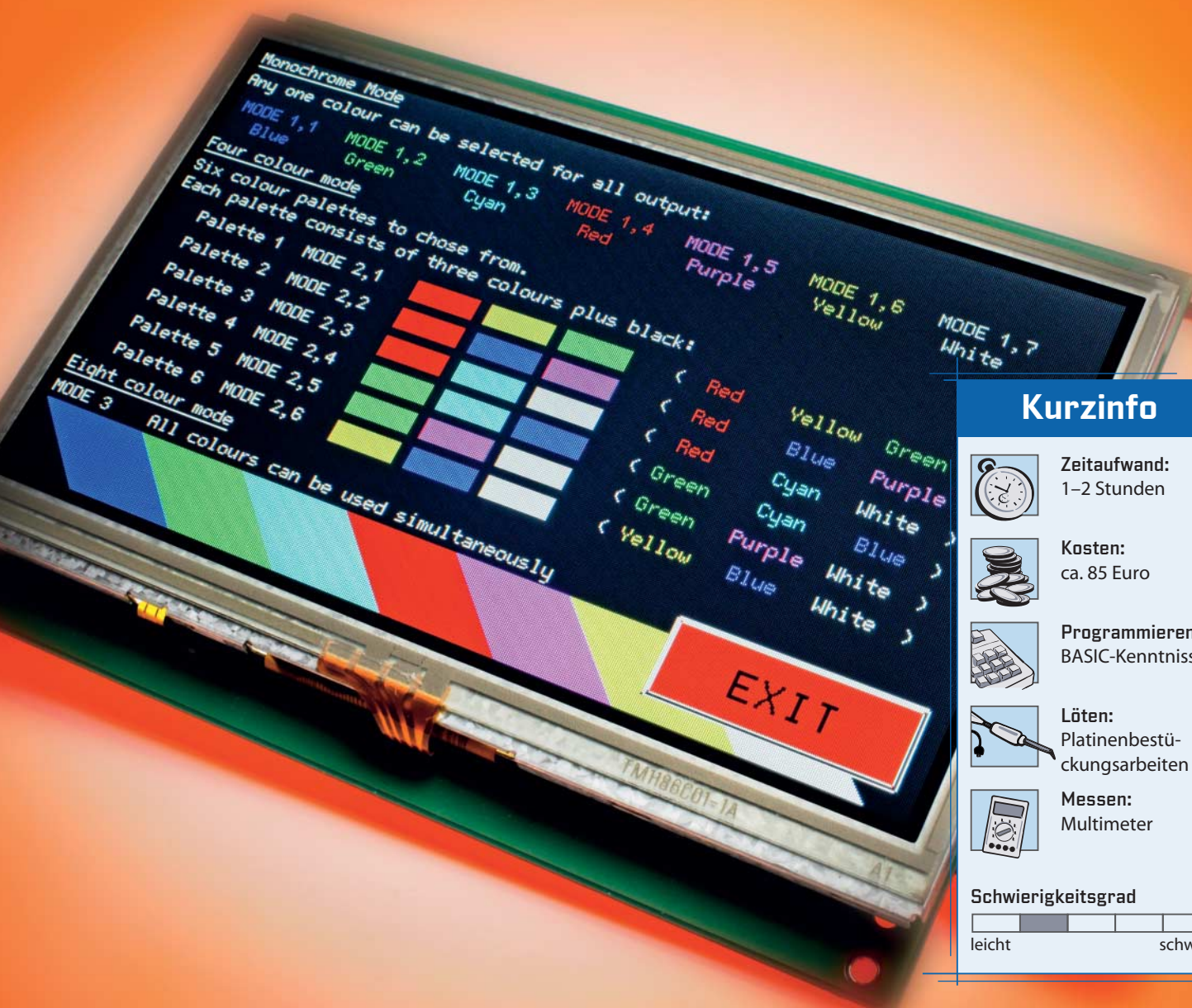


Geoff Graham, Carsten Meyer

BASIC-Touchpanel-Computer

Vor einigen Monaten entdeckten wir den Color Maximite 2, einen BASIC-Einplatinenrechner mit VGA- und Keyboard-Anschluss, der als einziges (nennenswert) aktives Bauteil einen PIC32-Mikrocontroller beschäftigt. Statt mit einem VGA-Monitor arbeitet unsere neue, hier vorgestellte Version mit einem TFT-Touchscreen – aber immer noch mit dem schnellen MMBASIC-Interpreter, den wir um praktische Touchscreen-Befehle erweitert haben.



Kurzinfo



Zeitaufwand:
1–2 Stunden



Kosten:
ca. 85 Euro



Programmieren:
BASIC-Kenntnisse



Löten:
Platinenbestückungsarbeiten



Messen:
Multimeter

Schwierigkeitsgrad

leicht schwer

Geoff Grahams Maximite war im letzten Jahr eines der beliebtesten Projekte der australischen Zeitschrift Silicon Chip – damals noch als Schwarzweiß-Version mit VGA-Anschluss. Ausgestattet ist der völlig eigenständige Kleinstrechner mit einem sehr leistungsfähigen BASIC-Interpreter (MMBASIC), der einige sehr brauchbare Erweiterungen für die 20 Portleitungen, die „On Chip“ befindlichen I2C-, CAN-, 1-Wire- und SPI-Interfaces sowie die serielle Schnittstelle mitbringt.

Zur BASIC-Programmierung reicht natürlich ein Texteditor, Programme und Daten werden auf einer SD-Karte gespeichert. Im Unterschied zu anderen Kompaktrechnern benötigt der Maximite keine mächtige (will heißen: komplizierte) Entwicklungsumgebung (IDE): Wie es sich für einen Computer mit Interpreter gehört, kann man auch direkt eine Tastatur anschließen (hier reichen längst obsolete PS/2-Keyboards, die wohl jeder noch in irgendeiner Ecke herumliegen hat) und sofort mit dem Programmieren loslegen.

Heimcomputer-Programme aus den 1980ern sollten zum großen Teil ohne Änderungen laufen, das Maximite-BASIC ist quasi „rückwärtskompatibel“ zu den frühen Microsoft-Dialekten GWBASIC und MBASIC. In Verbindung mit strukturierenden Befehlen kommt der Maximite sonst völlig ohne die berühmten GOTOs und Zeilennummern aus (unterstützt sie aber aus Kompatibilitätsgründen weiterhin).

Für Stand-alone-Anwendungen kann man den Maximite übrigens auch über die eingebaute USB-Schnittstelle mit Programmen füttern; bei größeren BASIC-Projekten dürfte ein auf dem PC-Host laufender Programmierer ohnehin bequemer sein als die eingebaute Minimal-Lösung. Der Kartenslot für SD(HC)-Karten dient als „Drive B:“, bis zu zehn Dateien dürfen gleichzeitig geöffnet sein. Damit macht der Maximite auch als Datenlogger eine gute Figur, zumal ein Echtzeit-Uhrenchip mit Batteriepufferung eingebaut ist.

Instant Computing

Apropos sofort: Der Maximite „bootet“ in weniger als einer halben Sekunde (versuchen Sie das mal mit einem Raspberry Pi oder gar einem Desktop-PC!) und lädt gleich darauf ein „AUTORUN.BAS“ benanntes Programm (sofern vorhanden) von SD-Karte. Viele frei programmierbare Portleitungen machen das Gerät auch für fortgeschrittene Bastler interessant: Einfache BASIC-Befehle erlauben es, Frequenzen, Impulse und Spannungen zu messen oder ganz trivial Portpegel zu setzen, PWM-Signale, Impulse und Audio auszugeben oder auch nur eine LED blinken zu lassen. Die Farbgrafik macht es zudem leicht, Messergebnisse oder dergleichen zu visualisieren.

Von Geoff Grahams Entwurf (und von den 50 US-\$ für die komplette Platine) war ich schwer begeistert – allerdings schien mir der VGA-Monitor für ein geplantes Embedded-System wohl doch etwas unhandlich. Stattdessen schwebte mir das 4,3"-TFT-Display einer defekten Playstation Porta-

Zutaten

Die Platine wird es SMD-bestückt bei Segor (www.segor.de) geben, der Controller ist hier bereits fertig mit Bootloader und MMBASIC-Firmware programmiert. Passende Displays kann man zwar in größerer Stückzahl recht preiswert in China bestellen, wir empfehlen aber trotzdem, die bei Segor erhältlichen Varianten mit 4,3 und 5 Zoll Diagonale zu verwenden – diese sind auf Kompatibilität getestet. Die bedrahteten Bauteile wie Knopfzellenhalter, Buzzer und Steckverbinder liegen dem Bausatz bei.

ble vor, die in meinem Bastelkeller Staub fing. Nach einem Wochenende Frickelei stand fest: Statt eines VGA-Monitors kann man auch ein TFT-Display anschließen, man muss nur etwas an den Timing-Schrauben der Maximite-Firmware drehen. Dann passt die „hochauflösende“ Farbgrafik des PIC32 (dazu später mehr) pixelgenau auf die 480 × 272 Bildpunkte üblicher WQVGA-Displays.

