Systemhandbuch Zelle

Burkhard Kainka

Vorwort

Die Arbeit mit dem Computer ist in den allgemeinbildenenden Schulen heute weit verbreitet. So wird z.B. im naturwissenschaftlichen Unterricht die Ausführung von Messungen von Computern unterstützt. Immer mehr wird dabei die Messung von Umweltdaten auch außerhalb der Schule interessant. Dazu sind geeignete Datenerfassungsgeräte erforderlich.

In einer Arbeitsgruppe am Landesinstitut für Schule und Weiterbilgung des Landes Nordrhein-Welstfalen in Soest wurde der Plan zum Bau eines autonomen Meß- und Steuersystems entwickelt. Es wurde "Zelle" genannt, weil es die intelligente Kernzelle in unterschiedlichsten Versuchen darstellt.

Die Zelle eignet sich einerseits als tragbares Datenerfassungsgerät für die unterschiedlichsten Aufgaben, andereseits aber auch als Elemet, das in einen größeren Aufbau als Steuerzelle eingesetzt werden kann.

Dieses Handbuch beschreibt die Hardware und Software der Zelle. Nach einer Einführung in die Grundlagen wird die Schaltung und das Betriebssystem der Zelle vorgestellt. Es folgt die Dokumentation der verschiedenen Software-Ebenen und schließlich Möglichkeiten der Hardware-Erweiterung.

Inhalt

1. Mikrocontroller-Grundlagen

Ein Mikrocontroller ist ein Mikroprozesor, der zusammen mit ROM, RAM, I/O-Ports, Timern und eventuell noch weiteren Elementen auf einen Chip gebaut wurde. Damit lassen sich Ein-Chip-Computer für feste Aufgaben aufbauen, da alle wesentlichen Elemente eines Computers bereits vorhanden sind. Selbst wenn weitere externe Elemente wie z.B. zusätzliches RAM, A/D-Wandler usw. angeschlossen werden, ergibt sich für kleinere Steueraufgaben meist ein wesentlich geringerer Hardware-Aufwand als dies mit üblichen Mikroprossoren (8085, Z80, 6502 usw.) möglich wäre.

Hier sollen nun die Mikrocontroller der 8048-Familie vorgestellt werden, um sie dann in der autonomen Meß- und Steuerzelle einzusetzen.

1.1 Die 8048-Familie

Der Einchip-Mikrocontroller 8048 wurde von der Industrie als universell einsetzbarer Steuercomputer für Konsumgüter entwickelt. Er findet sich heute in zahlreichen Geräten, von der Computertastatur bis zur Hifi-Anlage. In den meisten Fällen arbeitet der 8048 ohne jeden weiteren Baustein als selbständiger Computer. Dies ist möglich, da er bereits alle Element eines Rechners hat: Die CPU, RAM, ROM, Ein-/Ausgabeports und sogar einen Zähler bzw. Timer. Das ROM wird bei der Herstellung des Chips mit dem Programm des Anwenders fest programmiert. Diese Maskenprogrammierung bringt einen erheblichen Investitionsaufwand mit sich, so daß sie erst bei großen Stückzahlen angewandt werden kann. Für die Programmentwicklung und für kleine Serien wurden aber auch zum 8048 kompatible Bausteine (8748) entwickelt, die das interne ROM als EPROM enthalten und individuell programmiert und gelöscht werden können. Daneben gibt es auch noch eine ROM-lose Version (8035), die mit einem externen Programmspeicher arbeitet.

Der 8048 enthält einen Programmspeicher mit einer Größe von 1 K und ein RAM mit 64 Bytes. Weil sich dies für manche Anwendungen als zu wenig erwiesen hat, wurden der 8049 mit doppelter und der 8050 mit vierfacher RAM- und ROM-Größe gebaut. Auch hierzu sind ROM-lose und EPROM-Versionen erhältlich. Alle Versionen, auch die maskenprogrammierten, können mit externem Programmspeicher bis zu 4 K arbeiten. Deshalb ist auch ein fest programmierter 8048 oder 8049 für den Hobbyanwender nicht wertlos. Für eigene Versuche ist der Einstieg mit einem externen EPROM als Programmspeicher am wirtschaftlichsten. Ein einfaches System läßt sich leicht mit einem Bauteileaufwand unter 20 DM aufbauen. Wenn man bedenkt, daß damit die unterschiedlichsten Steueraufgaben lösbar sind, versteht man leicht die große Atraktivität dieser Mikrocontroller, die sich in zahlreichen Anwendungen widerspiegelt.

Die folgende Tabelle zeigt die verschiedenen Typen der 8048-Familie:

RAM	maskenprogrammiert	programmierbar	ROM-los
64 Byte	8048, ROM 1 K	8748, EPROM 1 K	8035
128 Byte	8049, ROM 2 K	8749, EPROM 2 K	8039
256 Byte	8050, ROM 4 K	-	8040

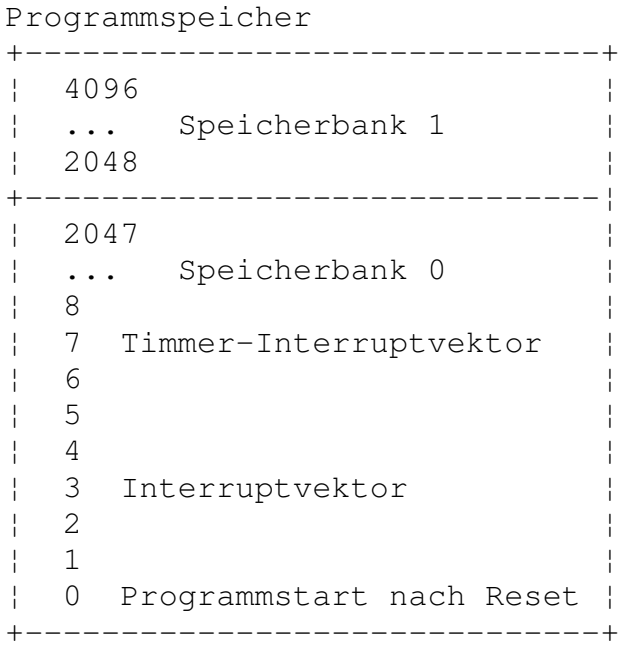
1.2 Die Hardware des 8048-Mikrocontrollers

Die Prozessoren der 8048-Familie besitzen einen 8-bit-Akku und zahlreiche Arbeitsregister. Weiterhin stehen 8-bit-breite I/O-Ports und ein 8-bit-Zähler/Timer zur Verfügung.

Ein interner Taktozillator bestimmt über einen angeschlossen Quarz die Arbeitsgeschwindigkeit des Prozessors. Befehle werden mit einer Frequenz von einem fünfzehntel der Quarzfrequenz ausgeführt. Ein Ein-Byte-Befehl benötigt bei einem Quarz von 6 MHz immer 2,5 µs, ein Befehl, der noch einen Parameter aus dem Programmspeicher benötigt, braucht die doppelte Zeit.

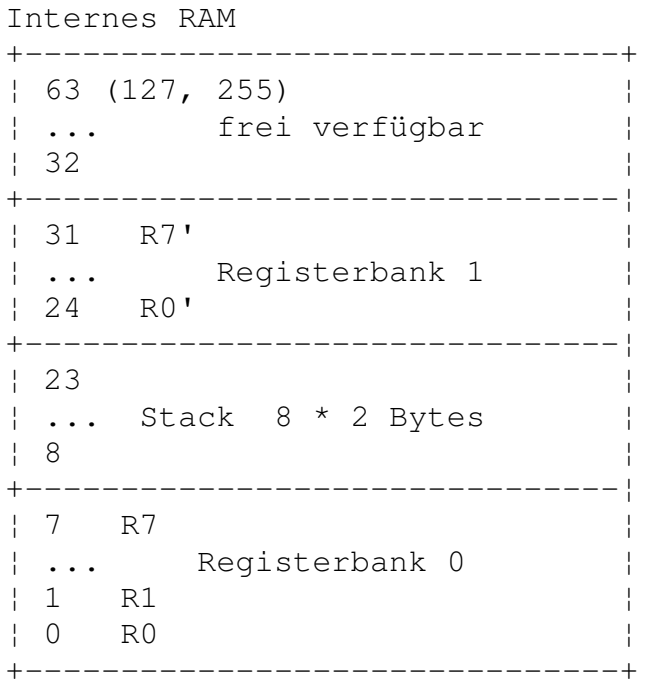
Der 8048 verwaltet getrennte Adressen für das interne RAM von 128 bis 256 Bytes, den Programmspeicher von 1024 bis 4096 Bytes und einen eventuell angeschlossenen externen Datenspeicher.

Dieselbe Adresse kann also gleich dreimal vorkommen. Insbesondere die Datenadressen des internen und externen RAMs müssen sorgfältig unterschieden werden. Auf sie wird mit unterschiedliche Befehlen zugegriffen.



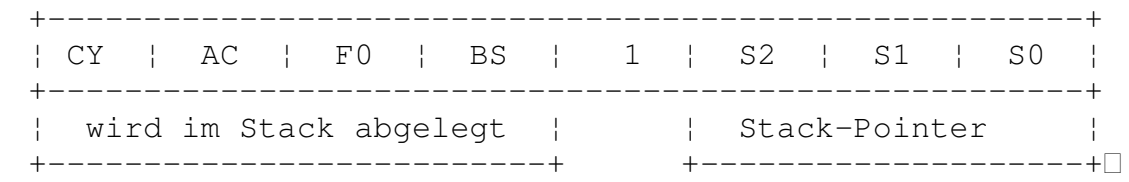
Der Programmspeicher kann im Prozessor (z.B. 8048, 8748) oder außerhalb (z.B. 8035) liegen. Da nur ein 12-bit-breiter Adreßzähler zur Verfügung steht, kann maximal 2K an einem Stück verwendet werden. Weitere 2 K stehen nach einer Bankumschaltung zur Verfügung. Prozessoren mit einem internen ROM von nur 1K greifen bei Adressen oberhalb 1023 zwangsweise auf den externen Speicher zurück, auch wenn die Leitung External Access (EA) low ist.

Ein externes RAM verwendet den selben Adreß- und Datenbus wie der externe Programmspeicher. Es wird jedoch mit den Steuerleitungen /WR und /RD angesprochen, während der externe Programmspeicher mit /PSEN aktiviert wird. Der Prozessor kann eigentlich nur 256 Adressen des externen RAMs verwalten. Wenn man jedoch die höherwertigen Adreßleitungen separat steuert, sind auch größere Speicher verwendbar.



Das interne RAM enthält die Arbeitsspeicher R0...R7 und R0'...R7', den Stack für die Verwaltung der Rücksprungadressen aus Unterprogrammen und zahlreiche Speicherplätze die über die Register R0 und R1 adressiert werden können.

Der allgemeine Status des Prozessors wird in einem besonderen Programm-Status-Register (PSW) festgehalten. Hier wird neben einigen Flags auch die aktuelle Stackadresse aufgehoben. Die vier oberen Bits des PSW werden selbst auf dem Stack abgelegt, wenn ein Unterprogramm aufgerufen wird. Sie werden jedoch nicht bei einem Rücksprung mit dem Return-Befehl RET, sondern nur nach einem Return-Restore (RETR) wiederhergestellt. Ein Aufruf benötigt jeweils 2 Bytes, da der Adreßzähler mit 12 Bits und das halbe PSW mit vier Bits zusammen gespeichert werden.



CY: Carry-Flag
AC: Auxiliary Carry
F0: Flag 0
BS: Registerbankwahl

Der Controller enthält einen 8-Bit-Aufwärtszähler, der sich als Timer oder als Zähler für externe Ereignisse einsetzen läßt. Der Zählerüberlauf kann über ein eigenes Flag abgefragt werden oder einen Interrupt auslösen, wobei das Programm bei Adresse 7 fortgeführt wird.

Als Timer erhält der Zähler Impulse von einem internen Vorteiler, der die Quarzfrequenz durch 480 teilt. Bei einer Quarzfrequenz von 6 MHz wird 12,5 kHz bzw. 80 µs gezählt.

Die Ports 1 und 2 können als Ein- und Ausgänge dienen. Sie werden als quasi-bidirektionale Ports bezeichnet. Nach dem System-Reset sind sie als Ausgänge hochgelegt, und können, da sie in diesem Zustand hochohmig sind, gleichzeitig als Eingänge verwendet werden. Dies ist möglich, weil die Portanschlüsse über Open-Drain- Anschlüsse aktiv nur nach Masse gezogen werden können und an jedem Anschluß Pull-Up-Widerstände von ca 50 kOhm besitzen. Offene Eingänge werden daher als gesetzt erkannt. Es genügen einfache Schalter nach Masse, um den Zustand der Eingänge zu verändern. Wenn andererseits ein Ausgang benutzt werden soll, um ein low-Signal auszugeben, dann ist der entsprechende Portanschluß als Eingang ebenfalls low und sollte von außen nicht hochgesetzt werden, da der low- Zustand der Portanschlüsse niederohmig ist. Wird dies trotzdem versucht, treten Kurzschlußströme von ca. 30mA pro Portanschuß auf, die den Prozessor gefährden können. Sollen Eingänge verwendet werden, dann müssen also die entsprechenden Bits des Ports zuvor als Ausgänge hochgesetzt werden.

Die unteren vier Bits des Ports 2 nehmen eine Sonderstellung ein, wenn man mit externem Programmspeicher arbeitet. Dann werden nämlich hier die oberen Adreßbits für den Programmspeicher ausgegeben, allerdings nur während des Lesezyklus für den Programmspeicher. In der übrigen Zeit haben sie den Zustand der Port-2-Ausgänge. Benötigt man diese Bits als stehende Ausgänge, dann kann man die Daten zwischenspeichern, indem man sie mit der ansteigenden Flanke der ALE-Impulse in ein Datenlatch übernimmt. Außerdem können über diese Leitungen mehrere Erweiterungs-Portbausteine 8243 mit je 4 mal 4 Portanschlüssen betrieben werden.

Soll ein externer Programm- oder Datenspeicher verwendet werden, dann müssen dafür einige Portleitungen geopfert werden. Daten und Adressen werden nacheinander (gemultiplext) über die selben Anschlüsse geleitet. Dieses Verfahren spart einerseits Anschlüsse, andererseits ist neben dem ROM bzw. EPROM noch ein weiterer Baustein zur Zwischenspeicherung der Adressen (Adreßlatch) erforderlich. Die folgende Tabelle zeigt alle Anschlüsse des Controllers:

Pin	Bezeichnung	Funktion
1	T0	Eingang zur Steuerung bedingter Sprung-befehle oder Ausgang für Clock-Signal
2	XTAL 1	Anschluß für den Quarz (Eingang)
3	XTAL 2	Anschluß für den Quarz (Ausgang)
4	RESET	Reset-Eingang
5	SS	Single-Step-Eingang
6	/INT	Interrupt-Eingang
7	EA	External Access. Wird an +5 V gelegt, um mit externem ROM zu arbeiten.
8	/RD	Read. Gibt Leseimpulse an ein externes RAM oder Peripheriebausteine aus.
9	/PSEN	Program Strobe Enable. Gibt Leseimpulse für den externen Programmspeicher aus.
10	/WR	Write. Gibt Schreibimpulse an ein exter-nes RAM oder Peripheriebausteine aus.
11	ALE	Adress Latch Enable. Gibt Steuerimpulse zur Adressen-Zwischenspeicherung aus.
12 bis 19	P01 bis P07	Bidirektionaler Port 0 oder bidirektionaler Datenbus für externes ROM, RAM und Peripherie. Überträgt auch die unteren 8 Bit der Adressen.
20	VSS	Masseanschluß
21 bis 24	P20 bis P23	Die unteren vier Bits von Port 2. Zugleich die oberen Adreßleitungen für das externe ROM oder RAM.
25	PROG	Eingang für EPROM-Programmierimpuls und Strobe-Ausgang für 8243-Erweiterungsport
26	VDD	+5 V, beim Programmieren (8748) +21 V
27 bis 34	P10 bis P17	Port 1. Alle Bits können als Ausgänge und als Eingänge frei verwendet werden.
35 bis 38	P24 bis P27	Die oberen vier Bits von Port 2. Können beliebig als Ein- und Ausgänge verwendet werden.
39	T1	Eingang für den internen Zähler und zur Steuerung bedingter Sprungbefehle
40	VCC	+5 V

Der Eingang EA (Pin 7) entscheidet darüber, ob der Prozessor mit internem oder mit externem Programmspeicher arbeitet. Er muß bei den ROM-losen Versionen grundsätzlich an +5 V liegen. Die übrigen Versionen können wahlweise mit internem oder externem ROM arbeiten.

1.3 Befehlsvorrat

In diesem Kapitel werden die Befehle des 8048 vorgestellt. Sie finden sich übersichtlich noch einmal in der Programmierkarte im Anhang.

Alle Register und der Akku können verwendet werden, um Zwischenergebnisse zu speichern, Rechenoperationen auszuführen oder Zähler für allgemeine Aufgaben zu bilden. Eine Sonderstellung nehmen die Register R0 und R1 ein. Sie dienen unter anderem als 8-Bit-Adreßzeiger, über die sich Speicheradressen im internen oder externen RAM adressieren lassen.

Ähnlich den Registern können auch die Ports über direkte Befehle beschrieben und ausgelesen werden. Daneben gibt es einen 8-Bit-Zähler, der ebenfalls geladen und ausgelesen werden kann. Sein Takteingang kann entweder mit prozessoreigenen Taktimpulsen oder mit externen Zählimpulsen belegt werden. Speicher anderer Art sind die Flags. Hierbei handelt es sich um 1-Bit-Speicher, die bestimmte Zustände im Prozessor anzeigen, wie z.B. den Zählerüberlauf und den aufgetretenen Übertrag bei einer Rechnung.

Direkte Ladebefehle:

Befehl	Mnemonic	Takte	Fuktion
27	CLR A	1	A := 0
23	MOV A,#data	2	A := data
B8...BF	MOV R,#data	2	R0...R7 := data
B0, B1	MOV @R,#data	2	(R0,R1) := data, internes RAM

Der Ausdruck #data steht hier für ein direkt im Programmspeicher stehendes Datenbyte. 23 FF lädt also z.B. den Akku mit dem Wert FF (dez. 255). Genauso lassen sich die acht Arbeitsregister direkt laden, wobei jedes Register einen eigenen Befehl hat. B9 FF lädt etwa das Register R1 mit FF.
Das direkte Laden eines Bytes in irgendeine Adresse des internen RAMs ist über die Befehle B0 und B1 möglich. Dabei wird die Speicheradresse indirekt über das Register 0 oder 1 adressiert, das also zuvor mit der Adresse geladen wurde. Die indirekte Adressierung wird in Assembler durch den "Klammeraffen" @ ausgedrückt, in der Funktionsbeschreibung durch Klammern. (R1) meint also die Speicherzelle, die durch R1 adressiert wird.

Datentransportbefehle:

Befehl	Mnemonic	Takte	Fuktion
F8...FF	MOV A,R	1	A := R0...R7
A8...AF	MOV R,A	1	R0...R7 := A
F0, F1	MOV A,@R	1	A := (R0,R1), internes RAM
A0, A1	MOV @R,A	1	(R0,R1) := A, internes RAM
80, 81	MOVX A,@R	2	A := (R0,R1), externes RAM
90, 91	MOVX @R,A	2	(R0,R1) := A, externes RAM
A3	MOVP A,@A	2	A := (A), ROM
E3	MOVP3 A,@A	2	A := (A), ROM, Seite 3
D7	MOV PSW,A	1	PSW := A
C7	MOV A,PSW	1	A := PSW

Der Datentransport läuft hier grundsätzlich über den Akku. Neben dem direkten Transport zwischen Akku und Registern ist auch das Laden und Lesen des internen RAMs möglich, wobei die Register 0 oder 1 wieder zur indirekten Adressierung verwendet wird. In gleicher Weise kann ein eventuell angeschlossenes externes RAM bzw. irgendwelche am Datenbus angeschlossene Peripherie angesprochen werden. Der Adreßumfang ist dabei nur jeweils eine Seite (256 Byte). Die Umschaltung der Seiten geschieht über das direkte Setzen der

Portleitungen P20 bis P23. Die Befehle MOVX A,@R und MOVX @R,A bilden den einzigen Zugang zu einem externen RAM oder angeschlossener Peripherie. In allen anderen Fällen adressieren die Register 0 und 1 das interne RAM des Prozessors.

Die Möglichkeit, das ROM indirekt über den Akku zu adressieren, ist besonders hilfreich beim Auslesen von Datenfeldern, die im ROM angelegt wurden. Dabei muß das Datenfeld bei Verwendung des Befehls MOVP in der gerade aktiven Seite stehen, bei MOVP3 grundzätzlich auf Seite 3. Das Prozessor-Statuswort PSW beinhaltet interne Informationen des Prozessors, die gelesen und verändert werden können.

Datenaustauschbefehle:

Befehl	Mnemonic	Takte	Fuktion
28...2F	XCH A,R	1	A < > (R0...R7)
20, 21	XCH A,@R	1	A < > (R0,R1), internes RAM
30, 31	XCHD A,@R	1	A(1...3) < > (R0,R1,1...3) internes RAM, je untere 4 Bits
47	SWAP A	1	A(1...3) < > A(4...7)

Hier werden die Inhalte des Akkus und der Register bzw. des internen RAMs miteinander vertauscht. Der Befehl XCHD betrifft dabei nur die unteren vier Bits eines Bytes. SWAP tauscht die unteren und die oberen vier Bits im Akku.

Bitmanipulationen:

Befehl	Mnemonic	Takte	Fuktion
58...5F	ANL A,R	1	A := A AND R0...R7
48...4F	ORL A,R	1	A := A OR R0...R7
D8...DF	XRL A,R	1	A := A EXOR R0...R7
50,51	ANL A,@R	1	A := A AND (R0,R1), int. RAM
40,41	ORL A,@R	1	A := A OR (R0,R1), int. RAM
D0,D1	XRL A,@R	1	A := A EXOR (R0,R1),int. RAM
53	ANL A,#data	2	A := A AND data
43	ORL A,#data	2	A := A OR data
D3	XRL A,#data	2	A := A EXOR data
37	CPL A	1	A := NOT A

Alle diese logischen Operationen verknüpfen den Inhalt des Akkus mit einer zweiten Quelle, die ein Register, das indirekt adressierte interne RAM oder ein direkt geladenes Byte sein kann. CPL A invertiert den Akkuinhalt.

Additionsbefehle:

Befehl	Mnemonic	Takte	Fuktion
68...6F	ADD A,R	1	A := A + R0...R7
78...7F	ADDC A,R	1	A := A + R0...R7 + C
60,61	ADD A,@R	1	A := A + (R0,R1), int. RAM
70,71	ADDC A,@R	1	A := A + (R0,R1) + C,int, RAM
03	ADD A,#data	2	A := A + data
13	ADDC A,#data	2	A := A + data + C
57	DA A	1	Dezimalabgleich

Auch die Additionsbefehle benutzen grundsätzlich den Akku. Sie beeinflussen das Übertragsflag C, d.h. C wird gesetzt, wenn das Ergebnis einer Addition 255 übersteigt. Es kann mit Dezimalzahlen (BCD) gerechnet werden, wenn nach der Addition der Dezimalausgleich angewandt wird. Der Akku enthält dann in den unteren und oberen vier Bits je eine Dezimalziffer (0...9).

Incrementieren und Decrementieren:

Befehl	Mnemonic	Takte	Fuktion
18...1F	INC R	1	R0...R7 := R0...R7 + 1
C8...CF	DEC R	1	RO...R7 := RO...R7 - 1
17	INC A	1	A := A + 1
07	DEC A	1	A := A - 1
10,11	INC @R	1	(R0,R1) := (R0,R1) + 1,int.RAM

Diese Befehle erlauben das Erhöhen und Erniedrigen von Bytes um Eins.

