DULLIN · STRASSENBURG

DAS MASCHINENSPRACHEBUCH ZUM CPC 464

EIN DATA BECKER BUCH

DULLIN · STRASSENBURG

DAS MASCHINENSPRACHEBUCH ZUM CPC 464

EIN DATA BECKER BUCH

ISBN 3-89011-070-3

Wichtiger Hinweis:
Die in diesem Buch wiedergegebenen Schaltungen, Verfahren und Programme werden ohne Rücksicht auf die Patentlage mitgeteilt. Sie sind ausschließlich für Amateur- und Lehrzwecke bestimmt und dürfen nicht gewerblich genutzt werden.

Alle Schaltungen, technischen Angaben und Programme in diesem Buch wurden von dem Autoren mit größter Sorgfalt erarbeitet bzw. zusammengestellt und unter Einschaltung wirksamer Kontrollmaßnahmen reproduziert. Trotzdem sind Fehler nicht ganz auszuschließen. DATA BECKER sieht sich deshalb gezwungen, darauf hinzuweisen, daß weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben zurückgehen, übernommen werden kann. Für die Mitteilung eventueller Fehler ist der Autor jederzeit dankbar.

V O R W O R T

Schon gleich nachdem wir den vielversprechenden CPC 464 erworben hatten, begeisterte uns dieser Rechner. Das BASIC des Schneider Computers ist wirklich hervorragend. Doch als wir begannen, uns mit dem internen Aufbau und der Maschinenprogrammierung zu beschäftigen, mußten wir leider feststellen, daß zur Zeit noch keine Informationen über diesen Bereich verfügbar sind. Damit war die Idee geboren, dieses Buch zu schreiben.
Die Programmierung in Maschinensprache bringt einige entscheidende Vorteile in Bezug auf Geschwindigkeit und Speicherbedarf gegenüber BASIC mit sich. Ziel dieses Buches ist es, dem CPC 464 Benutzer den Einstieg in die Maschinensprache zu ermöglichen und ihm dadurch die oben genannten Vorzüge für seine Programme nutzbar zu machen.
Doch ist das Erlernen der Maschinensprache gar nicht so einfach, denn wer kann schon mit Folgendem etwas anfangen:

21,00,C0,36,CC,23,BC,20,FA,C9

Aber legen Sie das Buch nicht gleich wieder aus der Hand. Ihnen wird das Erlernen der Maschinensprache leicht fallen, wenn Sie das Buch folgendermaßen handhaben:

- Arbeiten Sie das Buch Kapitel für Kapitel durch
- Versuchen Sie, die Aufgaben zu lösen
- Fällt Ihnen die Lösung der Aufgaben schwer, arbeiten Sie das Kapitel ruhig noch einmal durch.

Doch damit genug der guten Ratschläge; stürzen Sie sich hinein in das Abenteuer MASCHINENSPRACHE.

(Holger Dullin) (Hardy Straßenburg)

INHALTSVERZEICHNIS

KAPITEL IV : DIE BEFEHLE

KAPITEL V : PROGRAMMIERUNG DES Z80

KAPITEL VI : BENUTZUNG VON SYSTEMROUTINEN

1.1 WAS IST MASCHINENSPRACHE?

Maschinensprache ist die Programmiersprache, die der Computer direkt verarbeiten kann. Was ist darunter zu verstehen?
Wie Sie sicher wissen, besitzt jeder Computer einen Mikroprozessor, den man als das "Gehirn" des Rechners bezeichnen kann. Diesen IC (Integrierter Schaltkreis) nennt man CPU (central prozessing unit) oder Zentraleinheit. Die CPU führt Maschinenbefehle aus, steuert den Ablauf im Rechner und die extern angeschlossenen Geräte (Peripherie). Die Zentraleinheit ist der wichtigste Baustein in einem Computer. Wenn wir in Maschinensprache programmieren, benutzen wir Befehle, die die CPU direkt ansprechen und die sie sofort ausführen kann. Damit ist die Maschinensprache vom jeweiligen Prozessortyp abhängig.
Der Schneider CPC 464 besitzt einen Z80A Prozessor, der auch in vielen anderen Microcomputern Verwendung findet. Der Z80A ist eine sehr leistungsfähige Zentraleinheit, welche über 600 Befehle versteht, die beim CPC 464 mit sehr hoher Geschwindigkeit verarbeitet werden.

Warum eigentlich Maschinensprache?

Die meisten Homecomputer sind mit BASIC ausgerüstet. Wie Sie sicher gemerkt haben, ist diese Sprache nicht schwer zu erlernen. Besonders das Schneider-BASIC fällt durch seine Vielzahl von Befehlen auf. Es entsteht der Eindruck, daß mit diesem BASIC keine Wünsche offen bleiben und alle Programmierprobleme damit gut gelöst werden können.
Um zu verstehen, wo die Vorteile der Maschinensprache liegen, müssen wir erst einmal wissen, wie der Rechner BASIC verarbeitet.

Stellen Sie sich vor:

> Außenminister S.Basic verhandelt mit seinem Amtskollegen Mr.CPU im Maschinenspracheland. Leider sind seine Kenntnisse dieser Sprache sehr gering, so daß er auf die Hilfe der Dolmetscherin Frau Interpreter angewiesen ist, die seine Sätze in Maschinensprache übersetzt. Wie Sie sich sicher vorstellen können, ist Frau Interpreter, obwohl eine hervorragende Dolmetscherin, immer ein wenig später fertig, als der Politiker spricht. Dadurch wird diese Verhandlung unnötig verlängert.

Genau dasselbe Problem finden wir bei der Programmierung in BASIC vor. Der Computer muß zuerst das vom Programmierer geschriebene BASIC-Programm durch den Interpreter interpretieren. Der BASIC-Interpreter ist ein Teil des Betriebssystems. Er interpretiert das Programm Befehl für Befehl. Dann bewirkt er die sofortige Ausführung. Genauer: Der Interpreter erkennt den BASIC-Befehl und löst dann die Ausführung des BASIC-Befehls durch den Aufruf der zu dem jeweiligen Befehl gehörenden Maschinenroutine aus.
Zum Beispiel:

```
MODE 2
```

Der Interpreter liest nun diesen Befehl Zeichen für Zeichen, wobei z.B. Space (Leerzeichen), Doppelpunkte, Klammern und Kommata ihm sagen, daß ein Wort zuende ist. Dieses Wort (MODE) vergleicht er mit den Eintragungen in der BASIC-Befehlstabelle im Betriebssystem. Findet er es nicht, so wird versucht, das Wort als Variable zu interpretieren. Funktioniert auch dies nicht, wird eine Fehlermeldung ausgegeben.
Findet der Interpreter das Wort, so verzweigt er an die dem Wort zugeordnete Sprungadresse. Dort wird der nachfolgende Wert (bei unserem Beispiel 2) eingelesen, die Zulässigkeit dieses Arguments überprüft und der Befehl ausgeführt. Dann wird zurück in den Interpreter gesprungen: Der oben

beschriebene Vorgang beginnt von Neuem. Die Aufgabe, die in unserem Beispiel Frau Interpreter übernommen hat, benötigt natürlich einige Zeit. Diese Zeit wird gespart, wenn wir direkt in Maschinensprache programmieren.
Leider hat die Maschinensprache den Nachteil, sehr abstrakt zu sein. Der Mensch hat grundsätzlich einige Schwierigkeiten, sich Zahlen vorzustellen. Diese Unanschaulichkeit ist auch der Grund für die Entwicklung sogenannter "Höherer Programmiersprachen", wie Logo,BASIC,usw., die mit Begriffen und nicht mit Zahlen operieren. Diese Sprachen stellen einen Kompromiß in der Kommunikation zwischen Mensch und Maschine dar. Leider sind damit erhebliche Nachteile in Bezug auf Geschwindigkeit, Speicherplatzbedarf und oft auch auf Programmiermöglichkeiten verbunden.

Alle höheren Programmiersprachen wie auch Cobol, Pascal, Fortran etc. müssen übersetzt werden, bevor der Rechner sie ausführen kann. Man unterscheidet hierbei zwischen Interpreter und Compiler:
Ein Interpreter, wie z.B. der des CPC 464, übersetzt während jeder Ausführung des Programmes schrittweise alle Befehle und führt sie gleich aus. Der Interpreter ist gemäß unserem Beispiel also ein Simultanübersetzer, d.h. beim Programmablauf wird jeder Befehl immer wieder neu interpretiert. Daher ist das Ändern eines BASIC-Programms so unproblematisch.
Im Gegensatz dazu übersetzt ein Compiler das jeweilige Programm nur einmal und erzeugt dabei ein äquivalentes in Maschinensprache. Dann erst kann das erzeugte Maschinenprogramm ausgeführt werden. Der Vorgang des Compilierens dauert normalerweise recht lange, dafür läuft der dann erzeugte Maschinencode auch viel schneller. Wird das Programm geändert , so muß die neue Version erst wieder compiliert werden. Dadurch ist das Ändern solcher Programme langwierig. In diesem Buch stellen wir Ihnen einen Compiler vor, der von Assemblersprache in Maschinencode übersetzt. Einen solchen Compiler nennt man ASSEMBLER.

Hier erkennen Sie schon einen grundsätzlichen Vorteil der Maschinensprache: Maschinenprogramme erreichen bis zu 1000 mal höhere Ausführungsgeschwindigkeiten als BASIC-Programme. Auch gegenüber den von Compilern erstellten Maschinenprogrammen sind die von Hand für ein spezielles Problem geschriebenen Maschinenprogramme schneller. Der RETURN-Befehl in BASIC hat eine Ausführungszeit von ca. 0.6 Millisekunden, der entsprechende Befehl in Maschinensprache RET dauert jedoch nur 2.5 Mikrosekunden. Damit ist die Maschinensprache beim RET-Befehl ca. 240 mal, bei dem Äquivalent zum POKE-Befehl in Maschinensprache sogar knapp 1000 mal schneller. Wichtig sind diese Unterschiede z.B. beim Sortieren und Durchsuchen von großen Datenmengen, für das Verschieben von Speicherinhalten, wie es für das Scrolling oder auch für Textprogramme notwendig ist. Weiterhin ist die Programmierung von hochauflösender Grafik in BASIC zu langsam, d.h. für Spiele oder Business Grafik ist die Maschinensprache unerläßlich.

Außerdem gibt es noch andere Vorteile.
In der Regel sind Maschinenprogramme kürzer als BASIC-Programme, wodurch wichtiger Speicherplatz eingespart wird. Sobald Sie Ihre ersten Maschinenprogramme geschrieben haben, werden Sie feststellen, daß ein Maschinenprogramm von über 500 Bytes schon sehr lang ist und damit eine Menge gemacht werden kann. Dagegen würde man für ein BASIC-Programm mit ähnlichen Fähigkeiten viel mehr Speicherplatz verbrauchen.
Anmerkung: Die Länge eines BASIC-Programmes in Bytes kann beim CPC 464 mit ›PRINT HIMEM-FRE(0)-370‹ berechnet werden.

Ein weiterer Vorteil der Maschinensprache liegt darin, daß nur mit ihr die Möglichkeiten eines Rechners vollständig ausgeschöpft werden können. Mit Maschinensprache ist man erst in der Lage, z.B. Ein- bzw. Ausgabebausteine zu programmieren. Man kann also mit Hilfe eigener Programme Ein- bzw. Ausgabegeräte bedienen oder von ihnen Daten empfangen.

Auch die Entwicklung eigener Datenstrukturen,die oft sehr viel platzsparender sind als die vom BASIC vorgegebenen, ist nur in Maschinensprache möglich. Große Datenmengen,wie sie u.a. in der Textverarbeitung auftreten, können damit besser in dem zur Verfügung stehenden Speicherplatz untergebracht werden.

Diese Beispiele sollten genügen, um die Notwendigkeit der Maschinensprache, auch bei einem Rechner mit sehr gutem BASIC wie dem Schneider, darzustellen. Allerdings muß auch gesagt werden, daß die Programmierung in Maschinensprache einen großen Nachteil hat.
Maschinensprache ist die Sprache der CPU des Computers und damit die am weitesten maschinenorientierte Sprache. Eine starke Maschinenorientierung hat aber für den Programmierer zur Folge, daß er, um diese Sprache zu verstehen, sehr abstrakt denken muß. Der Mensch denkt vorrangig in Worten und Assoziationen, d.h. eine problem- bzw. menschorientierte Sprache verwendet anschauliche Begriffe und Strukturen. Dies ist bei der Maschinensprache nicht der Fall. Prinzipiell versteht die CPU nur Zahlen, d.h. ein Maschinenprogramm ist einfach eine Reihe von Zahlen und nicht eine Folge von Begriffen. In dieser Form wäre die Programmierung in Maschinensprache bei umfangreichen Programmen beinahe ein Ding der Unmöglichkeit. Deshalb wurde schon von den "Pionieren der Computerei" eine Art Zwischensprache entwickelt, die Maschinenprogramme anschaulicher und verständlicher macht. Diese Sprache nennt man Assembler. Die Assemblersprache ordnet jedem Maschinencode (also einer Zahl) eine Reihe von Symbolen zu. Diese Symbole bestehen aus:

1. Befehlswort, d.h. meist einer Abkürzung des englischen Wortes für den Befehl, auch Mnemonic genannt.

2. Operanden, der z.B. Adressen, Konstanten o.ä. (das Befehlswort betreffend) angibt.

Damit vereinfacht sich das Erstellen eines Maschinenprogrammes auf das Schreiben in Assemblersprache. Diese Assemblersprache wird dann von einem sogenannten Assemblerprogramm automatisch in den Maschinencode übersetzt. Einen solchen Assembler (einen Compiler für Assemblersprache) stellen wir Ihnen in diesem Buch vor, und werden ihn benutzen, um in Assembler (jetzt ist die Assemblersprache gemeint) zu programmieren. Aus diesem Grund werden wir nur kurz und beispielhaft in der wirklichen Maschinensprache, in Form von Zahlen programmieren, dann aber zur Programmierung in Assembler übergehen, und die Arbeit des Übersetzens dem Assembler (Compiler) überlassen.

Nun geht es aber richtig los !!!

1.2 DAS ERSTE MASCHINENPROGRAMM

Um Ihnen zu zeigen, daß sich das Erlernen der Maschinensprache lohnt, folgt ein Vergleich zwischen einem BASIC- und Ihrem ersten MASCHINENPROGRAMM:
Bitte geben Sie folgende BASIC-Zeilen ein:

```
10 HL=&C000
20 POKE HL,&CC
30 HL=HL+1
40 IF HL<=&FFFF THEN 20
50 RETURN
```

Geben Sie jetzt im Direktmodus >MODE 2< und anschließend >GOSUB 10< ein und schauen Sie sich an was geschieht!

Das nächste Programm lädt das Maschinenprogramm mit der gleichen Aufgabe, wie das BASIC-Programm:

```
10 MEMORY &9FFF
20 FOR I=&A000 TO &A009
30 READ a
40 POKE i,a
50 NEXT I
60 END
70 DATA &21,&00,&C0,&36,&CC,&23,&BC,&20,&FA,&C9
```

Nun geben Sie wieder im Direktmodus >MODE 2< ein, laden es mit >RUN<, rufen dann das geladene Maschinenprogramm mit >CALL &A000< auf und wundern sich!

Wie Sie gesehen haben, läuft das:

- BASIC-Programm : ca.1 Minute
- Maschinenprogramm : ca.1/10 Sekunden
  Man kann die Ablaufzeit theoretisch berechnen.
  Sie beträgt bei dem Beispielprogramm 0.1106 Sekunden.

Die Länge beträgt für das:

- BASIC-Programm : 88 Bytes
- Maschinenprogramm : 10 Bytes
  nämlich von &A000 bis &A009.

Wir hoffen, daß Sie nicht zu sehr von der Vielzahl der Neuigkeiten "geschockt" sind. In den folgenden Kapiteln werden wir alles ausführlich erklären.

Zur Analogie der Programme:

BASIC		Assemblersprache
10 HL=&C000	-	LD HL,C000
20 POKE HL,&CC	-	LD (HL),&CC
30 HL=HL+1	-	INC HL

```
                          -   CP H
40 IF HL<=&FFFF THEN 20   -   JR NZ,$-6>A006
50 RETURN                 -   RET
```

ERKLÄRUNG:

Zeile 10: Hier wird der Wert für die VARIABLE HL bzw.das REGISTER HL auf den Anfang des Bildschirmspeichers gesetzt. (LD=engl.load=lade)

Zeile 20: In dieser Zeile wird an der Adresse HL der Wert &CC gespeichert. Da der Bildschirmspeicher von &C000 bis &FFFF liegt, bewirkt dieser Befehl eine Veränderung des Bildschirmes.

Probieren Sie doch einfach einmal unterschiedliche Werte im Direktmodus für die Adresse HL,im Bildschirmspeicher (HL darf zwischen &C000 und &FFFF liegen !!) und für das Argument (in unserem Programm &CC) Werte zwischen &00 und &FF einzusetzen (z.B.: POKE &C100,&AA).

Zeile 30: Erhöht die Variable HL bzw. das Register HL um 1. (INC=engl. increase= erhöhe)

Zeile 40: Abfrage ob HL größer als &FFFF ist, also ob das Ende des Bildschirmbereichs erreicht ist. Diese Abfrage muß in Maschinensprache in zwei Befehle aufgeteilt werden: CP (engl.compare=vergleiche); JR (jump relativ= relativer Sprung); NZ (engl. non zero= nicht Null).
Man kann also sagen:
"Springe, wenn nicht Null (NZ)."
Diese Darstellung ist so nicht ganz richtig.
Eine exakte Erklärung erfolgt später.

Im Folgenden zeigen wir das Assemblerlisting, um Ihnen ein Beispiel zu geben:

ASSEMBLERLISTING zum Maschinenprogramm

```
Adresse Code    BASIC-Nr.  Assemblerbefehl  Kommentar

A000 2100C0     10         LD    HL,C000 ;Start Bildschirmsp
eicher
A003 36CC       20         LD    (HL),&CC ;&CC ist der Wert,
der in den Bildschirmspeicher geschrieben wird
A005 23         30         INC   HL ;HL=HL+1
A006 BC         40         CP    H ;Vergleich mit 0
A007 20FA       50         JR    NZ,$-6›A006 ;Wenn nicht 0 (
NZ=Non-Zero ), dann 6 Programmschritte zurück, wenn 0,nächst
er Befehl
A009 C9         60         RET   ;Return zu Basic
```

Wir hoffen, daß wir Ihre Neugierde erwecken konnten, da wir jetzt zur systematischen Erarbeitung der Maschinesprache übergehen, und die Beispiele, die wir oben gegeben haben, genau erklären werden.

1.3 ZAHLENSYSTEME

Im vorhergehenden Kapitel wurde das &-Zeichen als Kennzeichen für eine Zahl im Hexadezimalsystem (Hexadezimal - 16) benutzt. Was hat es damit auf sich?
Bei der Realisierung elektronischer Rechenanlagen gab es zwei Möglichkeiten der Zahlendarstellung.

Analog: Bei einem Analogrechner wird eine Zahl durch eine entsprechend hohe Spannung dargestellt, z.B. 1=1 Volt und 100=100 Volt. Eine Armbanduhr mit Zeigern ist demnach eine Analoguhr. Die kontinuierliche Zunahme der Zeit entspricht (ist analog zu) der Zahl der Umdrehungen der Zeiger.

Digital: Bei Digitalcomputern liegt die Idee zugrunde, nicht das Maß der Spannung, sondern nur die beiden Zustände: es fließt Strom und es fließt kein Strom, zu betrachten. Digital bedeutet Darstellung von Größen mit Hilfe von Ziffern. Die Zustände EIN und AUS entsprechen also den Ziffern 0 und 1.

Damit hat ein Digitalcomputer nur zwei Ziffern zur Verfügung. Mit Hilfe dieser beiden erfolgt die Zahlendarstellung im Rechner.
Für Aufgaben, die fest vorgegeben sind, ist die Bearbeitung mit einem Analogrechner unter Umständen sinnvoller (z.B. Maschinensteuerung). Sollen jedoch verschiedenste Probleme auf einem Computer gelöst werden, ist der Digitalcomputer dem Analogrechner weit überlegen, da eine Programmierung eines Analogrechners in der uns bekannten Form nicht möglich ist. Das heißt, daß sämtliche Home- und Personalcomputer Digitalcomputer sind und damit im Dualsystem (mit den Ziffern 0 und 1) Daten verarbeiten.
Für den Programmierer sind folgende Zahlensysteme von Bedeutung:

1. Dezimalsystem
2. Dualsystem
3. Hexadezimalsystem

Zahlensysteme sind nach einem bestimmten Prinzip aufgebaute Ordnungsschemata der Ziffern. Jede Zahl kann in andere Zahlensysteme umgerechnet werden. In allen Zahlensystemen steigt der Stellenwert einer Ziffer von rechts nach links. Um die anderen Zahlensysteme zu erklären, gehen wir von dem bekannten Dezimalsystem aus.

Das Dezimalsystem

```
Tausender  Hunderter  Zehner  Einer - Stellenwert
    7         3         5       6   - Ziffern
  <-----------------------------------------------
    Der Stellenwert steigt von rechts nach links !
```

Potenz	Zahl	Bezeichnung
10^0	1	E-iner
10^1	10	Z-ehner
10^2	100	H-underter
10^3	1000	T-ausender
10^4	10000	Zehntausender
10^6	1000000	Million

Die Dezimalzahl 1335 kann man auch folgendermaßen schreiben:

1335 bedeutet: 1T + 3H + 3Z + 5E - Der niedrigste Stellenwert(Einer) steht am
 435 bedeutet: 4H + 3Z + 5E - weitesten rechts.

1335 ist : $1*1000+3*100+3*10+5*1$

$$\begin{array}{l} \text{1335 ist :} \\ \qquad\qquad 3 \quad 2 \quad 1 \quad 0 \end{array}$$

1335 ist auch: $1*10 + 3*10 + 3*10 + 5*10$

Man definiert eine Potenz mit dem Exponenten 0 als 1.

$$\begin{array}{l} \text{Z.B.:} \\ \qquad 0 \quad 0 \quad 0 \end{array}$$

10 =1, 2 =1, x =1

Das Dualsystem

Das Dualsystem ist nach dem gleichen Prinzip aufgebaut. Der Unterschied besteht nur darin, daß der Stellenwert der einzelnen Ziffern nicht durch Zehnerpotenzen sondern durch Zweierpotenzen dargestellt wird.
Die Basis des Dualsystems ist 2.

Binär 10101101 = Dezimal 173

$$\begin{array}{llllllll} 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \quad \text{- Stellenwert} \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \quad \text{- Ziffer} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 7 \quad 6 \quad 5 \quad 4 \quad 3 \quad 2 \quad 1 \quad 0 \\ 173 = 1*2 + 0*2 + 1*2 + 0*2 + 1*2 + 1*2 + 0*2 + 1*2 \end{array}$$

$173 = 1*128 + 0*64 + 1*32 + 0*16 + 1*8 + 1*4 + 0*2 + 1*1$

Bis jetzt haben Sie die Umrechnung vom Dualsystem in das

Dezimalsystem gelernt. Dieser Vorgang läßt sich natürlich auch umkehren. Zur Erläuterung der Umkehrung, betrachten wir die oben errechnete Dezimalzahl 173.
Wir überlegen, welche 2er Potenz gerade noch in dieser Zahl enthalten ist. Zur Hilfe: Im Prinzip kann man das Dualsystem auf n-stellige Zahlen anwenden. Im Computerbereich werden aber nur 8-stellige Binärzahlen verwendet. Folgende Potenzen von 2 können vorkommen.

Potenzen von 2	7	6	5	4	3	2	1	0
	2	2	2	2	2	2	2	2
umgerechnete Werte	128	64	32	16	8	4	2	1

In diesem Fall ist also 2^7=128 die höchste vorkommende 2-er Potenz. Jetzt bilden wir die Differenz zwischen 173 und 128. Das Ergebnis lautet 45. Bei diesem Rest wird nun in gleicher Weise wie oben verfahren. Wir suchen also wieder die höchste Potenz von 2, die in diesem Wert steckt. Anhand der Tabelle läßt sie sich leicht ermitteln und beträgt 2^5=32. Anschließend bilden wir wieder die Differenz: (45-32=13).

Das beschriebene Verfahren wird solange angewendet, bis der Rest Null beträgt.
2^3=8 (13-8=5)
2^2=4 (5-4=1)
2^0=1 (1-1=0)

Wir haben folgende Potenzen von 2 errechnet:
2^7 , 2^5 , 2^3 , 2^2
Unter jede vorkommende 2-er Potenz schreiben wir eine Eins und unter die fehlenden eine Null:

7	6	5	4	3	2	1	0	
2	2	2	2	2	2	2	2	
1	0	1	0	1	1	0	1	= 173

Die Dezimalzahl 173 wird also im Dualsystem durch 10101101 dargestellt. Im Folgenden wollen wir Binärzahlen durch das Voranstellen von &X kennzeichnen.

z.B. 173= &X 10101101

Bit und Byte

Ein BIT ist die kleinste Informationseinheit, aus der alle anderen Informationen zusammengesetzt sind. BIT ist die Abkürzung für "binary digit", was soviel heißt wie Binärziffer. Es wird von einem gesetzten BIT gesprochen, wenn das BIT den Zustand 1, oder von einem rückgesetztem BIT, wenn es den Zustand 0 hat.
Der Schneider CPC 464 hat einen 8-BIT Prozessor, d.h. er kann 8-BIT-lange Dualzahlen verarbeiten, was den Dezimalwerten von 0 bis 255 entspricht.

Binärzahl:

1 0 1 1 0 1 1 1

g r g g r g g g g=gesetztes BIT; r=rückgesetztes BIT

7 6 5 4 3 2 1 0 Nummer des BITs

Jedem Bit (jeder Ziffer) einer Binärzahl ist eine Bitnummer zugeordnet. Das Bit mit dem niedrigsten Stellenwert, d.h. daß am weitesten rechts stehende, hat die Nummer 0. Von rechts nach links wird dann fortlaufend nummeriert. Die Bitnummer entspricht dem Exponenten der Zweierpotenz, die den jeweiligen Stellenwert darstellt.
Beim Computer ist es sinnvoll sich die BIT-Zustände als einen Schalter vorzustellen.

SCHALTER EIN = 1

SCHALTER AUS = 0

Bei einer Zahl von 8 Schaltern lassen sich Werte von 0-255 also 256 Schaltzustände darstellen.
Acht Schalter (BITs) zusammengefaßt nennt man ein BYTE. Ein Byte kann vom Computer in einer Speicherstelle abgelegt werden. Wie werden aber Zahlen gespeichert, die größer als 255 sind? Zu diesem Zweck teilt man die Zahl in zwei Hälften, nämlich dem LOW-Byte (engl.low:niedrig;niederwertiges Byte) und dem HIGH-Byte (engl.high:hoch;höherwertiges Byte). Diese Bytes werden nun in zwei aufeinanderfolgenden Speicherzellen abgelegt.

Das HIGH- und LOW-Byte läßt sich folgendermaßen berechnen:

Zahl dividiert durch 256=(HIGH-Byte)+Rest
Der Rest der Division entspricht dem LOW-Byte.

Zur Erinnerung: Die Zahl 255 ist der maximal darstellbare Wert in einem Byte, da es sich aus 8 BITs zusammensetzt.

