relais wieder abfällt, muss die Spule von einem schwächeren Strom in umgekehrter Richtung durchflossen werden. In der Regel reicht ein negativer Strom von -10...-25 % des Anzugsstroms aus, das Relais wieder abfallen zu lassen - bei -100 % würde das Relais gleich wieder anziehen...

Im aktuellen Fall wird die Spannung für Anzug und Abfall des Relais gleich gelassen und stattdessen neben der Polarität die Zeit verändert. Zum Anziehen gönnt die Software dem Relais einen Impuls von 100 ms Dauer (mit typisch 100 mA), während ein umgekehrter Puls von 10 ms für das Abfallen ausreicht.

Neben dem vorgeschlagenen Relais (Bild 9) kann man auch ein Remanenz-Relais mit zwei Wicklungen verwenden. In diesem Fall sorgt eine Wicklung fürs Anziehen und die zweite fürs Abfallen. Je ein Ende beider Wicklungen kommt dann an -5 V. Die beiden anderen Enden kommen an Pin 7 (Anzug) und Pin 5 (Abfall) von IC 3. Falls das Relais dann nicht abfallen sollte, muss eine Wicklung umgepolt werden und/oder die Breite des Impulses (eine Konstante in der Software) für das Abfallen vergrößert werden.

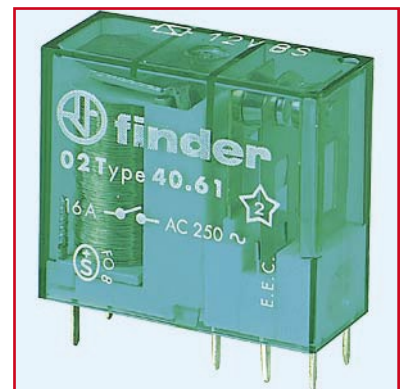


Bild 9. Das bistabile Remanenz-Relais des Prototypen.

# Energiedetektive



Das Energiebewusstsein war noch nie so ausgeprägt wie heute, doch oft lässt sich der Energiebedarf elektrischer und elektronischer Geräte nur schwer einschätzen. Besonders die Zahl der Geräte mit Standby-Schaltung nimmt ständig zu, und damit stellt sich auch die Frage nach dem Verbrauch im (nicht ganz) ausgeschalteten Zustand. Die Antwort auf diese Fragen kann nur das Messen der tatsächlichen elektrischen Leistungsaufnahme der Geräte im Betrieb und in Bereitschaft geben. Bei Glühlampen ist die Rechnung einfach. Sie nehmen ziemlich genau die Leistung auf, die auf dem Glaskolben oder der Fassung aufgedruckt ist, und wenn man sie ausschaltet, ist die Leistungsaufnahme exakt gleich Null. Bei vielen Geräten ist es hingegen nicht so einfach. Die Anschlusswerte auf den Typenschildern sagen wenig über den tatsächlichen Energiebedarf aus. Werte zur Leistungsaufnahme im Bereitschaftsbetrieb sind eher die Ausnahme als die Regel, obwohl an elektronischen Geräten wie Computern, Monitoren, TV-Geräten und Videorecordern nur noch selten Netzschalter zu finden sind, die das Gerät tatsächlich vom Stromnetz trennen.

Ein anderes Beispiel für heimliche Stromkonsumenten sind die vielen Geräte mit Steckernetzteilen zur Stromversorgung. Der Aufwand für die elektrische Sicherheit der Geräte selbst wird dadurch zwar drastisch reduziert, aber das Steckernetzteil verbraucht ständig Strom, auch wenn das Gerät nicht in Betrieb oder der im Gerät eingebaute Akku schon geladen ist. Natürlich könnte dann das Steckernetzteil aus der Steckdose gezogen werden, bleibt aber meist aus Bequemlichkeit am Netz und verschwendet Energie. Bei Steckernetzteilen mit analoger Spannungsregelung können das trotz Nulllast einige Watt sein. Kommen mehrere derartige „stille Verbraucher“ zusammen, summieren sich die Kosten auf zweistellige Eurobeträge pro Jahr. Es lohnt sich, nachzuzählen, zu messen und genau nachzurechnen.

## Messen

Hohe Investitionen in teure Messgeräte sind nicht notwendig, um die Leistungs- und Energieaufnahme elektrischer

Haushaltsgeräte (mehr oder weniger genau) zu bestimmen. Auf dem Markt sind so genannte Energiekostenmesser erhältlich, die ähnlich wie kompakte Schaltuhren zwischen Steckdose und Gerät geschaltet werden. Auf der Frontseite des Energiekostenmessers findet man ein LC-Display und einige Taster für die Bedienung. Das Display zeigt meist mehrere Messwerte, die mit einem Taster durch Weiterschalten abgerufen werden. In der Regel sind das die aktuelle Netzspannung, der hindurchfließende Strom und die Leistungsaufnahme des angeschlossenen Geräts. Ein weiterer Tastendruck bringt auch die Anzahl der Kilowattstunden seit dem Einstecken des Geräts zur Anzeige. Viele Geräte rechnen nach Eingabe des Kilowattstunden-Preises auch die Kosten für diesen Verbrauch aus, und einige sind sogar in der Lage, mehrere tageszeitabhängige Tarife zu berücksichtigen. Eine weitere manchmal angezeigte Messgröße ist der Faktor „cos  $\phi$ “. Was es damit auf sich hat, wird an anderer Stelle in diesem Beitrag erklärt.

Energiekostenmesser werden von Energieversorgern nicht nur empfohlen, sondern teilweise auch kostenlos an Kunden verliehen, um das Energiesparen zu fördern. Da die Preisspanne für Energiekostenmesser im Handel schon bei etwa zehn Euro beginnt, besteht aber eigentlich kein Grund, auf ein eigenes Gerät zu verzichten. Diese Investition wird sich in verhältnismäßig kurzer Zeit bezahlt machen.

## Die Auswahl

Für unseren Vergleichstest haben wir neun aktuell angebotene Energiemesser ausgewählt. Die meisten Modelle ähneln einander, es gibt jedoch zwei Ausnahmen: Das Modell „Energy Control 3000“ der Marke Voltcraft ist eine drahtlos arbeitende Messstation, mit der wahlweise unterschiedliche Sensoren gekoppelt werden können. Die zweite Ausnahme ist das Modell EM600 von ELV. Dieses Messsystem besteht aus einem Mess- und einem Anzeigeteil, beides kann räumlich voneinander getrennt platziert werden.

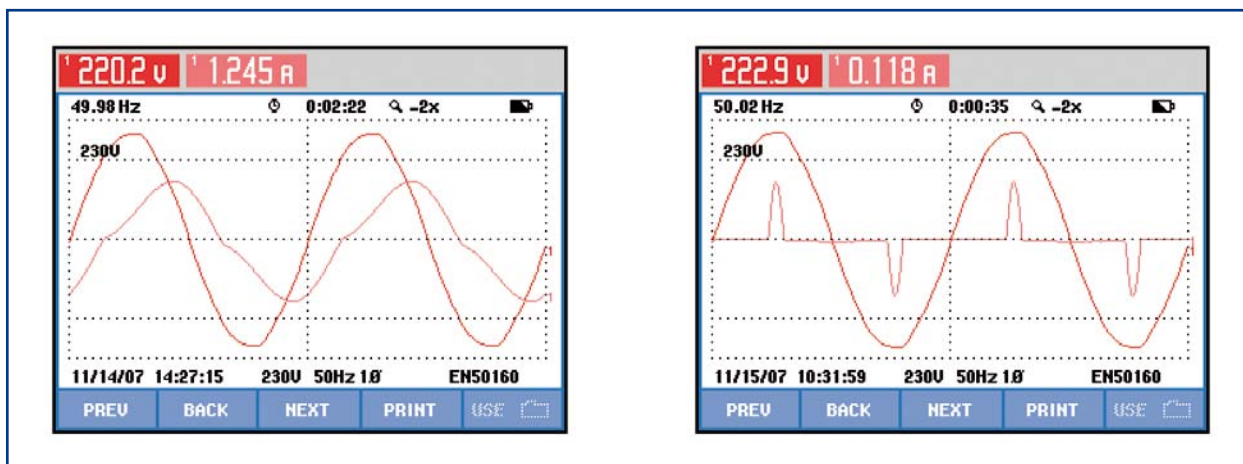
In den Bedienungsanleitungen wird bei der Mehrzahl der Geräte eine Genauigkeit von  $1\% \pm 1\text{ W}$  angegeben. Ab-



# Praxistest: Preiswerte Energiemesser

Von Harry Baggen

**Wie hoch ist der Energiebedarf Ihres LCD- oder Plasma-TV-Geräts im Betrieb und in Bereitschaft? Wenn Sie sparsam mit Energie umgehen wollen, müssen Sie den Energiebedarf Ihrer Geräte kennen. Auskunft sollen die handlichen Energiemesser geben, die zwischen Steckdose und Gerät geschaltet werden. Doch was messen diese Geräte eigentlich, und mit welcher Genauigkeit arbeiten sie? Das ELEKTOR-Labor ist diesen Fragen nachgegangen.**



Links der Stromverlauf einer Leuchtstofflampe mit induktivem Vorschaltgerät, rechts der pulsformige Strom eines etwas älteren DVD-Spielers.

gesehen vom Bereich kleiner Leistungen ist das für den Hausgebrauch wohl ausreichend.

Beim Messen von Leistung und Energie am Wechselstromnetz ist die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom zu berücksichtigen. Im Gegensatz zu den eingangs erwähnten Glühlampen stellen viele Geräte komplexe Verbraucher dar. Spannung und Strom sind dann nicht in Phase, und die angezeigten Werte können von den tatsächlich aufgenommenen Leistungen abweichen. Messtechnisch schwierig sind Leistungsmessungen an Geräten mit Schaltteilen. Häufig treten hier sowohl Phasenanschnitt-Erscheinungen als auch Phasenverschiebungen auf. Präzise Leistungsmessungen sind nur mit relativ hohem messtechnischem Aufwand möglich. Ein anderes Problem ist das Messen von Leistungen an Geräten mit sehr geringer Leistungsaufnahme wie bei Geräten im Standby-Betrieb. Gerade hier ist es nicht unerheblich, ob ein Gerät nach dem

„Ausschalten“ noch 1 W oder 5 W verbraucht. Mehrere getestete Energiemesser konnten sich hier nicht entscheiden, die Anzeige wechselte sprunghaft zwischen unterschiedlichen Werten. Andere Modelle zeigten falsche Werte weit außerhalb der Toleranzgrenzen. Bei einigen Modellen findet man in der Bedienungsanleitung die für die Kaufentscheidung durchaus wichtige Information, dass sie nicht zum Messen kleiner Leistungen geeignet sind.

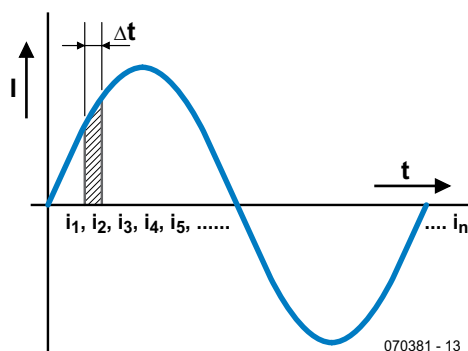
## Der Test

Das ELEKTOR-Labor hat die neun ausgewählten Haushalts-Energiemesser an unterschiedlichen Lasten getestet und die Messwerte mit den Messergebnissen eines professionellen Leistungsmessers verglichen. Vergleichsgerät war der Fluke Power Quality Analyzer 434, der uns von Fluke für diesen Test zur Verfügung gestellt wurde (siehe Foto). Mit einem

## Effektivwert und cos φ

Die elektrische Leistung P lässt sich durch das Messen der Spannung U und des Stroms I ermitteln. Die Leistung ergibt sich aus der einfachen Beziehung  $P = U \cdot I$ . Bei Wechselstrom haben U und I keine konstanten Werte, sondern ändern sich periodisch mit der Frequenz. Die Spannung im 230-V-Netz hat sinusförmigen Verlauf, in Europa beträgt die Frequenz 50 Hz. Die Leistung P ist auch hier gleich  $U \cdot I$ , wenn für U und I die Effektivwerte eingesetzt werden.

**Der Effektivwert eines wechselförmigen Stroms ist gleich dem Wert eines gleichförmigen Stroms, der an dem Widerstand R innerhalb des Zeitintervalls T die gleiche Energiemenge wie der wechselförmige Strom in Wärme umsetzt.**



Mathematisch lässt sich der Effektivwert durch Integration über eine halbe Periode der wechselförmigen Größe berechnen. Die wechselförmige Größe wird in (unendlich kleine) Intervalle unterteilt, aus den zugehörigen Werten wird der quadratische Mittelwert gebildet. Für den Effektivwert eines Stroms i gilt:

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{i_1^2 + i_2^2 + i_3^2 \dots i_n^2}{n}}$$

Bei sinusförmigen Größen vereinfacht sich die vorstehende Beziehung, wobei der Scheitelwert des Stroms ist:

$$I_{eff} = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}}$$

Wenn die Last induktive oder kapazitive Anteile enthält oder das Prinzip der Phasenanschnitt-Steuerung angewendet wird, lassen sich Effektivwerte nur mit komplizierteren Methoden berechnen. Einige Energiemesser sind damit überfordert, sie zeigen unter Umständen falsche Werte an.

Beim Betrieb eines Elektromotors sind Strom und Spannung infolge des induktiven Lastanteils phasenverschoben. Der Motor setzt nicht die gesamte aufgenommene Energie in Nutzenergie um. Mit einem Teil der aufgenommenen Energie wird das magnetische Feld aufgebaut. Der Strom eilt hier der anliegenden Spannung nach.

Die Phasendifferenz von Spannung und Strom wird als Kosinus des Phasenwinkels φ ausgedrückt. Der Wert  $\cos \phi = 1$  bedeutet, dass Spannung und Strom in Phase sind. Mit zunehmender Phasenverschiebung wird der Wert von  $\cos \phi$  kleiner. Der Anteil der aufgenommenen elektrischen Leistung, der nicht in Wirkleistung umgesetzt wird, heißt Blindleistung. Die Blindleistung fließt zwar in das Stromnetz zurück, sie muss jedoch vom Energieversorger bereitgestellt werden. Auf die Stromrechnung von Haushalten hat die Blindleistung keinen Einfluss. Die Kilowattstundenzähler sind so konstruiert, dass sie nur Wirkleistung erfassen. Einige getestete Energiemesser zeigen den Faktor  $\cos \phi$  der Last unmittelbar an.



Das von uns verwendete Referenzmessgerät von Fluke.

Preis von mehr als 4000 Euro spielt dieses professionelle Messgerät natürlich in einer ganz anderen Liga. Was haben wir gemessen? Den Anfang machten ohmsche Lasten mit den Werten 2 W, 100 W und 1000 W, um herauszufinden, mit welcher Genauigkeit die Testkandidaten diese Lasten messen. Es folgte eine Last mit induktivem Anteil in Gestalt einer Leuchtstofflampe mit vorgeschalteter Drossel. Diese Messung sollte die Frage beantworten, in welchem Maß die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom das Messergebnis beeinflusst. Die nächste Last war ein DVD-Spieler mit Schaltnetzteil, bei dem zwischen Stromnetz und Gerät im Wesentlichen nur kurze Stromimpulse fließen. Durch den Vergleich der Anzeigewerte mit den Messergebnissen des Fluke Power Quality Analyzer 434 konnten wir die Brauchbarkeit und Zuverlässigkeit der Haushalts-Energiemesser beurteilen.

### Ergebnisse

Die Messergebnisse sind in der **Tabelle 1** zusammengefasst. Sogar die preiswertesten Modelle lieferten recht brauchbare Ergebnisse, solange die Leistungsaufnahme der Geräte im normalen Betrieb gemessen wurde. Auch Lasten mit induktivem oder kapazitivem Anteil wurden mit guter Genauigkeit gemessen. Auch die Berechnung der Energiekosten bereitete keine Schwierigkeiten. Die teureren Modelle bieten lediglich mehr Komfort, zum Beispiel das getrennte Einstellen eines Tages- und Nachtтарifs oder das



Erstellen einer Kostenprognose mit wählbarem Zeitraum. Die Modelle Olympia Energy Meter EKM 2000 und Voltcraft Energy Monitor 3000 zeigen auch den Phasenwinkel ( $\cos \varphi$ ) an. Er gibt Aufschluss darüber, in welchem Verhältnis die Wirkleistung und die Blindleistung der Last zueinander stehen (siehe Textkasten). Der vom Olympia Energy Meter EKM 2000 angezeigte  $\cos\varphi$ -Wert erwies sich aber als nicht ganz plausibel.

Auch bei impulsförmigen Lasten gab es gute Ergebnisse. Lediglich das Olympia Energy Meter EKM 2000 und das Peaktech Energy-Meter 9024 lagen beim Messen an überwiegend induktiven Lasten etwas daneben.

Größere Unterschiede zeigten sich beim Messen kleiner Leistungen, insbesondere an Geräten im Standby-Betrieb. In einigen Bedienungsanleitungen wird ausdrücklich angegeben, dass sich die Geräte nur ab einer bestimmten Mindestleistung für Messungen eignen (meistens 4...5 W). Nur vier Testkandidaten lieferten auch bei kleinen Lasten zuverlässige Ergebnisse, nämlich die beiden Modelle von ELV sowie die beiden Modelle von Voltcraft.

Aus einigen hundert vergleichenden Messungen ging der Voltcraft Energy Monitor 3000 (nicht zu verwechseln mit dem Voltcraft Energy Check 3000) als Favorit hervor. Dieser Energiemesser bietet für nur 40 € ein deutliches dreizeiliges Display und viele Messfunktionen und Einstellmöglichkeiten. Er gehörte zu den genauesten Vertretern seiner

Gruppe und war außerdem das einzige Gerät, bei dem der angezeigte Phasenwinkel ( $\cos \varphi$ ) bei allen Messungen fast genau mit dem Wert des Referenz-Messgeräts Fluke Power Quality Analyzer 434 übereinstimmte.

Zum Schluss noch eine Anmerkung zur Messstation Voltcraft Energy Control 3000. Dieses Modell ist ein Funk-Messsystem, an das bis zu zwölf Sensoren gekoppelt werden können. Es eignet sich sehr gut für Aufgaben wie das Sammeln und Weiterverarbeiten der Messdaten, da die Basisstation über eine PC-Schnittstelle verfügt. In unsere vergleichenden Messungen konnten wir dieses Messsystem nicht einbeziehen, weil unser Exemplar nur mit einem Sensor für den Kilowattstundenzähler im Zählerkasten ausgestattet war, der lediglich die Umdrehungen der Zählerscheibe zählt.

(070831)gd

## Websites der Hersteller oder Vertreiber:

**ELV:** [www.elv.de](http://www.elv.de)

**Velleman:** [www.velleman.de](http://www.velleman.de)

**Olympia, Peaktech:** [www.reichelt.de](http://www.reichelt.de)

**Pro Elec:** <http://uk.farnell.com>

**Voltcraft:** [www.conrad.de](http://www.conrad.de)

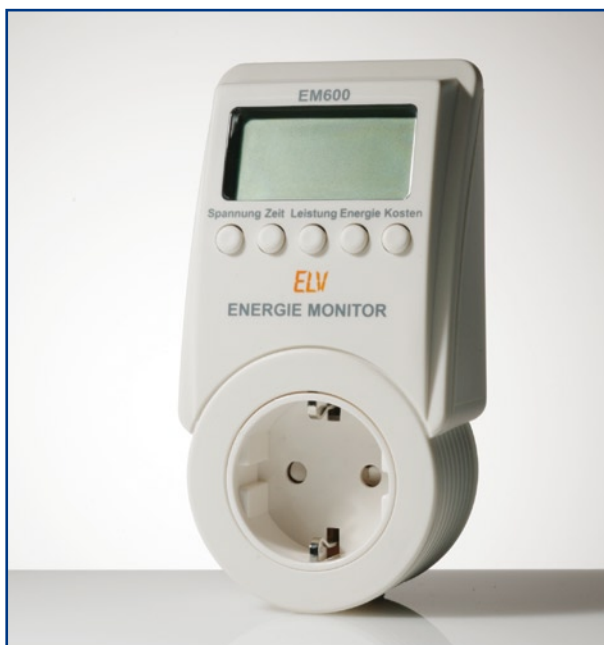


### BaseTech Power Monitor (Conrad, 12,95 €)

- Einfaches Messgerät mit Backup-Batterie.
- Einzeiliges Display.
- Messen der Leistung (einschließlich Maximalwert) und Energie, Kostenprognose für Tag, Monat und Jahr.
- Leistungsmessbereich 10...3600 W.
- Technisch identisch mit Technoline Cost Control.
- Anleitung in DE, EN, NL.

### ELV Energie Monitor EM600-2 (ELV, 25,50 €)

- Gerät ohne Backup-Batterie.
- Großes einzeiliges Display.
- Messen der Spannung, Leistung, Energie und Einschalt-dauer, Kostenprognose für Woche, Monat und Jahr.
- Version EM800: Außerdem Messen von Strom, Phasenwinkel  $\cos \varphi$ , Frequenz und Scheinleistung.
- Leistungsmessbereich 1...4000 W.
- Die Gerätekalibrierung wird in der Anleitung ausführlich beschrieben.
- Anleitung in DE.





**ELV Energie Monitor EM600 Expert II (ELV, 39,95 €)**

- Gerät ohne Backup-Batterie.
- Großes einzeliges Display.
- Zweiteiliges Gerät, bestehend aus Steckerteil und Messeinheit, zum Messen an schwer zugänglichen Steckdosen wie z. B. hinter der Waschmaschine.
- Lieferbar auch als Version „Expert I“, dann ohne Steckerteil, mit Kabel für festen Anschluss.
- Messen von Spannung, Leistung, Energie, Einschaltdauer, Energiekosten, Kostenprognose für Woche, Monat und Jahr.
- Version EM800: Außerdem Messen von Strom, Phasenwinkel  $\cos \varphi$ , Frequenz und Scheinleistung.
- Leistungsmessbereich 1...4000 W.
- Die Gerätekalibrierung wird in der Anleitung ausführlich beschrieben.
- Anleitung in DE.



**Olympia Energy Meter EKM 2000 (Reichelt, 15,95 €)**

- Gerät mit Backup-Batterie.
- Dreiteiliges Display.
- Messen von Spannung, Strom, Leistung, Frequenz, Phasenwinkel  $\cos \varphi$ , maximaler Strom und maximale Leistung, Energie, Einschaltdauer und Energiekosten.
- Überlast-Anzeige für Strom und Leistung, Überlast-

Grenzwerte einstellbar.

- Leistungsmessbereich 4,5...3700 W.
- Berücksichtigung von Tag- und Nachttarif möglich.
- Messdauer maximal 10000 Stunden.
- Integrierte Zeituhr.
- Anleitung in DE, EN.



**Peaktech Energy-Meter 9024 (Reichelt, 15,95 €)**

- Gerät mit Backup-Batterie.
- Dreizeiliges Display.
- Messen von Spannung, Strom, Leistung, maximaler Strom und maximale Leistung, Energie, Einschaltdauer und Energiekosten.
- Überlast-Anzeige für Strom und Leistung, Überlast-Grenzwerte sind einstellbar.
- Leistungsmessbereich 4,5...3700 W.
- Messdauer maximal 10000 Stunden.
- Anleitung in DE, EN.





### Technoline Cost Control (ELV, 9,95 €)

- Einfaches Gerät mit Backup-Batterie.
- Einzeiliges Display.
- Messen von Leistung, maximale Leistung und Energie, Kostenprognose für Tag, Monat und Jahr.
- Leistungsmessbereich 4...3600 W.
- Technisch identisch mit BaseTech Power Monitor.
- Anleitung in DE, EN, FR, NL.



### Velleman Energiemeter (Typ NETBSEM, Velleman, 14,95 €)

- Gerät mit internem Backup-Akku.
- Dreizeiliges Display.
- Messen von Leistung, Energie, Einschaltdauer, Energiekosten.
- Leistungsmessbereich 0...1000 W.
- Integrierte Zeituhr mit Wochentaganzeige.
- Berücksichtigen von Tag- und Nachttarif möglich, Tarifzeiten einstellbar.
- Messdauer maximal 9999 Stunden.
- Anleitung in DE, EN, FR, ES, NL.



### Vulcraft Energy Check 3000 (Conrad, 24,95 €)

- Gerät ohne Backup-Batterie.
- Zweizeiliges Display.
- Messen von Leistung, maximale und minimale Leistung, Energie, Einschaltdauer, Energiekosten, separate

Recorder-Funktion.

- Leistungsmessbereich 1,5...3000 W.
- Berücksichtigen von Tag- und Nachttarif möglich.
- Messdauer maximal 99 Tage.
- Anleitung in DE.



### Vulcraft Energy Control 3000 Messsystem (Conrad, Set bestehend aus Messzentrale, Software und 1 Sensor, ≈ 100 €)

- Drahtloses Messsystem mit Messzentrale und maximal 12 Sensoren.
- Messzentrale kann über USB mit einem PC verbunden werden.
- PC-Software zum Verwalten von Messdaten im Lieferumfang enthalten.
- Sensoren einzeln lieferbar: Steckdosen-Sensor (ES-1), Kilowattstundenzähler-Sensor (ES-2), DIN-Schienen-Sensor (ES-3), Gasmengenmesser-Sensor (ES-4) und Sonnenstrom-Sensor (ES-5).
- Messen von elektrischer Leistung, Energie, Energiekosten einschließlich Kostenprognose, Gasverbrauch, Gaskosten einschließlich Gaskosten-Prognose.
- Datenspeicher für 108 Messtage (1 Sensor).
- Alarmauslösung bei Überschreiten voreingestellter Leistungswerte.
- Zeit- und Datum-Anzeige.
- Technisch identisch mit dem System EM-1000 von ELV.
- Anleitung in DE, EN, NL.

### Vulcraft Energy Monitor 3000 (Conrad, 39,95 €)

- Gerät mit Backup-Batterie und selbsttätiger Abschaltung nach 1 Minute.
- Dreizeiliges Display.



- Messen von Spannung, Strom, Frequenz, Wirkleistung, Scheinleistung, Phasenwinkel  $\cos \varphi$  (induktiv und kapazitiv), maximale und minimale Leistung, Energie, Energiekosten.
- Berücksichtigen von Tag- und Nachtarif möglich.
- Anzeige der Tarife sowie der Minimal- und Maximalwerte aller Größen, separate Recorder-Funktion, Kostenprognose für Woche, Monat und Jahr.
- Leistungsmessbereich 1,5...3000 W.
- Messdauer maximal 99 Tage.
- Anleitung in DE, EN, NL.

Tabelle 1. Messergebnisse

Messgerät	$U_{\text{Netz}}$ bei 230 V	2 W	100 W	800 W	Induktive Last (140 W, $\cos \varphi = 0,50$ )	Pulsförmige Last (12 W, $\cos \varphi = 0,45$ )
Basetech Power Monitor	-	0	100	805	144	11
ELV Energie Monitor EM600-2	229	1,8	102	797	139	12,1
ELV Energie Monitor EM600 Expert II	228	1,5	101	798	139	12,2
Olympia Energy Meter EKM 2000	233	0	97	814	163 $\cos \varphi = 0,60$	11 $\cos \varphi = 1,0$
Peaktech Energy-Meter 9024	232	0	101	804	185	15
Technoline Cost Control	-	0	100	804	145	12
Voltcraft Energy Check 3000	-	1,4	99	801	139	11,3
Voltcraft Energy Monitor 3000	230	1,9	99	796	139 $\cos \varphi = 0,50$	12,2 $\cos \varphi = 0,47$
Velleman Energiemeter NETBSEM	-	0	99	797	137	12



### Energiespartipps

- Schalten Sie alle elektrischen Geräte aus, die nicht unbedingt eingeschaltet sein müssen.
- Schalten Sie (wenn möglich) die Geräte mit dem Netzschalter aus, nicht mit dem Standby-Schalter oder der Fernbedienung.
- Stromsparlampen brauchen sehr viel weniger Energie als Glühlampen. Ein Wechsel ist besonders dort wichtig, wo Lampen täglich viele Stunden in Betrieb sind.
- Trennen Sie den Computer und sämtliches Zubehör (Bildschirm, Drucker usw.) über eine Steckdosenleiste mit eingebautem Schalter vom Netz.
- Steckernetzteile nehmen auch Energie auf, wenn die zugehörigen Geräte ausgeschaltet sind. Ziehen Sie Steckernetzteile aus der Steckdose oder verwenden Sie eine Steckdosenleiste mit Schalter.
- Wenn Geräte über Steckernetzteile ständig am Stromnetz angeschlossen sein müssen, kann der Austausch alter (analoger) Technik durch moderne schaltende Steckernetzteile sinnvoll sein. Der Wirkungsgrad ist höher, und der Energiebedarf ohne Last ist geringer.
- Manche Geräte (z. B. Kabel-TV-Tuner) nehmen im Standby-Betrieb gleich viel Energie wie im normalen Betrieb auf. Verwenden Sie den Anti-Standby-Switch aus dieser Ausgabe!
- Drahtlose Router müssen nicht ununterbrochen in Betrieb sein. Schalten Sie den Router aus, wenn er nicht gebraucht wird.
- Stellen Sie den Grundbedarf an elektrischer Energie in Ihrer Wohnung oder Ihrem Haus fest. Schalten Sie alle von Hand schaltbaren Geräte aus. Notieren Sie den aktuellen Zählerstand, lesen Sie den Zähler nach einer Stunde noch einmal ab. Die Differenz gibt Aufschluss über den Energiebedarf der „stillen Verbraucher“.





# Vielseitiges DC-Power Strom, Spannung und mehr

Von Oliver Micic

**Ein Netzgerät ohne Strom- und Spannungsanzeige ist eigentlich nicht vorstellbar. Das kompakte DC-Power-Messmodul stattet neu entwickelte und alte Einfach-Netzgeräte mit einer solchen Anzeige aus und ermöglicht auch die totale (Entlade-)Kontrolle bei einer Batterie- oder Akku-Stromversorgung. Dank Mikrocontroller-Technik mit einigen Extras!**

## Eigenschaften

- Spannung 0 V...30 V (Standardfunktion bei 13,8 V)
- Strom max. 5 A oder 50 A
- Spitzenstromanzeige ( $I_s$ )
- Leistungsanzeige 1 W...999 W
- Leistungsmessbereich Bargraph-Balken (abhängig von JP1) 150 W/800 W
- Elektrische Arbeit in kWh
- Akkukapazität in Ah
- Einschaltdauer in h/min, nach einer Woche in Tagen
- Bargraph-Balken für Leistung
- Gewählte Anzeige wird im EEPROM abgespeichert
- LCD-Beleuchtung
- Optionaler Temperatur-Sensor mit Software-Abgleich
- LCD und Messplatine bilden ein Modul (Sandwich)
- Firmware für LCD mit 2x16 oder 4x20 Zeichen

Um ein Netzgerät mit einer Strom- und Spannungsanzeige auszurüsten, kann man auch auf preiswerte Anzeigemodule aus dem Fachhandel zurückgreifen. Wenn allerdings ein selbstgebautes Messgerät interessante und nützliche Features aufweist, die ein käufliches Modul nicht bieten kann, ist es aber sicher eine Überlegung wert. Das hier vorgestellte Messgerät in Modulform zeigt in einem zwei- oder vierzeiligen beleuchteten LC-Display die Messwerte für Strom, Spannung und Leistung digital als Zahl und analog durch einen Messbalken an. Der Messbereich für die Spannung reicht von +0...30 V, für den Strom von 0...5 A oder 0...50 A, je nach eingesetztem Messwiderstand.

Doch damit nicht genug: Dank des Mikrocontrollers kann auch der Spit-

zenwert des Ausgangsstroms, die Ausgangsleistung, die entnommene Kapazität in Ah (bei Akku- oder Batteriebetrieb) und die gelieferte Energie in kWh angezeigt werden. Darüber hinaus lässt sich die Einschaltzeit und mit einem Temperatursensor zusätzlich die Temperatur des Kühlkörpers des Netzgeräts oder auch die Akkutemperatur überwachen. Per Relais lässt sich eine Abschaltung bei Unterspannung realisieren. Ist kein Sensor angeschlossen, erscheint die Meldung *no tmp* (bzw. *no sensor* bei 2 x 20-LCD).

Die **Tabelle** mit den wichtigsten Eigenschaften spricht für sich.

### Controller mit ADC

Das Messmodul ist zusammengesetzt aus einem DIP-LCD mit zwei Stiftleisten an den schmalen Seiten und ei-

ner Messplatine, die per Buchsenleisten auf das LCD gesteckt wird. Da im Messmodul keine SMDs eingesetzt werden sollten, beschränkt sich die Schaltung (**Bild 1**) auf ein Minimum an Bauteilen, damit die Elektronik unter dem LCD Platz findet. Diesen Bauteilgeiz ermöglicht ein leistungsfähiger Mikrocontroller mit integrierten Analog-Digital-Wandlern. Die Wahl fiel auf den AVR ATmega8PC im 28-poligen DIL-Format von Atmel. Der Controller verfügt über drei (fast) vollständige Ports, an denen neben dem üblichen Zubehör (Oszillator X1 mit C10/C11, POR-Netzwerk R8/C6) mit sechs Portleitungen auch das Display angeschlossen ist.

Die in der Firmware programmierten Betriebsarten des Mikrocontrollers werden über die Drahtbrücken JP1...JP4 ausgewählt:

# -Meter

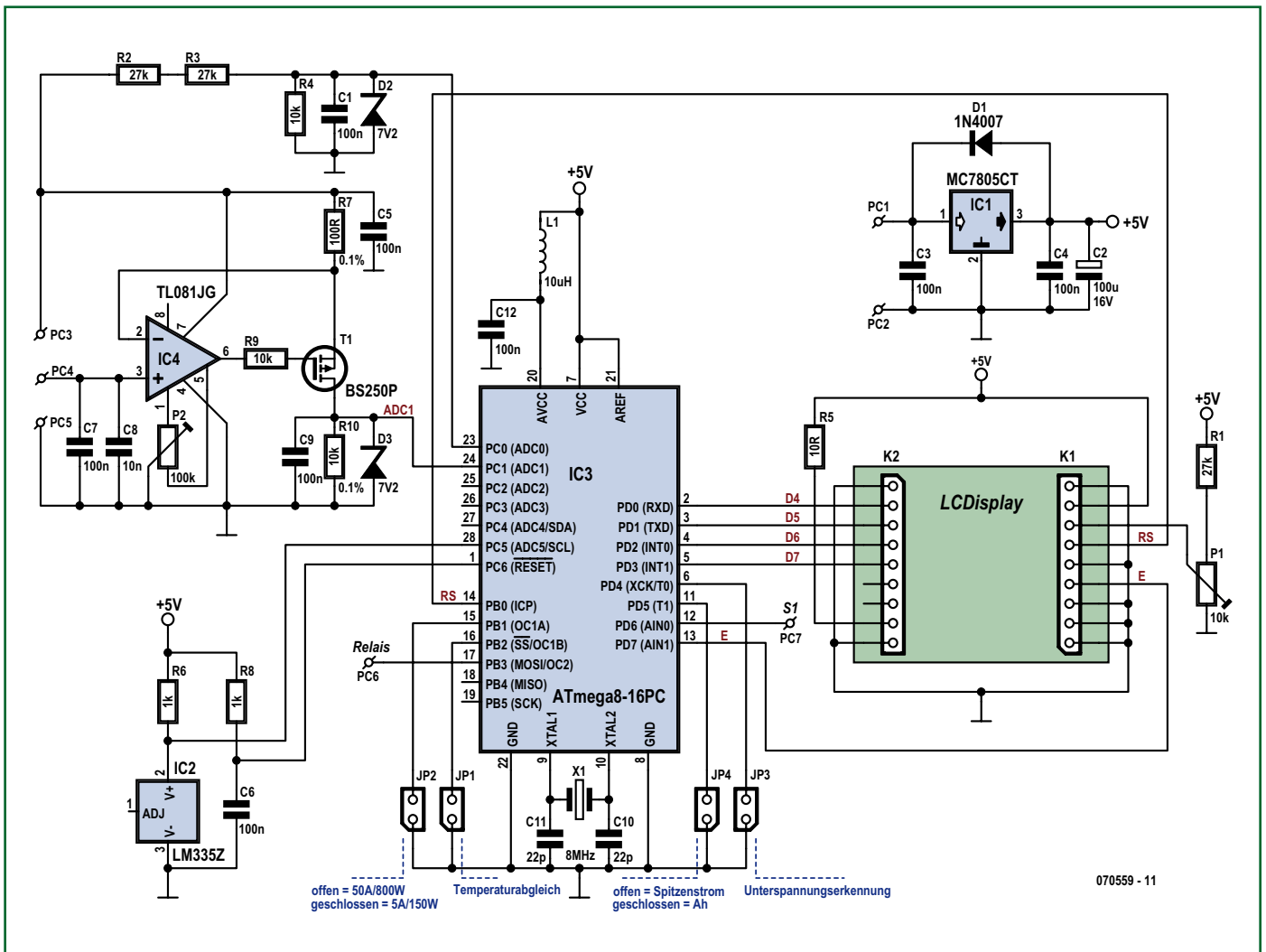
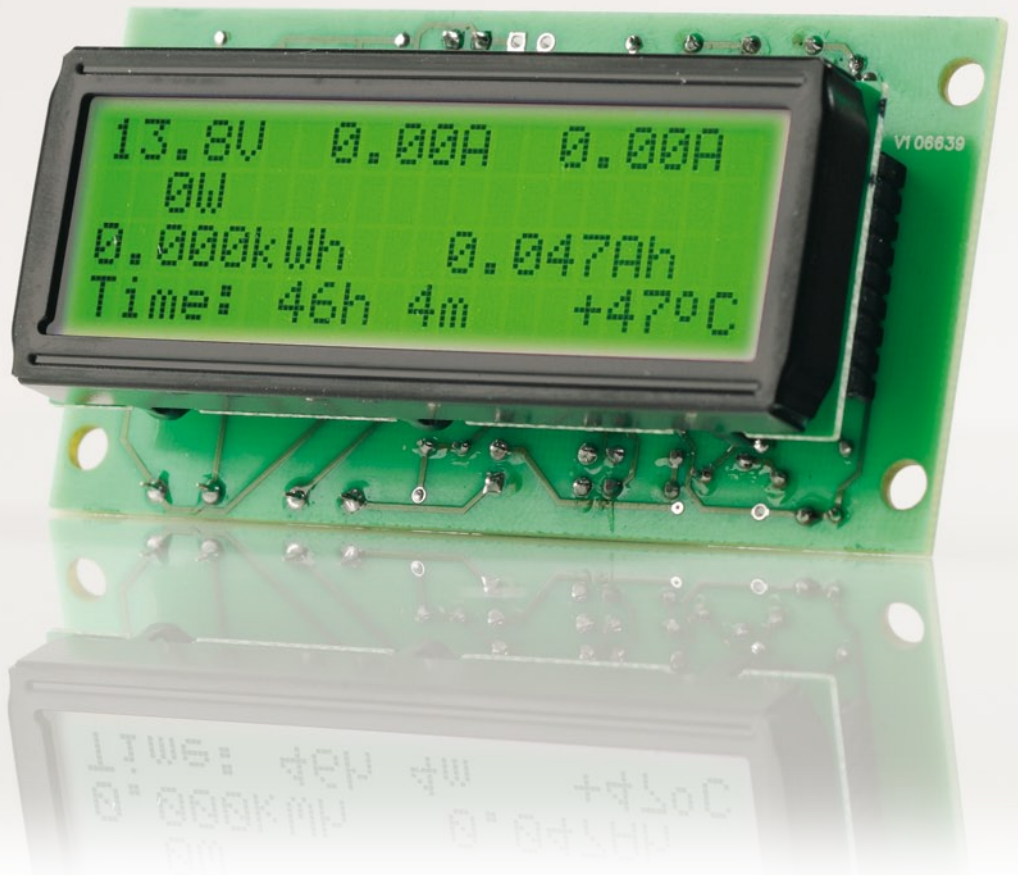


Bild 1. Ein Controller und etwas Messwertaufbereitung.