Ein- Ausgabebefehle

Befehl	Mnemonic	Takte	Fuktion
09,0A	IN A,P	2	A := P1,P2
39,3A	OUTL P,A	2	P1,P2 := A
99,9A	ANL P,#data	2	P1,P2 := P1,P2 AND data
89,8A	ORL P,data	2	P1,P2 := P1,P2 OR data

Busbefehle nur ohne externen Speicher (nicht für 8035/39):

08	INS A,BUS	2	A := P0
02	OUTL BUS,A	2	P0 := A
98	ANL BUS,#data	2	P0 := P0 AND data
88	ORL BUS,#data	2	P0 := P0 OR data

Portbefehle für den Erweiterungsport 8243:

0C...0F	MOVD A,P	2	A := P4...P7
3C...3F	MOVD P,A	2	P4...P7 := A
9C...9F	ANLD P,A	2	P4...P7 := P4...P7 AND A
8C...8F	ORLD P,A	2	P4...P7 := P4...P7 OR A

Die Ports 1 und 2 lassen sich mit den Daten des Akkus laden und auch vom Akku lesen. Außerdem lassen sie sich über ODER- und UND-Befehle beeinflussen. Auf diese Weise kann man einzelne Bits geziehlt setzen oder zurücksetzen, ohne die anderen zu beeinflussen.

Die BUS-Befehle betreffen den Port 0, der allerdings in vielen Fällen für den Anschluß eines externen ROMs belegt ist. Sie sind deshalb nur für maskenprogrammierte oder EPROM-Mikrocontroller verwendbar.

Der Portbaustein 8243 enthält vier weitere 4-Bit-Ports (P4...P7). Alle entsprechenden Befehle arbeiten mit den unteren vier Bits des Akkus, wobei die oberen ohne Einfluß bleiben bzw. beim Lesebefehl MOVXD A,P auf Null gesetzt werden.

Zähler-Befehle:

Befehl	Mnemonic	Takte	Fuktion
42	MOV A,T	1	A := T
62	MOV T,A	1	T := A
55	STRT T	1	startet den Timer
45	STRT CNT	1	startet den Ereigniszähler
65	STOP TCNT	1	stoppt Timer/Ereigniszähler
25	EN TCNTI	1	erlaubt Zähler-Interrupt
35	DIS TCNTI	1	verbietet Zähler-Interrupt

Der interne 8-Bit-Zähler kann entweder als Timer oder als Ereigniszähler gestartet werden. Das Zählerregister kann beliebig geladen oder ausgelesen werden. Beim Betrieb als Timer zählt der Zähler mit einem festen Takt von 1/32 des Befehlszyklus vom geladenen Startwert aufwärts. Ein Überlauf kann einen Interrupt auslösen, wenn EN TCNTI ausgeführt wurde. Der Prozessor unterbricht dann das gerade bearbeitete Programm und springt zur Speicheradresse 7. Dort steht im allgemeinen ein Sprungbefehl zu einer Interrupt-Serviceroutine. Eine andere Möglichkeit, den Überlauf auszuwerten, besteht in der Verwendung des bedingten Sprungbefehls JTF, der direkt das Überlauf-Flag des Zählers auswertet und wieder zurücksetzt.

In gleicher Weise läßt sich der Zähler als Ereigniszähler einsetzten. Dabei wird der Pin T1 als Eingang verwendet. Die Zählimpulse dürfen 1/3 der Befehlszyklus-Frequenz haben.

Flag-Befehle:

Befehl	Mnemonic	Takte	Fuktion
97	CLR C	1	C := 0
A7	CPL C	1	C := NOT C
85	CLR F0	1	F0 := 0
95	CPL F0	1	F0 := NOT F0
A5	CLR F1	1	F1 := 0
B5	CPL F1	1	F1 := NOT F1

Neben dem Übertragsflag C gibt es die beiden Benutzerflags F1 und F2, die man im Programm beliebig zurücksetzen oder invertieren kann. Alle drei Flags können über bedingte Sprungbefehle abgefragt werden. Das Übertragsflag C wird auch bei den Additionsbefehlen weiterverwendet.

Verschiebebefehle:

Befehl	Mnemonic	Takte	Fuktion
E7	RL A	1	Akku-Bits links schieben
77	RR A	1	Akku-Bits rechts schieben
F7	RLC A	1	Bits links über C schieben
67	RRC A	1	Bits rechts über C schieben

Mit diesen Befehlen läßt sich die Funktion eines Schieberegisters auf den Akku anwenden. Man kann die Verschieberichtung wählen und nach Bedarf über das Übertragsflag schieben. Damit lassen sich die einzelnen Bits eines Bytes im Akku nacheinaner auswerten.

Sprungbefehle:

Befehl	Mnemonic	Takte	Fuktion
Sprungbefehle innerhalb der aktiven Seite (256 Byte):			
C6	JZ Adr.	2	Sprung, wenn A = 0
96	JNZ Adr.	2	Sprung, wenn A <> 0
F6	JC Adr.	2	Sprung, wenn C = 1
E6	JNC Adr.	2	Sprung, wenn C = 0
36	JT0 Adr.	2	Sprung, wenn Pin T0 = 1
26	JNT0 Adr.	2	Sprung, wenn Pin T0 = 0
56	JT1 Adr.	2	Sprung, wenn Pin T1 = 1
46	JNT1 Adr.	2	Sprung, wenn Pin T1 = 0
B6	JF0 Adr.	2	Sprung, wenn F0 = 1
76	JF1 Adr.	2	Sprung, wenn F1 = 1
86	JNI Adr.	2	Sprung, wenn Pin INT = 0
16	JTF Adr.	2	Sprung, wenn Zähler-Überlauf
B3	JMPP @A	2	Sprung nach (A)
12...F2	JBb Adr.	2	Sprung, wenn Akkubit 0...7 = 1
E8...EF	DJNZ Adr.	2	R0...R7 := R0...R7 - 1 und Sprung, wenn R0...R7 <> 0
Sprungbefehle innerhalb 8 Seiten (2 K):			
04...E4	JMP Adr.	2	Sprung zu Adr., Seite 0...7
14...F4	Call Adr.	2	Unterprogrammaufruf, S.0...7
83	RET	2	Rücksprung v. Unterprogramm
93	RETR	2	Rücksprung v. Interruptroutine

Die meisten Sprungbefehle erreichen nur Sprungziele innerhalb der gerade aktiven Seite des Programmspeichers. Es lassen sich viele unterschiedliche Bedingungen dafür angeben, ob der Sprung ausgeführt werden soll. Dabei können die Prozessoranschlüsse T1 und T2 sowie /INT direkt abgefragt werden. Ein Sprung kann auch an die Bedingung geknüpft werden, ob ein bestimmts Bit im Akku gesetzt ist. Die DJNZ-Befehle erlauben den einfachen Aufbau von Zählschleifen, wobei jedes der Register R0 bis R7 als Schleifenzähler eingesetzt werden kann. Der Sprungbefehl JMPP @A erlaubt das Anspringen berechneter Sprungziele.

Die acht möglichen JMP-Befehle ermöglichen das Anspringen jedes Ziels innerhalb des Bereichs von 2 K, wobei für jede Seite ein eigener Befehl existiert. Das gleiche gilt für den CALL-Befehl zum Aufrufen von Unterprogrammen. Will man den vollen Adreßumfang von 4 K ausnutzen, dann muß vor einem Sprung in den jeweils anderen 2-K-Bereich (Speicherbank) der Befehl SEL MB1 oder SEL MB0 ausgeführt werden. Die Rücksprungbefehle RET und RETR arbeiten ebenfalls in einem Bereich von 2 K. RETR restauriert die oberen vier Bits des PSW und quittiert gleichzeitig einen Interrupt.

Prozessor-Steuerung:

Befehl	Mnemonic	Takte	Fuktion
05	ENI	1	erlaubt Interrupt von Pin INT
15	DISI	1	verbietet Interrupt
C5	SEL RBO	1	selektiert Registerbank 0
D5	SEL RB1	1	selektiert Registerbank 1
E5	SEL MB0	1	selektiert Speicherbank 0
F5	SEL MB1	1	selektiert Speicherbank 1
75	ENTO CLK	1	Taktausgabe an Pin T0
00	NOP	1	Wartebefehl 1 Takt

Ein Interrupt kann direkt von einem Low-Pegel am Pin INT ausgelöst werden, wenn er durch den Befehl ENI freigegeben wwurde. Der Prozessor unterbricht dann das laufende Programm und springt zur Adresse 3. Hier steht üblicherweise ein Sprungbefehl zu einer Interrupt-Serviceroutine, die mit RETR endet.

Neben der Programmspeicher-Bankumschaltung lassen sich auch zwei völlig unabhängige Registerbänke wählen. Während die Register R0...R7 in der ersten Bank die internen RAM-Adressen 0 bis 7 belegen, ist ihnen in der zweiten Bank der Bereich 32 bis 40 zugewiesen.

Der Testpin T0 kann mit dem Befehl ENTO CLK als Ausgang für das Clocksignal (1/3 der Quarzfrequenz) verwendet werden. Dieser Zustand wird nur durch einen Reset wieder rückgängig gemacht.

Assembler für 8048-Controller sind als Public-Domain bzw. Shareware-Programme erhältlich. Besonders geeignet ist das Shareware-Programm TASM (Table-driven Assembler) von Thomas N. Anderson. Die Zelle kann als algemeines Entwicklungssystem eingesetzt werden, da assemblierte Programme ins RAM geladen und gestartet werden können. Ausgetestete Programme lassen sich dann auf Ein-Chip-Systeme übertragen. Eine Alternative zur Programmierung in Assembler stellt die Steuersprache SIMPEL dar, die weiter unten vorgestellt wird.

2. Die Hardware der Zelle

Die Zielvorgabe für die Entwicklung eines autonomen Meß- und Steuersystems war:

- Batteriebetrieb
- Geringe Größe und geringer Bauteileaufwand
- Rechnerkopplung mit PCs
- Aufnahme und Speicherung größerer Mengen von Meßdaten
- Einsatz als Steuercomputer
- Nachladbare Userprogramme
- Umfangreiche Software-Unterstützung

Es gibt bereits eine Vielzahl unterschiedlichster Einplatinen-Computer mit den unterschiedlichsten Zielsetzungen und Leistungsmerkmalen. Zum Teil geht die Entwicklung dahin, immer größere Prozessoren einzusetzen und damit immer leistungsfähigere Systeme zu bauen.

Hier wird dagegen ein recht kleines System beschrieben, das mit einem 80C39-Mikrocontroller arbeitet. Dieser Prozessor stammt aus der 8048-Familie und hat damit einen vergleichsweise geringen Leistungsumfang, was Speicherplatz und Befehlsvorrat angeht. Es hat sich aber gezeigt, daß Prozessoren der 8048-Familie für die vorgegebene Zielsetzung ausreichend sind. Dabei ergeben sich folgende Vorteile:

- Der 8048 ist weit verbreitet und gut dokumentiert.
- Er hat genügend freie Portanschlüsse.
- Der gesamte Bauteileaufwand wird gering.
- Eine CMOS-Version ist leicht und preiswert erhältlich.
- Assembler gibt es auf dem Public-Domain-Markt.

Abb.1:

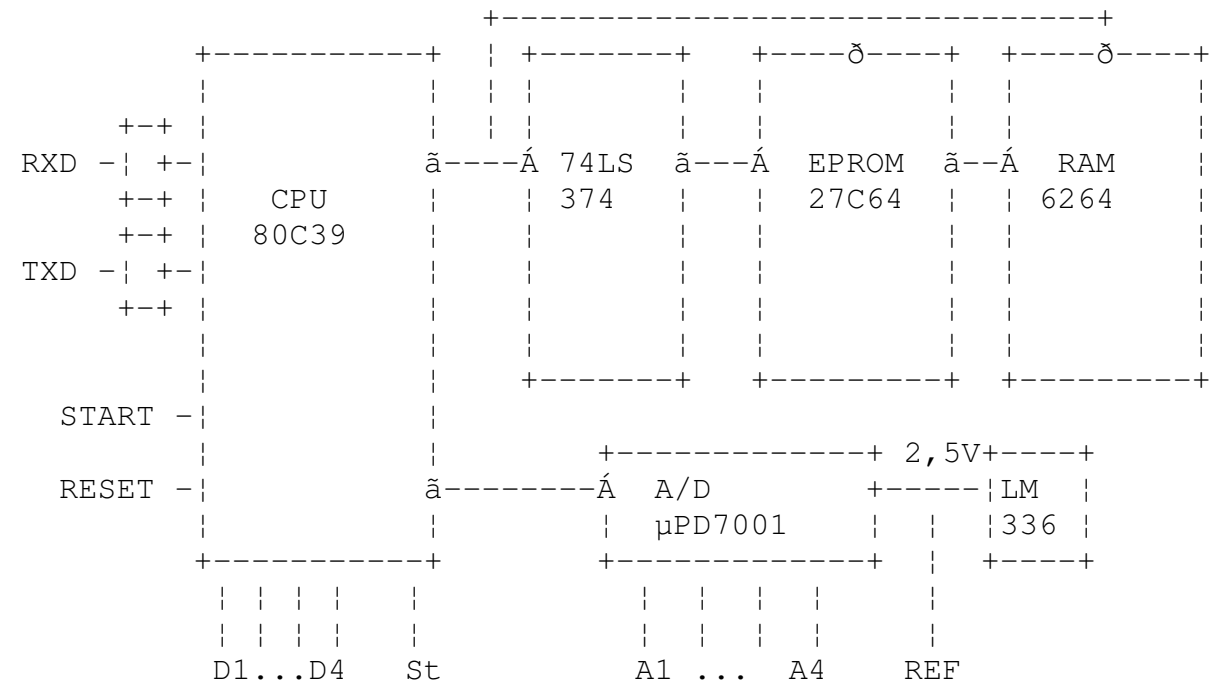


Abb. 1 zeigt das Blockschaltbild der Zelle. Der Prozessor 80C39 ist wie üblich mit einem Adreßlatch für die unteren acht Adreßleitungen an die Speicherbausteine angeschlossen. Das Festprogramm befindet sich im EPROM 27C64, während nachladbare Programme und Daten im 8K-RAM 6264 abgelegt werden. Der A/D-

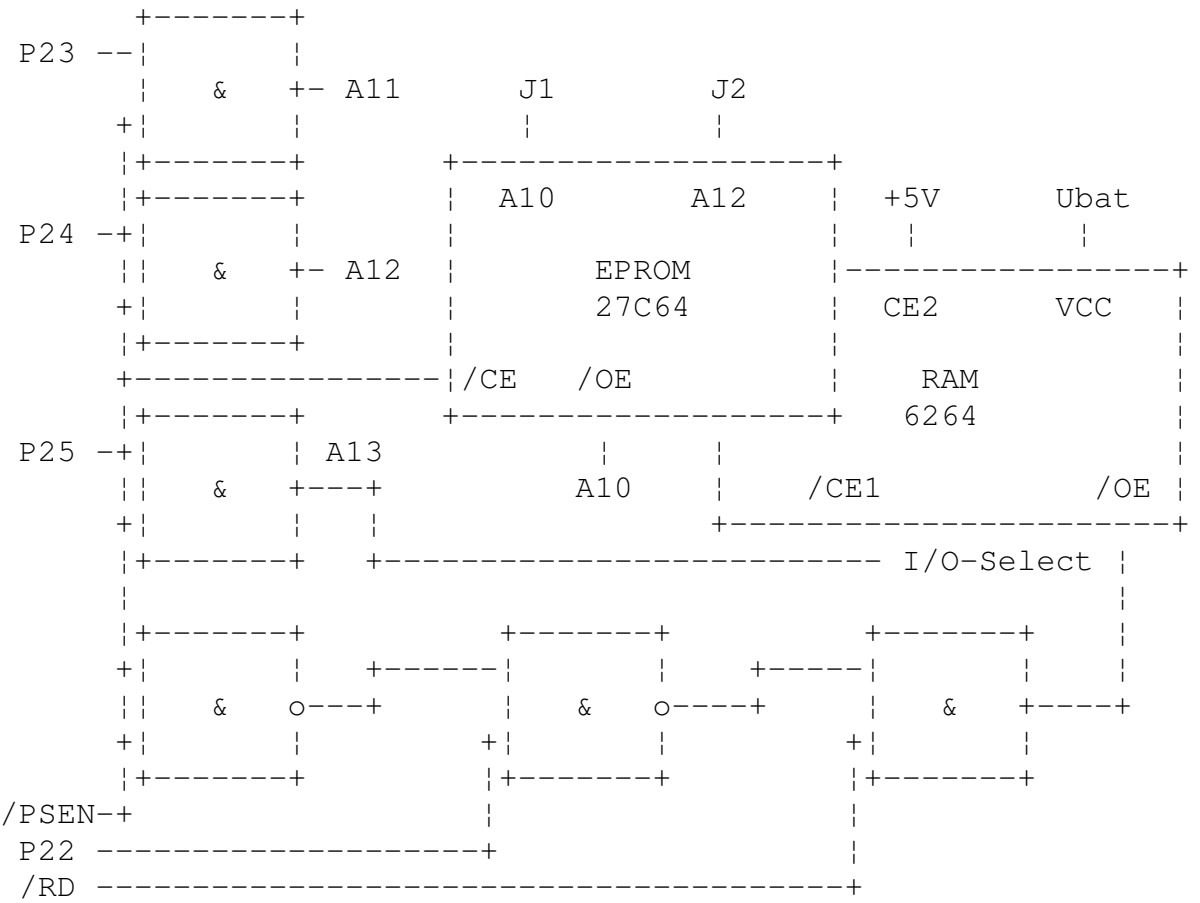
Wandler µPD7001 ist über über fünf Portleitungen direkt mit dem Prozessor verbunden. Auch die serielle Schnittstelle wird softwaremäßig über Portleitungen realisiert. Zusätzliche Peripherie ist über den Expansionsport an den Daten- und Adreßbus anschließbar.

Hier die technischen Daten des Systems im Überblick:

Prozessor:	80C39, ROM-lose C-MOS-Version aus der 8048-Familie
Betriebssystem:	Größe 1k, über Jumper J1 und J2 sind bis zu vier Versionen im 8-k-EPROM wählbar
RAM:	8K, davon 6K für Daten, 1k für SIMPEL-Programme
AD-Wandler:	4 Kanäle, 8 Bit, 0...2,5V, geschützt bis +/-10V
Geschwindigkeit:	1 ms/Messung bis 1 min/Messung
Versorgung:	Batteriespannung 4V...6V, keine Spannungsregelung, ca. 15mA im Betrieb, 1µA in Stellung "AUS" (Datenpufferung)
Anschlüsse:	vier Analogeingänge, 0-2,5V, 8 Bit
	vier digitale Ein/Ausgänge (P14...P17)
	ein enzelner digitaler Ein/Ausgang (P26)
	Systembus (=Expansions-Port)
Bedienelemente:	EIN/AUS-Schalter, RESET-Taster, START-Taster, eine LED zeigt A/D-Wandlungen.
Expansion-Port:	Daten- und Adreßbus für externe Peripherie unter 256 Adressen. Kann über den RAM-Sockel angeschlossen werden.

2.1 Speichermodell

Da die Mikrocontroller der 8048-Familie intern nur einen 11-Bit-großen Adreßzähler für ihren Programmbereich besitzen und außerdem physikalisch getrennte Programm- und Datenspeicher verwenden, ist der Aufwand, zusätzlich ein gemeinsames RAM für Daten und Programme anzuschließen, etwas höher. Zunächst einmal müssen die Leitungen /PSEN für die Freigabe des Programmspeichers und /WR für die Freigabe des Datenspeichers miteinander verknüpft werden, um das RAM in beiden Situationen über seinen Anschluß /OE ansprechen zu können. Dazu genügt im Prinzip ein UND-Gatter (1/4 4081). Zusatzlich wird das /PSEN-Signal jedoch über zwei NAND-Gatter abgeschaltet, solange die Adreßleitung A10 low ist. So kann das RAM nur im Adreßbereich 1K...2K als Programmspeicher arbeiten, während es im ganzen Adreßbereich als Datenspeicher ausgelesen werden kann. Im Bereich 0...1K liegt das EPROM als Adreßspeicher. Zwar liegt seine /CE-Leitung immer an /PSEN, doch wird bei hochgelegter Adreßleitung A10 die Ausgabe über /OE gesperrt. Die höheren Adreßleitungen A11 und A12 werden statisch über Lötbrücken oder Jumper angeschlossen, so daß das ganze EPROM in vier 2K-Blöcke aufgeteilt wird, von denen jeweils nur das untere Kilobyte ausgenutzt wird. Man kann so vier Versionen des Betriebssystems bzw. andere Programme im EPROM bereithalten.



Die Portleitungen P20 bis P25 des Prozessors bilden die höherwertigen Adreßleitungen. Bei Zugriffen auf das Daten-RAM müssen die Adreßleitungen A8 bis A12 durch Portbefehle statisch gesetzt werden. Während der Zugriffe auf den Datenspeicher, also während PSEN low ist, schalten sich die Pegel der Leitungen P20 bis P22 des Prozessor entsprechend dem Zustand des Programm-Counters automatisch um. Damit kann ein Adreßberech bis zu 2K ohne zusätzlichen Aufwand genutzt werden. Da hier jedoch ein größerer Adreßraum gefordert wird, müssen die höheren Adreßleitungen A11 (P23) bis A13 (P25) durch drei zusätzliche UND-Gatter zurückgesetzt werden, solange PSEN aktiv ist. Nur so kann erreicht werden, daß der Prozessor

Programm-Bytes im unteren Adreßbereich bis 2K findet, während mit Daten im höheren Adreßbereich gearbeitet wird.

Die Adreßleitung A13 dient als Freigabeleitung für den I/O-Bereich, der vom Prozessor wie das RAM mir /WR und /RD angesprochen wird. Deshalb wird das RAM über /CE1 gesperrt, wenn externe Peripherie aktiviert ist. Insgesamt ergibt sich damit folgende Aufteilung des Adreßraums:

Adressen	Programm	Daten
0000h...0400h	EPROM	RAM
0400h...07FFh	RAM	RAM
0800h...1FFFh	-	RAM
2000h...3FFFh	-	I/O

Dar RAM ist über seinen Anschluß VCC immer mit der Batterie verbunden, während alle übrigen Bausteine ihre Betriebsspannung über den Ein/Aus-Schalter erhalten. Damit wird eine permanente Datenpufferunge erreicht. Sobald die Betriebsspannung abgeschaltet wird, wird die Freigabeleitung CE2 des RAMs über die +5V-Leitung und den Betriebsspannungsumschalter an Masse gelegt und das RAM damit gesperrt. Alle Daten bleiben so bei einem Verbrauch von ca 1µA erhalten. In eingeschaltetem Zustand braucht die Zelle dagegen ca 15mA.

2.2 Der A/D-Wandler

Der AD-Wandler µPD7001 wird über die vier Portleitungen P10 bis P14 gesteuert und über die Leseleitung T1 abgefragt. Er arbeitet nach dem Prinzip der sukzessiven Aproximaltion und führt eine Wandlung in ca 100 µs aus. Zusätzlich enthält der Baustein einen Vierkanl-Multiplexer, so daß insgesamt vier Meßkanäle mit einem Bereich von 0 bis 2,5V zur Verfügung stehen. Eine extern angeschlossene Bandgap-Referenzdiode LM336 garantiert die Genauigkeit des Wandlers. Der µPD7001 wird seriell mit Informationen versehen aud ausgelesen. Deshalb werden nur wenige Leitungen des Prozessors belegt.