Beispiel: Die Zahl 34065 soll in ein LOW-und ein HIGH-Byte zerlegt werden.

```
34065 / 256=133 Rest 17
34065      =133*256+17
```

133=High-Byte
17=Low -Byte

Die allgemeine Formel in BASIC geschrieben lautet:

```
HB=INT(Zahl/256)        HB=High-Byte
LB=Zahl-HB*256          LB=Low -Byte
```

Damit benötigt eine Zahl, die im Bereich von 256 bis 65535 liegt und im Speicher abgelegt wird, 2 Bytes.
Zur vereinfachten Darstellung von Zahlen, die in dieser Form

im Speicher abgelegt sind, ist die Einführung eines weiteren Zahlensystems sinnvoll.

Das Hexadezimalsystem

Beim Hexadezimalsystem ist die Basis 16.
Zur Erinnerung:

Beim Dezimalsystem ist die Basis 10.
Beim Dualsystem ist die Basis 2.

Zur Darstellung von Ziffern, deren Wert größer als 10 ist, werden im Hexadezimalsystem die Buchstaben A bis F verwendet.

Dezimalsystem:
0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,...

Hexadezimalsystem:
0,1,2,3,4,5,6,7,8,9, A, B, C, D, E, F,10,11,12,...

Zuerst wandeln wir Hexadezimalzahlen in Dezimalzahlen um:

Potenz	Wert
0	
16	1
1	
16	16
2	
16	256
3	
16	4096

```
&3ABF=3*16^3 + 10*16^2 + 11*16^1 + 15*16^0
&3ABF=3*4096 + 10*256  + 11*16   + 15* 1
&3ABF=12288  + 2560    + 176     + 15
&3ABF=15039
```

Noch ein Beispiel:

```
&1A3E=1*16^3 + 10*16^2 +  3*16^1 + 14*16^0
&1A3E=1*4096 + 10*256  +  3*16   + 14*1
&1A3E=4096   + 2560    +  48     + 14
&1A3E=6718
```

Der Vorteil des Hexadezimalsystems liegt darin, daß man das Low-und das High-Byte direkt ablesen kann.
Für &3ABF gilt:

- das High-Byte, setzt sich aus den beiden Hexadezimalziffern (3 und A) zusammen. Es hat den Dezimalwert (3*16^1+10*16^0)=58.

- das Low-Byte, setzt sich aus den letzten beiden Hexadezimalziffern (B und F) zusammen. Es hat den Dezimalwert (11*16^1 + 15*16^0)=191.

Geben Sie einmal folgendes ein:

```
PRINT PEEK(9),PEEK(10)
```

An den beiden Adressen 9 und 10 steht die Sprungadresse, an die das Betriebssystem verzweigt, wenn eine Routine im unteren ROM aufgerufen werden soll. Für eine Sprungadresse ist ein Wert von 0 bis 65535 (also bis &FFFF) möglich. Diese Zahl ist mit Hilfe von High-Byte und Low-Byte abgespeichert. Wir wollen die Sprungadresse nun berechnen. Mit dem obigen BASIC Befehl erhalten wir an Adresse 9 den Wert 130 und an Adresse 10 den Wert 185. Dezimal ergibt sich die Sprungadresse also aus 185*256+130=47490.
Nun wollen wir im Hexadezimalsystem die gleiche Rechnung durchführen:
130=&82 und 185=&B9, wie Sie leicht nachprüfen können. Den Wert der Sprungadresse erhalten wir einfach durch das Hintereinanderschreiben von High-Byte und Low-Byte: 47490=&B982

Es ist also genauso leicht eine Hexadezimalzahl in High-Byte und Low-Byte zu zerlegen, wie sie aus High-Byte und Low-Byte zusammenzusetzen. Im Allgemeinen steht das Low-Byte einer Zahl an der niedrigeren Speicheradresse, darauf folgt dann das High-Byte.
Hiermit haben Sie den ersten Vorteil des Hexadezimalsystems kennengelernt. Außerdem läßt sich die Umwandlung vom Dualsystem in das Hexadezimalsystem sehr leicht durchführen. Dazu unterteilt man eine Dualzahl in zwei Blöcke zu je 4 Bit. Den Block vom Oten bis 3ten Bit nennt man Low-Nibble und den andere Block vom 4ten bis 7ten Bit High-Nibble. Jedes Nibble entspricht genau einer Hexadezimalziffer. Das ist leicht einsichtig, da eine 4 Bit Dualzahl maximal den Wert 15 annehmen kann (15=8+4+2+1). Alle Werte von 0 bis 15 können aber auch durch eine Hexadezimalziffer (0,1,...,9,A,B,C,D,E,F) dargestellt werden. Betrachten wir ein Beispiel:

```
1 1 0 1   1 0 0 1
High-N.   Low-Nibble
8+4+ +1   8+    1
  13        9
  &D       &9
```

Also: &X11011001=&D9

Mit einiger Übung können Sie direkt aus einer 4 Bit Zahl die dazugehörige Hexadezimalziffer und umgekehrt ablesen. Dabei soll Ihnen folgende Tabelle helfen:

Dualsystem	Hexadezimalsystem	Dezimalsystem
0000	0	0
0001	1	1
0010	2	2
0011	3	3
0100	4	4
0101	5	5
0110	6	6
0111	7	7
1000	8	8
1001	9	9
1010	A	10
1011	B	11
1100	C	12
1101	D	13
1110	E	14
1111	F	15

Entsprechend läuft die Umwandlung von Hexadezimal nach Dual. Jede Hexadezimalziffer wird durch die entsprechende vier Bit-Kombination ersetzt, z.B. &C7=&X1100 0111.

Das Verstehen der Umwandlung zwischen den unterschiedlichen Zahlensystemen ist eine Grundlage für die Programmierung in Maschinensprache.

Aufgaben:

1. Füllen Sie folgende Tabelle aus:

Dezimal	Binärsystem	Hexadezimal
130	?	?
?	10010011	?
57312	---	?
?	---	&COB6
?	?	&37

2. Ab Speicherstelle &A000 soll der Wert 37315 gespeichert werden. Berechnen Sie das High-Byte und das Low-Byte und geben Sie die BASIC-Befehle an, mit denen die Zahl gespeichert werden kann.

3. Ab Speicherstelle &0006 steht eine wichtige Sprungadresse des Betriebssystems. Welchen Wert hat sie?

Lösungen:

1.

Dezimal	Binärsystem	Hexadezimal
130	10000010	&82
147	10010011	&93
57312	---	&DFE0
49334	---	&C0B6
55	00110111	&37

2. High-Byte=145=&91;Low-Byte=195=&C3
   POKE &A000,&C3:POKE &A001,&91

3. Low-Byte=PEEK(&0006), High-Byte=PEEK(&0007)
   Sprungadresse=&0580

Im Anhang finden Sie eine Tabelle, in der Zahlen von 0-255 (1-Byte) in den drei Zahlensystemen angegeben sind.

1.4 RECHNERAUFBAU

Wenn wir uns mit der Programmierung in Maschinensprache beschäftigen, müssen wir eine Vorstellung vom internen Aufbau und der internen Organisation des Rechners haben. Im Folgenden soll hiervon eine Vorstellung entwickelt werden, die unseren Ansprüchen genügt.
Wie Sie wissen, besitzen Sie einen 64K (K-Kilobyte=1024 Bytes) Computer. Das heißt, daß die Speicherkapazität des Rechners 64*1024=65536 Bytes ist. Da sich ein Byte aus 8 Bit zusammensetzt und das die interne Speicherdarstellung von Daten ist, besteht Ihr Computer quasi aus 64*1024*8 Bits, also ca. 0.5 Millionen Schaltern, die entweder EIN- oder AUSgeschaltet sind. Diese Vorstellung ist jedoch für die konkrete Arbeit mit dem Computer nicht sinnvoll. Aus diesem Grund sind 8 Bit zu einem Byte zusammengefaßt. Diese 64*1024 Bytes stehen im RAM des Rechners. RAM heißt Random Access Memory, zu deutsch Schreib- und Lesespeicher oder auch Arbeitsspeicher. Die 65536 Bytes des RAM sind von &0000 bis &FFFF durchnummeriert. Die dem Byte entsprechende Nummer ist seine Adresse. Diese Adresse wird normalerweise als eine Hexadezimalzahl angegeben. Vom BASIC aus können wir direkt auf den RAM zugreifen. Hierzu dienen die Befehle PEEK und POKE. ›PEEK(Adresse)‹ liest den Wert des an der angegebenen Adresse stehenden Bytes, und ›POKE Adresse,Wert‹, speichert den angegebenen Wert an der angegebenen Adresse. Da jede Adresse einem Byte zugeordnet ist und ein Byte aus 8 Bit besteht, also im Bereich von 0-255 (&00-&FF) liegt, darf der zu speichernde Wert auch nur in diesem Bereich liegen. Natürlich muß auch die Adresse zwischen &0000 und &FFFF liegen.
Der RAM dient der Speicherung der von Ihnen eingegebenen BASIC-Programme. Weiterhin wird der codierte Bildschirminhalt ab &C000 abgespeichert, wobei in MODE 2 ein Punkt einem gesetzten Bit und umgekehrt entspricht. Außerdem befinden sich einige wichtige Routinen des Betriebssystems

und Informationen über aktuelle Farben, Keybelegung, selbstdefinierte Zeichen etc. im RAM. Da sich Systemroutinen und wichtige Informationen im RAM befinden, können unvorsichtige POKEs den Rechner zum Absturz bringen. Versuchen Sie zum Beispiel nie ›POKE &8,0‹.
Die Aufteilung des RAM ist fogendermaßen:

&0000 - &0170	vom System benutzt
&0171 - &AB7F	für BASIC Programme
&AB80 - &BFFF	System benutzt
&C000 - &FFFF	Bildschirmspeicher

Durch den ›MEMORY Adresse‹ Befehl können wir den Platz, der für BASIC-Programme reserviert ist, begrenzen. Damit steht uns der Bereich von der im MEMORY-Befehl angegebenen Adresse bis &AB7F für das Abspeichern unserer Maschinenprogramme zur Verfügung. In unserem Beispiel haben wir durch ›MEMORY &9FFF‹ den Bereich von &A000 bis &AB7F für unser Maschinenprogramm reserviert und es dann ab &A000 mit Hilfe von POKE Befehlen abgespeichert.
Nun werden Sie sich wundern, daß nur etwas mehr als 1K des RAMs für Systemroutinen benutzt wird:
Wo befinden sich der Interpreter und das Betriebssystem, die es uns möglich machen, in BASIC zu programmieren?
Sie vermuten richtig:

Es gibt noch einen weiteren wichtigen Speicher, den ROM (Read Only Memory=Nur-Lese-Speicher oder Festwertspeicher). Im ROM befinden sich alle Daten und Programme, die es uns ermöglichen so auf einfache Weise in BASIC zu programmieren. Da ein ROM ein Festwertspeicher ist, wird er, mit Daten und Programmen (in Maschinensprache !) beschrieben, vom Werk in den Rechner eingebaut. Leider ist es uns vom BASIC aus nicht möglich, den Inhalt des ROMs zu lesen. Sobald wir ein Maschinenprogramm für diese Aufgabe erstellt haben, ergibt sich folgendes Bild:

Der CPC besitzt zwei 16K ROMs, deren Adressen sich mit denen

des RAMs überlagern. Das ist notwendig, da der Z80 Prozessor nur 16 Adressleitungen besitzt, d.h. die Adresse eines Bytes kann nicht länger als 16 Bit sein. Mit 16 Bit ist genau der Bereich von &0000 bis &FFFF abgedeckt. Zum Lesen der ROMs wird also erst der CPU mitgeteilt, daß der ROM gelesen werden soll, und danach können dieselben Adressen wie für das RAM benutzt werden. Die ROMs belegen folgende Bereiche:

1. ROM &0000 - &3FFF Betriebssystem
2. ROM &C000 - &FFFF BASIC

Das Betriebssystem enthält, wie der Name schon sagt, die Routinen, die grundsätzlich notwendig sind, damit der Rechner arbeitet. Es ist für die Steuerung der externen Geräte, für die Verwaltung der Daten, Datenverkehr usw., zuständig. Im unteren ROM-Bereich befinden sich auch die Kopien der Systemroutinen, die im RAM stehen. Beim Einschalten oder Reset des Rechners werden diese Routinen vom ROM ins RAM kopiert. Außerdem befindet sich der Zeichenspeicher im ROM (&3800-&3FFF), wo jedes Zeichen des Computers in einer Bit-Matrix (d.h. 0-kein Punkt, 1-Punkt) dargestellt ist.
Die von uns programmierten BASIC-Befehle, werden durch die im BASIC-ROM stehenden Programme ausgeführt. Die Befehlsworttabelle steht z.B. ab &E388. Soviel zu den Speichern des CPC.

Natürlich enthält unser Computer noch viele andere ICs, wie den Z80 Prozessor oder den Sound Chip. Den Z80 Prozessor werden wir im nächstem Kapitel genau beschreiben. Falls Sie Interesse an weiteren Informationen über den internen Aufbau Ihres Rechners haben, greifen Sie bitte auf das Buch "CPC 464 Intern" zurück.

2.1 AUFBAU DER CPU

(siehe Abbildung 1:Kapitel 2.1)

Der Schneider CPC 464 besitzt eine Z80 CPU (Zentraleinheit). Wir erinnern uns, daß die CPU als "das Gehirn" des Rechners bezeichnet werden kann. Damit ist die Bedeutung dieser MPU (MPU:engl.Micro Prozessing Unit- Mikroprozessor) keine Frage.
In diesem Kapitel wollen wir uns mit dem Aufbau und der Funktion der einzelnen, in der CPU enthaltenen Bausteine befassen. Die Grafik auf dieser Seite soll uns helfen, daß Innenleben einer Zentraleinheit zu verstehen. Wenn wir die Zeichnung von links nach rechts betrachten, erkennen wir folgendes:

1. Cu (CU:engl.Control Unit- Kontrolleinheit)
Alle Abläufe in einem Computer werden durch die CU kontrolliert und gesteuert.

1. Kontrollbus
Der Kontrollbus ist der "lange Arm" der CU. Durch ihn werden Bausteine außerhalb der CPU gelenkt und überwacht.

3. Stapelzeiger SP (SP:engl. Stack Pointer)
Mit Hilfe des SPs werden Daten und Unterprogrammrücksprungadressen im RAM zwischengespeichert. Da im SP Adressen gespeichert werden, ist er ein 16-Bit Register.

4. Programmzeiger PC (PC:engl.Programm Counter- eigentlich Programmzähler)
Der PC zeigt auf die Speicheradresse , an der der jeweils zu verarbeitende Befehl steht.

5. Register B bis L (Register registrieren)
Die CPU besitzt mehrere Register, in denen Daten gespeichert werden.

6. Flags (Flag:engl.flag- Flagge, Fahne; hier besser Kennzeichen)
Flags dienen als Anzeiger für bestimmte Ereignisse, die bei Rechenoperationen in der CPU enstehen. Flags können gesetzt (Flagge oben) oder nicht gesetzt bzw. rückgesetzt (Flagge unten) sein.

7. Adreßbus (liegt außerhalb der CPU)
Der Adreßbus stellt die Verbindung zu anderen MPUs des Computers her. Er zeigt auf die Speicherstelle im ROM bzw. RAM, deren Inhalt gelesen oder beschrieben werden soll. Der Adreßbus ist 16-Bit breit. Das ist notwendig, um 64K Speicherplatz adressieren zu können.

8. Datenbus (liegt außerhalb der CPU)
Datenbusse "befördern" die gelesenen bzw. zu schreibenden Daten. Der Adreßbus zeigt dabei auf die Adresse der Daten. Der Datenbus ist 8-Bit breit.

9. Akkumulator (lat.akkumulieren:ansammeln)
Der Akkumulator (Akku) ist das wichtigste Register der CPU. Man kann ihn auch als das Rechenregister bezeichnen.

10. ALU (ALU:engl.Arithmetical Logical Unit- Arithmetik Logik Einheit,Recheneinheit,Rechenwerk)
Die ALU führt sämtliche arithmetischen und logischen Operationen durch. Abhängig vom Ergebnis der Operationen werden die Flags beeinflußt.

11. Schieber
Der Schieber führt die Rotier- und Schiebeoperationen aus.

Wie in Punkt 5 schon erwähnt, enthält die CPU mehrere

Register. Zum Verständnis der Funktionen, haben wir sie in fünf Gruppen eingeteilt.

1. Der Akkumulator
2. Die Flags
3. Die "verknüpfbaren sechs" 8 Bit Register
4. Die "unzertrennlichen vier" 16 Bit Register
5. Interrupt-/Refresh-Register

2.2 DER AKKUMULATOR

Der Akku bzw. das A-Register ist das wichtigste Register des Z80. Die meisten arithmetischen und logischen Befehle benutzen dieses Register. Bei der Ausführung eines Vergleichbefehls wird grundsätzlich mit dem Inhalt des Akkus verglichen. Wie alle Register, bis auf SP, PC, IX und IY ist das A-Register ein 8-Bit Register.

2.3 DIE FLAGS

Das F- bzw. Flag-Register ist 8 Bit breit (wie A,B,C,D,E,H und L). Es hat jedoch andere Funktionen als diese. Im Flag-Register werden die einzelnen Bits als Anzeiger für bestimmte Ereignisse, die bei Operationen des ALUs (Rechenwerk) entstehen, benutzt. Die einzelnen Bits des F-Registers haben folgende Bedeutung:

S	Z		H		P/V	N	C	-Flagbezeichnung.
7	6	5	4	3	2	1	0	-Bitnummer

C - Carry-Übertrag
N - Subtraktion
P/V - Parität/Überlauf
H - HalbÜbertrag
Z - Zero-Null
S - Sign bzw. Vorzeichen

C-Flag (Bit 0)

Tritt bei einer Addition oder Subtraktion ein Übertrag auf, wird dieses Bit gesetzt, sonst rückgesetzt.

N und H-Flag (Bit 1,Bit 4)
Diese Flags werden intern vom Z80 benutzt. Sie haben für unsere Zwecke keine Bedeutung.

P/V-Flag (Bit 2)
Dieses Flag hat eine doppelte Funktion:
Es wird gesetzt, wenn ein Überlauf (V) (engl.:overflow) auftritt, sonst rückgesetzt. Weiterhin zeigt es die Parität (P) eines Bytes an.

Z-Flag (Bit 6)
Dieses Flag wird gesetzt, wenn das Ergebnis einer Subtraktion Null ist, sonst rückgesetzt. Bei einem Vergleich wird dieses Bit gesetzt, wenn Gleichheit vorliegt.

S-Flag (Bit 7)
Ist das Ergebnis einer Addition bzw. Subtraktion größer als 127, wird dieses Bit gesetzt. Wie wir später sehen werden, bedeuten bei der Arithmetik der CPU Bytes,die größer als 127 sind, negative Zahlen.

Die Bits 3 und 5 des Flag-Registers sind ungenutzt.

2.4 DIE "VERKNÜPFBAREN SECHS" 8-BIT REGISTER

Zu dieser Gruppe gehören sechs 8-Bit Register:
B, C, D, E, H, L
Diese Register sind in der Lage, Registerpaare zu bilden, um ein 16-Bit breites Register darzustellen. In C, E, L wird jeweils das Low- und in B, D, H das High-Byte gespeichert.

B/C (Byte Counter)
Das B-Register bzw. BC-Registerpaar wird häufig als Zähler z.B. für Schleifen verwendet.

Das DE-Registerpaar ist frei verfügbar.
Dieses Registerpaar wird oft zur Zwischenspeicherung von Adressen oder Daten verwendet.

H/L (High/Low)
Das Registerpaar HL wird oft zur Speicherung von Adressen verwendet.

Eine Gewöhnung an die Benennung der Register in dieser Weise ist sinnvoll, da einige Befehle die Register in der oben beschriebenen Weise benutzen. Prinzipiell kann man natürlich auch das L- oder E-Register als Zähler verwenden.
Eine Besonderheit des Z80 ist, daß alle oben genannten Register mit gleicher Funktion noch einmal vorhanden sind. Dieser Zweitregistersatz steht uns zur Verfügung. Allerdings kann immer nur ein Satz zur Zeit benutzt werden.

2.5 DIE "UNZERTRENNLICHEN VIER" 16-BIT REGISTER

Zu dieser Gruppe gehören vier 16-Bit Register:
SP, PC, IX, IY
Das SP-Register ist ein festes 16-Bit Register, d.h. es kann nicht in zwei 8-Bit breite Register zerlegt werden. Der Stack Pointer zeigt auf die jeweilige Adresse im Speicher, an der Rücksprungadressen oder zwischengespeicherte Daten stehen. Die Adresse bezieht sich auf eine Speicherstelle, die in einem Bereich des RAMs liegt, den man Stack oder Stapel nennt. Die Benutzung des Stacks zur Datenspeicherung geht folgendermaßen vor sich:
Beim Einschalten des Rechners wird der SP auf die höchste Adresse im Stack gesetzt ($C000). Soll nun ein Byte auf den Stack gelegt werden, so wird SP automatisch um eins erniedrigt und dieses Byte in der Adresse, die SP dann anzeigt, abgespeichert. Er zeigt also immer auf die letzte Eintragung im Stapel. Beim "Holen vom Stack" läuft der Vorgang umgekehrt ab. Erst wird das Byte an der Adresse, auf die SP zeigt, gelesen, dann wird SP um eins erhöht. Auf

diese Weise ist es möglich, Unterprogrammaufrufe beliebig ineinander zu verschachteln.

Der PC ist ein besonderes Register. Er kann vom Programm aus weder beschrieben noch geändert werden.

IX/IY-Register werden hauptsächlich zur Speicherung von Adressen bzw. relativen Adressen benutzt. Auch diese beiden Register gehören, wie alle unter 2.5 aufgeführten, zu den 16-Bit Registern. Bei diesen ist es nicht möglich, getrennt auf High-bzw. Low-Byte (wie bei BC, DE, HL) zuzugreifen. Die Benutzung der Indexregister ist der des HL-Registerpaares ähnlich. Den Unterschied werden wir bei der indizierten Adressierung kennenlernen.

2.6 INTERRUPT- UND REFRESH-REGISTER

Diese beiden Register sind der CU zugeordnet.

I- bzw.Interrupt-Register
(engl.interrupt: Unterbrechung)
Tritt ein Interrupt auf (d.h. eine Programmunterbrechung), so enthält dieses 8-Bit Register den oberen Teil der Adresse, an die verzweigt werden soll. Der untere Teil wird von dem Baustein des Computers geliefert, der den Interrupt ausgelöst hat.

R- bzw. Refresh-Register (engl.:refresh:auffrischen)
Dieses Register wird von der Hardware als Zähler benutzt, um in regelmäßigen Abständen den Inhalt der dynamischen Speicher aufzufrischen. Damit soll verhindert werden, daß gespeicherte Informationen verlorengehen. Durch ständiges Neuladen des gleichen Speicherinhaltes innerhalb sehr kurzer Zeit wird ein Verlust der Daten verhindert.

Eine Befehlsausführung durch die CPU sieht dann folgendermaßen aus:
Das Byte, an der Adresse auf die der PC zeigt, wird gelesen

und der PC wird um eins erhöht (d.h. er zeigt auf das nächstfolgende Byte). Das gelesene Byte wird als Befehl interpretiert. Dann werden eventuell zu dem Befehl gehörende Daten gelesen (PC wird dann wieder erhöht). Danach erfolgt die Ausführung des Befehls und der Vorgang beginnt von Neuem.

Nachdem wir nun die Z80 CPU kennengelernt haben, werden wir uns jetzt den eigentlichen Maschinenbefehlen zuwenden.

3.1 EINLEITUNG: EINGABE VON MASCHINENPROGRAMMEN

Damit wir die Befehle des Z80 gleich ausprobieren können, müssen wir uns zuerst darüber Gedanken machen, auf welche Weise ein Maschinenprogramm vom BASIC aus eingegeben und abgespeichert wird. Ähnlich wie beim BASIC, wo eine Zeilennummer einem Befehl zugeordnet ist, wird jedem Maschinenbefehl eine Adresse zugeordnet.

BASIC		Maschinensprache		
Zeilennr.	Befehl	Adresse	Befehl	Code
9	HL=HL+1	&A009	INC HL	&23
10	RETURN	&A00A	RET	&C9

- Beim BASIC wird eine Zeilennummer einem Befehl zugeordnet.

- Bei der Maschinensprache gehört zu jedem Befehl eine Adresse.

Ein Maschinenprogramm ist damit eine Folge von Befehlscodes, die in aufeinanderfolgenden Adressen im Speicher stehen.
Vom BASIC aus haben wir die Möglichkeit, mit Hilfe des POKE-Befehls die Codes an die entsprechenden Adressen zu schreiben. Ein Aufruf der Maschinenprogramme geschieht dann mit ›CALL Adresse‹, wobei die Adresse den Speicherplatz kennzeichnet, der den ersten Befehl enthält. Damit unser Maschinenprogramm nicht versehentlich überschrieben wird, müssen wir einen Speicherbereich mit dem MEMORY-Befehl reservieren. Wir werden durch ›MEMORY &9FFF‹ immer den Bereich von &A000 bis &AB7F reservieren, damit stehen also &B80 Bytes (entspricht 3K) für Maschinenprogramme zur

Verfügung. Ein typisches BASIC-Programm, zum Laden von Maschinenprogrammen hat folgenden Aufbau:

```
10 MEMORY &9FFF
20 FOR I=Startadresse TO Endadresse
30 READ A
40 POKE I,A
50 NEXT I
60 DATA .....
70 DATA .....
    .
    .
    .
```

In den DATA-Zeilen stehen die Codes, die das eigentliche Maschinenprogramm bilden werden. Die Endadresse (V=Variable; diese Abkürzung werden wir in Zukunft immer hinter Wörter schreiben, die Variablen sind) muß natürlich größer als &9FFF und Startadresse (V) kleiner als &AB80 sein. Der Aufruf des geladenen Programmes erfolgt mit ›CALL Startadresse‹.
Normalerweise werden wir &A000 als Startadresse benutzen. Endadresse (V) ergibt sich aus Startadresse (V) plus Länge des Programmes in Bytes minus 1. Die Länge eines Programmes entspricht der Anzahl der Eintragungen in den DATA-Zeilen.

Für die Eingabe von kleinen Programmen ist folgendes BASIC-Programm sinnvoll:

```
10 CLS
20 MEMORY &9FFF
30 LOCATE 10,10:INPUT "Startadresse";adr
40 IF adr <&A000 OR adr>&ABFF THEN 30
50 PRINT
60 PRINT HEX$(adr,4);":";
70 INPUT Wert$
80 IF Wert$="" THEN END
90 Wert=VAL("&"+Wert$)
```

```
100 adr=adr+1
110 IF adr>&AB7F THEN PRINT "Speicher voll": END
120 GOTO 60
```

Sie geben die Hexadezimalcodes direkt ein, und das Programm wird das "Poken" für Sie erledigen. Bei der Startadresse brauchen Sie das Hexzeichen (&) nicht mit einzugeben. Wollen Sie das Programm beenden, geben Sie ENTER ein.

Nachdem wir nun die Eingabe von Maschinenprogrammen kennengelernt haben, wollen wir uns die Befehle des Z80 ansehen.

Anmerkung: Bei der Befehlserklärung werden wir oft mit Analogien zu den BASIC-Befehlen arbeiten. Dazu stellen wir uns ein Register im BASIC als eine Variable mit demselben Namen vor (Register HL in Maschinensprache entspricht Variable HL in BASIC).