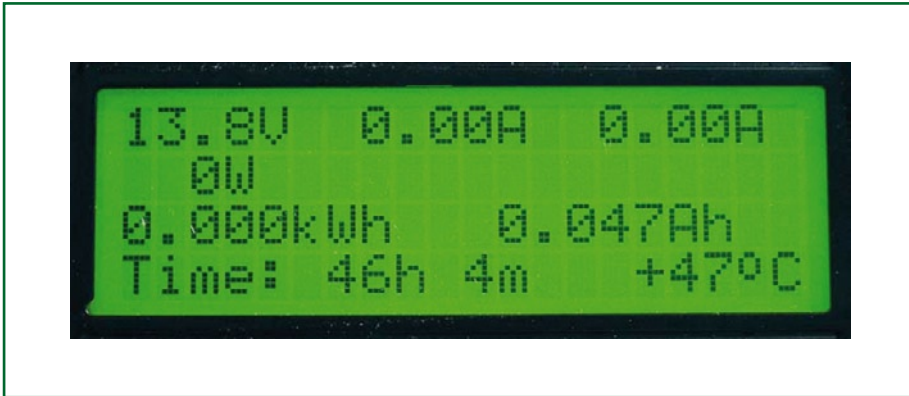


Bild 2. Die Anzeige der Messwerte im 4x20-LC-Display.

- **JP1** ist nur während des Abgleichs des Temperatursensors erforderlich. Dazu später mehr.
- Mit Drahtbrücke **JP2** wird der Strommessbereich gewählt (geöffnet: 50 A/800 W, geschlossen: 5 A/150 W). Der einzustellende Messbereich wird vom Messwiderstand bestimmt.
- Die Funktion Unterspannungsüberwachung ist standardmäßig ausgeschaltet, weil sie natürlich in einem Netzgerät nicht erforderlich ist. Setzt man das Messmodul aber zum Beispiel in einem akkubetriebenen Gerät zur Kontrolle der Energiequelle ein, kann man sie mit Drahtbrücke **JP3** aktivieren. Die Portleitung PB3 (Pin 17) wird bei <10,8 V aktiv und schaltet bei >11,8 V wieder ab. Die Überwachung verhindert, dass die Energiequelle völlig entladen wird, indem ein über eine Transistorstufe gesteuertes

Relais die Stromversorgung abschaltet. Die Hysterese ist ausreichend, um ein Klappern des Relais zu verhindern. An Stelle des Stromwerts erscheint dann ein Hinweistext auf dem LCD, der die erkannte Akkuentladung meldet. Ab einem Spannungswert von 11,8 V verschwindet diese Meldung wieder.

- Die Brücke **JP4** bestimmt, ob das 2x16-LCD den Spitzenstrom (offen) oder die entnommene Kapazität in Ah (gesteckt) anzeigt. Im normalen Betrieb (JP4 offen) werden die Messgrößen U, I, Is und P angezeigt, der Spitzenstrom rechts oben (aus Platzgründen) ohne Maßeinheit. Der Spitzenwert wird aktualisiert, so lange der aktuelle Messwert größer ist als der zuvor gemessene. Ist dies nicht der Fall, wird der angezeigte Wert für 2 s gehalten. Der Jumper kann auch während des Betriebs gesetzt werden, da die Ah-Berechnung ständig im Hintergrund läuft. Ein Kippschalter auf der Frontplatte wäre auch denkbar, falls man häufig umschalten möchte.

Da ein kleines 2x16-LCD natürlich zu wenig Platz für die Anzeige aller Parameter bietet, schaltet **Taster S1** zwischen dem Power-Peak-Balken, elektrischer Arbeit, Ah, Einschaltdauer und Temperatur um. Bei einem 4x20-LCD (Bild 2) ist die gleichzeitige Anzeige aller Messwerte möglich, so dass der Taster überflüssig ist und auch nicht unterstützt wird.

### Analoge Messelektronik

Die Analog-Digitalwandler des Controllers verbergen sich hinter den Pins 23...28 des Ports D. ADC0 (Pin 23) misst die Spannung, ADC1 (Pin 24) den Strom. Da das DC-Power-Meter Spannungen bis 30 V anzeigen soll, muss die Messspannung zunächst verringert werden. Rechnerisch ergibt sich aus dem

Spannungsteiler R2+R3 und R4 eine maximale (und noch zulässige) Spannung von knapp 4,7 V. Vor noch höheren Spannungen (Spannungsspitzen) schützt die Z-Diode D2.

Bei der Ermittlung des Stroms geht es nicht ganz so einfach zu. Der Ausgangsstrom des Netzgeräts (oder des Akkus) durchfließt einen sehr niederohmigen Shunt-Widerstand, der zwischen Plus-Ausgang der Netzgeräteschaltung (Pluspol des Akkus) und der Ausgangsklemme am Gerät (beziehungsweise der Plus-Leitung zum Verbraucher) eingeschleift ist (siehe Bild 3). Je nach gewünschtem Strom-Messbereich kommt ein 1-mΩ-Shunt (50 A) beziehungsweise ein 10-mΩ-Shunt (5 A) zum Einsatz.

Der in Bild 2 dargestellte Shunt besitzt vier Anschlüsse. Die beiden äußeren (a und d) sind die „normalen“ Anschlüsse des Widerstands, über den der Strom fließt. Zusätzlich gibt es zwei Mess-Anschlüsse (b und c), an denen der Spannungsabfall am Shuntwiderstand für die Strommessung abgegriffen wird. Diese beiden Anschlüsse werden mit den Anschlusspunkten PC3 und PC4 der Power-Meter-Platine verbunden und somit (siehe Bild 1) mit dem Opamp (IC4) verbunden. Der TL081 arbeitet als nichtinvertierender Spannungsverstärker, allerdings ist die Spannungsversorgung etwas ungewöhnlich.

Der Opamp liegt mit Pin 4 an Masse. Für +Ub wird die Spannung vom Plus-Ausgang des Netzgeräts (bzw. Akku-Pluspol) verwendet. Aus diesem Grund sind auch die Anschlüsse a und b des Shunts in Bild 2 miteinander verbunden.

Durch diese High-Side-Messung wird die Masse des Netzgeräts nicht verfälscht. Den TL081 stört das nicht, allerdings ist dann eine Strommessung erst ab einer Netzteil-Ausgangsspannung von ungefähr 4,5 V möglich. Der Opamp verfügt über die Möglichkeit, den Ausgangsoffset mit einem externen Trimpoti abzugleichen. Die Ausgangsspannung des Opamps wird dem ADC1 des Controllers zur Digitalisierung zugeführt.

Beim großen Strommessbereich von 0...50 A ergibt sich eine Auflösung von 50 mA/Digit, da der A/D-Wandler maximal 10 bit auflösen kann. Hinzu kommt noch ein Fehler von +/-1 bis +/-2 Digit, der durch das Quantisierungsrauschen bedingt ist. Bei einem Strom von 10 A stellt sich ein Fehler von 1 % ein. Bei der 5-A-Version ergibt sich eine

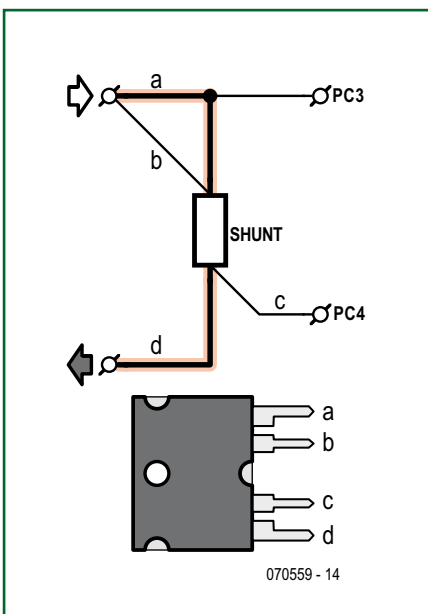


Bild 3. Anschlusskizze für den Shuntwiderstand, der vier Anschlüsse aufweist.



10-fach bessere Auflösung von 5 mA. Die Spannungsmessung ist übrigens etwas genauer, hier wird eine Auflösung von 30 mV/Digit erreicht. Diese Messfehler sind für ein Betriebsmessgerät völlig in Ordnung.

Was fehlt noch? Die Referenzspannung für die Analogsektion des Controllers wird von L1/C12 zusätzlich entkoppelt. Der optionale Temperatursensor IC2, ein LM335Z, ist direkt an ADC5 (Pin 28) angeschlossen.

Die +5-V-Versorgung der Schaltung übernimmt der Festspannungsregler IC1. Der Anschluss PC1 der Platine für die Betriebsspannung des Messmoduls ist direkt mit dem Eingang des Spannungsreglers verbunden. Diese Betriebsspannung kann im Bereich von minimal 8 V und maximal +30 V liegen. Beim Einbau in ein Netzgerät wird sich sicher eine geeignete Spannung finden, und beim 12-V-Akku dient die Akkuspannung als Betriebsspannung für das Messmodul. Bei Betriebsspannungen über 15 V ist der Kühlkörper bedingt durch die dann höhere Verlustleistung entsprechend zu vergrößern.

### Programmierung des Controllers

Wer den Controller selbst programmieren möchte, der findet auf der Elektor-Website eine ZIP-Datei zum Download. Diese enthält insgesamt vier Versionen der Firmware V1.16a im BIN- und HEX Format, nämlich zwei Versionen für LCDs mit 2x16 und 4x20 Zeichen, und diese dann jeweils in Deutsch und in Englisch. Der im Elektor-Shop zusätzlich zur Platine angebotene, fertig programmierte Controller enthält die Firmware für ein Display mit 4x20 Zeichen in der englischen Sprachversion.

Damit die Schaltung funktioniert, müssen beim Programmieren die Fusebit-Einstellungen korrekt vorgenommen werden. Die **Bilder 4 und 5** zeigen die korrekten Einstellungen in der Chip-Konfiguration von TwinAVR und PonyProg. Im Falle eines Firmware-Updates sollte man gleich das Bit setzen, das verhindert, dass das EEPROM beim Flashen gelöscht wird. So bleiben die alten Einstellungen erhalten.

### Aufbau, Abgleich, Einbau

Da keine SMDs eingesetzt werden, ist der Aufbau der Schaltung auf der kleinen Platine in **Bild 6** absolut unkompliziert, zumal Controller und Opamp in Qualitäts-Fassungen gesteckt werden. Zum Glück weisen alle LC-Displays der in der Stückliste genannten Baureihe die

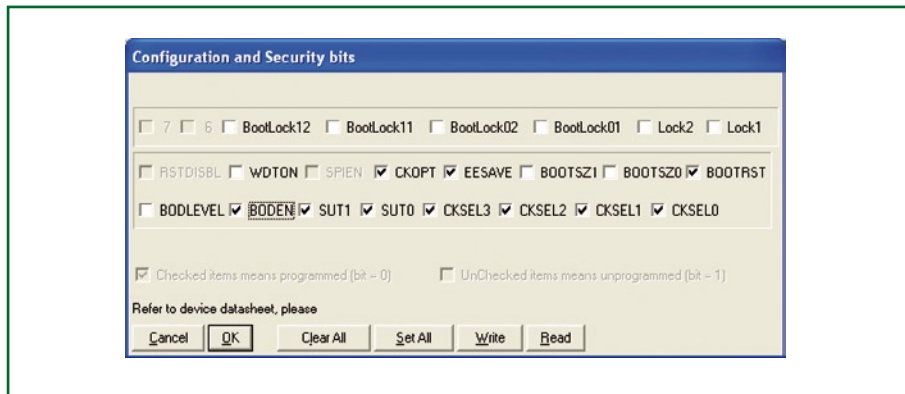


Bild 4. Einstellungen bei PonyProg.

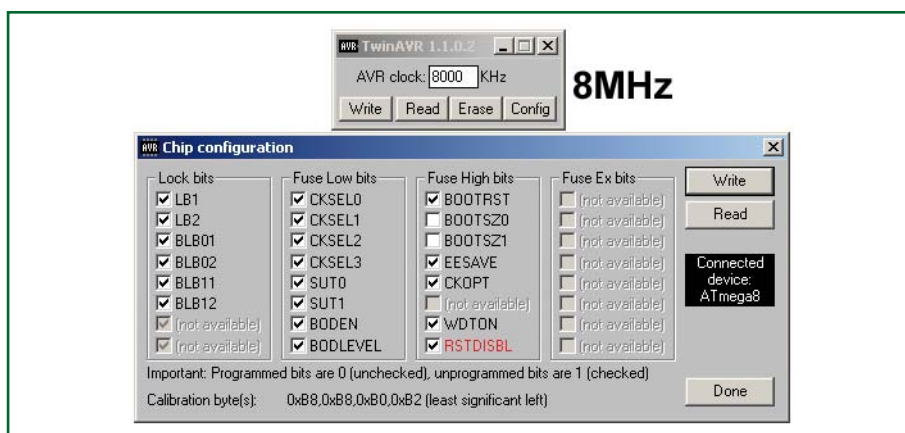


Bild 5. Chip-Konfiguration bei TwinAVR.

gleichen Maße und Pinbelegung auf, so dass es auch damit keine Probleme gibt. Der Temperatursensor wird auf der Platine montiert oder über ein kurzes abgeschirmtes Kabel angeschlossen.

Der Shunt wird mit einem seiner äußeren Anschlüsse unmittelbar an der Plus-Ausgangsbuchse des Netzgerätes (bzw. Plus-Pol des Akkus) montiert, der daneben liegende Sense-Anschluss mit einem dünnen Kabel mit PC4 des Power-Meters verbunden. Der Hochstrom-

Pin auf der anderen Seite des Widerstandes nimmt Kontakt mit dem Ausgang der Netzteilerschaltung auf. Dies sollte auf so kurzem Wege wie möglich und mit einem dicken Kabel geschehen. Von Anschluss PC3 des Power-Meters legt man noch ein dünnes Kabel über den zweiten Sense-Pin des Shunts ebenfalls zum Ausgang des Netzteils. Beim FET BS250 gibt es zwei verschiedene Versionen (BS250 und BS250P) mit unterschiedlichen Anschluss-

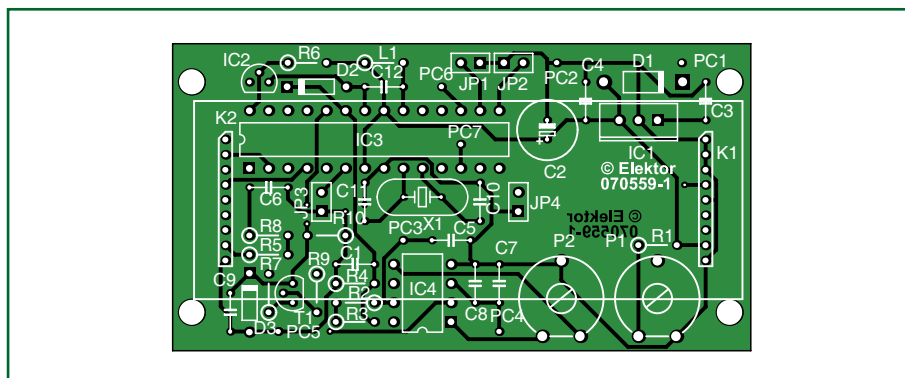


Bild 6. Die Platine hat fast die gleichen Abmessungen wie das LC-Display.

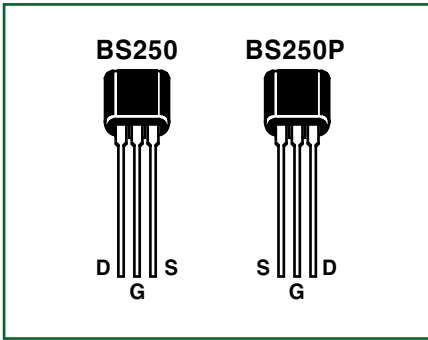


Bild 7. Den BS250 gibt es in zwei Versionen mit unterschiedlicher Anschlussbelegung.

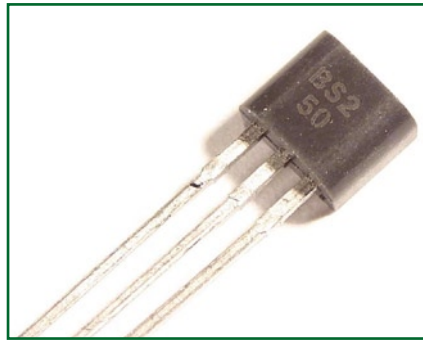


Bild 8. Dieses Exemplar hat die Anschlussbelegung der P-Version, was aber im Typen-Aufdruck nicht zu erkennen ist!

belegungen (siehe Bild 7). Bei der P-Version sind die Source- und Drain-Anschlüsse gegenüber der „normalen“ Version vertauscht. Doch aufgepasst: Es sind P-Versionen im Handel, die lediglich mit BS250 (ohne P!) bestempelt sind (siehe Foto Bild 8). Wenn man einen BS250 falsch herum (Drain und Source vertauscht) in die Platine lötet, ist der A/D-Wandler des Mikrocontrollers akut gefährdet! Hinweise zum MOSFET-Test findet man in dem gleichnamigen Artikel in Elektor 5/2003 auf S. 33.

Der erste Test des fertig bestückten und kontrollierten Power-Meters erfolgt am besten ohne Last an einem 12-V-Bleiakku oder an einem Netzgerät, bei dem man die Ausgangsspannung auf 13,8 V einstellt. Beim erstmaligen Einschalten wird man zum Abgleichen der Spannung aufgefordert, da die Genauigkeit der drei Widerstände (1%) R2...R4 nicht ausreicht. Dazu schließt man einen Taster (S1) an PC7 und Masse an, der dann - wenn gedrückt - Pin 12 des Mikrocontrollers nach Masse schaltet. Mit einem Multimeter wird die Spannung am Ausgang des Netzgeräts (bzw. die Akkuspaltung) gemessen. Der Taster wird nun so oft gedrückt, bis die Spannungsanzeige auf dem LCD des Powermeters mit dem vom Multimeter gezeigten Wert übereinstimmt. Ist der Spannungswert eingestellt, wird er nach 10 s übernommen und im EEPROM abgespeichert. Möchte man diesen Vorgang wiederholen, reicht es, den Taster beim Einschalten gedrückt zu halten, bis ein entsprechender Hinweis im LCD erscheint.

Anschließend wird die Strommessung mit P2 abgeglichen (Symmetrieeinstellung des Opamps IC4). Hierzu wird ein Lastwiderstand an das Netzgerät (bzw. den Akku) angeschlossen, der Strom mit einem Multimeter gemessen und P2 so eingestellt, dass der auf dem LCD des Powermeters angezeigte Stromwert mit dem des Multimeters übereinstimmt.

Wer den Temperatur-Sensor LM335 einsetzt, muss auch hier einen Korrekturwert bestimmen. Dazu schließt man an JP1 vorübergehend einen Taster an, der dann - wenn gedrückt - Pin 16 des Mikrocontrollers nach Masse schaltet. Dann misst man mit einem Vergleichsthermometer die Temperatur und drückt so oft kurz auf den Taster, bis der Wert auf dem LCD erreicht ist. Jeder Tastendruck erhöht die Anzeige um 1 Grad, nach 20 Grad fällt der Wert wieder auf den Anfangswert

## Stückliste

### Widerstände:

- R1 = 27 k
- R2,R3 = 27 k, 1%
- R4 = 10 k, 1%
- R5 = 10 Ω
- R6,R8 = 1 k
- R7 = 100 Ω / 0,1%
- R9 = 10 k
- R10 = 10 k / 0,1%
- P1 = Trimpoti 10 k
- P2 = Trimpoti 100 k
- Präzisionsshunt 1 mΩ/50 A, 0,5%\* oder 10 mΩ/5 A, 0,5%\*, Isabellenhütte Typ PBV R001 oder R01 (Conrad 447315 oder 447323)

### Kondensatoren (alle RM 2,5):

- C1,C3...C7,C9,C12 = 100 n
- C2 = 100 μ/16 V
- C8 = 10 n
- C10,C11 = 22 p keramisch

### Halbleiter:

- D1 = 1N4004
- D2,D3 = Z-Diode 7V2, 500 mW
- T1 = BS250\*

- IC1 = 7805 TO220
- IC2 = LM335 (TO92)
- IC3 = ATmega8PC (programmiert: 070559-41\*\*)
- IC4 = TL081P DIL

### Außerdem:

- X1 = Quarz 8 MHz
- L1 = Spule 10 μH
- 1 Präzisions-IC-Fassung 8-polig
- 1 Präzisions-IC-Fassung 28-polig
- LCD 2x16 oder 4x20 DIP mit Beleuchtung, Electronic Assembly (Conrad 181755 bzw. 181863)
- JP1 = provisorischer Taster (Schließer)
- JP2,JP3 = Jumper oder Drahtbrücke
- JP4 = Jumper oder Kippschalter 1x an\*
- U-Profil Kühlkörper 12 K/W für TO220 (IC1)
- 4 Distanzbolzen M3i/M3a 18 mm lang
- 2x 10-polige Buchsenleiste RM2.0 (ein Pin entfernen)
- Platine 070559-1\*\*
- Hinweis: Software- und Layout-Download (gratis) bei [www.elektor.de](http://www.elektor.de)

\*siehe Text

\*\*siehe Elektor-Shop-Anzeige im Heft und [www.elektor.de](http://www.elektor.de)

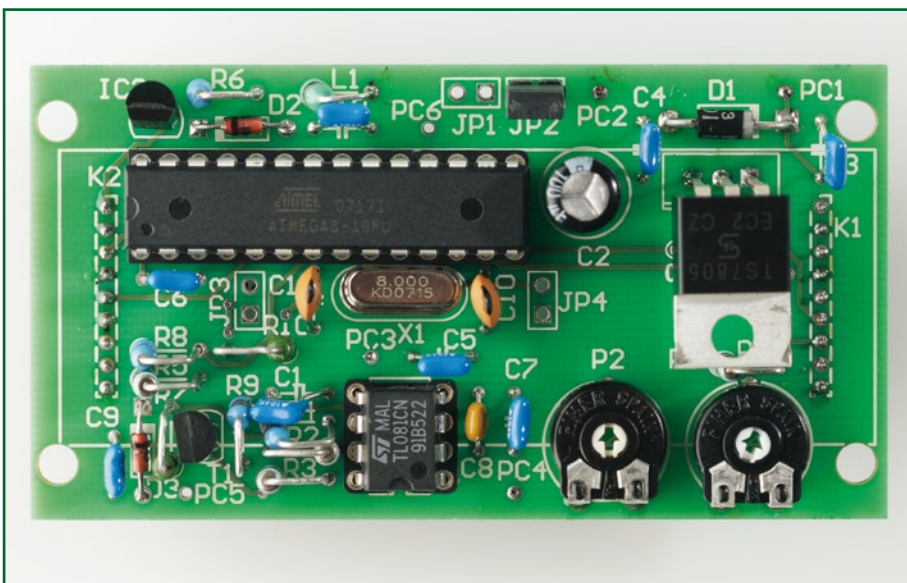


Bild 9. Die Bestückung der Musterplatte.

zurück. Auch dieser Abgleichwert wird im internen EEPROM abgespeichert. Abschließend wird mit P1 der Kontrast des LC-Displays eingestellt; weitere Abgleicharbeiten sind nicht erforderlich.

### In Planung

Der Autor arbeitet derzeit an der Firmwareanpassung für den neuen ATmega88 beziehungsweise Mega168. Beide Controller sind pin-kompatibel, der Mega168 hat aber mehr Programm-Flashspeicher. Damit könnten noch folgende Funktionen realisiert werden:

- Speicherfunktion von Laufzeit, kWh und Ah mit Löschfunktion
- Abfrage der aktuellen und der insgesamt gespeicherten Werte
- freie Shunt-Wahl 1mΩ, 10mΩ oder 60 mV-DIN-Shunts)

Schauen Sie einfach ab und zu bei [www.elektor.de](http://www.elektor.de) oder der Homepage des Autors vorbei, um zu sehen, ob es etwas Neues gibt. Selbstverständlich gibt es dann auch einen Update-Hinweis in der Mailbox-Rubrik von Elektor,

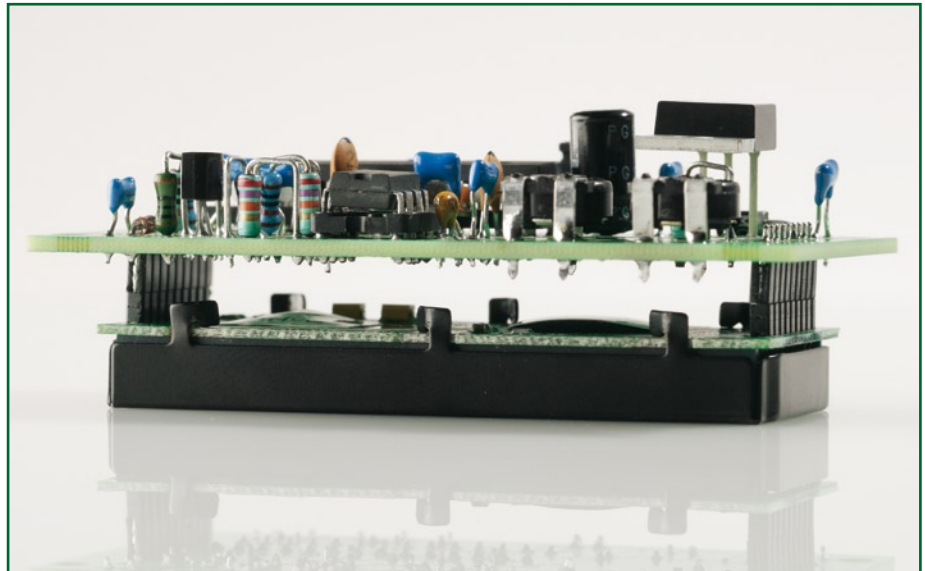


Bild 10. Das LC-Display wird einfach auf die Platine aufgesteckt.

aber wegen der periodischen Erscheinungsweise dieses Mediums leider nicht in Echtzeit...

#### Website des Autors:

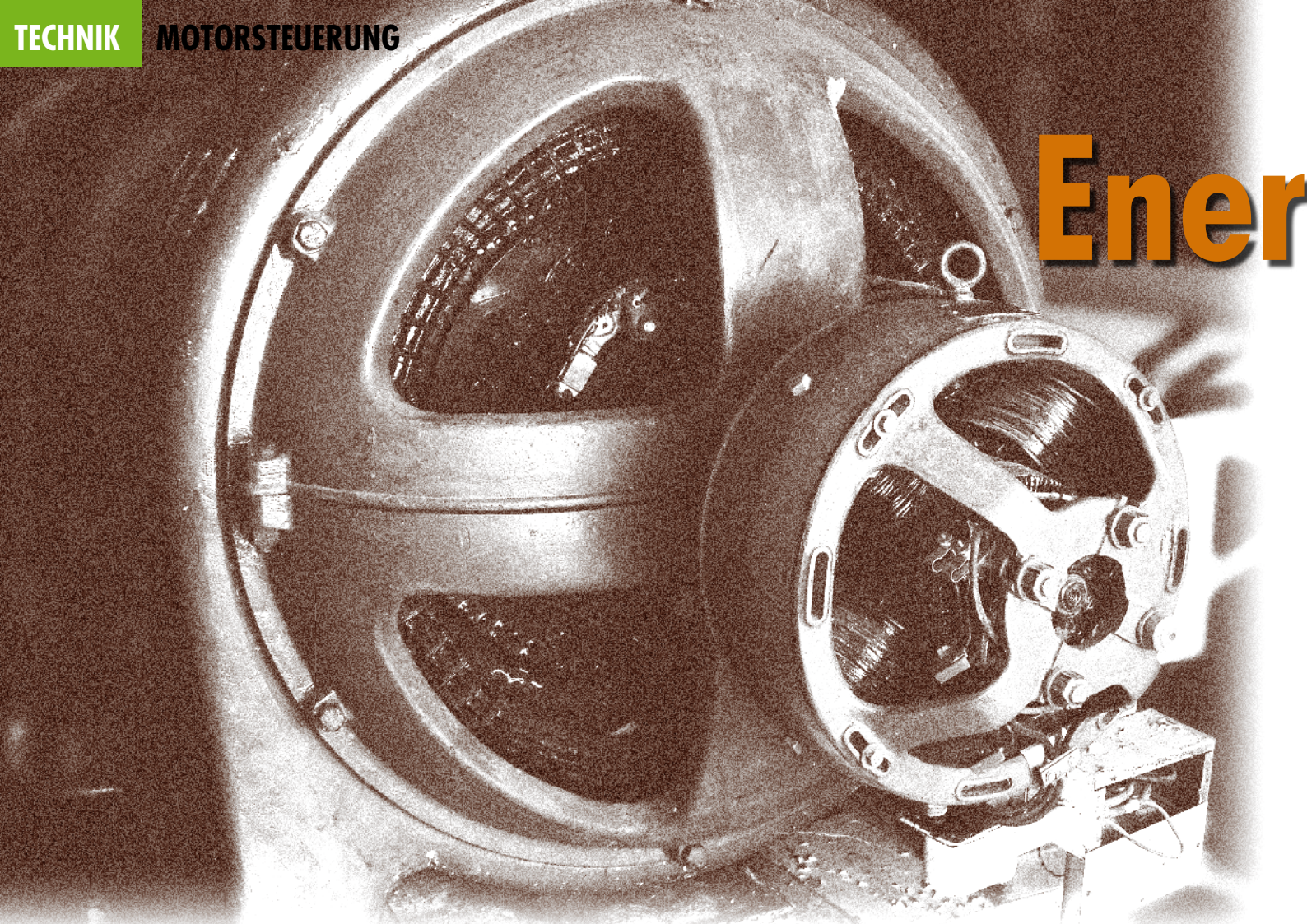
[www.dg7xo.de/selbstbau/nt-power-modul.html](http://www.dg7xo.de/selbstbau/nt-power-modul.html)

(070559e)rg

Anzeige

we	want	you
<p>Siteco Beleuchtungstechnik ist einer der führenden Hersteller und Anbieter modernster Innen- und Außenbeleuchtung sowie kundenspezifischer Lichtlösungen.</p> <p>Die Marke Siteco steht für Innovation, Qualität und Service in der Beleuchtungstechnik. Als europäischer Unternehmensverbund mit Zentrale in Traunreut am Chiemsee vertreiben wir unsere Lichtlösungen im europäischen Markt sowie weltweit in ausgewählten Regionen.</p> <p>Unser Kerngeschäft sind Beleuchtungslösungen für neue Bauwerke und Projekte wie beispielsweise für die Allianz Arena in München, den Reichstag in Berlin oder den Taipei Tower in Taiwan.</p> <p>Wir wachsen schneller als der Markt und bieten Ihnen ein dynamisches und teamorientiertes Umfeld. Zur Sicherung und zum Ausbau der Qualitätsführerschaft von Unternehmen und Marke Siteco suchen wir Verstärkung.</p>	<p>Für Sie zählen Leistung und Einsatz. Dann kommen Sie zu uns als</p> <h2>Ingenieur Entwicklungslabor (m/w)</h2> <p>Folgendes Aufgabengebiet erwartet Sie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Planung und Realisierung von Messungen elektrischer und physikalischer Größen an Leuchtensystemen, Baugruppen und Komponenten</li> <li>● Programmierung von automatisierten Mess- und Simulationsabläufen, Messwertdatenbanken und Auswertungen</li> <li>● Analyse und Interpretation von Messdaten in enger Zusammenarbeit mit den Systementwicklern</li> </ul>	<p>Sie haben stets den Durchblick und ein Auge für jedes Detail</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Ingenieurstudium in der Elektrotechnik bzw. Elektronik mit Berufserfahrung möglichst aus dem Bereich Labor / Prüffeld</li> <li>● Sehr gute Programmierkenntnisse in LabView, C++ sowie Datenbanksystemen (SQL, Access)</li> <li>● Sicheres Verständnis elektrotechnischer und elektronischer Systeme geringer bis mittlerer Komplexität sowie Aspekten der EMV</li> </ul>
<p><b>Siteco Beleuchtungstechnik GmbH</b>  <b>Personalabteilung</b></p> <p>Veronika Danner  Fon: +49(0)8669/33-951</p> <p>Georg-Simon-Ohm-Straße 50  83301 Traunreut - Deutschland  Fax: +49(0)8669/33-554  Web: <a href="http://www.siteco.com">www.siteco.com</a>  Mail: <a href="mailto:bewerbungen@siteco.de">bewerbungen@siteco.de</a></p>		





Der gesamte Energieverbrauch der Menschheit wächst von Jahr zu Jahr. Auf der Basis fundierter staatlicher Statistiken kann man für den Zeitraum von 2002 bis 2025 eine weitere Steigerung von 57% annehmen. Hier zeigt sich die industrielle Aufholjagd in Asien und der damit gekoppelte Energieverbrauch sehr deutlich. Allein für China wird für das Jahr 2007 ein Wachstum des Energiebedarfs von 11% veranschlagt. Doch auch in Osteuropa sind noch Steigerungen zu beobachten: Die jährliche Steigerungsrate im Jahre

2007 beträgt für die Ukraine etwa 7% und 5% für Slowenien.

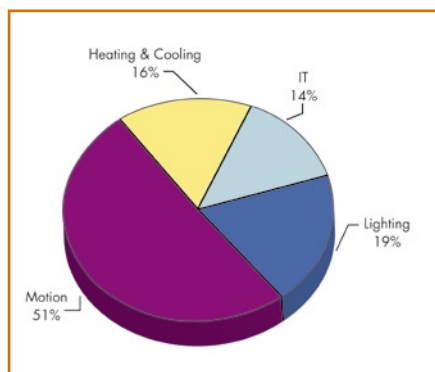
Die EU hat eine EuP-Direktive betreffend den Energiebedarf verbrauchender Produkte veröffentlicht, die auf eine Reduktion von 39 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> für elektrische Antriebe (also Motoren) hinausläuft. Die wichtigsten Einsparpotentiale liegen sicherlich bei einer Optimierung des Wirkungsgrads und bei einer Absenkung des Standby-Verbrauchs. Ein verantwortlicher Umgang mit Ressourcen wird gefordert. Laut den so genannten SAVE-Reports der EU ließen sich

durch effizientere Motoren und bessere Frequenz-Umsetzer allein schon 4 bzw. 12 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> einsparen. Wie IMS-Untersuchungen (EPRI) belegen, entfällt die Hälfte der verbrauchten elektrischen Energie auf elektrische Antriebe (**Bild 1**).

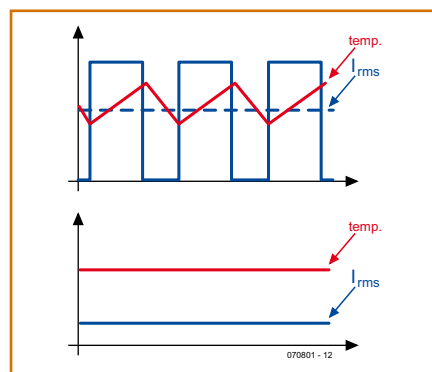
### Pumpen

Betrachten wir einmal eine Wasserpumpe: Bisher wird die fließende Wassermenge durch eine Drossel oder ein Ventil reguliert. Dies hat zur Folge, dass der Pumpenmotor mit maximaler Leistung arbeiten muss, während durch den Druckabfall des Ventils die Ausgangsleistung reduziert wird. Der Einsatz von Drosseln oder Ventilen reduziert den Wirkungsgrad des Gesamtsystems beträchtlich.

Das obere Diagramm in **Bild 2** zeigt eine klassische schaltende Zweipunkt-Regelung, die aufgrund ihrer Einfachheit in vielen häuslichen Temperaturregelungen wie beim Kühlschrank benutzt wird. Das obere Diagramm illustriert den typischen Strom- und Temperaturverlauf für einen nicht über einen Inverter gesteuerten Motor. Läuft der Motor, so sinkt die Temperatur im Inneren und gleichzeitig steigt die Temperatur des Motors. Erreicht die Temperatur im Kühl-



**Bild 1.** Elektrische Antriebe sind für gut die Hälfte des Verbrauchs an elektrischer Energie verantwortlich.



**Bild 2.** Oben: Strom und Motortemperatur bei der Zweipunkt-Regelung eines Kühlschranks. Unten: Strom und Motortemperatur bei kontinuierlicher Regelung.