Pin	**Funktion**	**Anschluß an:**
1	EOC, End of Conversin	frei
2	DL, Data Latch	P13
3	SI, Serial Input	P12
4	/SCK, Serial Clock	P21
5	SO, Serial Output	T1 mit Pull-Up 10 kÛ
6	/CS, Chip Select	P20 + LED gegen +5V
7	ClO Clock	R/C-Netzwerk
8	ClI Clock	R/C-Netzwerk
9	Vss, Didital Ground	Masse
10	A0	A0
11	A1	A1
12	A2	A2
13	A3	A3
14	GND, Analog Ground	Masse
15	Vref, Referenzspannung 2,5V	LM336
16	V+, Betriebsspannung	+5V

Eine Wandlung mit dem µPD7001 umfaßt zwei Phasen:

- Übertragen der Kanalnummer 0...3 und Start:
  /CS low
  /SCLK low
  Datenbits D0 und D1 an SI anlegen und jeweils mit steigender Flanke von /SCLK eintakten
  Impuls an DL
  /CS high
  ca. 140 µs warten oder warten bis /EOC low
- Ergebnis auslesen:
  /CS low
  8 mal: /SCLK low, Datenbit an SO lesen (MSB zuerst), /SCLK high
  /CS high

Die folgende Routine zur Ansteuerung des A/D-Wandlers ist Teil des Betriebssystems der Zelle:

```
0151         ;UPD7001-Messen, Übergabe des Kanals (1...4) im Akku,
0151         ;Ergebnisausgabe im Akku, benötigt ca 0,5ms, verwendet r2
0151         ;Datenübertragung seriell getaktet. Schiebetakt über P11 an
0151         ;SCK, Steuerdaten über P12 an SI, Meßdaten über T1 von SO,
0151         ;Freigabe über P10 an CS, Steuern/Ausleseumschaltung über P13
0151         ;an DL. End of Conversion (EOC) wird nicht benutzt, statt
0151         ;dessen feste Warteschleife
0151
0151 99 F0  Messen         anl     p1,#0F0h   ;P10...P13  Null
0153 BA 02                 mov     r2,#02     ;Zählschleife 2 Bits
0155 07                    dec     a          ;Byte 0...3 für Kanal 1...4
```

```
0156 77                 rr      a           ;Bits 0/1 nach 6/7
0157 77                 rr      a
0158 F7     Sl1         rlc     a           ;Kanalbit in c
0159 E6 5D              jnc     Strobe
015B 89 04              orl     p1,#04      ;wenn c=1, Si = 1
015D 89 02  Strobe      orl     p1,#02      ;Clock = 1
015F 99 FD              anl     p1,#0FDh    ;Clock = 0
0161 99 FB              anl     p1,#0FBh    ;Si = 0
0163 EA 58              djnz    r2,Sl1      ;2 mal
0165 89 08              orl     p1,#008h    ;DL=1, Kanal gesendet
0167 99 F7              anl     p1,#0F7h    ;DL=0
0169 89 01              orl     p1,#1       ;Cs=1, Messung starten
016B BA 1E              mov     r2,#30      ;ca 150 µs/6MHz
016D EA 6D  Sl2         djnz    r2,Sl2      ;Warteschleife
016F 99 FE              anl     p1,#0FEh    ;Cs=0
0171 89 08              orl     p1,#08h     ;DL=1, Auslesen
0173 BA 08              mov     r2,#08      ;Schleife 8 Bits
0175 97     Sl3         clr     c           ;c=0
0176 46 79              jnt1    T1aus       ;T1=0?
0178 A7                 cpl     c           ;wenn T1=1, dann c=1
0179 F7     T1aus       rlc     a           ;Datenbit reinschieben
017A 89 02              orl     p1,#02      ;Clock=1
017C 99 FD              anl     p1,#0FDh    ;Clock=0
017E EA 75              djnz    r2,Sl3      ;acht mal
0180 89 0F              orl     p1,#0Fh     ;P10...P13 = 1
0182 83                 ret
```

Der Prortanschluß P20 des Prozessors zu Ansteuerung der Freigabeleitung CS des A/D-Wandlers steuert gleichzeitig eine Leuchtdiode. Jeder Zugriff auf den A/D-Wandler kann so optisch verfolgt werden, was oft Hinweise auf die ordnungsgemäße Funtion des Geräts erlaubt. Zusätzlich kann die LED aber auch von einem Programm ohne Zugriff auf den A/D-Wandler benutzt werden.

Alle Analogeingänge sind über Schutzwiderstände von 10kÛ an die Anschlußbuchsen gelegt. Zusammen mit den internen Schutzdioden des Wandlers ergibt sich damit ein gewisser Schutz gegen Überspannungen. Der Wandler kann sicher in einem Bereich von -10V bis +10V betrieben werden. Der vierte Analogeingang (A3) ist zusätzlich über einen hochohmigen Spannungsteiler mit der Betriebsspannung verbunden. Dies erlaubt die Kontrolle des Batteriezustands durch den Prozessor. Übliche niederohmige Meßwandler oder Vorverstärker können trotz des Spannungsteilers problemlos an A3 betrieben werden.

2.3 I/O-Ports und weitere externe Anschlüsse

Die beiden Datenleitungen RXD und TXD der seriellen Schnittstelle sind über einfache CMOS-Inverter direkt mit dem Prozessor verbunden. Zwar sind so keine RS232-Normpegel möglich, jedoch kann eine übliche RS232 z.B. eines PCs problemlos direkt angeschlossen werden. Der Prozesor verfügt über keine eingebaute RS232-Hardware-Schnittstelle. Geeignete Unterprogramme müssen deshalb die Datenübertragung selbst steuern. Als Ausgabeleitung wurde P27 gewählt. Die Eingabeleitung ist die Interrupt-Leitung INT, die bei nicht freigegebenem Hardware-Interrupt über bedingte Sprungbefehle im Programm abgefragt werden kann. Damit ergibt sich aber auch die Möglichkeit, über die Datenleitung RXD einen externen Interrupt auszuführen, um etwa ein laufendes Programm anzuhalten und die Kontrolle an einen Hostrechner zu übergeben. Auf diese Weise ist es möglich, die Datenübertragung zwischen Zelle und Hostrechner über eine Dreidraht-Leitung mit GND, RXD und TXT abzuwickeln. Die folgenden RS232-Routinen sind Teil des Betriebssystems der Zelle:

```
0100          .org 100h
0100          ;RS232 Senden, verwendet r2...r3
0100          ;9600 Baud, Sendesignal liegt invertiert an P27
0100          ;Interrupt ist für die Zeit der Ausgabe gesperrt
0100          ;Das Stopbit ist sehr kurz, weil nie zwei Bytes
0100          ;sofort hintereinander ausgegeben werden
0100
0100 15       Senden          dis     i          ;Interrupt gesperrt
0101 BA 08                    mov     r2,#8      ;Zählschleife 8 Bits
0103 9A 7F                    anl     p2,#7Fh    ;P27=0, Startbit
0105          ;               mov     r3,#162    ;1200Baud
0105 BB 10                    mov     r3,#16     ;9600 Baud
0107 EB 07    Sch1            djnz    r3,Sch1    ;Warteschleife Startbit
0109 97       Sp1             clr     c
010A 67                       rrc     a          ;Datenbit in C schieben
010B F6 11                    jc      Sp2
010D 9A 7F                    anl     p2,#7Fh    ;wenn c=0, dann P27=0
010F 24 15                    jmp     Sp3
0111 8A 80    Sp2             orl     p2,#80h    ;wenn c=1, dann P27=1
0113 8A 80                    orl     p2,#80h
0115          ;Sp3             mov     r3,#160   ;1200Baud
0115 BB 0F    Sp3             mov     r3,#15     ;9600 Baud
0117 EB 17    Sch2            djnz    r3,Sch2    ;Warteschleife Datenbit
0119 EA 09                    djnz    r2,Sp1     ;8 mal wiederholen
011B 23 00                    mov     a,#0
011D 23 00                    mov     a,#0
011F 8A 80                    orl     p2,#80h    ;P27=1, Stopbit
0121          ;               mov     r3,#108    ;1200 Baud
0121 BB 01                    mov     r3,#1      ;kurzes Stopbit, 9600 Baud
0123 EB 23    Sch3            djnz    r3,Sch3    ;Warteschleife Stopbit
0125 05                       en      i          ;Interrupt wieder frei
0126 83                       ret


0127          ;rs232 Empfangen, verwendet r2...r4
0127          ;Eingang ist INT mit Abfrage über jni. Baudrate 9600 bei 6MHz
0127          ;Hardware-Interrupt ist für die Zeit der Eingabe gesperrt
0127          ;Das Label "Startbit" darf auch extern angesprungen werden,
0127          ;wenn ein Signal an INT erkannt wurde.
0127
0127 15       Empf            dis     i          ;Interrupt sperren
0128 86 2C                    jni     Startbit   ;Int = 0?
```

```
012A 24 27                jmp     Empf      ;wenn Int = 1
012C         ;Startbit     mov     r2,#225   ;1200 Baud
012C BA 19   Startbit      mov     r2,#25    ;9600 Baud
012E EA 2E   Sch6          djnz    r2,Sch6   ;Warten 1,5 Startbit
0130 BB 08                 mov     r3,#8     ;Schleife 8 Bits
0132 97      Sp6           clr     c         ;c=0
0133 86 43                 jni     Null      ;Int = 0 ?
0135 00                    nop               ;Zeitausgleich
0136 A7                    cpl     c         ;C=1
0137 2C                    xch     a,r4      ;Byte von r4 holen
0138 67                    rrc     a         ;c in a schieben
0139 2C                    xch     a,r4      ;Byte wieder nach r4
013A         ;             mov     r2,#162   ;1200 Baud
013A BA 0F                 mov     r2,#15    ;9600 Baud
013C EA 3C   Sch7          djnz    r2,Sch7   ;Warten Datenbit
013E EB 32                 djnz    r3,Sp6    ;8 Bits empfangen?
0140 FC                    mov     a,r4      ;emfangenes Byte in a
0141 05                    en      i         ;Interrupt wieder frei
0142 83                    ret
0143 00      Null          nop               ;Schleife für Nullbits:
0144 97                    clr     c         ;c=0
0145 2C                    xch     a,r4      ;Byte von r4 holen
0146 67                    rrc     a         ;c in a schieben
0147 2C                    xch     a,r4      ;Byte wieder nach r4
0148         ;             mov     r2,#162   ;1200 Baud
0148 BA 0F                 mov     r2,#15    ;9600 Baud
014A EA 4A   Sch8          djnz    r2,Sch8   ;Warten Datenbit
014C EB 32                 djnz    r3,Sp6    ;8 Bits empfangen?
014E FC                    mov     a,r4      ;empfangenes Byte in a
014F 05                    en      i         ;Interrupt wieder frei
0150 83                    ret
```

Für viele Anwendungen ist eine Start-Taste sinnvoll, die vom Prozessor gelesen werden kann. Sie wurde hier an die Eingangsleitung T0 angeschlossen. Da diese Leitung hochohmig ist, muß zuzätzlich ein Pull-Up-Widerstand verwendet werden. Eine weitere Taste befindet sich am RESET-Eingang des Prozessors. Mit dieser Taste kann der Prozessor wie nach einem Einschalten der Betriebsspannung in den Grundzustand versetzt werden.

Alle noch freien Portleitungen des 80C39 werden herausgeführt. Die Portleitungen P14 bis P17 werden als digitale I/O-Leitungen D0...D3 bezeichnet, während die freie Leitung P26 als digitale Steuerleitung ST eingesetzt wird. Die fünf digitalen Leitungen werden nicht besonders geschützt, damit sie sowohl als Eingänge als auch als Ausgänge TTL-kompatibel bleiben.

Der Ruhezustand aller fünf digitalen Portleitungen nach dem Enschalten der Zelle ist high. In disem Zustand sind sie hochohmig und dürfen als digitale Eingänge benutzt werden. Schalter können wie bei Standard-TTL-Bausteinen direkt gegen Masse angeschlossen werden. Wird ein Portanschluß durch ein Programm zurückgesetzt, dann wird er niederohmig, so daß ohne weitere Treiber kleine Lasten mit Strömen bis zu 10 mA direkt getrieben werden können. Z.B. läßt sich eine Leuchtdiode mit einem Vorwiderstand von 330Û direkt gegen +5V anschließen. Sie wird damit in negativer Logik betrieben.

Werden Portanschlüsse als Eingänge verwendet und von außen hochgesetzt, gleichzeitig aber fälschlich durch einen Ausgabebefehl von innen zurückgesetzt und damit niederohmig gemacht, dann können Kurzschlußströme von ca. 30mA pro Portanschluß fließen. Um diesen Fall auszuschließen, sollte man nie Schalter oder andere niederohmige Elemente direkt gegen +5V anschließen. Schalter werden im einfachsten Fall in umgekehrter Logik gegen Masse angeschlossen. Legt man Wert auf positive Logik, kann der Schalter mit einem Vorwiderstand von 1kÛ gegen +5V angeschlossen werden. Zusätzlich ist in diesem Falle aber

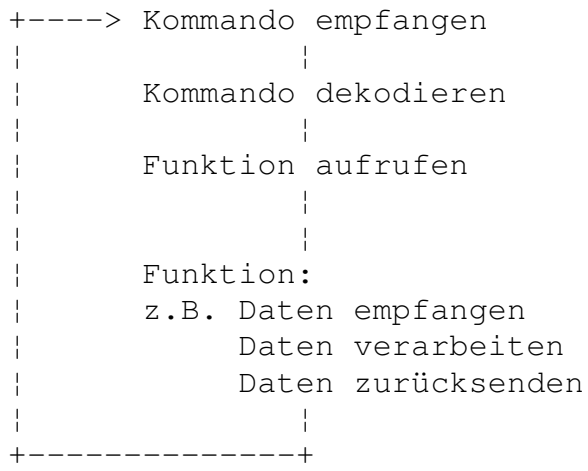
noch ein Pull-Down-Widerstand von ca 10kÛ erforderlich, damit der Eingang im Ruhezustand des Schalters low ist.

3. Das Betriebssystem

Das Betriebssystem steuert alle wichtigen Funktionen der Zelle. Es ist im EPROM des Systems untergebracht und hat eine Größe von unter einem Kilobyte. Bei der Entwicklung wurde ein Kompromiß zwischen Einfachheit und Vollständigkeit angestrebt. Dabei stand der Einsatz als universelles Meß- und Steuersystem im Vordergrund. Folgende Grundfunktionen müssen vorhanden sein:

- Autonomes Durchführen von Meßserien mit einstellbaren Parametern: (Länge, Kanäle, Zeiten)
- Datenaustausch zwischen Daten-RAM und Host-Rechner
- Direktes Ansprechen von A/D-Wandler und I/O-Leitungen vom Host-Rechner aus
- Nachladen von Zusatzprogrammen in das RAM
- Jederzeit mögliche Unterbrechung durch den Hostrechner

Alle diese Funktionen sollen durch eine RS232-Schnittstelle ansprechbar sein. Zwischen Host und Zelle wird ein Steuerungsprotokoll festgelegt, das über Ein-Byte-Kommandos bestimmte Funktionen der Zelle aufruft. Innerhalb jeder Funktion kann wieder ein Datenaustausch nach festgelegtem Muster erfolgen. Die Grundstruktur des Programms sieht damit so aus:



Die Funktion im Beispiel führt nur eine Aktion durch. Dies ist z.B. beim Ansprechen des A/D-Wandlers der Fall. Die Zelle muß zunächst den gewünschten Kanal erfahren, dann eine Messung über diesen Kanal ausführen und schließlich das Ergebnis zurücksenden. Es gibt aber auch Fälle, in denen eine Funktion aus einer beliebigen Anzahl von Wiederholungen derselben Unterfunktion besteht. Ein Beispiel dafür ist das sequenzielle Auslesen des Daten-RAMs. In einem solchen Fall muß zusätzlich eine Vereinbarung über die Beendigung des Vorgangs festgelegt werden. Sinnvoll ist z.B. die Festlegung eines Unterkommandos "0" für "Ende".

Das Betriebssystem kennt drei Hauptzustände, die im batteriegepufferten RAM als Startinformation vermekt werden:

Modus	Startinformation
Bereitschaft für neue Kommandos	0
Meßmodus	129
Programmodus	130

Jeder dieser Modi wird nach dem Einschalten oder nach einem Reset automatisch wieder aktiviert, wenn er vorher eingeschaltet war. Das bedeutet, man kann die Zelle in den Meßmodus versetzen, dann ausschalten und erst am Meßort wieder einschalten, wobei dann die Messung aktiviert wird. Genauso kann ein

Userprogramm geladen werden, wobei die Zelle in den Programm-Modus gelangt. Das Programm läuft dann nach jedem Einschalten oder nach einem Reset erneut ab. Sowohl der Meßmodus als auch der Programmodus kann durch einen Interrupt über die Leitung RXD abgebrochen werden. Dazu wird einfach das Zeichen "0" an die Zelle gesendet.

Nach jedem Einschalten oder Reset beginnt das Betriebssystem bei Adresse Null. Hier wird neben anderen Grundeinstellungen auch der externe Interrupt freigegeben. Dann wird im "System-RAM" bei Adresse 03FF die Startinformation gelesen, ausgewertet und eine entsprechende Verzweigung eingeleitet. So ist der alte Betriebsmodus wieder aktiv. Ein Interrupt über die Leitung RXD führt in jedem Falle in die Interrupt-Servocsroutine "Inter". Hier wird die Startinformation "0" in das System-RAM geschrieben und außerdem das Betriebssystem mit zurückgesetztem Stack neu gestartet. Dabei werden alle Rücksprungadressen aus eventuellen Unterprogrammen vergessen, so daß eine Unterbrechung aus beliebigen Programmsituationen möglich ist.

Wird vom Betriebssystem oder von einem User-Programm die serielle Schnittstelle benutzt (Unterprogramme Empf oder Sende), dann wird für die Zeit des seriellen Datenaustauschs der Interrupt gesperrt. Dies kann aber dazu führen, daß ein nachgeladenes Programm, das die serielle Schnittstelle verwendet, nicht mehr ohne weiteres abgebrochen werden kann. Für diesen Fall wurde eine zweite Art zum zwangsweisen Einschalten des Befehlsmodus vorgesehen: Wird nach einem Reset für ca 5s die Starttaste grdrückt, befindet sich das System wieder im Grundzustand. Kürzere Zeiten führen in die beiden anderen Modi. Mit einer Sekunde gelangt man in den Meßmodus, mit drei Sekunden in den Programmodus. So ist es auch möglich, gleichzeitig Parameter für eine Messung und ein Userprogramm im RAM bereitzuhalten und ohne Hilfe eines Hostrechners einzuschalten.

Das vollständige Assembler-Listing ist in der Datei ZELLE.LST enthalten.

Von einem Hostrechner aus können die folgenden Kommandos gegeben werden:

1. Start einer Messung.
   Eingabe der Blocklänge für Messungen als Highbyte und Lowbyte. Eingabe von vier Meßkanälen 1...4, oder "aus" (=0). Eingabe von Highbyte und Lowbyte der Intevallzeit minus Anzahl der Kanäle in ms. Nach den insgesamt acht Steuer- bytes kann der Rechner für jeden Block durch START gestartet werden. Statt der Taste "START" kann auch ein Byte "9" vom Hostrechner die nächste Serie starten. Der Meßmodus kann über die Schnittstelle durch ein Byte "0" des Hostrechners unterbrochen werden. Alle acht Eingabeparameter werden an den Anfang des Daten-RAMs ab Adresse 0800h kopiert. Es folgen die gewonnen Meßwerte in aufsteigender Reihenfolge. Nach dem Kommando ist eine Wartezeit von 1ms erforderlich.

2. Auslesen des RAMs über die RS232.
   Der Hostrechner sendet für jedes gewünschte Byte eine "1" und erhält jeweils das nächste Byte aus dem Daten-RAM zurück. Eine "0" vom Hostrechner unterbricht den Modus. Die Daten werden aus dem Datenbereich des RAMs ab Adresse 0800h sukzessive ausgelesen. Die ersten acht Bytes sind die eingestellten Meßparameter. Die folgenden Bytes sind Meßwerte. Nach dem Kommando ist eine Wartezeit von 1ms erforderlich.

3. Beschreiben des RAMs durch den Hostrechner.
   Der Hostrechner wartet für jedes Byte zunächst ein Byte der Zelle ab. Die Zelle sendet nur zu Timing-Zwecken ein zufälliges Byte ohne weitere Bedeutung. Darauf sendet der Hostrecher eine "1" als Zeichen, daß ein Byte folgt oder eine "0" als Zeichen für das Ende der Übertragung.
   Die Daten werden im Datenbereich des RAMs ab Adresse 0800h abgelegt. Nach dem Kommando ist eine Wartezeit von 1ms erforderlich.

4. Direktes Lesen der Analogeingänge.

Der Hostrechner sendet jeweils die gewünschte Kanalnummer (1...4) und erhält als Antwort den Meßwert als Byte. Die Leseaktion kann beliebig oft wiederholt werden. Beendigung dieses Modus geschieht durch Senden einer "0" statt der Kanalnummer. (Vgl. auch Kommando 7)

5. Laden eines eigenen Programms.
   Die Übertragung entspricht genau der beim Kommando 3, mit dem Unterschied, daß die übertragenen Daten in den Programmbereich des RAMs ab Adresse 0400h gelangen. Das Programm wird durch das Kommando "6" oder durch RESET bzw. Aus- und Einschalten gestartet. Nach dem Kommando ist eine Wartezeit von 1ms erforderlich.

6. Start eines eigenen Programms ab 0400h.
   Es läuft läuft zunächst nur einmal ab, kann aber durch die RESET-Taste erneut gestartet werden. Unterbrechnung des Programmodus erfolgt durch Senden eines Bytes "0".
   Neustart durch das Kommando "6" ist ohne neues Laden möglich.

7. Einmaliges direktes Lesen eines Analogeingangs.
   Wie Kommando 4, aber mit dem Unterschied, daß nur eine Messung ausgeführt wird. Danach besteht wieder Bereitschaft für ein neues Kommando.

8. Interface-Modus nach dem Protokoll des "Parallelen Interface-Bus":
   externe Paripherie kann direkt über die RS232 unter den Adressen 0...127 angesprochen werden. Das Bit 7 gibt die Datenrichtung an, 0=Schreiben, 1=Lesen. Nach einer Schreib- oder Leseaktion beendet sich dieser Modus selbst.

9. Start
   Dieses Kommando kann an Stelle der Taste "START" die nächste Serie des laufenden Meßprogramms starten. Aus der allgemeinen Befehlsbereitschaft heraus hat es keine Wirkung.

10. Start einer Serienmessung mit den zuletzt benutzten Parametern.
    Ein Block der Messung wird danach jeweils durch "START" oder das Kommando "9" gestartet.

11. Beschreiben des Digitalports 1
    Die Zelle erwartet als nächstes Byte den gewünschten Zustand des Ports. Bits 0...3 gehören zum A/D-Wandler und sollen high bleiben. Bit 0 kann low gesetzt werden, um die LED anzuschalten. Bits 4...7 sind als Digitaleingänge herausgeführt. Der Zustand aller Leitungen ist nach dem Einschalten high. Anschlüsse, die als Eingänge genutzt werden sollen, müssen high gesetzt bleiben. Nach Aufruf einer Messung sind die unteren vier Portbits high, die oberen vier bleiben unverändert.

12. Auslesen des Digitalports 1
    Die Zelle sendet den Zustand des Ports als ein Byte zurück. Die oberen vier Bits sind als Digitale Ein/Ausgänge zugänlich, die unteren vier Bits gehören zum A/D-Wandler. Ein Portanschluß kann nur dann als Eingang genutzt werden, wenn er nicht vorher auf Null gesetzt wurde. Offene Eingänge sind nach einem Neustart grundsätzlich high.

13. Lesen des Zustands der START-Taste
    Die Zelle antwortet mit einer "0" für "gedrückt" oder einer "1" für "nicht gedrückt".

14. Beschreiben des Digitalports 2
    Die Zelle erwartet eine "1" oder eine "0" als Steuerbit für die einzelne Ausgangsleitung P26.