Freundlicherweise hatte mir BASIC-Autor Geoff Graham die Sourcen zu seinem Interpreter zugesandt. Wenn man es sich zutraut, kann man den in ANSI-C geschriebenen und gut dokumentierten Interpreter auch durch eigene Befehle erweitern; die nötige PIC-IDE von Microchip (MPLAB 8.9) gibt es kostenlos. Ich traute mich sogar an die Touchscreen-Steuerung, obwohl ich mit C eher auf Kriegsfuß stehe – üblicherweise ist Pascal die Sprache meiner Wahl. Nebenbei gesagt: Auch nach dieser Arbeit bin ich davon überzeugt, dass sich die C-Spracherfinder ihre Hose mit einer glühenden Kneifzange zumachen.

Doch das Herumplagen mit Pointer-auf-Pointer-auf-Zeichen und vielen Klammern mit und ohne Nipples hat sich gelohnt: Mit einem einzigen Befehl kann man aus dem BASIC heraus nun Tasten, Slider/Scrollbars, LED-Druckknöpfe, Checkboxes und wechselseitig auslösende Radio-Buttons auf dem Bildschirm anlegen und ebenso einfach abfragen oder setzen. Der Interpreter erledigt den kompletten Rest – etwa das Neumalen eines solchen „Items“ nach Berührung. BASIC-Programme mit Touchscreen-Bedienung sind deshalb fast ebenso kompakt wie solche mit klassischen Tastatureingaben.

Display mit Mehrwert

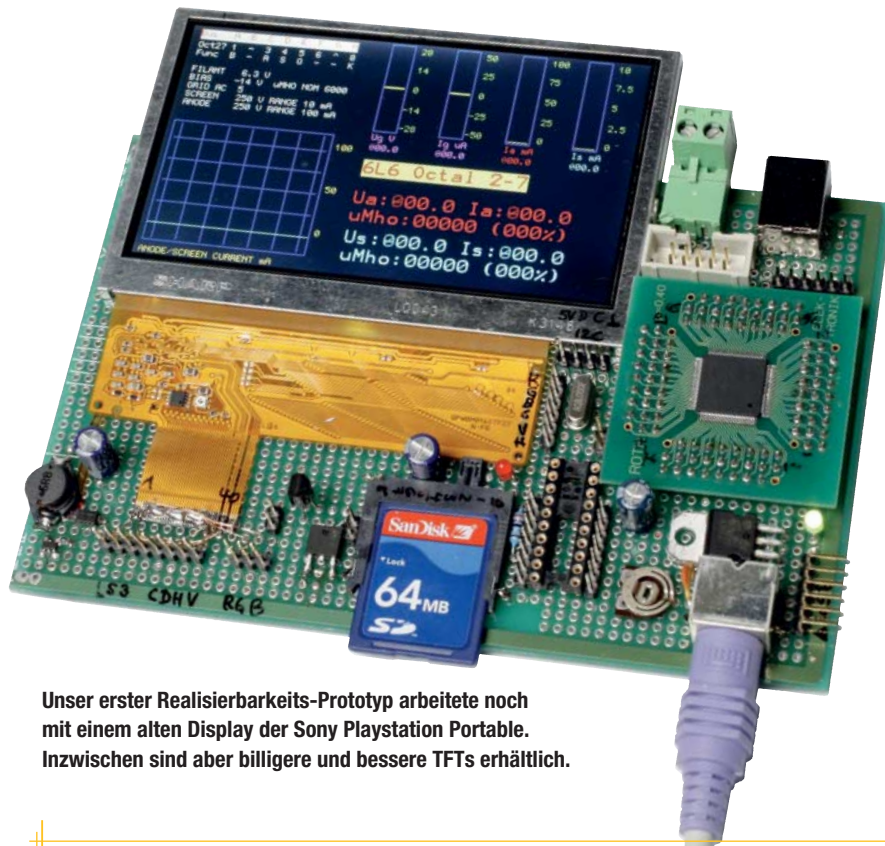
Das wohl erstaunlichste an unserem „TFT Maximite“ ist, dass nach wie vor nur ein einziges aktives Bauteil (von Uhrenchip und Spannungsregler abgesehen) sämtliche Aufgaben erledigt, nämlich der rund 13 Euro teure PIC32-Controller 32MX695 von Microchip. Er erzeugt das Video-Signal, managt die Schnittstellen und Ports, liest und schreibt die SD-Karte – und führt natürlich Ihr BASIC-Programm aus. Rund 32 µs benötigt er im Schnitt für eine Befehlszeile – damit ist er zehn- bis fünfzig mal so schnell wie der Original-IBM-PC mit ROM-BASIC oder wie ein Heimcomputer der C64- oder TRS80-Klasse.

Im PIC32 arbeitet ein MIPS-32-Bit-Kern mit 80 MHz Takt, im Prinzip also die CPU einer Silicon-Graphics-Workstation aus den 1990ern, zusammen mit 512 KByte Flash-ROM 128 KByte RAM und unzähligen Peripherieeinheiten auf einem winzigen Chip integriert. Der große Flash-Speicher nimmt den leistungsfähigen BASIC-Interpreter mit den hier benötigten Touchscreen-Erweiterungen mühelos auf und bietet sogar noch etwas Platz für eine eingebaute Flash-„Disk“.

Zwar wird vom internen RAM die Hälfte für den Grafikspeicher benötigt, der Rest reicht aber immer noch für BASIC-Programme mit 1000 Zeilen und mehr. Damit kann man durchaus schon etwas an-

Interpreter

In der großen Heimcomputer-Ära waren interpretierende Programmiersprachen eher die Regel als die Ausnahme. Der Programm-Quelltext wird hier nicht einmalig mit einem Compiler in Maschinencode überführt, sondern direkt ausgeführt – von einem Interpreter, der den Quelltext Zeile für Zeile, Zeichen für Zeichen analysiert und über seine Bibliotheksfunktionen abarbeitet.



Unser erster Realisierbarkeits-Prototyp arbeitete noch mit einem alten Display der Sony Playstation Portable. Inzwischen sind aber billigere und bessere TFTs erhältlich.

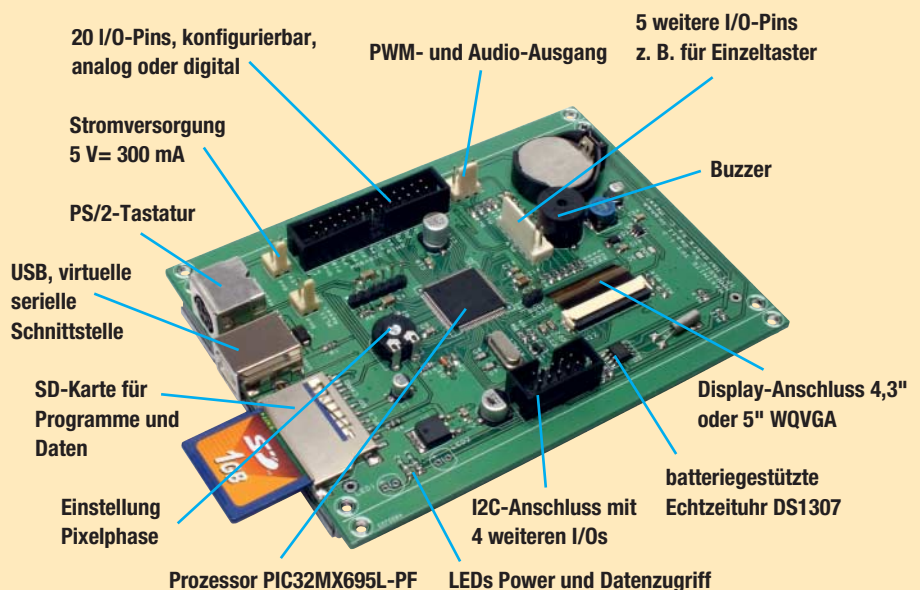
fangen – schließlich sind die BASIC-Befehle sehr mächtig, und man muss sich bei der Programmierung nicht im Kleinteiligen verlieren.

Die größte Stärke des PIC32-Controllers sind aber seine SPI-Schnittstellen, die erstens einen herausgeführten Framing-Start-Eingang besitzen und zweitens von einer eingebauten DMA-Einheit mit Daten versorgt werden können. Das ist für die Video-Erzeugung essenziell, wie wir später zeigen werden.

Der komplette TFT Maximite findet samt Display und allen Hilfsbausteinen auf einer Platine mit den Abmessungen 121 mm × 78 mm Platz, die kaum größer ist als das Display selbst. Dabei wird das Display „huckepack“ auf der Lötseite der Platine montiert, so dass alle Anschlüsse gut zugänglich sind. Zum Betrieb wird lediglich ein 5V-Netzteil mit wenigstens 300 mA Ausgangsstrom benötigt. Ein paar Zeilen BASIC-Code später haben Sie dann einen vollwertigen Steuerungscomputer mit Touch-Bedienung in den Händen.