Die Befehle des Z80 lassen sich in 5 Gruppen unterteilen:

1. Transfer von Daten
2. Bearbeitung von Daten und Tests
3. Sprünge
4. Steuerbefehle
5. Ein- und Ausgabe

3.2 TRANSFER VON DATEN

Diese Befehle dienen der Übertragung von Daten.
Daten können übertragen werden von:

a) Register zu Register
Das entspricht einer Zuweisung im BASIC, wie z.B. A=B oder SP=HL. Der Maschinenbefehl hat folgendes Format: LD A,B

(LD- lade)

b) Register zur Speicherstelle
Bei der Übertragung vom Register zur Speicherstelle ist der BASIC-Befehl ›POKE Speicheradresse,Variable‹, z.B. ›POKE &A000,HL‹ entsprechend dem Maschinensprachebefehl LD (&A000),HL.

c) Speicherplatz zu Register
Die Datenübertragung vom Speicher in ein Register, z.B. LD H,(&A005), entspricht dem BASIC-Befehl: ›H=PEEK (&A005)‹.

3.3 BEARBEITUNG VON DATEN UND TESTS

Die Befehle zur Bearbeitung von Daten kann man wiederum in 5 Gruppen einteilen:

- arithmetische Operationen (z.B. ADDition, SUBtraktion)
- logische Operationen (z.B. AND, OR)
- Zählbefehle (INCrease = erhöhe, DECrease = erniedrige)
- Bitmanipulation (SET, RESet)
- Vertauschen und Schieben von Bits (Rotate = rotieren, Shift = schieben)

Bei der Ausführung dieser Befehle werden Register- oder Speicherinhalte (im RAM) verändert. Viele Befehle sind denen des BASIC ähnlich:

Assembler	BASIC
SUB A,B (SUBtraktion)	A=A-B
ADD HL,BC (ADDition)	HL=HL+BC
AND C	A=A AND C
OR &HL	A=A OR PEEK(HL)

Getestet werden entweder einzelne Bits in Registern bzw.

Speicherstellen (BIT-Befehl), oder es werden Register- oder Speicherinhalte mit dem Akku verglichen (CP-Befehl=compare). Je nach dem Ausgang dieser Tests werden von der ALU die jeweiligen Flags im F-Register gesetzt oder gelöscht.

3.4 SPRÜNGE

Mit Hilfe dieser Befehle ist es möglich, Verzweigungen in Maschinenprogramme einzubauen.
Man unterscheidet drei Sprungarten:

- direkter Sprung an eine 16-Bit Adresse (JP=Jump)
- relativer Sprung zur aktuellen Adresse (JR=Jump relativ)
- Unterprogrammsprünge (CALL und RET-Rücksprünge)

Man bezeichnet einen Sprung als bedingt, wenn die Entscheidung darüber, ob gesprungen wird, vom Status eines Flags abhängt. Ein bedingter Sprung, d.h. einer, bei dem der Sprung vom Status eines Flags abhängt, ist z.B. JR NZ,$-6›A000.

Analogien:

Assembler	BASIC
JP	GOTO
CALL	GOSUB
RET	RETURN
JR	----

3.5 STEUERBEFEHLE

Mit diesen Befehlen kann beispielsweise ein Programm

unterbrochen werden. Auch Interruptsteuerung ist mit diesen Befehlen möglich.

3.6 EIN/AUSGABEBEFEHLE (Input/Output)

I/O-Befehle sind zur Bedienung von I/O-Geräten gedacht. Wir werden diese Befehle der Vollständigkeit halber aufführen, jedoch ihre Anwendung nicht erklären.

4.1 8-BIT-TRANSFERBEFEHLE

Alle Transferbefehle dieser Art werden durch den Ladebefehl LD dargestellt.
Ein Ladebefehl hat folgendes Format:

LD Ziel,Quelle

Bei den 8-Bit Transferbefehlen werden je 8-Bit von der Quelle in das Ziel geladen. Am Beispiel dieser Befehle wollen wir die Adressierungsarten des Z80 kennenlernen.

Jeder Maschinenbefehl besteht grundsätzlich aus einem Operationscode (Opcode), auf den ein Operanden- oder Adressenfeld folgen kann. Der Opcode legt fest, welche Operation ausgeführt werden soll. Manchmal enthält ein Opcode Bits, die als Zeiger auf ein Register benutzt werden. Genau genommen gehören diese Bits nicht zum Opcode. Zur Vereinfachung wollen wir aber die eventuell vorhandenen Zeiger zum Opcode dazuzählen. Bei einigen Befehlen folgen auf den Opcode Daten- oder Adressbytes. Außerdem gibt es Befehle, deren Opcode zwei Bytes lang ist. Damit kann ein Befehl eine Länge von 1 bis 4 Bytes haben.
(siehe Abbildung 2: 4.1)
Zum Interpretieren der einem Befehl folgenden Daten bzw. Adressen, ist es notwendig, die verschiedenen Adressierungsarten zu kennen.

Unmittelbare Adressierung (Immediately Adressing)

(engl.immediately: unverzüglich, unmittelbar)
Dies ist die einfachste Art der Adressierung.

Format:

LD reg,data

Bei diesem Befehl stellt "reg" ein Register (A,B,C,D,E,H oder L) und "data" eine 8-Bit-Zahl (Konstante) dar; d.h. das angegebene Register reg wird mit der "unmittelbar" dahinterstehenden Konstanten geladen. Eine solche Konstante bezeichnet man auch als Literal. Die unmittelbare Adressierung ist in Abbildung 3 dargestellt. Auf den 8-Bit-Opcode folgt ein 8- oder 16-Bit-Literal (die Konstante).

Beispiel:

LD C,&7F BASIC: C=&7F
(Bedeutet: lade Register C mit &7F)
(siehe Abbildung 3:4.1)

Implizite- und Registeradressierung (engl.:Implied Register Addressing)

Befehle, die ausschließlich mit Registern arbeiten, verwenden die implizite Adressierung.(engl.implied: implizit- mit inbegriffen,einschließlich)

Format

LD reg,req

Übertrage den Inhalt des Quellregisters req nach reg oder lade reg aus req. Register können A, B, C, D, E, H oder L sein.
Der Name dieser Adressierungsart ergibt sich aus der Tatsache, daß der Operand (d.h. die beiden betroffenen Register) nicht extra angegeben ist. Vielmehr enthält der

Opcode des Befehls die betroffenen Register, (er impliziert sie).
Der Opcode dieses Befehls in Binärform ist:

01ZZZQQQ

Jeder der Buchstaben Z und Q steht hierbei für ein Bit. Weiterhin stehen die drei Z's zusammen für das Zielregister reg und die Q's für das Quellregister req. Der Code für die Register ist:

A-111	E-011
B-000	H-100
C-001	L-101
D-010	

Beispiel: LD B,C = 01 000 001 = &41
LD B C

Damit ist es möglich, die implizit-adressierten Befehle, als 1-Byte-Opcode darzustellen. Aus diesem Grund ist ihre Ausführungsdauer sehr gering.

Beispiel:

LD A,B BASIC: A=B

Bedeutet: Übertrage den Inhalt von B nach A oder lade A aus B.

Zilog Inc. (Der "Erfinder" des Z80) bezeichnet obige Adressierungsart als Registeradressierung und definiert die implizite Adressierung etwas abweichend. Demnach wären nur die Befehle LD I,A ; LD R,A ; LD A,R und LD A,I implizit adressiert. Wir werden diesen Unterschied jedoch nicht machen und beide Begriffe, implizite- und Registeradressierung synonym benutzen.

Absolute oder "erweiterte" Adressierung (External Adressing)

(engl.external: außerhalb, äußerlich)
Als absolute Adressierung bezeichnet man das Verfahren, Daten aus dem Speicher zu holen oder dort abzulegen. Bei diesem Verfahren wird die 16-Bit Adresse der Speicherstelle komplett angegeben (die "absolute" Adresse).

Format:

LD (adr),reg oder LD reg,(adr)
(adr:ist die Adresse der Speicherstelle.)

Das angegebene Register reg wird mit dem Inhalt der Speicherstelle adr geladen und umgekehrt. Aus Abbildung 3 können Sie ersehen, daß die Adresse auf den Opcode folgt. Die absolute Adressierung braucht drei Bytes, damit sind die Befehle dieser Klasse relativ langsam.

Beispiel:

```
LD A,(&BF93)          BASIC:A=PEEK(&BF93)
LD (&A001),A          BASIC:POKE &A001,A
```

Indizierte Adressierung (Indexed Adressing)

(engl.indexed: angezeigt)
Bei der indizierten Adressierung wird die Adresse der Speicherstelle nicht absolut angegeben, sondern aus dem Inhalt eines Indexregisters und einer angegebenen Distanz berechnet.

Format:

LD reg,(XY+dis) oder LD (XY+dis),reg

(dis=Distanz)(XY- eines der Register IX oder IY)

Laden des Registers reg mit der Speicherstelle, die folgende Adresse hat (und umgekehrt): Die Adresse ergibt sich aus dem Inhalt vom Indexregister und der angegebenen Distanz.
(siehe Abbildung 4:4.1)
Die indizierten Befehle besitzen einen 2-Byte-Opcode, auf den die Distanzangabe folgt. Das erste Byte des Opcodes ist:

&DD - wenn das IX Register gemeint ist
&FD - wenn das IY Register gemeint ist

Die restlichen Bytes des Codes sind identisch, unabhängig davon, ob IX oder IY gemeint ist. Die Technik der indizierten Adressierung verwendet man, um nacheinander auf die Elemente eines Datenblocks zuzugreifen. Die Distanz kann plus oder minus sein, d.h. das Distanzbyte wird im Zweierkomplement angegeben. Dazu wird einfach immer das Indexregister erhöht.

Beispiel:

```
LD E,(IX+&32)       BASIC: E=PEEK (IX+&32)
LD (IY+&12),A       BASIC: POKE IY+&12,A
```

Indirekte Adressierung (Register indirekt)

Diese Adressierungsart ist der indizierten Adressierung ähnlich, nur wird hierbei die Speicherstelle durch den Inhalt eines der Registerpaare HL, BC oder DE adressiert.

Format

LD reg,(rps) oder LD (rps),reg
(rps- eines der Registerpaare HL,BC,DE)

Laden des Registers reg mit dem Inhalt der Speicherstelle,

die durch den Inhalt des Registerpaares rps adressiert ist. Diese Adressierungstechnik hat gegenüber der indizierten und absoluten Adressierung den Vorteil, daß sie nur 1-Byte lange Befehle braucht, d.h. Register reg und Registerpaar rps sind im Opcode enthalten und müssen nicht extra angegeben werden. Damit ist dieser Befehl schneller, und bietet trotzdem die Möglichkeit auf die kompletten 64K zuzugreifen.

Beispiel:

```
LD B,(HL)        BASIC: B=PEEK (HL)
LD (BC),A        BASIC: POKE BC,A
```

Damit haben wir alle bei den 8-Bit-Transferbefehlen vorkommenden Adressierungsarten besprochen. Im Laufe dieses Kapitels werden wir noch einige andere Adressierungsarten kennenlernen und die jetzt bekannten auf andere Befehle übertragen. Im Anhang finden Sie Tabellen, in denen sich alle Befehle, sortiert nach Aufgaben (Transfer, Sprünge, etc.) und Adressierungsarten befinden. In diesen Tabellen können Sie die Opcodes aller Befehle nachschlagen. Im folgenden wollen wir noch einmal alle 8-Bit Ladebefehle zusammenstellen. Eine Tabelle für die verwendeten Kurzworte finden Sie ebenfalls im Anhang.

Beispiel für die Anwendung der BEFEHLSLISTEN:

SUB (XY+dis)---› BEFEHL

Subtrahiere eine indiziert adressierte Speicherstelle vom Akkuinhalt und lade das Ergebnis in den Akku.---› BEFEHLSERKLÄRUNG

A=A-(XY+dis) ---› GLEICHUNG

```
Befehlscode: 11x11101 &DD Byte 1   Opcode
             10010110 &96 Byte 2   Opcode
             ‹--dis-›     Byte 3   Distanz
```

```
Flag: S Z V C  ---> FLAGZUSTAND
      x x x x
```

Für das "x" innerhalb der Binärzahl im Befehlscode muß für x=0 eingesetzt werden, wenn IX gemeint ist. Ist IY gemeint, muß x=1 gesetzt werden.

LD reg,data

Lade das Register reg mit der Konstanten data.

```
Befehlscode: 00rrr110      Byte 1  Opcode
             <--ko-->      Byte 2  Konstante

rrr entspricht:A-111    E-011
               B-000    H-100
               C-001    L-101
               D-010
```

LD reg,req

Laden des Registers reg mit dem Inhalt des Registers req.

```
Befehlscode: 01rrrqqq Byte 1 Opcode
                      (qqq=Quellregister)
```

LD A,(adr)

Laden des Akkus mit dem Inhalt der Speicherstelle mit der Adresse adr.

```
Befehlscode: 00111010 &3A Byte 1  Opcode
             <--al-->     Byte 2  absolute Adresse Lo'B
             <--ah-->     Byte 3  absolute Adresse Hi'B
```

LD (adr),A

Laden der Speicherstelle mit der Adresse adr mit dem Inhalt des Akkus.

```
Befehlscode: 00110010 &32 Byte 1  Opcode
             <--al-->     Byte 2  absolute Adresse Lo-B
```

```
                <--ah-->      Byte 3  absolute Adresse Hi-B
```

LD (HL),data

Laden der Speicherstelle mit der Adresse HL mit data.

```
Befehlscode: 00110110 &36 Byte 1  Opcode
             <--ko-->     Byte 2  Konstante
```

LD (XY+dis),data

Laden der Speicherstelle, die durch IX bzw. IY plus dis adressiert wird, mit data.

```
Befehlscode: 11x11101      Byte 1  Opcode
             00110110 &36  Byte 2  Opcode
             <--dis->      Byte 3  Distanz
             <--ko-->      Byte 4  Konstante
```

LD reg,(XY+dis)

Laden des Akku mit dem Inhalt der Speicherstelle, die durch (XY+dis) adressiert ist.

```
Befehlscode: 11x11101 &FD Byte 1  Opcode
             01rrr110     Byte 2  Opcode
             <--dis->     Byte 3  Distanz
```

LD (XY+dis),reg

Laden der Speicherstelle (XY+dis) mit dem Register reg.

```
Befehlscode: 11x11101      Byte 1  Opcode
             01110rrr      Byte 2  Opcode
             <--dis->      Byte 3  Distanz
```

LD reg,(HL)

Laden des Register reg mit dem Inhalt der Speicherstelle, die durch HL adressiert ist.

Befehlscode: 01rrr110 Byte 1 Opcode

LD (HL),reg

Laden der Speicherstelle HL mit Register reg.

Befehlscode: 01110rrr Byte 1 Opcode

LD A,(BC)

Laden des Akkus mit dem Inhalt der Speicherstelle, die durch das Registerpaar BC adressiert ist.

Befehlscode: 00001010 &0A Byte 1 Opcode

LD A,(DE)

Laden des Akkus mit dem Inhalt der Speicherstelle, die durch das Registerpaar DE adressiert ist.

Befehlscode: 00001010 &1A Byte 1 Opcode

LD (BC),A

Laden der Speicherstelle, die durch den Inhalt von BC adressiert wird, mit dem Akkuinhalt.

Befehlscode: 00000010 &02 Byte 1 Opcode

LD (DE),A

Laden der Speicherstelle, die durch den Inhalt von DE adressiert wird, mit dem Akkuinhalt.

Befehlscode: 00010010 &12 Byte 1 Opcode

LD A,I / LD A,R

Laden des Akkus mit Inhalt des Interrupt(I)-bzw. Refreshregisters (R).

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1 Opcode
0101SS11 Byte 2 Opcode
SS: I-01
R-11

LD I,A / LD R,A

Laden des Interrupt- bzw. Refreshregisters mit dem Akkuinhalt.

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1 Opcode
0100SS11 Byte 2 Opcode
SS: I-01
R-11

Eine Zusammenfassung dieser Befehle befindet sich im Anhang.

4.2 16-BIT-TRANSFERBEFEHLE

Auch die 16-Bit-Ladebefehle haben das allgemeine Format:

LD Ziel,Quelle

Jedoch werden hierbei 16-Bit übertragen. Damit werden durch diese Befehle die Registerpaare BC,DE,HL,SP,IX und IY angesprochen.

Unmittelbare Adressierung

Da hier nun 16-Bit-Register geladen werden, muß die Konstante, die auf den Opcode folgt, 16-Bit lang sein. Daher enthalten die zwei auf den Opcode folgenden Bytes das Low- und High-Byte der Konstante (in dieser Reihenfolge!). Im Gegensatz zur unmittelbaren Adressierung mit 1-Byte-Konstanten, nennt man diese Technik die unmittelbar erweiterte Adressierung (engl. immediately extended).

Format:

LD x,data16
(x: Eines der 16-Bit-Register SP,BC,DE,HL,IX,IY)
(data: 16-Bit-Konstante)

Durch diesen Befehl wird Register x mit der Konstanten data geladen.

Beispiel:

```
          LD HL,&C000                BASIC: HL=&C000
```

Implizite Adressierung

Bei den 16-Bit-Ladebefehlen gibt es nur drei Befehle dieser Art, die alle das SP-Register betreffen:

LD SP,HL LD SP,IX LD SP,IY

Diese Befehle bedeuten:
Laden des Stapelzeigers mit dem Inhalt des HL, IX bzw. IY Registers.

BASIC Analog:
SP=HL SP=IX SP=IY

Absolute Adressierung

Die absolute Adressierung bei den 16-Bit-Befehlen müssen wir wieder etwas genauer besprechen:

Format:

LD rps,(adr) oder LD (adr),rps

(rps: BL,DE,HL,SP,IX oder IY)

Da adr auf eine Adresse zeigt, also nur ein Byte adressiert, x jedoch ein 16-Bit-Register ist, hat man folgende Vereinbarung getroffen:
Zuerst wird das Low-Byte an der Adresse adr, dann das High-Byte an der Adresse adr+1 in das Register geladen.

z.B.: LD HL,(&AB80) bedeutet:
      L-Register = Low -Byte aus Adresse &AB80
      H-Register = High-Byte aus Adresse &AB81

Bei dem umgekehrten Befehl der Form LD (adr),x wird entsprechend das Low-Byte in Adresse adr abgespeichert und das High-Byte in Adresse adr+1.

z.B. LD (&CB00),IX
Adresse &CB00 = Low -Byte von IX
Adresse &CB01 = High-Byte von IX

Ein Befehl dieser Art entspricht also zwei 8-Bit-Ladebefehlen.

16-Bit-Befehl:		8-Bit-Befehle:
LD BC,(&FC05)	entspricht	LD C,(&FC05) (Low -Byte)
		LD B,(&FC06) (High-Byte)

Wie Sie wissen, kann man eine 16-Bit-Zahl aus High-Byte und Low-Byte in folgender Weise darstellen:

Zahl=256*(High-Byte)+(Low-Byte)

Damit ergibt das BASIC-Äquivalent zur:

Maschinesprache:	BASIC:
LD DE,(&4000)	DE=256*PEEK(&4001)+PEEK(&4000)

Machen Sie sich klar, daß man unter Verwendung des Hexadezimalsystems auch folgendes schreiben kann:

DE=VAL("&"+HEX$(PEEK(&4001))+HEX$(PEEK(&4000)))

Um den umgekehrten Befehl, also z.B. LD (&6800),IY im BASIC zu schreiben, braucht man zwei Befehle:

POKE &6800,	IY-INT (IY/256)*256	(Low-Byte)
POKE &6801,	INT (IY/256)	(High-Byte)

Falls Ihnen diese Analogien nicht klar sind, sehen Sie sich noch einmal das Kapitel über Zahlendarstellungen an. Setzen Sie dann für DE und IY jedesmal Zahlen ein, und führen Sie die Berechnungen selbstständig durch!

LD rps,data16

Laden des Registerpaares rps mit der Konstanten data 16.

```
Befehlscode: 00pp0001     Byte 1  Opcode
             <--ko-->     Byte 2  Konstante Low-Byte
             <--ko-->     Byte 3  Konstante High-Byte
```

```
pp:    BC-00    HL-10
       DE-01    SP-11
```

LD XY,data16

Laden eines Indexregisters mit der Konstanten data 16.

```
Befehlscode: 11x11101     Byte 1  Opcode
             00100001 &21 Byte 2  Opcode
             <--kl-->     Byte 3  Konstante Lo-B
             <--kh-->     Byte 4  Konstante Hi-B
```

LD rps,(adr)

Laden des 16-Bit-Registers rps aus den Speicherstellen adr (Low-Byte) und adr+1 (High-Byte).

```
Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1  Opcode
             01pp1011     Byte 2  Opcode
             <--al-->     Byte 3  Adresse Lo-B
             <--ah-->     Byte 4  Adresse Hi-B
```

LD HL,(adr)

Laden des HL-Registers aus den Speicherstellen adr (Low-Byte) und adr+1 (High-Byte).

```
Befehlscode: 00101010 &2A Byte 1  Opcode
             <--al-->     Byte 2  Adresse Lo-B
             <--ah-->     Byte 3  Adresse Hi-B
```

Anmerkung: Da dieser Befehl häufig gebraucht wird, wurde für ihn, obwohl er im eben besprochenen Befehl LD rps,(adr) enthalten ist, ein 1-Byte-Opcode festgelegt (&2A). Der Vorteil dabei ist, daß er schneller und kürzer ist, als der normale 2-Byte-Opcode (&ED,&6B).

LD XY,(adr)

Laden des Indexregisters aus den beiden Speicherstellen adr (Low-Byte) und adr+1 (High-Byte).

```
Befehlscode: 11x11101 &FD Byte 1  Opcode
             00101010 &2A Byte 2  Opcode
             <--al-->     Byte 3  Adresse Lo-B
             <--ah-->     Byte 4  Adresse Hi-B
```

LD (adr),rps

Laden der Speicherstelle adr mit dem Low-Byte von rps und der Speicherstelle adr+1 mit dem High-Byte von rps.

```
Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1  Opcode
             01pp0011     Byte 2  Opcode
             <--al-->     Byte 3  Adresse Lo-B
             <--ah-->     Byte 4  Adresse Hi-B
```

```
pp:    BC-00   HL-10
       DE-01   SP-11
```

LD (adr),HL

Laden der Speicherstelle adr mit dem Low-Byte von HL (also L) und adr+1 mit dem High-Byte von HL (also H).

```
Befehlscode: 00100010 &22 Byte 1  Opcode
             <--al-->     Byte 2  Adresse Lo-B
             <--ah-->     Byte 3  Adresse Hi-B
```

Anmerkung: Wie bei LD HL,(adr)

LD (adr),XY

Laden der Speicherstelle adr mit dem Low-Byte vom Indexregister und adr+1 mit dem High-Byte des selben.

```
Befehlscode: 11x11101     Byte 1  Opcode
             00100010 &22 Byte 2  Opcode
             <--al-->     Byte 3  Adresse Lo-B
             <--ah-->     Byte 4  Adresse Hi-B
```

Aufgabe:

Bevor wir zur weiteren Besprechung der Befehle übergehen, wollen wir die bisher gelernten anwenden. Wie Sie wissen, liegt der Bildschirmspeicher des CPC 464 ab Adresse &C000. In diesem Bereich entsprechen je 8-Bit (ein Byte), acht nebeneinanderliegenden Punkten (in MODE 2). Adresse &C000 ist den ersten 8 Punkten, angefangen in der oberen linken Ecke des Bildschirms, zugeordnet. Die 8 darunterliegenden Punkte (= ein Byte) sind an Adresse &C800 abgelegt, die darunterliegenden an Adresse &D000 usw...(in &800er Schritten). Geben Sie einmal ein:

```
10 POKE &C000,&FF
20 POKE &C800,&FF
30 POKE &D000,&FF
40 POKE &D800,&FF
50 POKE &E000,&FF
60 POKE &E800,&FF
70 POKE &F000,&FF
80 POKE &F800,&FF
MODE 2
RUN
```

Wie Sie sehen, ist das obere linke Kästchen mit der aktuellen Farbe gefüllt worden.

(&FF=&X11111111=8 gesetzte Punkte)

Dieses Programm sollen Sie nun mit Hilfe der jetzt gelernten Befehle in Maschinensprache übersetzen. Beenden Sie Ihr Maschinenprogramm mit RET (&C9).

Diskussion des Lösungsweges zum
selbsterstellten Maschinenprogramm

Zunächst brauchen wir einen Befehl , der eine Speicherstelle mit einem Wert lädt (=POKE). Es kommen hierfür die Befehle mit indirekter, indizierter und absoluter Adressierung in Frage (siehe Definition). Um genau unser BASIC-Beispiel zu übersetzen, wählen wir die absolute Adressierung, d.h. wir geben, wie im BASIC-Programm, die Adresse jeweils vollständig an. Es ist natürlich auch möglich, die Adresse in einem Register zu speichern und dann die indirekte oder indizierte Adressierung zu verwenden.

Beispiel:

```
          BASIC: HL=&C000:POKE HL,&FF
Maschinensprache: LD HL,&C000 bzw. LD (HL),&FF
```

Da bei den 16-Bit-Befehlen immer zwei aufeinanderfolgende Speicherstellen beschrieben werden, wählen wir den 8-Bit-Befehl:

```
LD (adr),A
```

Vor der Ausführung dieses Befehls muß im Akku noch der Wert &FF gespeichert werden. Hierfür verwendet man die unmittelbare Adressierung:

```
LD A,&FF
```

Danach sieht unser Programm folgendermaßen aus:

```
    LD A,&FF
    LD (&C000),A
    LD (&C800),A
    LD (&D000),A
    LD (&D800),A
```

```
LD (&E000),A
LD (&E800),A
LD (&F000),A
LD (&F800),A
RET
```

Nun suchen wir uns die Codes für die entsprechenden Befehle heraus:

```
LD   A,data: &3E,ko
LD  (adr),A: &32,al,ah  : Low, High
RET        : &C9
```

Damit ergeben sich die DATA-Zeilen unseres BASIC-Laders von Kapitel 3.1 zu:

```
10 MEMORY &9FFF
20 FOR i=&A000 TO &A01A
30 READ a
40 POKE i,a
50 NEXT i
60 END
60 DATA &3E,&FF,&32,&00,&C0,&32,&00,&C8
70 DATA &32,&00,&D0,&32,&00,&D8,&32,&00,&E0
80 DATA &32,&00,&E8,&32,&00,&F0,&32,&00,&F8
90 DATA &C9
```

Wir wollen dieses Programm ab Adresse &A000 (=Startadresse (V)) speichern. Unser Programm ist 27 Bytes lang. Daraus läßt sich die Endadresse (V) zu &A000 + 27-1=&A000+&1A=&A01A berechnen. Also lautet Zeile 20:

```
20 FOR I=&A000 TO &A01A
```

Nachdem das Maschinenprogramm durch RUN in den Speicher "gepoked" wurde, kann es nach Eingabe von ›MODE 2‹ mit ›CALL &A000‹ gestartet werden. Wie Sie sehen, färbt sich augenblicklich das linke obere Feld im Bildschirm. Sie

können dieses Programm mit dem Direktlader eingeben. Dazu starten Sie den Direktlader und geben die Startadresse &A000 ein. Darauf folgend die Codes (z.B.&3E,&FF,usw.).
Das war nun Ihr erstes eigenes Maschinenprogramm. Sie werden dieses Programm verändern und verbessern können, sobald Sie einige neue Befehle kennengelernt haben.