15. Auslesen des Digitalports 2
    Die Zelle antwortet mit "1" oder "0", je nach Zustand der Leitung P26. Soll der Anschluß als Eingang genutzt werden, darf er vorher nicht zurückgesetzt werden.

16. Auslesen eines Prozessorregisters

Die Zelle erwartet die gewünschte Adresse und antwortet mit dem Inhalt der Adresse. Das Kommando kann z.B. verwendet werden, um nach dem Stop einer Messung die Anzahl der gemessen Werte zu erfragen.

17. Beschreiben eines Prozessorregisterns
    Die Zelle erwartet die Adresse (0...127) der gewünschten Zelle des internen Prozessor-RAMs und das Datenbyte. Das Kommando kann zur gezielten Parameterübergabe an eigene Programme verwendet werden.
18. Direktes Auslesen einer beliebigen RAM-Adresse
    Die Zelle erwartet Highbyte und Lowbyte der RAM-Adresse und antwortet mit dem Inhalt.
19. Direktes Beschreiben einer beliebigen RAM-Adresse
    Die Zelle erwartet Highbyte und Lowbyte der RAM-Adresse und das Datenbyte.

Die Datenübertragung zum Hostrechner erfolgt mit 9600 Baud, 8 Bit, NO Parity, 2 Stopbits. Nach dem Einschalten des Systems kann es sich zufällig oder noch von der letzten Benutzung her im Programmodus oder im Meßmodus befinden. Es muß daher immer mit einem Byte "0" zurückgesetzt werden. Eine Serie von zehn Bytes "0" holt die Zelle aus jedem Zustand in den Startzustand zurück, also auch dann, wenn sich das System durch Fehlbedienung in einem falschen Zustand befindet. Zwischen den einzelnen "0"-Bytes sollen 2ms Wartezeit liegen, weil dies die maximale Bearbeitungszeit zufällig noch aktiver Funktionen sicher überschreitet.

Fast alle Komandos dürfen mit der maximal möglichen Geschwindigkeit zusammen mit den erforderlichen Daten gesendet werden, da die zugehörigen Funktionen innerhalb der Zeit für zwei Stopbits beendet sind. Eine Ausnahme bilden die Kommandos, die ein Einrichten des Adreßpointers auf den erforderlichen Speicherbereich bewirken: Nach den Kommandos 1, 2, 3 und 5 muß eine Pause von 1ms gelassen werden, bevor die weitere Datenübertragung beginnen kann.

4. Ansteuerung der Zelle aus Hochsprachen

Das Betriebssystem der Zelle ist ganz und gar auf die Zusammenarbeit mit einem Hostrechner ausgelegt. Alle Funktionen können durch Kommandos über die RS232-Schnittstelle aufgerufen werden. Im Normalfall wird es für die einzelnen Anwendungsbereiche Programme geben, die in einer Hochsprache geschrieben sind. Außer der Datenkopplung können sie je nach Anwendungsfall auch die Auswertung von Daten, die Konvertierung von Daten oder komplexe Steuerungen auf der Ebene des Hostrechners enthalten. Dabei spielt die Wahl der verwendeten Sprache im Prinzip keine Rolle. Die folgenden Beispielprogramme demonstrieren die Verwendung der Zelle-Kommandos in Basic.

Das erste Beispiel zeigt das direkte Auslesen aller vier Analogkanäle in einer Endlosschleife:

```
10 REM Direkte Messung an vier Kanälen
20 OPEN "COM1:9600 ,N,8,1,cs,ds"  AS #1
30 FOR N = 1 TO 10: PRINT#1, CHR$(0);: NEXT N: REM System_Reset
40 CLS
50 FOR N = 1 TO 4
60 PRINT#1, CHR$(7); CHR$(N);                : REM Messen Kanal N
70 A = ASC (INPUT$(1,1))                     : REM Ergebnis lesen
80 LOCATE  N+5,10
90 PRINT "Kanal ";N;"  :  "; A/100; " V  "
100 NEXT N
110 IF INKEY$ = "" THEN GOTO 50
```

Das zweite Beispiel zeigt die Verwendung der Serien-Meßfunktion der Zelle in Basic. Es wird mit fest eingestellten Parametern gearbeitet, und die Meßergebnisse werden der Einfachheit halber nur am Bildschrim ausgegeben:

```
10 REM Meßserie an Kanal 1 und 2 mit 100 Messungen und 10 ms/Messung
20 OPEN "COM1:9600 ,N,8,1,cs,ds"  AS #1
30 FOR N = 1 TO 10: PRINT#1, CHR$(0);: NEXT N : REM System_Reset
40 PRINT#1, CHR$(1); CHR$(0); CHR$(100);      : REM Serienmessung, 100 mal
50 PRINT#1, CHR$(1); CHR$(2); CHR$(0);CHR$(0);: REM Kanal 1 und 2
60 PRINT#1, CHR$(0); CHR$(10);                : REM 100 ms
70 CLS
80 PRINT " Bitte Messnung starten. Taste drücken zum Auslesen. "
90 IF INKEY$="" THEN GOTO 90
100 FOR N = 1 TO 10: PRINT#1, CHR$(0);: NEXT N : REM System_Reset
110 PRINT#1, CHR$(2);                          : REM Auslesen
120 FOR N = 1 TO 8
130 PRINT#1, CHR$(1);                          : REM Anforderung
140 A$ = INPUT$(1,1): NEXT N                   : REM Parameterblock
150 FOR N= 1 TO 100
160 PRINT#1, CHR$(1);                          : REM Anforderung
170 A = ASC (INPUT$(1,1))                      : REM Ergebnis lesen
180 PRINT#1, CHR$(1);                          : REM Anforderung
190 B = ASC (INPUT$(1,1))                      : REM Ergebnis lesen
200 PRINT N; ":  Kanal 1 : "; A/100; " V     Kanal 2 : "; B/100; " V"
210 NEXT N
220 PRINT "Nächster Block? j/n"
230 INPUT C$
240 IF C$="j" THEN GOTO 150
250 PRINT#1,CHR$(0);                           : REM Auslesen Ende
```

Für Pascal und Comal wurden Prozeßsprachen in Form von Spracherweiterungen entwickelt, die den Umgang mit der Zelle erleichtern. Die Hardware-nahe Erzeugung von Zelle-Kommandos und die Übertragung von Parametern und Meßergebnissen wurden in einfach handhabbare Prozeduren verpackt.

Dadurch werden die obigen Programme z.B. in Pascal wesentlich kürzer und übersichtlicher. Die folgenden Beispielprogramme demonstrieren die Verwendung der Prozeßsprache in Form der Unit "Zelle".

Program Vierkanal_Direktmessung;

```
Uses Crt, Zelle;

Procedure Messen;
var n : Integer;
begin
  for n:=0 to 3 do begin
    GotoXY (10,n+5);
    write ('Kanal ',n+1,': ',UEin(n):3:2,' V');
  end;
end;

begin
  Init;
  CLrScr;
  Repeat
    Messen
  until KeyPressed;
end.
```

Program Messserie;

```
Uses Crt, Zelle;

Procedure Messung;
Var m, n : Integer;
    Ch   : Char;
begin
  BlockDef (100,3,10);
  Writeln ('Bitte Messung Starten und Taste drücken für Ausgabe');
  Repeat until KeyPressed;
  Ch := ReadKey;
  writeln ('Auslesen der Daten, bitte warten.');
  BlockEin(10);
  Repeat
    m:= 9;
    for n:=1 to 100 do begin
      write (n,'     Kanal 1: ',Dat_Puf[m+2*n]/100:3:2,' V  ');
      writeln ('   Kanal 2: ',Dat_Puf[m+2*n+1]/100:3:2,' V  ');
    end;
    Write ('Nächster Block j/n  ');
    Readln (Ch);
    m:=m+200;
  until Ch <> 'j';
end;

begin
  Init;
```

```
  ClrScr;
  Messung;
end.
```

5. Der SIMPEL-Compiler

Die Mikrocontroller der 8048-Familie sind nicht sonderlich für die Implementierung höherer Programmiersprachen geeignet, weil sie nur kleine Programme bis maximal 4 K aufnehmen können und weil sie mit einem kleinen Stack von 16 Bytes arbeiten. Deshalb war bisher keine Sprache für diesen Prozessor erhältlich.

Bei der Entwicklung der Zelle kam der Wunsch nach einer einfachen höheren Programmiersprache auf, die dem Anwender in den meisten Fällen das mühsame Erlernen des Umgangs mit Assembler ersparen sollte. Diese Sprache mußte einfach zu erlernen sein und sollte möglichst leicht zu implementieren sein. Gleichzeitig mußte sie sehr sparsam mit dem Speicherplatz umgehen. Dafür war es nicht erforlerlich, alle Möglichkeiten eines Assemblers zu erreichen. Eine Interpretersprache kam nicht in Frage, da sie zu viel Speicherplatz benötigen würde.

Daher sollte ein Cross-Compiler entwickelt werden, der einen Quelltext im PC in 8048-Maschinencode übersetzt, der dann als fertiges Maschinenprogramm in die Zelle übertragen werden kann. Die Sprache dieses Compilers wurde "SIMPEL" genannt, weil sie einerseits leicht erlernbar ist, andererseits aber auch nur eingeschränkte Möglichkeiten hat.

Die Grundidee für sie Sprache Simpel besteht darin, Befehle zu definieren, die als einfache Aufrufe von Unterprogrammen des Betriebssystems übersetzt werden können. Zum Beispiel kann der Befehl EinRS232 zum Lesen eines Bytes von der seriellen Schnittstelle aus dem Assemblerbefehl Call 0127 bestehen (Siehe Listing des Betriebssystems der Zelle im Anhang). Nach dem Rücksprung aus dem Unterprogramm liegt das Ergebnis im Akku vor. Umkekehrt übergibt der Befehl AusRS232 ein zu sendendes Bytes im Akku an die entsprechende Systemroutine.

Allgemein soll immer der Akku das Ergebnis einer Operation erhalten. Damit hat man die schwierige Umsetzung eines Variablen-Konzepts umgangen. In diesem Punkt ist Simpel einem Assembler sehr nahe. Der Akku bekommt in Simpel den Namen "X" und stellt die einzige wirkliche Variable dar. Daneben muß es noch Hilfsvariablen geben. Das Register R7 wurde Y ganannt und ist für Rechenoperationen und Vergleiche mit X bestimmt. Zusätzlich wurden die Adressen 32 bis 52 des internen RAMs als allgemeine Zwischenspeicher festgelegt und "Merkspeicher" genannt. Als Zähler für Schleifen wurden die Register R0 bis R7 der zweiten Registerbank eingesetzt. Sie erhalten die Namen "A" bis "H". Insgesamt arbeitet Simpel also nur mit X, Y, Merk 1 ... Merk 20 und A...H. Damit werden viele Schwierigkeiten der Assemblerprogrammierung vom Benutzer ferngehalten:

- Er braucht den Aufbau des internen Speichers nicht zu kennen.
- Es gibt keine Bankumschaltung.
- Doppelverwendung eines Registers als Variable und als Schleifenzähler ist ausgeschlossen.
- Die wenigen zugelassenen Merkspeicher können nicht mit dem Betriebssystem kollidieren.
- Die Register R0 bis R6 können vom Programmierer nicht verändert werden und sind dem Betriebssystem vorbehalten.

Der Simpel-Compiler sollte selbst einfach und überschaubar sein. Deshalb wurde als Grundstrategie der Übersetzung festgelegt, daß jede Befehlszeile direkt über eine Tabelle interpretierbar und übersetzbar sein muß. Dies hat Simpel mit Assembler gemeinsam. Deshalb kann eine Programmzeile maximal aus einem Befehl und einem Parameter bestehen. Das einfachste Beispiel ist das Laden von X mit einer Zahl:

in Simpel: `X 3 ; In Assembler mov a,#3`

In beiden Fällen lautet die Übersetzung 23h 03h. Neben Unterprogrammaufrufen aus dem Betriebssystem und einfachen Maschinenbefehlen enthält die Tabelle aber auch kurze Programmsequenzen, die für einen

Befehl eingesetzt werden. Ein Beispiel ist der Befehl Minus, der nicht als Maschinenbefehl vom Prozessor bereitgestellt wird, sondern mit mehreren Befehlen programmiert werden muß.

Die vollständige Befehlübersicht, Grundlagen der Programmierung in Simpel und einige Programmbeispiele befinden sich in der Bedienungsanleitung zum Simpel-Compiler. Weitere Hilfen kann man der Simpel-Programmsammlung entnehmen. An dieser Stelle soll der Aufbau der Befehle und des Compilers erklärt werden.

5.1 Die Simpel-Grundbefehle

Hier werden zunächst alle Befehle vorgestellt, die sich ohne besondere Berücksichtigung ihrer Adresslage erzeugen lassen. Die Tabelle SIMPEL.TAB des Simpel-Compilers (Siehe Anhang) legt jeweils den Befehl und die zugehörige Übersetzung fest. Hier wird zuerst das Assembler-Listing der Grundbefehle gezeigt. In der Befehltabelle werden neben den hexadezimalen OP-Codes auch besondere Zeichen oberhalb FF als Anweisungen an den Compiler benutzt:

XX Das zweite Wort der Programmzeile ist eine Zahl und wird hier eingesetzt.

RR Das zweite Wort in der Programmzeile ist eine Zahl und kennzeichnet einen Merkspeicher. Sie wird mit 32 addiert und hier eingesetzt.

PA Optionale Parameterübergabe: Wird hinter dem Befehl ein Wert angebeben, wird dieser zuvor in X geladen.

Um den Aufbau der Befehle zu verdeutlichen, wurde als Parameter für **XX** jeweils der Wert 05 eingesetzt, für den Merkspeicher **RR** jeweils das Register 32 (= Merk 0). Das Zeichen **PA** für die optionale Parameterübergabe wurde nicht mit in das Assemblerlisting übernommen. Es dient dazu, einfache Befehle, die einen Wert in X verarbeiten, mit und ohne Parameter verwenden zu können. Wird hinter dem Befehl ein Wert angegeben, so fügt der Compiler vor dem Befehl die Zuweisung "X Wert" ein. Im folgenden Assemblerlisting wird dagegen davon ausgegangen, daß der Wert schon im Akku vorliegt. Der Zusatz PA ist in Klammern im Kommentar angegeben.

Parameter dürfen dezimal, hexadezimal oder binär angegeben werden. Das Programm prüft jeweils die Art der Angabe und führt entsprechende Berechnungen durch.

Das Register R6 wird zur Zwischensicherung des Akkus verwendet, wenn ein Befehl wie z.B. AusRS232 einen Wert in X verarbeitet, der nachher unverändert vorliegen soll, obwohl die aufgerufene Systemroutine den Akku verändert.

Während fast alle Befehle direkt eingesetzt werden oder aus einem Unterprogrammaufruf bestehen, verwendet der Befehl "Stop" einen Sprungbefehl auf eine Endlosschleife im Betriebsprogramm. Eine Rückkehr aus diesem Zustand ist nur durch Reset oder Inetrrupt möglich.

Assemblerlisting der Grundbefehle

```
23 05       X               mov     a,#05

BF 05       Y               mov     r7,#05

AF          XnachY          mov     r7,a

FF          YnachX          mov     a,r7

B9 20       Merk            mov     r1,#32
A1                          mov     @r1,a

B9 20       LiesMerk        mov     r1,#32
F1                          mov     a,@r1

03 20       LiesMerk(X)     add     a,#32
A9                          mov     r1,a
F1                          mov     a,@r1

AE          SchreibeRAM     mov     r6,a    ;X sichern (PA)
34 8F                       call    018Fh
FE                          mov     a,r6    ;X zurückladen

34 AB       LiesRAM         call    01ABh

34 83       AnfangRAM       call    0183h

34 51       Messen          call    0151h   ;(PA)

39          AusPort         outl    p1,a    ;(PA)

09          EinPort         in      a,P1

8A 40       StAn            orl     p2,#40h

9A BF       StAus           anl     p2,#0BFh

0A          EinSt           in      a,P2
E7                          rl      a
E7                          rl      a
53 01                       anl     a,#01

B9 05       AusI/O          mov     r1,#05  ;(PA)
8A 20                       orl     p2,#20h
91                          movx    @r1,a
9A DF                       anl     p2,#0DFh

B9 05       EinI/O          mov     r1,#05
```

```
8A 20                    orl     p2,#20h
81                       movx    a,@r1
9A DF                    anl     p2,#0DFh

AE          AusRS232     mov     r6,a    ;X sichern,   (PA)
34 00                    call    0100h
FE                       mov     a,r6    ;X zurückladen

34 27       EinRS232     call    0127h

03 05       Plus         add     a,#05

6F          PlusY        add     a,r7

BE 05       Minus        mov     r6,#05
37                       cpl     a
6E                       add     a,r6
37                       cpl     a

37          MinusY       cpl     a
6F                       add     a,r7
37                       cpl     a

53 05       AND          anl     a,#05

5F          ANDY         anl     a,r7

43 05       OR           orl     a,#05

4F          ORY          orl     a,r7

D3 05       XOR          xrl     a,#05

DF          XORY         xrl     a,r7

37          NOT          cpl     a

E7          LinksSchieben rl     a

77          Rechtsschieben rr    a

24 F4       Stop         jmp     01F4h

74 1F       Taste        call    031Fh

54 D7       WarteTaste   call    02D7h

55          UhrStart     strt    t
```

Die Umsetzung eines Compilers für die Grundbefehle ist relativ einfach. Im Anhang findet sich der Quelltext

zu einer einfachen Version des Compilers (SIMPEL_2.PAS) ohne Editor und Schnittstelle, die den den Kern der integrierten Entwicklungsumgebung SIMPEL darstellt.

Zunächst wird die Befehlstabelle SIMPEL.TAB in die Arrays "Befehl" und "Opcode" eingelesen, indem jede Zeile der Tabelle in das Schlüsselwort und den entsprechenden Maschinencode aufgeteilt wird. Dabei werden die erlaubten Befehle gezählt. Die maximale Anzahl erlaubter Befehle wird in "MaxBef" geführt.

Die Hauptprozedur "Compiler" des Programms liest den Quelltext und teilt jede Zeile in "Wort1" und "Wort2". Dabei werden Leerzeichen als Trennung zwischen den Worten gelesen oder als Einrückzeichen interpretiert. Ein drittes Wort würde als Kommentar überlesen. Die beiden Worte einer Zeile können z.B. ein Befehl und ein Parameter sein und müssen im folgenden übersetzt werden. Dies übernimmt die Prozedur "Translate".

In Translate wird die Befehlsliste nach dem Vorkommen des "Wort1" abgesucht. Wird es nicht gefunden, gibt es eine Fehlermeldung. Ansonsten stellt der parallele Eintrag in Opcode die Übersetzungsanweisung dar. Wenn sich hier nur hexadezimale Zahlen zwischen 00 unf FF finden, werden sie einfach in das Ausgabearray Hexcode [Adr] kopiert, wobei die gültige Adresse mit hochgezählt wird. Alle Zeichen über FF stellen besondere Anweisungen an den Compiler dar, die in der Prozedur "Sonder" behandelt werden. Dort werden z.B. entsprechend der Anweisung XX Werte eingesetzt.

5.2 Prozeduren

Ein Simpel-Programm besteht im allegemeinen aus mehreren Prozeduren und einem Hauptprogramm. In die ersten beiden Adressen des Programmspeichers (0400h und 0401h) trägt der Compiler einen Sprungbefehl zum Anfang des Hauptprogramms ein, so daß alle Prozeduren zunächst übersprungen werden.

Die Prozeduren sind Unterprogramme, die mit dem Rücksprungbefehl ret abgeschlossen werden. Für den Namen der Prozedur muß im weiteren ein Unterprogrammaufruf der Angangsadresse der Prozedur eingesetzt werden. Während des Compilierens wird MaxBef für jede neue Prozedur um eins erhöht und zugleich die Arrays Befehl und Opcode erweitert. Der Name der neuen Prozedur ist dann gleichwertig mit einem schon vordefinierten Befehl. In der Befehlstabelle SIMPEL.TAB finden sich folgene Steueranweisungen für den Compiler:

PD Definition einer Prozedur. Der Prozedurname wird zusammen mit dem Befehlstext zu seinem Aufruf an die Befehlsliste angefügt.

HA Hauptprogramm-Anfang. Ein Sprungbefehl auf die aktuelle Adresse wird nachträglich an den Anfang des Programms gesetzt.

Assemblerlisting der Programmstruktur

```
                                                    
            ;Prozedur Name                  ;(PD)   
                                                    
83          ProzedurEnde   ret              ;(SO)   
                                                    
            ;Anfang                         ;(HA)   
                                                    
24 F4       Ende           jmp     01F4h    ;(SO)   
```

5.3 Erweiterte Kontrollstrukturen

Zusätzlich zu den einfachen Befehlen gibt es in Simpel die folgenden Kontrollstrukturen:

- Zählschleifen: Amal ...
- Endlosschleife: Immer ...
- Begingte Aufrufe: WennX=0 ...
- Bedingte Programmschleifen: Solange...
  ...
  SolangeEnde

Diese Strukturen erfordern vom Compiler verschiedene Adressenberechnungen für Sprungbefehle. Es ist zwischen den kurzen Sprüngen der bedingten Sprungbefehle auf der selben Seite und langen Sprüngen des jmp-Befehls zu unterscheiden. Die Berechnung der Adressen wird durch besondere Zeichen über FF in der Übersetzungstabelle SIMPEL.TAB gesteuert. Die folgende Liste zeigt alle definierten Anweisungen:

XX Das zweite Wort der Programmzeile ist eine Zahl und wird hier eingesetzt.

RR Das zweite Wort in der Programmzeile ist eine Zahl und kennzeichnet einen Merkspeicher. Sie wird mit 32 addiert und hier eingesetzt.

PA Optionale Parameterübergabe: Wird hinter dem Befehl ein Wert angebeben, wird dieser zuvor in X geladen.

PD Definition einer Prozedur. Der Prozedurname wird zusammen mit dem Befehlstext zu seinem Aufruf an die Befehlsliste angefügt.

HA Hauptprogramm-Anfang. Ein Sprungbefehl auf die aktuelle Adresse wird nachträglich an den Anfang des Programms gesetzt.

HH Es wird kein Byte eingesetzt, aber der Compiler mekt sich die aktuelle Adresse für einen späteren (kurzen) Rücksprung.

SS An dieser Stelle wird das Lowbyte der bei HH gespeicherten Adresse als Rücksprungadresse eingetragen.

PR Das zweite Wort der Programmzeile ist ein Prozedurname oder ein Befehl. An dieser Stelle werden ein oder mehrere Bytes dieses Befehls eingesetzt.

NN Das zweite Wort der Programmzeile ist ein Prozedurname oder ein Befehl. Es wird die Länge des Maschinencodes festgestellt und die Vorwäts-Sprungadresse zum bedingten Überspringen des Befehls an dieser Stelle eingesetzt.

JP An dieser Stelle wird der JMP-Befehl 84, A4, C4 oder E4 je nach aktueller Seite (4...7) des Programmspeichers eingesetzt.

HS Der Schleifenzähler wird incrementiert, und die Aktuelle Adresse wird für einen späteren Rücksprung in einer bedingten Programmschleife gespeichert.

JS Es werden die Befehle zum Rücksprung an die mit HS bezeichnete Stelle eingesetzt.

J3 Es wird die Adresse für einen drei Byte weiten Vorwätssprung berechnet und hier eingesetzt.

JZ In die Aktuelle Adresse wird das vorläufige Sprungziel "00" engesetzt, und die Adresse wird für das spätere Einsetzen der richtigen Sprungadresse gespeichert.

JE Die aktuelle Sprungadresse wird in die bei "JZ" gespeicherte Adresse eingesetzt. Der Schleifenzähler wird decrementiert.

SO Es wird am Ende einer Prozedur oder des Hauptprogramms geprüft, ob noch Schleifen geöffnet sind.

