

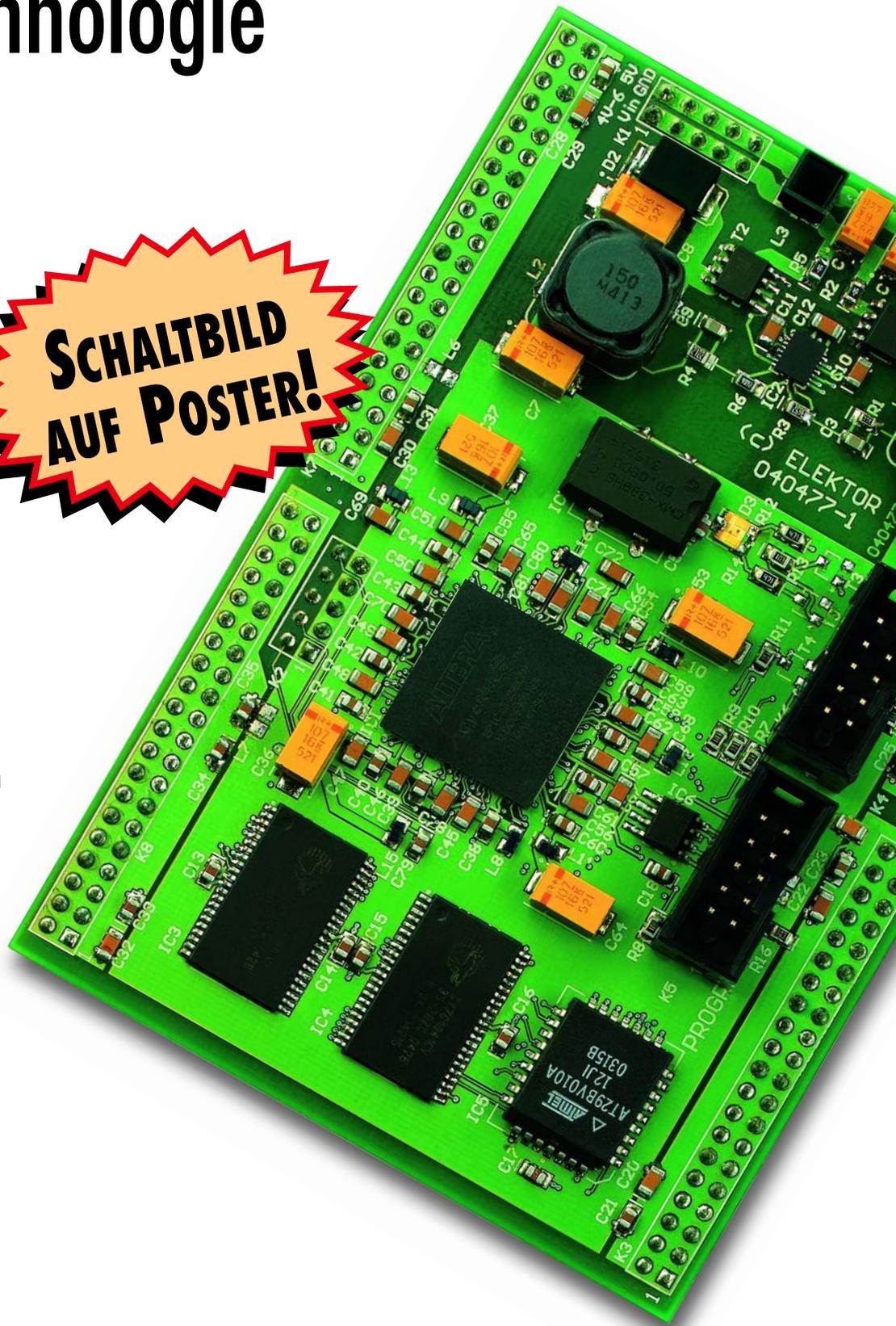
Chamäleon-Chip

FPGA-Technologie für alle!

Von Paul Goossens

**SCHALTBILD
AUF POSTER!**

Der Vormarsch der FPGAs ist unaufhaltsam. Diese Tausendstausas der modernen Elektronik waren noch bis vor kurzem eine Domäne von Spezialisten, doch wegen der rapide gesunkenen Preise und der kostenlosen Entwicklungssoftware sind sie im Begriff, zu Standard-Bauelementen zu werden. Für ELEKTOR Anlass genug, den Weg zum FPGA-Einsatz praxisnah zu ebnet. Wir haben ein passendes Modul entwickelt, das Mittelpunkt zukünftiger Projekte sein wird.