TFT-Maximite Features

- Eigenständiger, autarker Panel-Mikrocomputer mit 32-Bit-Prozessor, Abmessungen 121 × 78 mm
- Takt 80 MHz, 512 KByte Flash-Speicher und 128 KByte RAM, davon ca. 60 KByte für eigene Programme
- 4,3"- oder 5"-Farbdisplay mit Touchscreen, WQVGA-Auflösung (480 × 272 Bildpunkte) bei 8 möglichen Farben; er gibt Textdarstellung mit 80 × 22 Zeichen, gemischt mit Farbgrafik
- Leistungsfähiger Fließkomma-BASIC-Interpreter, integrierter Fullscreen-Editor und FAT32-Filesystem, Grafikbefehle für Linien, Kreise, Rechtecke, verschiedene Fonts und Textgrößen, volle Unterstützung der Hardware-I/Os
- Stereo-Synthesizer über PWM-Ausgang für Audio-Effekte und Hintergrundmusik, kann MOD-Files abspielen
- Touchscreen-Befehle und Funktionen zum Anlegen und Auslesen von bis zu 32 grafischen Buttons, Slidern/Scrollbars und LEDs, automatisch animiert bei Berührung
- Tastatur-Anschluss mit PS/2-Buchse, USB-Anschluss als serielle „Konsole“
- 20 I/O-Leitungen, viele mit den zusätzlichen Funktionen Frequenzmessung, Impulsweitenmessung, Impulzzähler, Pulsweitenmodulation
- Audio-Ausgabe über PWM, analoge Spannungsmessung über internen A/D-Wandler, I2C, SPI und UART (bis 19 200 Baud)
- SD-Slot für SD-Karten mit FAT16 oder FAT32 bis zu 32 GByte als Programm- und Datenspeicher, sequenzieller oder Random-Dateizugriff
- Batteriegestützte Echtzeituhr (RTC)
- Firmware-Updates über USB und Bootloader
- Stromversorgung 4,5 bis 5 V/300 mA



Zur Anzeige gebracht

Unser erster Prototyp arbeitete noch mit dem Playstation-Display LQ043T3DX02 von Sharp. Das gibt es zwar nach wie vor als Ersatzteil, es ist mit 20 bis 30 Euro aber vergleichsweise teuer, zudem benötigt es einige Hilfsspannungen mit genau definierter Einschaltsequenz und wird ohne integriertes Touchpanel geliefert. Modernere, billigere und bessere Displays sind etwa die Typen HannStar HSD043I9W1-A, EastRising ER-TFT043-3, Innotech TF43014A und PJ43002A. Das PSP-Display ist mit unserer endgültigen Platine nicht mehr kompatibel, es besitzt zudem eine leicht abweichende Anschlussbelegung.

Der Standard-Zeichensatz des Maximite ist 10×5 Pixel groß, das ergibt auf diesen Displays 80 Zeichen pro Zeile und 22 Textzeilen. Besser lesbar ist allerdings der eingebaute 16×11 -Font, mit dem sich 36 Zeichen und 13 Zeilen pro Bildschirmseite ergeben. Den Default-mäßig verwendeten Zeichensatz kann man übrigens mit dem Befehl CONFIG FONT permanent einstellen.

Verschiedene Fonts und Grafik lassen sich nach Belieben mischen. MMBASIC kennt Grafikbefehle, mit denen man Linien, gefüllte und ungefüllte Kreise und Rechtecke zeichnen kann. Mit dem BLIT-Befehl zum Verschieben ganzer Grafikbereiche (auch selektiv nach Farben) sowie den SPRITES lassen sich sogar Spiele programmieren.

Zum „Instant Computing“ kann man eine (alte) PS/2-Tastatur anschließen und Befehle direkt ausprobieren; der Programm-Editor kennt sogar einige Funktionstasten. Das Tastaturlayout ist bei erster Inbetriebnahme auf US-Keyboards abgestimmt, mit CONFIG KEYBOARD GR kommt man (dauerhaft) an die deutsche Belegung.

Eine andere Möglichkeit, mit dem Maximite in Kontakt zu treten, besteht mit dem USB-Interface, das sich dem Host-Rechner über einen frei verfügbaren Treiber als virtuelle serielle Schnittstelle präsentiert. Man unterhält sich mit dem Maximite dann über ein Terminal-Programm (TeraTerm oder dgl.), wobei eine an den Maximite angeschlossene Tastatur aber weiterhin funktioniert. Textausgaben werden standardmäßig auf das TFT-Display und gleichzeitig auf die serielle USB-Verbindung geleitet (abschaltbar).

MMBASIC

Der wichtigste Teil der Maximite-Firmware ist der MMBASIC-Interpreter, der über 200 Befehle, Operatoren und Funktionen bietet. Aufgrund des Umfangs können wir hier nur auf wenige Details eingehen, wir halten aber die komplette (englischsprachige) Dokumentation zum Interpreter und den Touch-Erweiterungen zum Download (siehe c't-Link am Ende des Artikels) bereit.

Variablen in MMBASIC können einfach genaue Fließkomma-Zahlen (intern gespeichert als 32-Bit-Floats) oder Strings mit bis zu 255 Zeichen sein, Variablennamen dürfen 32 Zeichen umfassen. Besonders hilfreich sind die leistungsfähigen Funktionen

Mit dem TFT Maximite aufgebautes Messgerät für Elektronenröhren, unter Verwendung der UNIC-Platine des c't-Lab-Projekts. Das BASIC-Programm zeigt Messwerte wie Anodenstrom und dynamische Steilheit an, die zusätzlich in einer Art Oszillogramm aufgezeichnet werden.



zur String-Manipulation. Mit rund 30 000 Zeilen pro Sekunde ist der Interpreter ausreichend schnell, um auf externe Events und Nutzereingaben rasch zu reagieren; die Latenzzeit der praktischen Interrupt-Funktionen liegt in der Regel bei unter einer Millisekunde.

MMBASIC ist weitgehend kompatibel mit dem Original-Microsoft-BASIC, dereinst als GWBASIC oder MBASIC bezeichnet; es genügt mit seinen SUB/ENDSUB-, DO/WHILE/LOOP- und IF/THEN/ELSE/ENDIF-Konstrukten aber auch dem erweiterten ANSI-Standard X3.113-1987. Labels und Zeilennummern sind nach wie vor zulässig, aber nicht mehr unbedingt nötig – besser man programmiert strukturiert und ohne Spaghetti-GOTOs.

Es sei an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen, dass der TFT Maximite seine „Entwicklungsumgebung“ quasi mitbringt – in Form des eingebauten Editors. Der ist insbesondere dann praktisch, wenn man auf einen Programmfehler stößt und diesen im Handumdrehen beseitigen kann. Er taugt dank der interpretierten Programmabarbeitung aber auch für spontane Programmideen und zur Evaluierung: So ist „mal eben“ ein I2C- oder SPI-Baustein angeschlossen und mit einem BASIC-Fünfzeiler abgefragt – derart fix ist man weder mit Arduino noch mit Raspberry Pi direkt an der Hardware.

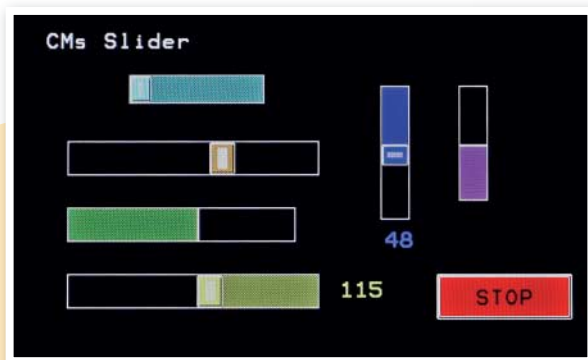
Das mit dem MMBASIC-Editor entwanzte Programm kann natürlich auf SD-Karte zurückgeschrieben werden. Es ist als ganz normaler Text lesbar, also nicht „tokenized“, und lässt sich deshalb auch mit einem Texteditor am PC bearbeiten. Für den beliebten UltraEdit haben wir eine „Word-Files“-Ergänzung vorbereitet, das die MMBASIC-Schlüsselwörter hervorhebt (Syntax Highlighting).

Spieltrieb

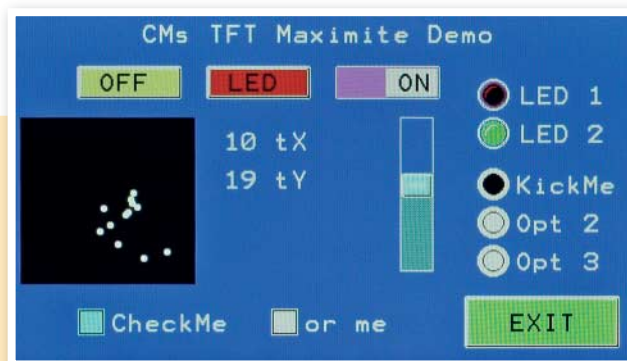
Bislang waren wir nur die „ernsthaften“ Anwendungen für Embedded- und Steuerungszwecke eingegangen, der Maximite hat aber noch eine andere Seele: Als Spielmaschine. MMBASIC enthält eine ganze Reihe an Befehlen, die die Spieleprogrammierung erleichtern. So stehen für den VGA-Maximite auch schon etliche Spieleklassiker (kos-

Tokens

Heimcomputer-BASICs verringerten den Speicherbedarf durch so genannte Tokens, das sind ein Byte lange „Kürzel“ für häufig verwendete Schlüsselwörter der Programmiersprache – etwa 131 für die Zeichenfolge „PRINT“. In der Folge waren die BASIC-Programmtexte nur noch maschinenlesbar. Der Maximite verwendet – mehr aus Geschwindigkeitsgründen – ebenfalls Token, die aber erst mit dem Laden eines Quelltextes in den Hauptspeicher eingefügt und beim Speichern wieder in Text übersetzt werden. Auf Datenträger befinden sich deshalb immer nur BASIC-Programme, die mit jedem Texteditor lesbar sind.