HX Es werden die folgenden hexadezimalen Bytes in das Programm eingesetzt.

Alle besonderen Anweisungen an den Compiler werden in der Prozedur "Sonder" interpretiert und bearbeitet, wobei für jeden Sonderfall eine eigene Prozedur zuständig ist.

Die übergeordnete Prozedur Translate übenimmt u.a. die Überwachung der Adressen des entstehenden Maschinenprogramms auf mögliche Wechsel der Seiten. Dies ist wichtig, da bei 8048-Prozessoren bedingte Sprünge nicht über die Grenzen einer Seite möglich sind. Der Einfachheit halber werden beim Erreichen einer Adresse, die um 16 unter einer neuen Seite liegt, also bei F0h, 1F0h, 2F0h usw, nop-Befehle "00" eingesetzt, bis die neue Seite erreicht ist.

Die im Programm geführte aktuelle Adresse (Adr) beginnt bei Null, während die tatsächliche Adresse im Zielsystem bei 0400h beginnt. Die wirkliche Areßlage wird bei allen Sprungbefehlen beachtet. Adr dient dem Aufbau des Ausgabe-Arrays Hexcode [Adr]. Hier wird das übersetzte Programm in hexadezimaler Form abgelegt. Die Übersetzung beginnt mit Adresse 2, weil bei der Übersetzung des Anfangs des Hauptprogramms (Anweisung : "Anfang") ein absoluter Sprungebefehl auf den dann bekannten Programmanfang in die Adressen 0 und 1 eingesetzt wird. Ein ähnlicher Rückgriff auf kleinere Adressen findet bei der Übersetzung der Solange-Schleifen statt. Hier muß eine Sprungadresse eingesetzt werden, die erst am Ende der Schleife bekannt ist.

Die Zählschleifen können mit acht verschiedenen Zählern A bis H gebildet werden, die die Register r0 bis r7 der zweiten Registerbank (Bank 1) verwenden. Während Simpel-Programme sonst nur die Registerbank 0 verwenden, werden für die Zählschleifen die Register r0 bis r7 in Bank 1 benutzt. Die Register können direkt geladen oder über den Akku geladen und ausgelesen werden. Das folgende Listing zeigt die Verwendung des Registers r0 für den Zähler A. Die Zähler B bis H verwenden entsprechend die Register r1 bis r7. Der Inhalt der eigentlichen Zählschleife kann entweder die Programmsequenz eines Befehls oder ein Prozeduraufruf sein. Hier wurde zur Verdeutlichung die Prozedur "Name" verwendet.

Assemblerlisting der Wiederholschleifen

```
0402 83          Name           ret

0403 D5          A              sel     rb1
0404 B8 05                      mov     r0,#05
0406 C5                         sel     rb0

0407 D5          XnachA         sel     rb1
0408 A8                         mov     r0,a
0409 C5                         sel     rb0

040A D5          AnachX         sel     rb1
040B F8                         mov     a,r0
040C C5                         sel     rb0

040D C5          Amal           sel     rb0     ;HH
040E 94 02                      call    Name
0410 D5                         sel     rb1
0411 E8 0D                      djnz    r0,Amal ;SS
0413 C5                         sel     rb0

0414 94 02       Immer          call    Name
0416 84 14                      jmp     Immer

0418 AC          Warte          mov     r4,a    ;(PA)
0419 34 C1       HH             call    01C1h
041B EC 19                      djnz    r4,HH   ;SS
```

Im Gegensatz zu den Zählschleifen führt die Verwendung der Immer-Schleife zu einer endlosen Wiederholung, die nur durch Reset oder einen Interrupt abgebrochen werden kann.

Der Warte-Befehl besteht aus einer Wiederholschleife unter Verwendung des Registers r4 der Registerbank 0. Der Aufruf der Systemroutine zum Warten bis zur nächsten abgelaufenen Millisekunde ist fest eingefügt.

Bedingte Prozeduraufrufe greifen auf die bedingten Sprungbefehle des Prozessors zurück. Wenn die Bedingung an einen Vergleich mit Y gebunden ist, dann wird zuerst eine Subtraktion durchgeführt. Der einzusetzende Befehl bzw. der Prozeduraufruf wird bedingt übersprungen. Die Sprungadresse zeigt also auf den nach der Wenn-Struktur stehenden Programmcode.

Assemblerlisting der Wenn-Strukturen

```
0402 83          Name           ret

0403 96 07       WennX=0        jnz     NN1
0405 94 02                      call    Name
0407             NN1            ...

0408 C6 0C       WennX>0        jz      NN2
040A 94 02                      call    Name
040C             NN2            ...

040D AE          WennX>=Y       mov     r6,a   ;X sichern
040E 37                         cpl     a
040F 6F                         add     a,r7
0410 37                         cpl     a
0411 FE                         mov     a,r6
0412 F6 16                      jc      NN3
0414 94 02                      call    Name
0416             NN3            ...

0417 AE          WennX<Y        mov     r6,a   ;X sichern
0418 37                         cpl     a
0419 6F                         add     a,r7
041A 37                         cpl     a
041B FE                         mov     a,r6
041C E6 20                      jnc     NN4
041E 94 02                      call    Name
0420             NN4            ...

0421 AE          WennX=Y        mov     r6,a   ;X sichern
0422 37                         cpl     a
0423 6F                         add     a,r7
0424 37                         cpl     a
0425 03 FF                      add     a,#255
0427 FE                         mov     a,r6
0428 F6 2C                      jc      NN5
042A 94 02                      call    Name
042C             NN5            ...
```

Während die bisherigen Kontrollstrukturen nur einen Befehl oder einen Prozeduraufruf erlauben, schließt die letzte unter Verwendung der Solange-Befehle mehrere Programmzeilen ein. Sie ist daher besonders aufwendig umzusetzen und erfordert eine Ausnahme von der Strategie, Zeile für Zeile direkt zu übersetzen. Es sind nämlich Sprungadressen einzusetzen, die erst im weiteren Verlauf bekannt werden.

Solange-Schleifen dürfen bis zu achtfach ineinander geschachtelt werden. Man kann so durch komplexere Prozeduren Prozeduraufrufe einsparen, um den Prozessor-Stack weniger zu belasten. Geöffnete Schleifen werden im Compiler in der Variablen Schleife_Nr gezählt. Beim Beenden einer Prozedur und am Ende des Hauptprogramms wird überprüft, ob alle geöffneten Schleifen auch wieder geschlossen wurden.

Die SolangeNichtFertig-Schleife verwendet das Prozessor-Flag F0 als Bedingung für die Ausführung der Schleife. Es kann durch eigene Befehle beliebig gesetzt oder gelöscht werden.

Assemblerlisting der Solange-Schleifen

```
0402 83          Name            ret

0403 85          Fertig          clr     F0      ;F0=0

0404 85          NichtFertig     clr     F0
0405 95                          cpl     F0      ;F0=1

0406             SolangeNichtFertig
0406 B6 0A       HS              jF0     J3
0408 84 0D                       jmp     JZ
040A             J3              ...             ;Programm-
                                 ...             ;zeilen
040B 84 06       SolangeEnde     jmp     HS
040D             JZ              nop
```

Die übrigen Solange-Schleifen unterscheiden sich nur durch den verwendeten bedingten Sprungbefehl, der jeweils direkt den Akku oder den Zustand der Leitung T0 abfragt.

Schleife	Befehl	Opcode
SolangeNichtFertig	jFO	B6
SolangeX=0	jz	C6
SolangeX>0	jnz	96
SolangeTaste	jnT0	26
SolangeNichtTaste	jT0	36

5.4 Spracherweiterungen

Simpel kann von jedem fortgeschrittenen Anwender leicht verändert oder erweitert werden. Da alle Befehle über die Tabelle SIMPEL.TAB definiert sind, ist es auch möglich, die Schlüsselworte komplett auszutauschen, um sie z.B. anderen Sprachkonzepten anzupassen oder in eine andere Landessprache zu übertragen.

Erweiterungen der Befehltabelle sind ohne weiteres möglich, indem das gewünschte Schlüsselwort und der Programmcode in einer neuen Zeile an die Liste angehängt werden. Bei einer Durchsicht der vorhandenen 8048-Maschinenbefehle fallen noch zahlreiche Möglichkeiten ins Auge, die bisher aus Gründen der Einfachheit der Sprache nicht umgesetzt wurden. Beispiele sind:

- anl p2,#data und orl p2,#data zur direkten Anwendung auf die digitalen Ein/Ausgabeleitungen
- inc a und dec a zum Erhöhen und Verkleinern des Akkus um Eins
- Verwendung des zweiten Prozessor-Flags F1 zum Aufbau einer weiteren Solange-Struktur mit globalem Flag
- jb0 bis jb7 zum Aufbau von Wenn-Befehlen
- swap a zum Tauschen von Halbbytes
- retr zum Wiederherstellen von F1 (Fertig/NichtFertig) nach einem Rücksprung

Die folgenden Befehle wurden nach der ersten ausgelieferten Version des Simpel-Compilers angefügt.

```
Zusätzliche Grundbefehle
------------------------
00          Nichts             nop

2F          TauscheXY          xch     a,r7

47          TauscheHalbbytes   swap    a

83          ProzedurAusgang    ret           ;ohne SO

93          ProzedurAbschluß   retr          ;(SO)
```

ProzedurAusgang kann in einer Prozedur mit einer Bedingung verknüpft werden. ProzedurAbschluß ersetzt ProzedurEnde mit der Wirkung, daß das Fertig-Flag (F0) den alten Zustand erhält.

Damit kann die SolangeNichtFertig-Schleife mehrfach und unabhängig voneinander in verschiedenen Prozeduren verwendet werden. Fertig/NichtFertig gilt also nicht mehr global, sondern nur noch lokal.

Zusätzliche Wenn-Strukturen

```
0403 36 07       WennTaste       jT0     NN1
0405 94 02                       call    Name
0407             NN1             ...

0408 26 0C       WennNichtTaste  jnT=    NN2
040A 94 02                       call    Name
040C             NN2             ...

040D AE          WennX<>Y        mov     r6,a   ;X sichern
040E 37                          cpl     a
040F 6F                          add     a,r7
0410 37                          cpl     a
0411 FE                          mov     a,r6
0412 E6 16                       jnc     NN3
0414 94 02                       call    Name
0416             NN3             ...
```

Wenn neue Befehle implementiert werden sollen, kann man sie zunächst mit der Code-Anweisung im Programm ausprobieren. Bei Erfolg können sie mit dem Editor des Simpel-Compilers an die Befehlsliste SIMPEL.TAB angefügt werden. Um die Tabelle einzuladen, muß das Datei/Laden-Menü mit <Esc> verlassen werden. Man kann dann einen Dateinamen eingeben, der nicht die Endung .SIM hat. Nach dem Speichern der veränderten Tabelle muß Simpel zunächst verlassen werden, damit die Tabelle neu eingelesen wird.

Eine andere Möglichkeit zum Implementieren neuer Befehle liegt in der auschließlichen Verwendung der Code-Anweisung. Mit ihr kann wie mit der Inline-Anweisung in Turbo Pascal direkter Maschinencode in das Programm eingesetzt werden. Im allgemeinen wird man eine Prozedur für jeden neuen Befehl benutzen, um Namen vergeben zu können. Diese Möglichkeit ist besonders für sehr spezielle Befehle geeignet, die nur für ein Programm gebraucht werden (vgl. Kap 5.6, Wahlfreier Zugriff auf das RAM). Ein Nachteil gegenüber der Implementierung über die Befehlstabelle ist, daß mehr Prozeduraufrufe benötigt werden. Es können wegen der begrenzten Größe des Prozessor-Stack nur acht ineinander geschachtelte Aufrufe erfolgen.

5.5 Zugriff auf Systemparameter

Die zwanzig Merkspeicher in Simpel nehmen die Adressen 33 bis 52 im internen RAM des Mikrocontrollers ein. Ein Blick in das Betriebssystem zeigt, daß die Adressen 51 und 52 (Merk 19, 20) als Zähler für die Blocklänge bei Serienmessungen verwendet werden. Ein Konflikt ist durch diese Doppelbelegung nicht zu erwarten, da nur entweder die Betriebssystemebene oder ein Simpelprogramm aktiv sein kann.

Andererseits können darüberliegende Adressen ebenfalls wie Merkspeicher angesprochen werden, wodurch sich erweiterte Möglichkeiten ergeben. Insbesondere die beiden Speicheradressen des Pointers auf das Daten-RAM können sinnvoll verändert werden:

interne RAM-Adresse	Merkspeicher	Funktion
61	29	Pointer-Highbyte
62	30	Pointer-Lowbyte

Der Befehl AnfangRAM stellt den Adreßpointer auf 0800h ein. Jeder Zugriff auf das RAM mit SchreibeRAM oder LiesRAM erhöht den Pointer, so daß im Normalfall mit sequenziellen Daten gearbeitet wird. Durch Wertzuweisungen an die Merkspeicher 29 und 30 kann jede beliebige Adresse im gesamten RAM eingestellt werden, also auch der unbenutzte Bereich von 0000h bis 03FEh, der Systemspeicher bei 03FFh und der Programmbereich ab 0400h.

Das Beispielprogramm "Systemparameter" zeigt, wie die Betriebsebenen der Zelle willkürlich beeinflußt werden können. Normalerweise führt jeder Reset bei eingeschaltetem Programmodus zu einem Neustart des Simpel-Programms. Ein endgültiger Abbruch ist nur durch einen Interrupt über die RS232 oder durch langes Drücken der Starttaste nach Reset möglich. Die Prozedur systemram ermöglicht jedoch die Vorgabe anderer Startinformationen in der Adresse 03FFh.

Weitere Eingriffe in Funktionen des Betriebssystems können dürch Einfügen von Maschinencode mit dem Befehl Code erreicht werden. Im Hauptprogramm des Beispiels wird zunächst der Interrupt gesperrt, so daß der Hostrechner keinerlei Einfluß mehr auf die Zelle hat. Nach Beendigung des Programms durch die Starttaste wird der Ausgangszustand der Zelle durch direktes Anspringen der Interrupt-Routine hergestellt. Insgesamt wird so erreicht, daß das Programm nur einmal ablaufen kann und daß sowohl Reset als auch die Starttaste wieder in den Befehlsmodus führen.

;Programm Systemparameter

```
Prozedur systemram
 Merk 1              ;X zwischenspeichern
 X C3h               ;beachte: P26 u.P27 high (C0h)
 Merk 29             ;Adreßpointer high (03h + C0h)
 X FFh
 Merk 30             ;Adreßpointer low
 LiesMerk 1          ;X zurückladen
 SchreibeRAM         ;in 03FFh schreiben
ProzedurEnde

Anfang
 systemram 0         ;Kommandobereitschaft nach Reset
 Code  15            ;dis i, Interrupt abschalten
 SolangeNichtTaste
  AusPort 254        ;LED an
```

```
 SolangeEnde
 AusPort 255          ;LED aus
 Code  04C2           ;jmp 00C2h, Interrupt-Routine
Ende
```

Das interne RAM des 80C39 hat noch wesentlich mehr Speicherzellen als bisher verwendet wurden. Die zweite Hälfte des Speichers von Adresse 64 bis Adresse 127 wurde nicht verwendet, um kompatibel zu den kleineren Prozessortypen 8048, 8035 und 8748 zu bleiben, da Simpelprogramme prinzipiell auch in kleinen Ein-Chip-Systemen lauffähig sind. Wenn dies aber nicht angezielt wird, können zusätzlich die Merkspeicher 32 bis 95 verwendet werden.

5.6 Wahlfreier Zugriff auf das RAM

Die Befehle LiesRAM und SchreibeRAM arbeiten sequentiell und sind nach AnfangRAM nur im Datenbereich ab 0800h benutzbar. Der untere RAM-Bereich von einem Kilobyte (parallel zum Betriebssystem im EPROM) blieb bisher ungenutzt. Er eignet sich aber sehr gut zur Zwischensicherung von Daten oder für Tabellen. Deshalb werden hier Prozeduren vorgestellt, mit denen jede RAM-Adresse wahlfrei erreicht werden kann. Y wird als Adresspointer verwendet. Die angeziele Seite (256-Byte-Bereich) des Speichers muß extra gesetzt werden.

Vergleichbare Prozeduren werden auch für das interne RAM vorgestellt. Damit erhält man einen anderen Zugriff auf Merkspeicher, der sich besonders bei berechneten Adressen bewährt.

;Programm RAM-Zugriff

```
Prozedur IntRAMschreiben  ;X Datum, Y Adresse
TauscheXY
Code A8    ; mov r0,x
TauscheXY
Code A0    ; mov @r0,a
ProzedurEnde

Prozedur IntRAMlesen  ; Y Adresse
TauscheXY
Code A8    ; mov r0,x
TauscheXY
Code F0    ; mov a,@r0
ProzedurEnde

Prozedur RAMSeite     ; X Seite
Plus C0h
Code 3A    ; outl p2,a
ProzedurEnde

Prozedur RAMschreiben  ; X Daten, Y Adresse
TauscheXY
Code A8    ; mov r0,x
TauscheXY
Code 90    ; movx @r0,a
ProzedurEnde

Prozedur RAMlesen  ; X Daten, Y Adresse
TauscheXY
Code A8    ; mov r0,x
TauscheXY
Code 80    ; movx a,@r0
ProzedurEnde


Anfang
Seite 0
```

```
Y 250
RAMlesen
Y 32
intRAMschreiben
Ende
```

Das Hauptprogramm kopiert Adresse 250 des RAMs in die Adresse 32 (= Merkspeicher 1) des internen RAMs. Die Prozeduren lassen sich auch vermischt mit den Befehlen LiesRAM und SchreibeRAM einsetzen. Allerdings verändern sie die aktuelle Seite, sodaß sie wieder neu gesetzt werden muß.

6. Hardware-Erweiterungen für die Zelle

Für viele Aufgaben fehlen der Zelle eine ausreichende Zahl kräftiger digitaler Ausgänge. Wenn vier oder fünf Ausgänge genügen, kann man sich im einfachsten Fall mit Darlington-Treiberbausteinen ULN 2003 oder ähnlichen behelfen, die direkt an die Leitungen D0...D3 und St angeschlossen werden. Sie benötigen jedoch einen Steuerstrom von ca 1mA und müssen daher mit Pull-Up-Widerständen von 2,2kÛ angeschlossen werden.

Wenn man mehr Ausgänge braucht und über den Sammelstecker gehen will, dann empfiehlt sich die Verwendung von Schieberegistern, die jeweils mit einer Datenleitung und einer Taktleitung angesteuert werden. Die Steuersoftware kann in Simpel geschrieben werden. Eine andere Alternative ist die Verwendung eines 8243-Erweiterungsbausteins.

Für umfangreiche Erweiterungen der Zelle sollte man den I/O-Bus verwenden. Er stellt 128 Adressen für externe Peripherie zur Verfügung, die sowohl über die Prozeßsprachen als auch aus Simpel heraus direkt beschrieben und gelesen werden können.

6.1 Der I/O-Bus

Im Adreßbereich ab 2000h (oberhalb 8kB) ist sowohl das RAM als auch das EPROM der Zelle gesperrt. Greift der 80C39 mit /WR oder /RD auf diesen Bereich zu, dann ist die Portleitung P25 high. Im Prinzip kann man weitere 8K adressieren. Allerdings ist die Software nur auf 256 (Simpel) bzw 128 Adressen (Prozeßsprache) ausgelegt, was für Peripheriebausteine durchaus ausreicht.

Der Erweiterungsbus ist über den RAM-Sockel erreichbar. Mit einer Zwischenfassung können alle Anschlüsse über ein Flachbandkabel an die Erweiterung geführt werden:

Pin	Anschluß	Pin	Anschluß
1	/RD	28	Ubat (direkt)
2	(A12)	27	/WE
3	A7	26	+5V (über Schalter)
4	A6	25	(A8)
5	A5	24	(A9)
6	A4	23	(A11)
7	A3	22	(OE)
8	A2	21	(A10)
9	A1	20	I/O-Select
10	A0	19	D7
11	D0	18	D6
12	D1	17	D5
13	D2	16	D4
14	GND	15	D3

(Anschlüsse in Klammern werden nicht für externe Peripherie benötigt.)

Mit seinen Datenleitungen, Adreßleitungen und den Steuerleitungen /RD und /WR kann der Erweiterungsbus an alle üblichen Bausteine wie 8255, 8253, Latches wie 74LS574, A/D-Wandler wie µPD7002, A/D-Wandelr wie den ZN428 und zahlreiche weitere busorientierte Peripherie angeschlossen werden. Es muß allerdings beachtet werden, daß das I/O-Select-Signal umgekehrte Polarität zum sonst üblichen /CS-Signal besitzt. Invertiert man es z.B. mit einem CMOS-Baustein, dann können alle oben genannten Bausteine angeschlossen werden. Verwendet man z.B. nur einen 8255, so erhält man 24 weitere bidirektionale Portleitungen. Ohne weiter Bausteine werden die Adressen des 8255 mehrfach gespiegelt, was jedoch problemlos ist, wenn man nur die Adressen 0, 1, 2 und 3 anspricht.

Für größere Projekte mit mehreren externen Bausteinen kann es nötig werden, einen Adreßdecoder einzusetzen. Für nährere Einzelheiten verweise ich auf mein Buch "Messen, Steuern und Regeln über die RS232-Schnittelle" im Franzis-Verlag.