4.3 STAPELBEFEHLE

Zum Verständnis der Funktionsweise des Stapels, ist es notwendig zu wissen, was im Inneren des Z80 abläuft, wenn in ein Unterprogramm gesprungen wird. Der dazu nötige Assemblerbefehl lautet >CALL adresse<. Das grundsätzliche Problem ist, daß die CPU sich die Adresse des nächstfolgenden Befehls "merken" muß, da bei einem Rücksprung ins Hauptprogramm (RET) die Programmausführung dort fortgesetzt wird.
(siehe Abbildung 5:Kapitel 4.3)

Da die Register für andere wichtige Aufgaben gebraucht werden, müssen die Rücksprungadressen außerhalb der CPU, also im RAM, gespeichert werden. Mit diesem Verfahren könnte jedoch nur eine Rücksprungadresse gespeichert werden. Das bedeutet, daß eine Verschachtelung von Unterprogrammen nicht möglich wäre. Das ist der Grund dafür, warum ein Bereich des RAM für diese Aufgabe reserviert wird. Diesen Bereich nennt man Stack oder Stapel. Stellen wir uns diesen Stapel als einen Stapel Teller vor:

Eine Rücksprungadresse wird durch das Notieren auf einem Teller gespeichert. Der so "adressierte" Teller wird auf den Stapel gelegt. So können viele Unterprogrammaufrufe stattfinden, der Stapel wird dadurch einfach höher. Bei einem Rücksprung wird nun der oberste Teller genommen und an die auf ihm stehende Adresse verzweigt. Auf diese Weise wird in der richtigen Reihenfolge solange zurückgesprungen, bis der Tellerstapel abgebaut ist, d.h. man befindet sich wieder im Hauptprogramm. Wichtig ist, daß immer der Teller, der zuletzt auf den Stapel gelegt wurde, auch als erstes wieder heruntergenommen wird (sonst kippt der Stapel um).
Da im Computer keine Teller gestapelt werden, muß ein Register des Z80 als "Höhenmesser" des Stapels benutzt werden. Dieses Register zeigt immer auf den letzten Teller

im Stapel. Es wird Stack Pointer (SP) genannt. Allerdings "hängt" unser Stapel im Computer von der Decke, d.h. der erste Teller wird an der höchsten und der letzte Teller an der niedrigeren Adresse im Stack abgelegt. Dieser Bereich (des Stacks) liegt beim Schneider ab &BFFF-abwärts.
Damit sieht der Ablauf des CALL-Befehls so aus:
Auschnitt aus dem Stapel:

```
Ausgangsposition:          .          .
                           .          .
                           .          .
                    Stapel &BFF4 : (frühere Eintragung)
                           &BFF3 : (frühere Eintragung)
                           &BFF2 : (frühere Eintragung)
                           &BFF1 : (letzte  Eintragung)
                           &BFF0 : (Platz f.neue Eintragungen)
                           &BFEF : (Platz f.neue Eintragungen)
                           .          .
                           .          .

Stack Pointer SP:
    &BFF1
```

Das SP-Register zeigt auf die letzte Eintragung im Stack. Bei der Programmabarbeitung stößt der Prozessor auf einen CALL &B267-Befehl an Adresse &780.

```
&780 CALL &B267
&783 nächster Befehl
```

Nach dem Einlesen des Befehls steht der PC auf &783. Das ist die zu speichernde Rücksprungadresse. Die Adresse wird als Low-Byte und High-Byte auf den Stapel gelegt. Also wird SP erniedrigt, das High-Byte an Adresse SP gespeichert und SP nochmals erniedrigt und das Low-Byte an der neuen Adresse SP gespeichert. Dann wird der PC mit der angegebenen Unterprogrammstartadresse (&B267) geladen, d.h. die Programmausführung wird dort fortgesetzt. Es ergibt sich

folgende Konstellation:

```
          .       .
          .       .
          .       .
Stapel: &BFF0    &07
        &BFEF    &83    : (letzte Eintragung)
          .       .
          .       .
SP:&BFEF
```

Wie Sie sehen, zeigt SP wieder auf die letzte Eintragung. Beim RET-Befehl läuft der ganze Vorgang nun umgekehrt ab: Das Byte an der Speicherstelle, auf die SP zeigt, wird als Low-Byte in den PC geladen. Der SP wird um eins erhöht und das High-Byte der Rücksprungadresse nach PC geladen. Danach wird SP nochmals um eins erhöht, d.h. er zeigt wieder auf die jetzt aktuelle Rücksprungadresse im Stack. Die Programmausführung wird jetzt an Stelle PC fortgesetzt, also an der korrekten Rücksprungadresse.

```
          .       .
          .       .
Stapel: &BFF1    ...        SP: &BFF1
        &BFF0    &07
        &BFEF    &83
          .       .
```

Die beschriebenen Vorgänge laufen automatisch im Z80 ab, sobald ein CALL oder RET erfolgt. Das gewährleistet, daß die Reihenfolge im Stapel immer korrekt ist und SP auf die richtige Stelle zeigt. Verändern Sie SP direkt vom Programm aus, kann die Reihenfolge leicht durcheinander geraten und der Rechner abstürzen. Verwenden Sie also die LD SP,x Befehle mit Vorsicht.
Zusätzlich können auf dem Stapel auch Daten abgelegt und von dort abgerufen werden. Dazu dienen die Befehle:

PUSH (auf den Stapel legen)
und
POP (vom Stapel holen).

PUSH funktioniert analog zum CALL-Befehl. Die zu speichernden Daten werden nach dem Erniedrigen des SP auf den Stack geschrieben. Beim POP werden die Daten gelesen und SP automatisch erhöht. Auch hierbei werden sämtliche Operationen durch die CPU übernommen. Mit PUSH und POP können sämtliche 16-Bit-Register (-paare), außer SP selber,"gestapelt" werden.

Format:

PUSH x POP x
(x:AF, BC, DE, HL, IX, IY)

Da der Akku immer ein 8-Bit-Register ist und es auch sinnvoll ist, das F-(Flag) Register auf den Stapel zu retten, werden A und F zusammen behandelt.
Die Technik der Zwischenspeicherung auf dem Stapel ist dann sinnvoll, wenn die Register zur Speicherung nicht mehr ausreichen.

Beispiel:

HL enthält ersten Summanden
BC enthält zweiten Summanden

Nun wird ein Unterprogramm aufgerufen, daß HL und BC addiert. Dabei wird das Ergebnis der Addition in HL gespeichert. Wird der erste Summand noch benötigt, so sollte er rechtzeitig auf den Stapel gelegt werden.

```
LD HL,Summand-eins
LD BC,Summand-zwei
PUSH HL
CALL Addition
```

```
        .
        .
        .
    POP HL
        .
        .
```

Wird dieser Summand benötigt, kann er mit POP HL vom Stapel geholt werden.
Zu beachten ist, daß der zu einem PUSH- gehörende POP-Befehl immer im selben Unterprogramm stehen muß. Sonst werden die durch PUSH gespeicherten Daten als die Rücksprungadresse für den RET-Befehl interpretiert, was aller Wahrscheinlichkeit nach zum Absturz des Rechners führt. Der PUSH bzw.POP-Befehl besitzt keinen direkt ähnlichen Befehl im Schneider-BASIC. Diese Befehle können im BASIC folgendermaßen geschrieben werden.

BASIC Beispiel:

```
PUSH AF        BASIC: POKE SP-1,A:(High-Byte)
                      POKE SP-2,F
                      SP=SP-2

POP BC         BASIC: BC=PEEK(SP)+256*PEEK(SP+1)
                      SP=SP+2
```

Da PUSH und POP SP als Adresszeiger benutzen, zählen sie zur indirekten Adressierung.

Beispiel:

```
PUSH HL                  SP=&BE05
                         HL=&1234

Nach der Ausführung:     Speicherstelle &BE04:&12
                         Speicherstelle &BE03:&34
```

Sp = &BE03
HL = &1234

Beispiel:

```
POP HL                  SP=&BE03
                        HL=&FFFF
```

Nach der Ausführung:

SP = &BE05
HL = &1234

PUSH rpa,x

Retten des Registers rpa auf den Stapel (mit automatischer SP Änderung).

Befehlscode: 11pp0100 1 Byte 1 Opcode
pp: BC-00 HL-10
DE-01 AF-11

PUSH XY

Retten des Indexregisters auf den Stapel (mit automatischer SP Änderung).

Befehlscode: 11x11101 Byte 1 Opcode
11101001 &E9 Byte 2 Opcode

POP rpa

Holen zweier Bytes vom Stapel und laden dieser in das Register rpa (mit automatischer SP Änderung).

Befehlscode: 11pp0001 Byte 1 Opcode

POP XY

Holen zweier Bytes vom Stapel und laden dieser in das Indexregister (mit automatischer SP Änderung).

Befehlscode: 11x11101 Byte 1 Opcode
11100001 &E1 Byte 2 Opcode

4.4 AUSTAUSCHBEFEHLE

Beim Z80 gibt es neben den Befehlen zur einfachen Datenübertragung (LD) auch einen Befehl, der den Inhalt zweier Plätze miteinander vertauscht. Diese Befehle werden durch EX (engl.exchange: vertauschen) dargestellt.
Ein Befehl dieser Art, EX DE,HL, vertauscht z.B. den Inhalt des DE- mit dem des HL-Registers. Der EX Befehl mit indirekter Adressierung vertauscht den Inhalt des HL,IX oder IY Registers mit dem obersten Stapelelement (SP bleibt dabei gleich).

Format:

EX (SP),x
x: HL, IX oder IY

Weiterhin gibt es Austauschbefehle, die mit dem Inhalt des Zweitregistersatzes vertauschen. Wie schon erwähnt, gibt es zu jedem der Register A, BC, DE, HL, F ein entsprechendes Register A', BC', DE', HL' und F'. Gearbeitet wird jeweils mit dem ersten Registersatz (A-F). Bei Bedarf kann nun der Inhalt der beiden Sätze miteinander vertauscht werden.
Der Befehl EX AF,AF' vertauscht den Inhalt des Akkus und den des Flagregisters mit den entsprechenden Registern A' und F'. Der EXX Befehl vertauscht die anderen Registerpaare BL,DE und HL jeweils mit BC', DE' und HL'.
Diese Befehle sind implizit Adressiert.

Beispiel:

```
EX DE,HL        BASIC:ZWI=HL:HL=DE:DE=ZWI

Ex (SP),HL      BASIC:ZWI=HL:HL=256*PEEK(SP+1)+PEEK(SP):
                      POKE SP+1,INT(ZWI/256):POKE SP,
                      ZWI-INT(ZWI/256)*256
```

EX DE,HL

Vertauschen der Registerinhalte von DC und HL.

Befehlscode: 11101011 &EB Byte 1 Opcode

EX (SP),HL

Vertauschen der Inhalte des HL-Registers mit dem obersten Stapelelement.

Befehlscode: 11100011 &E3 Byte 1 Opcode

EX (SP),XY

Vertauschen des Inhaltes des Indexregisters mit dem obersten Stapelelement:

Befehlscode: 11x11101 Byte 1 Opcode
11100011 &E3 Byte 2 Opcode

EX AF,AF'

Vertauschen des Inhaltes des Registers AF mit dem Zweitregister AF'.

Befehlscode: 00001000 &08 Byte 1 Opcode

EXX

Vertauschen des Inhaltes der Register BC, DE, HL mit den Zweitregistern BC', DE', HL'.

Befehlscode: 11011001 &D9 Byte 1 Opcode

4.5 BLOCKTRANSFER- UND BLOCKSUCHBEFEHLE

Die Blocktransferbefehle übertragen, nicht wie LD, nur ein oder zwei Bytes, sondern einen ganzen Block von Daten. Sie stellen eine Besonderheit des Z80 dar. Üblicherweise sind diese Befehle nicht in Mikroprozessoren verfügbar, da sie für den Hersteller recht aufwendig zu realisieren sind. Für den Programmierer hingegen sind diese Befehle sehr nützlich. Sie erhöhen die Leistungsfähigkeit eines Programmes.
Ein Block von Daten wird durch folgende Angaben charakterisiert:

- Die Anfangsadresse oder Endadresse des Blockes. Sie wird in HL gespeichert.
- Die Länge des Blockes in Bytes. Sie wird in BC (Byte Counter) gespeichert.

Mit diesen beiden Größen ist es möglich, Blöcke von bis zu 64K Länge, die an beliebiger Stelle (HL) im Speicher beginnen, zu definieren. Da der so definierte Block übertragen werden soll, muß noch die Anfangs- bzw. Endadresse des Zielblockes angegeben werden. Sie wird in DE gespeichert. Nachdem diese Daten in den Registern abgelegt wurden, kann der eigentliche Blocktransferbefehl erfolgen.
Es gibt vier Blocktransferbefehle:

LDD, LDDR, LDI, LDIR

Jeder Blocktransferbefehl decrementiert (erniedrigt) den Zähler BC nach jeder Übertragung eines Bytes. Zwei von ihnen, LDI und LDIR, incrementieren (erhöhen) dann die Zeiger HL und DE, die dann auf Quell- und Zieladresse des nächsten zu übertragenen Bytes zeigen.
Bei LDD und LDDR werden im Gegensatz dazu die Zeiger decrementiert , d.h. der Block wird sozusagen "von oben angefangen" übertragen. Für diese Befehle müssen HL und DE anfangs natürlich auch mit der Quell- bzw. Zielendadresse

des Blockes geladen werden. Das R am Ende der Befehle steht für Repeat (engl.:wiederhole). Diese Befehle werden automatisch solange wiederholt, bis BC=0 ist, d.h. bis der gesamte Block übertragen ist. Im Einzelnen gilt für die Befehle folgendes.

LDI : Lade und (I)ncrementiere

Dieser Befehl überträgt ein Byte von Adresse HL nach Adresse DE. Danach wird BC decrementiert. Die Adresszeiger HL und DE werden incrementiert, so daß alles für eine eventuelle Fortsetzung der Übertragung vorbereitet ist. Dazu muß dann dieser Befehl wieder angesprungen werden.

LDIR: Lade, incrementiere und wiederhole

Der Vorgang der Übertragung läuft wie bei LDI ab. Danach wird zusätzlich der PC automatisch wieder auf diesen Befehl gesetzt. Dann wird er erneut ausgeführt, solange bis BC=0 ist. Anschließend wird mit dem nächsten Befehl die Programmabarbeitung wieder aufgenommen.

LDD : Lade und (D)ecrementiere

Ähnlich wie bei LDI, nur wird der Block bei der Endadresse angefangen übertragen, d.h. HL und DE werden decrementiert. Wichtig ist dieser Unterschied, wenn sich Ziel- und Quellblock überschneiden. Benutzt man hier den falschen Befehl, würden unter Umständen Daten des Quellblockes vor ihren Übertragungen schon überschrieben werden.
(siehe Abbildung 6:Kapitel 4.5)

LDDR : Lade, decrementiere und wiederhole

Ähnlich wie LDD, nur daß, wie bei LDIR der Befehl wiederholt wird, bis der gesamte Block übertragen ist.

Beispiel:

```
LDIR        BASIC: 10 POKE DE,PEEK(HL)
                   20 HL=HL+1
                   30 DE=DE+1
                   40 BC=BC-1
                   50 IF BC<>0 THEN 10

 LDD        BASIC: POKE DE,PEEK(HL):
                   DE=DE-1:HL=HL-1:BC=BC-1
```

Überlegen Sie sich die BASIC-Analogie zu LDDR und LDI.

An der Größe des BASIC-Programmes können Sie sehen, daß es sich um einen sehr leistungsstarken Befehl handelt.
Flagbeeinflussung: Wenn BC nach der Ausführung =0 ist, ist P/V=0.
Die Repeatbefehle LDDR und LDIR setzen das P/V immer auf 0.

Blocksuchbefehle

Mit Hilfe der Blocksuchbefehle kann ein Datenblock nach einem bestimmten Byte durchsucht werden. Das gesuchte Byte wird vorher im Akku gespeichert. Trifft der Befehl während der Suche auf ein Byte, das gleich dem Akkuinhalt ist, wird das Z-Flag gesetzt, und die Repeat-Befehle werden nicht mehr wiederholt. Die Register werden wie bei den Blocktransferbefehlen benutzt.

- HL- Start bzw. Endadresse des Blockes
- BC- Byte Counter: Länge des Blockes
- DE- hat keine Funktion. Der Akku enthält das zu suchende Byte.

CPIR vergleicht bei jedem Durchlauf den Inhalt der Speicherstelle HL mit dem Akkuinhalt. Dann wird HL incrementiert und BC decrementiert. Ist BC=0, wird das

P/V-Flag auf 0 gesetzt, ansonsten auf eins. Liegt beim Vergleich von A und (HL) Gleichheit vor, wird das Z-Flag gesetzt, sonst rückgesetzt.
Das S-Flag entspricht, wie bei CP, dem 7ten Bit des Ergebnisses der Subtraktion A-(HL). Das Carry wird nicht beeinflußt. Vier Blocksuchbefehle sind möglich:

CPI, CPIR, CPD, CPR

Ihre Funktionsweise ist denen der jeweiligen Blocktransferbefehle entsprechend.
Alle Blockbefehle sind 2 Byte Befehle, und ihr erstes Opcode Byte ist &ED. Wie auch durch die Blocktransferbefehle wird mit den Suchbefehlen die Programmierung in vielen Bereichen einfacher und schneller.

Im folgenden werden wir die Funktion eines Befehls symbolisch darstellen. Dabei steht:

= für: Übertrage die Daten von ...nach. (Wie in BASIC)

()für: Lade den Inhalt der Speicherstelle, die durch den Klammerinhalt adressiert ist. (Wie PEEK)

LDI

Blocktransfer incrementieren.

(DE)=(HL), DE=DE+1, HL=HL+1, BC=BC-1

Befehlscode: 10100000 &ED Byte 1 Opcode
&A0 Byte 2 Opcode

Flags: P/V gesetzt, wenn BC=0, sonst rückgesetzt.

LDIR

Blocktransfer incrementiert wiederholen.

(DE)=(HL), DE=DE+1, HL=HL+1, BC=BC-1, wiederholen bis BC=0.

Befehlscode: 10110000 &ED Byte 1 Opcode
&B0 Byte 2 Opcode

Flags: P/V=1

LDD

Blocktransfer decrementieren.

(DE)=(HL), DE=DE-1, HL=HL-1, BC=BC-1

Befehlscode: 10101000 &ED Byte 1 Opcode
&A8 Byte 2 Opcode

Flags: P/V gesetzt falls BC=0 sonst rückgesetzt.

LDDR

Blocktransfer decrementiert wiederholen.

(DE)=(HL), DE=DE-1, HL=HL-1, BC=BC-1, wiederholen bis BC=0.

Befehlscode: 10111000 &ED Byte 1 Opcode
&B8 Byte 2 Opcode

CPI

Blocksuch incrementieren.

A=(HL), HL=HL+1, BC=BC-1

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1 Opcode
10100001 &A1 Byte 2 Opcode

Flags: P/V gesetzt, wenn BC-1<>0,sonst rückgesetzt.
Z ist gesetzt,wenn A=(HL),sonst rückgesetzt.
S entspricht Bit 7 von A-(HL).

CPIR

Blocksuch incrementiert wiederholen.

A=(HL), HL=HL+1, BC=BC-1

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1 Opcode
10110001 &B1 Byte 2 Opcode

Flags: P/V gesetzt, wenn BC-1<>0,sonst rückgesetzt.
Z gesetzt,wenn A=(HL),sonst rückgesetzt.
S entspricht Bit 7 von A-(HL).

CPD

Blocksuch decrementieren.

A=(HL), HL=HL-1, BC=BC-1

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1 Opcode
10101001 &A9 Byte 2 Opcode

Flags: P/V gesetzt, wenn BC-1<>0,sonst rückgesetzt.
Z gesetzt,wenn A=(HL),sonst rückgesetzt.
S entspricht Bit 7 von A-(HL).

CPDR

Blocksuch decrementiert wiederholen.

A=(HL), HL=HL-1, BC=BC-1

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1 Opcode
10111001 &B9 Byte 2 Opcode

Flags: P/V gesetzt, wenn BC-1<>0,sonst rückgesetzt.
Z gesetzt,wenn A=(HL),sonst rückgesetzt.
S entspricht Bit 7 von A-(HL).

Aufgabe

Um den Befehl LDDR vollständig zu verstehen, werden wir ihn gleich ausprobieren. Wir wollen den Bildschirminhalt um ein Zeichen nach rechts verschieben. Da ein Byte genau der Breite eines Zeichens entspricht, müssen wir also den Block von &C000 bis &FFFF um ein Byte nach oben verschieben.
Schreiben Sie hierfür mit Hilfe der Blocktransferbefehle ein Maschinenprogramm.

Lösung

Analysieren wir zunächst unser Problem:
Der Quellblock liegt im Bereich &C000- &FFFE.
Dieser Block soll um ein Byte nach oben verschoben werden, also in den Bereich &C001- &FFFF. Die beiden Blöcke überlappen sich offensichtlich. Da die Endadresse des Quellblockes &FFFE überlappt ist, muß der LDDR-Befehl gewählt werden.
Berechnen wir nun die Registerinhalte HL, DE, BC. HL soll die Endadresse des Quellblockes, also &FFFE, enthalten. BC enthält die Anzahl der zu verschiebenden Bytes. Sie beträgt &4000-1 (Der Bildschirmbereich von &C000-&FFFF ist &4000 Bytes groß) also: BC=&3FFF. DE enthält die Endadresse des Zielblockes, also &FFFF.
Damit ergibt sich das folgende Assemblerprogramm:

```
LD HL,&FFFE
LD DE,&FFFF
LD BC,&3FFF
LDDR
RET
```

Nach der Übersetzung dieses Programmes ergeben sich die DATA-Zeilen des BASIC Laders zu:

```
DATA &21,&FE,&FF,&11,&FF,&FF
DATA &01,&FF,&3F,&ED,&B8
DATA &C9
```

(Startadresse ist &A000 und Endadresse ist &A00B).
Geben Sie nun >MODE 2< ein, laden Sie das Maschinenprogramm mit >RUN< und starten es mit >CALL Adresse<.

Unser Programm hat einen kleinen Schönheitsfehler:
Das linke obere Kästchen enthält oben einen Punkt. Damit dieser verschwindet, laden wir die entsprechende Speicherstelle &C000 mit 0.

```
LD A,00
LD(&C000),A
Code: &3E,&00,&32,&00,&C0
```

Diese Befehle fügen wir nach dem LDDR Befehl ein. Die letzte DATA-Zeile lautet dann:

```
DATA &3E,&00,&32,&00,&C0,&C9
```

(Die Endadresse ändert sich zu &A010).
Nachdem Sie dieses Programm getestet haben, geben Sie folgendes ein:

```
FOR I=1 TO 80:CALL &A000:NEXT
```

Das Ergebnis dieser Anweisung ist, daß der Bildschirm um eine Zeile nach unten geschoben wird. Der Zeitaufwand dafür ist allerdings relativ groß, da die 16K des Bildschirms 80 mal verschoben werden müssen. In BASIC würde diese Verschiebung ca. eine Stunde benötigen. Wenn der Bildschirmblock gleich um 80 Zeichen verschoben wird, wäre die Ausführungszeit 80 mal kleiner. Dazu müssen wir die Registerinhalte in unserem Maschinenprogramm verändern:

HL soll &FFFF-80 an Stelle von &FFFF-1 stehen, also &FFAF.

DE bleibt auf &FFFF

Die Anzahl der zu verschiebenden Bytes ist &4000-80=&3FB0

Ändern Sie die DATA-Zeilen entsprechend, und unser Programm schiebt den Bildschirm eine Zeile nach unten. Leider sind jedoch die ersten 80 Bytes des Bildschirmspeichers noch auf ihrem alten Stand. Sie müssen gelöscht werden! Auch hierfür wollen wir den Blocktranferbefehl benutzen. Damit ein Bereich durch ihn gelöscht wird, müssen wir ihn absichtlich falsch benutzen:
Zuerst speichern wir an Stelle &C000 das Nullbyte ab. (LD(&C000),0). Nun verschieben wir den Block von &C000 bis &C000+80=&C050 nach &C001. Da sich die Bereiche an der Endadresse des Quellblockes überlappen, müßten wir eigentlich LDDR benutzen.
Nehmen wir jedoch LDIR, HL=&C000,DE=&C001,BC=&4F, so wird immer die Speicherstelle, die als nächstes übertragen wird, mit dem Wert der gerade übertragenen überschrieben. Da &C000 den Wert 0 hat, haben dann alle Bytes dieses Blocks den Wert Null!!

Das komplette Programm hat folgende Form:

```
Adresse/Code/  BASIC-Zeilennr./Assemblerbefehl

A000    21AFFF      10        LD HL,&FFAF
A003    11FFFF      20        LD DE,&FFFF
A006    01B03F      30        LD BC,&eFB0
A009    EDB8        40        LDDR
A00B    3200C0      50        LD (&C000),A
A00E    2100C0      60        LD HL,&C000
A011    1101C0      70        LD DE,&C001
A014    014F00      80        LD BC,&4F
A017    EDB0        90        LDIR
A019    C9         100        RET
```

Erklärung zum Assemblerlisting:

Die Adresse wird fortlaufend nach der Anzahl der Bytes im Code nummeriert. Da ein Byte immer durch 2 Hexzahlen angezeigt wird, ergibt sich der zuerst unerklärlich erscheinende Sprung von A000 zu A003.
Der Code besteht hier aus 3 Bytes, nämlich aus: &21,&00,&C0
Da jedes Byte die Adresse um den Wert eins erhöht, ist die Anfangsadresse des nächsten Befehls A003 (A000+3=A003). Aus der Anzahl der Codes läßt sich leicht die Befehlslänge ermitteln. Die Assemblerbefehle stehen hinter den Codes. Ihre Funktionen werden wir später erklären.
Wenn Ihnen durch das "Arbeiten" am Computer der Bildschirm gescrollt ist, treten Unregelmäßigkeiten bei dem Ablauf des Maschinenprogrammes auf. Dieses Phänomen tritt aber nur dann in Erscheinung, wenn Sie vor dem Aufrufen des Programmes nicht mit dem MODE2-Befehl den Bildschirm gelöscht haben.
Probieren Sie außerdem einmal folgendes:

```
FOR I=1TO26:CALL &A000:NEXT
```

Eigentlich sollte durch diesen Befehl der gesamte Bildschirm (25 Zeilen) gelöscht sein. Die am unteren Rand verschwindenden Zeilen tauchen jedoch wieder am oberen Rand, in der Mitte der Zeile, auf.
Das liegt einmal an dem Aufbau des Bildschirmspeichers und weiterhin an der Tatsache, daß das eingebaute Scrolling auf andere Weise funktioniert. Wir werden uns mit diesem Problem weiter beschäftigen, sobald wir einige neue Befehle kennengelernt haben.
Probieren Sie mit den Blocktransferbefehlen noch ein wenig herum: Verwenden Sie verschiedene Werte für HL,DE und BC. Achten Sie auf jeden Fall darauf, daß der Zielblock nicht aus dem Bereich von &C000-&FFFF herausragt. Dies führt zum Absturz des Computers, da Systemroutinen überschrieben werden.
Auch Folgendes ist einen Versuch Wert:

```
HL=&C000, DE=&FFFF, BC=&3FFE
```

4.6 ARITHMETISCHE BEFEHLE

Die ersten, in den 50er Jahren entstandenen Digitalcomputer, waren vorrangig als Rechenmaschinen ausgelegt. Obwohl die damaligen Computer mit den heutigen nur noch wenig gemeinsam haben, sind die Befehle zur Arithmetik ähnlich. Es gibt zwei grundsätzliche arithmetische Operationen, Addition und Subtraktion, die den Maschinenbefehlen ADD und SUB entsprechen. Da der Computer im Dualsystem rechnet, sehen wir uns zunächst an, wie diese Rechenoperationen in diesem Zahlensystem durchgeführt werden.

Addition:

Beim Dezimalsystem addiert man zwei übereinanderstehende Ziffern. Die Einerstelle des Ergebnisses wird notiert und eventuell auftretende Zehnerstellen (der Übertrag) werden für die Addition der nächsten Ziffern gemerkt.