Touch-Slider lassen sich mit und ohne Bedienknopf, horizontal oder vertikal und in beliebiger Länge realisieren. Für jeden Slider ist nur eine einzige Programmzeile verantwortlich.



An Touch-Funktionen stehen Buttons, Schiebeschalter, Check-boxen, Drucktasten und Slider zur Verfügung, die sich mit einigen zusätzlichen Parametern leicht „personalisieren“ lassen.



Auch dieses Menü zum Starten der auf SD-Karte vorhandenen BASIC-Programme ist in wenigen Zeilen programmiert. Beim Berühren der Dateinamen und der „Touch Items“ gibt es eine hilfreiche akustische Rückmeldung über den eingebauten Beeper.

tenlos) zur Verfügung – von Pacman- bis Space-Invaders-Adaptionen.

Animationen erleichtert der BLIT-Befehl ungemein: Statt Pixel für Pixel zu kopieren, verschiebt er ganze Teile des Bildschirminhalts – auf Wunsch nach Farbe getrennt, so dass ein Hintergrundmuster stehenbleibt. Außerdem ermöglicht er eine schnelle grafische „Reproduktion“, etwa um aus einem einzelnen Breakout-„Stein“ eine ganze Wand zu mauern. Der komplette Schirminhalt lässt sich übrigens mit dem LOADBMP als Bitmap von SD-Karte laden (z. B. für Hintergründe).

Und was wäre ein Heimcomputer ohne Sprites, jene frei verschiebbaren Pixelgruppen, ohne die schnelle Animationen kaum denkbar sind? Beim Maximize ist ein SPRITE ein 16 × 16 Pixel großes Grafikobjekt, das beliebig über den Bildschirm verschoben werden kann, ohne eine bereits bestehende Grafik (dazu gehört auch Text) zu stören. Die Kollision mit anderen Sprites oder mit dem Bildschirmrand ist sehr einfach zu ermitteln.

Berührt – geführt!

Bei einem Einsatz im Embedded-Bereich, etwa zur Steuerung einer Messeinrichtung oder als intelligentes Display, kommt dagegen der Vorrat an Touch-Befehlen zum Tragen. MM BASIC kümmert sich selbst um das Zeichnen eines Buttons oder eines Scroll-Sliders, wenn man ein solches „Touch

Uhrzeit und mehr

Die quartzgenaue Uhrzeit stellt eine RTC vom Typ DS1307 bereit – den Chip kennen Sie womöglich schon von der „WordClock“ aus der letzten c’t-Hacks-Ausgabe. Der DS1307 bietet noch ein paar Bytes batteriegepuffertes RAM, das wir zur Speicherung der Touchscreen-Kalibrierung nutzen. Im Unterschied zu den AVR-Controllern besitzt der PIC32 kein internes EEPROM, das sich sonst für derlei Zwecke angeboten hätte.

Item“ zu Beginn des Programms mit dem Befehl TOUCH CREATE (nebst einigen Parametern zur laufenden Nummer, Position, Farbe und Typ des Items) angelegt hat. Bis zu 32 Touch Items lassen sich gleichzeitig anlegen, wobei jedem eine eindeutige Referenznummer zwischen 0 und 31 zuzuweisen ist; so lange man sie mit TOUCH REMOVE nicht deaktiviert, reagieren sie fortan auf Berührung.

So schaltet der „Schiebeschalter“ bei jeder Berührung um, die Slider-Position ändert sich mit der Position des wischenden Fingers, ganz ohne dass eine Intervention seitens des BASIC-Anwenderprogramms notwendig ist. Das hat nur die Aufgabe, den Item-Wert mit der TOUCHVAL()-Funktion (unter Angabe der Item-Referenznummer) irgendwann auch abzufragen und auszuwerten – einfacher geht es kaum. Bei den normalen Buttons wird die „Gedrückt“-Position so lange gespeichert und angezeigt, bis das BASIC-Programm sie ausliest; so kann kein Tastendruck verlorengehen.

Wurde zum Beispiel eine weiße Checkbox als Item Nummer 9 mit TOUCH CREATE 9,100,50, „CheckMe“, white,C angelegt, liefert die Funktion TOUCHVAL(9) ihren Zustand jederzeit als Zahlenwert, entweder 0 für „nicht angekreuzt“ oder 1 für „angekreuzt“. Man kann TOUCHVAL aber auch als Zuweisung benutzen: TOUCHVAL(9)=1 setzt den Zustand der Checkbox programmgesteuert auf „angekreuzt“. Die Funktion TOUCHED() liefert da-

Video mit Trick 17

Wir gehen deshalb so genau auf die Video-Erzeugung ein, weil das trickreiche, recht ungewöhnliche Verfahren vielleicht auch für andere Projekte in Frage kommt – wobei sich zwar das Timing, nicht aber das Prinzip von der VGA-Version unterscheidet. Also nicht abschrecken lassen, zum Betrieb des Maximite müssen Sie sich die folgenden Absätze nicht merken!

Wir missbrauchen drei SPI-Schnittstellen zur pixelweisen Ausgabe der Videodaten, je eine für jede der drei Grundfarben. Das ginge mit anderen Prozessoren zwar auch, aber: Die SPIs lassen sich im PIC32 mit der DMA-Einheit (Direct Memory Access) verbinden. Man übergibt der DMA lediglich RAM-Startadresse und Blocklänge, um die weitere Übertragung und die Ausgabe per SPI muss der PIC32 sich dann nicht mehr kümmern – zum Glück, denn mit den drei Pixel-Streams kommt eine Übertragungsrate von 60 MBit/s zusammen.

Das DMA-Setup kann natürlich auch in einem Interrupt geschehen. Hier setzt ein zweiter Trick an: Ein frei laufender Timer liefert etwa alle 32 μ s (entsprechend der Display-Zeilenfrequenz von 32 kHz) einen

3,8 μ s langen Impuls. Seine erste Flanke löst einen Interrupt aus, der die drei aktuellen Adressen (für jede Farbe eine) der Pixelzeile an die DMA-Einheiten übergibt und die bitweise Ausgabe der Video-Daten per SPI vorbereitet.

Die drei SPIs starten aber nicht sofort, sondern warten auf eine Freigabe an ihren drei parallel geschalteten Framing-Eingängen. Die sind über ein RC-Verzögerungsglied mit dem Sync-Timer-Ausgang verbunden: Sobald der nach Abschluss des 3,8- μ s-Impulses wieder auf „high“ geht, legen die SPIs los und tickern die Video-Bits an das Display. Das TFT-Display benötigt im Unterschied zum VGA-Monitor noch einen Pixeltakt, hier identisch mit dem SPI-Takt und ohnehin am SCK-Pin präsent.

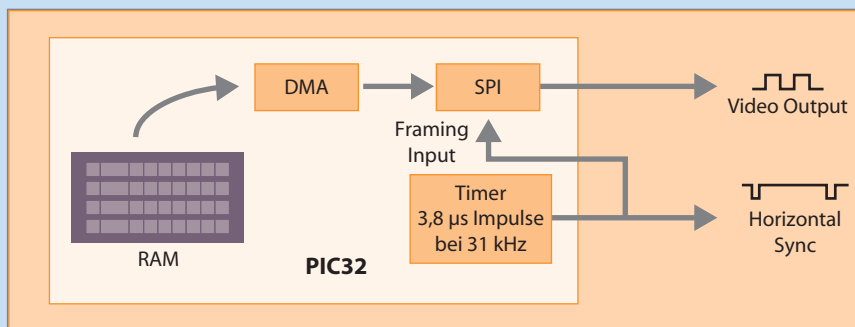
Zwischen Framing-Start und Bitausgabe vergeht beim PIC32 eine gewisse Latenzzeit – die ist leider durch einen kleinen Hardware-Bug im Prozessor nicht konstant. Damit auch wirklich ein ausgegebenes Pixel auf ein Display-Pixel trifft und



Einen Textmodus im herkömmlichen Sinn kennt der TFT Maximite nicht – Text wird grundsätzlich als Grafik gezeichnet. Man kann PRINT-Ausgaben und Zeichenbefehle deshalb beliebig mischen.

eine farbschattenlose, pixelgenaue Darstellung entsteht, ist die Verzögerungszeit des erwähnten RC-Glieds einstellbar. Sie muss nur einmal nach Aufspielen einer neuen Firmware abgeglichen werden.