6.2 Ansteuerung einer LCD-Anzeige

Die Zelle kann über ihren Expansionsbus eine intelligente Standard-LCD-Anzeige ansteuern. Das folgende Simpel-Programm zeigt die grundlegende Steuerung und einige nützliche Prozeduren für erweiterte Anwendungen. Es ist als "Steinbruch" für eigene Versuche zu verstehen.

```
;Ansteuerung des LCD-Displays LM-16251 von SHARP
;E an Y4 (HC138-Ausgang, invertiert), Adressen 64...79
;R/W an A0  (ungerade Adressen nur Lesen)
;RS an A1   (Befehle: Adressen 64/65, Daten: Adressen 66/67)

Prozedur bereitschaft  ;Jede Aktion erfordert zuerst ein
NichtFertig            ;Feststellen der Bereitschaft des
SolangeNichtFertig     ;Displays, sonst Zerstörungsfahr.
EinI/O 65
AND 128
WennX=0 Fertig
SolangeEnde
ProzedurEnde

Prozedur befehl        ;Ausgabe an Adresse 64
Merk 1                 ;Übergabe in X
bereitschaft
LiesMerk 1
AusI/O 64
ProzedurEnde

Prozedur daten         ;Datenausgebe über Adresse 66
Merk 1                 ;Übergabe in X
bereitschaft
LiesMerk 1
AusI/O 66
ProzedurEnde

Prozedur init          ;Erforderlich nach dem Einschalten
befehl 38h
befehl 1
befehl 0Ch             ;Cursor aus, 0E= Cursor an
befehl 6
ProzedurEnde

Prozedur cursor        ;Cursor-Position ansteuern
Plus 128
befehl
ProzedurEnde

Prozedur abc           ;Erzeugen aufsteigender ASCII-Zeichen
LiesMerk 2
daten
```

```
LiesMerk 2
Plus 1
Merk 2
ProzedurEnde


Prozedur schreibe      ;Eine Reihe A..P schreiben  (Test)
B 16
X 65
Merk 2
Bmal abc
cursor 64              ;Zweite Reihe Zeichen schreiben
B 16
X 81
Merk 2
Bmal abc
ProzedurEnde

Prozedur abisf         ;Hilfsprozedur für Hexadezimalzeichen
Plus 7
ProzedurEnde

Prozedur hexcode       ;Erzeugen von Hex_Zeichen
Merk 3
LinksSchieben
LinksSchieben
LinksSchieben
LinksSchieben
AND 15
Y 10
WennX>=Y abisf
Merk 4                 ;Ausgabe an Position 2/3
cursor 2
LiesMerk 4
Plus 48
daten
LiesMerk 3
AND 15
Y 10
WennX>=Y abisf
Plus 48
daten
ProzedurEnde

Prozedur dezimalcode   ;Dezimalzahlen ausgeben
Merk 6
Merk 3
X 0
Merk 10
```

```
NichtFertig
Y 100
LiesMerk 3
WennX<Y Fertig
SolangeNichtFertig
LiesMerk 3
Minus 100
WennX<Y Fertig          ;Hunderter
Merk 3
LiesMerk 10
Plus 1
Merk 10
SolangeEnde
X 0
Merk 11
NichtFertig
Y 10
LiesMerk 3
WennX<Y Fertig
SolangeNichtFertig
LiesMerk 3
Minus 10
WennX<Y Fertig          ;Zener
Merk 3
LiesMerk 11
Plus 1
Merk 11
SolangeEnde
X 0
Merk 12
NichtFertig
Y 1
LiesMerk 3
WennX<Y Fertig
SolangeNichtFertig
LiesMerk 3
Minus 1                 ;Einer
WennX<Y Fertig
Merk 3
LiesMerk 12
Plus 1
Merk 12
SolangeEnde
LiesMerk 10
Plus 48
daten
LiesMerk 11
Plus 48
daten
```

```
LiesMerk 12
Plus 48
daten
LiesMerk 6
ProzedurEnde

Prozedur zählen          ;Hochzählen   (Test)
LiesMerk 5
hexcode
cursor 10
LiesMerk 5
dezimalcode
LiesMerk 5
Plus 1
Merk 5
Warte 255
Warte 255
ProzedurEnde

Prozedur vierkanäle      ;4-Kanal-Digitalvoltmeter
cursor 0
Messen 1
Dezimalcode
cursor 4
Messen 2
dezimalcode
cursor 8
Messen 31
dezimalcode
cursor 12
Messen 4
dezimalcode
X 250
Warte
ProzedurEnde

Prozedur rechnen         ;Beispiel für Rechnung
Cursor 5
X 1
Merk 7
NichtFertig
SolangeX>0
cursor 5
dezimalcode 200
daten 32
LiesMerk 7
dezimalcode
daten 32
LiesMerk 7
```

```
XnachY
X 200
MinusY
dezimalcode
Warte 255
Warte 255
LiesMerk 7
Plus 1
Merk 7
SolangeEnde
Stop
ProzedurEnde


Anfang
init
X 0
Merk 5
Immer rechnen              ;Aufruf der gewünschten Aktion ...
;vierkanäle
;zählen
Ende
```

Anhang

Literatur

Platine, Bestückungsplan, Teileliste

8048-Programmierkarte

Register-Operationen

Register	R0	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
ADD A,R	68	69	6A	6B	6C	6D	6E	6F
ADDC A,R	78	79	7A	7B	7C	7D	7E	7F
ANL A,R	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F
ORL A,R	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F
XRL A,R	D8	D9	DA	DB	DC	DD	DE	DF
INC R	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F
DEC R	C8	C9	CA	CB	CC	CD	CE	CF
DJNZ R,adr	E8	E9	EA	EB	EC	ED	EE	EF
MOV A,R	F8	F9	FA	FB	FC	FD	FE	FF
MOV R,A	A8	A9	AA	AB	AC	AD	AE	AF
MOV R,#data	B8	B9	BA	BB	BC	BD	BE	BF
XCH A,R	28	29	2A	2B	2C	2D	2E	2F

Register relativ

Register	R0	R1
ADD A, @R	60	61
ADDC A, @R	70	71
ANL A, @R	50	51
ORL A, @R	40	41
XRL A, @R	D0	D1
INC @R	10	11
MOV A, @R	F0	F1
MOV @R,A	A0	A1
MOV @R,#data	B0	B1
XCH A, @R,#	20	21
XCHD A, @R	30	31
MOVX A, @R	80	81
MOVX @R,A	90	91

Sprungbefehle

Bit 5-7	0	1	2	3	4	5	6	7
JMP	04	24	44	64	84	A4	C4	E4
JBb	12	32	52	72	92	B2	D2	F2
CALL	14	34	54	74	94	B4	D4	F4

Ein/Ausgabe

Port	1	2
IN A,P	09	0A
OUTL p,A	39	3A
ANL p,#data	99	9A
ORL P,#data	89	8A
MOVD A,p	0C..0F	
MOVD p,A	3C..3F	
ANLD p,A	9C..9F	
ORLD p,A	8C..8F	
INS a,Bus	08	
OUTL Bus,A	02	
ANL Bus,#data	98	
ORL Bus,#data	88	

Bedingte Sprungbefehle

JC F6	JMPP a A B3	JT0 36
JNC E6	JZ C6	JNT0 26
JT1 56	JNZ 96	JTF 16
JNT1 46	JF0 B6	JNI 86
JF1 76	RET 83	RETR 93

Arithmetische Befehle

ADD A,#data 03	ANL A,#data 53	INC A 17	RLA E7
ADDC A,#data 13	ORL A,#data 43	DEC A 07	RLC A F7
DA A 57	XRL A,#data D3	CLR A 27	RRA 77
SWAP A 47		CPL A 37	RRC A 67