Um mit einem FPGA Hardware zu entwickeln, genügt der Chip allein nicht. Ein Programmier-Interface, ein Konfigurationsspeicher sowie einige weitere „periphere“ Komponenten sind immer zusätzlich notwendig. Damit das Rad nicht jedes Mal neu erfunden werden muss, haben wir ein Modul entworfen, das die wichtigsten Komponenten zusammenfasst. Einmal aufgebaut kann das Modul als „digitales Herz“ in den unterschiedlichsten Systemen schlagen. Diese Vorgehensweise hat den nicht von der Hand zu weisenden Vorteil, dass sich der Entwickler uneingeschränkt seiner Applikation widmen kann.

Aller Anfang ist schwer

Für FPGA-Einsteiger kann das Modul als solide Grundlage für den Start dienen. Zusammen mit der anschließend beschriebenen Experimentierplatine lassen sich wertvolle praktische Erfahrungen gewinnen.

Schaltungsaufbauten mit FPGAs sind nicht möglich, ohne dass SMDs montiert werden müssen. Für unser Modul haben wir ein FPGA im noch weiter miniaturisierten BGA-Gehäuse gewählt. Das Löt- und Anschließen von Hand ist hier so gut wie ausgeschlossen. Auch die Version im etwas größeren PQFP-Gehäuse lässt sich nur äußerst mühsam von Hand montieren. Andererseits tragen die miniaturisierten Bauformen wesentlich dazu bei, dass der Schaltungsaufbau kompakt bleibt.

Wir haben das Löt- und Montageproblem durch die Entwicklung eines FPGA-Moduls gelöst, das bereits bestückt und getestet geliefert wird. Vor der Inbetriebnahme müssen lediglich die Kontakte von Hand in die dafür vorgesehenen Bohrungen eingesetzt und angelötet werden.

Außer dem FPGA-Modul wird ein Programmier-Interface benötigt, das die Verbindung zwischen dem FPGA-Modul und einem PC herstellt. Natürlich haben wir auch daran gedacht und gleichzeitig ein passendes Interface entwickelt.

Das FPGA in Kürze

- **Altera Cyclone FPGA**
- **12060 Logik-Elemente**
- **4 Mbit Konfigurationsspeicher**
- **8 Mbit User SRAM**
- **1 Mbit User Flash RAM**
- **On-board Takt 50 MHz**
- **JTAG- und Programmier-Schnittstelle**
- **kompatibel zum „Byteblaster“ von Altera**
- **80 User I/O-Leitungen**
- **spezielle Takt-Signale**
- **Anzeige-LED**
- **integriertes Schaltnetzteil**
- **Multilayer-Platine**
- **Platinen-Abmessungen 110 mm x 77 mm**
- **fertig aufgebaut und getestet lieferbar**

Ein FPGA ist noch keine Schaltung!

Das FPGA genügt allein nicht, wenn die zu entwickelnde Schaltung funktionsfähig sein soll. Eine unverzichtbare zweite Komponente ist der sogenannte Konfigurationsspeicher. Das ist ein nicht flüchtiger Speicher, der im Gegensatz zu den meisten FPGAs seinen Inhalt bei Abschalten der Betriebsspannung nicht verliert. Bei Wiederkehr der Betriebsspannung muss das FPGA neu konfiguriert werden, bevor es die ihm übertragenen Funktionen ausführen kann. Nicht zufällig haben FPGA-Hersteller auch spezielle Speicher-ICs in ihrem Programm, die das FPGA beim Einschalten der Betriebsspannung selbsttätig konfigurieren. Ein solcher Speicher-Chip gehört natürlich auch zu unserem FPGA-Modul.

Während der Entwicklungsphase eines Systems ist es von großem Vorteil, wenn sowohl das FPGA als auch der Konfigurationsspeicher ohne zusätzlichen Aufwand programmiert werden können. Deshalb gehört auch ein Programmier-Interface (JTAG) zur Standard-Peripherie von FPGA-Schaltungen.