# Energiesparen mit Motorsteuerungen Effizient & störungsarm

Von Dr. Stephan Chmielus, Fairchild Semiconductor

**Der Einsatz von Elektronik in Industrie und Haushalt nimmt immer weiter zu und gleichzeitig nehmen die Vorräte an fossiler Energie global ab und sind ungleich verteilt. Erneuerbare Energien werden immer wichtiger, und potentielle Engpässe führen zu Regulierungen mit dem Ziel des Energiesparens und der Steigerung der Energieeffizienz. Nicht wenig Energie wird von Motoren aller Art verbraucht. Können auf diesem Gebiet Verbesserungen erzielt werden?**

schrank den unteren Punkt der Hysterese des Thermostaten, wird der Pumpenmotor ausgeschaltet und in der Folge steigt die Temperatur innen, bis der Motor wieder den Kühlprozess einleitet. Diese Art der Steuerung erzeugt große thermische Belastungen für die schaltenden Halbleiter, was ihre Lebensdauer reduziert.

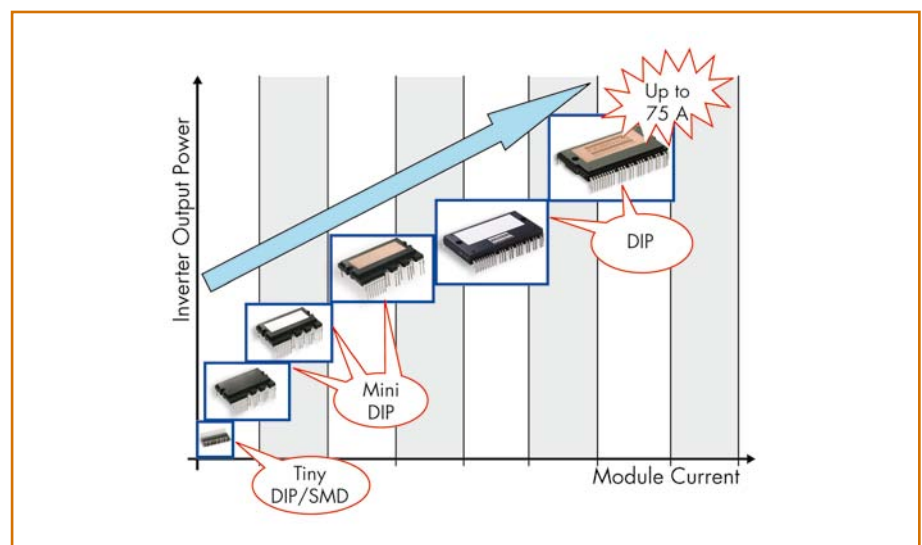
Ersetzt man den Motor durch ein modernes bürstenloses Exemplar, ergeben sich neben verbessertem Wirkungsgrad auch höhere Zuverlässigkeit und höhere Leistung. Das untere Diagramm zeigt den Sachverhalt bei einem über einen Inverter gesteuerten Motor. Da die Leistung stufenlos geregelt werden kann, ist die Temperatur des Antriebs stabil. Insgesamt sinkt so die mittlere Stromaufnahme und damit der Energieverbrauch gegenüber einer konventionellen Zweipunktregelung.

## Intelligente Antriebe

Die typische Energieeinsparung bei Umrüstung von konventionellen Wechselstrommotoren auf invertergesteuerte Antriebe liegt in der Größenordnung von 20%. Wird zusätzlich ein moderner bürstenloser Motor eingesetzt, dann steigt die mögliche Energieeinsparung auf bis zu 40% (Quel-

le: EPRI) im Vergleich zur konventionellen Antriebstechnik. Intelligente Leistungs-Module sind daher der aktuelle Trend bei Antrieben niedriger Leistung in Haushaltsgeräten – und in der Industrietechnik sowieso. Fairchild hat passend dazu eine ganze Reihe an solchen intelligenten Steuerungs-Modulen unter der Bezeichnung Motion-SPM™ aufgelegt, mit Hilfe

derer Entwickler auf einfache Weise Strom sparende Antriebe realisieren können. Die wichtigsten Vorteile dieser Module sind ihre gute Leistung sowie die große Zuverlässigkeit und Standfestigkeit. **Bild 3** gibt einen Eindruck von der Palette an Gehäusen vom Tiny-DIP/SMD für Motorleistungen bis zu 150 W über Mini-DIP-Varianten für den mittleren Leistungsbereich



**Bild 3.** Integrierte Motorsteuerungen gibt es je nach Leistungsklasse in verschiedenen Gehäuseformen.

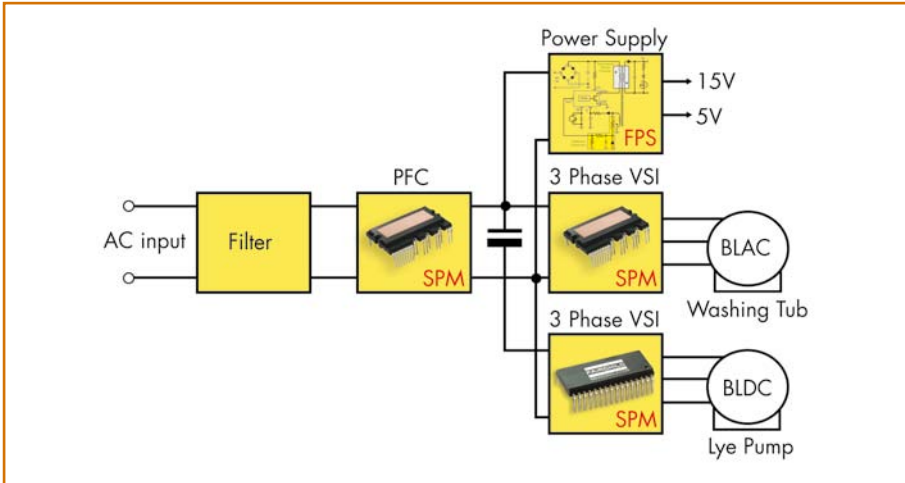


Bild 4. Moderne Motorsteuerung in einer Waschmaschine.

### Power-Modul FSBxyCH60B

Min-iDIP-Gehäuse

x: F=Full Pack, B=DBC

y: Strombereich 3...30 A bei 600 V

2,5 kV Isolationsspannung

IGBTs mit niedrigen Verlusten

Integrierte Bootstrap-Diode

OCP, UVLP, TSD

Gehäuse-Abmessungen 44 mm x 26,8 mm

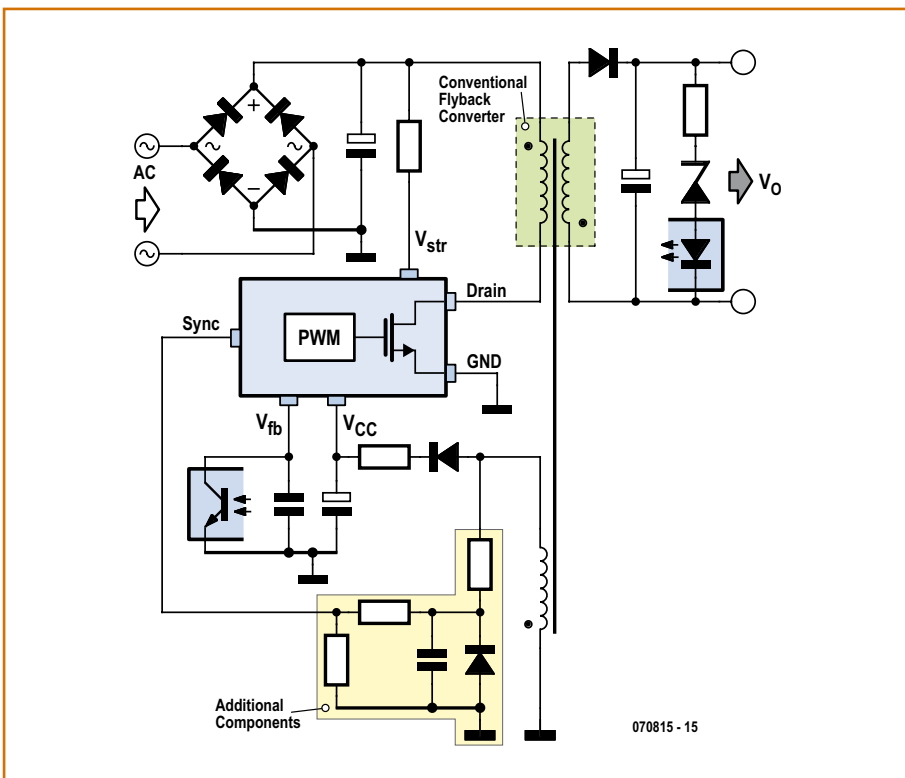


Bild 5. Der gelb markierte Signalpfad ermöglicht den quasi-resonanten Betrieb des Schaltnetzteils.

bis 3 kW bis hin zum Modul im DIP-Gehäuse, dessen Ausgangsleistung bis 7 kW reicht.

Die Module enthalten nahezu durchweg einen Dreiphasen-VSI (Voltage Source Inverter) mit entsprechenden Treibern und diversen Schutzfunktionen. Einige Varianten verfügen über integrierte Bootstrap-Dioden, Temperatursensoren oder gar einen kompletten Überhitzungsschutz. Die kleineren Module gibt es sogar als SMD, wodurch sie kompatibel mit moderner Platinenbestückungstechnik sind. PFC-SPM-Module wurden speziell für niedrige Störpegel entwickelt. Nach Standards wie EN61000-3-2 müssen Hausgeräte (außer Klasse-D-Anwendungen) in Dreiphasen-Anwendungen nach Klasse A ausgeführt werden. Für die aktive Regelung des Power Factors (Wirkleistungsfaktor) wird üblicherweise der Eingangswechselstrom vollweggleichgerichtet und der Ausgang mit Hilfe eines so genannten Boost-Converters (elektronischer Frequenzumsetzer bzw. Generator) realisiert. All dies mitsamt Treiberstufen und Schutzfunktionen ist schon im kleinsten Mini-DIP-Modul integriert, so dass sich damit einfache Lösungen für einphasige Speisungen mit 85...260 VAC aufbauen lassen. Nutzt man nur zwei Boost-Converter – je einen für die positive und die negative Halbwelle des Sinussignals, dann kann man sogar auf die Brückengleichrichtung verzichten. Da so nur eine Diodenstrecke in Serie mit dem Verbraucher liegt, sinken die Verluste gegenüber der Brücke. Gleichzeitig werden die IGBTs bei zwei Boost-Converters jeweils thermisch geringer belastet. Auch solche Lösungen gibt es im Mini-DIP-Gehäuse.

### Im Haushalt

Eine Waschmaschine ist ein sehr geeignetes Objekt für Energiesparmaßnahmen. Wie in Bild 4 gezeigt, wird in modernen Waschmaschinen die Trommel von einem BLAC-Motor (brushless AC-motor = bürstenloser Wechselstrommotor) angetrieben. Hierzu passend sind neuere Mini-DIP-Steuerungs-Module vom Typ FSBxyCH60B, dessen technische Daten detaillierter im Kasten aufgeführt sind. Mit dieser neueren Technik lassen sich gegenüber Motorsteuerungen der letzten Generation bessere Wirkungsgrade realisieren, weshalb auch die nötigen Kühlkörper kleiner ausfallen können. Außerdem vereinfachen integrierte Bootstrap-Dioden sowie die interne Verbindung von VS- und HS-Emitter die Schaltungsentwicklung. Als Wasserpumpe zum Entleeren der Maschine kommt ein BLDC-Motor (brushless DC-motor = bürstenloser Gleichstrommotor) zum Einsatz. Auch hierfür gibt es eine



integrierte Motorsteuerung im Tiny-DIP- oder SMD-Gehäuse. Dieses Modul ist bezüglich EMI optimiert und verwendet MOSFETs anstelle von IGBTs als Leistungstransistoren. Durch die kleinen Abmessungen von 29 mm × 17 mm kann die Steuerung direkt am Motor angebracht werden, was Störstrahlung weiter minimiert.

### „Grüne“ FPS

Auch für verlustarme Schaltnetzteile gibt es Module der Serie „Green FPS™ e-Series™“. Diese FPS haben neben der PWM-Steuerung auch einen Sense-MOSFET integriert - siehe **Bild 5**. Mit einigen zusätzlichen Bauteilen (drei Widerständen, einem Kondensator und einer Diode) lässt sich so ein Schaltnetzteil realisieren, das gegenüber konventionellen Schaltungen quasi-resonant arbeitet. Das ermöglicht gegenüber dem Betrieb bei fixer Frequenz nicht nur weniger EMI, sondern verbessert auch den Wirkungsgrad. Hierzu detektiert der PWM-Controller die minimal auftretende Sperrspannung am MOSFET, um dann erst einzuschalten, wodurch sich ein geringerer Wert für dV/dt und folglich weniger EMI und geringere Schaltverluste

ergeben. Letzteres erlaubt niedrigere IC-Temperaturen und reduzierten Kühlauflauf. Die Stromsparstrategie wird durch minimalen Strom im Standby-Modus weiter unterstützt. Mit den „grünen“ FOPS lassen sich also sowohl preisgünstige als auch effektive Schaltnetzteile und SEPICs (single-ended primary inductance converter) realisieren.

### Fazit

Der Schwerpunkt bei Motorsteuerungen liegt eindeutig bei der Optimierung des Wirkungsgrades und besserer Leistungsfähigkeit. Mit Motion-Smart Power-Modulen lassen sich dreiphasige Inverter mit zusätzlichen Funktionen für mehr Komfort und Zuverlässigkeit realisieren. Ihre optimierte PFC ermöglicht eine Stromversorgung mit maximaler Effizienz. Nicht zu vernachlässigen ist auch der quasi-resonante Betriebsmodus der mit Fairchild-Halbleitern realisierten Schaltnetzteile. Alle vorgestellten Lösungen haben ein Merkmal gemeinsam: Sie steigern den Wirkungsgrad des Gesamtsystems deutlich, wovon letztlich die gesamte Welt profitiert.

## Abkürzungen

BLAC-Motor	Brushless AC Motor = bürstenloser Wechselstrommotor
BLDC-Motor	Brushless DC Motor = bürstenloser Gleichstrommotor
EPRI	Electric Power Research Institute
EMI	Electromagnetic Interference = Störstrahlung
FPS	Fairchild Power Switch
IGBT	Insulated Gate bipolar Transistor
PFC	Power Factor Correction = Leistungsfaktor-Anpassung
PWM	Pulse-width Modulation = Pulsbreitenmodulation
SAVE	Specific Actions for vigorous Energy efficiency
SEPIC	Single-ended primary Inductance Converter
VSI	Voltage Source Inverter = Wechselrichter

(070801-Its)

Advertisement



Die neue Online-Plattform  
für Elektroniker:  
[www.elektor.de](http://www.elektor.de)

**Termine für Elektor  
Nr. 2 / 2008**

Anzeigenschluss:  
↓  
21.12.2007

Erscheinungstermin:  
↓  
23.01.2008

**Anzeigen:**  
Verlagsbüro ID  
Telefon:  
(0511) 33 48 436  
E-Mail:  
service@id-medienservice.de  
Internet:  
www.id-medienservice.de

**CNC  
Graviermaschinen**  
Das CNC System zum Preis eines PC's.

**Restposten ab  
1.299,- €**  
Neugeräte  
Ing. Büro Schwanekamp N.  
Tel 02852 4926 Fax 5224  
[www.cnc-schwanekamp.de](http://www.cnc-schwanekamp.de)

**ISA + PCI  
Computerkarten**  
RS-232/422/485  
2/4/8-Port Karten  
und Konverter  
Watchdog-, Analog-,  
Digital-, Relais- Opto-,  
8255-, Timer-, TTL- I/O

Alle Karten mit vielen Treibern sowie  
Programme erbeispielbar.  
Bitte kostenlosen Katalog anfordern!

**MERZ**  
Decision-Computer Jürgen Merz e.K.  
Lengenercher Str. 21 - 48536 Liern  
Telefon 05183-77002  
FAX 05183-77003  
Info@decision-computer.de

<http://www.decision-computer.de>

**Have a look!**

... the specialist in  
**Short  
Range  
Radio**

**HM FUNKTECHNIK GmbH**  
<http://www.hmradio.de>

# Steuerelektronik für Energie

## Vorheizen, zünden, leuchten: Alles auf e

Von T. A. Babu

**Die Glühbirne, die der Menschheit über mehr als ein Jahrhundert Licht spendete, wird in den nächsten Jahren von der Bildfläche verschwinden. Ihre Aufgabe, Büros, Straßen und Wohnräume zu illuminieren, wird von weniger Energie fressenden Lichtquellen übernommen, vor allem von Leuchtstoffröhren. Im Gegensatz zur Glühbirne benötigt eine Leuchtstoffröhre aber prinzipiell eine Vorschaltelktronik, damit sie starten und Licht spenden kann.**

Es gibt zwei Kategorien von Vorschaltgeräten für kompakte Leuchtstoffröhren (compact fluorescent lamps CFL), nämlich die konventionelle (KVG) mit Drossel und mechanischem oder elektronischem Starter und die elektronische (EVG) mit Gleichrichter und LC-Schwingkreis, der die Röhre mit verschiedenen Frequenzen zum Vorheizen, Zünden und Leuchten versorgt. EVGs weisen fast keine Blindleistung und eine bis zu 30% geringere Verlustlei-

stung gegenüber KVGs auf, garantieren einen zuverlässigen und schnellen Start, einen flimmerfreien Betrieb und sind leise (kein Netzbrummen). Die Schaltung des hier vorgestellten EVGs eignet sich für alle 20-W-Energiesparlampen ohne eigenes (integriertes) Steuergerät. Diese Lampen erkennt man daran, dass sie keinen E(dison)-Schraubsockel aus Keramik oder ABS-Kunststoff besitzen, wie dies bei den Modellen in **Bild 1** der Fall ist, son-

dern zwei oder vier Stifte. Diese Lampen mit Stiften (**Bild 2**), die in Low-power-Ausführungen Glühlampen und in Medium- oder High-power-Versionen Leuchtstoffröhren und sogar Hochdruck-Gasentladungslampen ersetzen, benötigen stets ein Vorschaltgerät. Wer mehr über die Grundlagen von Leuchtstoffröhren wissen möchte, sollte einmal bei [1] oder [2] nachblättern. Eine 20-W-Leuchtstoffröhre verspricht die Leuchtkraft einer 100-W-Glühbirne,



**Bild 1.** Eine kompakte Leuchtstoffröhre mit in der E-Fassung integriertem Vorschaltgerät als direkter Ersatz für Glühbirnen.

# Energiesparlampen in einem Chip

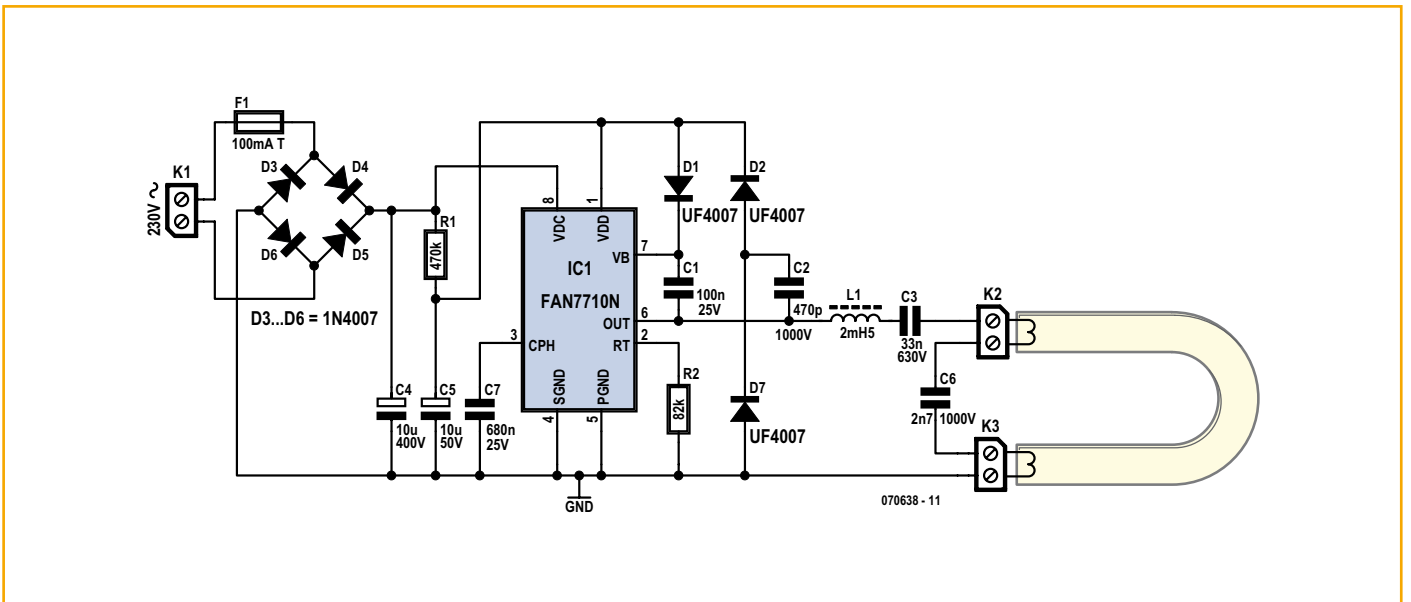


Bild 3. Schaltung des EVGs mit dem zentralen FAN7710 von Fairchild.



Bild 2. Beispiel für eine Leuchtstoffröhre ohne EVG. Sind statt vier nur zwei Anschlussstifte vorhanden, deutet dies auf einen schon eingebauten Kondensator zwischen diesen Stiften hin.



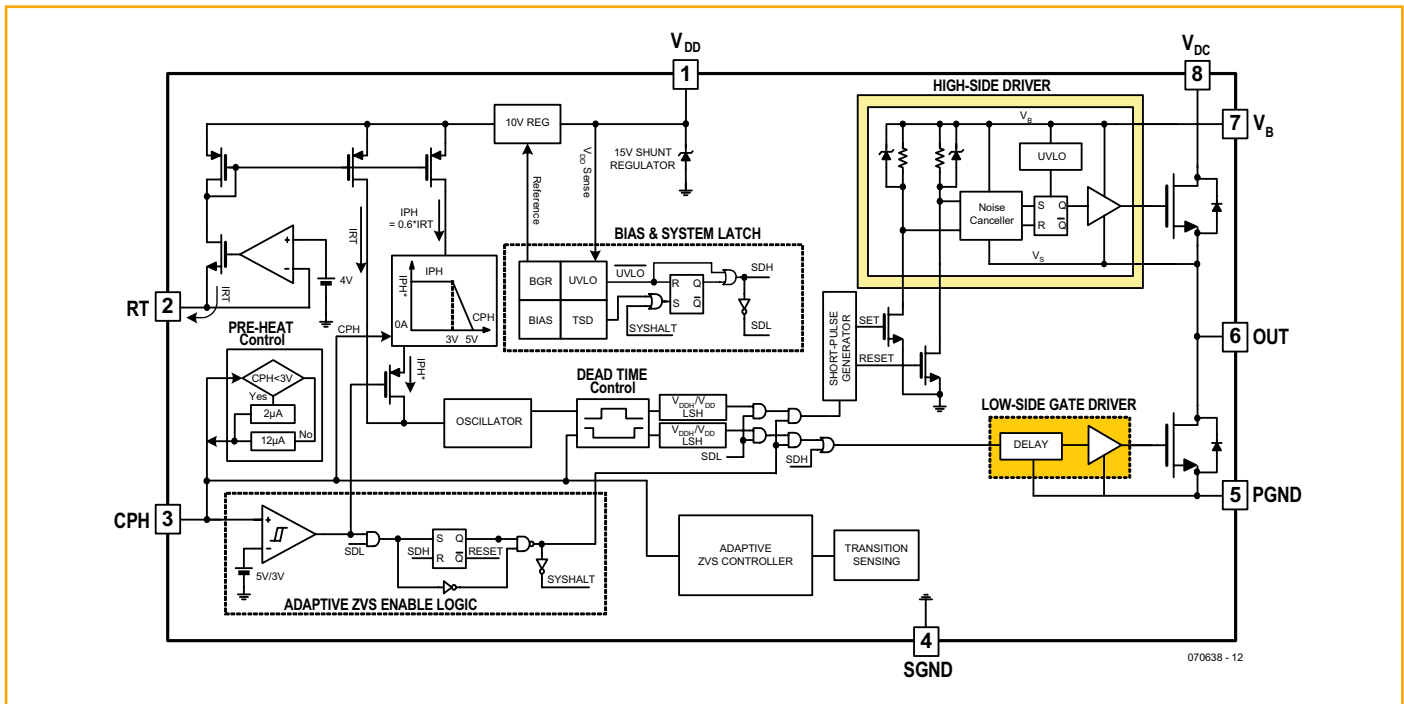


Bild 4. Blockschaltung des FAN7710 (Fairchild).

oder anders ausgedrückt, sie kommt mit einem Fünftel der Energie aus. Dazu kommt, dass sie zwar ein wenig aufwändiger und teurer ist als eine Glühbirne, aber dafür auch deutlich länger hält. Eine Glühbirne hält bei normalem Gebrauch etwa 1000 Betriebsstunden, eine moderne Energiesparlampe 5000 bis 15.000 Betriebsstunden (letzteres vor allem, wenn ein leistungsfähiges EVG eingesetzt wird).

State of the art

Die Schaltung in Bild 3 ist ein technisch aktuelles elektronisches Vorschaltgerät mit einem speziellen IC, dem FAN7710 von Fairchild. Wie man in dem Blockdiagramm (Bild 4) des FAN7710 sehen kann, verfügt der Baustein über einen 625-V-High-side-Gate-Treiber, zwei 550-V-MOSFETs, eine Frequenzsteuerung und einen Shunt-Regler. Außerdem

ist noch eine aktive ZVS-Steuerung (zero-voltage switching, also Schalten im Nulldurchgang der Spannung) und eine Lasterkennung (open lamp detection) in diesem ultra-kompakten, hochfunktionellen 8-beinigen DIP-Baustein integriert. Dies spart Platz auf der Platinefläche, mindert die Verlustleistung und erhöht die Zuverlässigkeit der gesamten Lampe sowohl im normalen Betrieb als auch bei "Fehlern" wie Netzspannungseinbrüchen oder Lampenwechseln.

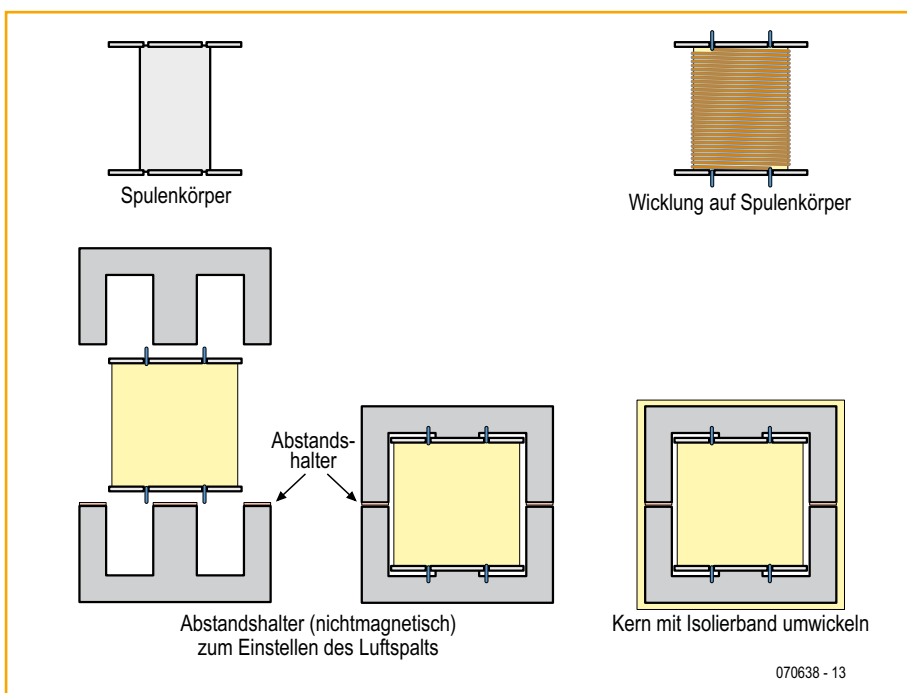


Bild 5. So werden die Einzelteile der Induktivität zusammengesetzt.

Die Netzwechsellspannung (hier 230 V, 50 Hz) wird von einer Gleichrichterbrücke in eine Gleichspannung von ungefähr 320 V verwandelt. R1 ist ein Startup-Widerstand, über den der FAN7710 nach dem Einschalten der Lampe etwas Strom erhält, damit der Oszillator im IC arbeiten kann. Die aus C2, D2 und D7 bestehende Ladungspumpe kann dann einen Strom für V<sub>DD</sub> liefern, der am internen Shunt-Regler für eine 15-V-Gleichspannung sorgt. So werden alle Abteilungen des ICs mit ausreichend Energie versorgt.

Der Oszillator des FAN7710 arbeitet mit verschiedenen Frequenzen. Mit einer wird das Gas der Lampe vorgeheizt, mit einer anderen gezündet und während des Betriebs der Lampe kommt eine dritte Frequenz zum Einsatz (siehe Kasten). F1 schützt nicht nur die Elektronik, sondern auch die Röhre bei einem Kurzschluss im System.

## Induktivität

Im Elektor-Shop ist die Platine zusammen mit der 2,5-mH-Induktivität und dem IC erhältlich. Man kann die Spule aber auch selbst herstellen. Hier die Wickeldaten:

Induktivität: 2,5 mH  
 Kernmaterial: Epcos N19 oder äquivalent  
 Kerngröße: 20 / 10 / 6  
 Spulenkörper: E19  
 Luftspalt: 1,5 mm  
 Draht: 0,2 mm emailliert  
 Windungszahl: 280

**Bild 5** zeigt den Zusammenbau der Einzelteile der Spule. Zunächst wickelt man 280 Windungen auf den E19-Spulenkörper. Die Drahtenden kürzt man auf etwa 5 mm, kratzt sie mit einem scharfen Messer blank, verzinkt sie und prüft dann die Spule auf Durchgang. Dann steckt man wie gezeigt die beiden Hälften des E-Kerns auf beziehungsweise in die Spule, setzt die Abstandshalter ein und justiert sie, um einen Luftspalt von 1,5 mm und damit die gewünschte Induktivität zu erhalten. Schließlich umwickelt man den Kern mit einem Streifen Isolierband, damit nichts verrutscht.

## Die Platine

Das Elektor-Labor hat für die Schaltung des EVGs eine kleine Platine entworfen (**Bild 6**). Das Layout der Platine (gespiegelt und nicht gespiegelt zum Drucken und Belichten) steht als PDF-Datei kostenlos auf der Elektor-Website zum Download zur Verfügung. Alle Bauteile sind einfach zu bestücken und löten, SMDs kommen nicht vor. Sorgfältiges und sauberes Arbeiten ist aber wichtig, da die Schaltung an Netzspannung betrieben wird.

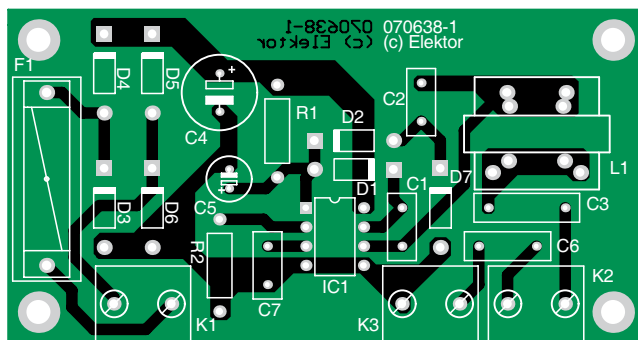
**Die Schaltung ist mit dem Lichtnetz verbunden und führt gefährliche Spannungen. Alle relevanten Sicherheitsvorschriften sind zu beachten. Es muss ausgeschlossen sein, dass elektrische Bauteile während des Betriebs berührt werden können. Bei einem eventuellen Test auf dem Labortisch ist ein Sicherheits-Trenntrafo Pflicht!**

(070638-1)rg

## Web Links

[1] <http://www.uni-muenster.de/Physik.TD/gasentladungslampen.html>

[2] [http://www2.philips.de/licht/onlineacademy/train\\_v1.html](http://www2.philips.de/licht/onlineacademy/train_v1.html)



**Bild 6.** Bestückungsplan der Platine des EVGs. Das Platinenlayout sorgt für elektrische Sicherheit.

## Stückliste

### Widerstände:

R1 = 470 k  
 R2 = 82 k

### Kondensatoren:

C1 = 100 n/25 V  
 C2 = 470 p/1000 V  
 C3 = 33 n/630V  
 C4 = 10 µ/400 V  
 C5 = 10 µ/50 V  
 C6 = 2n7/1000 V

### Spule

L1 = 2,5 mH; 280 Windungen 0,2 mm emailliert auf E19-Spulenkörper (EPCOS)\*

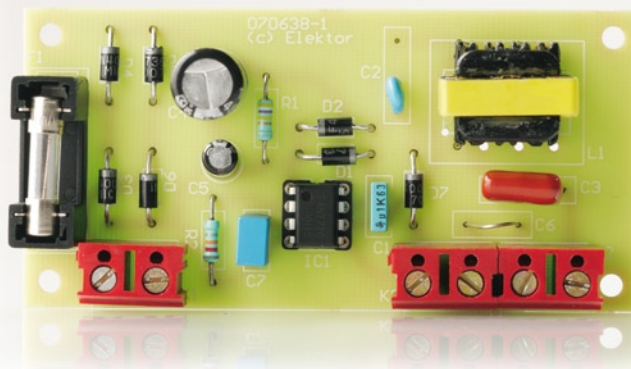
### Halbleiter:

D1, D2, D7 = UF4007  
 D3-D6 = 1N4007  
 IC1 = FAN7710N (Fairchild)\*

### Außerdem:

K1, K2, K3 = Platinenanschlussklemme RM 7,5  
 F1 = Sicherung, 100 mA träge  
 Platine 070638-1\*

\*siehe [www.elektor.de](http://www.elektor.de) und Elektor-Shop-Anzeige auf den letzten Seiten



## Drei Frequenzen

Im normalen Betrieb erzeugt der FAN7710 eine Oszillatorfrequenz von

$$f_{pre} = 1,6 \times f_{osc}$$

$$f_{osc} = 4 \times 10^9 / R_T$$

Die Zündfrequenz berechnet sich gemäß

mit  $R_T = R2 = 82 \text{ k}\Omega$ .

$$f_{ign} = [0,3 \times (5 - V_{CPH}) + 1] \times f_{osc}$$

Die Vorheiz-Frequenz liegt viel höher und beträgt

mit  $V_{CPH}$  als Spannung über C3.

# Wirkungsgrad-Messungen

## Ein praktischer Leitfaden

Von Michael Day und Jatan Naik, Texas Instruments

**Energie-Effizienz ist ein wichtiges Entwicklungsziel vor allem bei mobilen Geräten, da Laufzeit und erforderliche Batterie/Akku-Kapazität gleichermaßen davon abhängen. Diese Faktoren kann man nur vernünftig berechnen, wenn die Messungen der realen Stromaufnahme präzise genug sind.**

Spannungswandler in portablen Geräten nutzen fast immer eine Art Pulsfrequenzmodulation (PFM), um auch bei geringer Last hohe Wirkungsgrade und damit geringe Energieverluste zu ermöglichen. Die auftretenden impulsartigen Ströme stellen die Erfassung der effektiven Energieaufnahme aber vor die eine oder andere Herausforderung.

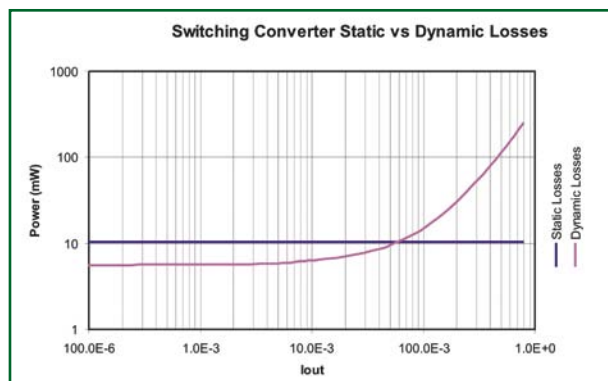
Bei Messungen an PFM-basierten Gleichspannungswandlern (DC/DC-Konvertern) muss man für korrekte Messwerte einige Vorkehrungen treffen. Ein PFM-Konverter stellt andere Anforderun-

gen als ein Wandler, der auf PWM (Pulsbreitenmodulation) basiert. Wenn man das beim Messaufbau nicht berücksichtigt, erhält man unter Umständen Messergebnisse, die erstaunlich weit von den Datenblattspezifikationen abweichen können. In diesem Beitrag geht es darum, wie PFM-Konverter auch bei geringer Last einen hohen Wirkungsgrad ermöglichen - und wie man bei diesen Wandlern genaue Messergebnisse erzielt.

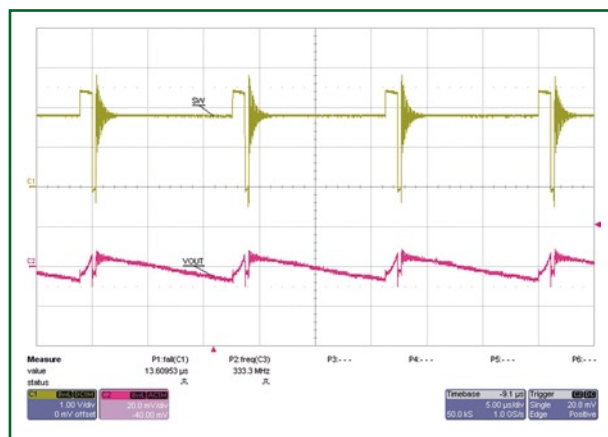
### PFM

Wie schon erwähnt, haben PFM-basierte Spannungswandler vor allem im Teillastbetrieb Wirkungsgradvorteile gegenüber den bei konventionellen Schaltnetzteilen üblicherweise eingesetzten PWM-Verfahren. Die Verlustleistung des Konverters bei kleiner Last ist deutlich geringer. Der PFM-Modus wird bisweilen auch als *Burst Mode* oder als *Power Save Mode (PSM)* bezeichnet.