Beispiel:

```
   3573
+  7154      (* Hier mußten Sie sich bei der Addition
 ------        eine 1 merken. Diese Ziffer entspricht
  10727        dem Übertrag.)
   * *
```

Ein Übertrag entsteht, sobald die Summe zweier Ziffern größer als 9 (10-1) ist. Im Dualsystem entsteht ein Übertrag, wenn die Summe zweier Ziffern größer als 1 (2-1) ist.

Regeln:

```
0 + 1 = 1
1 + 0 = 1
0 + 0 = 1
```

```
1  +  1  =  0 <--(bei der letzten Rechnung
                  müssen Sie sich einen merken !)
```

Anwendung:

```
  1 0 0 1 0 1 1 0  = &96 = 150
+ 0 0 1 1 1 0 0 1  = &39 =  57
  ---------------    ---   ---
  1 1 0 0 1 1 1 1  = &CF = 207
    * *
```

(* bedeutet: 1 gemerkt !!)

Im Hexadezimalsystem gilt ähnliches (s.o.):

Ein Übertrag entsteht, wenn das Ergebnis größer als 15 ist.

```
  0 0 1 0 1 1 1 0  = &2E =  46
+ 0 0 0 1 0 1 1 1  = &17 =  23
  ---------------    ---    --
  0 1 0 0 0 1 0 1  = &45 =  69
```

&E+&7= 14+7= 21 =&15

d.h.: 5 notieren, 1 gemerkt!

Außerdem ist im obigen Beispiel bei der Binäraddition noch ein Fall dazugekommen:

```
  11
 +11
 ---
 110
```

Bei der zweiten Stelle gilt folgende Regel:

1 + 1 + 1 = 1, und 1 gemerkt!

Aufgaben:

1)
```
  1 0 1 0 1 1 1 0  = & ?  =  ?
+ 0 0 1 0 1 1 1 1  = & ?  =  ?
-----------------    ---    ---
        ?          = & ?  =  ?
```

2)
```
  0 0 1 1 1 1 1 1  = & ?  =  ?
+ 0 0 1 0 1 1 1 1  = & ?  =  ?
-----------------    ---    ---
        ?          = & ?  =  ?
```

3)
```
  1 1 1 1 1 1 1 1  = & ?  =  ?
+ 1 1 0 0 1 0 1 0  = & ?  =  ?
-----------------    ---    ---
        ?          = & ?  =  ?
```

Lösung:

```
1)    1 0 1 0 1 1 1 0  = &AE  = 174
    + 0 0 1 0 1 1 1 1  = &2F  =  47
      ---------------    ---    ---
      1 1 0 1 1 1 0 1  = &DD  = 221


2)    0 0 1 1 1 1 1 1  = &3F  =  63
    + 1 0 0 1 1 1 0 1  = &2F  = 157
      ---------------    ---    ---
      1 1 0 1 1 1 0 0  = &DC  = 220


3)    1 1 1 1 1 1 1 1  = &FF  = 255
    + 1 1 0 0 1 0 1 0  = &CA  = 202
      -----------------  ----   ---
      1 1 1 0 0 1 0 1 1 =&1C9  = 457
```

Zu 3). Bei dieser Addition tritt ein Übertrag von Stelle 8 (Bit 7) nach Stelle 9 (Bit 8) auf. Ein Byte hat jedoch nur 8 Stellen (8 Bits). Daher wird dieses Übertragsbit, das Carry, im Bit 0 des Flag-Registers gespeichert. Prinzipiell können natürlich auch mehrstellige Ziffern addiert werden. Im Rechner muß dafür jedoch anders vorgegangen werden.

Subtraktion

Die Subtraktion im Dualsystem ist der im Dezimalsystem analog.
Es gelten folgende Regeln:

```
0-1=1   1 gemerkt
1-0=1
0-0=0
```

1-1=0

Betrachten wir ein Beispiel:

```
  01101110=&6E=110
- 00110101=&35= 53
  -------- --- ---
  00111001 &39  57
    **   *
```

Wir erkennen die Sonderregeln für das Weiterrechnen mit dem Übertrag:

```
1-(1+1)=1   1 gemerkt
0-(1+1)=0   1 gemerkt
```

Aufgaben:

Führen Sie die Aufgaben zur Addition als Subtraktionen durch. Prüfen Sie selber Ihre Ergebnisse anhand der Umwandlung ins Dezimalsystem.

Zu 2.) Nach der Umrechnung stellt das Ergebnis eine negative Zahl dar. Das richtige Ergebnis wäre 63-157=-84. Binär ergibt sich:

```
  00111111
- 10011101
  ---------
  110100010=&1A2
```

Das ist offensichtlich das falsche Ergebnis. Bei der dualen Subtraktion durch den Computer tritt das Problem auf, negative Zahlen darzustellen. Dazu hat man folgende Vereinbarung getroffen:
Das 7. Bit einer Binärzahl wird als Vorzeichenbit benutzt. 0 bedeutet positive und 1 bedeutet negative Zahlen. Damit begrenzt sich der Zahlenbereich, der durch ein Byte

darstellbar ist, auf -128 bis +127. Die Subtraktion von Dualzahlen führt damit auf die Addition von vorzeichenbehafteten Zahlen (5-2=5+(-2)!). Die vorzeichenbehaftete Darstellung, die bei der Subtraktion Verwendung findet, nennt man Zweierkomplement.

Was ist das Zweierkomplement?

In der Zweierkomplementdarstellung werden positive Zahlen weiterhin wie bisher dargestellt, z.B. 5=&X00000101, 126=&X01111110.
Eine negative Zahl wird dargestellt, indem man zunächst ihr Komplement berechnet. Das Komplement ist die Binärzahl, bei der alle Bits genau gegenteilig gesetzt sind, aus 0 wird 1 und aus 1 wird 0. Die erhaltene Binärzahl nennt man das Einerkomplement oder einfach Komplement.

Beispiel:

```
Zahl       : 7=&x00000111
Komplement:   &x11111000
```

Um das Zweierkomplement der Zahl zu erhalten, muß 1 addiert werden.

Beispiel:

```
Komplement        &X11111000
plus 1          +         1
                  ----------
Zweierkomplement  &X11111001
```

Dies ist die Darstellung von -7 im Zweierkomplement.

Das Zweierkomplement wird also auf folgende Weise gebildet:

- eine positive Zahl bleibt unverändert
- von einer negativen Zahl wird das Komplement gebildet

und 1 addiert.

Zweierkomplementdarstellung:

Dezimal	Zweierkomplement
+127	01111111
+126	01111110
+125	01111101
.	.
.	.
.	.
+ 2	00000010
+ 1	00000001
0	00000000
- 1	11111111
- 2	11111110
- 3	11111101
.	.
.	.
.	.
-126	10000010
-127	10000001
-128	10000000

Um den Wert einer negativen Zahl in Zweierkomplementdarstellung zu erhalten, bildet man von ihr wiederum das 2er-Komplement.

Beispiel:

```
&X00000111   Komplement
-        1   plus 1
----------
&X00001000
```

&X00001000=8

Das heißt der Wert von &X11111000 ist -8!
Eine zweimalige 2er-Komplement-Bildung führt wieder auf die Ausgangszahl zurück.

Der Z80 stellt Befehle für die Umwandlung des Akkuinhaltes in das Komplement (CPL) und in das Zweierkomplement (NEG) zur Verfügung. Wir wollen die Funktion dieser Befehle in BASIC nachvollziehen:

Betrachten wir zunächst die Komplementbildung:
A enthalte eine Zahl zwischen 0 und 255 (1Byte). Der BIN$ Befehl wandelt eine Zahl in einen String um, der der Binärzahl entspricht! Diesen String werden wir Bit für Bit "komplementieren".

```
10 A=&X11011
20 abin$=BIN$(a,8)
30 PRINT "Binärzahl":";abin$
40 FOR i=0 TO 7
50 bit$=MID$(abin$,8-i,1):REM Bit Nr.i
60 IF bit$="1" THEN bit$="0" ELSE bit$="1"
70 akpl$=bit$+akpl$ = REM akpl$ ist KomPLement $ von a
80 NEXT
90 PRINT "Komplement:";akpl$
100 A=VAL ("&X"+akpl$)
```

Zeile 50 extrahiert jeweils das i-te Bit aus abin$. In Zeile 60 wird das Komplement des Bits gebildet, also aus 0 wird 1 und aus 1 wird 0. In Zeile 70 werden die komplementierten Bits in akpl$ gesammelt. Dieses Programm ist allerdings recht langsam. Der XOR Befehl führt die Komplementierung im BASIC schneller aus. Hier geben wir Ihnen nur das Programm, die Funktionsweise dieses logischen Befehls erklären wir im nächsten Kapitel.

```
10 A=&X11011
20 abin$=BIN$(a,8)
30 PRINT "Binärzahl:";abin$
```

```
40 a=a XOR 255
50 akpl$=BIN$(a,8)
90 PRINT "Komplement:";akpl$
```

Zeile 40 führt die eigentliche Komplementbildung aus.

Der NEG Befehl verwandelt eine positive Zahl in eine negative in Zweierkomplementdarstellung. Im BASIC sieht dies dann so aus:

```
10 A=&X11011
20 abin$=BIN$(a,8)
30 PRINT "Binaerzahl:      ";abin$
40 a=a XOR 255
45 a=a+1
50 akpl$=BIN$(a,8)
90 PRINT "Zweierkomplement:";akpl$
```

Fügen Sie nun noch folgende Zeile ein:

```
100 GOTO 40
```

Nach der Unterbrechung dieses Endlosprogrammes werden Sie feststellen, daß eine zweimalige Zweierkomplementbildung wieder auf den Ausgangspunkt zurückführt.
Mit der Zweierkomplementdarstellung kann man nun eine Subtraktion zweier Zahlen als Addition der einen, mit dem Zweierkomplement der anderen, betrachten. Weiterhin wird das Ergebnis einer Subtraktion als negative Zahl (in Zweierkomplementdarstellung) betrachtet, wenn Bit 7 gesetzt ist. (Vorzeichenbit)

Beispiel:

```
120-63=57
120=&X01111000
 63=&X00111111
```

Das Zweierkomplement von 63 ist &X11000001
Nun addieren wir:

```
  01111000 =120
+ 11000001 =Zweierkomplement von 63
 ---------
 100111001
```

Beachten wir zunächst nicht den Übertrag von Bit 7 nach Bit 8 (Carry). Unser Ergebnis ist korrekt: &X00111001=57

Bit 7 ist nicht gesetzt, d.h. das Ergebnis ist positiv. Demnach sollte eigentlich das Carry nicht gesetzt sein.

Da wir mit dem Zweierkomplement rechnen, wird das Carry sozusagen auch komplementiert. In diesem Fall braucht das Carry nicht beachtet werden. Unser Ergebnis stimmt trotzdem. Die genaue Betrachtung der Arithmetik mit vorzeichenbehafteten Zahlen zeigt, daß mehrere Spezialfälle berücksichtigt werden müssen. Dabei ist das Zusammenspiel der Flags wichtig.

Aufgabe:

Berechnen Sie das Zweierkomplement von:

1) -60
2) -120
3) +5
4) -6

Lösungen:

1) &X11000100(=196)
2) &X10001000(=136)
3) &X00000101(=5)
4) &X11111010(=250)

8-Bit Arithmetische und Zählbefehle

Es gibt je zwei Befehle zur Addition und Subtraktion:

ADD;ADC und SUB;SBC

Bei den auf C (-Carry) endenden Befehlen wird jeweils das Carry-Flag bei der Operation in entsprechender Weise berücksichtigt. Bei Verwendung einer dieser beiden Befehle, wird Bit 0 des F-Registers (das Carry!!) addiert bzw. subtrahiert.
Die Operanden dieser Befehle haben das Format:

A,x wobei x für reg,data,(HL) oder (XY+dis) steht.

Daraus ergeben sich folgende Anweisungsarten:

A,reg	- implizit
A,data	- unmittelbar
A,(HL)	- indirekt
A,(XY+dis)	- indiziert

Beim SUB-Befehl wird nur reg,data,(HL) oder (XY+dis) als Operand angegeben. "A" wird ausgelassen, da sich alle Befehle dieser Art auf den Akku beziehen.
Diese Befehle sind 8-Bit Operationen. Der Z80 enthält außerdem noch 16-Bit Arithmetische Befehle.

Bei der Ausführung von Befehlen der Datenbearbeitung werden die Flags beeinflußt:

Carry- Flag

Das Carry wird gesetzt, wenn ein Übertrag von Bit 7 nach Bit 8 auftritt. Da ein Byte nur aus Bit 0 bis Bit 7 besteht, ist dieser Übertrag im C-Flag abgespeichert. Ansonsten wird das Carry-Flag rückgesetzt.

N- und H- Flag

Diese Flags werden beeinflußt, haben aber für uns keine Bedeutung.

P/V- Overflow- Flag

Ein Überlauf ist folgendermaßen definiert:

- Wenn ein interner Übertrag von Bit 6 nach Bit 7 vorliegt, aber kein Übertrag von Bit 7 nach Bit 8 (externer Übertrag, wird durch das Carry angezeigt)

- Wenn kein interner Übertrag, dafür aber ein externer Übertrag vorliegt.

Wie diese Definitionen entstehen, wollen wir nicht aufzeigen. Wichtig ist, daß dieses Flag gesetzt ist, wenn bei einer arithmetischen Operation das Vorzeichen des Ergebnisses (Bit 7) fehlerhaft geändert wurde. Das V- Flag wird gesetzt, wenn ein Überlauf eintritt, sonst rückgesetzt.

Zero- Flag

Dieses Flag wird gesetzt, wenn das Ergebnis der Operation 0 war, ansonsten ist es rückgesetzt.

Sign-Flag

Dieses Flag entspricht Bit 7 des Ergebnisses. In der vorzeichenbehafteten Zahlendarstellung ist dies das Vorzeichen, daher der Name Sign-Flag.
Bei der Aufteilung der Befehle, werden wir im folgendem für den Status eines Flags nach einer Operation schreiben:

1- Flag ist gesetzt nach der Operation
0- Flag ist rückgesetzt nach der Operation

U- Flag ist unbekannt nach der Operation
x- Flag wird je nach Ausgang der Operation gesetzt bzw. rückgesetzt
P- P/V Flag zeigt Parität an
- (Leerzeichen): Kein Einfluß
!- Besonderheit

Beispiel: Flags S Z P/V C
U x 1
bedeutet:
S - unbekannt
Z - wenn 0 dann 1 und umgekehrt
P/V- 1
C - kein Einfluß

BASIC Analogien zu den Befehlen:

ADD A,H BASIC: A=A+H

ADC A,&A9 BASIC: A=A+&A9+CF

CF ist das Carry-Flag, sein Wert wird zusätzlich addiert.

SUB A,(HL) BASIC: A=A-PEEK(HL)
SBC A,L BASIC: A=A-L-CF

Beispiele:

ADD A,(HL) A =&1F
HL=&B1C9

Speicherstelle &B1C9: &43

```
  &1F =   0 0 0 1 1 1 1 1
+ &43 =   0 1 0 0 0 0 1 1
          ---------------
          0 1 1 0 0 0 1 0
        8 7 6 5 4 3 2 1 0 - Bitnummer
```

```
Bit 8= 0 => Carry-Flag =0
Bit 7= 0 => Sign -Flag =0
Ergebnis <>0 => Zero-Flag=0
Externer  Übertrag = 0 und interner Übertrag = 0 => overflow
(P/V)-Flag = 0

Akkuinhalt nach Operation:&X01100011O= &62

ADD A,D       A enthält &E1
              D enthält &A2

     &E1 =    1 1 1 0 0 0 0 1
   + &A2 =    1 0 1 0 0 0 1 0
    -----    -----------------
    &183 = 1 1 0 0 0 0 0 1 1
           8 7 6 5 4 3 2 1 0 - Bitnummer

Bit 8=1 => Carry-Flag = 1
Bit 7=1 => Sign -Flag = 1
Ergebnis nicht nicht Null       => Zero-Flag = 0
externer und interner Übertrag => overflow (P/V)-Flag = 0

Akkuinhalt nach Ausführung: &X10000011=&83

Wie Sie sehen, enthält der Akku nicht das richtige Ergebnis.
Erst  wenn man das Carry-Flag als 8tes Bit dazunimmt, ergibt
sich das korrekte Ergebnis. Aus diesem Grund ist es wichtig,
nach  Arithmetischen  Operationen  den  Status  der Flags zu
prüfen,  um  eventuell  falsche  Ergebnisse  entsprechend zu
korrigieren.
Beachten  Sie  zusätzlich,  daß  bei  einer  Addition, deren
Ergebnis  genau  256 ist, das Zero-Flag gesetzt wird, obwohl
das Ergebnis nicht Null ist.

ADC  A,&19          A=&5A
```

Carry-Flag= 1 (gesetzt)

```
  &5A = 0 1 0 1 1 0 1 0
+ &19 = 0 0 0 1 1 0 0 1
       ---------------
  &74 = 0 1 1 1 0 1 0 0

Flags:  S Z V C          Akku = &X 01110100 = &74
        0 0 0 0
```

Merke: Wurde vor einem ADC Befehl das Carry gelöscht, entspricht er genau dem ADD Befehl.

SUB A,(HL)

```
     A enthält &3C
    HL enthält &BC19
&BC19 enthält &15

  0 0 1 1 0 1 1 0    &36
  1 1 1 0 1 0 1 1    2er-Komp.von &15
  -----------------
  1 0 0 1 0 0 0 0 1

  Bit 7=0 => Sign-Flag = 0
  Bit 8=1 => Carry-Flag= 0
```

Beachten Sie, daß hier das Komplement des wirklichen Carrys genommen wurde (Spezialfall!).

Kein Überlauf V=0
Ergebnis <> 0 =>Z=0

Akkuinhalt nach Ausführung &X00100001=&21

SBC A,B
A=&57
B=&73

```
    CF=1

     0 1 0 1 0 1 1 1  = &57
   + 1 0 0 0 1 1 0 1  = 2er-Komplement von &73
   + 1 1 1 1 1 1 1 1  = 2er-Komplement von &1(CF)
   -----------------
   1 1 1 1 0 0 0 1 1

  Flag: S Z V C
        1 0 0 1
```

Akkuinhalt &X11100100 = &E4
ist das Zweierkomplement von 29
d.h. das Ergebnis ist -29 (87-115-1=-29).

Neben der Binärarithmetik gibt es noch eine weitere Möglichkeit Zahlen im Rechner zu verarbeiten:

Hierbei wird jede Ziffer des Dezimalsystems durch einen Block von 4 Bit dargestellt. Wichtig ist diese Anwendung bei der Behandlung kaufmännischer Probleme, bei denen eine genau vorgegebene Stellenzahl und Genauigkeit eingehalten werden muß. Für die BCD-Operationen gibt es den Spezialbefehl DAA, der den Akkuinhalt für diese Operationen vorbereitet.

Außerdem gibt es noch die besprochenen Spezialbefehle CPL und NEG.
CPL komplementiert den Akkuinhalt und NEG negiert, d.h. wandelt ihn in ein Zweierkomplement um.
Auch einige "normale" Befehle werden zu Spezialbefehlen entfremdet, z.B. kann man SUB A benutzen, um den Akku zu löschen. Das ist fast doppelt so schnell und halb so kurz wie LD A,0.

Zu diesen Befehlen gehören noch die Zähl-Befehle. Sie erhöhen oder erniedrigen den Wert eines Speichers. Für die

Zählbefehle stehen die implizite-, register- und indizierte Adressierung zur Verfügung. Befehle dieser Art werden oft für die Programmierung von Schleifen benutzt. Ihre Funktionsweise ist einfach:

INC x erhöht x und
DEC x erniedrigt x, wobei x folgendes sein kann:

reg, (HL), (XY+dis)

```
INC reg      BASIC: reg=reg+1
DEC (HL)     BASIC: POKE HL,PEEK(HL)-1
```

Das Sign, Zero und das V-Flag werden je nach dem Ausgang der Operation gesetzt bzw. rückgesetzt. Das Carry bleibt unverändert. Wichtig ist, daß nur die 8-Bit-Zählbefehle die Flags beeinflussen. Bei den 16-Bit-Zählbefehlen muß extra ein Vergleich gezogen werden.

ADD A,reg

Addiere den Registerinhalt zum Akkuinhalt und lade das Ergebnis in den Akku.

A=A+reg

Befehlscode: 10000rrr Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C
x x x x

ADD A,data

Addiere die Konstante zum Akkuinhalt und lade das Ergebnis in den Akku.

A=A+data

Befehlscode: 11000110 &C6 Byte 1 Opcode
‹--ko--› Byte 2 Konstante

Flag: S Z V C
x x x x

ADD A,(HL)

Addiere ein Speicherbyte zum Akkuinhalt und lade das Ergebnis in den Akku.

A=A+(HL)

Befehlscode: 10000110 &86 Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C
x x x x

ADD A,(XY+dis)

Addiere eine indiziert adressierte Speicherstelle zum Akkuinhalt und lade das Ergebnis in den Akku.

A=A+(XY+dis)

Befehlscode: 11x11101 &DD Byte 1 Opcode
10000110 &86 Byte 2 Opcode
<--dis-> Byte 3 Distanz

Flag: S Z V C
x x x x

ADC A,reg

Addiere den Registerinhalt plus Carrybit zum Akkuinhalt und lade das Ergebnis in den Akku.

A=A+reg+CF

Befehlscode: 10001rrr Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C
x x x x

ADC A,data

Addiere die Konstante und das Carrybit zum Akkuinhalt und lade das Ergebnis in den Akku.

A=A+data+CF

Befehlscode: 11001110
<--ko-->

Flag: S Z V C
x x x x

ADC A,(HL)

Addiere die Speicherstelle plus Carrybit zum Akkuinhalt und lade das Ergebnis in den Akku.

A=A+rps+CF

Befehlscode: 10001110 &8E Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C
x x x x

ADC A,(XY+dis)

Addiere eine indiziert adressierte Speicherstelle plus Carrybit zum Akkuinhalt und lade das Ergebnis in den Akku.

A=A+CF+(XY+dis)

Befehlscode: 11011101 &DD Byte 1 Opcode
10001110 &8E Byte 2 Opcode
<--dis-> Byte 3 Distanz

Flag: S Z V C
x x x x

SUB reg

Subtrahiere den Registerinhalt vom Akkuinhalt und lade das Ergebnis in den Akku.

A=A-reg

Befehlscode: 10010rrr Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C
x x x x

SUB data

Subtrahiere die Konstante vom Akkuinhalt und lade das Ergebnis in den Akku.

A=A-data

Befehlscode: 11010110 &D6 Byte 1 Opcode
<--ko--> Byte 2 Konstante

Flag: S Z V C
x x x x

SUB (HL)

Subtrahiere ein Speicherbyte vom Akkuinhalt und lade das Ergebnis in den Akku.

A=A-(HL)

Befehlscode: 10010110 &96 Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C
x x x x

SUB (XY+dis)

Subtrahiere eine indiziert adressierte Speicherstelle vom Akkuinhalt und lade das Ergebnis in den Akku.

A=A-(XY+dis)

Befehlscode: 11x11101 &DD Byte 1 Opcode
10010110 &96 Byte 2 Opcode
<--dis-> Byte 3 Distanz

Flag: S Z V C
x x x x

SBC A,reg

Subtrahiere den Registerinhalt plus Carrybit vom Akkuinhalt und lade das Ergebnis in den Akku.

A=A-reg-CF

Befehlscode: 10011rrr Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C
x x x x

SBC A,data

Subtrahiere die Konstante und das Carrybit vom Akkuinhalt und lade das Ergebnis in den Akku.

A=A-data-CF

Befehlscode: 11011110 Byte 1 Opcode
<--ko--> Byte 2 Konstante

Flag: S Z V C
x x x x

SBC A,(HL)

Subtrahiere die Speicherstelle plus Carrybit vom Akkuinhalt und lade das Ergebnis in den Akku.

A=A-rps-CF

Befehlscode: 10011110 &9E Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C
x x x x

SBC A,(XY+dis)

Subtrahiere eine indiziert adressierte Speicherstelle plus Carrybit vom Akkuinhalt und lade das Ergebnis in den Akku.

A=A-CF-(XY+dis)

Befehlscode: 11011101 &DD Byte 1 Opcode
10011110 &9E Byte 2 Opcode
<--dis-> Byte 3 Distanz

Flag: S Z V C
x x x x

DAA

Umwandlung des Akkuinhaltes in BCD-Format.

Befehlscode: 00100111 &27 Byte 1 Opcode

Flag: S Z P C !:Diese Flags werden bei dem Spezial-
! x ! ! befehl DAA andersartig beeinflußt!!

CPL

Komplementieren des Akkumulators.

A=Nicht A oder NOT A

Befehlscode: 00101111 &2F Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C

NEG

Bildung des negativen Wertes (Zweierkomplement) des Akkus.

A=0-A (Zweierkomplement von A)

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1 Opcode
01000100 &44 Byte 2 Opcode

Flag: S Z V C
x x x ! !:C ist gesetzt, wenn Akkuinhalt <>0

INC reg

Inkrementiere den Registerinhalt und lade das Ergebnis in das Register.

reg=reg+1

Befehlscode: 00rrr100 Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C
x x x

INC (HL)

Inkrementiere ein Speicherbyte und lade das Ergebnis in ein Speicherbyte.

(HL)=(HL)+1

Befehlscode: 00110100 &34 Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C
x x x

INC (XY+dis)

Inkrementiere eine indiziert adressierte Speicherstelle und lade das Ergebnis in die Speicherstelle.

(XY+dis)=(XY+dis)+1

Befehlscode: 11x11101 &DD Byte 1 Opcode
10110100 &34 Byte 2 Opcode
<--dis-> Byte 3 Distanz

Flag: S Z V C
x x x

DEC A,reg

Dekrementiere den Registerinhalt und lade das Ergebnis in die Speicherstelle.

reg=reg-1

Befehlscode: 00rrr101 Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C
x x x

DEC (HL)

Dekrementiere eine Speicherstelle und lade das Ergebnis in die Speicherstelle.

(HL)=(HL)-1

Befehlscode: 00110101 &35 Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C
x x x

DEC (XY+dis)

Dekrementieren einer indiziert adressierten Speicherstelle.

(XY+dis)=(XY+dis)-1

```
Befehlscode: 11011101 &DD Byte 1  Opcode
             00110101 &35 Byte 2  Opcode
             <--dis->     Byte 3  Distanz

Flag: S Z V C
      x x x
```

16-Bit Arithmetische- und Zählbefehle

Die 16 Bit Arithmetik Befehle sind prinzipiell den 8 Bit Befehlen ähnlich. 16 Bit Befehle sind eingeschränkter. Nur die Befehle ADD, ADC und SUB sind für einige Registerpaare vorhanden. Das Ergebnis einer Operation wird grundsätzlich im HL-Registerpaar (nicht im Akku, wie bei den 8 Bit Befehlen) abgelegt. Beim ADD-Befehl besteht die Möglichkeit Ergebnisse auch in den Indexregistern zu speichern.
Die 16 Bit Befehle entsprechen mehreren Hintereinanderausführungen von 8 Bit Befehlen. Da sie diese Befehle automatisch verbinden, sind sie schneller und kürzer.

```
16 Bit          8 Bit

ADD HL,BC        LD A,L
                ADD A,C
                 LD L,A
                 LD A,H
                ADC A,B
                 LD H,A
```

Sämtliche 16 Bit Arithmetik-Befehle verwenden die implizite Adressierung. Die Flag-Beeinflußung bei ADC und SBC ist der der 8 Bit Befehle analog. Bei ADD wird nur das Carry beeinflußt, und bei den 16 Bit Befehlen INC und DEC werden die Flags gar nicht berücksichtigt.

```
ADD IX,DE        BASIC: IX=IX+DE
ADC HL,BC        BASIC: HL=HL+BC+CF
SBC HL,SP        BASIC: HL=HL-SP-CF
```

Beispiel:

```
HL=&C000
```

```
   DE=&0800

ADD HL,DE

     &C000 = 1100 0000 0000 0000
   + &0800 = 0000 1000 0000 0000
     -----   --------------------
     &C800 = 1100 1000 0000 0000

   Flag: S Z V C
               0
   S, Z, V-Flag sind unbeeinflußt.


   HL=&F800
   DE=&0800

ADC HL,DE

     &F800 =   1111 1000 0000 0000
   + &0800 =   0000 1000 0000 0000
    ------   ---------------------
    &10000 = 1 0000 0000 0000 0000

   Flag: S Z V C
         0 0 1 1
```

Auch hier enthält der HL nicht das richtige Ergebnis &10000, sondern 0. Das Carry-Flag zeigt diesen Fehler an. Bei den 16 Bit Operationen stellt es Bit Nummer 16 dar.