Ein wichtiger Bestandteil jedes mit einem FPGA arbeitenden Systems ist die Stromversorgung. Die meisten FPGAs arbeiten im Kern mit niedrigen Spannungen, beim FPGA unseres Moduls beträgt die Kern-Betriebsspannung 1,5 V. Die Stromversorgung muss kurzzeitigen Belastungsspitzen (Peaks) zuverlässig standhalten, die Spannung darf keinesfalls einbrechen. An den Ein- und Ausgängen des FPGA liegen

die Spannungen höher als die Kern-Betriebsspannung, wir haben uns hier für 3,3 V entschieden. Auch diese Betriebsspannung muss unempfindlich gegen Belastungen durch Stromspitzen sein.

Zur Schaltung des FPGA-Moduls gehören ferner ein Oszillator, ein SRAM und ein Flash-Speicher.

Modul-Schaltung

Wegen ihres ungewöhnlichen Umfangs passt die Schaltung nicht auf eine Heftseite. Sie ist deshalb auf einem separaten Poster abgedruckt, was ein Novum in ELEKTOR ist.

Zuerst zur Stromversorgung, die mit einem Spannungsregler-Baustein TPS75003 (IC2) aufgebaut ist. Die Eingangsspannung darf zwischen 4,5 V und 6,5 V liegen. Der TPS75003 ist ein mehrfacher Spannungsregler, der speziell für die Stromversorgung von FPGA-Schaltungen entwickelt wurde; er enthält zwei Schaltregler und einen analogen Längsregler. In der FPGA-Modul-Schaltung kommen nur die beiden Schaltregler zum Einsatz. Mit Hilfe von T1, D1, L1, C1 und benachbarter Komponenten ist ein Stepdown-Regler aufgebaut, der die Spannung 3,3 V liefert. IC2 öffnet periodisch FET T1, so dass ein Strom vom Eingang über T1, L1 und C1 fließt. Der durch die Induktivität L1 fließende Strom steigt und lädt Elko C1 auf. Von dem Zeitpunkt an, an dem IC2 den FET T1 sperrt, fließt weiterhin Strom durch L1. Da T1 sperrt, muss dieser Strom über D1 und C1 fließen. Über R1/R3 und C3 verläuft ein Weg zurück zum TPS75003. Für den Spannungsregler ist die rückge-



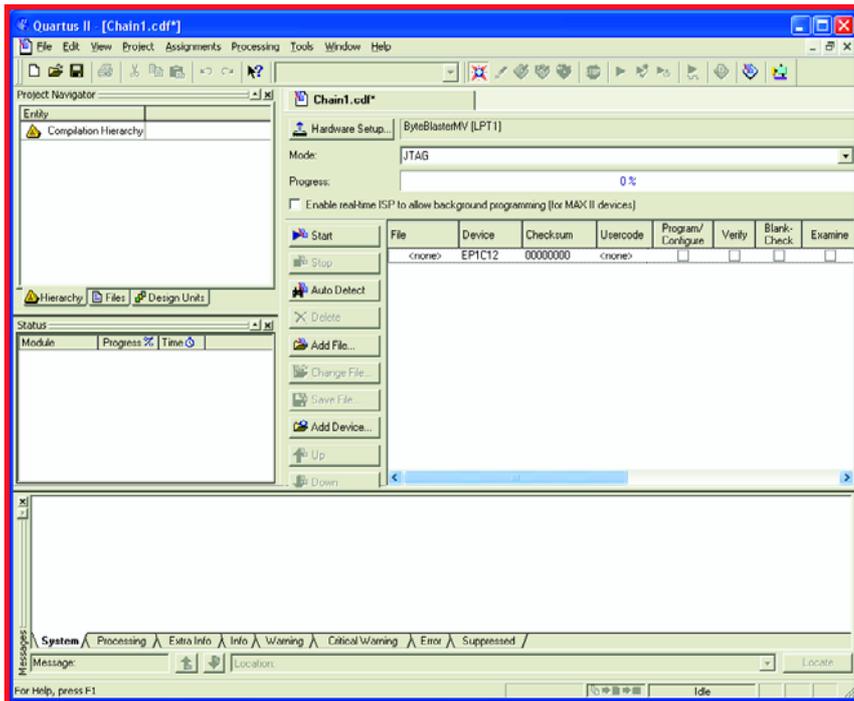


Bild 1. Programmier-Modus der Entwicklungs-Software „Quartus“ von Altera.

koppelte Spannung das Kriterium für die nachzuliefernde Energiemenge. Der Rückkopplungszweig ist so dimensioniert, dass IC2 die Ausgangsspannung auf 3,3 V hält. Widerstand R2 ist ein Shunt; über ihn fließt der gesamte Ausgangsstrom. Wenn der Spannungsabfall an R2 0,1 V oder mehr beträgt, begrenzt IC2 den Ausgangsstrom. Bei dem hier für R2 gewählten Wert 50 mΩ tritt die Begrenzung bei 2 A ein.