Eine komplette Video-Zeile auszugeben, macht der Prozessor also mit links: Er muss ja im Prinzip nur die RAM-Adresse der Video-Zeile errechnen (her natürlich dreimal für die drei Grundfarben) und übergeben. Die für Anwendungen verlorene Rechenzeit durch die Video-Ausgabe ist mit 3 Prozent denn auch gering.



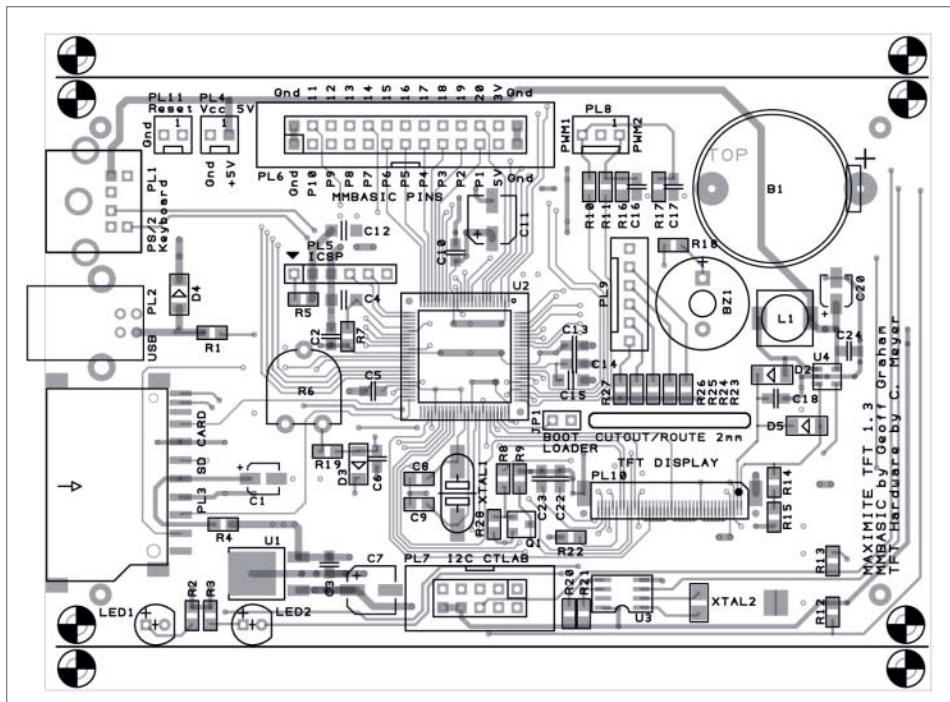
Dank der direkten Anbindung der DMA-Einheit an die SPI-Schnittstelle des PIC32 kann man mit letzterer auch Videodaten ausgeben. Der Rechenzeit-Overhead für die DMA-Interrupts ist mit 3 Prozent relativ gering.

gegen eine „1“, wenn das gewählte Item in der Zwischenzeit überhaupt wenigstens einmal berührt wurde – unabhängig vom Zustand.

Normale Buttons (Typ B) springen nach der TOUCHVAL()-Abfrage übrigens automatisch in ihren Ausgangszustand zurück – im Unterschied zu allen anderen Item-Typen, die ihren Zustand (an oder aus, ebenso die Slider-Position) beibehalten. Zu jedem Item gibt es weitere Optionen, die sich einem am leichtesten anhand der Beispielpprogramme erschließen. Bei den Slidern kann man zum Beispiel angeben, ob der Bereich ober- oder unterhalb beziehungsweise links oder rechts vom Bedienknopf mit der Item-Farbe gefüllt, ob der Be-

dienknopf unterdrückt und nur eine weiße Linie gezeichnet wird oder ob der Slider überhaupt auf Berührung reagieren soll – vielleicht möchte man ihn ja auch nur als simple Balken-Anzeige nutzen.

Die Größe eines Touch Items in X- und Y-Pixeln gibt man nach Bedarf mit TOUCH SIZE vor; sie gilt für alle fürderhin angelegten Items. Nebenbei bestimmt sie auch den Maximalwert, den ein Slider liefert (Minimalwert eines Sliders ist immer 0, Bedienknopf links oder unten). Insgesamt kommt man durch die mächtigen Befehle und das automatische Handling der Touch Items im Handumdrehen zu einer professionell wirkenden Bedienoberfläche, mit einem Minimum an Programmier-



Nur Trimpoti, Knopfzelle, Buzzer und die Steckverbinder sind beim Aufbau des Bausatzes noch zu bestücken; achten Sie auf deren Ausrichtung. Das USB-Kabel kann auch zur Stromversorgung, etwa über ein USB-Steckernetzteil, dienen.

aufwand. Der ist in der Regel sogar geringer, als wenn man eine Steuerung mit angeschlossenen „echten“ Tastern (die wiederum wertvolle Portleitungen belegen) oder dem PS/2-Keybord versehen würde.

Ablage SD

Ohne die Möglichkeit, Programme oder Daten aufzurufen und abzuspeichern, wäre der TFT Maximize nur die Hälfte wert. Hier haben Sie zwei Möglichkeiten: Eine kleinere (aber sehr schnelle) „Flash Disk“ steht mit dem noch freien internen Flash-Speicher des PIC32 zur Verfügung, die sich als Drive A: meldet (kommt Ihnen das bekannt vor?). Deutlich mehr Platz hat man auf der SD-Karte, in MMBASIC als Drive B: benannt, für die auf der Platine ein Kartenslot vorgesehen ist.

Ein direkter Datenaustausch mit PCs oder Macs ist möglich, da Maximize das FAT16- und FAT32-

Unsere Platine kann mit einem 4,3"- oder 5"-WQVGA-Display bestückt werden. Die Anschlüsse der Power- und Datenzugriff-LEDs sind allerdings nur mit dem kleineren Display von oben zugänglich.



Filesystem beherrscht; Medien bis 32 GByte sind kein Problem, auch mit Ordnern und Pfaden kann MMBASIC umgehen. Bis zu zehn Dateien dürfen gleichzeitig zum Lesen und Schreiben geöffnet sein. Damit macht der Maximize auch als Datenlogger eine gute Figur, zumal ja auch ein Echtzeit-Uhrenchip mit Batteriepufferung eingebaut ist. Geoff Grahams neueste MMBASIC-Version 4.4 kann Dateien nicht nur sequenziell bearbeiten, sondern bietet auch einen wahlfreien Zugriff auf Zeichenebene.