Die 16 Bit Zählbefehle sind sämtlich implizit adressiert. Sie können sich auf die 16 Bit Register BC, DE, HL, SP, IX und IY beziehen. Diese Befehle beeinflußen, im Gegensatz zu den 8 Bit Zählbefehlen, nicht (!) die Flags.

ADD HL,rps

Addition eines Registerpaares zu HL

HL=HL+rps

Befehlscode: 01pp1001 Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C
x

ADC HL,rps

Addition eines Registerpaares mit Carry zu HL.

HL=HL+rps+CF

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1 Opcode
01pp1010 Byte 2 Registerpaar

Flag: S Z V C
x x x x

SBC HL,rps

Subtraktion eines Registerpaares von HL mit Carry.

HL=HL-rps-CF

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1 Opcode
01pp0010 Byte 2 Opcode

Flag: S Z V C
x x x x

ADD XY,rps

Addition von XY und Registerpaar.

XY=XY+rps

Befehlscode: 11011101 &DD Byte 1 Opcode
00pp1001 Byte 2 Opcode

Flag: S Z V C
x

INC rps

Inkrementieren eines Registerpaares.

rps=rps+1

Befehlscode: 00pp0011 Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C

INC XY

Inkrementieren des Indexregisters.

XY=XY+1

Befehlscode: 11111101 &FD Byte 1 Opcode
00100011 &23 Byte 2 Opcode

Flag: S Z V C

DEC rps

Dekrementieren eines Registerpaares.

rps=sps-1

Befehlscode: 00pp1011 Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C

DEC XY

Dekrementieren eines Indexregisters.

XY=XY-1

Befehlscode: 11011101 &DD Byte 1 Opcode
00101011 &2B Byte 2 Opcode

Flag: S Z V C

Aufgabe:

Nach dieser Durststrecke wollen wir endlich die neuen Befehle zum ersten Mal anwenden. Schreiben Sie ein kleines Programm für die Addition zweier 8-Bit-Zahlen. Die Zahlen werden durch POKE-Befehle vom BASIC aus ins RAM gespeichert. Das Ergebnis der Addition soll wieder im RAM gespeichert werden. Nach dem Rücksprung ins BASIC kann es dann mit dem PEEK-Befehl gelesen und ausgegeben werden.

Lösung:

Da 8-Bit-Additionen grundsätzlich den Akku benutzen, muß der erste Summand im Akku gespeichert werden:

```
LD A,Summand
```

Der zweite Summand wird in einem der 8-Bit-Register gespeichert:

```
LD H,Summand
```

Nun führen wir die Addition aus:

```
ADD A,H
```

Das Ergebnis soll in Speicherstelle &A100 abgelegt werden:

```
LD (&A100),A
```

Wählen wir als Startadresse &A000, ergibt sich folgendes Bild:

```
A000 3E10    10    LD   A,&10
A002 2620    20    LD   H,&20
A004 87      30    ADD  A,H
A005 3200A1  40    LD   (&A100),A
```

```
A008 C9      50    RET
```

Die DATA-Zeile des Laders ergibt sich zu:

```
60 DATA &38,&10,&26,&20,&84,&32,&00,&A1,&C9
```

Aus dem Assemblerlisting geht hervor, daß der erste Summand an Adresse &A001, und der zweite an Adresse &A003 gespeichert ist. In unserem Falle haben wir hierfür &10 und &20 gewählt. Das BASIC-Programm, was diese Werte festlegt, das Programm ausführt, und das Ergebnis ausgibt, sieht dann folgendermaßen aus:

```
10 POKE &A001,Summand1
20 POKE &A003,Summand2
30 CALL &A000,
40 PRINT PEEK (&A000)
```

Zu den Befehlen zur Datenbearbeitung gehören auch die Logischen Befehle.
Der Z80 besitzt die Logischen Befehle AND, OR und XOR (Exklusiv OR) sowie den Vergleichsbefehl CP. Alle diese Befehle arbeiten mit 8 Bit Daten. Der Akku ist immer das Register, mit dem die Logische Operation ausgeführt wird. Der Akku wird deshalb nicht mit im Operanden des Assemblerbefehls (wie z.B. bei ADD A,B) angegeben (z.B. AND B).
Die vier Befehle AND, OR, XOR und CP können mit folgenden Adressierungsarten vorkommen:

- implizit (Register A, B, C, D, E, H, L)
- indirekt : Register (HL)
- indiziert
- unmittelbar

Betrachten wir die Funktionen der logischen Befehle. Jeder kann sich etwas unter folgender logischen Aussage vorstellen:

"Wenn es regnet, dann wird die Straße naß."

Diese Aussage ist eine Folgerung der Form <wenn,...dann...>.
Betrachten wir die nächste Aussage:

"Wenn es regnet UND ich auf der Straße bin, dann werde ich naß".

Hier sind zwei Aussagen durch UND verbunden. Das logische UND (engl.AND) sagt aus, daß beide Aussagen, also "es regnet" (1.Aussage) und "ich bin auf der Straße " (2.Aussage) zutreffen müßen, damit das Ergebnis eintritt. Regnet es nicht (die 1.Aussage ist nicht erfüllt), werde ich

nicht naß; bin ich in einem Haus (2. Aussage ist nicht erfüllt), werde ich auch nicht naß. Damit die Folgerung stimmt (wahr ist) müssen also beide Aussagen wahr sein. Das ist genau die Eigenschaft der AND (UND)- Verknüpfung. Da der Computer mit 0 und 1 arbeitet, vereinbart man folgendes:

1 entspricht Aussage ist wahr
0 entspricht Aussage ist falsch

Damit ergibt sich:

```
1 AND 1= 1 beide Aussagen sind   wahr=> Ergebnis wahr
1 AND 0= 0 eine Aussage ist falsch   => Ergebnis falsch
0 AND 1= 0 eine Aussage ist falsch   => Ergebnis falsch
0 AND 0= 0 beide Aussagen sind falsch=> Ergebnis falsch
```

Das Schneider-BASIC beinhaltet die logischen Befehle. Probieren Sie sie aus:

```
PRINT 1 AND 1
PRINT 1 AND 0 usw....
```

Die Logischen Operationen sind für die Computertechnik von größter Bedeutung. Sie lassen sich relativ einfach elektronisch verwirklichen. Dabei sind zwei Eingangsleitungen, die Strom führen (=1) oder keinen Strom führen (=0), an einen elektronischen Schaltkreis angeschlossen, dessen Ausgangsleitung, je nach Eingangbedingungen, Strom oder keinen Strom führt (1 oder 0 ist). Solche Schaltungen werden mathematisch mit Hilfe der Booleschen Algebra erfaßt. Ein Microprozessor besteht aus einer Vielzahl von hintereinander geschlossenen logischen Gattern. Die Addition im MPU ist z.B. aus verschiedenen logischen Operationen aufgebaut.
Als Programmierer kommen wir jedoch mit diesen Strukturen nicht in Berührung. Wir wenden die logischen Operationen auf Daten (8 Bit) an. Dabei werden jeweils entsprechende Bits, der beiden Bytes verknüpft.

```
        11111000
AND     01010011
        --------
        01010000

Bit 0: 0 AND 1=0
Bit 1: 0 AND 1=0
Bit 3: 0 AND 0=0
Bit 4: 1 AND 0=0
Bit 5: 1 AND 1=1
        .
        .
```

Eine der wichtigsten Anwendungen des AND-Befehl ist das Löschen oder Ausblenden von bestimmten Bits.

```
A=&X10111001
```

Nehmen wir an, wir wollen nur die Bits 0 bis 3 betrachten, d.h. Bit 4 bis 7 sollen ausgeblendet werden. Um das zu erreichen, "undieren" (-verknüpfen mit UND) wir A mit &X00001111.

```
        10111001        :A
AND     00001111        :Maske
        --------
        00001001
```

Die Maske, die zum Ausblenden der Bits benutzt wird, enthält eine 0 für ein auszublendendes Bit, und eine 1 für ein signifikantes Bit.
Formulieren wir in BASIC:

```
A=&X10111001
A=A AND &X00001111
```

In Maschinensprache erhalten wir:

```
LD A,&X10111001
AND  &X00001111
```

Sehen Sie sich folgende Aussagen an:

"Wenn es regnet ODER ich bade, dann werde ich naß."

Das Ergebnis ist wahr, wenn mindestens eine der Aussagen wahr ist. Damit ergibt sich für die ODER (OR)-Verknüpfung:

```
0 OR 0= 0
0 OR 1= 1
1 OR 0= 1
1 OR 1= 1
```

Mit der OR-Verknüpfung ist es möglich, bestimmte Bits eines Bytes zu setzen.
A enthalte &X10001011.
Nun sollen die obersten 3 Bit (5, 6, 7) auf 1 gesetzt werden:

```
    10001011   :A
OR  11100000   :Maske
    --------
    11101011
```

Die Maske enthält für jedes Bit, das unbedingt auf 1 gesetzt werden soll, eine 1, und für die Bits, die nicht verändert werden sollen, eine 0.

```
LD A,&X10001011      BASIC: A=&X10001011
OR &X11100000        BASIC: A=A OR &X11100000
```

Das XOR, oder exklusiv ODER, unterscheidet sich in nur einem Punkt vom normalen oder inclusiven ODER. Sind beide Eingangsbits auf 1, so ist der Ausgang 0. Das ausschließende (exclusive) OR liefert eine 1 bei verschiedenen Eingängen

und eine 0 bei gleichen Eingängen.

```
0 XOR 0= 0
1 XOR 0= 1
0 XOR 1= 1
1 XOR 1= 0
```

Für das XOR gibt es zwei Anwendungen, das Vergleichen und das Komplementieren. Die zu vergleichenden Bytes werden durch XOR verknüpft. Ist das Ergebnis 0, so waren die Bytes gleich. Bei Ungleichheit sind die unterschiedlichen Bits des Ergebnisses gesetzt.

```
    10101010
XOR 10101010    Vergleich!!
    --------
    00000000

    10101010
XOR 10101100    Vergleich!!
    --------
    00000110
```

=> Bit 1 und Bit 2 sind unterschiedlich.

Zum Komplementieren wird wieder mit einer Maske verknüpft. Sie enthält eine 1 für ein zu komplementierendes Bit und eine 0 für ein gleichbleibendes Bit.

Bit 4-7 sollen komplementiert werden.

```
    10101111  :A
XOR 11110000  :Maske
    --------
    01011111
```

Analogien:

Maschinensprache	BASIC
AND H	A=A AND H
OR (HL)	A=A OR PEEK(HL)
XOR &FF	A=A XOR &FF

Bei den Logischen Befehlen wird das Carry immer auf 0 gesetzt. Z-Flag und S-Flag werden, wie üblich, beeinflußt. Das P/V-Flag zeigt bei diesen Befehlen die Parität des Ergebnisses an. Die Parität ist 1, wenn die Anzahl der Einsen im Byte gerade ist, und ist 0, wenn sie ungerade ist.

Aufgaben:

1. Was bewirkt ein:

   - OR mit &FF ?
   - OR mit &0 ?
   - AND mit &FF ?
   - AND mit &0 ?
   - XOR mit &FF ?
   - XOR mit &0 ?

2. Im BASIC gibt es den Befehl NOT. Setzen Sie diesen Befehl auf zwei verschiedene Weisen in Maschinensprache um (bezüglich des Akku).

Lösung:

zu 1.

```
 OR  &FF  => &FF d.h. alle Bits sind gesetzt
 OR  &O   => keine Veränderung
AND  &FF  => keine Veränderung
AND  &O   => &O d.h. alle Bits sind rückgesetzt
XOR  &FF  => alle Bits sind komplementiert
XOR  &O   => keine Veränderung
```

zu 2.

```
XOR -Befehl :   XOR &FF
CPL -Befehl :   CPL
```

Der Vergleichbefehl CP

Der CP-Befehl dient dem Vergleich des Akkuinhaltes mit einem Byte. Dieses Byte kann folgendermaßen adressiert sein:

- implizit : Register A, B, C, D, E, H, L
- indirekt : Registerpaar (HL)
- indiziert
- unmittelbar

Durch den CP-Befehl wird das adressierte Byte vom Akku abgezogen, und je nach dem Ausgang der Rechnung werden die Flags beeinflußt. Im Gegensatz zum SUB-Befehl wird das Ergebnis jedoch nicht im Akku abgespeichert, d.h. der Akkuinhalt wird durch den Befehl nicht beeinflußt. Abhängig vom Status der Flags kann nach diesem Befehl ein bedingter Sprung ausgeführt werden.
Betrachten wir die möglichen Fälle bei dem Vergleich:

Akkumulatorinhalt ist größer:
- Das Carry ist in diesem Fall immer 0, da das Ergebnis nicht größer als 255 sein kann.

Akkumulatorinhalt ist gleich:
- In diesem Fall ist Z=1, da das Ergebnis der Subtraktion 0
  ist. Auch hier ist C=0, da kein Übertrag auftritt.

Akkumulatorinhalt ist kleiner:
- In diesem Fall ist das Carry-Flag immer gesetzt, da ein negativer Übertrag auftritt.

Regeln:

C=0 bedeutet >=
Z=0 bedeutet =
C=1 bedeutet <

weiterhin erhält man:

Z=1 bedeutet <>
C=0 und Z=1 bedeutet >
C=1 oder Z=0 bedeutet =<

Diese Regeln gelten nur, wenn die zu vergleichenden Bytes als vorzeichenlose Zahlen zwischen 0 und 255 betrachtet werden.

Stellen die beiden Bytes vorzeichenbehaftete Zahlen in 2er-Komplementdarstellung dar, so gelten kompliziertere Regeln, die sich aus den Flag-Regeln für vorzeichenbehaftete Arithmetik ergeben. In den meisten Fällen ist diese Anwendung nicht notwendig.
Für die Entscheidung auf Gleichheit wird das Z-Flag benutzt. Größer bzw. kleiner entscheidet sich nach dem Status von S- und V-Flag. S- und V-Flag werden durch XOR verknüpft, d.h. ist V gesetzt (ein Überlauf ist eingetreten), wird S

komplementiert, sonst bleibt S auf dem alten Stand.

```
S XOR V =0   bedeutet >=
S XOR V =1   bedeutet <
```

Im folgenden werden wir voraussetzen, daß die Bytes als vorzeichenlose Zahlen zu interpretieren sind.

Beispiel:

```
A =&35
B =&21

CP B

liefert S Z V C
        0 0 0 0    wegen

  00110101  :A
- 00100001  :B (kein (!) Zweierkomplement)
  --------
  00010100

Kein Übertrag:     => C=0
Bit=0              => S=0
 <>0               => Z=0
kein Überlauf      => V=0
```

Das Carry-Flag ist gleich 0. Daraus folgt, daß der Akkuinhalt größer als der des vergleichbaren Bytes ist (Inhalt vom B-Register).

```
C =&81

CP C    liefert

Flag:S Z V C
     1 0 1 1   wegen:
```

```
  00000001   :A-Register
- 10000001   :C-Register
  --------
  110000000

Übertrag von 7 nach 8 => C=1
Bit 7=1               => S=1
     <>               => Z=0
Übertrag von 7 nach 8 und kein
Übertrag von 6 nach 7 => V=1
```

Folglich ist C=1. Daraus läßt sich schließen, daß der Wert, mit dem verglichen wurde (Inhalt vom C-Register), größer war als der Akkuinhalt.

Im Zusammenhang mit den Befehlen für Tests und Sprünge, werden wir den CP-Befehl später oft benutzen. Da wir diese jedoch noch nicht aufgeführt haben, wird am Ende dieses Abschnittes ein Demo-Programm gezeigt.

AND reg

Akku mit Register undieren.

A=A and reg

Befehlscode: 10100rrr Byte 1 Opcode

Flag: S Z P C
x x x 0

AND data

Akku mit Konstante undieren.

A=A and data

Befehlscode: 11100110 &E6 Byte 1 Opcode
<--ko--> Byte 2 Konstante

Flag: S Z P C
x x x 0

AND (HL)

Akku mit Speicherstelle undieren.

A=A and (HL)

Befehlscode: 10100110 &A6 Byte 1 Opcode

Flag: S Z P C

```
      x x x 0
```

AND (XY+dis)

Akku mit indiziert adressierter Speicherstelle undieren.

```
            A=A and (XY+dis)

Befehlscode: 11x11101      Byte 1  Opcode
             10100110 &A6  Byte 2  Opcode
             <-dis-->      Byte 3  Distanz

Flag: S Z P C
      x x x 0
```

OR reg

Oderieren des Akkus mit einem Register.

```
            A=A or reg

Befehlscode: 10110rrr      Byte 1  Opcode

Flag: S Z P C
      x x x 0
```

OR data

Oderieren des Akkus mit einer Konstante.

```
            A=A or data

Befehlscode: 11110110 &F6 Byte 1  Opcode
             <--ko-->     Byte 2  Konstante
```

Flag: S Z P C
x x x 0

OR (HL)

Oderieren des Akkus mit einer Speicherstelle.

A=A or (HL)

Befehlscode: 10110110 &B6 Byte 1 Opcode

Flag: S Z P C
x x x 0

OR (XY+dis)

Oderieren des Akkus mit einer indiziert adressierten Speicherstelle.

A=A or (XY+dis)

Befehlscode: 11x11101 Byte 1 Opcode
10110110 &B6 Byte 2 Opcode
<-dis--> Byte 3 Distanz

Flag: S Z P C
x x x 0

XOR reg

Exklusiv oderieren des Akkus mit einem Register.

A=A xor reg

Befehlscode: 10101rrr Byte 1 Opcode

Flag: S Z P C
x x x 0

XOR data

Exklusiv oderieren des Akkus mit einer Konstanten.

A=A xor data

Befehlscode: 11101110 &EE Byte 1 Opcode
<--ko--> Byte 2 Konstante

Flag: S Z P C
x x x 0

XOR (HL)

Exklusiv oderieren des Akkus mit einer Speicherstelle.

A=A xor (HL)

Befehlscode: 10101110 &AE Byte 1 Opcode

Flag: S Z P C
x x x 0

XOR (XY+dis)

Exklusiv oderieren des Akkus mit indiziert adressierter Speicherstelle.

A=A xor (XY+dis)

Befehlscode: 11x11101 Byte 1 Opcode

```
                10101110 &AE Byte 2  Opcode
                <-dis-->     Byte 3  Distanz
```

Flag: S Z P C
x x x 0

CP reg

Vergleichen von Akku und Registerinhalt.

A-reg

Befehlscode: 10111rrr Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C
x x x x

CP data

Vergleich des Akkus mit einer Konstanten.

A-data

Befehlscode: 11111110 &FE Byte 1 Opcode
<--ko--> Byte 2 Konstante

Flag: S Z V C
x x x x

CP (HL)

Vergleich des Akkus mit einer Speicherstelle.

A-(HL)

Befehlscode: 10111110 &BE Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C
x x x x

CP (XY+dis)

Vergleich einer indiziert adressierten Speicherstelle mit dem Akku.

A-(XY+dis)

Befehlscode: 11x11101 &DD Byte 1 Opcode
10111110 &BE Byte 2 Opcode
‹-dis--› Byte 3 Distanz

Flag: S Z V C
x x x x

Das Demoprogramm:

```
A000 06FF      10     LD  B,&FF
A002 2100C0    20     LD  HL,&C000
A005 7E        30     LD  A,(HL)
A006 A8        40     XOR B
A007 77        50     LD  (HL),A
A008 23        60     INC HL
A009 3E00      70     LD  A,0
A00B BC        80     CP  H
A00C 20F7      90     JR  NZ,&A005
A00e C9       100     RET
```

Dieses Programm invertiert den gesamten Bildschirm in MODE 2.
LD B,&FF ist die Maske, mit der durch den XOR B Befehl der jeweilige Akkuinhalt invertiert wird.
HL wird mit der Startadresse des Bildschirms &C000 geladen (LD HL,&C000). Dann beginnt die Programmschleife. LD A,(HL) liest ein Byte aus dem Bilschirmspeicher. Durch XOR B wird dieses invertiert, und dann mit LD (HL),A wieder in den Bildschirmspeicher geschrieben. Dann wird HL erhöht (INC HL) und geprüft, ob HL noch im Bereich des Bildschirmspeichers liegt.
HL läuft von &C000 bis &FFFF. Wird dann wiederum HL erhöht (&FFFF+1), ergibt sich der Wert 0 für HL. Eigentlich wäre das Ergebnis &10000, da HL jedoch nur 16 Bit Zahlen speichern kann, bleibt das überzählige Bit unberücksichtigt: HL=0.
Mit dem CP-Befehl soll festgestellt werden, ob HL bereits 0 ist. Da CP immer mit dem Akkuinhalt vergleicht, muß der Akku zuvor durch LD A,0 mit 0 geladen werden.
Bei dem Vergleich muß nun das High-Byte von HL verglichen werden, ist H=0, dann ist auch HL=0. Durch den CP-Befehl wird das Z-Flag in entsprechender Weise beeinflußt.
Der nachfolgende Sprungbefehl JR NZ,&A005 besagt:

"Springe an Adresse &A005, wenn Z nicht Null ist (Non Zero), sonst nehme den nächsten Befehl."
Ist HL=0, so wird das Programm mit RET abgeschlossen.
Die DATA-Zeilen des BASIC-Laders sind:

```
DATA &06,&FF,&21,&00,&C0,&7E,&A8,&77
DATA &23,&3E,&00,&BC,&20,&F7,&C9
```

Wählen Sie &A000 als Startadresse, &A000+15-1=&A00E als Endadresse und starten Sie mit ›CALL &A000‹ (Im MODE 2).
Anstelle des XOR B Befehls können wir auch CPL (komplementieren des Akkus) einsetzen.
Schalten Sie nun in MODE 1 um und probieren Sie die Routine aus. Das gewünschte Ergebnis kommt nicht zustande. Das liegt im Aufbau des Bildschirmspeichers begründet. Wie Sie wissen, korrespondieren in MODE 2 gesetzte Bits und gesetzte Punkte direkt miteinander. Daher können im MODE 2 keine verschiedenen Schriftfarben gewählt werden. Im MODE 1 stehen vier Farben zur Verfügung. Da nur der Bereich von &C000-&FFFF bereit steht und zusätzlich noch die Information über die Farbe gespeichert werden muß, sind im MODE 1 die oberen vier Bit jedes Bytes für das Setzen je eines doppelt breiten Punktes zuständig. Die unteren Bits bestimmen die Farbe. Da wir die Punkte und nicht die Farben invertieren, müssen wir die Invertierungsmaske ändern. LD B,&FF (&FF=&X11111111) bedeutet, alle Bits werden durch XOR B invertiert. Durch &X11110000=&F0 werden nur die obersten 4 Bit invertiert.
Um das Programm auch im MODUS 1 zu benutzen, müssen wir also den zweiten Wert von DATA Zeile 60 von &FF nach &F0 ändern.
Im MODE 0 sind nur Bit 6 und Bit 7 für die Punkte zuständig. Nehmen Sie auch dafür die nötige Änderung im Programm vor.

4.8 ROTATIONS- UND SCHIEBE BEFEHLE

Was bedeutet das Verschieben der Ziffern einer Zahl?

```
    4   3   2   1   0
   10  10  10  10  10

        3   7   3   0

    3   7   3   0   0   :nach links verschoben !

            3   7   3   :nach rechts verschoben !
```

Im Dezimalsystem bewirkt ein Schieben nach links, eine Multiplikation mit 10 (der Basis des Dezimalsystems) und ein Schieben nach rechts eine Division durch 10. (Ein Verschieben der Ziffern nach links bedeutet ein Verschieben des Kommas um eine Stelle nach rechts.)
Entsprechend bedeutet ein Verschieben im Dualsystem ein Teilen bzw. Malnehmen mit zwei. Im BASIC gibt es für diese Befehle kein direktes Äquivalent. (Es sei denn das Multiplizieren bzw.Dividieren mit bzw.durch 2.)
Der Z80 besitzt 76 Befehle dieser Art, von denen die meisten die implizite-, indirekte- oder indizierte Adressierung benutzen. Es gibt verschiedene Arten des Rotierens und Schiebens. Zuerst wollen wir zwischen den Operationen Schieben und Rotieren unterscheiden.

Schieben: Beim Schieben nach rechts und links wird der Inhalt des Registers Bit für Bit in die jeweilige Richtung bewegt. Das an der Seite herausfallende Bit wird in das Carry übernommen. Die enstandene Freistelle, an der anderen Seite des Bits, wird mit einer 0 gefüllt.

(siehe Abbildung 7:Kapitel 4.8)

Beim Anwenden des SRL-Befehl auf vorzeichenbehaftete Zahlen tritt ein Fehler auf. Bit 7, das Sign-Bit, wird auf den Platz von Bit 6 geschoben. An Stelle von Bit 7 wird eine 0 eingeschoben. Damit wäre aus einer negativen Zahl (Bit 7=1) eine positive (Bit 7=0) geworden. Um diesen Fehler zu umgehen, gibt es den SRA-Befehl. Bei diesem Befehl ist das links eingeschobene Bit mit dem Vorzeichenbit identisch. Es ist 0, wenn das linke Bit =0 (+) war und 1 wenn das linke Bit =1 (-) war. Da dieser Befehl die arithmetische Bedeutung des 7ten Bit beachtet, bezeichnet man ihn als Arithmetischen (und nicht logischen) Schiebebefehl.

(siehe Abbildung 8:Kapitel 4.8)

Rotieren: Im Gegensatz zum Schieben ist beim Rotieren das hereinkommende Bit entweder das auf der anderen Seite herausgefallene oder das Carry-Bit.
Beim Z80 gibt es zwei Arten der Rotation:

8- Bit Rotation (ohne Carry)
9- Bit Rotation (mit Carry)

Bei einer 9-Bit Rotation nach rechts werden alle acht Bits um eine Stelle nach rechts verschoben. Das rechts herausfallende Bit gelangt ins Carry. Das links hereinkommende ist der alte Inhalt vom Carry (bevor er vom herausfallenden Bit überschrieben wurde). Da hier die 8-Bit des Bytes und das Carry(das 9.Bit!) rotiert werden, bezeichnet man diese Art der Rotation als 9-Bit Rotation.

(siehe Abbildung 9:Kapitel 4.8)

Bei der 8-Bit Rotation rotieren nur die 8 Bit des Registers. Im Carry wird nur das herausfallende Bit gespeichert. Der alte Inhalt des Carry wird jedoch nicht mit rotiert. Das herausfallende Bit wird am anderen Ende des Registers wieder aufgenommen.