Mit FET T2 und den zugehörigen Bauelementen ist eine fast identische Schaltung wie mit FET T1 aufgebaut. Lediglich die Widerstände im Rückkopplungszweig sind anders dimensioniert, so dass hier die Ausgangsspannung 1,5 V beträgt.

Die Elkos C4, C5 und C6 an den Eingängen von IC2 puffern die Eingangsspannung. Außerdem sorgen sie dafür, dass schnelle Schaltströme lokal fließen, so dass störende Einflüsse auf andere Schaltungsteile weitgehend vermieden werden.

Die Spannungsregler-Schaltung mit IC2 versorgt den FPGA mit seinen Betriebsspannungen. Die zum FPGA führenden Leitungen durchlaufen zwei Ferrit-Ringe, die das Abstrahlen hochfrequenter Störungen dämpfen. Außerdem werden die Betriebsspannungen von Kondensatoren gepuffert, die sich in unmittelbarer Nähe des FPGA befinden. Diese Maßnahmen sind zwar nicht immer zwingend notwendig,

doch abhängig von den mit dem FPGA realisierten Funktionen können recht hohe Schaltströme fließen. Dabei liegen die Schaltfrequenzen häufig im hochfrequenten Bereich. Würde man die Schaltströme über lange Leitungswege führen, könnte die Störstrahlung schnell die Grenze des Zulässigen überschreiten!

Und jetzt: digital

Nach der Betrachtung der Stromversorgung folgt nun der digitale Teil des FPGA-Moduls. IC6 ist der Konfigurationsspeicher des FPGA, ein Baustein, den der Hersteller speziell für diesen Zweck konstruiert hat. Wenn die Eingänge MSEL0 und MSEL1 des FPGA an Masse liegen, erwartet das FPGA, dass ein Konfigurationsspeicher wie der EPCS4 angeschlossen ist. Das FPGA greift unmittelbar auf den Konfigurationsspeicher zu und verwendet die dort gespeicherten Daten, um sich selbst zu konfigurieren. Die Daten müssen zuvor über den Programmier-Anschluss K5 nach IC6 geladen werden. Die Signalleitungen von K5 sind so angeordnet, dass dieser Steckverbinder mit dem Programmier-Interface „Byteblaster“ von Altera kompatibel ist.

Die unmittelbare In-Circuit-Programmierung des FPGA mit Hilfe eines PC ist über K6 möglich. Das hat zum Bei-

spiel während der Entwicklungsphase den Vorteil, dass die Daten nicht zuerst in den Konfigurationsspeicher geladen werden müssen. Auch der Steckverbinder K6 ist zum „Byteblaster“ von Altera kompatibel.

Die Schaltung mit T3, T4 und T5 steuert die Zweifarben-LED D3; sie wechselt ihre Farbe, nachdem das FPGA konfiguriert ist. Auch ein eventueller Fehlerzustand wird von LED D3 angezeigt.

Zahlreiche I/O-Leitungen

Da das FPGA-Modul in erster Linie für den Einsatz in eigenen Applikationen vorgesehen ist, haben wir an der Anzahl der Ein- und Ausgangsleitungen nicht gespart. Diese Leitungen sind auf die Steckverbinder K3, K4, K7 und K8 geführt. Bei diesen Steckverbindern handelt es sich um Standard-Stiftleisten mit 2,54 mm Kontaktabstand, so dass der Anschluss externer Hardware bequem möglich ist.