Bei Schaltreglern unterscheidet man zwei Arten von Verlusten: statische und dynamische Verluste. Statische Verluste sind naturgemäß konstant und hängen nicht von einer sich ändernden Last ab. Dynamische Verluste hingegen nehmen betragsmäßig mit steigender Belastung zu. Der von einem IC für interne Spannungsreferenzen, Opamps oder Taktgeneratoren benötigte Ruhestrom ist ein gutes Beispiel für statische Verluste. Dynamische Verluste lassen sich in zwei Subkategorien aufspalten: Leitungsverluste und Schaltverluste. Die mit dem fließenden Strom steigenden Leitungsverluste umfassen die unvermeidbaren Spannungsabfälle an Leistungshalbleitern (Power-MOSFETs und Diodenstrecken) sowie dem Kupferwiderstand in Spulen und Trafowicklungen. Aufgrund der beteiligten Halbleiter ist der Zusammenhang zwischen Laststrom und Verlusten zwar positiv, aber nicht unbedingt linear. Die Schaltverluste hingegen sind in erster Linie frequenzabhängig, denn sie umfassen die während des Schaltvorgangs anfallenden Ein- und Ausschaltverluste genauso wie die Steuerströme der Schalttransistoren und die an Freilaufdioden und schnellen Gleichrichter-Dioden bei der ansteigenden und abfallenden Flanke des Stroms entstehenden Verluste, die bei jedem Schaltzyklus auftreten. Je höher die Schaltfrequenz, desto größer sind demnach auch die Schaltverluste. **Bild 1** veranschaulicht statische und dynamische Verluste für einen Schaltregler kleiner Leistung. Bei hohen Frequenzen dominieren sichtbar die dynamischen Verluste.



**Bild 1.**  
Statische (blau) und dynamische (rot) Verluste eines Schaltreglers.



**Bild 2.**  
Der Betrieb eines geschalteten Spannungswandlers im PFM-Modus.



# en bei kleinen Leistungen



## PSM

Um die Verluste bei geringen Ausgangsleistungen zu minimieren, verfügen Spannungswandler häufig zusätzlich auch über den schon erwähnten Power-Save-Mode. Im Gegensatz zum PWM-Modus, bei dem permanent Schaltvorgänge stattfinden, generiert der PFM-Modus Impulse, deren Abstand variiert und bei dem die Pausen typischerweise eher groß ausfallen. Der Step-Down-Converter TPS62350 von Texas Instruments optimiert den Wirkungsgrad über den gesamten Eingangsspannungsbereich, indem er bei geringer Last auch den fließenden Strom reduziert, wenn er in den PFM-Betrieb wechselt. Die PFM-Schwelle für den Laststrom ist auf  $V_{in}/25 \Omega$  eingestellt. Im PFM-Modus liefert der Konverter nur so viele Impulse, dass gerade die gewünschte Ausgangsspannung aufrechterhalten werden kann. Wenn die Ausgangsspannung unter den eingestellten Wert sinkt, beginnt das IC wieder zu schalten, so dass die Ausgangsspannung wieder ansteigt. Dafür benötigt der Wandler minimal einen Schaltzyklus, je nach Last können es auch mehrere sein. So bald die Ausgangsspannung wieder über dem Zielwert liegt, ruht der Wandler. Jetzt liefert nur der Ausgangselko Strom, wobei seine Spannung absinkt. Erreicht die Spannung den unteren Grenzwert, beginnt das IC wieder zu schalten.

Weil durch diesen „bedarfsgesteuerten“ intermittierenden Betrieb die Anzahl der notwendigen Schaltzyklen gegenüber dem PWM-Betrieb deutlich geringer ausfällt, sind vor allem auch die dynamischen Verluste kleiner. **Bild 2** zeigt das beschriebene Verhalten des Schaltwandlers.

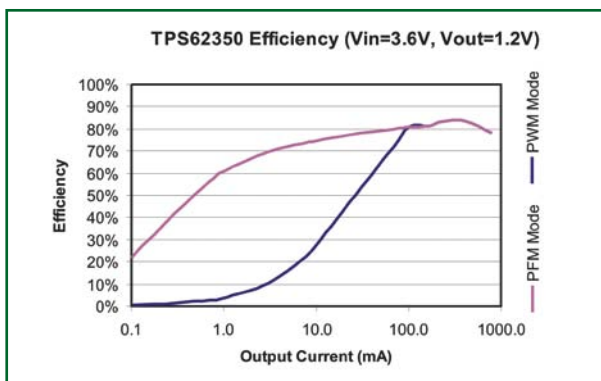
Um den Wirkungsgrad noch weiter zu optimieren, schaltet das IC in den PFM-Schaltphasen alle nicht unbedingt notwendigen internen Schaltteile ab, um einen möglichst niedrigen Ruhestrom zu erzielen. Es bleiben nur noch die Bandgap-Spannungsreferenz und der für die Beobachtung der Ausgangsspannung notwendige Komparator aktiv. In den Schaltphasen treten daher nur sehr geringe statische Verluste auf, die Schaltverluste sind Null.

Die meisten derartigen Konverter verwenden im PFM-Modus eine DCM-Technik (**D**iscontinuous **C**onduction **M**ode), um den Spulenstrom daran zu hindern, in den negativen Bereich zu gelangen, was sonst unnötige Leitungsverluste sowohl in der Spule als auch in den Leistungshalbleitern zur Folge hätte. Als Nutzeffekt ergibt sich eine weitere Steigerung des Wirkungsgrads bei geringer Belastung gegenüber dem PWM-Betrieb. **Bild 3** zeigt die

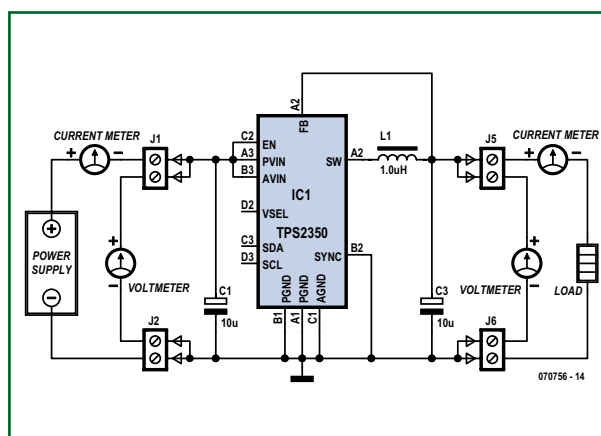
Unterschiede zwischen PWM- und PFM-Modus. Bei 1 mA Last ist der Wirkungsgrad bei PFM um 55 % höher als bei PWM.

## PWM & PFM Messen

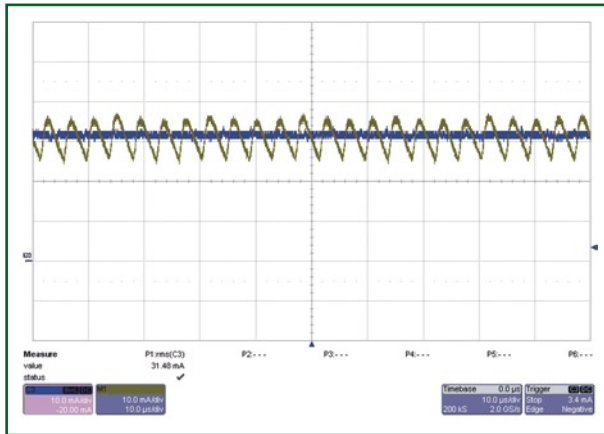
Leicht nachvollziehbar ist, dass ein zusätzlicher PFM-Modus bei einem Schaltregler einen wesentlichen Einfluss auf die Akkulaufzeit mobiler Geräte hat. Um aber realistische Vorstellungen vom Wirkungsgrad und von den erreichbaren Betriebszeiten zu erhalten, sind möglichst adäquate Messungen notwendig. Hierzu



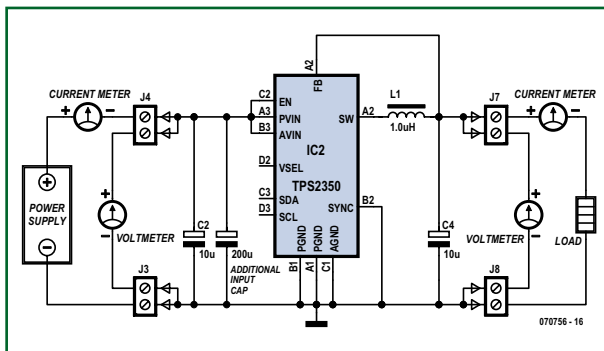
**Bild 3.** Wirkungsgradunterschiede zwischen PWM- und PFM-Modus.



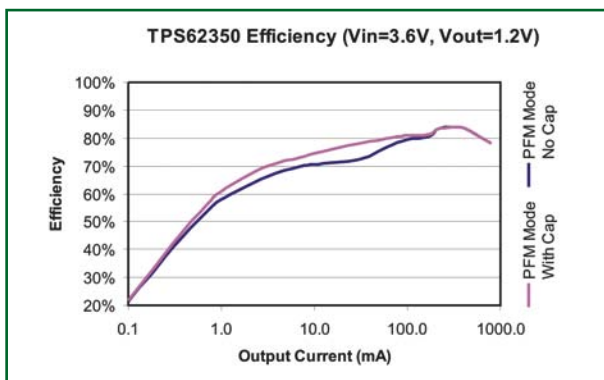
**Bild 4.** Messanordnung geeignet für Schaltregler im PWM-Betrieb.



**Bild 5.**  
Welligkeit des Eingangsstroms ohne (grün) und mit (blau) zusätzlichem Elko am Eingang.



**Bild 6.**  
Messanordnung geeignet für Schaltregler im PFM-Betrieb.



**Bild 7:**  
Messergebnisse mit und ohne zusätzlichem Kondensator am Eingang.

braucht man nicht nur geeignete Messgeräte – man muss sie auch richtig anschließen.

**Bild 4** zeigt exemplarisch, wie Strom- und Spannungsmessgeräte am Ein- und Ausgang des Schaltreglers angeschlossen werden sollten. Durch die Integration des Eingangselkos gibt es bei den hohen Frequenzen im PWM-Betrieb keine Probleme. Man sollte aber nicht den Fehler machen, und auf die beiden Messgeräte am Eingang zu verzichten und stattdessen die Strom- und Spannungswerte verwenden, die das speisende Labornetzteil anzeigt. Belastbare Messwerte erhält man nur, wenn man, wie im Bild gezeigt, ein separates Voltmeter direkt an die Eingänge der zu testenden Schaltung anschließt, so dass die tatsächliche Eingangsspannung gemessen wird und die Spannungsabfälle am Amperemeter und den Übergangswiderständen der Klemmen und Zuleitungen außen vor bleiben. Das Amperemeter misst den Strom unmittelbar vor der Eingangsklemme der Schaltung. In gleicher Weise misst man die Ausgangsspannung nicht einfach bequem an der Last, sondern wie gezeigt direkt am Ausgang der Schaltung, also an dem Punkt, an dem der Istwert der Spannungsregelung abgegriffen wird. Die Ausgangsspannung wird schließlich nicht an der Last, sondern an diesem Punkt geregelt. Der Spannungsabfall an der Ausgangsklemme und natürlich auch der an der Leitung zur Last gehen somit nicht in

das Messergebnis ein. Der Ausgangsstrom wird natürlich in der Leitung zur Last gemessen.

### Wirkungsgrad

Der Vorteil des PFM-Modus – die intermittierende Stromaufnahme – ist gleichzeitig das Problem beim Messen. **Bild 5** zeigt den dreieckförmigen Verlauf des Eingangsstroms im PFM-Modus. Der Konverter zieht nur Strom, wenn er schaltet. Die meisten der im Labor verwendeten Digitalmultimeter erfassen eben nicht den Mittelwert des pulsierenden Stroms, sondern dessen Effektivwert, der immer höher ist als der Mittelwert. Nur bei einer reinen Gleichspannung stimmen Mittelwert und Effektivwert überein. Für die Ermittlung des Wirkungsgrads muss man aber den Mittelwert des Eingangsstroms messen. Um dies zu erreichen, schließt man einfach zusätzlichen einen größeren Elko an den Eingang der Schaltung an, der die Welligkeit des Eingangsstroms ausgleicht. **Bild 6** zeigt die Messanordnung mit dem zusätzlichen Elko. Der Elko ändert nichts am Durchschnittswert der Strom- bzw. Energieaufnahme. Die blaue Linie in Bild 5 zeigt aber die glättende Wirkung des zusätzlichen Kondensators. Ein korrekt angeschlossenes Amperemeter misst also einen fast reinen Gleichstrom und somit die tatsächliche Stromaufnahme. Bild 6 ist daher die geeignete Messanordnung für einen Schaltregler im PFM-Modus.

Der zusätzliche Elko sollte etwa um den Faktor 20 größer sein als der reguläre Eingangskondensator des Schaltreglers. Sicherheitshalber sollte der Eingangsstrom auch oszilloskopiert werden, damit man sicher sein kann, dass man tatsächlich mit guter Annäherung einen Gleichstrom misst. Ist die Wechsellspannungskomponente noch zu sehen, sollte man die Kapazität aufstocken. Die zusätzlichen Kondensatoren sollten einen ziemlich niedrigen ESR-Wert (< 100 mΩ) aufweisen.

Der mit der Messanordnung in Bild 4 ermittelte Wirkungsgrad eines Reglers im PFM-Betrieb kann um bis zu 15% vom tatsächlichen Wert abweichen. Der Messfehler ist bei kleinen Eingangsspannungen und Lastströmen am stärksten ausgeprägt.

**Bild 7** vergleicht die Ergebnisse der Wirkungsgradmessungen an unserer Testschaltung mit und ohne Pufferelko. Ohne den zusätzlichen Kondensator am Eingang fällt der gemessene Wirkungsgrad um 5% zu niedrig aus, was an dem durch die Welligkeit bedingten Messfehler liegt.

### Fazit

Da der Wirkungsgrad im Niedriglastbereich entscheidend für die Betriebsdauer mobiler Geräte mit Batterien oder Akkus ist, empfiehlt sich ein zusätzlicher PFM-Modus für den Schwachlastbetrieb von Schaltreglern. Die Verbesserung des Wirkungsgrads kann aber durch Fehler bei der Messung des Wirkungsgrads im PFM-Modus überdeckt werden. Man muss daher bei der Wirkungsgradbestimmung von DC/DC-Konvertern Sorgfalt walten lassen, um korrekte Ergebnisse zu erzielen. Die richtige Anordnung der Messgeräte ist in jedem Fall sehr wichtig – unabhängig davon, ob der Regler im PWM-Modus oder im PFM-Modus arbeitet. Zusätzlich sollte ein großer Kondensator am Eingang des Spannungswandlers sicherstellen, dass im PFM-Modus der Wirkungsgrad korrekt ermittelt wird.

(070756-1)

## Über die Autoren

**Michael Day** leitet die Low Power/SWIFT Applications Group bei Texas Instruments. Seine akademischen Abschlussarbeiten drehten sich schon um Schaltnetzteile.

**Jatan Naik** ist Analog-Applikations-Ingenieur im Bereich Power Management Products von Texas Instruments.

## Hasta la Vista: XP oder nicht XP?

# Vista im Labor

Von Paul Goossens

**Es wird Sie nicht überraschen, dass ein großer Teil unserer Entwicklungsarbeiten am Computer stattfindet. Projekte werden zuerst in allen Details am Computer entworfen. Erst viel später wird der Lötkolben aufgeheizt, um das Entworfen aufzubauen und zu erproben.**



Die Computer sind zweifellos die wichtigsten, vielseitigsten und nützlichsten Arbeitsmittel im ELEKTOR-Labor (wo eigentlich nicht?). Deshalb ist es besonders ärgerlich, wenn ein Computer plötzlich, wie man so sagt, das Zeitliche segnet. Das Dahinscheiden kann in aller Stille geschehen, oder es erscheint eine nichtssagende Fehlermeldung auf dem Bildschirm, bevor nichts mehr läuft. Manchmal fallen Computer aber auch mit lautem Getöse aus. Das geschah, ich erinnere mich genau, am ersten Arbeitstag nach meinem Sommerurlaub.

Der Arbeitstag begann damit, dass ich mit Kollegen die Ereignisse während meiner Abwesenheit besprach. Nebenbei schaltete ich meinen PC ein, so dass er schon mal hochfahren konnte. Nach einem kurzen Moment wurde das Kollegengespräch durch einen lauten Knall unterbrochen. Es hörte sich so an, als ob im Raum über uns in der ersten Etage ein Schreibtischstuhl umgefallen war.

Nach einiger Zeit fiel mir auf, dass sich mein PC nicht rührte, der Bildschirm blieb dunkel. Hatte ich versehentlich nicht den Netzschalter, sondern den Reset-Taster gedrückt? Das war schon hin und wieder passiert, also drückte ich jetzt bewusst den Netzschalter. Sekundenbruchteile vergingen, dann knallte es zum zweiten Mal. War schon wieder ein Schreibtischstuhl umgefallen? Einem Kollegen fiel auf, dass unter der Arbeitstischplatte feine Rauchschwaden emporquollen. Schnell war der Netzstecker gezogen, damit der Schaden sich nicht ausweiten konnte.

Die anschließende Ursachenerforschung brachte zu Tage, dass das PC-Netzteil reif für den Elektroschrott war. Ein Ersatznetzteil war schnell gefunden und eingebaut. Doch das erhoffte Hochfahren des Computers blieb aus, offenbar hatte auch die Hauptplatine etwas abbekommen.

Nach Abwägen der Alternativen Reparatur oder Neuanschaffung fiel die Entscheidung zugunsten der Neuanschaffung. Noch am gleichen Tag wurde Alt gegen Neu ausgetauscht, mein Arbeitsgerät war nun ein nagelneuer PC. Der bedeutungsschwerste Unterschied zwischen Alt und Neu war, dass auf dem neuen Computer nicht mehr das vertraute Windows XP, sondern Windows Vista installiert war. Über das neue Vista und seine Eigenheiten hatte ich schon Einiges gehört und gelesen. Hilfestellung konnte ich von den Kollegen nicht erwarten, denn niemand hatte bisher mit Vista praktische Erfahrungen gesammelt.

Der nächste logische Schritt war das Installieren der diversen Programme, mit denen ich täglich arbeite. Erstaunlicherweise verliefen alle Installationen ohne nennenswerte Probleme. Auch das Koppeln des neuen Vista-Computers an unser Labor-Netzwerk war im Handumdrehen geschafft. Alles, was getan werden musste, gestaltete sich deutlich einfacher als erwartet.

Am zweiten Tag nach meinem Urlaub war mein PC für die tägliche Arbeit

vollständig eingerichtet. Das war mein Glück, denn Termine nehmen auf defekte PCs keine Rücksicht. Meine erste Aufgabe war das Schreiben der Firmware für das ELEKTOR-Projekt „Reflow Control“. Das Labormuster war bereits aufgebaut, und das Programmier-Interface hatte ich schon vor meinem Urlaub getestet. Nur, jetzt hatte ich ein neues Problem: Der Vista-PC hatte keinen parallelen Druckerport mehr! Das Programmier-Interface ist aber auf den Parallelport angewiesen. Zum Glück war es nicht schwierig, eine PC-Steckkarte mit parallelem Druckerport aufzutreiben. In kürzester Zeit war mein neuer PC mit einer solchen Karte ausgerüstet.

Leider währte der Enthusiasmus nicht lange. Zwar meldete Windows Vista freudig, dass mein neuer Parallelport einwandfrei funktioniert. Doch das Programmier-Interface verhielt sich definitiv nicht dem entsprechend. Die anschließende Fehlersuche und das Googeln nach Hilfe im Web brachten leider keinen Erfolg.

Allmählich drängte die Zeit, und eine Lösung war noch immer nicht Sicht. Mir blieb keine andere Wahl, als den PC eines Kollegen zu benutzen, auf dem das bewährte Windows XP lief. Dank dieses Leihcomputers konnte ich die „Reflow Control“-Steuerung dann doch noch programmieren. Während der folgenden Tage sahen mich meine Kollegen permanent zwischen zwei Rechnern hin- und herpendeln. Auf dem Vista-System schrieb und compilierte ich die Firmware, um sie dann anschließend mit dem XP-PC am Labormuster des „Reflow-Control“ zu testen.

Diese Lösung war natürlich auf die Dauer unbefriedigend. Zum einen war ich unzufrieden mit mir, dass ich das eigentliche Problem noch nicht gelöst hatte, und zum anderen war diese Art von Desk-Hopping alles andere als effizient. Eine Lösung dafür, dass ich auf meinem Stuhl sitzen bleiben konnte, war noch einfach zu finden. Über unser Labor-Netzwerk und „Windows remote“ konnte ich am Computer meines Kollegen arbeiten, ohne meinen Platz verlassen zu müssen. Der Laboraufbau des „Reflow Control“ stand vor mir neben dem Monitor und war über ein Kabel mit dem Parallelport des XP-Computers verbunden. Ich konnte die „Reflow Control“-Steuerung also an meinem Arbeitsplatz mit meinem Computer programmieren.

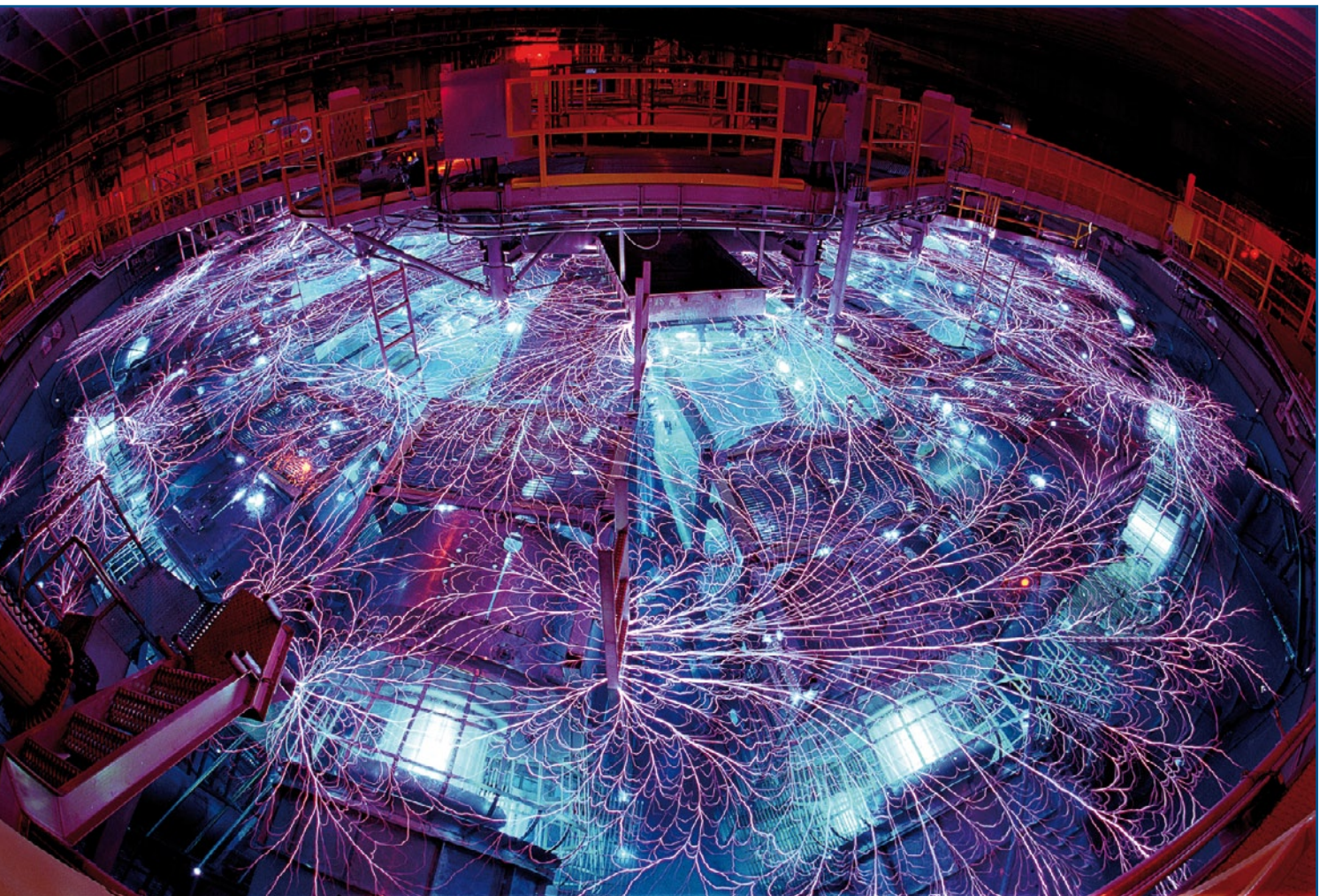
Die Firmwareentwicklung der Lötoven-Steuerung „Reflow Control“ ist schon lange abgeschlossen, doch das Problem des fehlenden Parallelports unter Windows Vista ist noch immer nicht ganz gelöst. Verschiedene Beiträge im Web weisen darauf hin, dass Microsoft nur Unterstützung bietet, wenn der Parallelport Teil der Hauptplatine ist. Das sieht ganz so aus, als ob Steckkarten mit Parallelport unter Vista unerwünscht sind. Doch damit will ich es nicht bewenden lassen. Vielleicht kann ich in einer folgenden ELEKTOR-Ausgaben berichten, wie ich auch dieses Problem in den Griff bekommen habe...

(070788)gd



# Drahtlose Energieübertragung

## So wird's gemacht



Von Martin Ossmann

**Drahtlose Energieübertragung gibt es bereits heute in vielen Anwendungen. Diese reichen von der elektrischen Zahnbürste über RFIDs bis zum „Tanken“ von Elektroautos. Es ist auch geplant, Handys oder Laptops via Schreibtischplatte drahtlos mit Energie zu versorgen. Dieser Beitrag stellt dar, wie das funktioniert und welche Phänomene dabei zu beachten sind. Dabei werden nicht nur die theoretischen Grundlagen erläutert, sondern auch Zahlenwerte aus praktischen Designs genannt.**

Die Versorgung mit Information wird zunehmend drahtloser: Radio, Fernsehen, Handy, WLAN, und ZigBee zeigen, dass die drahtlose Informationsübertragung technisch gut beherrscht wird. Schaut man sich aber den Kabelsalat mit Steckernetzteilen auf einem Schreibtisch an, so träumt man natürlich auch von drahtloser Energieversorgung. Warum dieser Traum nicht ganz so leicht zu realisieren ist, zeigt dieser Artikel.

### Wellenlängen

Spricht man von drahtloser Energieübertragung, wird oft auch von Antennensystemen gesprochen, welche die Energie drahtlos aussenden. Nun ist bekannt, dass man effektiv arbeitende Antenne nur erreicht, wenn sie geometrische Abmessungen besitzen, die in der Größenordnung der verwendeten Wellenlänge liegen. Genauso ist bekannt, dass man Abstrahlungseffekte unter energetischen Gesichtspunkten vernachlässigen kann, sofern man Geräte baut, die klein gegenüber den vorkommenden Wellenlängen sind. Es ist daher sinnvoll, sich einmal die technisch verwendeten Frequenzen im Bereich von einigen kHz bis zu einigen GHz in Wellenlängen umzurechnen (siehe **Tabelle 1**). Geht man nun davon aus, dass die „Antennensysteme“ kleiner als 1 m sein sollen, sieht man, dass selbst im Bereich von 13,56 MHz (einer ISM- und RFID-Frequenz) die Systeme dann „klein gegenüber der Wellenlänge“ sind. Genau solche Systeme werden wir im Folgenden etwas näher charakterisieren.

Tabelle 1	
Frequenz	Wellenlänge
10 kHz	30 km
100 kHz	3 km
1 MHz	300 m
10 MHz	30 m
100 MHz	3 m
1 GHz	30 cm

Bei derartigen Systemen befindet sich, mit Worten der Antennentheorie gesprochen, alles im Nahfeld. Das Nahfeld ist dadurch charakterisiert, dass zwischen elektrischem und magnetischem Feld (E- und H-Feld) nahezu 90 Grad Phasenverschiebung besteht. Im Wesentlichen ändert also Blindleistung ihren Ort, wohingegen der Wirkleistungstransport im Verhältnis dazu klein ist.

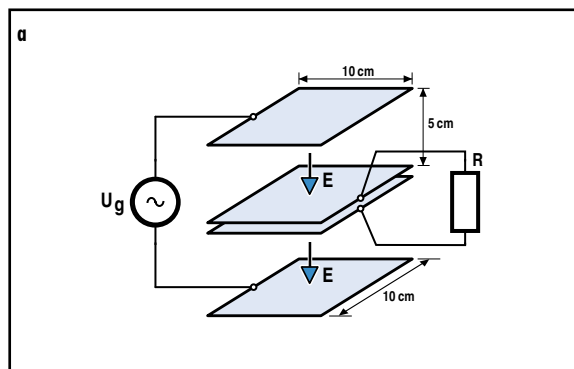
Systeme „klein gegenüber der Wellenlänge“ kann man üblicherweise beschreiben, ohne die Wellenausbreitung berücksichtigen zu müssen. Im Wesentlichen bedeutet das, dass das elektrische und das magnetische Feld nicht stark miteinander wechselwirken. Man kann daher normalerweise entweder kapazitiv oder induktiv arbeitende Systeme unterscheiden. Im **Kasten 1** ist der Grundgedanke eines kapazitiven Systems dargestellt. Da die Dielektrizitätszahl von Luft (beziehungsweise Vakuum) sehr klein ist, ist es relativ schwer, auf kapazitivem Wege Energie zu transportieren. Die meisten technischen Systeme arbeiten daher induktiv gekoppelt.

### Induktive Kopplung

Da nun die Wellenausbreitung, wie gesagt, keine Rolle spielt, geht es bei induktiv arbeitenden Systemen eigentlich darum, gut zu verstehen, was sich in einem Transformator

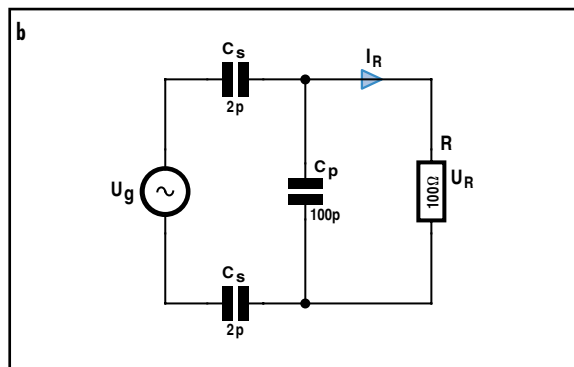
## Kasten 1: Kapazitive Energieübertragung

Ein hypothetisches System zur kapazitiven Energieübertragung bei 13,56 MHz in einem großen Würfel könnte so aussehen wie in **Bild a**: Boden und Deckenplatte bilden zwei Metallflächen. Diese stellen die „Sende-Kapazität“ dar und sind mit der Spannungsquelle verbunden. In der Mitte (Abstand von unten und oben jeweils 5 cm) befinden sich zwei Kondensatorplatten in 1 mm Abstand. Diese dienen zur Energieauskopplung. Die entnommene Energie wird zu einem Widerstand  $R = 100 \Omega$  geleitet. Zu diesem Widerstand soll die Leistung  $P_1 = 1 \text{ W}$  übertragen werden.



Aufbau eines kapazitiven Systems.

Wie schwierig das ist, wird schnell klar, wenn man das elektrische Ersatzschaltbild betrachtet (**Bild b**) und die Werte der Komponenten näherungsweise ausrechnet. Dazu nimmt man an, dass alle Kondensatoren ideale Plattenkondensatoren sind und vernachlässigt Streufelder. So kommt man zum elektrischen Ersatzschaltbild.



Ersatzschaltbild des kapazitiven Systems.

Die Spannung  $U_R$  am Widerstand ist  $U_R = \sqrt{P} \cdot R = 10 \text{ V}$ . Der Strom durch den Widerstand ist  $I_R = U_R/R = 0,1 \text{ A}$

Der Parallelkondensator hat näherungsweise eine Impedanz von ca.  $100 \Omega$  (bei 13,56 MHz), daher ist der Strom durch die (sehr kleinen) Serienschaltkondensatoren ca.  $I_S = 0,14 \text{ A}$ . Jetzt wird das Problem klar, die Spannungsquelle muss eine Spannung erzeugen, die groß genug ist, um durch die beiden Serienschaltkondensatoren von je 2 pF einen Strom von 140 mA zu treiben. Dazu braucht man bei 13,56 MHz eine Spannung von ca. 1,4 kV! Und das, um 1 Watt an Energie zu übertragen.



**Kasten 2:**

**Transformator-  
Ersatzschaltbilder**

Ein Transformator mit gleicher Primär- und Sekundärwicklung (Leerlauf-Induktivität  $L$ ) kann durch das Ersatzschaltbild in Bild A beschrieben werden. In üblichen klassischen Transformatoren ist die Kopplung hoch ( $k \approx 1$ ), so dass die Streuinduktivitäten  $L_s$  klein gegenüber der Hauptinduktivität  $L_m$  ist. Durch entsprechende Windungszahl kann man den Magnetisierungsstrom  $I_m$ , welcher sozusagen nicht zum Energietransfer beiträgt, klein halten.

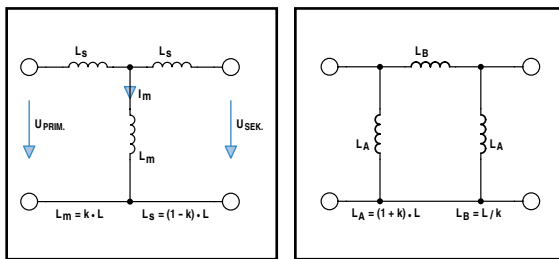


Bild A

Bild B

Drahtlose Energieübertragungssysteme sind durch einen kleinen Koeffizienten gekennzeichnet. Dann ist  $L_m$  klein gegenüber  $L_s$ . Der Magnetisierungsstrom tritt als großer „nutzloser“ Querstrom auf. Elektrisch äquivalent zu dem gezeigten T-Ersatzschaltbild ist das  $\Pi$ -Ersatzschaltbild aus Bild B.

Beide Ersatzschaltbilder sind, sofern der Transformator nicht symmetrisch aufgebaut ist, durch einen idealen Transformator, wie in Bild C dargestellt, zu ergänzen. Dieser beschreibt im Wesentlichen das von den unterschiedlichen Windungszahlen verursachte Übersetzungsverhältnis  $\ddot{U}$ .

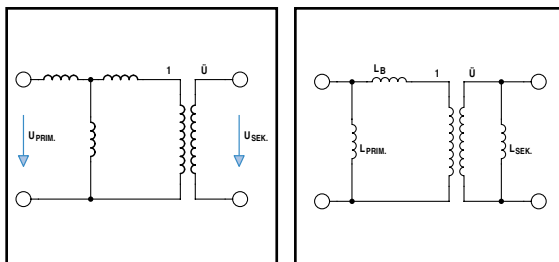


Bild C

Bild D

Die sekundäre Induktivität des  $\Pi$ -Ersatzschaltbilds kann man über den idealen Transformator auf die Sekundärseite verschieben (unter Berücksichtigung von  $\ddot{U}$ !). Dann erhält man das Ersatzschaltbild aus Bild D, dessen Komponenten kann man relativ gut physikalisch interpretieren kann.

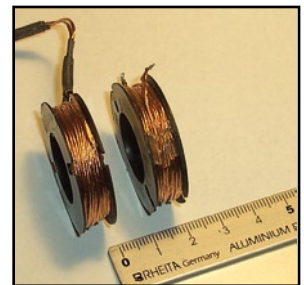
Die Induktivität  $L_{prim}$  ist im Wesentlichen die Induktivität, die man an der Primärwicklung misst, wenn die Sekundärwicklung unendlich weit entfernt ist (keine Kopplung). Entsprechend ist  $L_{sek}$  die Induktivität der Sekundärspule. Nähert man die Spulen nun einander an, so kommt die Längsinduktivität  $L_B$  ins Spiel. Sie beschreibt die Kopplungsmöglichkeit der magnetischen Flüsse. Bei schwacher Kopplung ist sie sehr groß. Das erschwert es in der Praxis, einen hohen Strom ohne großen Spannungsabfall über den schlecht gekoppelten Transformator zu transportieren.

Der ideale Transformator berücksichtigt die durch Windungszahlen veränderbaren Verhältnisse.

**Kasten 3:**

**Koppelfaktor**

Zwei PS47x14,9-Spulenkörper wurden mit jeweils 70 Windungen Litze 30x0,1 mm bewickelt (siehe Foto).



Die Induktivität ist dann  $L_1 = L = 150 \mu H$ . Der innere Durchmesser ist ca. 20 mm, der äußere Durchmesser ca. 32 mm, und die Spulenhöhe ist ca. 9 mm. Die Messung von  $k$  erfolgte durch Leerlauf-Spannungsübersetzungsmessung.

Abstand in mm	k
0	0,33
3	0,17
10	0,11
20	0,05
32	0,02
45	0,01

Es ergeben sich die folgenden Werte für den Koppelfaktor in Abhängigkeit vom Abstand:

abspielt, weshalb wir hier etwas näher darauf eingehen. Das Verständnis erleichtert ein elektrisches Ersatzschaltbild. Die verschiedenen Ersatzschaltbilder werden im **Kasten 2** erläutert.

Das **Bild D** ist also relativ gut geeignet, die Verhältnisse in schwach induktiv gekoppelten Systemen zu beschreiben, man kann seine Parameter aber in die eines äquivalenten T-Ersatzschaltbildes umrechnen.

**Transformatoren**

Als erstes Beispiel denken wir uns zwei kreisförmige Spulen mit gleicher Windungszahl in einem gewissen Abstand. Diese Spulen sind magnetisch gekoppelt. Das Verhalten eines solchen Transformators kann man durch sein Ersatzschaltbild beschreiben. Dabei gibt es mehrere Varianten, wir verwenden das symmetrische  $\Pi$ - sowie das T-Ersatzschaltbild. Beide sind in ihrem Verhalten äquivalent, aber zum Verständnis ist mal das eine, mal das andere besser geeignet. Zuerst zum T-Ersatzschaltbild: Misst man die primärseitige Leerlaufinduktivität, so erhält man den Wert  $L = L_s + L_m$ . Dieser Wert ist eine für den Praktiker greifbare Größe, oft nennt er sie schlicht die Induktivität des Transformators. Entscheidend für drahtlose Energieübertragungssysteme ist nun, dass Primär- und Sekundärseite „schlecht gekoppelt“ sind. Die Kopplung beschreibt man durch den Koppelfaktor  $k$ . Er

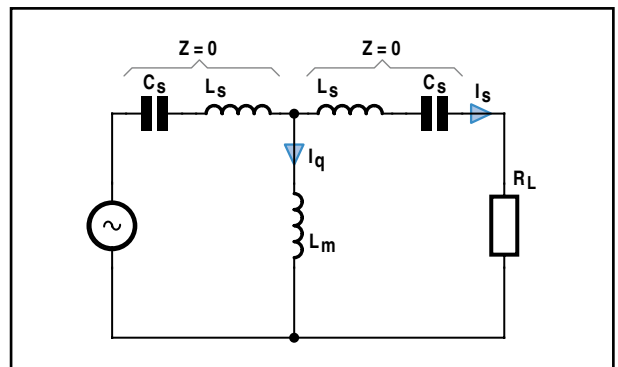


Bild 1. Serienkompensation.



wird umso kleiner, je weiter unsere beiden Spulen voneinander entfernt sind. Für verschiedene Entfernungen wurde der Kopplungsgrad einmal gemessen. Im Kasten 3 sind die Ergebnisse dargestellt. In unserem Fall (identische Primär- und Sekundärwicklung) ist, wie man am Ersatzschaltbild erkennt, der Koppelfaktor übrigens gleich dem Leerlauf-Spannungsübersetzungsverhältnis. Bei der drahtlosen Energieübertragung ist ein Koppelfaktor besser 0,4 selten. Oft hat man viel kleinere Werte (vergleiche Tabelle), während bei einem klassischen Transformator der Koppelfaktor oft über 0,95 liegt. Im Folgenden wird es nun darum gehen, zu erklären, welche Konsequenzen dieser niedrige Koppelfaktor hat.