Unterhaltungswert

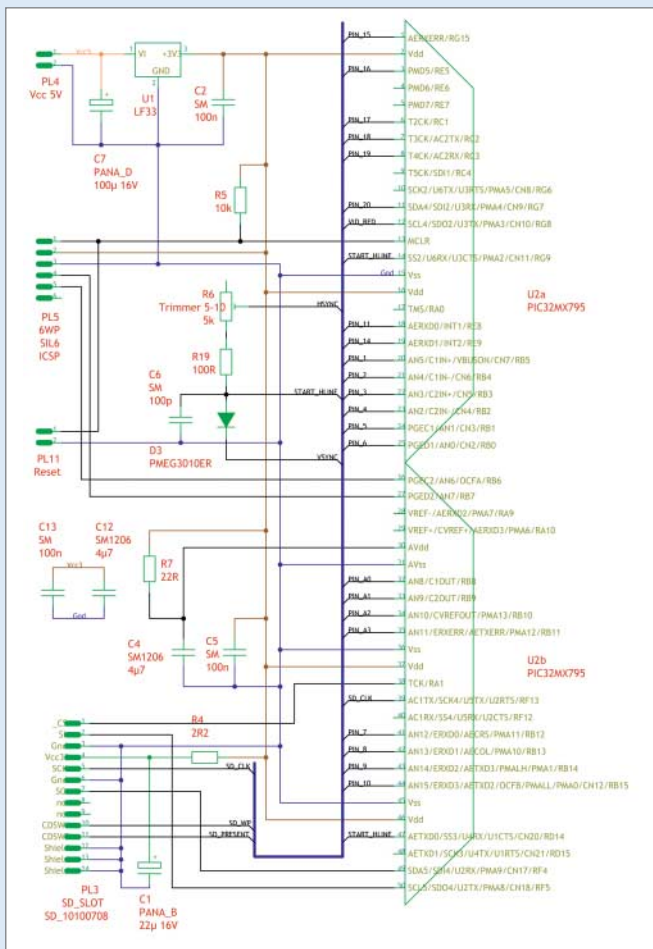
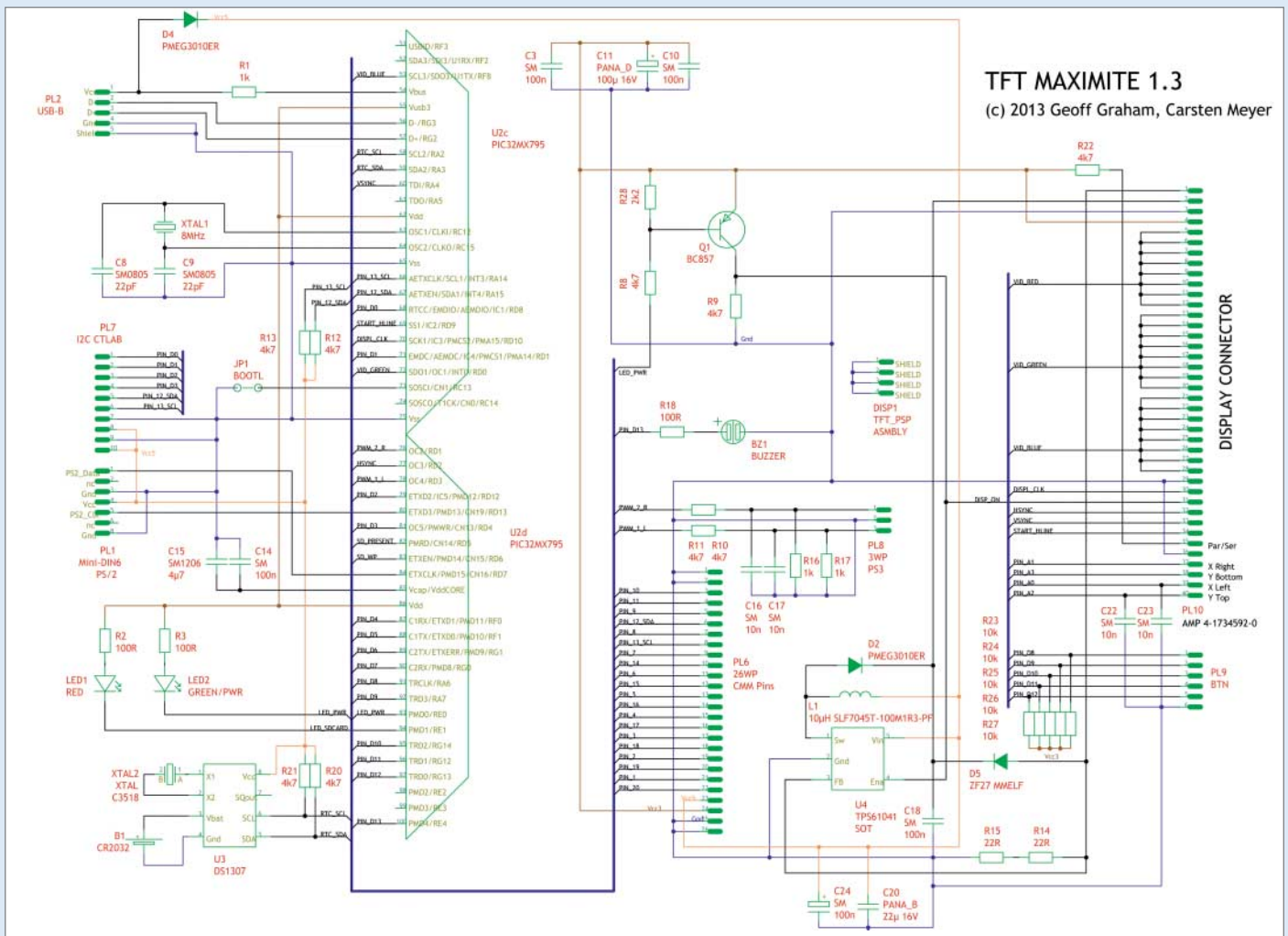
Kommunikation wird beim TFT Maximize großgeschrieben, auch wenn im Vergleich zur VGA-Version einige Portleitungen aus Platzgründen nicht zur Verfügung stehen. Den zur Ur-Version kompatiblen 26-poligen Steckverbinder mit seinen 20 vielfältig nutzbaren I/O-Leitungen (siehe oben) und den Betriebsspannungen (3,3 V, 5 V und Masse, wobei die 3,3 V auf der Platine selbst gewonnen werden) gibt es aber weiterhin. Daneben haben wir einen 10-poligen Steckverbinder vorgesehen, der neben vier weiteren I/Os den I2C-Port herausführt. Er ist mit dem Panel-Anschluss des c't-Lab kompatibel – in dieser Richtung wird uns sicher noch so einiges einfallen.

Sämtliche 20 (+4) Ports lassen sich als Ein- oder Ausgang konfigurieren. Davon sind allerdings nur einige 5V-tolerant; der normale High-Pegel des Maximize ist 3,3 V. Beim Anschluss an 5V-Schaltungen empfiehlt sich ein Vorwiderstand von 220 Ohm in jeder I/O-Leitung. Durch die eingangsseitigen Schmitt-Trigger des PIC32 liefern auch „langsame“ Pegeländerungen saubere Flanken. Obacht: Beaufschlagt man die 3,3V-Ports mit 5 V, kann der PIC32 beschädigt oder zerstört werden!

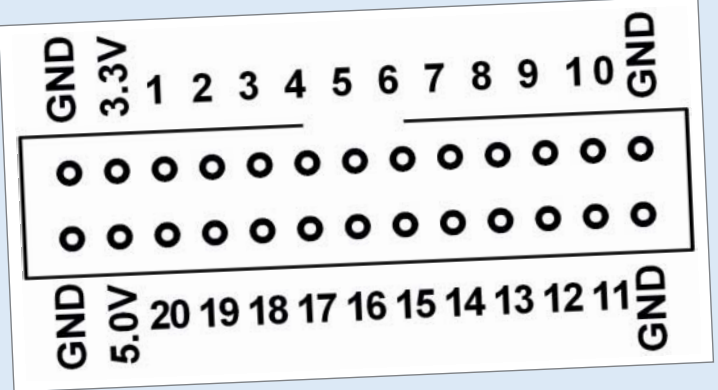
Als Ausgangsports geschaltete Pins liefern oder ziehen wenigstens 10 mA, typisch sind 18 mA. Das

TFT MAXIMITE 1.3

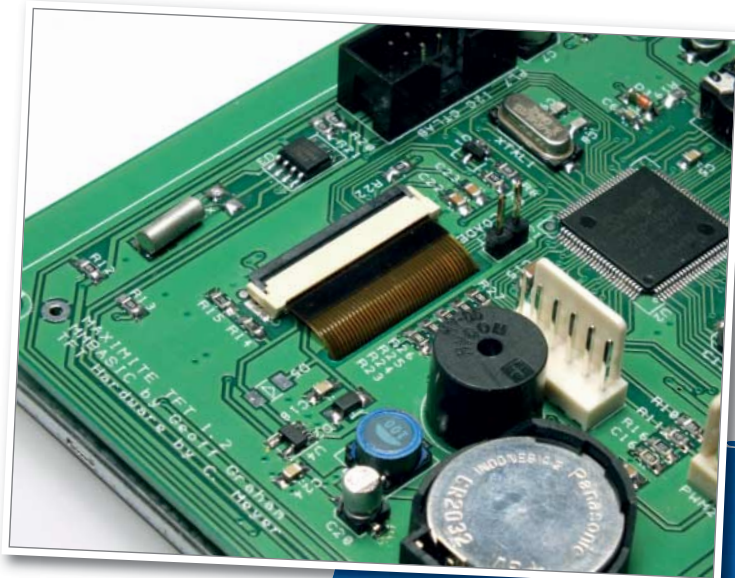
(c) 2013 Geoff Graham, Carsten Meyer



Trotz vieler Verbindungen ist die Maximite-Schaltung eigentlich einfach – einziges nennenswert aktives Bauteil ist der PIC32-Controller. Der Uhrenchip speichert nebenbei noch einige Touchscreen-Parameter in einem nichtflüchtigen RAM.



Anschlussbelegung des I/O-Steckverbinders. Unter den angegebenen Nummern sind die Pins in MMIO-BASIC ansprechbar.



Die Buchse für den Folienstecker ist bereits aufgelötet. Zum Einführen des Folienkabels muss die Verriegelung etwas herausgezogen werden.

reicht für LEDs völlig aus (Vorwiderstand nicht vergessen), bei Relais oder Lampen sollte man eine Treiberstufe vorsehen, etwa in Form der Darlington-Arrays ULN2003 (7-fach), ULN2803 (8-fach) oder als Einzel-Transistoren. Die I/O-Pins 11 bis 20 (in Maximite-Nomenklatur, nicht identisch mit der Stecker-Pinnummer!) tolerieren auch 5 V als Eingangsspannung, außerdem kann man sie als Open-Drain-Ausgang konfigurieren. Das erleichtert das Zusammenspiel mit 5V-Schaltungen.

Pin 1 bis 10 können als analoge Eingänge konfiguriert werden, die PIN()-Funktion liefert dann die exakte Eingangsspannung von 0 bis 3,3 V; bei höherer Spannung sieht man einen einfachen Spannungsteiler vor und berichtet dessen Teilfaktor dann im Programm. Das c't-Lab-Projekt von 2007 (unter www.ct-lab.de noch online) stellte mit DIV und EDL Schaltungen vor, mit denen man beliebige Spannungen und Ströme messen konnte – ein Blick darauf lohnt auch heute noch. Mit den zehn Analogpins erhält man praktisch ein Zehnkanal-Digitalvoltmeter, und mit entsprechenden Messwandlern kann man auch Größen wie Temperatur, Beschleunigung oder Widerstand messen.