(siehe Abbildung 10:Kapitel 4.8)

Weiterhin gibt es zwei Spezialbefehle für das Rotieren von Ziffern (=Blöcke von 4 Bit) in BCD-Format.
RLD und RRD (D:Digit-Ziffer) rotieren zwei Ziffern der Speicherstelle, auf die HL zeigt, und die Ziffer, die durch die untere Hälfte des Akkumulators gegeben ist.
Die Rotier- und Schiebebefehle haben meist einen 2 Byte Opcode. Das erste Byte des Opcodes ist immer &CB. (Bei den indiziert adressierten Befehlen, ist &CB das 2.Byte, da das erste bei dieser Adressierungsart entweder &DD oder &FD ist. Ausnahme: RRD/RLD beginnen mit ED.) Da die Rotationsbefehle für die Arithmetik oft benötigt werden, wurden vier weitere Befehle festgelegt. Diese beziehen sich nur auf den Akku und besitzen einen 1 Byte Opcode. Sie sind genau halb so lang und doppelt so schnell wie die Standartbefehle:

"normal"	"Akku-Spezial"
RLC A	RLCA
RRC A	RRCA
RL A	RLA
RR A	RRA

Durch die normalen Rotations- bzw. Schiebebefehle werden S- und Z-Flag in der üblichen Weise beeinflußt. P/V- Flag zeigt die Parität an. Der Inhalt des Carrys ist das jeweils herausfallende Bit. Die Spezialbefehle für den Akku verändern S, Z und P/V nicht. Die BCD Rotierbefehle RLD/RRD beeinflußen nur S-, Z- und P-Flag in der obigen Weise, dagegen nicht das Carry.

Beispiele:

```
SRL C           C:&36

      00110110          :&36
   0--› 0011011--› 0 ins Carry
```

```
          00011011          :C-Register nach Ausführung
                  0     :Carry nach der Ausführung
```

SRL bewirkt eine Division durch 2: &36^2=&1B

```
   SRA (HL)        HL:&B100
                   Speicherstelle &B100:&C2

           11000010          :&C2
           *1100001--> 0 :Carry
           11000010    0 :CF:(HL) nach der Ausführung=&E1
```

(* Bit 7 bleibt an dieser Stelle)

Als Zweierkomplement bedeutet:

```
     &C2 = -62
     &E1 = -31
```

Der SRA-Befehl führt die Halbierung vorzeichenbehafteter Zahlen richtig durch. SRL (HL) hätte statt dessen &61 =97 als Ergebnis gehabt. Das ist jedoch nicht die Hälfte von -62, sondern die Hälfte von 194, was &C2 als vorzeichenloser Zahl entspricht.

```
   RLC D
       D: &E4    Carry=1

          &E4= &X11100100
   Carry neu <-- 11100100 <-- 1=Carry alt
                 11001001
   Inhalt von D nach der Ausführung: &C5
        Carry-F.= 1
```

&C5 ist allerdings nicht das Doppelte von &E4. Der Grund dafür ist, daß ein Bit zu Carry rotiert wurde. Also soll &1C5 das Doppelte von &E4 sein. Dies ist nicht ganz richtig, da das alte Carry (=1) hineinrotiert wurde. Also ist

&1C9-1=&1C8 das Doppelte von &E4.
Sollen Zahlen, die aus mehreren Bytes bestehen rotiert werden, so wird durch RLC bzw. RRC, daß beim vorher rotierten Byte herausgefallene Bit über das Carry in das nächste Byte hineinrotiert.(Siehe Programm am Ende des Kapitels)

```
RRA
    Akku: &76

     &76=&X01110111O
         &X*01110110 -> Carry
(* hier wird das alte Bit 0 "hineinrotiert")

      Akku: &X00111011       CF=0

Akkuinhalt: &3B
            &3B*2 = &76
```

RCLA

Akku links rotieren (8 Bit).

Befehlscode: 00000111 &07 Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C

RLA

Akku links rotieren durch Carry (9 Bit).

Befehlscode: 00010111 &17 Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C
x Inhalt des Bit 7 von A

RRCA

Akku rechts rotieren (8 Bit).

Befehlscode: 00001111 &0F Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C
x Inhalt von Bit 0 von A

RRA

Akku rechts durch Carry rotieren (9 Bit).

Befehlscode: 00011111 &1F Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C
x Inhalt von Bit 0 von A

RLC reg

Register links rotieren (8 Bit).

Befehlscode: 11001011 &CB Byte 1 Opcode
00000rrr Byte 2 Opcode

Flag: S Z P C
x x x x Inhalt von Bit 7 von A

RLC (HL)

Speicherstelle links rotieren (8 Bit).

Befehlscode: 11001011 &CB Byte 1 Opcode
00000110 &06 Byte 2 Opcode

Flag: S Z P C
x x x x Inhalt des Bit 7

RLC (XY+dis)

Indiziert adressierte Speicherstelle links rotieren (8 Bit).

Befehlscode: 11x11101 Byte 1 Opcode
11001011 &CB Byte 2 Opcode
<--dis-> Byte 3 Distanz
00000110 &06 Byte 4 Opcode

Flag: S Z P C

```
      x x x x  Inhalt des Bit 7
```

RL reg

Register links durch Carry rotieren (9 Bit).

```
Befehlscode: 11001011 &CB Byte 1  Opcode
             00010rrr     Byte 2  Opcode

Flag: S Z P C
      x x x x  Inhalt von Bit 7
```

RL (HL)

Speicherstelle links durch Carry rotieren (9 Bit).

```
Befehlscode: 11001011 &CB Byte 1  Opcode
             00010110 &16 Byte 2  Opcode

Flag: S Z P C
      x x x x Inhalt des Bit 7
```

RL (XY+dis)

Indiziert adressierte Speicherstelle links durch Carry rotieren (9 Bit).

```
Befehlscode: 11x11101     Byte 1  Opcode
             11001011 &CB Byte 2  Opcode
             <--dis->     Byte 3  Distanz
             00010110 &16 Byte 4  Opcode

Flag: S Z P C
      x x x x  Inhalt von Bit 7
```

RRC reg

Register rechts rotieren (8 Bit).

```
Befehlscode: 11001011 &CB Byte 1  Opcode
             00001rrr     Byte 2  Opcode
```

```
Flag: S Z P C
      x x x x Inhalt von Bit 0
```

RRC (HL)

Speicherstelle rechts rotieren (8 Bit).

```
Befehlscode: 11001011 &CB Byte 1  Opcode
             00001110 &0E Byte 2  Opcode
```

```
Flag: S Z P C
      x x x x Inhalt von Bit 0
```

RRC (XY+dis)

Indiziert adressierte Speicherstelle rechts rotieren (8 Bit).

```
Befehlscode: 11x11101     Byte 1  Opcode
             11001011 &CB Byte 2  Opcode
             <--dis->     Byte 3  Distanz
             00001110 &0E Byte 4  Opcode
```

```
Flag: S Z P C
      x x x x  Inhalt von Bit 0
```

RR reg

Register rechts durch Carry rotieren (9 Bit).

```
Befehlscode: 11001011 &CB Byte 1  Opcode
             00011rrr     Byte 2  Opcode

Flag: S Z P C
      x x x x Inhalt von Bit 0
```

RR (HL)

Speicherstelle rechts durch Carry rotieren (9 Bit).

```
Befehlscode: 11001011 &CB Byte 1  Opcode
             00011110 &1E Byte 2  Opcode

Flag: S Z P C
      x x x x  Inhalt von Bit 0
```

RR (XY+dis)

Indiziert adressierte Speicherstelle rechts durch Carry rotieren (9 Bit).

```
Befehlscode: 11x11101     Byte 1  Opcode
             11001011 &CB Byte 2  Opcode
             <--dis->     Byte 3  Distanz
             00011110 &1E Byte 4  Opcode

Flag: S Z P C
      x x x x Inhalt von Bit 0
```

SLA reg

Register links schieben.

```
   Befehlscode: 11001011 &CB Byte 1  Opcode
                00100rrr     Byte 2  Opcode

   Flag: S Z P C
         x x x x =Inhalt von Bit 7
```

SLA (HL)

```
   Speicherstelle links schieben.

   Befehlscode: 11001011 &CB Byte 1  Opcode
                00100110 &26 Byte 2  Opcode

   Flag: S Z P C
         x x x x  Inhalt von Bit 7
```

SLA (XY+dis)

```
   Indiziert adressierte Speicherstelle links schieben.

   Befehlscode: 11x11101     Byte 1  Opcode
                11001011 &CB Byte 2  Opcode
                <--dis->     Byte 3  Distanz
                00100110 &26 Byte 4  Opcode

   Flag: S Z P C
         x x x x  Inhalt von Bit 7
```

SRA reg

```
   Register "arithmetisch" rechts schieben.

   Befehlscode: 11001011 &CB Byte 1  Opcode
                00101rrr     Byte 2  Opcode
```

Flag: S Z P C
x x x x Inhalt von Bit 0

SRA (HL)

Speicherstelle "arithmetisch" rechts schieben.

Befehlscode: 11001011 &CB Byte 1 Opcode
00101110 &2E Byte 2 Opcode

Flag: S Z P C
x x x x Inhalt des Bit 0

SRA (XY+dis)

Indiziert adressierte Speicherstelle "arithmetisch" rechts schieben.

Befehlscode: 11x11101 Byte 1 Opcode
11001011 &CB Byte 2 Opcode
<--dis-> Byte 3 Distanz
00101110 &2E Byte 4 Opcode

Flag: S Z P C
x x x x Inhalt von Bit 0

SRL reg

Register rechts schieben.

Befehlscode: 11001011 &CB Byte 1 Opcode
00111rrr Byte 2 Opcode

Flag: S Z P C
x x x x Inhalt von Bit 0

SRL (HL)

Speicherstelle rechts schieben.

Befehlscode: 11001011 &CB Byte 1 Opcode
00111110 &3E Byte 2 Opcode

Flag: S Z P C
x x x x Inhalt von Bit 0

SRL (XY+dis)

Indiziert adressierte Speicherstelle rechts schieben.

Befehlscode: 11x11101 Byte 1 Opcode
11001011 &CB Byte 2 Opcode
<--dis-> Byte 3 Distanz
00111110 &3E Byte 4 Opcode

Flag: S Z P C
x x x x Inhalt von Bit 0

RLD

4 Bit Rotation (Nibble-Swap) zwischen Akku und Speicher.

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1 Opcode
01101111 &6F Byte 2 Opcode

Flag: S Z P C
x x x

RRD

4 Bit Rotation (Nibble-Swap) zwischen Akku und Speicher.

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1 Opcode
01100111 &67 Byte 2 Opcode

Flag: S Z P C
x x x

Die Standardanwendung der Rotations- und Schiebebefehle kommt beim "Rechnen" vor. Wir werden in unserem Beispiel die Befehle "entfremden" und für eine Verschiebung des Bildschirms benutzen.
Mit Hilfe der Blocktransferbefehle war es möglich, den Bildschirm horizontal zeichenweise zu verschieben. Mit den neuen Befehlen können wir eine Bit für Bit-Verschiebung bewirken.
Das Assemblerlisting:

```
A000 97       10    SUB A
A001 2100C0   20    LD HL,&C000
A004 CB3E     30    SRL (HL)
A006 23       40    INC HL
A007 BC       50    CP H
A008 20FA     60    JR NZ,&A004
A00A C9       70    RET
```

Sie erkennen die Grundstruktur der Schleife, mit der HL von &C000 bis &FFFF hochgezählt wird, wieder.
Neu ist der erste Befehl.
SUB A,A steht an Stelle des sonst verwendeten Befehls LD A,0. SUB A,A löscht den Akku. Dieser Befehl ist schneller, da er implizit adressiert ist.
LD A,0 ist unmittelbar adressiert, d.h. die Daten (0!) müssen zusätzlich gelesen werden. Nun das Kernstück des Programms:

```
SRL (HL)
```

Da HL den gesamten Adressenbereich durchlaufen soll, haben wir die indirekte Adressierung gewählt. SRL verschiebt die 8 Bit jedes Bildschirmbytes um eine Stelle nach rechts.
Setzen Sie mit Hilfe des Assemblerlistings das Programm in

DATA-Zeilen um, und laden Sie es mit dem BASIC-Lader ab Adresse &A000. Das Programm schiebt jedes Zeichen des Bildschirms nach rechts. Da wir das rechts herausfallende Bit nicht weiter berücksichtigen, sind die Zeichen rechts um ein Bit abgeschnitten.
Geben Sie nun folgendes ein:

```
FOR I=1 TO 8:CALL &A000:NEXT
```

Durch diesen Befehl wird der Bildschirm gelöscht. Die Zeichen verschwinden bitweise nach rechts, da bei dem SRL-Befehl das links hereinkommende Bit 0 (=kein Punkt) ist. Ersetzen wir SRL (HL) durch SLA(HL).
Der Code für diesen Befehl ist &CB,&25. Setzen Sie in den DATA-Zeilen für das 5te Element &25 (an Stelle von &3E) ein, und laden Sie erneut mit RUN. Dieses Programm bewirkt ähnliches, nur findet die Verschiebung nach links statt.
Probieren Sie auch SRA (HL) Code:&CB,&2E aus. Das 5te Byte in den DATA-Zeilen ist dann &2E. Nach der achtmaligen Ausführung durch die FOR-NEXT-Schleife ensteht ein merkwürdiges Muster auf dem Bildschirm. Das liegt daran, daß der SRA-Befehl das 7.Bit an seiner Stelle stehen läßt. Nach dem mehrfachen Ausführen des Befehls sind also alle Bits auf den vorherigen Wert von Bit 7 gesetzt.
Aus dem Buchstaben R der Ready-Meldung werden zwei waagerechte Striche (nach 8 maliger Ausführung). Der Grund dafür ist das Bitmuster dieses Buchstaben.

```
          76543210 Bit-Nummer
         1******
         2 **  **
         3 **  **
Zeile    4 *****
         5 ** **
         6 **  **
         7***   *
         8
```

Jedes Zeichen ist auf diese Weise in einem 8x8 Raster dargestellt. Beim R ist Bit 7 nur in Zeile 1 und Zeile 7 gesetzt. Führen Sie die acht Maschinenprogrammaufrufe einzeln hintereinander aus, so können Sie beobachten, daß das R davongeschoben wird, in Zeile 1 und 7 jedoch ein Strich entsteht.
Das e der Ready-Meldung verschwindet ganz, da bei diesem Zeichen kein Bit 7 gesetzt ist. Vom a bleibt ein Strich in Zeile 6, vom d in Zeile 4, 5 und 6 und von y wiederum kein Strich.
Machen Sie sich anhand dieses Ergebnisses klar, warum der SRA-Befehl als arithmetisch, dagegen der SRL-Befehl als logisch bezeichet wird. Versuchen Sie, auch die anderen Befehle in das Programm einzusetzen.

RRC hat den Code &CB,&DE; RLC hat den Code &CB,&06.
Ändern Sie den Lader und führen Sie das Programm 8 mal mit der FOR-NEXT-Schleife aus. Wir erkennen hier deutlich, warum diese Befehle als Rotierbefehle bezeichnet werden. Jedes Zeichen rotiert, d.h. die Bits, die rechts bzw. links (für RRC bzw. RLC) herausfallen, werden auf der anderen Seite wieder angefügt. Nach achtmaliger Ausführung befindet sich der Bildschirm wieder in der Ausgangsposition.
Nun bleiben noch die Befehle der 9 Bit Rotation, RL (Code &CB,&16) und RR (Code &CB,&1E).
Durch den Aufruf des Programms mit RR erhält der Bildschirm ein Streifenmuster. Nach jedem weiteren Aufruf verbreitern sich diese Streifen, bis schließlich nach 8 Aufrufen der gesamte Bildschirm weiß ist. Das ist aber keinesfalls das erwartet Ergebnis. Durch die 8 Bit Rotation müßte der Bildschirminhalt um ein Bit in die jeweilige Richtung verschoben worden sein.

(siehe Abbildung 11:Kapitel 4.8)

Der Inhalt sollte um 1 Bit nach rechts verschoben sein, da das rotierte Bit im Carry gespeichert wird und dann in das nächste Byte hineinrotiert.

Da aber das erwartete Ergebnis nicht eingetreten ist, liegt offensichtlich ein Programmfehler vor.
Versuchen Sie, diesen Fehler zu finden und überlegen Sie sich eine Lösungsmöglichkeit!
(Tip: Achten Sie auf die Flagbeeinflußung!)

Da jeweils das 1te Bit eines Zeichens nach der Ausführung gesetzt ist (=die "Striche" auf dem Bildschirm) und dieses Bit aus dem Carry-Flag geholt wird, war das Carry immer eins. Damit entsprach es nicht dem letzten Bit des vorherigen Bytes. Wie ist das möglich?
Betrachten wir die anderen Befehle des Programmes. Nach der Rotation kommt der INC HL-Befehl. Die 16 Bit Zählbefehle beeinflußen die Flags nicht. Darauf folgt CP H. Hier liegt der Fehler!
Aufgabe des CP-Befehls ist es, Flags zu setzen. Er beeinflußt bei jedem Schleifendurchlauf das Carry. Da H größer als A (A=0) ist, wird das Carry jedesmal gesetzt (nur nicht beim ersten Durchlauf). Das gesetzte Carry-Flag wird nun durch RR auf dem Bildschirm rotiert, und dieser wird weiß.

Zur Lösung dieses Problems gibt es zwei Möglichkeiten:

1. - Zwischenspeichern der Flags vor jedem CP-Befehl
2. - Umgehen der Flagveränderung

Zu 1.) Mit den Stapelbefehlen ist es möglich, das F-Register auf den Stapel zu retten (direkt nach dem Rotierbefehl) und dann wieder (direkt vor dem Rotierbefehl) vom Stapel zu holen. RR muß also PUSH AF (=retten auf den Stapel) und vor RR der Befehl POP AF (=holen vom Stapel) eingefügt werden. Zusätzlich müssen wir beachten, daß der Stapel nicht durcheinander gerät.
Der erste Stapelbefehl in unserem Programm wäre, wie oben beschrieben, POP AF. Das wäre falsch, da dadurch Daten abgelesen werden, die noch gar nicht auf dem Stapel liegen. Vielmehr würde dadurch die Rücksprungadresse geholt werden.

Das Programm würde beim Versuch eines Rücksprunges an die falsche Adresse verzweigen. Deshalb muß einmal vor der Schleife PUSH AF und nach der Schleife (vor RET) POP AF eingefügt werden.
Achten Sie bei der Benutzung von PUSH und POP immer auf die richtige Abfolge. Nach diesen Verbesserungen sieht das Programm folgendermaßen aus:

```
A000 97          10      SUB  A
A001 F5          15      PUSH AF
A002 2100C0      20      LD HL,&C000
A005 F1          25      POP  AF
A006 CB1E        30      RR   (HL)
A008 F5          35      PUSH AF
A009 23          40      INC  HL
A00A BC          50      CP   H
A00B 20FB        60      JR   NZ,&A005
A00D F1          65      POP  AF
A00E C9          70      RET
```

Auch wenn ein BASIC-Programm für diese 1 Bit Verschiebung eine Minute braucht, ist dieses Maschinenprogramm schon fast zu langsam. Durch die beiden Stapelbefehle in der Schleife, die 16 000 mal durchlaufen wird, verlängert sich das Programm unnötig. Um diesen Nachteil in Bezug auf die Geschwindigkeit wettzumachen, geben wir nun die zweite Möglichkeit an
Zu 2.) Damit der JR NZ-Befehl funktioniert und trotzdem das Carry unbeeinflußt bleibt, benötigen wir einen Befehl, der das Z-Flag aber nicht das C-Flag beeinflußt. Diese Forderung erfüllen die 8 Bit Zählbefehle. Zum Erhöhen des Registerpaares HL sind zwei 8 Bit Zählbefehle notwendig. Zuerst erhöhen wir das Low-Byte. Ist L nach der Erhöhung nicht 0, wird die Schleife wiederholt.
Ist L dagegen 0, so muß H um 1 erhöht werden.

Beispiel:

	H=&C0	L=&FE	HL=&C0FE
nach dem Erhöhen:	H=&C0	L=&FF	HL=&C0FF
nach dem Erhöhen:	H=&C1	L=&0	HL=&C100

Der neue Programmteil:

```
INC  L
JR   NZ,Adresse
INC  H
JR   NZ,Adresse
RET
```

Außerdem kann der SUB A-Befehl weggelassen werden, da der Akku nicht mehr benutzt wird.
Assemblerlisting:

```
A000 2100C0      10      LD  HL,&C000
A003 CB1E        20      RR  (HL)
A005 2C          30      INC L
A006 20FB        40      JR  NZ,&A003
A008 24          50      INC H
A009 20F8        60      JR  NZ,&A003
A00B C9          70      RET
```

Setzen Sie das Programm in DATA-Zeilen um:

```
60 DATA &21,&00,&C0,&CB,&1E,&26,&20,&FB
70 DATA &24,&20,&F8,&C9
```

Laden Sie es durch RUN mit dem BASIC-Lader und probieren Sie.

Der RRD-Befehl: Ändern Sie &CB (Byte 4) zu &ED und &1E zu &67 um. Nach dem Laden führt dieses Programm eine Verschiebung um 4 Bit (1 BCD Ziffer) aus.
Testen Sie folgendes BASIC-Programm:

```
5 MODE 2
```

```
10 FOR K=1 TO 4
20 FOR I=0 TO 11
30 LOCATE (K-1)*8+1,12-I:PRINT"HALLO":
35 LOCATE (K-1)*8+1,12+I:PRINT"HALLO"
0 FOR J=1 TO K
50 CALL &A000
60 NEXT J
70 NEXT I
80 NEXT K
```

4.9 BIT-MANIPULATIONS-BEFEHLE

Im Kapitel 4.7 wurde gezeigt, wie man die logischen Operationen zum Setzen oder Rücksetzen einzelner Bits oder Gruppen von Bits im Akku benutzen kann. Es ist jedoch nützlich, wenn die Möglichkeit besteht, mit einem Befehl ein beliebiges Bit in einem beliebigen Register oder einer Speicherstelle zu setzen oder rückzusetzen. Da das eine erhebliche Anzahl von Befehlen beansprucht, stehen in den meisten CPUs dafür nur wenige oder keine Befehle zur Verfügung. Der Z80 ist in dieser Beziehung sehr gut "versorgt". Die Bit Testbefehle eingeschlossen, besitzt er 120 Befehle zur Bit-Manipulation.
Die Bit Testbefehle prüfen, ob ein bestimmtes Bit in einem Register oder in einer Speicherstelle gesetzt oder rückgesetzt ist. Je nach Ausgang des Tests, wird das Zero-Flag gesetzt oder rückgesetzt. Das Carry bleibt unbeeinflußt, S-Flag und P/V-Flag sind nach der Ausführung unbestimmt (!). Die beiden Befehle zum Setzen (SET) und Rücksetzen (RES) vom Bit üben keinen Einfluß auf die Flags aus.
Alle Bit Befehle beginnen mit dem Opcode &CB (wie immer mit Ausnahme der indiziert adressierten). Der zweite Opcode ergibt sich aus der Bitnummer und dem Register-Code.
Zum Adressieren des betroffenen Bytes stehen folgende

Adressierungsarten zur Verfügung:

- implizite :Register A, B, C ,D, E, H, L
- indirekte :(HL)
- indizierte :(XY+dis)

Format:

BIT b,reg	BIT b,(HL)	BIT b,(XY+dis)
RES b,reg	RES b,(HL)	RES b,(XY+dis)
SET b,reg	SET b,(HL)	SET b,(XY+dis)

b=Bitnummer

Die Bitnummer b wird wie folgt codiert:

0- 000	4- 100
1- 001	5- 101
2- 010	6- 110
3- 011	7- 111

Alle diese Befehle werden auch als Bit adressierte Befehle bezeichnet, da das anzusprechende Bit im Opcode angegeben wird.

Beispiele:

```
BIT 6,B        B:&33


      &X00110011  =&33
         *
        76543210  -Bitnummer
```

*:Bit Nummer 6 ist 0.
Das Z-Flag wird, da Bit 6=0 ist, auf 1 gesetzt.
Nach der Ausführung:

```
       B=&33       Flag: S Z V C
                         U 1 U    U=S-,V-Flag sind unbekannt

RES 1,(HL)    HL:&A975
              &1975=&23

      &X00100011  =&23
                *
        76543210  -Bitnummer
```

*:Bit Nummer 1 wird rückgesetzt.

```
      &X00100001  =&21
```

Speicherstelle &A975 nach der Ausführung:&21

Flags: S Z V C
- kein Einfluß

```
SET 7,C       C:&7F

      &X01111111  =&7F
        *
        76543210  -Bitnummer
```

*-Bit 7 wird gesetzt.

```
      &X11111111  =&FF
```

C-Flag ist nach der Ausführung:&FF

Flag: S Z V C
- kein Einfluß

Analogien zum BASIC

Versuchen wir den SET b,A-Befehl in BASIC nachzuvollziehen:
Bit b soll gesetzt werden. Mit dem OR-Befehl haben wir die

Möglichkeit bestimmte Bits zu setzen. Das b-te Bit hat den Stellenwert 2^b. Es gilt:

```
SET b,A          BASIC: A=A OR (2^b)
```

Für RES gilt ähnliches:

```
RES b,A          BASIC: A=A AND (255-2^b)
```

Die Spezialbefehle SCF und CCF:
Da das Bit 0 im F-Register (das Carry) besonders häufig benutzt wird, gibt es dafür zwei Spezialbefehle.
SCF setzt das Carry auf den Wert 1.
CCF komplementiert den Wert des Carry-F., d.h. aus C=0 wird C=1 und umgekehrt.
Das sind die einzigen Befehle, mit denen die Flags direkt beeinflußt werden können.
Mit den logischen Befehlen kann das Carry gelöscht werden.

Bei der Befehlsliste steht b für die Nummer des zu testenden Bits. Im Opcode wird der Code für die Bitnummer durch -bbb- ausgedrückt.

BIT b,reg

Testen des reg Bits im Register.

Befehlscode:	11001011 &CB	Byte 1	Opcode
	01bbbrrr	Byte 2	Opcode

Flag:	S	Z	V	C
	U	x	U	

BIT b,(HL)

Testen eines Bits in Speicherstelle.

Befehlscode:	11001011 &CB	Byte 1	Opcode
	01bbb110	Byte 2	Opcode

Flag:	S	Z	V	C
	U	x	U	

BIT b,(XY+dis)

Testen eines Bits in indiziert adressierter Speicherstelle.

Befehlscode:	11x11101	Byte 1	Opcode
	11001011 &CB	Byte 2	Opcode
	<--dis->	Byte 3	Distanz

```
                01bbb110      Byte 4  Opcode

   Flag: S Z V C
         U x U
```

SET b,reg

Setzen des reg-Bits im Register

```
   Befehlscode: 11001011 &CB Byte 1  Opcode
                11bbbrrr     Byte 2  Opcode
```

Flag: S Z V C

SET b,(HL)

Setze Bit (b) in der Speicherstelle.

```
   Befehlscode: 11001011 &CB Byte 1  Opcode
                11bbb110     Byte 2  Opcode
```

Flag: S Z V C

SET b,(XY+dis)

Testen

```
   Befehlscode: 11x11101     Byte 1  Opcode
                11001011 &CB Byte 2  Opcode
                <--dis->     Byte 3  Distanz
                11bbb110     Byte 4  Opcode
```

Flag: S Z V C

RES b,reg

Rücksetzen des Bit im Register.

```
Befehlscode: 11001011 &CB Byte 1  Opcode
             10bbbrrr     Byte 2  Opcode
```

Flag: S Z V C

RES b,(HL)

Rücksetzen eines Bits in Speicherstelle.

```
Befehlscode: 11001011 &CB Byte 1  Opcode
             10bbb110     Byte 2  Opcode
```

Flag: S Z V C

RES b,(XY+dis)

Rücksetzen eines Bits in indiziert adressierte Speicherstelle.

```
Befehlscode: 11x11101     Byte 1  Opcode
             11001011 &CB Byte 2  Opcode
             <--dis->     Byte 3  Distanz
             10bbb110     Byte 4  Opcode
```

Flag: S Z V C

CCF

Komplementieren des Übertragsbit.