### Resonanter Betrieb

Falls die Kopplung klein wird, wird im T-Ersatzschaltbild die Streuinduktivität  $L_s \approx L$  und diese stellt dem Stromfluss eine hohe Serienimpedanz in den Weg. Diesen Nachteil kann man zu umgehen versuchen, indem man die Serieninduktivität durch zusätzliche Serienkondensatoren  $C_s$  kompensiert. Das ist in **Bild 1** dargestellt

Dadurch entstehen zwei Serienresonanzkreise, welche im Idealfall bei gleicher Resonanzfrequenz die Serienimpedanz zu Null machen. Nachteilig bleibt immer noch die Induktivität  $L_M$ , welche für kleine Kopplung ebenfalls klein wird. Diese ruft zusätzlich zum eigentlich gewollten Strom  $I_s$  einen Querstrom  $I_q$  hervor, der in praktischen Fällen ein Mehrfaches des gewünschten Serienstroms  $I_s$  sein kann. Zahlenbeispiele findet man bei den Beispielsystemen in **Kasten 4, 6 und 7**.

Da man nun Resonanzkreise aufgebaut hat, kann man das System nur noch in einem kleinen Frequenzbereich betreiben. Das ist ein Nachteil. Bei den Induktivitäten und Kondensatoren handelt es sich um Leistungsbauteile, die sich nicht einfach tunen lassen (schon gar nicht während des Betriebs), um zum Beispiel durch Temperaturerhöhung verursachte Drift auszugleichen.

### Blindleistung

Die Idee, Reaktanzen (Induktivitäten/Kapazitäten) durch die Ergänzung zu Schwingkreisen zu kompensieren, hat einen entscheidenden Nachteil: Im System wird nun eine zusätzliche Blindleistung zwischen diesen Komponenten ausgetauscht. In realen berührungslosen Energieübertragungssystemen ist die Blindleistung oft um ein Vielfaches höher als die transportierte Wirkleistung (vergleiche Eingangsbezeichnung Nahfeld/Fernfeld von Antennen!). Diese Blindleistung führt zu stark erhöhten Spannungen beziehungsweise Strömen. Wären die Komponenten verlustlos, wäre das nicht weiter schlimm. Leider verwenden wir aber reale Komponenten. Die in **Kasten 4** angegebenen Größen für die drahtlose Versorgung einer Halogenlampe zeigen, mit welchen Größenordnungen man es dabei zu tun hat.

Man erkennt, dass man Hochspannungskondensatoren einsetzen muss. Gleichzeitig müssen die Kondensatoren eine sehr hohe Güte aufweisen, weil sonst die Kondensatorverluste größer werden als die transportierte Wirkleistung. Diese Verluste in den Komponenten durch die Blindleistung machen es so schwer, einen guten Wirkungsgrad zu realisieren. Auf einige Verlustmechanismen soll nun noch eingegangen werden.

### Verlustmechanismen

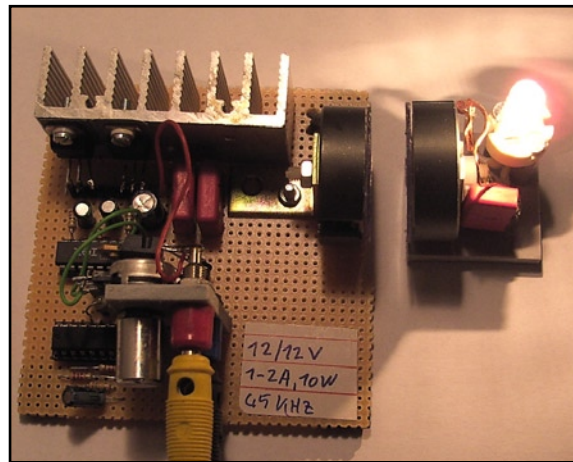
Für die Spulen ist bei der drahtlosen Energieübertragung der Verlust durch Wirbelströme oft entscheidend. Vielfach

#### Kasten 4:

### 10 Watt Halogenversorgung

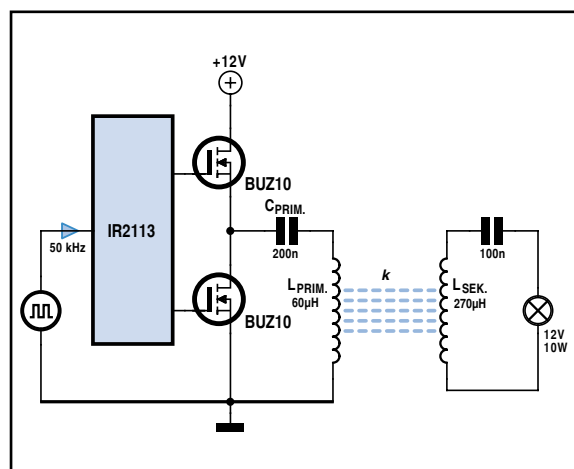
Das Foto zeigt ein System, das eine Halogenlampe 12 V/10 W über einen Luftspalt von 3 bis 8 mm versorgen kann. Wie das Prinzipschaltbild zeigt, versorgt eine Halbbrücke aus MOSFETs den primären Resonanzkreis.

Primär- wie Sekundärspule sind in PM36-Kernhälften gewickelt. Die Primärspule besteht aus 26 Windungen mit HF-Litze 60x0,1 mm. Ihre Induktivität ist  $L_{\text{prim}} = 60 \mu\text{H}$ . Als Primärkondensator findet ein 0,2- $\mu\text{F}$ -MKP10-Kondensator Verwendung. Die Transistoren vom Typ BUZ10 ( $R_{\text{DSon}} = 0,07 \Omega$ ) werden von einem IR2113-Treiber angesteuert. Die Versorgung erfolgt mit einer Gleichspannung von 12 Volt.



System zur berührungslosen Versorgung einer 10-W-Halogenlampe.

Die Sekundärspule ist mit 55 Windungen bei einer Induktivität  $L_{\text{sek}} = 270 \mu\text{H}$  gewickelt. Durch dieses Übersetzungsverhältnis kann die 12-V-Lampe gut mit Nennspannung betrieben werden. Sekundärkondensator ist ein 0,1- $\mu\text{F}$ -MKP10. Die Halogenlampe (12 V/10 W) wird direkt mit der Betriebsfrequenz von ca. 50 kHz versorgt.



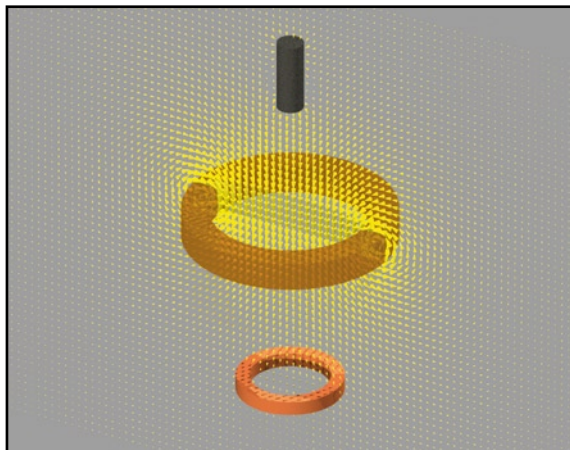
Prinzipschaltbild des Übertragungssystems.

Im Nennbetrieb beträgt der Primärstrom etwa 5 A effektiv. Die primäre Scheinleistung im Kondensator ist bei  $Z_C = 16 \Omega$  also  $S = I^2 \cdot Z_C = 400 \text{ VA}$ ! Die Scheinleistung beträgt also bereits hier das 40fache der übertragenen Wirkleistung - und dabei ist der Abstand noch relativ klein!

**Kasten 5:**

**Feldsimulation**

Eine analytische Berechnung der Felder in Systemen zur drahtlosen Energieübertragung ist oft nicht möglich. Da hilft - zumindest zur Abschätzung von Effekten - oft eine Feldsimulation. In der Abbildung ist das Ergebnis einer solchen Simulationsrechnung dargestellt.



Magnetfeld einer Sendespule

In der Mitte befindet sich ein stromdurchflossener Ring, welcher die Sendespule darstellt. Er erzeugt ein Magnetfeld. Oberhalb dieses „Senders“ ist ein kleiner Ferritstab simuliert. Man erkennt, dass er zwar das Feld aus der direkten Nähe „ansaugt“, aber im Wesentlichen das Feld der Sendespule nicht ändert. Selbst mit Ferritkernen kann man also - bei großen Entfernungen - den Koppelfaktor nicht gravierend erhöhen, weil einfach ein großer Teil des magnetischen Flusses, der vom Sender erzeugt wird, nicht zum Empfänger geleitet werden kann. Unterhalb der Sendespule ist ein „Kurzschlussring“ aus Kupfer simuliert. Dieser beeinflusst das Feld auch nur in der direkten Nähe. Luftspulen sind also noch weniger geeignet, gute Koppelfaktoren zu ergeben. Ein großer Teil des Feldes der Sendespule wird von eventuellen Empfangsobjekten nicht beeinflusst. Hier verhält sich das Magnetfeld wie das Magnetfeld der ungestörten Spule. Die damit verbundene Feldenergie tritt im Gesamtsystem einfach als zusätzlich aufzubringende Blindleistung auf. Da diese Blindleistung mit Stromfluss gekoppelt ist, bewirkt dieser zusätzliche Stromfluss in allen ohmschen Widerständen zusätzliche Verluste. Aus den Feldsimulationen kann man oft relativ verlässliche Werte für die Induktivitäten und Koppelfaktoren entnehmen. Auch Indikationen zu den zu erwartenden Verlusten aufgrund von Wirbelströmen sind möglich. Damit sind oft schon im Vorfeld des Designs Wirkungsgradabschätzungen möglich. Entscheidend für eine realistische Aussage ist aber eine gute Abschätzung aller auftretenden Verluste, und das ist oft sehr schwer.

handelt es sich um Luftspulen oder Spulen mit sozusagen „sehr großem Luftspalt“. Berücksichtigt man nur den klassischen Skineffekt (Stromverdrängung in einem Leiter durch sein eigenes Magnetfeld), erhält man viel zu optimistische Werte für die Widerstandszunahme. In unserem Fall befindet sich die Wicklung selbst in ihrem eigenen starken Gesamtfeld. Dabei treten schon bei viel niedrigeren Frequen-

zen starke Wirbelstromverluste auf (oft auch als Proximity-Verluste bezeichnet). Beispielkurven sind im **Kasten 8** dargestellt. Bei höheren Frequenzen machen sich auch die Ummagnetisierungsverluste in Ferriten bemerkbar. Genauso sind die Umschaltverluste in den Transistoren der „Sendendstufe“ zu berücksichtigen. Hier ist oft ein sorgfältiges Design gefragt, welches die Gesamtverluste minimiert. Auch

**Kasten 6:**

**MIFARE-RFID-Fernauslesung**

Die aus Elektor 09/2006 bekannten MIFARE-RFID-Karten sind Nahfeld-Karten und der Hersteller sagt, es sei unmöglich, diese aus größerer Entfernung auszulesen. Um zu sehen, wie schwer das ist, stellen wir ein paar Überschlagsrechnungen an. Als Senderrahmen verwenden wir einen kreisförmigen Rahmen mit einem Radius  $R = 1\text{ m}$  und einer einzelnen Windung ( $N = 1$ ). Die magnetische Feldstärke  $H$  in Abhängigkeit von der Entfernung  $z$  (siehe Abbildung) berechnet sich zu:

$$H = \frac{N I}{2} \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{3/2}}$$

Laut ISO1443-2-Norm arbeiten diese RFID bei Feldstärken von  $H_{\min} = 1,5\text{ A/m}$  bis  $H_{\max} = 7,5\text{ A/m}$ .

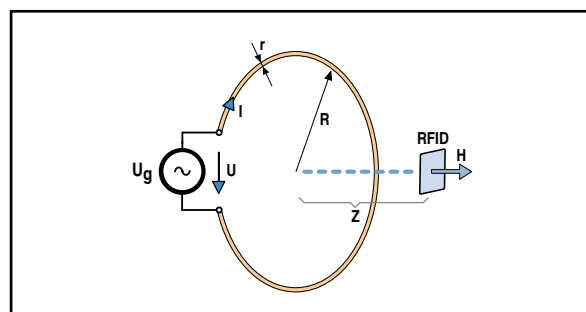
Wir versuchen eine Feldstärke von  $H = 1\text{ A/m}$  zu erreichen. Der notwendige Strom berechnet sich damit zu:  $I = 5,64\text{ A}$ .

Diesen Strom müssen wir bei einer Frequenz  $f = 13,56\text{ MHz}$  durch den Senderrahmen treiben. Nehmen wir an, dass diese eine Windung aus Draht mit einem Drahtradius  $r = 1\text{ mm}$  hergestellt ist, so berechnet sich die Induktivität des Senderings näherungsweise zu

$$L \approx \mu_0 \left( \ln \frac{8R}{r} - 2 \right) \approx 8,8\text{ }\mu\text{H}$$

Bei  $f = 13,56\text{ MHz}$  ergibt sich eine Spulenimpedanz von  $Z_L \approx 750\text{ }\Omega$ . Am Rahmen müssen wir also eine Spannung von  $U \approx 750\text{ }\Omega \cdot 5,64\text{ A} = 4,2\text{ kV}$  aufbringen. Das ist nicht ohne! Die dabei oszillierende Blindleistung ist  $S = U \cdot I = 5,64 \cdot 4,2\text{ kVA} \approx 24\text{ kVA}$ .

Dieses Zahlenbeispiel zeigt, dass es nicht ganz einfach ist, MIFARE-RFID-Karten aus größerer Entfernung aktivieren zu wollen...



### Kasten 7:

## LED-Fernversorgung

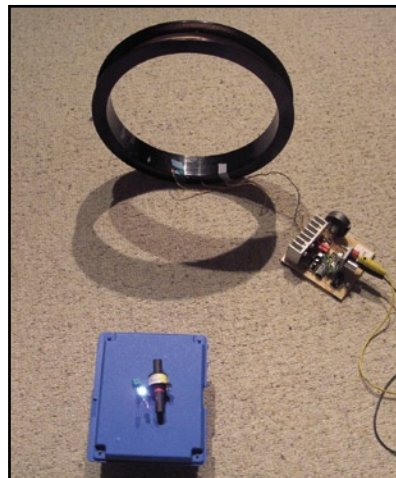
Das Foto zeigt ein System, mit dem eine weiße LED versorgt werden kann. Der maximal erreichte Abstand, bei dem die LED gerade noch leuchtet, beträgt immerhin 1,3 Meter!

Es wird die gleiche Halbbrücke wie beim Halogensystem in Kasten 4 zur Energieversorgung verwendet. Als Sende- (Primär-)Spule werden 15 Windungen aus Litze 90x0,1 mm auf einem Rahmen mit 22 cm Durchmesser verwendet. Die Induktivität ist  $L = 100 \mu\text{H}$ , Resonanzkondensator ist  $C_{\text{prim}} = 0,1 \mu\text{F}$  (MKP10-Typ). Die Betriebsfrequenz  $f = 50 \text{ kHz}$ . Dabei ist die Spulenimpedanz  $Z_L = Z_C = Z = 31,4 \Omega$ . Beim Primärstrom von  $6 \text{ A}_{\text{eff}}$  ergibt sich eine Scheinleistung von  $I^2 \cdot Z_0 \approx 1,2 \text{ kVA}$ !

Die Sendespule hat einen Gleichstromwiderstand von  $R = 0,25 \Omega$ , das führt zu Verlusten von mindestens  $P \approx 6 \text{ A}^2 \cdot 0,25 \Omega = 9 \text{ W}$ , obwohl wir nur eine LED mit einigen mW versorgen wollen. Die Schaltverluste sind mindestens  $36 \text{ A}^2 \cdot 0,07 \Omega = 2,5 \text{ W}$ . Die Spannung am Kondensator ist  $I_{\text{eff}} \cdot Z_0 \approx 200 \text{ V}$ . Als Empfangsspule werden 250 Windungen mit 0,2 CuL auf einem Ferritstab mit 10 mm Durchmesser und

60 mm Länge verwendet. Bei einer Induktivität  $L = 4,6 \text{ mH}$  ergibt sich mit  $C = 2,2 \text{ nF}$  bei 50 kHz Resonanz. Als „Last“ wird eine weiße LED versorgt.

Im Foto beträgt der Abstand ca. 30 cm, dabei leuchtet die LED sehr hell. Die maximale Entfernung bis zum „Erlöschen“ der LED war 1,3 m. Ohne Ferritstab ergibt sich mit  $L = 680 \mu\text{H}$  und  $C = 15 \text{ nF}$  eine maximale Entfernung von ca. 20 cm.



Versorgung einer LED in 30 cm Entfernung.

die dielektrischen Verluste in Isolationsmaterialien werden bei höherfrequenten Systemen wirksam.

Befinden sich leitende Metallteile in der Nähe, werden in ihnen natürlich Wirbelströme induziert, welche zur Erwärmung führen. Beim induktiven Kochen ist das gewollt. Bei anderen Systemen ist sorgfältig darauf zu achten, dass nicht andere Geräte oder gar Menschen durch die Magnetfelder geschädigt werden. Auch der real erreichbare Wirkungsgrad wird natürlich durch solche Verlustbringer verringert. Eine Abschirmung ist bei weit reichenden Systemen oft nicht möglich, weil eben das Nutzfeld dann auch zu stark gedämpft wird.

Ein nächstes wichtiges Thema sind die verwendeten Resonanzkondensatoren. Durch sie fließen beträchtliche Ströme, welche wiederum zu hohen Spannungen (mehrere 100 Volt bis einige kV) führen. Üblicherweise muss man Typen mit sehr geringem Verlustwinkel (also hoher Güte Q) einsetzen. Für die in einem Kondensator mit Güte  $Q_C$  umgesetzte Verlustleistung  $P_C$  aufgrund einer Scheinleistung  $S_C$  gilt näherungsweise  $P_C \approx S_C / Q_C$ . In unserem Fall liegt das Problem darin, dass die Scheinleistung  $S_C$  oft ein Vielfaches der zu übertragenden Wirkleistung ist. Daher kann, trotz sehr guter Kondensatoren, die Verlustleistung in den reaktiven

Komponenten in die Größenordnung der transportierten Wirkleistung kommen.

### Zusammenfassung

Es wurden die verschiedenen Mechanismen vorgestellt, die beim Design induktiv gekoppelter drahtloser Energieübertragungssysteme eine Rolle spielen. Reale Anwendungen erfordern ein sorgfältiges Abwägen aller Einflüsse. Es dürfte noch einige Zeit vergehen, bis Ihr Notebook dank drahtloser Energieversorgung ohne Akku auskommt...

(070825-I-D)

### Links:

<http://web.mit.edu/newsoffice/2007/wireless-0607.html>

<http://en.wikipedia.org/wiki/WiTricity>

<http://www.witricitynet.com/>

### Kasten 8:

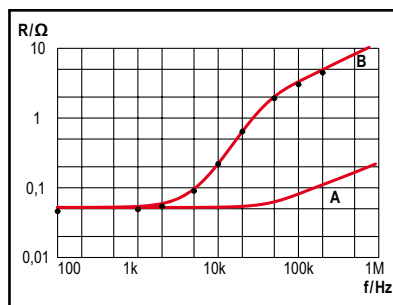
## Proximity-Effekt

Typisch für Spulen in drahtlosen Energieübertragungssystemen sind die relativ hohen magnetischen Feldstärken, die auch die Wicklungen der Spulen selbst treffen. Berücksichtigt man nur die Widerstandserhöhung durch den klassischen Skin-Effekt (Draht in seinem eigenen Magnetfeld), ergibt sich der im Diagramm unter „A“ dargestellte Verlauf und man würde die Spule durchaus für Frequenzen unter 100 kHz einsetzbar halten.

Misst man dann den Widerstandswert (serieller äquivalenter Widerstand), so ergeben sich die im Bild dargestellten Punkte. Die Kurve „B“ gibt den Verlauf richtig wieder, weil sie das starke Gesamtfeld richtig berücksichtigt (Proximity-Effekt). Man sieht, dass schon bei 10 kHz eine deutliche Widerstandszunahme gegenüber dem Gleichstromwiderstand auftritt. Daher wäre

in diesem Fall ein HF-Litzen-draht vorteilhaft. Um solche verlässlichen Vorhersagen zur Bestimmung des optimalen Drahttyps zu erreichen, benötigt man gute Feldsimulationsprogramme.

Dieses Beispiel zeigt, wie wichtig die Berücksichtigung der auftretenden Verluste ist.



Widerstandsverlauf mit Skin-Effekt (A) und Proximity-Effekt (B), Punkte gemessen.



# Vom Kreislauf des

## Die wahre CO<sub>2</sub>-Bilanz steht auf

Von Jens Nickel

**Kühlschränke und Waschmaschinen tragen ein Energielabel, bei Fernsehern, Ladegeräten und weiterer Elektronik spielt der Stand-by-Verbrauch eine immer wichtigere Rolle. Allerdings entsteht nicht nur beim Betrieb, sondern auch bei der Produktion, dem Transport und der Entsorgung eines Gerätes eine erhebliche Menge an CO<sub>2</sub>. Wir wagen eine Schätzung und zeigen außerdem, dass die Klimaschädlichkeit von Kilowattstunden sehr unterschiedlich sein kann.**

Der Stromverbrauch von Elektro- und Elektronikgeräten nimmt in unser aller Bewusstsein einen immer größeren Stellenwert ein. Ob ein Kühlschrank, ein Wäschetrockner oder eine Waschmaschine das grüne Label „A“ oder ein gelbes „D“ tragen, ist inzwischen nicht mehr nur eine Spezifikation von vielen, sondern eines des Hauptverkaufsargumente. Die farbigen Schildchen, die einem in Elektronikmärkten förmlich ins Auge springen, haben den Blick des Verbrauchers für diese Problematik geschärft. Darüber hinaus hat sich die EU dem Kampf gegen den

Stand-by-Verbrauch verschrieben [1], was vor allem Geräte der Unterhaltungselektronik betrifft. Und das nicht zu Unrecht: Allein die Deutschen könnten diesen Stromanteil mit einfachen Mitteln so weit drosseln, dass sich ein ganzes Braunkohlekraftwerk abschalten ließe.

### Ein Beispiel

Wir wollen ein wenig weiterrechnen und behaupten: Schon das Ausrüsten der vielen Haushalte hat bereits eine große Menge CO<sub>2</sub> verursacht. Eine stark vereinfachte Beispielrechnung soll das zeigen. Herr und Frau G. aus Schwaben benötigen eine neue Waschmaschine. Die G.s denken an die immer höher werdende Stromrechnung und suchen sich bewusst eine Maschine heraus, die nur 0,9 kWh pro normiertem Waschgang verbraucht, sich also (noch) die Kategorie A verdient.

Worüber beide weniger nachdenken: Die Waschmaschine hat schon eine weite Reise hinter sich. Mit dem Schiff ging es vom chinesischen Containerhafen nach Hamburg und von dort per LKW nach Süddeutschland. Der LKW hatte auf seiner langen Fahrt natürlich noch andere Elektronikgüter geladen. Wir nehmen einmal überschlägig an, dass die Waschmaschine ein Prozent der Ladung ausmachte und der LKW 150 Liter Diesel verbraucht hat. Mit rund dem Doppelten rechnen wir für die lange Schiffsreise und noch einmal mit demselben für den Transport von der chinesischen Elektrogeräte-Fabrik zum Hafen.

Doch damit nicht genug: Das Ehepaar G. hat sich extra für den Kauf der Maschine ins Auto gesetzt und ist insgesamt 30 km zum Elektro-Discounter gefahren, um das Gerät abzuholen. Schauen wir nun einmal in die Zukunft: Nachdem die Waschmaschine rund 800 Mal ihren Dienst verrichtet hat, verabschiedet sich „irgendwas in der Elektronik“. Eine Reparatur lohnt nicht mehr. So setzt sich Herr G. ins Auto und gibt das Gerät ordentlich bei der örtlichen Sammelstelle



Auch ein Windkraftwerk verursacht CO<sub>2</sub> - das meiste fällt bei der Stahl- und Betonproduktion an (Foto: BMU/Thomas Härtrich).

# Geräte-Lebens keinem Etikett

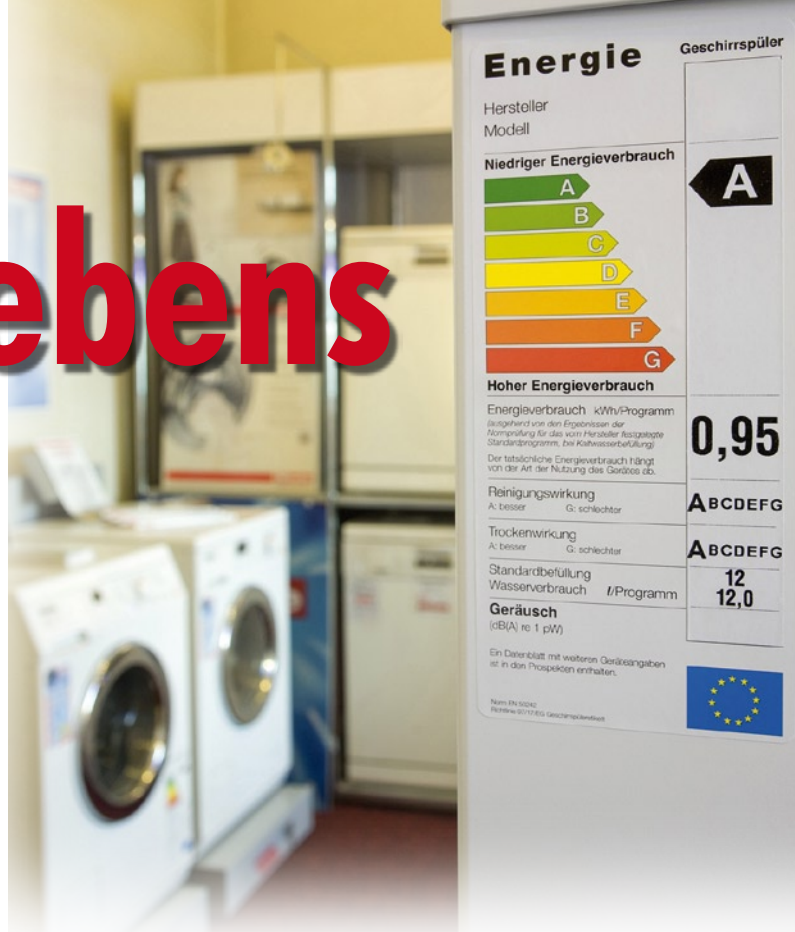


Foto: Deutsches Bundesumweltministerium/Brigitte Hiss

ab. Dort wird die Waschmaschine alsbald mit einem LKW der Recyclingfirma abgeholt und 300 km weit gefahren. Für den Transport des fertigen Gerätes wurden so insgesamt etwa 20 Liter Kraftstoff aufgewandt. An Strom hat die Waschmaschine rund 700 kWh verbraucht.

## Von Hundertsten...

Doch damit nicht genug. Um die Waschmaschine in einer chinesischen Provinzhauptstadt zu montieren, war ein Ar-

beiter (umgerechnet) rund einen Tag beschäftigt. Für die Beleuchtung, die Maschinen und das Werkzeug musste der Fabrikbesitzer rund 4 kWh in die Bücher schreiben. Noch einmal das Doppelte entfallen auf die Produktion der Einzelteile, dazu kommen 5 Liter Kraftstoff für den Transport von Fabrik zu Fabrik.

Reichlich Strom wird auch bei der Produktion der Stahl- und Kunststoffteile verwendet; nehmen wir dafür einmal pauschal 5 kWh an. Und so geht es weiter: Schließlich müssen

## CO<sub>2</sub>-Bilanz einer Kilowattstunde

Wie viel CO<sub>2</sub> verursacht die Erzeugung (und der Transport) einer Kilowattstunde? Hier darf man nicht nur das CO<sub>2</sub> betrachten, das beim Betrieb des Kraftwerks entsteht, sondern auch jenes, das beim Bau der Anlage, bei der Herstellung der Rohstoffe, beim Transport des Brennstoffs und sonstiger Güter anfällt. Solche Rechnungen sind nicht ganz einfach und hängen naturgemäß von vielen Eingangsgrößen und Annahmen ab (wo zum Beispiel kommt der Strom her, der zur Produktion einer Solarzelle verwendet wird?). Man kann sich leicht vorstellen, dass verschiedene Studien – zum Beispiel zur CO<sub>2</sub>-Bilanz von Wind- und Solarkraftwerken – recht unterschiedliche Ergebnisse liefern können. Naturgemäß spiegeln die Zahlen auch häufig die politischen Ziele des Auftraggebers wider. Besonders erbittert wird über die Bilanz der regenerativen Energien und jener von Kernkraftwerken gestritten. Letztere weisen eine recht günstige CO<sub>2</sub>-Bilanz auf, ziehen aber andere Probleme wie radioaktive Altlasten und ein nicht unerhebliches Sicherheitsrisiko nach sich.

Ein Beispiel: In [3] wird die Ökobilanz einer Windkraftanlage ausgerechnet. Bei der Herstellung des 1,8-MW-Windrades werden rund 900 Tonnen CO<sub>2</sub> emittiert – das meiste für die Stahl- und Betonproduktion. Nach der Studie hat das kleine Kraftwerk diese Menge durch den selbst erzeugten Strom in knapp 5 Monaten wieder eingespart. Gegner wenden hier allerdings ein, dass eine von einem Windkraftwerk erzeugte Kilowattstunde keine im Kohle- oder Atomkraftwerk erzeugte Kilowattstunde ersetzen kann, da die Bereitstellung vom Wind abhängig ist und sich kaum vorausberechnen lässt.

Nachfolgend eine Tabelle mit ein paar Zahlen, welche mit der Spezial-Software „GEMIS“ [4] des deutschen Öko-Institutes berechnet wurden und in [5] nachzulesen sind. Bei den erstgenannten drei Kraftwerken ergeben sich übrigens erheblich niedrigere Werte, wenn das Kraftwerk nicht nur Strom liefert, sondern auch nutzbare Wärme.

CO <sub>2</sub> -Ökobilanz verschiedener Kraftwerkstypen (Werte in g CO <sub>2</sub> /kWh)	
Braunkohle-Kraftwerk	1.142
Steinkohle-Kraftwerk	897
Erdgas-Kraftwerk	398
Atomkraftwerk	31
Wind-Park	23
Wasserkraftwerk	39
Solarzelle (multikristallin)	89

die Stahlrollen erst einmal in die Fabrik kommen. Bei der Produktion von Eisen und Stahl werden fossile Brennstoffe verbrannt. Das Eisenerz muss gefördert und zum Hochofen gebracht werden. Alle LKWs und Maschinen, von denen bisher die Rede war, verschleiben aber bei der Benutzung ein wenig. Auch die zu ihrer Produktion und ihrem Transport aufgewendete Energie muss daher ein klein wenig unserer Waschmaschine zugerechnet werden. Doch auch der Transport und die Herstellung des Diesels, die Ölförderung und der Bau der beteiligten Stromkraftwerke verursachen CO<sub>2</sub>...

### Bilanzen

Wie sieht die Bilanz des Gerätelebens denn nun in CO<sub>2</sub> ausgedrückt aus? Wir vereinfachen wieder einmal und zählen zusammen: 700 kWh Stromverbrauch im Betrieb, sowie (grob geschätzt) 50 kWh Stromverbrauch (in China) für die Produktion und 50 Liter Kraftstoff für den Transport. Der letzte Punkt ist recht einfach abzuschätzen: Bei der Verbrennung von 1 Liter Diesel entstehen ungefähr 2,6 kg CO<sub>2</sub>. Doch wie sieht die CO<sub>2</sub>-Bilanz einer Kilowattstunde Strom aus? Der Strom, der in Deutschland aus der Steckdose kommt, wird ja von höchst unterschiedlichen Kraftwerken geliefert. Wobei hier – Sie ahnen es – natürlich nicht nur das verfeuerte Gas oder die verfeuerte Kohle, sondern auch der CO<sub>2</sub>-Ausstoß beim Bau und Abbau des Kraftwerks eine Rolle spielt (siehe Kasten „Wie umweltfreundlich ist das Kraftwerk?“). Für einfache Berechnungen hier eine Zahl, die den bundesdeutschen Kraftwerks-Mix widerspiegelt. Für die Erzeugung und den Transport von 1 kWh Strom werden rund 0,6 kg CO<sub>2</sub> emittiert.

In China liegen die Verhältnisse freilich wieder anders, aufgrund der großen Zahl von Kohlekraftwerken mit schlechtem Wirkungsgrad ist hier von einem deutlich höheren Faktor auszugehen (sogar in der EU gibt es noch Kraftwerke, die mehr als 1,3 kg CO<sub>2</sub>/kWh ausstoßen!). Natürlich lässt sich die Umweltverträglichkeit von einer Kilowattstunde Strom nicht nur am CO<sub>2</sub>-Ausstoß festmachen, hierbei sei

nur an die riesigen und sehr umstrittenen Wasserkraftwerke in China erinnert. Es gibt Studien, in denen aus der Emission von Stickoxiden und weiterer Gase die Umweltschädigungen und sogar die erhöhte Sterblichkeit in der Bevölkerung abgeschätzt werden [2a][2b]. Dieser „Impact“ wird dann ganz trocken wieder in Euro und Cent „umgerechnet“, woraus sich versteckte Kosten für verschiedene Energiequellen ergeben.

### Fazit

Zurück zur Waschmaschine: Zwar macht ihr Betrieb den Löwenanteil des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes aus (ungefähr 400 kg), nicht unerhebliche Mengen werden aber auch für die Produktion, den Transport und die Entsorgung aufgewandt (nach unserer Rechnung knapp 200 kg). Bei weniger leistungshungrigen Geräten fallen diese Anteile sogar stärker ins Gewicht. Gleiches gilt für Geräte, die besonders Strom sparend designed sind – was natürlich eine lobenswerte Bemühung ist und bleibt. Wer etwas für die Umwelt tun möchte, sollte seinen Horizont dennoch erweitern: Vielleicht muss es ja wirklich nicht alle zwei Jahre ein(e) neue(r) Computer, DVD-Player oder Digitalkamera sein...

(070800)

### Weblinks

- [1] [http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/html/standby\\_initiative.htm](http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/html/standby_initiative.htm)
- [2a] [www.needs-project.org](http://www.needs-project.org)
- [2b] [www.externe.info](http://www.externe.info)
- [3] [www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen\\_A-Z/Energiebilanzen/Datenblatt\\_EnergAmortisation\\_WEA.pdf](http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Energiebilanzen/Datenblatt_EnergAmortisation_WEA.pdf)
- [4] [www.oeko.de/service/gemis/de/index.htm](http://www.oeko.de/service/gemis/de/index.htm)
- [5] [www.oeko.de/service/gemis/files/doku/2007akw\\_co2papier.pdf](http://www.oeko.de/service/gemis/files/doku/2007akw_co2papier.pdf)



Größere Solaranlagen haben in wenigen Jahren jene Menge CO<sub>2</sub> wieder eingespart, die bei der Herstellung, dem Bau und Transport entsteht (Foto: BMU/Brigitte Hiss).



# Beleuchtungskontrolle

Von Erwin Deumens

Die Beleuchtung von Kfz-Anhängern lässt sich am leichtesten überprüfen, wenn zwei Personen beteiligt sind. Während eine Person die Schalter und Pedale im ziehenden Fahrzeug bedient, beobachtet die zweite Person die Anhängerbeleuchtung. Doch auch ohne zweite Person ist eine zuverlässige

Kontrolle möglich. Die zu überprüfende Leitung der Anhänger-Elektrik wird mit zwei als Komparatoren geschalteten Opamps verbunden. Die Komparatoren vergleichen die anliegende Spannung mit zwei Referenzspannungen. Als Opamp wurde hier der NE5532 gewählt, jeder andere Opamp, der mindestens

14 V verträgt (z. B. der 741) ist gleichermaßen geeignet. Durch die Widerstände R1 und R2 fließt ein konstanter Strom. Die Referenzspannungen sind die Spannungen, die an diesen Widerständen abfallen. Da der Strom 1 mA beträgt, liegt an Pin 6 von IC1 eine Spannung von 100 mV, die Spannung an Pin 3 beträgt 2,3 V.