Zwei serielle Ports stehen am Steckverbinder ebenso zur Verfügung, als maximale Baudrate ist hier 19 200 einzustellen (die Übertragung muss der Interpreter wegen der Belegung einiger PIC32-Interna mit der Video-Logik „zu Fuß“ erledigen). Der I2C-Bus arbeitet dagegen mit voller Geschwindigkeit bis 400 kHz; ferner gibt es noch SPI mit einstellbarer Clock-Polarität und den 1-Wire-Bus, zum Beispiel für verschiedene Dallas-Chips. Und zu guter Letzt lassen sich vier Pins als Frequenzzähler (bis 200 kHz) schalten, eine Periodenmessung oder Ereigniszählung ist ebenso möglich. MM BASIC unterstützt alle diese Funktionen, ohne dass man sich um die PIC32-Interna kümmern müsste.

Die Schaltung

Gemessen an seinen Fähigkeiten ist die Schaltung des TFT Maximite eher simpel – sie passt auf eine einzige A4-Seite (siehe Seite 123). Die meisten Steckverbinder, USB- und PS/2-Buchse, der SD-Kartenslot, das Display und die Echtzeituhr sind direkt mit dem PIC32 verbunden.

Die drei SPI-Datenausgänge führen zu den Farbdaten-Eingängen des Displays. Da der TFT Maximite nur acht Farben (nämlich sämtliche Kombinationen der drei Grundfarben Rot, Grün und Blau) erzeugen kann, sind die acht Bits jedes Display-Farbkanals parallel geschaltet. Der SPI-Takt des Grün-Kanals wird als Pixeltakt herangezogen.

Wie bereits im Textkasten zur Video-Erzeugung erwähnt, wird der von einem Timer erzeugte Horizontal-Sync-Impuls auf die Framing-Eingänge der SPI-Ports über ein einstellbares Verzögerungsglied (R6, C6) rückgekoppelt. Mit R6 stellt man den Zeilen-Start so ein, dass eine scharfe und zitterfreie Darstellung erfolgt. Hilfreich ist das Testprogramm TFTADJ.BAS: Beide Seitenlinien des angezeigten Rechtecks müssen sichtbar sein und dürfen keine Farbschatten aufweisen.

Die vier Anschlüsse des resistiven Touchscreens (liegen am 40-poligen Display-Foliensteckverbinder an) führen an vier sonst unbenutzte Analogeingänge des PIC32. Die Hintergrundbeleuchtung des Displays erfolgt durch weiße LEDs, deren Reihenschaltung eine relativ hohe Spannung bei konstantem Strom bedingt. Das erledigt der Schaltregler U4, ein winziges Bauteil im SOT-23-Gehäuse, dem eine Speicherdrossel und eine schnelle Diode beistehen. Aus den 5 V Eingangsspannung macht er rund 22 V für die Display-Leuchtdioden.

Da die meisten (Stecker-)Netzteile 5 V und nicht 3,3 V liefern, beschäftigt sich Low-Drop-Regler U1, ein LF33, mit der Aufbereitung der Prozessor-Betriebsspannung. Maximite zieht mit rund 270 mA an der 5-V-Leitung, bei voller Belastung der Ausgangspins können es auch 400 mA sein. Ein 0,5- oder 1-A-Netzteil sollte also in jedem Fall ausreichen. Die Platine versorgt sich übrigens auch ungefragt aus dem USB mit Strom, sie sollte deshalb nicht an einen USB-Hub ohne eigenes Netzteil angeschlossen werden; dessen Ausgänge bringen es nominal nur auf 100 mA.

Durch die vielen SMD-Kleinstbauteile wird es den TFT Maximite bei Segor in Berlin nur bereits SMD-vorbestückt geben. Die bedrahteten Bauteile sind allerdings noch nicht eingelötet, das ist jetzt Ihre (überschaubare) Aufgabe. Der Prozessor wurde hier bereits mit der Firmware programmiert, ein Update kann später übrigens jederzeit durch den eingebauten Bootloader über USB geschehen. Einen passenden Updater finden Sie unter dem c't-Link.

Zu den noch einzulötenden Bauteilen gehören die Steckverbinder für die Ports und die Stromversorgung, das Poti zur Einstellung der Pixel-Phase, der Summer, die USB- und PS/2-Buchse und der Knopfzellenhalter. Diese Arbeit sollte in einer halben Stunde erledigt sein. Hier ist lediglich auf die Ausrichtung der Steckverbinder zu achten.

TFT-Displays

Dank portabler Game-Konsolen, Navis und Smartphones sind kleine TFT-Displays heute recht gut erhältlich und preiswert. Noch vor fünf Jahren, als wir im Rahmen der c't-Lab-FPGA-Karte über ein ähnliches Projekt nachdachten, hätte allein das Display mit 150 Euro in der Stückliste gestanden. Durchgesetzt hat sich bei den 4,3"-Typen ein „Formfaktor“, der sich an das besagte Playstation-Portable-Display anlehnt, aber einfacher anzusteuern ist. Der verwendete Typ mit 40-poligem Folienstecker und paralleler Farbsteuerung über drei 8-Bit-Ports ist von einer Vielzahl chinesischer Hersteller erhältlich.

Das Display wird mit 3 bis 4 mm starken doppelseitigen Klebepads oder alternativ drei kurzen Klettband-Streifen auf der Lötseite der Platine befestigt; vor der endgültigen Fixierung sollten Sie die Baugruppe aber kurz über PL4 oder die USB-Buchse an 5 V hängen und die grundsätzliche Funktion überprüfen. Dazu kann man das Display auch erst einmal „lose“ dranhängen; es ist nur darauf zu achten, dass die Goldkontakte des Display-Foliensteckers zur Platine weisen, also nach unten. Nach dem Einschalten sollte das Display leuchten und die farbige Begrüßungsmeldung zeigen.

Arbeiten mit MMBASIC

Wie bereits erwähnt, ist der MMBASIC-Interpreter zum Microsoft-BASIC kompatibel, für das es viele fertige Programme und Etliches an Dokumentation im Internet gibt. Durch das bei einem Interpreter so bequeme „Trial-and-Error“-Programmieren dürfte der Einstieg selbst einem völligen Neuling leicht fallen.

Nach dem Einschalten präsentiert der TFT Maximize erst einmal seinen Befehls-Prompt (das „>-Zeichen). Die meisten Befehle können direkt eingetippt und ausprobiert werden: PRINT 1/7 liefert unmittelbar das Ergebnis 0.14285. Einige Befehle sind überhaupt nur bei direkter Eingabe sinnvoll, etwa der Befehl FILES, der ein Inhaltsverzeichnis der SD-Karte anzeigt. Üblicherweise wird man den Befehls-Prompt nutzen, um Programme mit RUN „dateiname“ zu laden und auszuführen. Wenn der TFT Maximize allerdings ein Programm namens „AUTO-RUN.BAS“ vorfindet, wird dieses nach dem Einschalten oder einem Reset automatisch geladen und ausgeführt; so kann man den Kleincomputer auch unbeaufsichtigt betreiben oder ein Menü-System starten.

Am Befehlsprompt kann man natürlich auch BASIC-Programmzeilen in der althergebrachten Methode durch Vorstellen einer Zeilennummer eingeben. Durch den mit EDIT erreichbaren Fullscreen-Editor kann man sich die Zeilennummern aber auch sparen. Der kleine Editor unterstützt Pfeiltasten-Navigation, viele Funktionstasten, Cut & Paste und bietet sogar eine Suchfunktion.

Das USB-Interface dient nicht nur zum Update der Firmware, falls eine neue MMBASIC-Version erscheint (aktuell ist Version 4.4A). Sofern nicht anders geheißen, gibt der BASIC-Interpreter sämtliche Textausgaben auch auf der damit realisierten virtuellen seriellen Schnittstelle aus und nimmt hier auch Befehle entgegen, als würde man sie direkt auf einer angeschlossenen PS/2-Tastatur eintippen. Außerdem können über USB am PC erstellte Programme hochgeladen werden, da der Maximize das XMODEM-Protokoll beherrscht – das nutzten zum Beispiel die Tools MMIDE von Circuit-Gizmos oder MMedit von C-Com, beide sind kostenlos beziehungsweise „Donateware“.

Firmware-Updates gibt es auf der Seite des Autors Geoff Graham, für den TFT Maximize zusätzlich auch mit einigen Beispielprogrammen und Demos

Touchscreen

Ein resistiver Touchscreen arbeitet im Prinzip wie ein Widerstands-Spannungsteiler: Legt man an die X-Elektroden eine Spannung an, kann man an einer der Y-Elektroden eine Spannung messen, die von der X-Koordinate der Berührung abhängig ist; Gleiches gilt in anderer Richtung für die Y-Elektroden, bei der einer der X-Anschlüsse als Spannungsmesspunkt dient. Das Messen und Umschalten erledigen die Ports und Analogeingänge des Controllers in Verbindung mit einer kurzen Programmsequenz in der Firmware.

in unseren Git-Repository (siehe c't-Link unten). Zum Update wird das Programm „bootloader.exe“ (und natürlich ein Windows-PC) benötigt, das hier ebenfalls zu finden ist.