Vom FPGA führen insgesamt 80 (!) I/O-Leitungen über die genannten Steckverbinder nach außen. Sämtliche I/O-Leitungen liegen auf der gleichen Kontaktreihe der zweireihigen Stiftleisten, an den Kontakten der parallelen Reihe liegen abwechselnd Masse und die Betriebsspannung +3,3 V. Von hier lässt sich externe Hardware mit Strom versorgen, solange die Stromentnahme nicht zu hoch ist. Auch diese Betriebsspannung wird durch einen Ferrit-Ring und zwei Kondensatoren entstört.

Die Signale an Steckverbinder K2 sind spezielle Signale. Alle Signale stehen in Zusammenhang mit den Taktsignalen. Kontakt 10 ist ein Eingang, über den ein externes Taktsignal an den FPGA gelegt werden kann. Die übrigen Signale an K2 sind Ausgangssignale der im FPGA arbeitenden PLL-Stufen.

Es ist möglich, dem FPGA ein Taktsignal über einen beliebigen anderen Eingang zuzuführen. Der Eingang „User Clock“ hat jedoch diesen speziellen Zweck.

Die Extras

Die meisten auf der Basis von FPGAs entwickelten Applikationen benötigen Speicherplatz. Im FPGA ist zwar Speicher vorhanden, doch für größere Applikationen reicht die Speicherkapazität meistens nicht aus. Da oft ein so genannter „Softcore“-Prozessor zum Einsatz kommt, ist ein Flash-Speicher zum Ablegen der Prozessor-Firmware von Vorteil. Auf diese Weise kann die

Software einen größeren Umfang haben, ohne dass der FPGA belastet wird. Der Flash-Speicher ist in der Schaltung des FPGA-Moduls mit IC5 bezeichnet.

Vorteilhaft ist auch zusätzliches, frei verfügbares RAM, und zwar nicht nur, wenn ein oder mehrere „Softcore“-Prozessoren mit dem FPGA realisiert werden. Auch bei verschiedenen Verfahren der Signalverarbeitung ist zusätzliches RAM höchst willkommen. In der Schaltung sind IC3 und IC4 die RAM-Bausteine; sie haben eine Kapazität von 4 Mbit, organisiert als 256 KByte mal 16 bit. Die Signale BHE und BLE sind als unabhängige Chip-Enable-Signale verwendbar, wobei BHE das Chip-Enable-Signal für die MSBs (D8...D15) des Daten-Busses ist und BLE die gleiche Funktion für die LSBs (D0...D7) hat. Dadurch ist das RAM auch als Speicher mit der Organisation 512 KByte mal 8 bit verwendbar.

IC3 ist unmittelbar mit dem FPGA verbunden, während IC4 seinen Daten- und Adress-Bus mit Flash-Speicher IC5 teilt. Diese Maßnahme wurde getroffen, um möglichst viele I/O-Leitungen für die externe Hardware (User-Schnittstelle) zur Verfügung stellen zu können. Der Preis dafür ist die Einschränkung, dass das FPGA auf das RAM und den Flash-Speicher nicht gleichzeitig zugreifen kann. In der Praxis ist das kaum von Bedeutung, insbesondere wenn mit „Softcore“-Prozessoren gearbeitet wird.

Damit wollen wir die Beschreibung der FPGA-Modul-Schaltung abschließen. Wie bereits erwähnt, ist das FPGA-Modul fertig aufgebaut lieferbar. Lediglich die acht beiliegenden Kontaktleisten sind nachträglich zu montieren. K2, K3, K4, K7 und K8 befinden sich auf der Platinen-Unterseite, die übrigen drei Steckverbinder auf der Platinen-Oberseite (Bestückungsseite). Bei der Montage ist die Lage von Kontakt 1 zu beachten, im Platinen-Aufdruck ist dieser Kontakt deutlich gekennzeichnet.

Programmier-Interface

Das Modul kann natürlich erst dann sinnvoll verwendet werden, nachdem das FPGA oder der Konfigurationsspeicher programmiert sind. Das zu dieser ELEKTOR-Ausgabe gehörende Poster zeigt auch die Schaltung des Programmier-Interface. Dieses Interface ist das Bindeglied zwischen dem FPGA oder dem Konfigurationsspeicher und einem PC. Da es zum „Byteblaster“ von

Altera kompatibel ist, kann die von diesem Hersteller kostenlos zur Verfügung gestellte Software genutzt werden. Zur Schaltung ist nur wenig anzumerken. Die Betriebsspannung 3,3 V wird vom FPGA-Modul geliefert; die beiden ICs dienen als Anpassung zwischen den +3,3-V-Signalen des FPGA-Moduls und den +5V-Signalen des PCs. Die 100-Ω-Widerstände verhindern, dass die +5-V-Signale die Betriebsspannung +3,3 V unzulässig anheben.