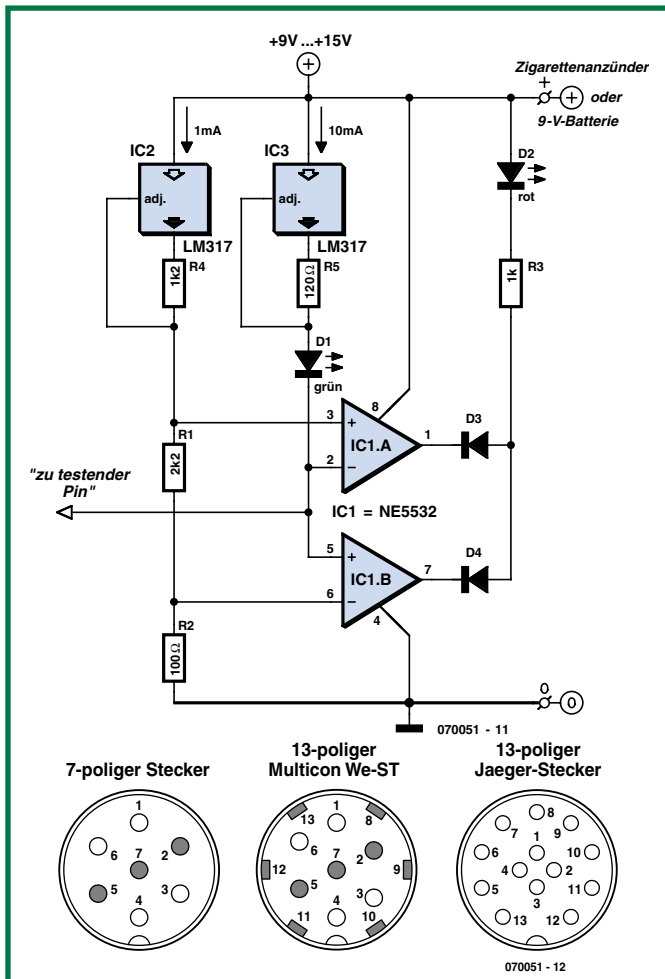
Wenn die zu überprüfende Leitung (oder Lampe) in ordnungsgemäßem Zustand ist, muss die Spannung an der Leitung zwischen 100 mV und 2,3 V liegen. Zum Beispiel hat eine Lampe 12 V/5 W einen Widerstand von rund 30 Ω. Bei dem Strom 10 mA beträgt der Spannungsabfall an der Lampe 300 mV. Durch LED D1 fließen 10 mA, so dass die LED aufleuchtet. Die Ausgänge von IC1A und IC1B sind gleichzeitig auf hoher Spannung, LED D2 leuchtet nicht auf. Im Fall eines Kurzschlusses nach Masse geht der Ausgang von IC1B auf niedrige Spannung, so dass sowohl D1 als auch D2 aufleuchten. Wenn eine Lampe durchbrennt, steigt die an der Leitung liegende Spannung auf die Betriebsspannung der Schaltung an. In diesem Fall fließt durch LED D1 kein Strom. Der Ausgang von IC1A ist auf niedriger Spannung, so dass LED D2 aufleuchtet.

Der Masse-Anschluss der Schaltung muss mit der Masse des Anhängers verbunden werden. Aus den Skizzen der üblichen Anhänger-Stecker geht hervor, an welchen Leitungen die einzelnen Lampen angeschlossen sind.

Natürlich kann man die Prüfschaltung sieben oder sogar dreizehn Mal aufbauen, wenn man sämtliche Leitungen auf einen Blick kontrollieren möchte. In der Praxis dürfte es genügen, die Leitungen und Lampen nacheinander mit nur einer Prüfschaltung zu testen.

(070051)gd

Anzeige



## Schrittmotorsteuerkarte

für PC-Positioniersysteme, Bohr-, Gravier- und Fräsanlagen!

- Steuerung von Schrittmotoren für 3 Achsen!
- Phasenströme einstellbar!
- Variable Stromversorgung = einfache Adaption an viele Motortypen!
- Ansteuerung auch über SPS oder Taktgenerator möglich!
- Inklusive Treibersoftware für MS Dos und Windows mit Beispiel Sourcen!
- Anpassung an Ihre Anforderungen möglich!

**Nur € 79,-**

über 4000 verkaufte Exemplare

Technische Daten:

- Anschluss an PC mit Standard-Druckerkabel
- Stromchopperendstufen für Voll- und Halbschrittbetrieb
- optimal für 2- und 4-Phasen-Schrittmotoren
- Versorgungsspannung 15-28 V

**EMIS**

Zur Drehscheibe 4  
92637 Weiden i. d. Opf.  
Tel. (09 61) 3 20 40, Fax (09 61) 3 14 94  
www.emisgmbh.de

## FRÄSEN SCHNEIDEN PLOTTEN

**CUT 2000**

**CUT 4000**

## CUT 2000

CNC-Fräsmaschine  
600 x 400 x 80 mm  
fertig montiert und getestet

**€ 2.198,-**

# HAASE

P. Haase · Am Hummelbach 43  
41469 Neuss · Tel. 02137\_75783  
Fax 02137\_76984  
www.team-haase.de

# Ein Lader für Dallas

## Der europäische Beitrag zum Future Energy Challenge 2007

Von Hannes Nordmann, Tim Schmidla, Heike Barth, Martin Kiel und Heinz van der Broeck



**Die Zahl der Ladegeräte im Haushalt nimmt ständig zu - viele davon verursachen hohe Stand-by-Verluste. Im Rahmen des „Future Energy Challenge“ rief das IEEE Studenten in aller Welt dazu auf, einen universellen und Strom sparenden Lader entwickeln. Mit dabei waren auch Studierende aus Aachen und Köln, die als einzige Europäer zur Endrunde nach Dallas eingeladen wurden.**

In den letzten Jahren ist die Anzahl mobiler elektronischer Geräte ständig gestiegen. Heute findet man in den meisten Haushalten mindestens ein Notebook, eine Digitalkamera, mehrere Handys und MP3-Player. Fast immer wird hierzu ein eigenes Ladegerät geliefert, das sich meist nur für dieses eine Gerät nutzen lässt. Darüber hinaus arbeiten viele Ladegeräte uneffizient und verursachen hohe Stand-by-Verluste. Letzteres ist besonders problematisch, da viele Nutzer den Lader nach dem Gebrauch nicht von

der Steckdose trennen. Aus Sicht der Verbraucher wäre es sehr wünschenswert, nur ein Ladegerät zu benötigen, mit dem die Batterien aller portablen Geräte geladen werden können. Aus ökologischer Sicht sollte dieses Gerät besonders effizient arbeiten.

### Keine leichte Aufgabe

Um hierfür eine Lösung zu finden, hatte das IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) in 2006 die Entwicklung eines hocheffizienten uni-

versellen Ladegeräts zur Aufgabe des alle zwei Jahre stattfindenden „Future Energy Challenge“ gemacht [1]. Die Anforderungen des Wettbewerbs, an dem Studententeams aus aller Welt teilnehmen, waren wie immer nicht leicht zu erfüllen. Das Ladegerät sollte mit hohem Leistungsfaktor an allen Wechselspannungsnetzen von 95 V bis 270 V und bei Frequenzen von 48 Hz bis 400 Hz arbeiten sowie potentialfrei Ladeströme bis 2 A bereitstellen. Die Stand-by-Verlustleistung durfte dabei höchstens 0,25 W betragen. Eine

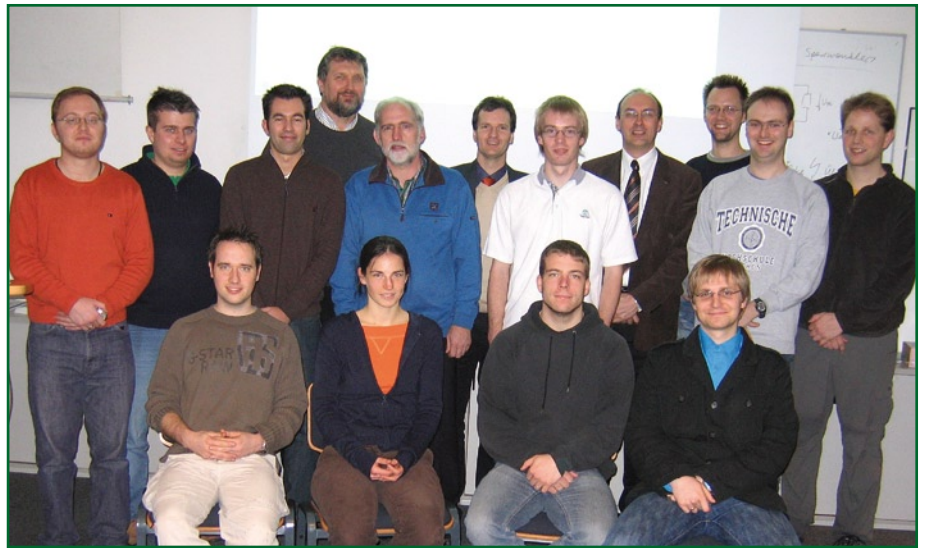


Produktion des Laders sollte bei Millionen-Stückzahlen 10 US-\$ pro Exemplar nicht übersteigen. Teure Controller oder besonders exotische Bausteine schieden daher als Komponenten aus. Doch das war noch nicht alles. Eine besondere Herausforderung bei der Entwicklung eines solchen Ladegerätes besteht darin, dass verschiedene Batterietypen mit unterschiedlicher Zellenanzahl in beliebiger Polarität angeschlossen und optimal geladen werden sollen. Dies ist für den vorgesehenen Spannungsbereich bis 32 V besonders schwierig, da die vorgesehenen Batteriekombinationen zum Teil gleiche Spannungsbereiche belegen. Beim „Future Energy Challenge 2007“ mussten der Batterietyp (Pb, NiCd, NiMH, LiIon) und die Zellenanzahl (bis zu 20 Zellen in Serie) alleine aus dem Klemmenverhalten erkannt werden, Temperaturmessungen waren nicht zulässig.

### Arbeit an zwei Platinen

Heinz van der Broeck, Professor an der FH Köln und Experte für Schaltnetzteile, beschloss mit einigen Kollegen [\*] im Herbst 2006, mit einem gemeinsamen Studententeam der RWTH Aachen und der FH Köln am Wettbewerb teilzunehmen. Nach entsprechender Werbung fanden sich insgesamt neun Studierende [\*\*], die bereit waren, neben ihrem Studium einen großen Teil ihrer Freizeit in die Entwicklung des universellen Ladegerätes zu investieren. Seitens der Betreuer wurde das Team in speziellen Vorlesungen über Schaltnetzteile und Batterietechnologien auf die Aufgabe vorbereitet. Durch den Besuch von Elektronikfachmessen konnten die Studierenden auch Kontakte zu Firmen aufnehmen, die daraufhin das Projekt mit kostenloser Software, Komponenten und Geräten unterstützten [\*\*\*].

Regelmäßige Treffen fanden in Köln und Aachen statt (Bild 1). Da die beiden Teilteams eine ganze Autostunde voneinander entfernt arbeiteten, entschied man sich dafür, die Entwicklungsaufgabe quasi „in der Mitte“ aufzuteilen. So kümmerte sich die Gruppe in Köln um die Netzanbindung, die Potentialtrennung und die Erzeugung aller Hilfsspannungen. In Aachen wurde die Ladeeinheit mit der Messeinrichtung aufgebaut. Weiterhin wurden dort die Batterie-Erkennungsalgorithmen entwickelt und anschließend in einem Mikrocontroller implementiert (siehe das Blockdiagramm in Bild 2).



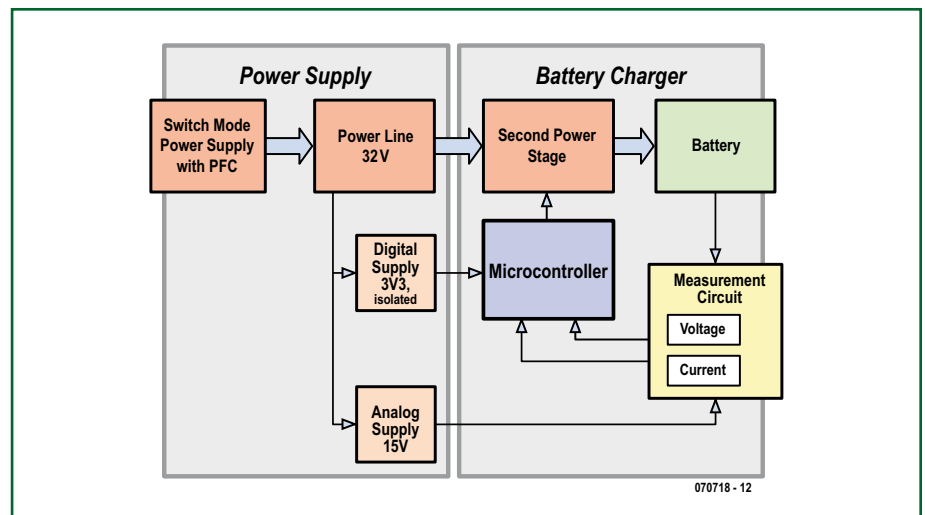
**Bild 1.** Das Köln-Aachener Team. Hinten (v.l.n.r.): Yusuf Yurdagel, Frank Hecht, Tim Schmidla, Dieter Pingel, Prof. Heinz van der Broeck, Prof. Dirk Sauer, Hannes Nordmann, Prof. Rik De Doncker, Sebastian Richter (Future Energy Challenge 2005), Martin Kiel, Christian Dick (FEC 2005). Vorne: Christoph Wieczorek, Heike Barth, Andreas Anschutz, Raffael Kuberczyk.

### Herausforderungen

In den ersten Monaten erzielte man nur geringe Fortschritte, da die Studierenden sich erst mit den verschiedenen Komponenten und Schaltungen sowie der Software vertraut machen mussten. So wurden zuerst kleinere Schaltungsteile handverdrahtet aufgebaut und mit einer professionellen Lade- und Entlade-Einrichtung zahlreiche Messungen an den zu betrachtenden Batterien durchgeführt. Wie alle Elektronik-Entwickler mussten auch die Studenten-Teams für falsche Ansätze Lehrgeld zahlen. So manches Bauelement wurde durch Über-

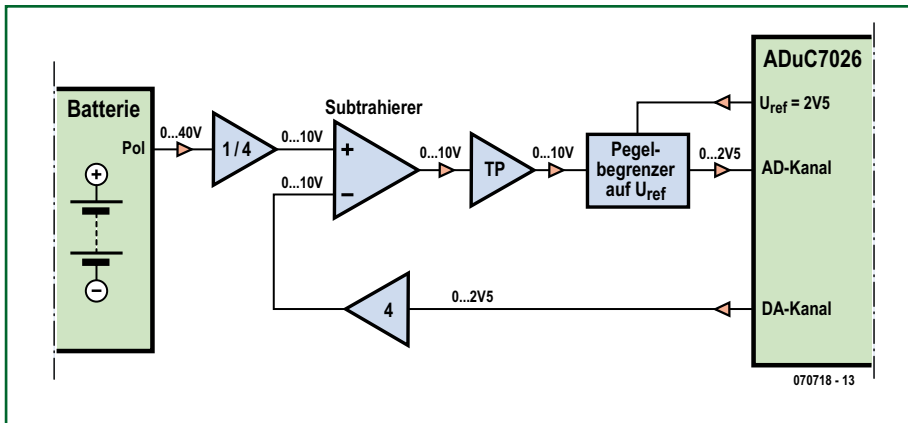
lastung oder falsche Ansteuerung zerstört, Regelungs- und Steuerungsfunktionen durch fehlende Abschirmung oder zu lange Verbindungsleitungen beeinträchtigt.

Eine besondere Herausforderung war, dass der Bereich der möglichen Batteriespannungen von 2 bis 32 V zu groß ausfiel, um die Spannung mit dem 12-bit-A/D-Wandler des verwendeten Mikrocontrollers genau genug bestimmen zu können. Die Studenten lösten das Problem mittels eines verschiebbaren Messfensters (siehe Kasten). Eine durch den D/A-Wandler des Mikrocontrollers vorgegebene Hilfsspannung

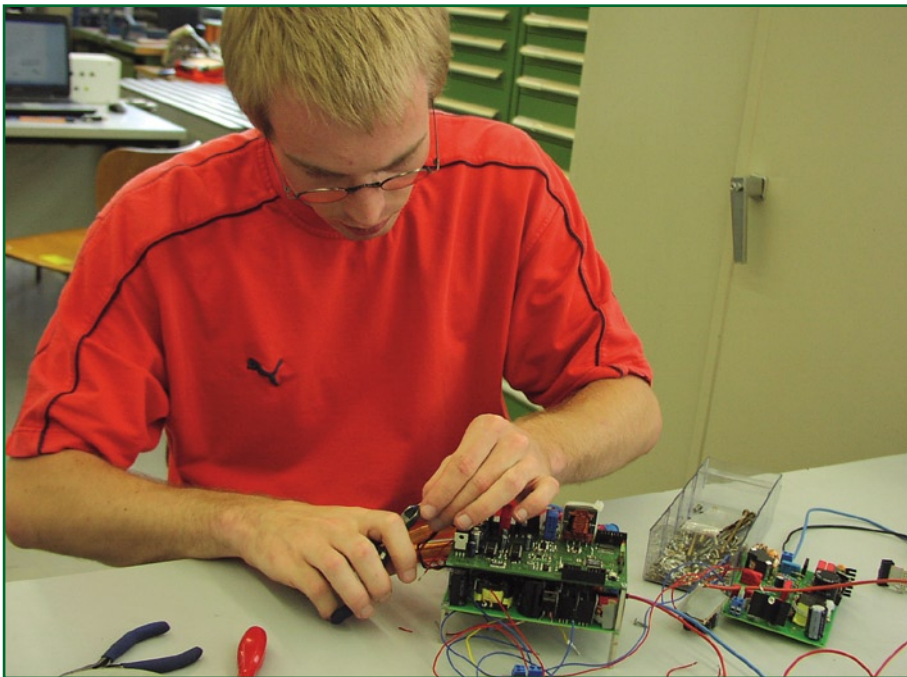


**Bild 2.** Die Kölner Gruppe kümmerte sich um die Netzanbindung, die Potentialtrennung und die Erzeugung aller Hilfsspannungen. In Aachen wurden die Ladeeinheit mit der Messeinrichtung aufgebaut und die Batterie-Erkennungsalgorithmen in einen Mikrocontroller implementiert.





**Bild 3.** Der Bereich der möglichen Batteriespannungen war mit 2 bis 32 V zu groß, um diese mit dem 12-bit-A/D-Wandler des Mikrocontrollers genau genug bestimmen zu können. Die Studenten lösten das Problem mittels eines verschiebbaren Messfensters. Eine durch den D/A-Wandler des Mikrocontrollers vorgegebene Hilfsspannung wird hierbei vom Eingangssignal abgezogen.



**Bild 4.** Wenige Wochen vor der Finalrunde wurden die beiden Platinen erstmals zusammenschaltet und funktionierten auf Anhieb.

wird hierbei vom Eingangssignal abgezogen (Schaltung siehe **Bild 3**).

### Erfolgreiche Zusammenarbeit

Erst nach mehreren Umbauten entstanden in der Endphase zwei Platinen: eine Platine in Richtung Netz (Köln) und eine in Richtung Batterie (Aachen). Die Fortschritte der Projektarbeit wurden in zwei Berichten für den IEEE dokumentiert und an Gutachter in die USA gesandt. Darüber hinaus konnten zwei Teammitglieder im Frühjahr 2007 an einem Workshop des Future Ener-

gy Challenge in Anaheim (USA) teilnehmen und Diskussionen mit Studierenden anderer Teams führen, die aus Australien, Bangladesh, USA, Brasilien und China angereist waren.

Nebenbei waren die meisten der Studenten noch im Prüfungsstress, so dass sie zeitweise über mehrere Wochen gar nicht oder nur sehr wenig an dem Projekt teilnehmen konnten. Ein harter Kern an Studierenden jedoch trieb das Projekt unermüdlich voran, was sich schließlich auch auszahlen sollte. Als einziges Team aus Europa wurden die Rheinländer zur Endausscheidung nach

Dallas in Texas eingeladen, neben Gruppen aus Australien, Bangladesh, Brasilien, China und drei US-amerikanischen Teams (siehe unser Hauptfoto).

Im Juli - wenige Wochen vor der Finalrunde - wurden die beiden Platinen erstmals zusammenschaltet und funktionierten auf Anhieb (**Bild 4**). Zu Präsentationszwecken bauten die Studenten das Gerät in ein Plexiglasgehäuse ein (siehe **Bild 5**). In **Bild 6** ist der fertige Lader zu sehen.

Im August wurde das Ladegerät von zwei Studierenden in den Laboratorien von Texas Instruments in Dallas den Gutachtern vorgeführt. Und das mit Erfolg: Die Arbeiten des Köln-Aachener-Teams wurden mit einem Award in Höhe von 2500 US-\$ ausgezeichnet. Darüber hinaus konnten sich die am Projekt beteiligten Studierenden ihre Entwicklungsarbeit je nach Umfang als Studien- oder Diplomarbeit anerkennen lassen.

[\*] Betreuer: Prof. Heinz van der Broeck (Schaltnetzteile, IA FH Köln [2], ISEA RWTH Aachen[3]), Prof. Sauer (Batterietechnologien, ISEA RWTH Aachen), Prof. Rik de Doncker (ISEA RWTH Aachen), Dipl.-Ing. Martin Kiel (Labor ISEA, RWTH Aachen), Dipl.-Ing. Dieter Pingel (Labor IA, FH Köln)

[\*\*] Studentische Teilnehmer: Heike Barth, Tim Schmidla, Andreas Anschutz, Raffael Kuberczyk (FH Köln), Hannes Nordmann, Christoph Schaeper, Christoph Wieczorek, Frank Hecht (RWTH Aachen), Yusuf Yurdagel (FH Aachen).

[\*\*\*] Das Team möchte sich bei allen Firmen und Institutionen bedanken, die das Projekt durch Bereitstellung von Komponenten und Geräten sowie durch großzügige finanzielle Zuwendungen unterstützt haben: Philips Research Aachen, NXP, Ferroxcube, NORWE, MacService, LEM, Texus, Analog Devices sowie IEEE- PELS, IEEE German Section, ISEA-RWTH Aachen, Fak IME - FH Köln.

### Weblinks

- [1] [www.energychallenge.org](http://www.energychallenge.org)
- [2] [www.et.fh-koeln.de/ia/la/index.html](http://www.et.fh-koeln.de/ia/la/index.html)
- [3] [www.isea.rwth-aachen.de/isea2/index.php](http://www.isea.rwth-aachen.de/isea2/index.php)
- [4] [www.nxp.com/acrobat\\_download/datasheets/TEA1750\\_1.pdf](http://www.nxp.com/acrobat_download/datasheets/TEA1750_1.pdf)
- [5] [www.nxp.com/acrobat\\_download/literature/9397/75015892.pdf](http://www.nxp.com/acrobat_download/literature/9397/75015892.pdf)
- [6] [www.analog.com/en/prod/0,,762\\_0\\_ADUC7026,00.html](http://www.analog.com/en/prod/0,,762_0_ADUC7026,00.html)

(070718)

## Die Schaltung

Das Bild zeigt den Schaltungsaufbau mit den wichtigsten Komponenten sowie die zugehörigen Platinen.

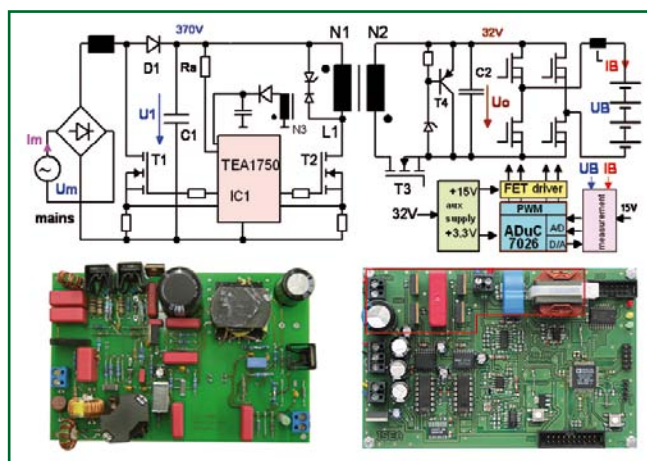
Der Eingangsteil besteht aus einem PFC-Gleichrichter, der im diskontinuierlichen Betrieb arbeitet und nach HF-Filterung dem Netz einen nahezu sinusförmigen Strom entnimmt. Unabhängig von der Höhe der Netzspannung wird eine Zwischenkreisspannung von ca. 370 V erzeugt.

Als zweite Leistungsstufe wird ein Sperrwandler eingesetzt, der eine potentialfreie, stabilisierte Ausgangsspannung von  $U_2 = 32\text{ V}$  generiert. Beide Konverter werden von dem Steuer-IC TEA1750 aus der Green Chip Serie von NXP angesteuert [4]. Dieser Baustein minimiert die Schaltverluste durch „valley switching“ (Anpassung des Schaltzeitpunktes) und Reduzierung der Schaltfrequenz bei niedriger Last. Im Stand-by-Betrieb wird der PFC-Gleichrichter deaktiviert und der Sperrwandler arbeitet im „burst mode“. Dadurch können die Stand-by-Verluste unter  $0,5\text{ W}$  gehalten werden. Auf der Sekundärseite wird statt der üblichen Gleichrichterdiode ein weiterer Transistor (T3) mit niedrigem  $R_{DSon}$  eingesetzt, der von einem Synchrongleichrichter-Chip TEA1761 [5] gesteuert wird – die Verlustleistung wird dadurch noch weiter reduziert.

Die dritte Leistungsstufe besteht aus einer MOSFET-H-Brücke. Die Energiespeicherdrossel L befindet sich zusammen mit der zu ladenden Batterie im Querzweig. Durch geschickte Taktung der vier Transistoren kann man Batterien mit beiden Polaritäten laden und entladen. Die zugehörige Pulsweitenmodulation generiert der Mikrocontroller ADuC7026 von Analog Devices [6]. Dieser Controller arbeitet mit einem schnellen ARM7-Core und weist neben der PWM-Einheit noch eine sehr umfangreiche analoge Peripherie auf.

Zur Erkennung der Batterie muss für mindestens eine Minute ein definierter Entladestrom von  $2\text{ A}$  entnommen werden. Dieser wird in den Zwischenkreis  $U_o$  gespeist. Die zugehörige Leistung kann zur Versorgung des Controllers und der Ansteuer- und Messeinheit genutzt werden. Übersteigt die Entladeleistung jedoch den Bedarf der Hilfskreise, steigt die Spannung  $U_o$  weiter an. Ab einem Wert von  $U_o = 36\text{ V}$  wird die überschüssige Entladeleistung in einem bipolaren Transistor T4 auf einem Kühlkörper in Wärme umgesetzt. Maximal sind dabei  $64\text{ W}$  abzuführen.

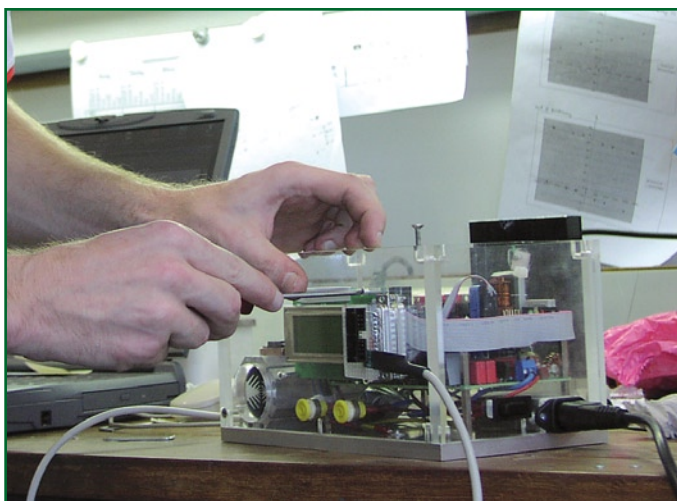
Beim Erkennen des Batterietyps und beim Laden muss die Batteriespannung ständig mit dem Mikrocontroller gemessen werden. Um die Auflösung der A/D-Wandlung zu erhöhen, wird mit einer Operationsverstärkerschaltung in Abhängigkeit von der Batteriespannung zunächst ein konstanter Referenzwert abgezogen, der über den D/A-Ausgang des Mikrocontrollers bereitgestellt wird (Schaltung siehe **Bild 3**). Es ist somit möglich, ein Messfenster automatisch an die Batteriespannung



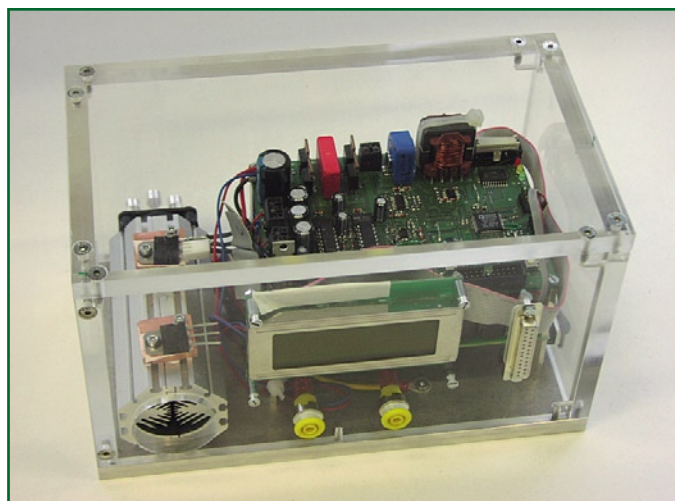
anzupassen und hierdurch die Auflösung der Spannungserfassung effektiv um 2 Bit zu erhöhen.

Zur Batterieerkennung werden bestimmte Lade- und Entlade-Zyklen eingestellt und die resultierenden Spannungs- und Stromwerte durch den Mikrocontroller ausgewertet. Daraus wird eine erste Wahrscheinlichkeitsangabe für die vier Batterietypen und die Zellenanzahl möglich. In der Folgezeit werden weitere Lade- und Entlade-Zyklen durchgeführt, um eine weitere Eingrenzung vorzunehmen und schließlich den Batterietyp und die Zellenanzahl genau bestimmen zu können. So kann beispielsweise über eine Hysteresemessung sehr gut festgestellt werden, ob eine Nickel-basierte Batterie vorliegt, die nur mit der Konstantstrom-Methode geladen werden darf. Dies funktioniert wie folgt: Ausgehend davon, dass der Akku zuvor zumindest zum Teil entladen wurde, wird zunächst eine bestimmte Ladungsmenge in den Akku hineingeladen. Danach wird eine ganze Zeit lang gewartet, bis sich die Ruhespannung eingestellt hat und dieser Wert im Controller festgehalten. Nun wird die doppelte Ladungsmenge aus dem Akku entnommen und wieder gewartet, bis sich die Ruhespannung eingestellt hat. Anschließend wird wieder die ursprüngliche Ladungsmenge in den Akku geladen und ein drittes Mal auf das Einstellen der Ruhespannung gewartet. Dieser Wert wird nun mit dem gespeicherten Wert verglichen, die Differenz wird als „Hysteres-Spannung“ bezeichnet. Diese ist bei Ni-basierten Batterien deutlich höher als bei anderen Systemen.

Bei Blei- und Lilon-Batterien wird zunächst mit konstantem Strom und abschließend mit konstanter Spannung geladen. Solange nicht ausgeschlossen ist, dass es sich um eine Lilon-Batterie handelt, wird darauf geachtet, dass in keinem Fall eine Überladung erfolgt.



**Bild 5.** Zu Präsentationszwecken bauten die Studenten das Gerät in ein Plexiglasgehäuse ein.



**Bild 6.** Hier ist das fertige Ladegerät zu sehen.

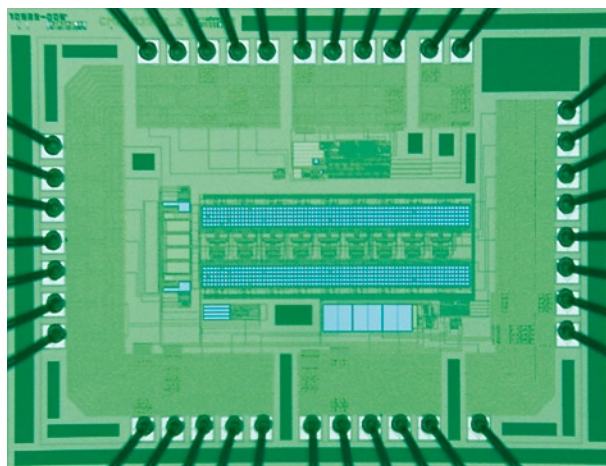


# Low-Power-Industries

## Über industrielle Strategien, den Stromverbrauch von Chips zu senken

Von Dr. Thomas Scherer

**Das neue Jahrtausend begann mit stetig steigenden Energiepreisen und folglich einer neuen ökologischen Welle, die mittlerweile auch die Elektronik voll erfasst hat. Kein Hersteller kann es sich mehr leisten, dem Streben nach mehr Funktion lediglich mit mehr Transistoren und noch mehr Stromverbrauch zu begegnen – und das nicht nur aus ökologischen Gründen...**



Nachdem es schon in den 90er Jahren erste ernsthafte Bestrebungen gab, neben reinen Ergonomiefragen auch den Stromverbrauch von Consumer-Geräten und insbesondere von PC-Equipment zu reduzieren (siehe die Siegel der schwedischen TCO), befasst sich neuerdings auch die euro-

päische Politik mit solchen Fragen. In diesem Kontext steht ein Entwurf zur Reduktion des Stromverbrauchs im Standby-Modus aus dem Jahre 2005 [1], der dieses Jahr schon Grenzen von 1 W bringen soll und in drei Jahren sogar nur 0,5 W pro Gerät im Standby-Betrieb erlauben wird. Die gesamte Elektronik-Industrie beschäftigt sich also nicht erst jetzt mit Techniken zur Verminderung von Energieverschwendung. Allerdings nicht immer ganz freiwillig, und manchmal nur, weil es technisch nicht mehr anders geht.

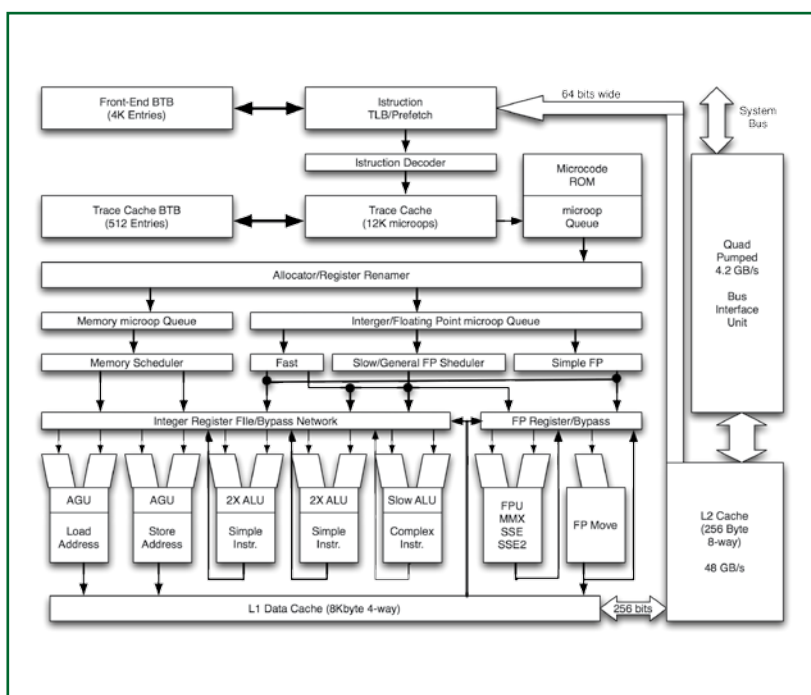


Bild 1. Die Netburst-Architektur eines typischen Pentium-4-Prozessors.

### Harter Lernprozess

Intel hat vor einigen Jahren die Erfahrung machen müssen, dass die Brute-Force-Strategie im (Konkurrenz-)Kampf um mehr Leistung teilweise zu untragbarer Verlustleistung ihrer besten CPUs führte. Am 6. März 2000 passierte das Unvorstellbare: Konkurrent AMD erreichte mit seinen Athlon-CPU's als erster die prestigeträchtige Taktfrequenz von 1-GHz! Diesen Vorsprung konnte sich Intel nicht bieten lassen. Schon im Vorfeld des 1-GHz-Rennens wurde mit dem Pentium 4 die so genannte Netburst-Architektur (**Bild 1**) entwickelt, von der sich abzeichnete, dass sie sich ausreichend beschleunigen ließ. Damit konnten noch im gleichen Jahr CPUs mit bis zu 1500 MHz realisiert werden, die dann leider weniger Performance als ein 1-GHz-Pentium 3 brachten. Aber bei den Taktraten war Intel wieder Sieger...

Die Antwort von AMD erschöpfte sich im Wesentlichen darin, den Nachfolger Athlon XP mit einer Art virtueller Taktfrequenzbezeichnung im Namen zu verkaufen [2]. Doch ab da begann für Intel die Verlustleistungsproblematik akut zu werden: Kam eine P3-CPU noch mit einer Leistungsaufnahme zwischen 20 und 40 W daher, so lag schon die

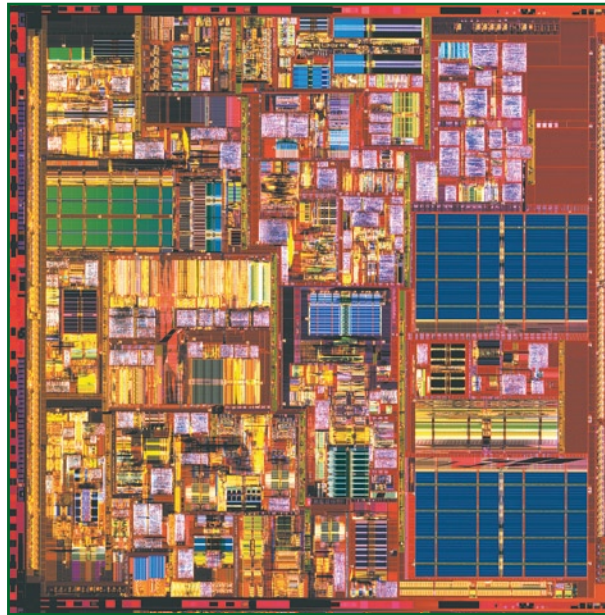


langsamste Ausführung der ersten P4-Generation „Willamette“ bei ähnlicher Transistorzahl (knapp über 40 Mio.) und der gleichen Strukturweite von 130 nm (**Bild 2**) bei knapp 50 W. Die 2-GHz-Variante erreichte schon bedenkliche 75 W TDP (**T**hermal **D**esign **P**ower = thermischer Grenzwert der Leistungsaufnahme). Soviel Hitze war nicht mehr so einfach wegzupusten. Bei der nächsten P4-Generation „Northwood“ waren es dann knapp 90 W und Intel dämmerte es wohl schon Ende 2003, dass sich dieser Weg als Sackgasse erweisen würde. Schließlich konnten die optimistisch geäußerten Taktfrequenzziele jenseits von 4 GHz einfach nicht erreicht werden.