Timer-Befehle

MOV A,T	42
MOV T,A	62
STRT T	55
STRT CNT	45
STOP TCNT	65
EN TCNTI	25
DIS TCNTI	35

Flags

CLR C	97
CPL C	A7
CLR F0	85
CPL F0	95
CLR F1	A5
CPL F1	B5

Interne Steuerung

ENI	05
DISI	15
SEL RB0	C5
SEL RB1	D5
SEL MB0	E5
SEL MB1	F5
ENTO CLK	75

Sonstige

MOV A,#data	23
MOV A,PSW	C7
MOV PSW,A	D7
MOVP A,@A	A3
MOVP3 A,@A	E3
NOP	00

Assemblerlisting des Zelle-Betriebssystems

```
0001   0000             ;Betriebssystem für die 8035-Zelle, 0...1kB im EPROM
0002   0000             ;Version 2.5.90
0003   0000             ;
0004   0000             ;Besondere Adressen des internen RAM:
0005   0000             ;61,62 Hi,Lo- aktuelle RAM-Adresse
0006   0000             ;59,60 Hi,Lo- Wartezeit im ms
0007   0000             ;55..58 aktive Kanäle 1...4, 0=aus
0008   0000             ;53,54 Hi,Lo- Länge eines Datenblocks
0009   0000             ;51,52 Hi,Lo- Zähler für Blocklänge
0010   0000             ;Besonders reservierte Register:
0011   0000             ;R7 = Y in SIMPEL
0012   0000             ;R6 = PUSH/POP-Speicher in SIMPEL
0013   0000
0014   0000             ;Nach dem Programmstart wird ein Kommando über die RS232
0015   0000             ;erwartet, das zu den verschiedenen Grundfunktionen führt.
0016   0000             ;Befindet sich die Autostart-Information "129" oder "130" in
0017   0000             ;der Speicherzelle 03A0 des batteriegepufferten RAMs, dann wird
0018   0000             ;sofort eine Messung bzw ein User-Programm gestartet.
0019   0000             ;5-Sekunden-Dr ü cken der Starttaste nach RESETbewirkt ein
0020   0000             ;ALL-RESET
0021   0000
0022   0000             .org 00h
0023   0000 04 05       Anfa           jmp     Anfang
0024   0003             .org 03h
0025   0003 04 A3                      jmp     Inter
0026   0005 00          Anfang         nop                     ;Abfrage Status
0027   0006 05          Anf            en      i
0028   0007 35                         dis     tcnti
0029   0008 55                         strt    t
0030   0009 26 B6                      jnt0    Allreset
0031   000B 8A FF                      orl     p2,#255
0032   000D 89 FF                      orl     p1,#255
0033   000F 54 CB       Befehle        call    SystemRAM       ;Autostart?
0034   0011 34 AB                      call    LiesRAM
0035   0013 F2 90                      jb7     Start
0036   0015 34 27       BefRS          call    Empf            ;Befehlsinterpreter:
0037   0017 C6 15                      jz      BefRS
0038   0019 07                         dec     a
0039   001A C6 54                      jz      Bef1
0040   001C 07                         dec     a
0041   001D C6 56                      jz      Bef2            ;Kommando "2" erkannt
0042   001F 07                         dec     a
0043   0020 C6 58                      jz      Bef3            ;usw.
0044   0022 07                         dec     a
0045   0023 C6 5A                      jz      Bef4            ;
0046   0025 07                         dec     a
0047   0026 C6 5C                      jz      Bef5            ;
0048   0028 07                         dec     a
0049   0029 C6 64                      jz      Bef6            ;
0050   002B 07                         dec     a
0051   002C C6 6C                      jz      Bef7            ;
0052   002E 07                         dec     a
0053   002F C6 6E                      jz      Bef8            ;
0054   0031 07                         dec     a
0055   0032 C6 70                      jz      Bef9            ;
0056   0034 07                         dec     a
0057   0035 C6 72                      jz      Bef10           ;
0058   0037 07                         dec     a
0059   0038 C6 7A                      jz      Bef11           ;
0060   003A 07                         dec     a
0061   003B C6 7C                      jz      Bef12           ;
0062   003D 07                         dec     a
0063   003E C6 7E                      jz      Bef13           ;
```

```
0064   0040 07                    dec     a
0065   0041 C6 84                 jz      Bef14           ;
0066   0043 07                    dec     a
0067   0044 C6 86                 jz      Bef15           ;
0068   0046 07                    dec     a
0069   0047 C6 88                 jz      Bef16           ;
0070   0049 07                    dec     a
0071   004A C6 8A                 jz      Bef17           ;
0072   004C 07                    dec     a
0073   004D C6 8C                 jz      Bef18           ;
0074   004F 07                    dec     a
0075   0050 C6 8E                 jz      Bef19           ;
0076   0052 04 15                 jmp     BefRS           ;Ende Interpreterschleife
0077   0054
0078   0054 24 D4       Bef1      jmp     Messparameter
0079   0056 44 00       Bef2      jmp     Lesen
0080   0058 44 0E       Bef3      jmp     Schrb
0081   005A 44 1E       Bef4      jmp     Direkt
0082   005C 54 CB       Bef5      call    SystemRAM
0083   005E 23 82                 mov     a,#130
0084   0060 34 8F                 call    SchreibeRAM
0085   0062 64 50                 jmp     Proglad
0086   0064 54 CB       Bef6      call    SystemRAM
0087   0066 23 82                 mov     a,#130
0088   0068 34 8F                 call    SchreibeRAM
0089   006A 64 65                 jmp     Progsta
0090   006C 44 2A       Bef7      jmp     Direkt1
0091   006E 64 68       Bef8      jmp     PIB1
0092   0070 04 15       Bef9      jmp     BefRS           ;reserviert für "Start"
0093   0072 54 CB       Bef10     call    SystemRAM
0094   0074 23 81                 mov     a,#129
0095   0076 34 8F                 call    SchreibeRAM
0096   0078 44 33                 jmp     Serie
0097   007A 64 00       Bef11     jmp     Port1
0098   007C 64 05       Bef12     jmp     LiesPort1
0099   007E 74 1F       Bef13     call    LiesT0
0100   0080 34 00                 call    Senden
0101   0082 04 15                 jmp     BefRS
0102   0084 64 0A       Bef14     jmp     Port2
0103   0086 64 16       Bef15     jmp     LiesPort2
0104   0088 64 26       Bef16     jmp     LiesIRAM
0105   008A 64 2E       Bef17     jmp     SchrbIRAM
0106   008C 64 36       Bef18     jmp     LiesERAM
0107   008E 64 43       Bef19     jmp     SchrbERAM
0108   0090
0109   0090
0110   0090
0111   0090             ;Autostart: der gelesene Startwert war über 128 und
0112   0090             ;wird hier ausgewertet. 129: Serienmessung, 130: Programmstart
0113   0090             ;alle anderen Werte führen zu einem Neustart über die
0114   0090             ;Interrupt-Prozedur
0115   0090
0116   0090 05          Start     en      i
0117   0091 53 7F                 anl     a,#7fh
0118   0093 07                    dec     a
0119   0094 C6 9B                 jz      SerieStart          ;129
0120   0096 07                    dec     a
0121   0097 C6 9F                 jz      ProgrammStart       ;130
0122   0099 04 A3                 jmp     Inter
0123   009B
0124   009B 54 33       SerieStart call    Serie
0125   009D 04 00                 jmp     Anfa
0126   009F 64 65       ProgrammStart jmp  Progsta
0127   00A1 04 00                 jmp     Anfa
0128   00A3
0129   00A3
```

```
0130   00A3
0131   00A3             ;Interrupt-Serviceroutine, darf auch direkt angesprungen
0132   00A3             ;werden. Stellt aus jeder Situation den Ausgangszustand des
0133   00A3             ;Programms wieder her.
0134   00A3
0135   00A3 15          Inter          dis     i
0136   00A4 54 CB                      call    SystemRAM
0137   00A6 23 00                      mov     a,#0            ;Startinfo abschalten
0138   00A8 34 8F                      call    SchreibeRAM
0139   00AA 34 2C                      call    Startbit        ;ein Byte abwarten
0140   00AC 14 B5                      call    EndeInter
0141   00AE 23 00                      mov     a,#00
0142   00B0 D7                         mov     psw,a           ;Stack auf Null setzen
0143   00B1 23 00                      mov     a,#0
0144   00B3 04 05                      jmp     Anfang
0145   00B5
0146   00B5 93          EndeInter      retr                    ;Interrupt bestätigen
0147   00B6
0148   00B6             ;Auswerten der Starttaste nach RESET: 0s<t<1s: nichts,
0149   00B6             ;1s<t<3s: Messen, 3s<t<5s: Programm, 5s<t<7s: ALL-RESET
0150   00B6
0151   00B6 BA 32       Allreset       mov     r2,#50
0152   00B8 BB 14       Warte20        mov     r3,#20
0153   00BA 34 C1       Warte1         call    Warten          ;1ms
0154   00BC EB BA                      djnz    r3,Warte1
0155   00BE 36 05                      jt0     Anfang          ;Taste frei?
0156   00C0 EA B8                      djnz    r2,Warte20      ;50 mal 20ms
0157   00C2 BA 64                      mov     r2,#100
0158   00C4 BB 14       Warte20b       mov     r3,#20
0159   00C6 34 C1       Warte1b        call    Warten          ;1ms
0160   00C8 EB C6                      djnz    r3,Warte1b
0161   00CA 36 72                      jt0     Bef10           ;Taste frei?: Serie
0162   00CC EA C4                      djnz    r2,Warte20b     ;100 mal 20ms
0163   00CE BA 64                      mov     r2,#100
0164   00D0 BB 14       Warte20c       mov     r3,#20
0165   00D2 34 C1       Warte1c        call    Warten          ;1ms
0166   00D4 EB D2                      djnz    r3,Warte1c
0167   00D6 36 64                      jt0     Bef6            ;Taste frei?: Programm
0168   00D8 EA D0                      djnz    r2,Warte20c     ;250 mal 20ms
0169   00DA 04 A3                      jmp     Inter           ;wenn >6s gedr ü ckt
0170   00DC
0171   0100             .org 100h
0172   0100             ; rs232 Senden, verwendet r2...r3
0173   0100             ;9600 Baud, Sendesignal liegt invertiert an P27
0174   0100             ;Interrupt ist für die Zeit der Ausgabe gesperrt
0175   0100             ;Das Stopbit ist sehr kurz, weil nie zwei Bytes
0176   0100             ;sofort hintereinander ausgegeben werden
0177   0100
0178   0100 15          Senden         dis     i               ;Interrupt gesperrt
0179   0101 BA 08                      mov     r2,#8           ;Zählschleife 8 Bits
0180   0103 9A 7F                      anl     p2,#7Fh         ;P27=0, Startbit
0181   0105             ;              mov     r3,#162         ;1200Baud
0182   0105 BB 10                      mov     r3,#16          ;9600 Baud
0183   0107 EB 07       Sch1           djnz    r3,Sch1         ;Warteschleife Startbit
0184   0109 97          Sp1            clr     c
0185   010A 67                         rrc     a               ;Datenbit in C schieben
0186   010B F6 11                      jc      Sp2
0187   010D 9A 7F                      anl     p2,#7Fh         ;wenn c=0, dann P27=0
0188   010F 24 15                      jmp     Sp3
0189   0111 8A 80       Sp2           orl     p2,#80h         ;wenn c=1, dann P27=1
0190   0113 8A 80                      orl     p2,#80h
0191   0115             ;Sp3           mov     r3,#160         ;1200Baud
0192   0115 BB 0F       Sp3            mov     r3,#15          ;9600 Baud
0193   0117 EB 17       Sch2           djnz    r3,Sch2         ;Warteschleife Datenbit
0194   0119 EA 09                      djnz    r2,Sp1          ;8 mal wiederholen
0195   011B 23 00                      mov     a,#0
```

```
0196   011D 23 00                  mov     a,#0
0197   011F 8A 80                  orl     p2,#80h         ;P27=1, Stopbit
0198   0121             ;           mov     r3,#108         ;1200 Baud
0199   0121 BB 01                  mov     r3,#1           ;kurzes Stopbit, 9600 Baud
0200   0123 EB 23       Sch3       djnz    r3,Sch3         ;Warteschleife Stopbit
0201   0125 05                     en      i               ;Interrupt wieder frei
0202   0126 83                     ret
0203   0127
0204   0127
0205   0127             ;rs232 Empfangen, verwendet r2...r4
0206   0127             ;Eingang ist INT mit Abfrage über jni. Baudrate 9600 bei 6MHz
0207   0127             ;Hardware-Interrupt ist für die Zeit der Eingabe gesperrt
0208   0127             ;Das Label "Startbit" darf auch extern angesprungen werden,
0209   0127             ;wenn ein Signal an INT erkannt wurde.
0210   0127
0211   0127 15          Empf       dis     i               ;Interrupt sperren
0212   0128 86 2C                  jni     Startbit        ;Int = 0?
0213   012A 24 27                  jmp     Empf            ;wenn Int = 1
0214   012C             ;Startbit  mov     r2,#225         ;1200 Baud
0215   012C BA 19       Startbit   mov     r2,#25          ;9600 Baud
0216   012E EA 2E       Sch6       djnz    r2,Sch6         ;Warten 1,5 Startbit
0217   0130 BB 08                  mov     r3,#8           ;Schleife 8 Bits
0218   0132 97          Sp6        clr     c               ;c=0
0219   0133 86 43                  jni     Null            ;Int = 0 ?
0220   0135 00                     nop                     ;Zeitausgleich
0221   0136 A7                     cpl     c               ;C=1
0222   0137 2C                     xch     a,r4            ;Byte von r4 holen
0223   0138 67                     rrc     a               ;c in a schieben
0224   0139 2C                     xch     a,r4            ;Byte wieder nach r4
0225   013A             ;          mov     r2,#162         ;1200 Baud
0226   013A BA 0F                  mov     r2,#15          ;9600 Baud
0227   013C EA 3C       Sch7       djnz    r2,Sch7         ;Warten Datenbit
0228   013E EB 32                  djnz    r3,Sp6          ;8 Bits empfangen?
0229   0140 FC                     mov     a,r4            ;emfangenes Byte in a
0230   0141 05                     en      i               ;Interrupt wieder frei
0231   0142 83                     ret
0232   0143 00          Null       nop                     ;Schleife für Nullbits:
0233   0144 97                     clr     c               ;c=0
0234   0145 2C                     xch     a,r4            ;Byte von r4 holen
0235   0146 67                     rrc     a               ;c in a schieben
0236   0147 2C                     xch     a,r4            ;Byte wieder nach r4
0237   0148             ;          mov     r2,#162         ;1200 Baud
0238   0148 BA 0F                  mov     r2,#15          ;9600 Baud
0239   014A EA 4A       Sch8       djnz    r2,Sch8         ;Warten Datenbit
0240   014C EB 32                  djnz    r3,Sp6          ;8 Bits empfangen?
0241   014E FC                     mov     a,r4            ;empfangenes Byte in a
0242   014F 05                     en      i               ;Interrupt wieder frei
0243   0150 83                     ret
0244   0151
0245   0151             ;UPD7001-Messen, Übergabe des Kanals (1...4) im Akku,
0246   0151             ;Ergebnisausgabe im Akku, benötigt ca 0,5ms, verwendet r2
0247   0151             ;Datenübertragung seriell getaktet. Schiebetakt über P11 an
0248   0151             ;SCK, Steuerdaten über P12 an SI, Meßdaten über T1 von SO,
0249   0151             ;Freigabe über P10 an CS, Steuern/Ausleseumschaltung über P13
0250   0151             ;an DL. End of Conversion (EOC) wird nicht benutzt, statt
0251   0151             ;dessen feste Warteschleife
0252   0151
0253   0151 99 F0       Messen     anl     p1,#0F0h        ;P10...P13  Null
0254   0153 BA 02                  mov     r2,#02          ;Zählschleife 2 Bits
0255   0155 07                     dec     a               ;Byte 0...3 für Kanal 1...4
0256   0156 77                     rr      a               ;Bits 0/1 nach 6/7
0257   0157 77                     rr      a
0258   0158 F7          Sl1        rlc     a               ;Kanalbit in c
0259   0159 E6 5D                  jnc     Strobe
0260   015B 89 04                  orl     p1,#04          ;wenn c=1, Si = 1
0261   015D 89 02       Strobe     orl     p1,#02          ;Clock = 1
```

```
0262   015F 99 FD                  anl     p1,#0FDh        ;Clock = 0
0263   0161 99 FB                  anl     p1,#0FBh        ;Si = 0
0264   0163 EA 58                  djnz    r2,Sl1          ;2 mal
0265   0165 89 08                  orl     p1,#008h        ;DL=1, Kanal gesendet
0266   0167 99 F7                  anl     p1,#0F7h        ;DL=0
0267   0169 89 01                  orl     p1,#1           ;Cs=1, Messung starten
0268   016B BA 1E                  mov     r2,#30          ;ca 150 µs/6MHz
0269   016D EA 6D       Sl2        djnz    r2,Sl2          ;Warteschleife
0270   016F 99 FE                  anl     p1,#0FEh        ;Cs=0
0271   0171 89 08                  orl     p1,#08h         ;DL=1, Auslesen
0272   0173 BA 08                  mov     r2,#08          ;Schleife 8 Bits
0273   0175 97          Sl3        clr     c               ;c=0
0274   0176 46 79                  jnt1    T1aus           ;T1=0?
0275   0178 A7                     cpl     c               ;wenn T1=1, dann c=1
0276   0179 F7          T1aus      rlc     a               ;Datenbit reinschieben
0277   017A 89 02                  orl     p1,#02          ;Clock=1
0278   017C 99 FD                  anl     p1,#0FDh        ;Clock=0
0279   017E EA 75                  djnz    r2,Sl3          ;acht mal
0280   0180 89 0F                  orl     p1,#0Fh         ;P10...P13 = 1
0281   0182 83                     ret
0282   0183
0283   0183             ;Setzen des RAM-Adreßpointers (61/62) auf den Anfang des
0284   0183             ;Datenbereichs. 0400h (2k). P27 u. P25 bleiben hochgesetzt.
0285   0183             ;P26 bleibt unverändert.
0286   0183
0287   0183 B9 3D       AnfangRAM  mov      r1,#61          ;Adresse Hi
0288   0185              ;         mov      @r1,#0C4h       ;page4, 1k
0289   0185 0A                     in       a,p2
0290   0186 53 C0                  anl      a,#0C0h         ;P26 u. P27 bleiben
0291   0188 43 08                  orl      a,#08h
0292   018A A1                     mov      @r1,a           ;page8, 2k
0293   018B 19                     inc      r1              ;Adresse Lo
0294   018C B1 00                  mov      @r1,#0
0295   018E 83                     ret
0296   018F
0297   018F             ;Ein Byte in den Datenbereich schreiben und Adreßpointer weiter
0298   018F             ;setzen. Beim Überschreiten des RAM-Bereichs wird das gesamte
0299   018F             ;Programm abgebrochen. P25 (I/O-Select) wird immer nur kurz
0300   018F             ;auf Null gesetzt, um das RAM überwiegend zu desaktivieren
0301   018F             ;verwendet r1,r2,r6
0302   018F
0303   018F B9 3D       SchreibeRAM mov     r1,#61          ;High
0304   0191 AE                     mov     r6,a            ;PUSH
0305   0192 F1                     mov     a,@r1
0306   0193 3A                     outl    p2,a            ;A8...A12
0307   0194 19                     inc     r1              ;62, Low
0308   0195 F1                     mov     a,@r1
0309   0196 A8                     mov     r0,a
0310   0197 FE                     mov     a,r6            ;POP
0311   0198 90                     movx    @r0,a           ;speichern
0312   0199 8A 20                  orl     p2,#20h         ;RAM inaktiv, Stromsparen
0313   019B F1                     mov     a,@r1
0314   019C 17                     inc     a               ;Adresse erhöhen
0315   019D A1                     mov     @r1,a
0316   019E 96 AA                  jnz     spr1            ; Übertrag?
0317   01A0 C9                     dec     r1              ;62, High
0318   01A1 F1                     mov     a,@r1
0319   01A2 17                     inc     a
0320   01A3 A1                     mov     @r1,a           ;Adreßbyte high erhöhen
0321   01A4             ;          anl     a,#8            ;RAM-Obergrenze (2k)
erreicht?
0322   01A4 53 20                  anl     a,#32           ;RAM-Obergrenze (8k)
erreicht?
0323   01A6 C6 AA                  jz      spr1
0324   01A8 24 F4                  jmp     Endlos          ;Neustart durch Reset erlaubt
0325   01AA 83          spr1       ret
```

```
0326   01AB
0327   01AB             ;Lesen eines Bytes aus dem Daten-RAM und erhöhen des
0328   01AB             ;Adreßpointers (61/62)
0329   01AB             ;verwendet r0,r1,r6
0330   01AB
0331   01AB B9 3D       LiesRAM        mov     r1,#61          ;High
0332   01AD F1                         mov     a,@r1
0333   01AE 3A                         outl    p2,a            ;A8...A12
0334   01AF 19                         inc     r1              ;62, Low
0335   01B0 F1                         mov     a,@r1
0336   01B1 A8                         mov     r0,a
0337   01B2 80                         movx    a,@r0           ;lesen
0338   01B3 8A 20                      orl     p2,#20h         ;RAM inaktiv, Stromsparen
0339   01B5 AE                         mov     r6,a
0340   01B6 F1                         mov     a,@r1
0341   01B7 17                         inc     a               ;Adresse erhöhen
0342   01B8 A1                         mov     @r1,a
0343   01B9 96 BF                      jnz     spru1           ;Übertrag?
0344   01BB C9                         dec     r1              ;61, High
0345   01BC F1                         mov     a,@r1
0346   01BD 17                         inc     a
0347   01BE A1                         mov     @r1,a           ;Adreßbyte high erhöhen
0348   01BF FE          spru1          mov     a,r6            ;POP
0349   01C0 83                         ret
0350   01C1
0351   01C1
0352   01C1             ;Wartezeit bis zur nächsten abgelaufenen Millisekunde abwarten.
0353   01C1             ;Feinabgleich nötig, da bei 6MHz keine glatte ms möglich.
0354   01C1 16 C5       Warten         jtf     end1ms          ;Timer-Überlauf?
0355   01C3 24 C1                      jmp     Warten
0356   01C5 AE          end1ms         mov     r6,a
0357   01C6 23 F4                      mov     a,#244          ;1ms/6MHz
0358   01C8 62                         mov     t,a
0359   01C9 23 00                      mov     a,#0            ;Feinabgleich
0360   01CB 23 00                      mov     a,#0
0361   01CD 23 00                      mov     a,#0
0362   01CF 23 00                      mov     a,#0
0363   01D1 FE                         mov     a,r6
0364   01D2 55                         strt    t               ;Timer-Neustart
0365   01D3 83                         ret
0366   01D4
0367   01D4
0368   01D4             ;Empfang und Abspeicherung von 8 Steuerbytes für die Serien-
0369   01D4             ;messung. Die Steuerbytes wersen in die Adressen 53...60
0370   01D4             ;geschrieben und zusätlich an den Anfang des Daten-RAMs
0371   01D4             ;kopiert. Nach Ende der Übertragung wir die Startinformation
0372   01D4             ;"129" im RAM (Adr. 03A0) abgelegt und die Serienmessung
0373   01D4             ;angesprungen. Sie kann mit der Starttaste gestartet werden.
0374   01D4
0375   01D4 B9 34       Messparameter  mov     r1,#52
0376   01D6 BD 08                      mov     r5,#8           ;8 Parameter
0377   01D8 19          Mal8           inc     r1
0378   01D9 34 27                      call    Empf
0379   01DB A1                         mov     @r1,a
0380   01DC ED D8                      djnz    r5,Mal8
0381   01DE 54 CB                      call    SystemRAM       ;Startinfo:
0382   01E0 23 81                      mov     a,#129          ;Serienmessung
0383   01E2 34 8F                      call    SchreibeRAM
0384   01E4 34 83                      call    AnfangRAM       ;Anfang 2k
0385   01E6 BA 34                      mov     r2,#52
0386   01E8 BB 08                      mov     r3,#8           ;Parameter an den
0387   01EA 1A          copy           inc     r2              ;RAM-Anfang schreiben
0388   01EB FA                         mov     a,r2
0389   01EC A9                         mov     r1,a
0390   01ED F1                         mov     a,@r1
0391   01EE 34 8F                      call    SchreibeRAM
```

```
0392   01F0 EB EA                djnz    r3,copy
0393   01F2 44 33                jmp     Serie           ;Warten auf START
0394   01F4
0395   01F4 24 F4       Endlos   jmp     Endlos          ;bis Start durch Reset
0396   01F6
0397   01F6
0398   0200             .org 200h
0399   0200             ;Auslesen des Daten-RAMs. Der Hostrechner fordert jeweils
0400   0200             ;mit einer "1" ein Byte an und bricht mit "0" ab.
0401   0200
0402   0200 34 83       Lesen    call    AnfangRAM       ;Anfang 2k
0403   0202 34 27       Leseloop call    Empf            ;"1" oder "0" erwartet
0404   0204 C6 0C                jz      Leseende        ;Ende, wenn "0"
0405   0206 34 AB                call    LiesRAM         ;auslesen
0406   0208 34 00                call    Senden          ;Datenbyte zurück
0407   020A 44 02                jmp     Leseloop
0408   020C 04 15       Leseende jmp     BefRS           ;nächstes Kommando
0409   020E
0410   020E
0411   020E             ;Beschreiben des Daten-RAMs. Die Zelle fordert jeweils ein
0412   020E             ;Byte durch Senden eines beliebigen Bytes an.
0413   020E             ;Der Hostrechner antwortet mit "1" und dem Datenbyte oder
0414   020E             ;mit "0" für "Ende"
0415   020E
0416   020E 34 83       Schrb    call    AnfangRAM       ;Anfang 2k
0417   0210 34 00       Schrloop call    Senden          ;Anforderung
0418   0212 34 27                call    Empf            ;"0" oder "1" erwartet
0419   0214 C6 1C                jz      Schrende        ;Ende, wenn "0"
0420   0216 34 27                call    Empf            ;Datenbyte
0421   0218 34 8F                call    SchreibeRAM     ;abspeichern
0422   021A 44 10                jmp     Schrloop
0423   021C 04 15       Schrende jmp     BefRS
0424   021E
0425   021E
0426   021E             ;Direkt Messung über den A/D-Wandler ohne Abspeichern.
0427   021E             ;Es wird die Kanalnummer empfangen und das Ergenis gesendet.
0428   021E             ;Abbruch, wenn die Kanalnummer "0" erscheint
0429   021E
0430   021E 34 27       Direkt   call    Empf            ;Kanalnummer
0431   0220 C6 28                jz      DirektEnde      ;Ende, wenn "0"
0432   0222 34 51                call    Messen
0433   0224 34 00                call    Senden
0434   0226 44 1E                jmp     Direkt
0435   0228 04 15       DirektEnde jmp   BefRS
0436   022A
0437   022A             ;Eine einzelne direkt Messung. Wie die vorige Routine, aber
0438   022A             ;ohne Wiederholungsschleife
0439   022A
0440   022A 34 27       Direkt1  call    Empf
0441   022C 34 51                call    Messen
0442   022E 34 00                call    Senden
0443   0230 27                   clr     a
0444   0231 04 15                jmp     BefRS
0445   0233
0446   0233             ;Serienmessung für die eingestellten Kanäle und Intervallzeiten
0447   0233             ;Die Anzahl wird für jede Serie in den aktuellen Zähler (51/52)
0448   0233             ;kopiert, den das Unterprogramm "Block" verwendet.
0449   0233
0450   0233 34 83       Serie    call    AnfangRAM
0451   0235 BA 34                mov     r2,#52
0452   0237 BB 08                mov     r3,#8
0453   0239 34 AB       copyback call    LiesRAM
0454   023B AE                   mov     r6,a
0455   023C 1A                   inc     r2              ;Infos vom RAM-Anfang
0456   023D FA                   mov     a,r2            ;lesen
0457   023E A9                   mov     r1,a
```

```
0458   023F FE                    mov     a,r6
0459   0240 A1                    mov     @r1,a
0460   0241 EB 39                 djnz    r3,copyback
0461   0243 54 D7                 call    WarteT0          ;Startsignal abwarten
0462   0245 B8 36       NextSerie mov     r0,#54           ;Anzahl/Serie 53/54 n. 51/52
0463   0247 B9 34                 mov     r1,#52
0464   0249 F0                    mov     a,@r0
0465   024A 96 4D                 jnz     Nicht0
0466   024C 17                    inc     a                ;wenn Lowbyte = 0
0467   024D A1          Nicht0    mov     @r1,a
0468   024E C9                    dec     r1
0469   024F C8                    dec     r0
0470   0250 F0                    mov     a,@r0
0471   0251 17                    inc     a
0472   0252 A1                    mov     @r1,a
0473   0253 05                    en      i                ;Interrupt frei
0474   0254 23 F8                 mov     a,#248           ;Timer-Start
0475   0256 62                    mov     t,a
0476   0257 55                    strt    t
0477   0258 B9 37       Messloop  mov     r1,#55           ;1. aktiver Kanal
0478   025A F1                    mov     a,@r1
0479   025B C6 63                 jz      Nr2
0480   025D 34 51                 call    Messen
0481   025F 34 8F                 call    SchreibeRAM      ;Meßwert abspeichern
0482   0261 34 C1                 call    Warten
0483   0263 B9 38       Nr2       mov     r1,#56           ;2. aktiver Kanal
0484   0265 F1                    mov     a,@r1
0485   0266 C6 6E                 jz      Nr3
0486   0268 34 51                 call    Messen
0487   026A 34 8F                 call    SchreibeRAM      ;Meßwert abspeichern
0488   026C 34 C1                 call    Warten
0489   026E B9 39       Nr3       mov     r1,#57           ;3. aktiver Kanal
0490   0270 F1                    mov     a,@r1
0491   0271 C6 79                 jz      Nr4
0492   0273 34 51                 call    Messen
0493   0275 34 8F                 call    SchreibeRAM      ;Meßwert abspeichern
0494   0277 34 C1                 call    Warten
0495   0279 B9 3A       Nr4       mov     r1,#58           ;4. aktiver Kanal
0496   027B F1                    mov     a,@r1
0497   027C C6 84                 jz      Nr5
0498   027E 34 51                 call    Messen
0499   0280 34 8F                 call    SchreibeRAM      ;Meßwert abspeichern
0500   0282 34 C1                 call    Warten
0501   0284 44 A4       Nr5       jmp     Block
0502   0286 B9 3B       BlockOK   mov     r1,#59           ;Adr 59: Wait-high
0503   0288 F1                    mov     a,@r1
0504   0289 AD                    mov     r5,a             ;warten high
0505   028A 1D                    inc     r5
0506   028B ED 8F       spr2      djnz    r5,spr3
0507   028D 44 97                 jmp     spr4
0508   028F BC 00       spr3      mov     r4,#0
0509   0291 34 C1       wait1     call    Warten
0510   0293 EC 91                 djnz    r4,wait1
0511   0295 44 8B                 jmp     spr2
0512   0297 B9 3C       spr4      mov     r1,#60
0513   0299 F1                    mov     a,@r1
0514   029A AC                    mov     r4,a
0515   029B 1C                    inc     r4
0516   029C EC A0       spr5      djnz    r4,wait2         ;Warteschleife
0517   029E 44 58                 jmp     Messloop
0518   02A0 34 C1       wait2     call    Warten
0519   02A2 44 9C                 jmp     spr5
0520   02A4
0521   02A4             ;Zählt die Messungen mit und geht in erneute Meßbereitschft,
0522   02A4             ;wenn eine Serie abgelaufen ist.
0523   02A4
```

```
0524   02A4 B9 34       Block          mov     r1,#52
0525   02A6 F1                         mov     a,@r1
0526   02A7 07                         dec     a
0527   02A8 A1                         mov     @r1,a
0528   02A9 96 C1                      jnz     Bl1
0529   02AB C9                         dec     r1
0530   02AC F1                         mov     a,@r1
0531   02AD 07                         dec     a
0532   02AE A1                         mov     @r1,a
0533   02AF 96 C1                      jnz     Bl1
0534   02B1 B8 35                      mov     r0,#53
0535   02B3 F0                         mov     a,@r0
0536   02B4 17                         inc     a
0537   02B5 A1                         mov     @r1,a
0538   02B6 19                         inc     r1
0539   02B7 18                         inc     r0
0540   02B8 F0                         mov     a,@r0
0541   02B9 96 BC                      jnz     NoNull
0542   02BB 17                         inc     a
0543   02BC A1          NoNull         mov     @r1,a
0544   02BD 54 D7       Endlos2        call    WarteT0        ;bis weiter durch Start
0545   02BF 44 45                      jmp     NextSerie
0546   02C1 44 86       Bl1            jmp     BlockOK
0547   02C3
0548   02C3             ;Endlosschleife mit abgeschalteter Startinformation
0549   02C3
0550   02C3 54 CB       Stop           call    SystemRAM      ;Startinfo = 0
0551   02C5 23 00                      mov     a,#0
0552   02C7 34 8F                      call    SchreibeRAM
0553   02C9 44 C3                      jmp     Stop
0554   02CB
0555   02CB             ;Stellt die Adreßpointer auf 03A0 ein.
0556   02CB             ;Läßt P26 unverändert
0557   02CB
0558   02CB B9 3D       SystemRAM      mov      r1,#61         ;Adresse Hi
0559   02CD 0A                         in       a,p2
0560   02CE 53 C3                      anl      a,#0C3h
0561   02D0 43 03                      orl      a,#03h
0562   02D2 A1                         mov      @r1,a          ;page3
0563   02D3 19                         inc      r1             ;Adresse Lo
0564   02D4 B1 64                      mov      @r1,#0A0       ;Adresse 03A0
0565   02D6 83                         ret
0566   02D7
0567   02D7             ;Wartet auf die Taste "Start" oder auf ein Byte "9" vom
0568   02D7             ;Hostrechner. Wird eine "0" empfangen, erfolgt ein Srung
0569   02D7             ;zur Interrupt-Routine und damit ein Neustart.
0570   02D7
0571   02D7 15          WarteT0        dis      i              ;Interrupt abschalten
0572   02D8 86 E2                      jni      RSweiter       ;Startbit?
0573   02DA 26 D7                      jnt0     WarteT0        ;wenn noch gedrückt
0574   02DC 86 E2       T0high         jni      RSweiter       ;Startbit?
0575   02DE 36 DC                      jt0      T0high         ;wenn nicht gedrückt
0576   02E0 05                         en       i              ;Interrupt wieder frei
0577   02E1 83                         ret
0578   02E2 34 2C       RSweiter       call     Startbit       ;Byte empfangen
0579   02E4 C6 E7                      jz       Schluss
0580   02E6 83                         ret
0581   02E7 04 A3       Schluss        jmp      Inter
0582   02E9
0583   02E9
0584   0300             .org 300h
0585   0300             ;Ausgabe eines Bytes vom Hostrechner an Port 1
0586   0300
0587   0300 34 27       Port1          call    Empf
0588   0302 39                         outl    p1,a
0589   0303 04 15                      jmp     BefRS
```

```
0590   0305
0591   0305             ;Auslesen des Ports 1 durch den Hostrechner
0592   0305
0593   0305 09          LiesPort1      in      a,p1
0594   0306 34 00                      call    Senden
0595   0308 04 15                      jmp     BefRS
0596   030A
0597   030A             ;Setzen (1) oder Rücksetzen (0) von P26
0598   030A
0599   030A 34 27       Port2          call    Empf
0600   030C 12 12                      jb0     Port2an         ;"1"
0601   030E 9A BF                      anl     p2,#0BFh        ;wenn "0"
0602   0310 04 15                      jmp     BefRS
0603   0312 8A 40       Port2an        orl     p2,#40h
0604   0314 04 15                      jmp     BefRS
0605   0316
0606   0316             ;Auslesen der Leitung P26 durch den Hostrechner
0607   0316             ;Zurückgesendet wird "0" oder "1"
0608   0316
0609   0316 0A          LiesPort2      in      a,p2
0610   0317 E7                         rl      a               ;Bit verschieben
0611   0318 E7                         rl      a
0612   0319 53 01                      anl     a,#1
0613   031B 34 00                      call    Senden
0614   031D 04 15                      jmp     BefRS
0615   031F
0616   031F
0617   031F             ;Auslesen des Zustands der Starttaste durch den Hostrechner
0618   031F
0619   031F 23 00       LiesT0         mov     a,#0
0620   0321 26 25                      jnt0    T0Ende
0621   0323 23 01                      mov     a,#1
0622   0325 83          T0Ende         ret
0623   0326
0624   0326
0625   0326             ;Auslesen einer beliebigen Adressen des internen RAMs durch
0626   0326             ;den Hostrechner.
0627   0326
0628   0326 34 27       LiesIRAM       call    Empf            ;Adresse
0629   0328 A8                         mov     r0,a
0630   0329 F0                         mov     a,@r0
0631   032A 34 00                      call    Senden          ;Datum
0632   032C 04 15                      jmp     BefRS
0633   032E
0634   032E             ;Beschreiben einer beliebigen Adressen des internen RAMs durch
0635   032E             ;den Hostrechner.
0636   032E
0637   032E 34 27       SchrbIRAM      call    Empf            ;Adresse
0638   0330 A8                         mov     r0,a
0639   0331 34 27                      call    Empf            ;Datum
0640   0333 A0                         mov     @r0,a
0641   0334 04 15                      jmp     BefRS
0642   0336
0643   0336             ;Auslesen einer beliebigen Adressen des externen RAMs durch
0644   0336             ;den Hostrechner.
0645   0336
0646   0336 34 27       LiesERAM       call    Empf            ;Adresse, high
0647   0338 43 C0                      orl     a,#0C0h         ;P26...P27 high
0648   033A 3A                         outl    p2,a
0649   033B 34 27                      call    Empf            ;Adresse, low
0650   033D A8                         mov     r0,a
0651   033E 80                         movx    a,@r0
0652   033F 34 00                      call    Senden          ;Datum
0653   0341 04 15                      jmp     BefRS
0654   0343
0655   0343             ;Beschreiben einer beliebigen Adressen des externen RAMs durch
```

```
0656   0343              ;den Hostrechner.
0657   0343
0658   0343 34 27        SchrbERAM      call    Empf          ;Adresse, high
0659   0345 43 C0                       orl     a,#0C0h
0660   0347 3A                          outl    p2,a
0661   0348 34 27                       call    Empf          ;Adresse, low
0662   034A A8                          mov     r0,a
0663   034B 34 27                       call    Empf          ;Datum
0664   034D 90                          movx    @r0,a
0665   034E 04 15                       jmp     BefRS
0666   0350
0667   0350              ;Laden eines User-Programms: Jedes Byte wird erst durch
0668   0350              ;ein beliebiges Byte der Zelle angefordert. Der
0669   0350              ;Hostrechner sendet danach jeweils eine "1" und das
0670   0350              ;Programmbyte. Die Programmbytes werden ab C400 (1k)
0671   0350              ;abgespeichert. Beendigung der Übertragung erfolgt
0672   0350              ;durch ein Steuerbyte "0" des Hostrechners.
0673   0350
0674   0350 B9 3D        Proglad        mov     r1,#61          ;Adresse Hi
0675   0352 B1 C4                       mov     @r1,#0C4h       ;page4, 1k
0676   0354 19                          inc     r1              ;Adresse Lo
0677   0355 B1 00                       mov     @r1,#0
0678   0357 34 00        Progloop       call    Senden          ;Anforderung
0679   0359 34 27                       call    Empf            ;"1" oder "0" erwartet
0680   035B C6 63                       jz      Progladende     ;Ende, wenn "0"
0681   035D 34 27                       call    Empf            ;Programmbyte holen
0682   035F 34 8F                       call    SchreibeRAM     ;Wert ins RAM
0683   0361 64 57                       jmp     Progloop
0684   0363 04 15        Progladende    jmp     BefRS           ;Warte Befehl oder Reset
0685   0365
0686   0365              ;Sprung zum Userprogramm ab 1k, Interrupt freigegeben, so daß
0687   0365              ;es mit einem Interrupt abgeschaltet werden kann
0688   0365
0689   0365 05           Progsta        en      i
0690   0366 84 00                       jmp     400h
0691   0368
0692   0368              ;Paralleler Interface-Bus:
0693   0368              ;Zufriff auf die Adressen 0...127 des I/O-Bus
0694   0368              ;Auslesen, wenn Bit 7 gesetzt ist, sonst Schreiben
0695   0368              ;Ende nach einer I/O-Aktion
0696   0368
0697   0368 8A 20        PIB1           orl     p2,#20h         ;I/O-Bereich aktiv
0698   036A 34 27                       call    Empf
0699   036C F2 75                       jb7     Read1           ;Lesen
0700   036E A8                          mov     r0,a            ;Adresse nach r0
0701   036F 34 27                       call    Empf            ;Datum holen
0702   0371 90                          movx    @r0,a           ;zum I/O-Bus
0703   0372 27                          clr     a
0704   0373 04 15                       jmp     BefRS           ;neues Kommando
0705   0375 53 7F        Read1          anl     a,#7Fh          ;Bit 7 zurücksetzen
0706   0377 A8                          mov     r0,a            ;Adresse nach R0
0707   0378 80                          movx    a,@r0           ;I/O-Adresse auslesen
0708   0379 34 00                       call    Senden          ;Datum zurücksenden
0709   037B 27                          clr     a
0710   037C 04 15                       jmp     BefRS           ;neues Kommando
0711   037E
0712   037E              .end
```

```
ADDR  00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F
-----------------------------------------------------
0000  04 05 FF 04 A3 00 05 35 55 26 B6 8A FF 89 FF 54
0010  CB 34 AB F2 90 34 27 C6 15 07 C6 54 07 C6 56 07
0020  C6 58 07 C6 5A 07 C6 5C 07 C6 64 07 C6 6C 07 C6
0030  6E 07 C6 70 07 C6 72 07 C6 7A 07 C6 7C 07 C6 7E
0040  07 C6 84 07 C6 86 07 C6 88 07 C6 8A 07 C6 8C 07
0050  C6 8E 04 15 24 D4 44 00 44 0E 44 1E 54 CB 23 82
```

```
0060  34 8F 64 50 54 CB 23 82 34 8F 64 65 44 2A 64 68
0070  04 15 54 CB 23 81 34 8F 44 33 64 00 64 05 74 1F
0080  34 00 04 15 64 0A 64 16 64 26 64 2E 64 36 64 43
0090  05 53 7F 07 C6 9B 07 C6 9F 04 A3 54 33 04 00 64
00A0  65 04 00 15 54 CB 23 00 34 8F 34 2C 14 B5 23 00
00B0  D7 23 00 04 05 93 BA 32 BB 14 34 C1 EB BA 36 05
00C0  EA B8 BA 64 BB 14 34 C1 EB C6 36 72 EA C4 BA 64
00D0  BB 14 34 C1 EB D2 36 64 EA D0 04 A3 FF FF FF FF
00E0  FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
00F0  FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
0100  15 BA 08 9A 7F BB 10 EB 07 97 67 F6 11 9A 7F 24
0110  15 8A 80 8A 80 BB 0F EB 17 EA 09 23 00 23 00 8A
0120  80 BB 01 EB 23 05 83 15 86 2C 24 27 BA 19 EA 2E
0130  BB 08 97 86 43 00 A7 2C 67 2C BA 0F EA 3C EB 32
0140  FC 05 83 00 97 2C 67 2C BA 0F EA 4A EB 32 FC 05
0150  83 99 F0 BA 02 07 77 77 F7 E6 5D 89 04 89 02 99
0160  FD 99 FB EA 58 89 08 99 F7 89 01 BA 1E EA 6D 99
0170  FE 89 08 BA 08 97 46 79 A7 F7 89 02 99 FD EA 75
0180  89 0F 83 B9 3D 0A 53 C0 43 08 A1 19 B1 00 83 B9
0190  3D AE F1 3A 19 F1 A8 FE 90 8A 20 F1 17 A1 96 AA
01A0  C9 F1 17 A1 53 20 C6 AA 24 F4 83 B9 3D F1 3A 19
01B0  F1 A8 80 8A 20 AE F1 17 A1 96 BF C9 F1 17 A1 FE
01C0  83 16 C5 24 C1 AE 23 F4 62 23 00 23 00 23 00 23
01D0  00 FE 55 83 B9 34 BD 08 19 34 27 A1 ED D8 54 CB
01E0  23 81 34 8F 34 83 BA 34 BB 08 1A FA A9 F1 34 8F
01F0  EB EA 44 33 24 F4 FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
0200  34 83 34 27 C6 0C 34 AB 34 00 44 02 04 15 34 83
0210  34 00 34 27 C6 1C 34 27 34 8F 44 10 04 15 34 27
0220  C6 28 34 51 34 00 44 1E 04 15 34 27 34 51 34 00
0230  27 04 15 34 83 BA 34 BB 08 34 AB AE 1A FA A9 FE
0240  A1 EB 39 54 D7 B8 36 B9 34 F0 96 4D 17 A1 C9 C8
0250  F0 17 A1 05 23 F8 62 55 B9 37 F1 C6 63 34 51 34
0260  8F 34 C1 B9 38 F1 C6 6E 34 51 34 8F 34 C1 B9 39
0270  F1 C6 79 34 51 34 8F 34 C1 B9 3A F1 C6 84 34 51
0280  34 8F 34 C1 44 A4 B9 3B F1 AD 1D ED 8F 44 97 BC
0290  00 34 C1 EC 91 44 8B B9 3C F1 AC 1C EC A0 44 58
02A0  34 C1 44 9C B9 34 F1 07 A1 96 C1 C9 F1 07 A1 96
02B0  C1 B8 35 F0 17 A1 19 18 F0 96 BC 17 A1 54 D7 44
02C0  45 44 86 54 CB 23 00 34 8F 44 C3 B9 3D 0A 53 C3
02D0  43 03 A1 19 B1 64 83 15 86 E2 26 D7 86 E2 36 DC
02E0  05 83 34 2C C6 E7 83 04 A3 FF FF FF FF FF FF FF
02F0  FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
0300  34 27 39 04 15 09 34 00 04 15 34 27 12 12 9A BF
0310  04 15 8A 40 04 15 0A E7 E7 53 01 34 00 04 15 23
0320  00 26 25 23 01 83 34 27 A8 F0 34 00 04 15 34 27
0330  A8 34 27 A0 04 15 34 27 43 C0 3A 34 27 A8 80 34
0340  00 04 15 34 27 43 C0 3A 34 27 A8 34 27 90 04 15
0350  B9 3D B1 C4 19 B1 00 34 00 34 27 C6 63 34 27 34
0360  8F 64 57 04 15 05 84 00 8A 20 34 27 F2 75 A8 34
0370  27 90 27 04 15 53 7F A8 80 34 00 27 04 15 FF FF
```