Anschluss K3 des Programmier-Interfaces wird mit dem Parallelport des PCs verbunden. Auf der anderen Seite stellt K2 über ein zehnrädriges Flachkabel die Verbindung mit dem FPGA-Modul her. Wenn das FPGA programmiert werden soll, zum Beispiel für einen schnellen Test, muss dieses Kabel mit Steckverbinder K6 (JTAG) des FPGA-Moduls verbunden werden. Um das FPGA-Modul zu programmieren, so dass es eigenständig („stand-alone“) arbeitet, ist dieses Kabel mit K5 (PROGRAM) des FPGA-Moduls zu verbinden.

Software

Zu einem Projekt wie diesem gehört natürlich auch spezielle Entwicklungs-Software. FPGA-Hersteller Altera bietet ein umfangreiches Software-Paket an, das die Entwicklung hervorragend unterstützt. Die kostenlose Version hat den Namen „Quartus Web Edition“, sie kann von der Website www.altera.com heruntergeladen werden. Der Umfang ist mit 240 MByte beträchtlich, so dass eine schnelle Download-Verbindung von Vorteil ist. Über die Altera-Website kann man diese Software aber auch kostenlos auf CD bestellen.

Nach dem problemlosen Installieren fordert das Programm zur Eingabe einer Lizenz-Nummer auf. Die Lizenz-Nummer lässt sich ebenfalls kostenlos über die Website von Altera anfordern, sie ist ein halbes Jahr gültig. Nach Ablauf der Gültigkeit ist das Anfordern einer neuen Lizenz-Nummer möglich. Altera hat versichert, dass diese Software auch zukünftig kostenlos abgegeben wird.

Der Platz in diesem Beitrag ist zu knapp, um auch nur kurz zu umreißen, was die „Quartus Web Edition“ leistet. Wir können hier auch keinen Kurs in VHDL (der FPGA-„Programmiersprache“) abdrucken, das würde die Grenzen des Artikels bei weitem sprengen. Newcomer auf diesem Gebiet seien auf

die FPGA-Experimentierplatine hingewiesen, die anschließend beschrieben wird.

Testen

Das FPGA-Modul hat zwar noch keine komfortablen Möglichkeiten für die Dateneingabe und Datenausgabe, doch ein einfacher Test ist bereits jetzt möglich.

Nach Installieren der Altera-Software wird der PC zunächst ausgeschaltet. Danach kann der Parallelport des PC mit dem Programmier-Interface verbunden werden. Von dort stellt das zehnrädrige Flachkabel die Verbindung mit K6 (JTAG) des FPGA-Moduls her. Nach dem Einschalten des PCs wird an das FPGA-Modul die Betriebsspannung angelegt (Vorsicht: höchstens 6,5 V!).

Starten Sie „Quartus“ auf dem PC und klicken Sie auf das Programmier-Symbol, oder klicken Sie auf *Tools* und dann auf *Programmer*, dies führt zum gleichen Ziel. Nachdem sich das Programmier-Fenster geöffnet hat, klicken Sie auf *Hardware Setup*, und im neuen Fenster auf *Add Hardware*. Wählen Sie „Byteblaster“ aus und geben Sie den Parallelport an (z. B. LPT1), mit dem das Programmier-Interface verbunden ist. Wenn Sie nun im Hauptfenster auf *Autodetect* klicken, erkennt die Software selbstständig den FPGA-Typ EP1C12. Das ist der Beweis dafür, dass die Betriebsspannung vorhanden ist und der FPGA arbeitet.

(040477gd)

Das FPGA-Modul ist im ELEKTOR-Shop unter der EPS-Nummer 040477-91 erhältlich (siehe Shop-Seiten im hinteren Heftteil).

Lieferumfang

- **FPGA-Modul (fertig aufgebaut und getestet)**
- **Programmier-Interface (fertig aufgebaut und getestet)**
- **Programmierkabel**
- **Verbindungskabel vom Programmier-Interface zum PC**
- **acht Steckerleisten für die Selbstmontage**