Doch eine wirkliche Neuorientierung war noch nicht in Sicht. Stattdessen folgte mit „Prescott“ noch ein P4, der den Energieverbrauch für ein daumennagelgroßes Stück Silizium auf den neuen Rekord von 115 W trieb. Man vergewärtigte sich, dass damit die Energiedichte (abgegebene Leistung pro Fläche) höher als in einem Atomkraftwerk und allemal über der einer Herdplatte liegt! AMD hinkte zwar taktfrequenzmäßig etwas hinterher, holte aber bei der Verlustleistung gut auf. Schnell waren ebenfalls 90 W erreicht und bei einigen besonders schnellen Exemplaren sogar 130 W

Zwischendurch gab es eine Phase, in der AMD attraktive CPUs vom Typ Athlon 64 mit viel Rechenleistung und „nur“ 65 W TDP vorzeigen konnte. Das brachte AMD Marktanteile. Obwohl Intel den Kurs zu diesem Zeitpunkt schon geändert hatte, wurde mit „Cedar Mill“ (**Bild 3**) das letzte Kleinheißkraftwerk alias P4-CPU auf den Weg gebracht. Mit dieser letzten Variante war Netburst dann endlich beerdigt.

Hintergrund war, dass sich diese Stromfresser nicht sehr gut für Laptops eigneten. Zu wenig Platz für Kühlung und zu geringe Laufzeiten im Akkubetrieb machten auch selektierte P4-CPU's mit dem Zusatz „M“ zu Problemfällen. Und da die Marktanteile von Laptops ständig stiegen, war das ein sehr wichtiges weil monetär relevantes Kriterium.



**Bild 2.** Die Chip-Oberfläche einer P4-CPU in 130-nm-Technik.

### Weitere Stromfresser

Ein Fehler kommt selten allein: War bis zum Jahr 2000 ein Netzteil mit höchstens 250 W Leistungsabgabe noch gut ausreichend, so blieb bei einem 115-W-P4 nicht mehr viel Reserve. Während sich Festplatten, optische Laufwerke und Motherboard-Chips weiterhin mit vergleichsweise wenig Strom begnügten, kam die Brute-Force-Strategie der CPU-Hersteller auch bei den GPU-Herstellern in Mode. Mittlerweile sind mit Nvidia und ATI auch hier nur mehr zwei Konkurrenten relevant, und eine Höchstleistungs-Grafikkarte wie die GeForce 8800 GTX oder die Radeon HD 3870 (**Bild 4**) benötigt zur Versorgung mehrerer hundert

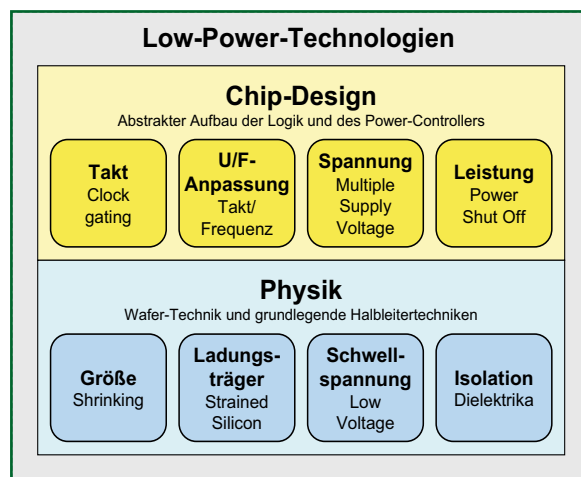
## Energiespar-Technologien

Die Bemühungen zur Begrenzung des Energieverbrauchs hochintegrierter Schaltungen bewegen sich auf zwei komplementären Ebenen – der Physik und dem eigentlichen Chip-Design. Die Abbildung zeigt ein grobes Schema aktuell angewandter Strategien.

Die populärste und vermutlich wichtigste Strategie liegt auf der physikalischen Ebene:

Das **Shrinking** genannte Verkleinern der Chipstrukturen. Strained Silicon (= gestrecktes Silizium) erhöht die Ladungsträgerbeweglichkeit und steigert so verlustleistungsneutral die mögliche Taktfrequenz. Wird über eine geeignete Geometrie der Transistoren der Schwellwert der Gate-Spannung reduziert, kann mit niedrigen Spannungen schneller geschaltet werden. Die Dielektrizitätskonstante der verwendeten Isolationsschichten hat mehrfache Auswirkungen auf Stromverbrauch und Schaltverhalten.

Nicht weniger wichtig als die physikalische Ebene ist die Meta-Ebene des Chip-Designs. ICs werden schon seit Jahrzehnten mit hochspezialisierter und hochkomplexer Software entworfen und verifiziert (logisch getestet). Dabei ist es von entscheidender Bedeutung, in welchem Umfang die Software-Tools den Chip-Designer bei extrem komplexen Aufgabenstellungen unterstützen. Dazu gehört zum Beispiel das selektive Abschalten von



**Schema der wichtigsten aktuellen Energiespartechiken (ohne Anspruch auf Vollständigkeit).**

gerade inaktiven Chip-Teilen (und das Retten der Zustände) im laufenden Betrieb. Der zweite Block „U/F-Anpassung“ entspricht dabei funktional den etablierten Techniken wie Speedstep von Intel oder Cool'n'Quiet von AMD.



Bild 3. P4-CPU der letzten Generation.

Millionen Transistoren unglaubliche 140 W. Manche noch nicht ganz erwachsene (männliche) Exemplare der Gattung homo ludens stecken sogar gleich zwei davon in einen Rechner, was sogar ein 500-W-Netzteil schwach werden lässt. Als Krönung dieser (Fehl-)Entwicklung kann man heute für gutes Geld und unsinnige Zwecke PC-Netzteile mit 1 kW Ausgangsleistung kaufen. Selbst einfachste moderne Grafikkarten sind kaum noch ohne Lüfter erhältlich. Der höchst fragwürdige Energieverbrauch bei Gamer-PCs ist übrigens durchaus nicht vernachlässigbar, sondern schlägt sich sowohl volkswirtschaftlich als auch ökologisch in der CO<sub>2</sub>-Bilanz nieder. Man kann nur von Glück sagen, dass diese Entwicklung durch den Trend zum Laptop mit Verkaufszahlen kompensiert wird, die 2007 erstmals höher waren als bei den Desktops.

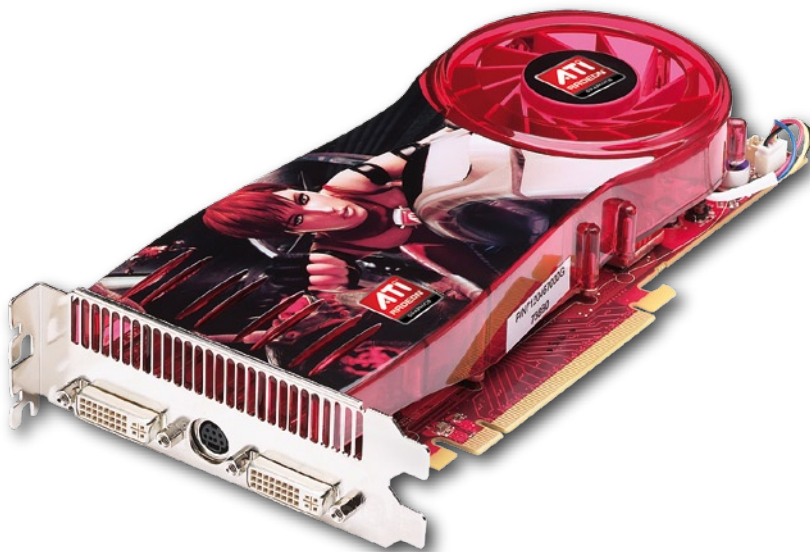


Bild 4. High-End-Grafikkarte von ATI. Die im Modell HD3870 verbaute GPU hält bei der Rechenleistung und auch beim Energieverbrauch locker mit einer modernen CPU mit.

### Centrino

Jede Krise bietet auch eine Chance und Chip-Giganten wie Intel wären nicht so erfolgreich, wenn sie nicht einen Plan B in der Hinterhand hätten. Als Glücksfall erwies sich für Intel eine kleine CPU-Design-Abteilung in Israel, die sich mit Notebook-CPU's beschäftigte und deshalb großen Wert aufs Energiesparen legte. Diese Designer ignorierten die Netburst-Architektur. Sie entwickelten das in punkto Leistung/Taktfrequenz effektivere P3-Design weiter und präsentierten mit dem Pentium M eine CPU, die bei 1,7 GHz Takt und weniger als 25 W Verlustleistung locker einen P4 mit 2,4 GHz abhängte. Mit passendem Chipsatz unter der Label „Centrino“ vermarktet avancierte dieser Prozessor im Jahre 2004 zum Kassenschlager. Nach einem nochmals verbesserten Pentium M folgte die Entscheidung, diesen CPU-Typ für Desktop-Zwecke zu modifizieren. Da dies aber eine marketingtechnisch ungünstige Rückkehr zu niedrigeren Taktfrequenzen und letztlich auch das Eingeständnis einer falschen Strategie bedeutet hätte, wurde fieberhaft an Zwei- und Mehrkern-CPU's gearbeitet. Also mehr Leistung nicht durch mehr Takt, sondern durch mehr Kerne. Seit 2006 sind Dual-Cores für Notebooks, Desktops und mittlerweile sogar Server verfügbar. Vierkern-CPU's für tragbare Rechner stecken im Moment wohl noch in der Pipeline. AMD präsentierte Ende 2007 erste „echte“ Quad-Cores (vier Kerne auf einem Chip), hat aber bei der Rechenleistung noch nicht ganz aufgeholt.

### Energiespartetechniken

Von der CPU-Geschichte zur dahinter steckenden Technik: Beim Pentium M handelt es sich im Prinzip um einen P3-Kern mit modernerem P4-Interface und aufgeblasener Cache. Ein großer Cache ist normalerweise auch ein großer Energieverbraucher, denn hier arbeiten viele Transistoren mit hohem Takt. Für akzeptable Verbrauchswerte wird mit speziellen Techniken die Verlustleistung gerade nicht benötigter Cache-Teile reduziert. Eine weitere Stromspartechnik namens „Speedstep“ [3] reduziert während des Betriebs in Abhängigkeit von der Prozessorauslastung die Taktfrequenz und gleichzeitig die Kernspannung, was deutliche Auswirkungen auf die Akkulaufzeit hat. Diese eigentlich für Notebooks entwickelten Techniken waren zwar schon ansatzweise in P4-CPU's zu finden, zogen jedoch in vollem Umfang erst mit den Dual-Core-Prozessoren in die Desktops ein. Insgesamt ist die Reduktion von Takt und Kernspannung heute so feinstufig, dass sich eine gute dynamische Lastanpassung mit einer deutlich reduzierten mittleren Leistungsaufnahme ergibt.

Bei AMD nennt sich ein ähnlicher Ansatz für Desktop-CPU's „Cool'n'Quiet“ [4] und für Notebook-Prozessoren „PowerNow!“ . Vor etwa drei Jahren sorgte diese Technik beim Athlon 64 für derart gute Verbrauchswerte, dass AMD ordentlich Boden gegenüber Intel gut machen konnte. Ein Athlon 64 3500+ in 90-nm-Technik (mit real 2 GHz Takt) konnte damit bei wenig Last auf etwa 20 W Stromverbrauch abgesenkt werden.

Die Stromspartechniken beim intelligenten Betrieb von CPU's erfordern natürlich das Zusammenspiel mit weiteren Chips. Unterstützung kommt vom Chipsatz des Mainboards und von den Chips der Schaltregler, welche die sich blitzartig ändernden Spannungen bereitstellen müssen. Stromsparende Techniken sind nicht nur auf CPU's und PCs beschränkt, sondern ebenso für IC's in allen anderen Bereichen relevant. Fortschritte bei den Computerchips werden sehr schnell auch für die Fertigung anderer höher integrierter Chips adaptiert. Man kann an der Entwicklung der letzten



Jahre auch sehen, dass ökologischer Fortschritt nicht unbedingt ökologische Motive hat, sondern sich teilweise aus technischer Notwendigkeit ergibt.

### Prinzipien

Eine kleine Umfrage der ELEKTOR-Redaktion bei verschiedenen Chip-Herstellern (Cypress, Fairchild, Freescale, Maxim-Dallas, National Semiconductor, Texas Instruments und Transmeta) ergab, dass das Thema „low power technologies“ durchweg absolute Priorität besitzt. Nicht nur die CPU-Produzenten Intel, AMD, IBM, HP, NEC, Samsung oder Via, sondern alle Hersteller oder Designer von hochintegrierten Chips operieren in einem Markt, der immer mehr Funktionen in immer mehr Bereichen fordert (die Anforderungen bei modernen 1080p-fähigen TV-Geräten beispielsweise sind enorm). Besonders wachstumsstark ist dabei die mobile Hochleistungstechnik (Autoelektronik, Navigationsgeräte und Smartphones). Wenn es ums Energiesparen geht, dann verwenden zwar unterschiedliche Hersteller immer noch verschiedene Strategien, doch sind die prinzipiell möglichen Techniken begrenzt und hinlänglich bekannt (siehe Kasten). Wirkliche Geheimnisse finden sich primär in der konkreten Umsetzung dieser Strategien in die Praxis.

Weniger bekannt ist, dass hinter den Chip-Produzenten hochspezialisierte Software-Firmen stehen, welche die Tools liefern, mit denen komplexe Chips entworfen und getestet werden. Hier teilen sich Cadence, Mentor Graphics und Synopsys über 90% des Marktes. Die Features dieser Tools entscheiden maßgeblich über weitere Möglichkeiten der Energieeinsparung mit. Und die Anforderungen werden immer komplexer.

So ist mit der aktuellen 65-nm-Technologie eine dynamische Taktabsenkung à la Speedstep oder Cool'n'Quiet nicht mehr sehr effektiv. Die starke Miniaturisierung steigert die Leckströme der Chips immer mehr. Aktuell zieht ein Chip ohne Takt immer noch gut 60% des Volllast-Stroms. Besser ist das komplette dynamische Abschalten gerade nicht benutzter Teile. Dies erfordert aber einen eigenen Power-Controller – eine Art CPU in der CPU nur für die Stromversorgung. Abschalten und Retten der Zustände im laufenden Betrieb ist eine ganz und gar nicht triviale Aufgabe.

Immerhin sind trotz steigender Funktionalität (2008 wird die Grenze von 1 Milliarde Transistoren auf einem Chip überschritten werden!) Fortschritte nicht zu verleugnen. Aus glaubwürdigen Quellen wurde dem Autor zugetragen, dass nur mit dem Einsatz aller verfügbaren Techniken die Spitzenleistung bei einem Vier-Kern-Prozessor neuester Bauart auf unter 130 W gedrückt werden konnte. Ohne diese Tech-

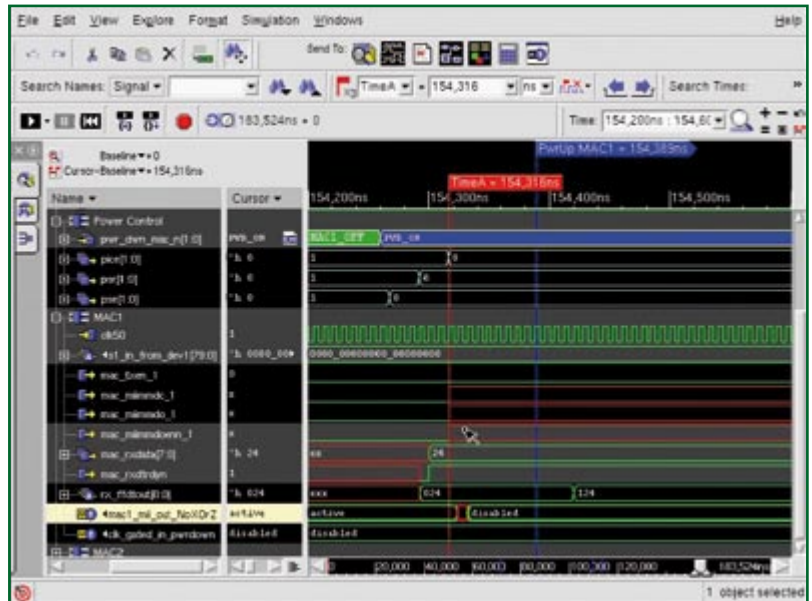


Bild 5. Bildschirmfoto eines Design-Tools von Cadence zur Optimierung des Energieverbrauchs.

niken, so haben Berechnungen ergeben, würden unglaubliche 250 W erreicht. Das wäre dann wirklich nicht mehr richtig beherrschbar. Bedenklich ist allerdings, dass Fortschritte im Energieverbrauch nicht unbedingt der Umwelt zugute kommen müssen, sondern auch schnell von weiteren Leistungssteigerungen aufgefressen werden können.

(070795-le)

### Links

- [1] **EU-Standby-Richtlinie 2005:**  
[eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32005L0032:DE:HTML](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32005L0032:DE:HTML)
- [2] **Quantispeed-Rating:**  
[de.wikipedia.org/wiki/Athlon\\_XP#Quantispeed-Rating](http://de.wikipedia.org/wiki/Athlon_XP#Quantispeed-Rating)
- [3] **Speedstep:**  
[de.wikipedia.org/wiki/Speedstep](http://de.wikipedia.org/wiki/Speedstep)
- [4] **Cool'n'Quiet:**  
[de.wikipedia.org/wiki/Cool%27n%27Quiet](http://de.wikipedia.org/wiki/Cool%27n%27Quiet)
- [5] **Cadence, Low Power Design:**  
[www.cadence.com/lowpower/index.aspx?lid=low\\_power](http://www.cadence.com/lowpower/index.aspx?lid=low_power)

Anzeige

**Ihr preisbewusster Leiterplattenlieferant**



Interessiert ? Sie erreichen uns unter: +49 2681 4662  
 E-mail: [euro@eurocircuits.com](mailto:euro@eurocircuits.com)  
**www.eurocircuits.com**

Online Preise berechnen  
 Online bestellen  
 Online Aufträge verfolgen  
 Online 24/24 Std. und 7/7 T.

- Verified
- Pooling für Standard-Leiterplatten  
 - bis 6 Lagen  
 - von 1 bis 1000 Stück  
 - ab 3 Arbeitstagen
- A la carte
- Pooling mit Extra-Optionen  
 - bis 8 Lagen  
 - von 1 bis 1000 Stück  
 - ab 3 Arbeitstagen
- On demand
- Ihre Platine-unsere Herausforderung  
 - bis 16 Lagen  
 - von 1 Stück bis ...  
 - ab 3 Arbeitstagen



# E-blocks: So wird der Flowcode & E-blocks optimieren das Batterie...

Von Jim Fell

**Eine interessante Seite des Prius ist, dass er eine kurze Strecke als reines Elektro-Auto fahren kann. Doch mit dem eingebauten NiMH-Akku kommt der Prius nicht viel weiter als einen Kilometer und auch das nur, wenn er dabei unter 50 km/h bleibt. Mit einem zusätzlichen Li-Ion-Akku und etwas Elektronik kann man allerdings den Spritverbrauch von rund 5 auf unter 3 Liter pro 100 km drücken! Und das mit Hilfe von E-blocks und Flowcode.**

Unsere Geschichte beginnt schon 1999. Jim Fells erste Modifikation des Prius war, eine Möglichkeit für einen reinen Elektrobetrieb zu schaffen. Nach etlichen Verbesserungen in Sachen Akkus war sein Bemühen schließlich halbwegs erfolgreich. Immerhin betrug die Reichweite dann um die 80 km. Der modifizierte Prius nahm dann 2005 und 2006 bei der Rallye für Elektro-Autos von London nach Brighton teil. Auch heute noch steht und fällt jedes

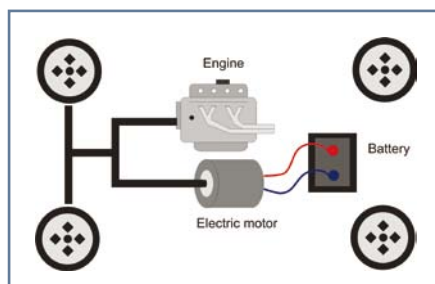


Bild 1. Die vereinfachte Grundstruktur des Prius-Antriebs.

Elektro-Auto mit seinem Akku. Mit preisgünstigen Blei-Akkus handelt man sich ein sehr schlechtes Leistungsgewicht und somit eine geringe Reichweite ein. Und gerade bei einer längeren Rallye müssen dann bei der Planung etwa alle 80 km Ladestationen eingeplant werden, an denen die Fahrzeuge neue Energie tanken können.

## Funktionsweise

Bild 1 zeigt, wie ein originaler Toyota Prius funktioniert: Im Prinzip ist es ein

normales Auto, das im Antriebsstrang einen zusätzlichen Elektromotor/Generator integriert hat. Beim Bremsen wird dieses Aggregat in den Generator-Modus geschaltet und mit der so genutzten Verzögerungsenergie der Akku geladen. Prinzipiell unterstützt der Elektromotor den konventionellen Ottomotor beim Anfahren und Beschleunigen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich. Und da gerade beim Stop-and-go-Betrieb normale Motoren sehr ineffizient sind, lässt sich so eine Menge Benzin sparen.

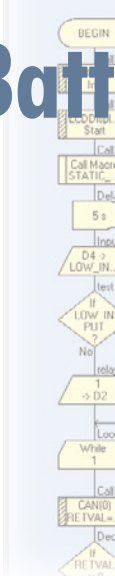
Als Jim Fell sich seinen Prius vornahm, waren auch einige Amerikaner mit ersten Experimenten in Sachen größerer Akku-Kapazität beschäftigt, um die Reichweite im reinen Elektrobetrieb zu erhöhen [2]. Der Toyota Prius ist gegenüber konventionelleren Fahrzeugen mit noch etwas komplexeren Steuerungen gesegnet. Der Teil der Steuerung, der für Antrieb und Batterie-Management zuständig ist, nutzt den CAN-Bus. Einer der wichtigsten Parameter ist der aktuelle Ladezustand des Akkus. Bei niedrigem Ladezustand wird der Akku bei Bergabfahrt, beim Bremsen oder mit überschüssiger Energie des Ottomotors geladen. Bei hohem Ladezustand wird bei niedrigen Geschwindigkeiten der Elektro-Motor pur eingesetzt oder als Unterstützung beim Beschleunigen oder bei der Bergauffahrt genutzt. In der Praxis ändert sich der Ladezustand während des Betriebs permanent und die Steuerung kommt nie zur Ruhe.

## Noch ein Akku...

Anfänglich gab es zwei Problemereiche im Zusammenhang mit einem zweiten Akku. Zunächst war völlig unklar, wie sich die serienmäßige Steuerung verhalten würde, wenn der serienmäßige Akku plötzlich aus einem Extra-Akku geladen wird. Und dann war ja noch die ungeklärte Frage, wie die Ladung/Entladung dieses zweiten Akkus gesteuert werden könnte. Diese zusätzliche Steuerung sollte schließlich in der Lage sein, den Ladezustand des Standard-Akkus so zu manipulieren, dass die Toyota-Steuerung praktisch immer einen vollen Akkus erkennt und daher so oft wie möglich den Elektro-Motor aktiviert. Die Lösungsstrategie für das erste Problem war recht einfach: Man schließe ein Akku-Ladegerät an den Fahr-Akku an und lade diesen, bis er ungefähr 80 % des maximalen Ladezustands erreicht hat. Toyotas Batterie-Management berücksichtigt neben der Spannung auch die Akku-Temperatur und berechnet daraus den Ladezustand. Wie das Experiment zeigte, lässt sich die Steuerung von externer Ladung nicht stören. Von daher benötigte das zweite Problem - die Steuerung des Zusatz-Akkus - die Hauptaufmerksamkeit.

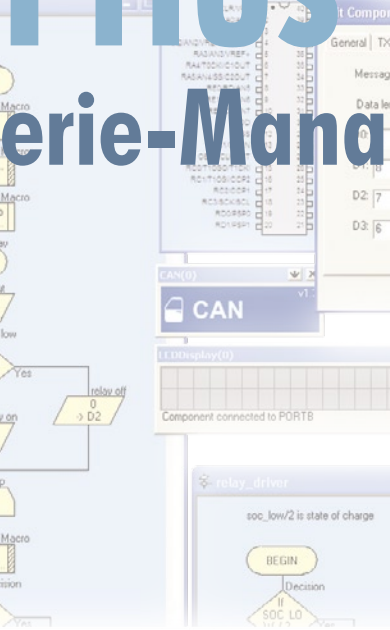
## Schaltungs-Details

Jim Fell konnte glücklicherweise einen Satz von immerhin 56 (!) Li-Ion-Zellen von Thunder Sky ergattern. In Serie ge-



# Prius noch sparsamer

## Batterie-Management



schaltet ergaben sie eine Gleichspannung von etwa 210 V bei einer Nominal-Kapazität von ordentlichen 50 Ah. Das im Prius eingebaute NiMH-Akku-Paket liefert aber 240 V – also war klar, dass ein Spannungswandler zur Ladung des eingebauten Akkus notwendig wurde. Außerdem wollte Jim Fell die Li-Ion-Akkus in der Nacht über die Steckdose laden können, was eine Ladeschaltung notwendig machte. Die Schaltung zur Ladung des eingebauten Akkus aus dem Zusatz-Akku ist in **Bild 2** zu sehen. Die Anbindung der Zusatz-Batterie wurde via vier einpolige Hochvolt/Hochstrom-Relais und einen Hochleistungs-Gleichspannungswandler (DC/DC-Konverter) vorgenommen.

Beim DC-DC-Konverter handelt es sich eigentlich um einen Batterielader mit einem Brückengleichrichter auf der Eingangsseite, der die Netzwechselspannung in nutzbare Gleichspannung umsetzt (der aber auch mit Gleichspannung versorgt werden kann). Mit dieser Komponente hat man also ein Ladegerät für den zusätzlichen Li-Ion-Akku immer dabei.

Der Konverter hat zwei Ausgänge. Der „High“-Ausgang erzeugt eine hohe Ausgangsspannung und simuliert so einen hohen Ladezustand für die Originalsteuerung des Prius. Der „Low“-Ausgang liefert eine niedrigere Spannung, die der Steuerung erlaubt, einen sich reduzierenden Ladezustand zu erkennen.

Der Ausgang des DC-DC-Konverters wird durch Umschaltung zwischen zwei Arbeitspunkten gesteuert. Wenn der Akku über Nacht geladen wird, wird er elektrisch vom Rest des Fahrzeugs getrennt.

Beim Betrieb des Fahrzeugs sind beide Akkus solange angeschaltet, wie der Zusatz-Akku Energie liefern kann. Ist der Zusatz-Akku leer, wird er abgeschaltet und das Auto verhält sich wie ein serienmäßiger Prius.

### Selbermachen?

Alle wichtigen Parameter des Fahr-Akkus kursieren auf dem CAN-Bus des Prius. An diesen Bus sind recht viele Geräte angeschlossen, die alleamt ihre Daten auf den Bus legen. Braucht ein anderer Teilnehmer bestimmte Daten, dann belauscht er den Bus und liest die Daten, die für ihn wichtig sind. Was man also benötigt, ist ein Stück Elektronik mit CAN-Bus-

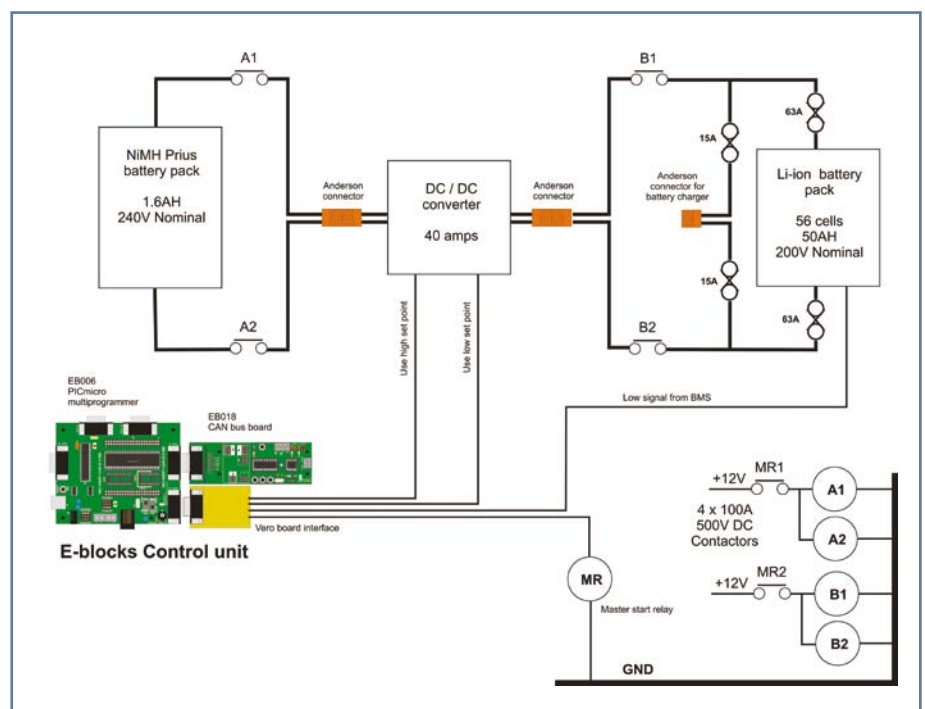


Bild 2. Blockschaltung zum Betrieb eines Zusatz-Akkus.

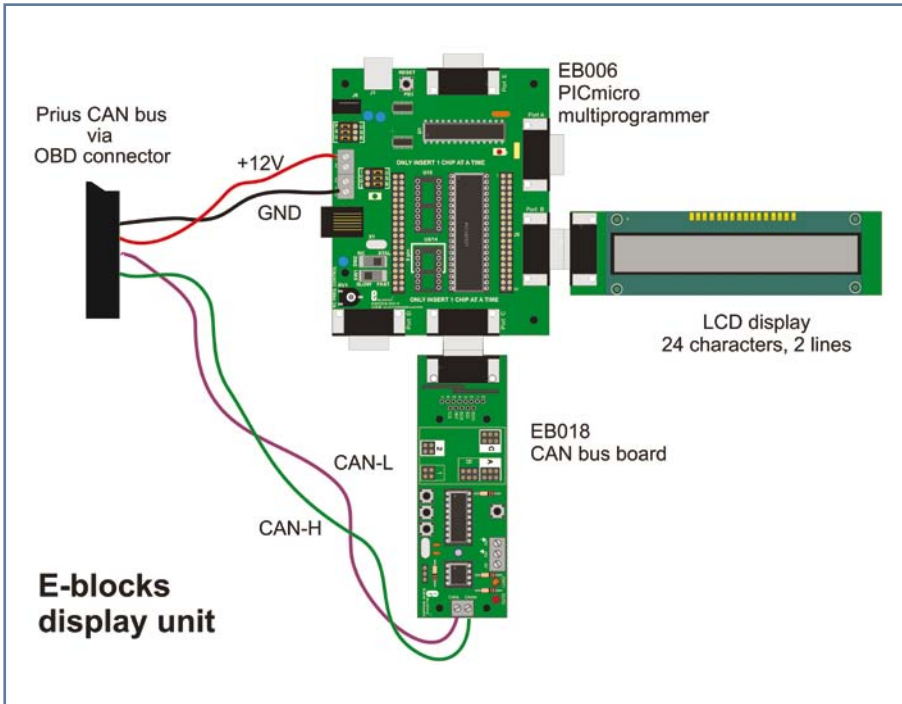


Bild 3. CAN-Bus-Überwachung mit E-blocks.



Bild 4. Die selbstgebaute Steuerung.

Interface, das die benötigten Informationen aus dem Bord-Bus ausliest und daraus einen sinnvollen Umgang mit den Akkus ableitet.

An diesem Punkt angekommen stieß Jim Fell zufällig in der Februar-Ausgabe 2006 von ELEKTOR auf einen Artikel über die Software Flowcode, bei dem



Bild 5. Vor (5a) und nach (5b) der Umrüstung auf das neue Batterie-System.

es auch um ein CAN-Bus-System mit zwei Netzwerk-Knoten ging. Jim Fells Erfahrungen mit Netzwerken ließen befürchten, dass es dauert, bis man so eine Sache im Griff hat. Er hatte außerdem schon etwas Erfahrung mit PIC-Mikrocontrollern von Microchip, und es gab jede Menge an Informationen über den CAN-Bus auf den Webseiten dieses Herstellers. Das Datenblatt zum CAN-Interface-Chip MCP2515 hat immerhin einen Umfang von 81 Seiten [3]. Kurz entschlossen bestellte Jim Fell ein Flowcode-CAN-System und war nach Eintreffen der Lieferung hoch erfreut darüber, dass er mit diesem Schritt den schwierigsten Teil in Sachen CAN-Bus schon abgehakt hatte. Sowohl die Parameter-Einstellung als auch das Lesen von Daten wird von fertigen Makros erledigt. Die Kommunikation mit dem CAN-Bus gestaltete sich also sehr bequem.

Um nun auf dem CAN-Bus des Prius die Datenpakete zu identifizieren, die sich auf den Ladezustand des Akkus beziehen, wurde die „Light“-Variante eines CAN/USB-Wandlers der Firma Kvaser herangezogen. Ein Prius verfügt über einen gut erreichbaren OBD-2-Anschluss mit 12-V-Spannungsquelle, über den man Zugriff auf den CAN-Bus bekommt. Außerdem kursierten schon einige Informationen über diese Datenpakete im Internet. Es brauchte dann noch einige Algorithmen zur Transformation der Daten, damit sie sinnvoll auf einem LCD angezeigt werden konnten.

### Schritt für Schritt

Nachdem sich Jim Fell langsam klar darüber wurde, welche Informationen er eigentlich aus dem Bus benötigte, erstellte er zunächst eine Simulation des Prius-CAN-Bus-Systems. Ein E-blocks-Modul sendet einfach kontinuierlich Meldungen über den Ladezustand in genau dem von Toyota verwendeten Format. Eine zweite Einheit lauscht am Bus und zeigt die Systemparameter auf einem LC-Display an. Bild 3 zeigt den Aufbau des „Simulators“. Diese Kombination war nicht nur während der Planungs- und Testphase nützlich, sondern passte sogar in ein kleines Gehäuse, das im Radio-Schacht des Fahrzeugs Platz fand (Bild 4). Es wird Strom und Spannung des Akkus (Ladung/Entladung), der Ladezustand in %, die Lade- und Entladestrom-Begrenzung sowie Maximum und Minimum der Akku-Temperatur angezeigt. Alle relevanten Parameter des Systems



konnten also auch ohne Auto getestet werden.

Letztlich zeigte sich, dass man mit dem Ladezustand als einzigem Parameter auskommen kann und damit die beiden Ausgänge „High“ und „Low“ steuern kann. Um den Ladezustand des Standard-Akkus so gut wie möglich bei rund 70 % zu halten, waren nur wenige logische Entscheidungen von der Steuerung zu treffen: Trenne den Zusatz-Akku ab, wenn der Ladezustand größer 70 % ist („Low“-Ausgang aktiv) und schalte ihn wieder an, wenn der Ladezustand kleiner 65 % beträgt („High“-Ausgang aktiv).

Ein zusätzlicher Ausgang steuert ein Relais, das wiederum die vier schweren Relais steuert. Die Akkus werden so 5 s nach Einschalten des Systems angeschaltet und wieder abgetrennt, wenn der Zusatz-Akku entladen ist.

## Praxis

In der endgültigen Fassung war die Steuerung so einfach, dass keine extra Anzeige im Auto nötig war. Die Steuerung wurde daher in ein Gehäuse eingebaut und neben die Akkus und Magnetschalter platziert.

Die 56 Li-Ion-Zellen sind mittlerweile zwei Jahre alt und beginnen, sich in ihren Kapazitäten zu unterscheiden. Die schlechteste Zelle kann rund 50 Ah bei 25 A Entladestrom und 20°C Temperatur liefern. Da das schlechteste Glied der Kette die Gesamtleistung bestimmt, wurde der Entladestrom auf 25 A begrenzt. Damit kann man den Prius zwischen zwei und drei Stunden mit zwei Akkus betreiben, bis der Zusatz-Akku leer ist und der Prius wieder zum Standard-Hybrid-Auto mutiert.

Der größte Nachteil des Systems ist, dass die Li-Ion-Zellen nicht nur teuer, sondern auch groß sind. Ein kompletter neuer Akkusatz kostet leicht etliche tausend Euro und reduziert außerdem den nutzbaren Kofferraum, wie in den **Bildern 5a** und **5b** zu sehen ist.

Solange der Zusatz-Akku Ladung enthält, reduziert sich (im Sommer) der Verbrauch von den serienmäßigen 4,7 l/100 km auf knapp die Hälfte, nämlich 2,8 l/100 km!

## Nachbau

Wer Jim Fell nacheifern möchte, der braucht (außer einem Toyota Prius) die Software Flowcode und das damit geschriebene Programm mit der Bezeichnung „Prius\_04\_Receive\_PFC40.fcf“, das kostenlos von der Elektor-Websei-



Bild 6. Der DC/DC-Converter.

te zu diesem Artikel herunter geladen werden kann. Hinzu kommt noch etwas Hardware in Form des „Easy CAN Kit“ (siehe Elektor-Shop), das Flowcode, zwei PICmicro Multiprogrammer, zwei CAN-Bus-Boards sowie je ein LCD-Display, Switch-Board, LED-Board und weiteres Zubehör umfasst.

## Schlussbemerkung

Englischsprachige Prius-Optimierer sind damit geschlagen, dass das Display im Prius den Spritverbrauch nur bis maximal 99.9 mpg (Meilen pro Gallone, siehe **Bild 7**) anzeigt. Sie wissen also nicht genau, wie gut ihr Prius wirklich ist. Irgendwie muss die Verweigerungshaltung gegenüber metrischen Einheiten ja auch einmal bestraft werden ;-).

Eine denkbare und dankbare Erweiterung wäre, die aktuelle Geschwindigkeit aus dem CAN-Bus auszulesen und den Prius mit dieser Information bei Geschwindigkeiten von weniger als 50 km/h in den reinen Elektro-Betrieb zu zwingen.

(075103-1)

## Weblinks

[1] E-blocks mit CAN, Elektor 2/2006, Artikel downloadbar unter:

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

[2] Plug in Prius Wiki Group:

[www.eaa-phev.org/wiki/Prius\\_PHEV](http://www.eaa-phev.org/wiki/Prius_PHEV)

[3] Microchip-Datenblatt:

[ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21801d.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21801d.pdf)



Bild 7. Die (englische) Anzeige ist auf 99.9 mpg begrenzt.