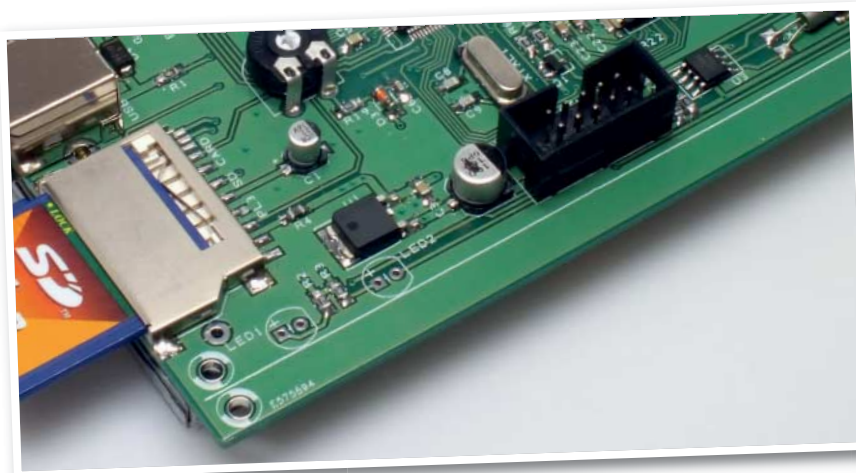
Zum Update steckt man Jumper JP1 und schaltet dann ein. Der Bildschirm blinkt nun hektisch und zeigt damit an, dass sich der TFT Maximize im Bootloader-Modus befindet. Nun die Platine über USB mit dem PC verbinden und „bootloader.exe“ starten: Mit „Load Hex File“ wählt man zunächst das Update in Form der mit dem Download erhaltenen .HEX-Datei aus, klickt dann auf „Program Device“ und wartet ein bis zwei Minuten auf die Programmierung und Verifizierung des Speicherinhalts. Sobald der Bootloader dies erledigt hat, blinkt der Bildschirm deutlich entspannter. Nun den Jumper abziehen und Maximize aus- und wieder einschalten.

BASIC-Erweiterungen

Bitte nicht weiterlesen, falls Sie mit dem vorliegenden TFT Maximize vollauf zufrieden sind – die folgenden Absätze wenden sich nur an diejenigen, die MMBASIC mit speziellen eigenen Befehlen und Funktionen erweitern möchten. MMBASIC wurde mit dem ANSI-C-kompatiblen MPLAB-C32 von Microchip geschrieben; der Autor versendet die Sourcen auf Anfrage gern an interessierte Privatpersonen. Ein Anfrage-Formular findet sich auf www.mmbasic.com, die Sourcen erhält man dann per E-Mail. Wer als Firma oder Institut die Sourcen erhalten möchte, muss allerdings einen Vertrag mit dem Autor Geoff Graham aushandeln.

Zur Neu-Kompilierung benötigt man lediglich die kostenlose MPLAB-IDE von MicroChip und die Freeware-Version des C32-Compilers. Wir machten mit Version 8.9 gute Erfahrungen, die man im MicroChip-Compilerarchiv findet. Das ganz aktuelle MPLAB X wurde nicht getestet und dürfte auch keine Vorteile bringen. Um einen fabrikneuen PIC32-Chip (ohne Bootloader!) mit der Firmware zu programmieren, benötigt man ferner den Programmer PickIt 3 von Microchip, der etwa 70 Euro kostet.

Wird das 4,3"-TFT verwendet, kann die Platine entlang der weißen Linien abgesägt werden – natürlich vor der Endbestückung. Man spart dadurch einige Millimeter Höhe.



Wie alles begann – die Maximite-Story

Geoff Graham

Eigentlich fing alles mit den frühen Heim- und Personal-Computern der frühen 80er-Jahre an, wie dem Commodore C64 oder dem Apple. Damit bin ich praktisch aufgewachsen und hatte viel Spaß – man schaltete sie einfach ein und probierte am Befehlsprompt einfach Dinge aus. Die späteren Generationen an Macs und PCs waren zwar aus Anwendersicht besser zu handhaben, ließen aber jene Einfachheit vermissen, mit denen man eigene Programmierideen verwirklichen konnte.

Als Microchip die PIC32-Serie vorstellte, die mit üppigem Flash-Speicher und reichlich RAM gesegnet war, überlegte ich, ob es nicht möglich sei, mit einem einzigen PIC32 einen vollständigen Retro-Computer aufzubauen. Die Hardware war vorhanden – doch wie schwierig würde sich das Schreiben eines Interpreters gestalten, und wie könnte man eine einfache Video-Ausgabe realisieren?

Zum Glück fand ich das exzellente Buch „Programming 32-Bit Microcontrollers in C“ von Lucio Di Jasio. Der Autor beschreibt hier eine Möglichkeit, mit Hilfe einer SPI-Einheit ein monochromes Video-Signal zu erzeugen, mit dem man zum Beispiel ein TV-Gerät oder einen VGA-Monitor ansteuern konnte. Ein ähnliches Verfahren nutzte 1980 schon Sinclairs ZX80. Allerdings musste der noch ohne DMA und Hardware-SPI auskommen – die Z80-CPU beschäftigte sich eigentlich mit nichts anderem als der Video-Erzeugung, nur in der Vertikal-Austastlücke stand etwas Zeit zum Abarbeiten des BASIC-Programms zur Verfügung. Dank DMA liegt der Rechenleistungsverlust dagegen nur bei 3 Prozent.

Mit der zweiten Komponente, dem BASIC-Interpreter, war indes eine härtere Nuss zu knacken. Anfangs hoffte ich noch, einen Open-Source-Interpreter als eine Art Drop-in-Modul verwenden zu können, doch die meisten Elaborate verließen sich auf ein grafisch orientiertes Betriebssystem.

Letztendlich fand ich mit Bywater BASIC von Ted A. Campbell einen in Frage kommenden Kandidaten. Etwas irritierend fand ich allerdings die begleitende Dokumentation. Die behauptete, dass bwBASIC dereinst von Campbells Großmutter Verda Spell geschrieben worden sei, die eine Diskette mit den Sources in ihrem Nähkästchen versteckte und später bei einem Unfall ums Leben kam. Ein Scherz? Zumindest war der Interpreter ganz real.

Den Interpreter zum Laufen zu bekommen, war dann aber schwerer als gedacht – neben der komplizierten Struktur plagten mich unzählige Bugs. Nach acht Wochen hatte ich die Nase voll: Es musste einen anderen Weg geben, als sich durch die Fehler anderer zu wühlen. Aber welchen? bwBASIC war als einziger Kandidat übriggeblieben. Dann eine kühne Idee: Alles wegwerfen und den Interpreter komplett selbst schreiben; genug Erfahrung mit dem Interpreter-Bau hatte ich ja gesammelt. Ich gab mir eine Deadline von sieben Tagen.

Mit wenig sozialen Kontakten und noch weniger Schlaf gab es nach einer Woche tatsächlich ein Erfolgserlebnis – die grundlegende Struktur arbeitete gut, und nach einer weiteren Woche war der Interpreter samt (monochromer) Video-Ausgabe über SPI fertig. Die Entwicklung blieb über die folgenden Monate aber nicht stehen; ein erster krönender Abschluss war meine Bauanleitung in einer australischen Computerzeitschrift. Dank dieser fand das Design tausende Nachbauer in der ganzen Welt. Weitere Meilensteine waren dann die erste Farb-Version namens Colour Maximite und schließlich der hier vorgestellte TFT Maximite.

Der Colour Maximite 2 wird von CircuitGizmos für rund 50 US-\$ angeboten. Zum Betrieb benötigt man nur Tastatur und VGA-Monitor.



MMBASIC macht es dem Entwickler besonders leicht, eigene Befehls-, Funktions- oder Operator-Erweiterungen zu implementieren. Als Beispiel soll hier eine zusätzliche Funktion namens eConst dienen, die die Eulersche Konstante $e = 2,7182818$ zurückliefert.

In den MMBASIC-Sourcen finden sich die (noch leeren) Templates MMCustome.c und MMCustome.h. In MMCustome.c definiert man nun die eigene Funktion, hier also

```
void fun_econst(void) {
    fret = 2.182818;
}
```

fret ist dabei eine Variable, in der der Interpreter das Funktionsergebnis erwartet. In MMCustome.h muss man nun noch die Funktionsdefinition einfügen, was den BASIC-Funktionsnamen mit der eben beschriebenen C-Funktion verbindet:

```
{" eConst", T_FNA | T_NBR, 0, fun_econst },
```

Dieses Define wird bei der Kompilierung mit den Optionen T_FNA (ist eine Funktion) und T_NBR (liefert eine Zahl) automatisch in die Token-Liste eingefügt. Ein Befehl hätte übrigens die Option T_CMD. Am besten, man orientiert sich hier am vorhandenen Befehlsschatz – die Art und Weise der Implementierung ist immer gleich. (cm)



Links und Foren
www.ct.de/ch1304116