PROGRAM Simpel_2;

```
USES   Crt;

CONST  CopyRight = '(c) Burkhard Kainka';
       Version   = '1.0';
       Update    = '17.4.91';


VAR
       ArbeitsDatei : Text;
       DateiName    : STRING;
       Ausgabefile  : Text;
       C            : CHAR;

Var
       Befehl  : ARRAY[1..500] OF STRING[20];
       Opcode  : ARRAY[1..500] OF STRING[20];
       HexCode : ARRAY[0..1024] of STRING[2];
       Adr     : Integer;
       MaxBef  : Integer;
       MaxInit : Integer;
       Zeile   : Integer;
       Fehler  : Integer;
       RueckesprungAdresse : Array[0..9] of Integer;
       EndeSprungadresse  : Array[0..9] of INTEGER;
       Schleife_Nr    : Byte;
       Sprungadresse  : Integer;
       Wort1, Wort2   : string[20];
       Fehlermeldung  : string[45];




PROCEDURE LadeTabelle;
      VAR   i   : LongInt;
            B,j : BYTE;
            Bef,Opc,Spc   :Boolean;
            Nr : INTEGER;
            SeitenZahl : INTEGER;
            TabellenDatei : FILE OF BYTE;
      BEGIN
         Assign (TabellenDatei,'simpel.tab');
         (*$I-*) Reset (TabellenDatei); (*$I+*)
         IF IOResult = 0
            THEN BEGIN
            Nr:=1; Bef:= true;Opc:=false;
                Befehl[Nr]:='';Opcode[Nr]:='';
            FOR i := 1 TO FileSize(TabellenDatei) DO BEGIN
                  Read (TabellenDatei,B);
                    If (Bef and (b>32)) then Befehl[Nr]:=concat
                                          (Befehl[Nr],upcase(Chr(b)));
                    If (Bef and (B=32)) then Bef:=false;
                    if ((Not Bef) and (B>32)) then Opc:=true;
                    if (Opc and (b>32)) then Opcode[Nr]:=concat
                                          (Opcode[Nr],upcase(Chr(b)));
                    if (Opc and (b=13)) then begin
```

```
                    Bef := true; Opc := false; Nr := Nr +1;
                    Befehl[Nr]:=''; Opcode[Nr]:=''; END
            END;
            END;
         Close (TabellenDatei);
            Nr := Nr-1; MaxBef := Nr;
            writeln;
END (* LadeTabelle *);


PROCEDURE Byte_Hex  (Zahl:Integer; Var Hex : STRING);
 Var   Low, High    : INTEGER;
 Begin
   If ((Zahl<0) Or (Zahl>255)) then Fehler :=7;
   High := Zahl div 16;
   Low := Zahl mod 16;
   High := High+48; if (High>57) then High:=High+7;
   Low := Low+48; if (Low>57) then Low:=Low+7;
   Hex := concat (chr(High),chr(Low));
 End (* of Byte_Hex *);

PROCEDURE Hex_Byte  (Hex : STRING; Var Zahl:Integer);
 Var   N, Low, High    : INTEGER;
       Ch            : Char;
 Begin
   Ch := Hex[1];
   If NOT (Ch in ['0'..'9','A'..'F']) then Fehler :=7;
   High := Integer (Ch);
   If High >64 then High := High-7 ;
   High := High -48;
   Ch := Hex[2];
   If NOT (Ch in ['0'..'9','A'..'F']) then Fehler :=7;
   Low := Integer (Ch);
   If Low >64 then Low := Low-7 ;
   Low := Low -48;
   Zahl := 16*High + Low;
 End (* of Hex_Byte *);


PROCEDURE Prozedur_Anfang;
 Var  Low, High, I, N    : INTEGER;
      Hex       : String;
 Begin
     i:=0;
     FOR N := 1 to MaxBef DO BEGIN
        if Wort2 = Befehl[n] then i:=n;
     END;
     if i>0 then Fehler:=10;
    MaxBef := MaxBef + 1;
    Befehl [MaxBef] := Wort2;
    High := Adr div 256;
    Low := Adr mod 256;
    Byte_Hex (Low,HEX);
    Opcode [MaxBef] := concat ('PA94',Hex);
    if High = 1 then  Opcode [MaxBef] := concat ('PAB4',Hex);
    if High = 2 then  Opcode [MaxBef] := concat ('PAD4',Hex);
    if High = 3 then  Opcode [MaxBef] := concat ('PAF4',Hex);
  End;
```

```
Procedure Zahl (Wort2: String; var Wert: Integer);
var Laenge, Position, N     :  Integer;
    Ch     :   Char;
    Wort   :   String;
   Begin;
     Laenge := length (Wort2);
     Ch := Wort2[Laenge];
     If Ch in ['0'..'9'] then begin
       Val (Wort2, Wert, n); end;
     If Ch = 'H' then begin
       Wort := copy (Wort2,1,(Laenge-1));
       If (Laenge > 3) then Fehler := 7;
       If (length(Wort) = 1) then wort := concat ('0', Wort);
       Hex_Byte (Wort,Wert); end;
     If Ch = 'B'then begin;
       n := 1; wert := 0;
       Position := Laenge;
       while Position > 1 do begin
         Position := Position -1;
         if (Wort2[Position] = '1') then wert := wert + n;
         if (Wort2[Position] = 'I') then wert := wert + n;
         if NOT (Wort2[Position] in ['1','0','I','O']) then fehler := 7;
         n := n*2;
       end; end;
     end;

PROCEDURE Parameter_Option;
 var  Wert :  Integer;
      Hex  :  String;
  begin
    if (length(Wort2) > 0) then begin
      if (Wort2[1] IN ['0'..'9','A'..'F','a'..'f','o','O','i','I']) then begin
        Zahl(Wort2,Wert);
        Byte_hex (Wert, Hex);
        Hexcode[Adr] := '23'; write ('23');
        Adr := Adr+1;
        Hexcode[Adr] := Hex; write (Hex);
        Adr := Adr+1;
      end;
    end;
  end;



PROCEDURE Anfang;
   Var  N,I          : Integer;
        Hex,Hex1     : STRING;
       Begin
       if Hi(Adr)=0 then Hexcode[0] := '84';
       if Hi(Adr)=1 then Hexcode[0] := 'A4';
       if Hi(Adr)=2 then Hexcode[0] := 'C4';
       if Hi(Adr)=3 then Hexcode[0] := 'F4';
             Byte_Hex (Lo(Adr),Hex);
             Hexcode[1] := Hex;
       END;


Procedure Code;
var  Hex     : String;
```

```
       N, Laenge, Wert   : Integer;

    begin
      Laenge := length (Wort2);
      n:= 1;
      while n < Laenge do begin
        while (Wort2[n]=',') do n:=n+1;
        Hex := copy (Wort2,n,2);
        n := n+2;
        Hex_Byte (Hex,Wert);
        Byte_Hex (Wert,Hex);
        Hexcode[Adr]:= Hex; write (Hex);
        Adr := Adr +1;
      end;
  end;


  Procedure Aufruf_Einsetzen;
  var  I, N   : Integer;
       Hex    : String;
    Begin
       i:=0;
       FOR N := 1 to MaxBef DO BEGIN
          if Wort2 = Befehl[n] then i:=n;
       END;
       if i=0 then Fehler:=3 else begin
           n:=1;
           REPEAT
             Hex := COPY (Opcode[i],n,2);
             if not (Hex = '') then begin
                    If ((Hex>'FF') AND NOT (Hex='PA')) then begin
                     Fehler := 2;
                    End;
                if NOT (Hex='PA') then begin
                  Hexcode[Adr] := Hex; write (Hex);
                  Adr := Adr+1;
                end;
                n:= n+2;
             end;
            UNTIL Hex = '';
         end;
      end;


 Procedure VorwaertsAdresse  (Var Adressbyte : String);
  var  I, N, Adresse   : Integer;
       Hex    : String;
     begin
       I := 0;
       FOR N := 1 to MaxBef DO BEGIN
          if Wort2 = Befehl[n] then i:=n;
       END;
       if i=0 then Fehler :=3 else begin
           n:=1;
           REPEAT
             Hex := COPY (Opcode[i],n,2);
             if not (Hex = '') then begin
                If ((hex>'FF') AND NOT (Hex='PA')) then Fehler:=2;
                n:= n+2;
```

```
            end;
           UNTIL Hex = '';
           Hex := Copy (Opcode[i],1,2);
           if Hex = 'PA' then n := n-2;
           Adresse := Adr + ((n+1) div 2);
           Byte_Hex (Lo(Adresse),Adressbyte);
           end;
         end;

 Procedure  Ruecksprung_merken;
begin;
  Schleife_Nr := Schleife_Nr +1;
  If (Schleife_Nr>8) then Fehler := 4;
  Ruecksprungadresse[Schleife_Nr] := Adr;

end;


 Procedure  Ruecksprung_einsetzen;
 var  Hex  :  String;
 begin;
  If (Schleife_Nr<1) then Fehler := 5;
  If Hi(RuecksprungAdresse[Schleife_Nr])=0 then begin
    Hexcode[Adr] := '84' ; write ('84'); end;
  If Hi(RuecksprungAdresse[Schleife_Nr])=1 then begin
    Hexcode[Adr] := 'A4' ; write ('A4'); end;
  If Hi(RuecksprungAdresse[Schleife_Nr])=2 then begin
    Hexcode[Adr] := 'C4' ; write ('C4'); end;
  If Hi(RuecksprungAdresse[Schleife_Nr])=3 then begin
    Hexcode[Adr] := 'E4' ; write ('E4'); end;
  Adr := Adr+1;
  Byte_Hex (Lo(RuecksprungAdresse[Schleife_Nr]),Hex);
  Hexcode[Adr] := Hex; write (Hex);
  Adr := Adr+1;
 end;

 Procedure Zieladresse_Einsetzen;
 var   Hex  :  String;
     SprungCodeAdr  : Integer;
 begin;
   Byte_Hex (Lo(Adr),Hex);
   SprungCodeAdr := EndeSprungAdresse[Schleife_Nr];
   Hexcode[SprungCodeAdr] := Hex ; write ('  00:',Hex);
   SprungCodeAdr := SprungCodeAdr - 1;
    if Hi(Adr)=0 then Hexcode[SprungCodeAdr] := '84';
    if Hi(Adr)=1 then Hexcode[SprungCodeAdr] := 'A4';
    if Hi(Adr)=2 then Hexcode[SprungCodeAdr] := 'C4';
    if Hi(Adr)=3 then Hexcode[SprungCodeAdr] := 'F4';
   If (Schleife_Nr=0) then Schleife_Nr := 1;
   Schleife_Nr := Schleife_Nr - 1;
 end;



 PROCEDURE Sonder (Hex: String; Var Hexout:String);
    Var   Wert, N   : Integer;
      Begin
        If Hex = 'XX' then begin
          If (Wort2='') then Fehler := 8;
```

```
          Zahl (Wort2, Wert);
          Byte_Hex (Wert,Hexout);
        end;
        If Hex = 'RR' then begin
          Val (Wort2, Wert, n);
          Wert := Wert+32;
          Byte_Hex (Wert,Hexout);
        end;
        If Hex = 'HH' then begin
          Sprungadresse := Adr;
          Hexout := '**';
        end;
        If Hex = 'SS' then begin
          Byte_Hex (lo(Sprungadresse),HexOut);
        end;
        If Hex = 'PR' then begin
          Aufruf_einsetzen;
          Hexout := '**';
        end;
        If Hex = 'PD' then begin
          Prozedur_Anfang;
          Hexout := '**';
        end;
        If Hex = 'PA' then begin
          Parameter_Option;
          Hexout := '**';
        end;
        If Hex = 'HX' then begin
          Code;
          Hexout := '**';
        end;
        If Hex = 'JP' then begin
          If Hi(Adr)=0 then Hexout := '84';
          If Hi(Adr)=1 then Hexout := 'A4';
          If Hi(Adr)=2 then Hexout := 'C4';
          If Hi(Adr)=3 then Hexout := 'E4';
        end;
        If Hex = 'NN'then Vorwaertsadresse (Hexout);
        If Hex = 'HS' then begin
          Ruecksprung_merken; Hexout := '**';
        end;
        If Hex = 'JS' then begin
          Ruecksprung_einsetzen; Hexout := '**'; end;
        If Hex = 'J3' then Byte_Hex (Lo(Adr+3),Hexout);
        if Hex = 'JZ' then begin
          EndeSprungadresse[Schleife_Nr] := Adr-1; Hexout := '**'; end;
        if Hex = 'JE' then begin;
          Zieladresse_Einsetzen; Hexout := '**'; end;
        if Hex = 'SO' then begin
          if (Schleife_Nr>0) then Fehler :=9; Hexout :='**'; end;
        if Hex = 'HA' then begin
          Anfang; Hexout := '**'; end;
      End;


  PROCEDURE Translate;
     Var  N,I          : Integer;
          Hex,Hex1     : STRING;
          Flag         :BOOLEAN;
```

```
          Teilwort     :String;
      Begin
      If Lo(Adr) > 239 then
        repeat
          Hexcode[Adr] := '00';
          write ('00');
          Adr := Adr+1;
        until Lo(Adr)=0;
     Flag := true;
     Teilwort := copy (Wort1,1,1);
      if  Teilwort = ';' then Flag := false;
      if  Wort1 = '' then Flag := false;
      If Flag then Begin
        i:=0;
        FOR N := 1 to MaxBef DO BEGIN
           if Wort1 = Befehl[n] then begin
             i:=n; N:= MaxBef; end;
        END;
        if i=0 then Fehler := 1 else begin
            n:=1;
            REPEAT
              Hex := COPY (Opcode[i],n,2);
              if not (Hex = '') then begin
                     if Hex > 'FF' then begin
                      Sonder(Hex,Hex1);
                      Hex := Hex1; End;
                 n:= n+2;
                 if NOT (Hex = '**') then begin
                   Hexcode[Adr] := Hex;
                   Adr := Adr+1;
                   write (Hex);
                 end;
              end;
             UNTIL Hex = '';
         END;
      END;
      Wort1:=''; Wort2:='';
      END; (* Translate *)

PROCEDURE Fehlermelden;
   var  Fehlernr, Zeilennr    :   String;
   Begin
     if Fehler>0 then begin
        Fehlermeldung := ('Fehler ');
        str (Fehler,Fehlernr);
        Fehlermeldung := concat (Fehlermeldung,Fehlernr);
        Fehlermeldung := concat (Fehlermeldung,' in Zeile ');
        str (Zeile,Zeilennr);
        Fehlermeldung := concat (Fehlermeldung,Zeilennr);
        Fehlermeldung := concat (Fehlermeldung,' :');
        Case Fehler of
          1 : Fehlermeldung := concat (Fehlermeldung,'Befehl unbekannt ');
          2 : Fehlermeldung := concat (Fehlermeldung,'Befehl paßt nicht ');
          3 : Fehlermeldung := concat (Fehlermeldung,'Prozedur unbekannt ');
          4 : Fehlermeldung := concat (Fehlermeldung,'zu viele Schleifen ');
          5 : Fehlermeldung := concat (Fehlermeldung,'keine Schleife geöffnet ');
          6 : Fehlermeldung := concat (Fehlermeldung,'Befehl unbekannt ');
          7 : Fehlermeldung := concat (Fehlermeldung,'Unerlaubter Wert ');
          8 : Fehlermeldung := concat (Fehlermeldung,'Wert fehlt ');
```

```
        9 : Fehlermeldung := concat (Fehlermeldung,'Schleife noch geöffnet ');
        10: Fehlermeldung := concat (Fehlermeldung,'Name existiert bereits ');
      end;
      write (Fehlermeldung);
    end;
  end;

PROCEDURE Anhalten;
   Begin
     if Keypressed then begin
              C := ReadKey;
              repeat until KeyPressed;
              C := ReadKey;
   END;END;




PROCEDURE Compiler;
var  Zustand        : INTEGER;
     Quelltextdatei : FILE OF BYTE;
     i,n,Byt        : INTEGER;
     B              : Byte;
     Hex            : String;
     OutputDateiname  : String;
BEGIN
      MaxBef := MaxInit;
      Clrscr;
      Assign (QuelltextDatei,Dateiname);
      (*$I-*) Reset (QuelltextDatei); (*$I+*)
      IF IOResult = 0
         THEN BEGIN
            Schleife_Nr := 0;
            Adr := 2;Zeile :=1; Fehler:=0;
            Zustand := 0;
             Wort1:='';Wort2:='';
         FOR i := 1 TO FileSize(QuelltextDatei) DO BEGIN
               Read (QuelltextDatei,B); if b>20 then Write (chr(b));
               (* ---- Abtrennen des 1. und 2. Wortes im Quelltext ---- *)
                 if ((Zustand=0) and (B>32)) then Zustand := 1;
                 if ((Zustand=1) and (B>32)) then Wort1:=concat
                                          (Wort1,upcase (Chr(b)));
                 If ((Zustand=1) and (B=32)) then Zustand:=2;
                 if ((Zustand=2) and (B>32)) then Zustand :=3;
                 if ((Zustand=3) and (B>32)) then Wort2:=concat
                                          (Wort2,upcase (Chr(b)));
                 if ((Zustand=3) and (B=32)) then Zustand :=4;
                 if ((b=13) or (i=FileSize(QuelltextDatei))) then begin
                    Zustand :=0;
                    Byte_Hex (Lo(Adr),Hex);
                    GotoXY (40,WhereY);
                    if Hi(Adr)>0 then write (hi(Adr)) else write (' ');
                    Byte_Hex (lo(Adr),Hex);
                    write (Hex,'     ');
                    if Fehler=0 then Translate;
                    if Fehler=0 then Zeile:= Zeile+1;
                    if Fehler>0 then i:=FileSize(QuelltextDatei);
                    Anhalten;
                    writeln;
```

```
                        Wort1:=''; Wort2:=''; END
                   END;
              Close (QuelltextDatei);
              END;
              Fehlermelden;
              delay (1000);
              Anhalten;
           ClrScr;
              if Fehler =0 then begin
              writeln;
              writeln ('        00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F ');
              For N:= 0 to (Adr-1) do begin
                Wort1 := copy (Hexcode[n],1,2);
                if (N Mod 16) = 0 then begin
                   writeln;
                   Byte_Hex ((N div 16),Hex);
                   write ('   ',Hex,'   ');
                end;
                write (Wort1,' ');
                END;
            delay (2000);
            Anhalten;
           end;
      END (* Compiler *);

procedure CompilatSpeichern;
   var  OutputDateiname  : String;
        N , Byt    :   Integer;
begin
      n:=1;
      repeat
        n:=n+1
      until DateiName[n] ='.';
      OutputDateiname := copy (Dateiname,1,n-1);
      OutputDateiName := concat (OutputDateiName,'.BIN');
        gotoXY (1,1); write ('Dateiname: ',OutputDateiName);
        delay (500);
     assign (Ausgabefile,OutputDateiname);
      rewrite (Ausgabefile);
      For N:= 0 to (Adr-1) do begin
          Wort1 := copy (Hexcode[n],1,2);
          Hex_Byte (Wort1,Byt);
          write (Ausgabefile,Chr(Byt));
      END;
      close (Ausgabefile);
   end;



BEGIN
  ClrScr;
  Write ('Dateiname? ');
  Readln (Dateiname);
  LadeTabelle;
  MaxInit := MaxBef;
  Adr := 0;
  Fehler := 0;
  ClrScr;
  Compiler;
```

```
  CompilatSpeichern;
END.
```