# Hexadoku

## Sudoku für Elektroniker

**Auch im ersten Heft des neuen Jahres müssen Sie natürlich keinesfalls auf ein Hexadoku verzichten. 16 x 16 Kästchen stehen bei dieser Sudoku-Variante immer noch für einige Stündchen Rätselspaß. Die Einsender der richtigen Lösung haben wieder die Chance, einen der vier Preise zu gewinnen: Ein E-blocks Starter Kit Professional und drei Elektor-Gutscheine!**

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 Einsendern mit der richtigen Lösung verlosen wir ein

### E-blocks Starter Kit Professional

im Wert von **365,75 €**

### und drei ELEKTOR-Gutscheine

im Wert von je **50 €**.

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



### EINSENDEN

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

Elektor - Redaktion  
 Süsterfeldstr. 25 - 52072 Aachen  
 Fax: 0241 / 88 909-77 - E-Mail: hexadoku@elektor.de

Als Betreff bitte nur die Ziffern der Lösung angeben!

Einsendeschluss ist der **31. Januar 2008!**

### DIE GEWINNER DES NOVEMBER-HEXADOKUS STEHEN FEST!

Die richtige Lösung (siehe unten) ist: **41EBA**.

Das **E-blocks Starter Kit Professional** geht an: **Monika Häfner** aus Berglen.

**Gutscheine über je 50 €** gehen an: Siegfried Behlau, Michael Sommer und Karl-Josef Wernet.  
 Herzlichen Glückwunsch!

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

(c) PZZL.com

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



# Sondernorm-Dekoder (1989)



## Von Jan Buiting

Auch wenn ich dieses alte Schätzchen nie ganz vergessen hatte, war ich doch positiv überrascht, in einem Schrank im alten ELEKTOR-Gebäude beim Aufräumen vor dem Umzug noch ein Exemplar des Sondernorm-Dekoders (besser bekannt als Filmnet-Dekoder) von 1989 zu finden. Das Relikt war optisch in sehr gutem Zustand und sein Anblick versetzte mich augenblicklich in die extrem spannenden Zeiten zurück, als Satelliten-Empfang und insbesondere das Knacken der Verschlüsselung von Bezahlendern noch ein echtes Abenteuer war. Dieses Stück Elektronik traf damals voll den Zeitgeist, wie an den massiven Leser-Reaktionen zu bemerken war. Laut einem schwedischen Journalisten, der mich damals kontaktierte, waren bis zum Sommer 1989 allein im skandinavischen Raum geschätzte 20.000 dieser ELEKTOR-Dekoder im Einsatz! Alle nur experimentell und zu Studienzwecken versteht sich...

Die Veröffentlichung selbst war für ELEKTOR aus drei Gründen ziemlich ungewöhnlich: Zunächst konnte das Projekt aufgrund juristischer Restriktionen (etliche Bezahlender hatten ihren Sitz in den Niederlanden oder Belgien) nicht veröffentlicht werden. Weiter wurden wir von einem Anwalt davor gewarnt, die Platinen im ELEKTOR-Platinenservice anzubieten. Und last not least zeichnete als Entwickler ein „P.N.P. Wintergreen“ (eine Romanfigur aus *Catch-22* [1]) verantwortlich, was wohl keiner weiteren Erläuterung bedarf.

Nun – all diese Maßnahmen konnten entschlossene Niederländer nicht wirklich daran hin-

dern, sich so einen Dekoder zu bauen. Dass nämlich die Kanäle des für die BeNeLux-Länder relevanten Filmnet-Angebots von ELEKTOR gehackt worden waren, verbreitete sich wie ein Lauffeuer. Und sofort hatten findige Elektronik-Shops stapelweise illegal kopierte englische ELEKTOR-Artikel unter der Ladentheke. Aus den Niederlanden alleine gingen mehrere hundert Bestellungen dieser speziellen ELEKTOR-Ausgabe in England ein.

Auch technisch war der Sondernorm-Dekoder ein richtiges kleines Wunder der Technik: Trotz komplexer Funktion war er mit preiswerten und gut erhältlichen Bauteilen mit dem Schwerpunkt auf PNP-Transistoren realisiert. Die Schaltung wurde auf einer ziemlich vollgestopften einseitigen Platine aufgebaut, doch wen interessiert dabei schon Ästhetik? Ein paar BC5XX und einige preiswerte 40XX-ICs – das war nämlich alles, was man brauchte.

Das Hauptproblem beim Dekodieren der Filmnet-Kanäle auf Eutelsat war, dass sich das Composite-Sync-Signal in einem Subträger bei 7,56 MHz im Base-

band des Transponders versteckte. Nachdem die fehlenden Syncs gefunden waren, brauchte es nur eine PLL und eine trickreiche Schaltung, und schon war das Video-Signal komplett restauriert. Ab da konnten bestimmte Filme gesehen und aufgezeichnet werden, die eher mitten in der Nacht gesendet wurden – vielleicht ist jetzt das Interesse an der Schaltung verständlich...

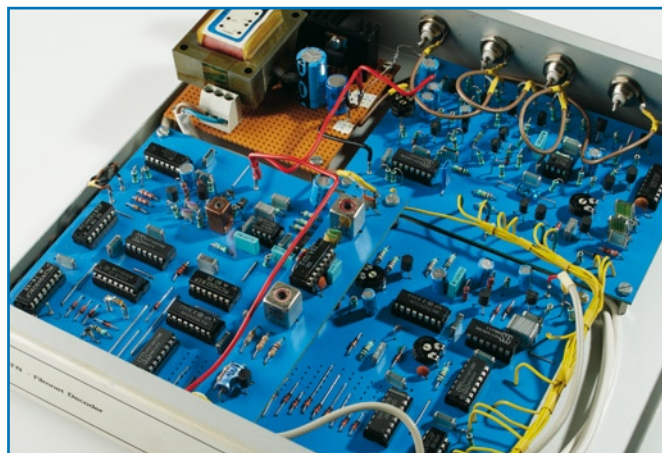
Filmnet änderte daraufhin seine Verschlüsselung mehrfach, doch jede dieser Bemühungen wurde durch Updates zum ELEKTOR-Dekoder „begleitet“, die in lockerer Folge in ELEKTOR erschienen. Nach drei Updates hatte der ominöse Herr P.N.P. Wintergreen allerdings genug davon, und er entwickelte eine kleine Schaltung, die sich automatisch an Änderungen des Verschlüsselungs-Systems von Filmnet anpassen konnte. Von da an bekamen es Besitzer dieser Erweiterung nicht einmal mehr mit, wenn die Verschlüsselung geändert wurde. Findige Leser aus den Niederlanden und Belgien erweiterten diese Automatik später auch für verschlüsselte

Kabel-Programme.

Ich kann mich außerdem noch an einen Brief eines Professors an einer deutschen Fachhochschule erinnern, der behauptete, dass die ELEKTOR-Schaltung „nicht gut“ sei, da keiner seiner 20 Studenten in höheren Semestern den Dekoder zum Funktionieren bringen konnte. Er stellte sogar eine Kündigung des FH-Abos in Aussicht, wenn wir es nicht schaffen würden, ihm zu beweisen, dass er Unrecht hätte. Und so entnahmen wir den sauber aufgebauten Dekoder dem beigelegten Paket und ließen einen gerade zufällig anwesenden Kollegen vom Elektor-Labor einen fachmännischen Blick darauf werfen. Sekunden später die Diagnose: Zwei Trimmer waren vertauscht, und außerdem an einer Stelle statt eines BC557 ein BC547 eingelötet. Ein Praktikant korrigierte dies innerhalb von drei Minuten und die Kiste lief, sogar ohne neuen Abgleich! Das Gerät wurde wieder verpackt und mit einem kleinen Text an den Absender zurück geschickt. Aber an den Text kann ich mich eigenartigerweise unmöglich erinnern ;-)

Ansonsten fand der Dekoder vielfach lobende Erwähnung in der Presse und wurde sogar an prominenter Stelle in John McCormac's „Black Book“ über Video-Hacking erwähnt. Das waren noch Zeiten...

(070790-1)



[1] Catch-22:  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Catch-22>

Die eingescannten Seiten des historischen Artikels aus Elektor April/Mai 1989 sind als kostenloser Download auf unserer Website erhältlich.

**Retronik ist eine monatliche Rubrik, die antiker Elektronik und legendärer ELEKTOR-Schaltungen ihre Referenz erweist. Beiträge, Vorschläge und Anfragen schicken Sie bitte an: [editor@elektor.com](mailto:editor@elektor.com)**



# Starke Stücke

Die ganze Welt der Elektronik  
in einem Shop!



**NEU!**

Bücher

**inkl. CD-ROM**

Neues vom Top-Autor Burkhard Kainka

## Basiskurs R8C/13

Mit dem Dezemberheft 2005 stellte die Firma Glyn allen Elektor-Lesern eine Prozessorplatine mit dem R8C/13 und der nötigen Software zur Verfügung. Elektor war damit die erste Elektronik-Zeitschrift in Deutschland, die ihren Lesern ein kostenloses und vollständiges Mikrocontroller-System überreichte. Dieses Buch gibt einen Überblick über den 16-bit-R8C; es erleichtert dem Einsteiger die ersten Schritte und erschließt dem erfahrenen Anwender weitere Anwendungsbereiche.

231 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-177-5  
€ 39,80 • CHF 67,70



Überarbeitete  
und erweiterte  
Neuaufgabe

„Test... 1, 2, 3... Test“

## Mikrofone in Theorie und Praxis

Das Geheimnis des guten Klangs liegt im Zusammenspiel von Mikrofon, Aufnahme-raum und Instrument. Das richtige Mikrofon am richtigen Ort ist der Schlüssel zur gelungenen Aufnahme. Dieses Buch vermittelt die Grundlagen von Mikrofontechnik und Studioakustik sowie die Anwendung im Tonstudio, auf der Bühne und bei der Filmtoneproduktion.

278 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-189-8  
€ 34,80 • CHF 59,20



Der einzig wahre Realist

## Computer Vision

Computer Vision ist das wohl spannendste Gebiet der Bildverarbeitung und die Zahl der Anwendungen in der Robotik, Automatisierungstechnik und Qualitätssicherung nimmt stetig zu. Leider gestaltet sich der Zugang zu diesem Forschungsbereich bisher nicht einfach. Interessierte müssen sich zunächst durch viele Bücher, Publikationen und Software-Bibliotheken arbeiten. Mit dem vorliegenden Buch fällt der Einstieg dagegen leicht.

319 Seiten (geb.) • ISBN 978-3-89576-165-2  
€ 42,80 • CHF 72,80



Schluss mit Phonen und Simsen

## Java ME fürs Handy

Viele Handys verfügen über eingebaute Zusatzfunktionen wie GPS-Navigation oder MP3-Player. Eine der interessantesten Zusatzfunktionen ist die Möglichkeit der Java-Programmierung. Hiermit lassen sich gerade in den Bereichen Elektronik und Computertechnik viele Anwendungen finden, die ein Mobiltelefon zum praktischen Helfer für den Laboralltag machen.

203 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-174-4  
€ 29,80 • CHF 50,70



Perfekte Audioqualität garantiert

## High-End-Röhrenverstärker

Röhrenverstärkern klingen lebendig, durchzeichnet, produzieren räumliche Tiefe, ihr Klangbild ist unaufdringlich angenehm, und im Hinblick auf die entwickelte Dynamik scheinen sie keinerlei Einschränkungen zu kennen. In einer systematisch-theoretischen Untersuchung geht der Autor den Ursachen dieser Kennzeichen nach. Die Kopplung zwischen Endröhren und Ausgangsübertragern wird mit der erforderlichen Tiefe dargestellt. Die formulierten Stabilitätsbedingungen müssen moderne, hochwertige Verstärker mindestens erfüllen.

415 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-182-9  
€ 54,00 • CHF 91,80



Von Mikro zu Makro

## Programmieretechniken für AVR-Mikrocontroller

Dieses neue Buch behandelt Software-techniken, die es gestatten, auch anspruchsvollere Programme für AVR-Mikrocontroller zu entwickeln. Im ersten Teil wird auf die Harvard-Architektur der Controller und die daraus resultierenden Programmieretechniken eingegangen. Im zweiten Teil des Buches wird die Arithmetik der Controller analysiert.

214 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-176-8  
€ 39,80 • CHF 67,70



Bestseller!

Neues vom Top-Autor Hans-J. Geist

## Photovoltaik-Anlagen

Dieser Ratgeber wendet sich an alle, die sich für die Technik, Planung, Montage und den Profit von Solarstromanlagen interessieren. Angefangen mit den Grundlagen der solaren Stromerzeugung über die Funktion und Dimensionierung von Leitungen, Wechselrichtern, Laderegler und Akkus bis hin zu Photovoltaik-Generatoren, die Sie für den Einsatz in netzgekoppelten Anlagen oder Inselanlagen benötigen, enthält das Buch viele wichtige und gewinnbringende Informationen.

160 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-191-1  
€ 19,90 • CHF 33,90

Weitere Informationen zu unseren Produkten sowie das gesamte Verlagsortiment finden Sie auf der neu gestalteten Elektor-Website: [www.elektor.de](http://www.elektor.de)

Elektor-Verlag GmbH  
Süsterfeldstraße 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)



nur € 19,90

Sprichwörtlich phänomenal

## Supraleiter im Experiment

Ohne Fachkenntnisse der theoretischen Physik werden in diesem neuen Buch die fundamentalen Kenntnisse über Supraleiter verständlich erklärt. Anhand von Experimenten beschreibt der Autor einige Phänomene der Supraleiter anschaulich und leicht nachvollziehbar. Der Umgang mit flüssigem Stickstoff und der Einfluss tiefer Temperaturen auf elektronische Bauteile werden ebenfalls demonstriert.

128 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-180-5  
€ 19,90 • CHF 33,90





**Topseller!**

Volle Werkzeugkiste

## Ethernet Toolbox

Diese neue CD-ROM enthält Datenblätter von ethernetfähigen Mikroprozessoren, Mikrocontrollern, Hubs, Switches, Umsetzern aller Hersteller. Neben der technischen Dokumentation, wie z. B. application notes, Protokolle (field bus, TCP/IP, usw.) für Netzwerkverbindungen mit den Normen IEEE 802.3 und natürlich 802.11 finden Sie auch praktische Tools, um sofort arbeiten zu können. Außerdem umfasst die CD-ROM alle Elektor-Artikel zum Thema Ethernet (inkl. Mini Web-Server) mit Platinenlayout und Software.

ISBN 978-90-5381-214-3 • € 27,50 • CHF 46,80



Alle Elektor-Artikel der "90er-Jahre" auf DVD

## Elektor-DVD 1990-1999

Diese DVD-ROM enthält alle Elektor-Ausgaben der Jahrgänge 1990 bis 1999 in digitaler Form (komplett und in gleicher Ansicht wie die Printausgabe) im druckfähigen PDF-Format – mit allen Themen im Original-Layout. Ideal zum Archivieren, Lesen, Ausdrucken und Durchsuchen. Ein Muss für jeden Elektor-Leser! Zusätzlich finden Sie gratis auf dieser DVD die komplette CD-ROM-Reihe „The Elektor Datasheet Collection 1 bis 5“ (im Wert von über € 90,-) mit originalen und vollständigen Datenblättern zu Halbleitern, Speicherchips, Mikrocontrollern u. a.

ISBN 978-3-89576-179-9 • € 89,00 • CHF 151,30



**Alle Artikel von 2006 auf CD-ROM**

Aus der Longseller-Reihe

## Elektor-CD 2006

Die neue Elektor-CD 2006 enthält alle Elektor-Beiträge des Jahrgangs 2006. Sie verfügt über eine sehr übersichtlich gestaltete HTML-Benutzeroberfläche, die archivumfassende Inhaltsübersichten und Recherchen ermöglicht.

ISBN 978-90-5381-207-5 • € 26,50 • CHF 45,10



**NEU!**

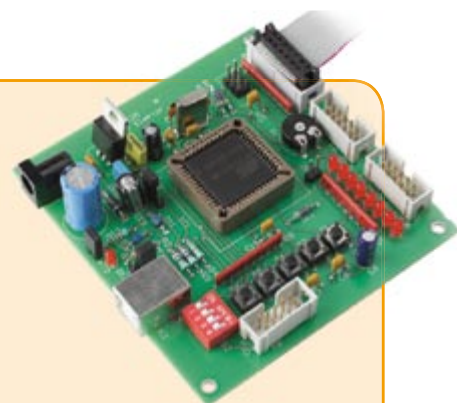
## Reflow Control

(Elektor Dezember 2007)

Wie woanders auch müssen im Elektor-Labor immer häufiger SMDs gelötet werden. Der im Januar 2006 in Elektor beschriebene SMD-Lötofen bestand aus einem handelsüblichen Mini-Pizza-Backofen und einer nachzurüstenden elektronischen Regelung. Zahlreiche Leserreaktionen bestätigten das hohe Interesse an diesem Projekt. Mit dem Modul „Reflow Control“ bieten wir Ihnen eine neue Regelelektronik an.

*Schnell-Bausatz mit 2 fertig bestückten Platinen sowie Temperatursensor, Einbausteckern, Netzschalter, Kabel + Gehäuse*

Art.-Nr. 060234-91 • € 249,00 • CHF 423,30



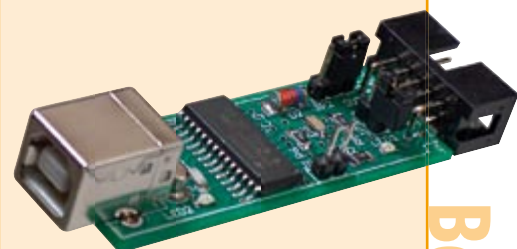
## USB-Flashboard

(Elektor November 2007)

Flash-Controller lassen sich bequem programmieren – sie eignen sich daher für die schnelle Anwendungs-Entwicklung genauso wie für die Ausbildung. Bisher wurden die Programmdateien meist über die serielle Schnittstelle geschickt, doch insbesondere Laptops haben oft nur noch USB-Schnittstellen. Dieses vielseitig einsetzbare Flashboard ist die Lösung. Herzstück ist der AT89C5131A, ein erweiterter 8051-Controller mit 80C52-Kern und Full-speed-USB.

*Bausatz mit allen Bauteilen inkl. Platine*

Art.-Nr. 070125-71 • € 52,50 • CHF 89,30



## USBprog

(Elektor Oktober 2007)

Ein neuer Mikrocontroller und schon wieder ein neuer Programmierer? Wer sich heute mit Controllern befasst, verfügt oft über ein ganzes Arsenal von Platinen und Adaptern zur Programmierung unterschiedlicher Chips. Damit macht der USBprog Schluss! Und als „Zugabe“ ist er auch noch als USB-I/O- und USB/RS232-Interface zu verwenden.

*Bausatz mit SMD-bestückter Platine und allen Bauteilen*

Art.-Nr. 060224-71 • € 32,00 • CHF 54,40



**Januar 2008 (Nr. 445)**

€

**CO<sub>2</sub>-Messer**

070802-1	..... Platine	.....	19,95
070802-41	..... Progr. Controller ATtiny26	.....	9,95
070802-71	..... Bausatz mit allen Bauteilen inkl. Hauptplatine, Sensor-Platine mit Sensor, progr. Controller ATtiny26 und Display	..... siehe www.elektor.de	
070802-81	..... Software-CD	.....	7,50

**Anti-Standby-Switch**

070797-1	..... Platine	.....	19,95
070797-41	..... Progr. Controller ATtiny25	.....	7,50

**DC-Power-Meßer**

070559-1	..... Platine	.....	12,95
070559-41	..... Progr. Controller ATmega8-16P	.....	12,50

**Steuerelektronik für Energiesparlampen**

070638-71	..... Platine mit IC FAN7710N und 2,5-mH-Spule	.....	19,95
-----------	--	-------	-------

**Dezember 2007 (Nr. 444)**

**Reflow Control**

060234-91	..... Schnell-Bausatz mit 2 fertig bestückten Platinen sowie Temperatursensor, Einbausteckern, Netzschalter, Kabel + Gehäuse	.....	249,00
-----------	--	-------	--------

**AVR-Webserver**

060257-1	..... Platine	.....	13,95
060257-41	..... Progr. Controller ATmega644	.....	19,95

**Bohrmaschinen-Controller**

060291-1	..... Platine	..... siehe www.thePCBshop.com	
----------	---------------	--------------------------------	--

**Weihnachtsblinker**

010032-91	..... Bausatz	.....	5,25
-----------	---------------	-------	------

**LED-Tauchlampe**

070011-1	..... Platine	..... siehe www.thePCBshop.com	
----------	---------------	--------------------------------	--

**November 2007 (Nr. 443)**

**Datenakquisition über USB**

070148-1	..... Platine	.....	13,75
070148-41	..... Progr. PIC18F4550 DIP40	.....	22,50
070148-81	..... Software-CD	.....	7,50

**USB-Flashboard**

070125-1	..... Platine	.....	25,95
070125-71	..... Bausatz mit allen Bauteilen inkl. Platine	.....	52,50
070125-81	..... Software-CD	.....	7,50

**Telefon-Umschalter**

060288-1	..... Platine	..... siehe www.thePCBshop.com	
----------	---------------	--------------------------------	--

**Kopfhörerverstärker mit Raumklangeffekt**

070393-1	..... Platine	..... siehe www.thePCBshop.com	
----------	---------------	--------------------------------	--

**Rennbahn-Timer**

040395-1	..... Platine	..... siehe www.thePCBshop.com	
040395-41	..... Progr. AT89C2051-24PI	.....	10,50

**Oktober 2007 (Nr. 442)**

**Mugen – Hybrid-Audioverstärker**

070069-1	..... Platine Verstärker	.....	29,95
070069-2	..... Platine Stromversorgung	.....	27,95

**ElekTrack**

040161-91	..... Fertig bestückte Platine, GPS/GSM-Antenne, Kabel und Gehäuse	.....	399,00
-----------	--	-------	--------

**Low-cost-Heizungsregelung**

060325-1	..... Platine	.....	13,95
060325-41	..... Progr. Controller ATmega32-16PU	.....	22,95

**USBprog**

060224-1	..... Platine	..... siehe www.thePCBshop.com	
060224-71	..... Bausatz mit SMD-bestückter Platine und allen Bauteilen	.....	32,00
060224-81	..... Software-CD	.....	7,50

**September 2007 (Nr. 441)**

**Vierkanal-Logik-Analysator**

060092-1	..... Platine	..... siehe www.thePCBshop.com	
060092-81	..... Software-CD	.....	7,50
060092-41	..... Progr. Controller PIC18F4580-I/P	.....	18,95
060092-71	..... Bausatz mit allen Bauteilen inkl. Platine, Gehäuse u. graph. LCD	.....	112,50

# Bestseller

Bücher

- 1 ➔ **Photovoltaik-Anlagen**  
ISBN 978-3-89576-191-1 ..... € 19,90 • CHF 33,90
- 2 ➔ **High-End-Röhrenverstärker**  
ISBN 978-3-89576-182-9 ..... € 54,00 • CHF 91,80
- 3 ➔ **Computer Vision**  
ISBN 978-3-89576-165-2 ..... € 42,80 • CHF 72,80
- 4 ➔ **Supraleiter im Experiment**  
ISBN 978-3-89576-180-5 ..... € 19,90 • CHF 33,90
- 5 ➔ **Visual Basic für Elektroniksteuerungen u. Entwicklung**  
ISBN 978-3-89576-178-2 ..... € 59,00 • CHF 100,30

Bausätze & Module  
CD- & DVD-ROMs

- 1 ➔ **ECD 4**  
ISBN 978-90-5381-159-7 ..... € 24,50 • CHF 41,70
- 2 ➔ **Elex-DVD**  
ISBN 978-3-89576-164-5 ..... € 23,00 • CHF 39,10
- 3 ➔ **Ethernet-Toolbox**  
ISBN 978-90-5381-214-3 ..... € 27,50 • CHF 46,80
- 4 ➔ **Elektor-DVD 1990-1999**  
ISBN 978-3-89576-179-9 ..... € 89,00 • CHF 151,30
- 5 ➔ **Elektor-CD 2006**  
ISBN 978-90-5381-207-5 ..... € 26,50 • CHF 45,10
- 1 ➔ **USB-Flashboard**  
Art.-Nr. 070125-71 ..... € 52,50 • CHF 89,30
- 2 ➔ **Kompakter OBD-2-Analyser (Bausatz)**  
Art.-Nr. 070038-71 ..... € 79,95 • CHF 136,00
- 3 ➔ **Vierkanal-Logik-Analysator**  
Art.-Nr. 060092-71 ..... € 112,50 • CHF 191,30
- 4 ➔ **USBprog**  
Art.-Nr. 060224-71 ..... € 32,00 • CHF 54,40
- 5 ➔ **Reflow Control** NEU!  
Art.-Nr. 060234-91 ..... € 249,00 • CHF 423,30

Bestellen Sie jetzt einfach und bequem online unter [www.elektor.de/shop](http://www.elektor.de/shop) oder mit der portofreien Bestellkarte am Heftende!



Elektor-Verlag GmbH  
Süsterfeldstraße 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)

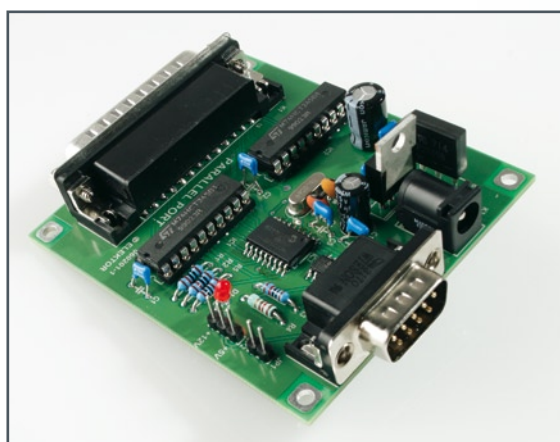
## Surround-Light

Einige Flachbildschirme von Philips sind mit einer Hintergrundbeleuchtung erhältlich, deren Farbe sich kontinuierlich dem Bildinhalt anpasst. Leider gibt es noch keine Fernseher von anderen Herstellern oder auch Computermonitore, welche dieses attraktive Feature aufweisen. Im nächsten Heft beschreiben wir daher zwei Selbstbau-Systeme, mit denen man den gleichen Effekt erreichen kann. Die eine Schaltung ist vollkommen analog aufgebaut, während die andere die Eingangssignale erst digitalisiert und danach auch digital verarbeitet. Beide Projekte eignen sich gleichermaßen für Fernseher und Monitor und warten mit einem sehenswerten Ergebnis auf!



## LED-Ringblitz

Um Makro-Aufnahmen mit einem (digitalen) Fotoapparat zu machen, ist ein so genannter Ringblitz das ideale Hilfsmittel. Das nah am Objektiv befindliche Motiv kann dann gleichmäßig belichtet werden, ohne dass störende Schlagschatten entstehen. Ein Ringblitz mit einer runden Blitzröhre ist allerdings nicht billig, so dass die meisten Amateurfotografen darauf verzichten. Mit Hilfe von hellen weißen LEDs ist es aber sehr gut möglich, sich selbst einen ausgezeichneten Ringblitz zu bauen. Im nächsten Monat beschreiben wir die Konstruktion eines solchen Blitzes und die nötige Steuerelektronik.



## CAN-Explorer

Ein CAN-Bus eignet sich nicht nur für Autos und die Automation, er lässt sich auch zur Haussteuerung einsetzen. Leider ist der Aufbau eines solchen Bus-Systems nicht ganz einfach. Hier setzt unser CAN-Board an, das einen PC an den Bus anbindet. Über eine komfortable und kostenlose Software lassen sich ein CAN-Bus überwachen und die Funktion anderer Knoten überprüfen.

Änderungen vorbehalten!

ELEKTOR Februar 2008 erscheint am 23. Januar 2008.

ELEKTOR gibt es im Bahnhofsbuchhandel, Elektronik-Fachhandel, an ausgewählten Kiosken und garantiert beim Presse-Fachhändler.

Ein Verzeichnis finden Sie unter: <http://www.blauerglobus.de>  
Sie können ELEKTOR auch direkt bei [www.elektor.de](http://www.elektor.de) bestellen.



**Abo-Service:** Marleen Brouwer, Riet Maussen  
E-Mail: [abo@elektor.de](mailto:abo@elektor.de)

**Bestellannahme und Bestellservice:** Peter Custers  
E-Mail: [bestellung@elektor.de](mailto:bestellung@elektor.de)  
Tel. +49 241 88 909-66

### Geschäftszeiten

Montag – Donnerstag von 08:30 bis 17:00 Uhr  
Freitag von 08:30 bis 12:30 Uhr  
Tel. +49 241 88 909-0  
Fax +49 241 88 909-77

Unser Kundenservice berät Sie bei allen Fragen zu Bestellungen, Lieferterminen und Abonnements. Änderungen, Reklamationen oder besondere Wünsche (wie z. B. Geschenkabonnement) richten Sie ebenfalls an den Kundenservice. Vergessen Sie bitte nicht, Ihre Kundennummer anzugeben – falls vorhanden.

**Technische Fragen** bitten wir per E-Mail an [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de) zu richten.

### Einzelheft

Deutschland € 6,70  
Österreich, Belgien, Luxemburg € 7,35  
Schweiz CHF 12,90

### Jahresabonnement-Standard

Deutschland € 69,95  
Österreich, Belgien, Luxemburg € 76,00  
Schweiz CHF 134,00  
Andere Länder € 92,00

### Jahresabonnement-PLUS

Deutschland € 79,95  
Österreich, Belgien, Luxemburg € 86,00  
Schweiz CHF 157,00  
Andere Länder € 102,00

### Probeabonnement

Deutschland € 12,50  
Österreich, Belgien, Luxemburg € 12,50  
Schweiz CHF 22,00  
Andere Länder € 12,50 (zzgl. Porto)

### Studentenabo-Standard

Deutschland € 55,95  
Österreich € 60,80  
Schweiz CHF 107,20

### Studentenabo-PLUS

Deutschland € 65,95  
Österreich € 70,80  
Schweiz CHF 130,20

### Upgrade zum Abo-PLUS

Alle Länder € 10,00  
Schweiz CHF 23,00

Jahres- und Studentenabonnements (11 Hefte) dauern immer 1 Jahr und verlängern sich automatisch um weitere 12 Monate, wenn nicht spätestens 2 Monate vor Ablauf schriftlich gekündigt wird.

Änderungen und Irrtümer vorbehalten.

### Bankverbindungen

#### Commerzbank Aachen

Konto 1 201 102 (BLZ 390 400 13)  
IBAN/BIC: DE89 3904 0013 0120 1102 00/COBADEFF

#### Postgiro Köln

Konto 229 744-507 (BLZ 370 100 50)  
IBAN/BIC: DE17 3701 0050 0229 7445 07/PBNKDEFF

### Bestellungen & Abos für Österreich

Elektor-Verlag GmbH  
Süsterfeldstraße 25, 52072 Aachen  
Peter Custers  
E-Mail: [bestellung@elektor.de](mailto:bestellung@elektor.de)





# Fordern Sie jetzt den neuen Elektor-Gesamtkatalog 2008 GRATIS an!



**Bücher • CD-ROMs • DVDs  
Sonderhefte • E-blocks  
Bausätze • Module**

Fax +49 (0)241 88 909-77

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

Der Katalog kann auch unter  
[www.elektor.de/katalog](http://www.elektor.de/katalog) als PDF-  
Datei heruntergeladen werden.

Hier ist meine Anschrift:

Name, Vorname \_\_\_\_\_  
Straße, Nr. \_\_\_\_\_  
PLZ, Ort \_\_\_\_\_  
Land **DE**  
Kd-Nr. \_\_\_\_\_  
Telefon \_\_\_\_\_  
E-Mail \_\_\_\_\_

Antwort

**Elektor-Verlag GmbH  
Süsterfeldstraße 25  
52072 Aachen**

Innerhalb  
Deutschlands  
kein Porto  
nötig!



Hier ist meine Anschrift:

Name, Vorname \_\_\_\_\_  
Straße, Nr. \_\_\_\_\_  
PLZ, Ort \_\_\_\_\_  
Land **DE**  
Kd-Nr. \_\_\_\_\_  
Telefon \_\_\_\_\_  
E-Mail \_\_\_\_\_

Antwort

**Elektor-Verlag GmbH  
Süsterfeldstraße 25  
52072 Aachen**

Hier ist meine Anschrift:

Name, Vorname \_\_\_\_\_  
Straße, Nr. \_\_\_\_\_  
PLZ, Ort \_\_\_\_\_  
Land **DE**  
Kd-Nr. \_\_\_\_\_  
Telefon \_\_\_\_\_  
E-Mail \_\_\_\_\_

Antwort

**Elektor-Verlag GmbH  
Süsterfeldstraße 25  
52072 Aachen**

Innerhalb  
Deutschlands  
kein Porto  
nötig!

# Audio 1

High-End-Verstärker & Lautsprecherboxen

Das Audio-Sonderheft wendet sich an alle, die in der Ausbildung oder im Beruf Audiogeräte (mit Halbleitern und Röhren sowie Lautsprecherboxen) entwickeln und herstellen. Nicht zuletzt vermittelt dieses Elektor-Special auch dem ambitionierten Amateur, Audioliebhaber und Selbstbauer wertvolles Wissen. Es werden u.a. 8 Verstärker und 8 Lautsprecherboxen für den Selbstbau vorgestellt.

Aus dem Inhalt:

- 100 W Mono-Röhrenverstärker
- Trioden-Röhrenverstärker
- Klasse-D-Endverstärker
- 100 W Klasse-A-Verstärker
- Rondo
- Bifrost
- Line Array



Erhältlich bei Ihrem Buch- und Zeitschriftenhändler oder direkt beim Verlag ordern!



**NEU!**

**Verstärker und Lautsprecherboxen für den Selbstbau**

(D) € 15,90  
(A) € 16,40  
CHF 25,90

Sichern Sie sich jetzt Ihr Exemplar unter  
Tel. +49 (0)241 88 909-0  
Fax +49 (0)241 88 909-77  
E-Mail: [vertrieb@elektor.de](mailto:vertrieb@elektor.de)

## INSERENTENVERZEICHNIS JANUAR 2008

Beta-Layout . . . . .	<a href="http://www.pcb-pool.com">www.pcb-pool.com</a> . . . . .	14
Cadsoft Computer . . . . .	<a href="http://www.cadsoft.de">www.cadsoft.de</a> . . . . .	15
Decision-Computer . . . . .	<a href="http://www.decision-computer.de">www.decision-computer.de</a> . . . . .	47
EMIS . . . . .	<a href="http://www.emisgmbh.de">www.emisgmbh.de</a> . . . . .	65
Eurocircuits . . . . .	<a href="http://www.eurocircuits.com">www.eurocircuits.com</a> . . . . .	73
Haase Computertechnik . . . . .	<a href="http://www.team-haase.de">www.team-haase.de</a> . . . . .	65
HM Funktechnik . . . . .	<a href="http://www.hmradio.de">www.hmradio.de</a> . . . . .	47
Kleinanzeigen . . . . .		37
Microchip . . . . .	<a href="http://www.microchip.com">www.microchip.com</a> . . . . .	3
Reichelt . . . . .	<a href="http://www.reichelt.de">www.reichelt.de</a> . . . . .	88
Schwanekamp Ing.-Büro . . . . .	<a href="http://www.cnc-schwanekamp.de">www.cnc-schwanekamp.de</a> . . . . .	47
Simple Solutions . . . . .	<a href="http://www.simple-solutions.de">www.simple-solutions.de</a> . . . . .	11
Siteco . . . . .	<a href="http://www.siteco.com">www.siteco.com</a> . . . . .	43

# ECD 4

Elektor's Components Database

**NEU!**

➔ **Elektor's erfolgreiche Bauteilbibliothek jetzt in neuer überarbeiteter Version mit noch mehr Bauteilen!**



Das Programmpaket besteht aus acht Datenbanken für ICs, Germanium- und Silizium-Transistoren, FETs, Thyristoren, Triacs, Dioden und Optokoppler. Weitere elf Anwendungen zur Berechnung von Vorwiderständen bei LEDs, Spannungsteiler, Ohmsches Gesetz sowie Farbcodeschlüssel für Widerstände und Induktivitäten etc. runden das Paket ab. Mit dieser CD-ROM verfügen Sie über die Daten von mehr als 5.000 ICs, knapp 36.000 Transistoren, FETs, Thyristoren und Triacs, etwa 25.000 Dioden und über 1.800 Optokoplern.

ISBN 978-90-5381-159-7 • € 24,50 • CHF 41,90

Elektor-Verlag GmbH  
Süsterfeldstraße 25 • 52072 Aachen  
Tel. +49 (0)241 88 909-0  
Fax +49 (0)241 88 909-77  
[vertrieb@elektor.de](mailto:vertrieb@elektor.de) • [www.elektor.de](http://www.elektor.de)

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

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

**Unser Neuer  
ist da!**



**10"-Mini-Rack „Premium“**

300 x 356 x 245 mm / mit Plexiglastür  
Lieferung ohne Einsätze (Abbildung beispielhaft)

MR 10-356

**99.<sup>90</sup>**

**reichelt.de**

**24**  
Stunden  
Lieferservice

Bauelemente  
PC-Technik  
Sat-TV / Audio-Video  
und mehr ...

**24**  
Stunden  
Lieferservice  
reichelt

TOP-MARKEN  
QUALITÄT  
reichelt

CERT  
DIN EN ISO 9001  
reichelt

Bestellt • Beliefert • Begeistert

**... besser gleich bei reichelt.de!**

Fordern Sie jetzt Ihren Gratis-Katalog an!

**reichelt.de**  
elektronik

Bestell-Hotline: 04422 - 955 333

Elektronikring 1

26452 Sande

Gesetzliches Widerrufsrecht innerhalb zwei Wochen nach Erhalt der Ware. Alle angegebenen Preise in € einschl. gesetzl. MwSt., ab Lager Sande, zzgl. Versandkosten für den gesamten Warenkorb. Es gelten ausschließlich unsere AGB (unter [www.reichelt.de/agb](http://www.reichelt.de/agb), im Katalog oder auf Anforderung). Zwischenverkauf vorbehalten. Alle Produktamen und Logos sind Eigentum der jeweiligen Hersteller. Abbildungen ähnlich. Druckfehler, Irrtümer und Preisänderungen vorbehalten. Reichelt Elektronik e. Kfr., Elektronikring 1, 26452 Sande (HRA 130689 Oldenburg) **Stand: 29. 11. 2007**