Befehlscode: 00111111 &3F Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C
! ! :wird komplementiert

SCF

Setzen des Übertragsbits.

Befehlscode: 00110111 &37

Flag: S Z V C
1

Programme zu den Bit-Befehlen

Schreiben Sie ein Programm, das den Bildschirm im Modus 2 mit Streifen füllt, die einen Punkt breit sind und in der Mitte eines Zeichens liegen. Benutzen Sie dabei wieder die Schleife aus den vorherigen Programmen.

Assemblerlisting

```
A000 2100C0    10   LD  HL,&C000
A003 CBDE      20   SET 3,(HL)
A005 2C        30   INC L
A006 20FB      40   JR  NZ,&A003
A008 24        50   INC H
A009 20F8      60   JR  NZ,&A003
A00B C9        70   RET
```

BASIC-Programm

```
5 MEMORY &9FFF
10 FOR i=&A000 TO &A00B
20 READ a
30 POKE i,a
40 NEXT i
50 MODE 2
60 CALL &A000
70 END
100 DATA &21,&00,&C0,&CB,&DE,&2C,&20,&FB
110 DATA &24,&20,&FB,&C9
```

An Stelle von SET 3,(HL) kann auch SET 4,(HL) Code:&CB,&E6) eingesetzt werden. In der DATA-Zeile muß dann &DE durch &E6 ersetzt werden.

4.10 SPRÜNGE

Ein Großteil der Sprünge ist bedingt, d.h. vom Status eines Flags abhängig. Wir werden hier die Rolle jedes Flags nochmal zusammenfaßend beschreiben.
Die beiden Flags H und N werden bei der BCD-Arithmetik verwendet. Sie können nicht getestet werden. Die anderen Flags (C, P/V, Z, S), können bei einer bedingten Verzweigung getestet werden.

Carry-Flag (Übertrag,C)

Das Carry-Flag hat zwei Funktionen.
- Es gibt an, ob bei einer Addition oder Subtraktion ein Übertrag auftrat.
- Die Befehle SRL, SRA, SLA, RR, RL, RRC, RLC, RRA, RLA, RRCA und RLCA benutzen das Carry als 9tes Bit.

Eine Ausnahme bilden die BCD-Rotierbefehle RLD, RRD. Sie beeinflußen das Carry nicht.
Die logischen Befehle AND, OR und XOR setzen das Carry immer auf 0. Sie können verwendet werden, um das Carry zu löschen. Folgende Befehle rufen außerdem eine Veränderung des Carry hervor.

NEG: C-Flag wird gesetzt, wenn A vor dem Befehl 0 war.

DAA: Die Beeinflußung dieses Befehls ist kompliziert. Weil wir die BCD-Arithmetischen Befehle nicht behandelt haben, gehen wir nicht näher auf diese Beeinflußung ein.

SCF: Set Carry-Flag
Dieser Befehl setzt Carry=1.

CCF: Complement Carry-Flag
Dieser Befehl komplementiert das Carry.

Alle anderen Befehle beeinflußen das Carry nicht!

Parity/Overflow (Parität/Überlauf-P/V)

Dieses Flag hat mehrere Funktionen, abhängig von dem ausgeführten Befehl.

- Überlauf

Bei den Arithmetischen Operationen 8 Bit-ADD, ADC, SUB, SBC, 8 Bit-INC, 8 Bit-DEC, NEG und bei CP zeigt es einen Überlauf an. Das bedeutet, daß das Vorzeichen einer Zahl fehlerhaft geändert wurde.
Ausnahmen: 16 Bit-ADD, 16 Bit-INC, 16 Bit-DEC
Diese Befehle beeinflußen V nicht.

-Parität

Bei Input-Befehlen (IN), Rotation- und Schiebebefehlen RR, RL ,RRC, RLC, RLD, RRD, SLA, SRA und SRL, logischen Befehlen AND, OR, XOR und bei DAA wird dieser Flag als P-Flag benutzt. P ist 1, wenn die Anzahl der Einzen eines Bytes gerade ist und 0, wenn die Anzahl der gesetzten Bits ungerade ist.
Ausnahmen: RLA, RRA, RLCA, RRCA beeinflußen P nicht!

- Bei den Block-Befehlen LDD, LDI, CPD, CPI, CPDR und CPIR ist P/V zurückgesetzt, wenn BC=0 war (BC ist das Zählregister), sonst gesetzt.
Aus diesem Grund wird P/V durch LDDR und LDIR immer zurückgesetzt.

- Interrupt-Flag

Bei LD A,I und LD A,R wird P/V auf den Wert der Interrupt-Enable-Flip-Flops (IFF) gesetzt. Dieser ist 0,

wenn die maskierbaren Interrupts gesperrt sind, und 1, wenn sie zugelassen sind.

ACHTUNG: Der BIT-Befehl und alle Block - Ein - und - Ausgabe - Befehle setzen dieses Flag willkürlich, d.h. sie verändern unter Umständen den vorherigen Wert. Andere Befehle beeinflußen dieses Flag nicht.

Zero-Flag (Null,Z)

Das Z-Flag zeigt an, ob der Wert eines Bytes Null ist. Ist er 0, wird Z gesetzt, sonst rückgesetzt.
Bei den Vergleichsbefehlen wird Z bei vorliegender Gleichheit auf 1 gesetzt sonst rückgesetzt.
Beim BIT-Befehl wird das Zero-Flag auf 1 gesetzt, wenn das getestete Bit 0 ist, sonst rückgesetzt.
Folgende Befehle beinflußen das Z-Flag:

```
Arithmetische    : ADD,ADC,SUB,SBC,INC,DEC,NEG,DAA
       ACHTUNG   :   16 Bit-ADD,16 Bit-INC,16 Bit-DEC:Kein
Einfluß!
Vergleich        : CP : Z=1 bei Gleichheit, sonst Z=0
Bit              : BIT
Rotier/Schiebe   : RR,RL,RRC,RLC,SRL,SRA,SLA,RLD,RRD
       ACHTUNG   : RRA,RLA,RRCA,RLCA: Kein Einfluß!
Block/Suchen     : CPI,CPIR,CPD,CPDR: Z=1 bei Gleichheit
Eingabe          : IN
Ladebefehle      : LD A,I bzw. LD A,R
```

Blockein/ausgabe: Z ist gesetzt, wenn nach der Ausführung B=0 ist, d.h. INI,IND,OUTI,OUTD beeinflußen Z in dieser Weise und INIR;INOR;OTIR;OTDR setzen Z auf 1.
Alle anderen Befehle beeinflußen Z nicht!

Sign-Flag (Vorzeichen, S)

Das Sign-Flag enthält den Wert des höchsten Bit eines Bytes. Dieses Bit entspricht bei der vorzeichenbehafteten

Arithmetik dem Vorzeichen.

Folgende Befehle beeinflussen das S-Flag:

Alle Arithmetisch bzw. Logischen Befehle:
ADD,ADC,SUB,SBC,INC,DEC,NEG,DAA,AND,OR,XOR,CP

Die Rotier- und Schiebe-Befehle:
RL,RR,RLC,RRC,SRL,SRA,SLA,RLD,RRD,

Blocksuchbefehle CPD,CPI,CPDR,CPIR,

Eingabebefehl IN und die Ladebefehle LD A,I und LD A,R

ACHTUNG: 16 Bit ADD,16 Bit INC,16 Bit DEC,RLA,RRA,RLCA,RRCA:
Kein Einfluß!

Der BIT-Befehl und die Block-Ein-und-Ausgabe-Befehle INI,IND,OUTI,OUTD,INIR,INDR,OTIR,OTDR setzen das S-Flag willkürlich in einen unbestimmten Zustand.
Die Flagbeeinflußung der einzelnen Befehle, können sie im Anhang nachlesen.

Es gibt fünf verschiedenen Arten von Sprüngen beim Z80.

- Sprünge innerhalb des Hauptprogramms (JUMP), die dem BASIC-Befehl GOTO entsprechen.
- Unterprogrammverzweigungen (CALL und RET), die den BASIC-Befehlen GOSUB und RETURN entsprechen.
- Relative Sprünge (JUMP RELATIVE), die dem BASIC-Befehl FOR-NEXT ähnlich sind.
- Restart Befehle (RST), die eine Verzweigung zu einer fest vorgegebenen Adresse ausführen. Der RST-Befehl besitzt kein BASIC-Analog.
- Interruptsprünge (siehe Steuerbefehle)

Die ersten drei Verzweigungsarten sind beim Z80 als

Unbedingte und Bedingte Sprünge, d.h. in Abhängigkeit eines Flag Status, vorhanden. Bei den bedingten Sprüngen kann aufgrund der Flags Z ,C , P/V und S gesprungen werden. Jedes Flag kann entweder auf den Wert 0 oder 1 getestet werden.
In der Assemblersprache gelten folgende Abkürzungen:

```
 Z= Springe wenn Null              (Z=1)
NZ= Springe wenn nicht Null        (Z=0)
 C= Springe wenn Übertrag          (C=1)
NC= Springe wenn kein Übertrag     (C=0)
PO= Springe wenn ungerade Parität  (P/V=0)
PE= Springe wenn gerade   Parität  (P/V=1)
 P= Springe wenn plus  (+)         (S=0)
 M= Springe wenn minus (-)         (S=1)
```

Zusätzlich kennt der Z80 einen speziellen Schleifenbefehl, der das B-Register dekrementiert und dann einen relativen Sprung ausführt, solange B<>0 ist. Dieser Befehl heißt DJNZ (Dekrementiere Jump Non Zero).

JUMP

Die Verzweigungen im Hauptprogramm werden durch den JP-Befehl ausgeführt. Die Sprungadresse kann auf zwei Arten adressiert sein.

Absolute Adressierung:

Format:

```
JP adr        oder   JP cond,adr
```

cond steht für eine Bedingung (Condition), also für Z,NZ,C,NC,PO,PE,P oder M.

JP adr -springt "unbedingt" an die angegebene Adresse.
JP cond,adr-springt an die angegebene Adresse,
wenn die Bedingung erfüllt ist. Ist die Bedingung nicht

erfüllt, wird der nächste Befehl ausgeführt.

Analogie

```
JP adr          BASIC: GOTO Zeilennummer
JP NZ,adr       BASIC: IF Z=0 THEN GOTO Zeilennummer
JP Z,adr        BASIC: IF Z=1 THEN GOTO Zeilennummer
```

Der Prozessor führt einen Sprung aus, indem er die angegebene Adresse in den PC liest. Dann wird an dieser Stelle der nächste Befehlscode gelesen und ausgeführt.
Bei der absoluten Adressierung folgt auf den 1 Byte Opcode die jeweilige Sprungadresse in der Reihenfolge Low-Byte, High-Byte. Da alle 3 Byte Befehle relativ langsam sind, wurden die relativen Sprünge ermöglicht, da sie nur 2 Byte Befehle sind. Die indirekt adressierten Sprünge haben einen 1 Byte Opcode.

Indirekte Adressierung

Format:

JP (X)

X: HL,IX oder IY

JP(X) springt an die im Register x angegebene Adresse.

CALL/RET

Wie die Rücksprungadressen bei CALL und RET mit Hilfe des Stapels und des SP gespeichert bzw. gelesen werden, haben wir bereits besprochen. Ein Aufruf eines Unterprogrammes ist bedingt oder unbedingt möglich. Die Sprungadresse (=Startadresse des Unterprogrammes) wird absolut angegeben.

Format:

CALL adr oder CALL cond,adr

Bei der Ausführung werden alle notwendigen Operationen am Stapel, SP und PC vorgenommen. Der Ablauf ist folgendermaßen:
Nach dem kompletten Einlesen des Befehls, zeigt PC auf den nächstfolgenden Befehl. Dann folgen die Operationen.

(SP-1)=PC -(High-Byte)
(SP-2)=PC -(Low -Byte)
SP=SP-2
PC=adr

Der nächste Befehl wird, von der Adresse auf die PC zeigt, gelesen. Zum Abschluß eines Unterprogrammes wird ein RET-Befehl gesetzt. Auch das RETURN ist unbedingt oder bedingt möglich.

Format:

RET oder RET cond

Bei der Ausführung des RET-Befehls geschieht folgendes:

PC -(Low -Byte)=(SP)
PC -(High-Byte)=(SP+1)
SP=SP+2

Die Programmausführung wird an der vom Stapel geholten Adresse fortgesetzt.
Der RET-Befehl ist im Gegensatz zum CALL-Befehl nur 1 Byte lang. Bei CALL muß die 16 Bit Adresse angegeben werden, d.h. dieser Befehl ist 3 Bytes lang.
Es gibt zwei Spezialrücksprünge RETI und RETN, die im Kapitel Steuerbefehle besprochen werden.

Jump Relativ

Die relativen Sprünge springen relativ zur aktuellen Adresse. Die Sprungweite (Distanz) muß angegeben werden. Das erste Byte ist der Opcode und das zweite gibt die Distanz mit Vorzeichen an (im Zweierkomplement). Dieses Verfahren bezeichnet man als relative Adressierung. Die Distanz nennt man in diesem Fall den Offset.

Format:

```
JR e       oder    JR cond,e
   e: Offset
cond: Z,NZ,C,NZ
```

Bedingte relative Sprünge sind nur aufgrund des C- und Z-Flags möglich. Wie wird der Offset berechnet ?
Betrachten wir das letzte Programm von Kapitel 4.9. An Adresse &A006 steht der JR-Defehl. Das Sprungziel ist der SET 3,(HL)-Befehl an Adresse &A003. Die Differenz ist also &A006 bis &A003=3. Da es sich um einen "Rückwärtssprung" handelt (Zieladresse ist kleiner als die "Absprungadresse"), ist der Offset -3. Um das 2.Byte des Befehls zu erhalten, müssen wir vom Offset zwei subtrahieren.
Warum ist diese Subtraktion notwendig?
Der Prozessor liest immer erst den kompletten Befehl ein, in diesem Fall also den Opcode (Byte 1) und den Offset (Byte 2). Nach jedem "Lesen" wird PC um eins erhöht. Nachdem der Befehl komplett gelesen wurde, steht der PC auf der Anfangsadresse des nächsten Befehls. Der Programmzeiger ist folglich um 2 höher, als die Adresse des Sprungbefehls. Der Z80 führt den Sprung aus, indem er die Distanz zum PC addiert. Aus diesem Grund müssen wir die Erhöhung des PC um 2 mit berücksichtigen. Bei einem "Rückwärtssprung" ist es notwendig, diese beiden Bytes mit zu überspringen. Die zu speichernde Distanz berechnet sich aus:

-3-2=-5= &FB im Zweierkomplement

Dieses Byte ist im Assemblerlisting an Adresse &A007, auf den Opcode an Adresse &A006 folgend, angegeben. In Assemblersprache wird diese Differenz von 2 nicht angegeben. Der Befehl lautet JR $-3 ($ steht für die aktuelle Adresse des Befehls). Das Assemblerprogramm führt die Subtraktion von 2 und die Umrechnung ins Zweierkomplemente durch. Die absolute Adresse kann ebenfalls angegeben werden, also &A003. Der Assembler berechnet die Differenz von $ (aktuelle Adresse) zu &A003 und speichert den richtigen Offset. Obwohl im Assemblerbefehl die 16-Bit-Adresse angegeben ist, handelt es sich um einen relativen Sprung. Unter Berücksichtigung der Subtraktion sind Sprünge von +129 bis zu -126 Bytes relativ zur aktuellen Adresse möglich.
Fassen wir die Art und Weise der Berechnung des Offset-Bytes zusammen:

```
Sprungbefehl  steht an Adresse ADR
Sprungziel    steht an Adresse ADRZ
Offset = ADRZ-ADR
Zu speicherndes Byte: (Offset-2)im Zweierkomplement
```

Aufgabe:

Im Assemblerlisting (Kapitel 4.9) steht ein relativer Sprung an Adresse &A009. Sprungziel ist wieder &A003. Berechnen Sie das Offset-Byte und vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Assemblerlisting.

Damit haben wir die wichtigsten Befehle behandelt. Greifen wir auf ein Programm aus dem Kapitel über Ladebefehle zurück.
Aufgabe des Programms war es, das linke obere Kästchen des Bildschirms zu füllen. Diese Aufgabe kann besser mit einer Schleife gelöst werden.
Im BASIC erhalten wir:

```
10 FOR I=&C000 TO &FFFF STEP &800
```

```
20 POKE I,&FF
30 NEXT
```

Zum Umformulieren des Programms in Maschinensprache laden wir das HL-Registerpaar mit der Startadresse &C000. Um die STEP &800 Anweisung zu übersetzen, wird DE mit &800 geladen und eine 16-Bit Addition durchgeführt. Ist nach der Addition das Carry gesetzt, so ist das Programmende erreicht. Schreiben Sie mit Hilfe dieser Angaben das Maschinenprogramm.

Lösung:

```
A000 2100C0    10   LD  HL,&C000
A003 110008    20   LD  DE,&800
A006 36FF      30   LD  (HL),&FF
A008 19        40   ADD HL,DE
A009 30FB      50   JR  NC,&A006
A00B C9        60   RET
```

Verändern Sie nun dieses Programm derartig, daß das Kästchen nicht gefüllt, sondern das jeweilige Zeichen invers dargestellt wird.

Lösung:

```
A000 2100C0    10   LD  HL,&C000
A003 110008    20   LD  DE,&800
A006 7E        30   LD  A,(HL)
A007 2F        40   CPL
A008 77        50   LD  (HL),A
A009 19        60   ADD HL,DE
A00A 30FA      70   JR  NC,&A006
A00C C9        80   RET
```

Anstelle der Invertierung des jeweiligen Bytes mit CPL ist natürlich auch ein XOR &FF-Befehl möglich. Dieser ist aber länger (2 Bytes) und damit langsamer.

Der DJNZ-Befehl ermöglicht eine komfortablere Schleifenprogrammierung. Der Offset wird wie bei JR als zweites Byte angegeben. Das B-Register wird als Zähler verwendet. Um acht Schleifenwiederholungen zu erreichen, muß B mit 8 geladen werden, da bei B=0 nicht mehr gesprungen wird. Der JR-Befehl wird durch DJNZ ersetzt, und am Anfang wird B mit 8 geladen.

Assemblerlisting

```
A000 0608      10   LD   B,8
A002 2100C0    20   LD   HL,&C000
A005 110008    30   LD   DE,&800
A008 7E        40   LD   A,(HL)
A009 2F        50   CPL
A00A 77        60   LD   (HL),A
A00B 19        70   ADD  HL,DE
A00C 10FA      80   DJNZ &A008
A00E C9        90   RET
```

Restart

Dieser Typ von Sprungbefehlen hat die minimale Länge von einem Byte und wird daher am schnellsten von allen Sprungbefehlen ausgeführt (ausgenommen RET). Der RST-Befehl, den wir in Zukunft als Restart bezeichnen, bewirkt einen Unterprogrammsprung an eine Adresse im unteren Teil des Speichers. Es gibt acht Restart-Befehle. Die Verzweigungsadressen der Restarts sind 0, &8, &10, &18, &20, &28, &30 und &38.

Format:

RST adr
adr:Eine der oben genannten 8 Bit Adressen.

Da der Restart der schnellste Sprungbefehl ist, stehen im unteren Teil des Speichers (0-&40) sehr wichtige, oft benutzte Routinen bzw. Sprünge zu diesen Routinen. Die genaue Funktion der einzelnen Restart-Befehle werden wir später untersuchen.

JP adr

Unbedingter Sprung

PC=adr

Befehlscode: 11000011 &C3 Byte 1 Opcode
<--adr-> Byte 2 Adresse
<--adr-> Byte 3 Adresse

Flag: S Z V C

JP cond,adr

Bedingter Sprung, wenn cond erfüllt ist.

PC=adr

Befehlscode: 11ccc010 Byte 1 Opcode
<--adr-> Byte 2 Adresse
<--adr-> Byte 3 Adresse

Flag: S Z V C

JR of

Relativer unbedingter Sprung.(of- Offset)

PC=PC+of

Befehlscode: 00011000 &18 Byte 1 Opcode

```
                <-of-2->      Byte 2  Offset
```

Flag: S Z V C

JR con,of

Relativer Sprung auf Bedingung con.

```
                PC=PC+of

Befehlscode: 001cc000      Byte 1  Opcode
                <-of-2->      Byte 2  Offset
```

Flag: S Z V C

JP (HL)

Sprung über Registerinhalt.

```
                PC=HL

Befehlscode: 11101001 &E9 Byte 1  Opcode
```

Flag: S Z V C

JP (XY)

Sprung über Indexregisterinhalt.

```
                PC=XY

Befehlscode: 11x11101      Byte 1  Opcode
                11101001 &E9 Byte 2  Opcode
```

Flag: S Z V C

```
DJNZ of

   Schleifenbefehl

   Befehlscode: 00010000 &10 Byte 1  Opcode
                <-of-2->     Byte 2  Offset

   Flag: S Z V C


CALL adr

   Unterprogrammaufruf

                (SP-1)=PC High,(SP-2)=PC Low,PC=adr,

   Befehlscode: 11001101 &CD Byte 1  Opcode
                <--adr->     Byte 2  Adresse
                <--adr->     Byte 3  Adresse

   Flag: S Z V C


CALL cond,adr

   Bedingter Unterprogrammaufruf.

                (SP-1)=PC High,(SP-2)=PC Low,PCc=adr,

   Befehlscode: 11ccc100     Byte 1  Opcode
                <--adr->     Byte 2  Adresse
                <--adr->     Byte 3  Adresse

   Flag: S Z V C
```

RET

Rücksprung vom Unterprogramm.

PC Low=(SP),PC High=(SP+1),

Befehlscode: 11001001 &C9 Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C

RET cond

Bedingter Rücksprung vom Unterprogramm.

PC Low=(SP),PC High=(SP+1),

Befehlscode: 11ccc000 Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C

RETI

Rückkehr von INT-Bedienprogramm.

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1 Opcode
01001101 &4D Byte 2 Opcode

Flag: S Z V C

RST p

Ansprung von Service-Routinen.(P- Eine der Adressen &00,&08,&10,&18,&20,&28,&30,&38)

(SP-1)=PC High,(SP-2)=PC Low,PC High=0,PC Low=p

Befehlscode: 11ttt111 Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C

ttt: &00-000 &20-100
&08-001 &28-101
&10-101 &30-110
&18-011 &38-111

STEUERBEFEHLE

Die Steuerbefehle verändern bzw. beeinflußen die Betriebsart oder den Ablauf in der CPU.

Der NOP-Befehl

NOP steht für No Operation. NOP ist also ein Befehl ohne Funktion. Das erscheint paradox, hat jedoch seine Berechtigung. Einerseits kann NOP zur absichtlichen Verzögerung benutzt werden (ein NOP-Befehl dauert beim CPC eine Mikrosekunde (10^-6sek), andererseits kann dieser Befehl als Platzhalter in Programmen verwendet werden. Eine Fehlersuche und Fehlerbeseitigung kann dadurch vereinfacht werden. Der Opcode von NOP ist &00, d.h. läuft das Programm versehentlich in einen gelöschten Bereich, wird nichts zerstört oder geändert, da NOP keine Veränderungen verursacht.

HALT-Befehl

Dieser Befehl unterbricht die Operationen der CPU solange, bis ein Reset oder ein Interrupt auftritt.

Interrupt-Steuer-Befehle

Ein Interrupt (-Unterbrechung) dient vorrangig der Bearbeitung wichtiger Abläufe im Rechner. Ein Interrupt ist die Meldung eines Bausteines über den Eintritt eines Zustandes, wie z.B. das Warten eines I/O-Gerätes auf Eingabe. Diese Meldungen werden nach Wichtigkeit von der CPU verarbeitet. Ein normal ablaufendes Programm wird durch einen Interrupt unterbrochen. Interrupts spielen bei der Ein- und Ausgabe eine wichtige Rolle. Der Schneider bietet die Möglichkeit, Interrupts auch vom BASIC aus zu

programmieren (ERVERY-AFTER). Der Interrupt wird bei diesen Befehlen durch die interne Uhr des Prozessors ausgelöst. Wird ein zugelassener Interrupt angefordert, so verzweigt das Programm an die Startadresse eines Unterprogramms, das die dem jeweiligen Interrupt entsprechenden Aktionen ausführt. Aus diesem Interrupt-Bedien-Programm wird mit RETI (Return Interrupt) ins Hauptprogramm zurückgesprungen.
Es wird zwischen maskierbaren und nicht-maskierbaren Interrupts unterschieden. Letztere werden unter allen Umständen ausgeführt. Sie besitzen höchste Priorität. ein Rücksprung von einem Non-Mascerable-Interrupt ist mit RETN möglich.

DI-Disable Interrupt und EI

Der DI-Befehl bewirkt, daß ab dem Zeitpunkt seiner Ausführung maskierbarer Interrupts nicht beachtet werden. Die Interrupts sind so lange gesperrt, bis sie durch EI (Enable Interrupt) wieder zugelassen werden.
Der Z80 besitzt drei Interrupt Modi : IM 0, IM 1, IM 2

IM 0 (Interrupt Modus 0)

Mit IM 0 kann vom Standartmodus 1 in den Modus 0 geschaltet werden.
Nach einem Interrupt wartet der Prozessor in diesem Modus auf den Befehl eines externen Gerätes.

IM 1

Das ist der Standart Modus, der nach dem Einschalten des Computers vorliegt.
In diesem Modus wird automatisch an eine festgelegte Adresse verzweigt.

IM 2 (Vektorinterrupt)

Im IM 2 wird an eine in einer Tabelle stehenden vom

Interrupt abhängigen Adresse verzweigt.

Befehlsliste

NOP

Leerbefehl

Befehlscode: 00000000 &00 Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C

HALT

CPU in HALT-Zustand bringen.

Befehlscode: 01110110 &76 Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C

DI

Interrupt Sperren

IFF=0

Befehlscode: 11110011 &F3 Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C

EI

Interrupt Freigabe

IFF=1

Befehlscode: 11111011 &FB Byte 1 Opcode

Flag: S Z V C

IM 0

Festlegung der Interrupt-Betriebsart.

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1 Opcode
01000110 &46 Byte 2 Opcode

Flag: S Z V C

IM 1

Festlegen der Interrupt-Betriebsart.

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1 Opcode
01010110 &56 Byte 2 Opcode

Flag: S Z V C

IM 2

Festlegen der Interrupt-Betriebsart.

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1 Opcode
01011110 &5E Byte 2 Opcode

Flag: S Z V C

RETN

Rückkehr von NMI-Bedienprogramm.

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1 Opcode
01000101 &45 Byte 2 Opcode

Flag: S Z V C

RETI

Rückkehr von INT-Bedienprogramm.

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1 Opcode
01001101 &4D Byte 2 Opcode

Flag: S Z V C

Spezielle I/O-Befehle sind nicht bei jeder CPU vorhanden. Ihre Benutzung gestaltet die Programmierung von I/O-Bausteinen komfortabler. Diese Befehle sind ausgesprochen schwierig, und wir werden darauf nicht näher eingehen.

Befehlsliste

IN A,(data)

Eingabebefehl

A=(data)

Befehlscode: 11011011 &DB Byte 1 Opcode
<--ko--> Byte 2 Konstante

Flag: S Z V C

IN reg,(C)

Eingabebefehl

reg=(C)

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1 Opcode
01rrr000 Byte 2 Register

Flag: S Z P C

```
        x x x
```

INI

Block-Eingabe-Befehl

```
              (HL)=(C),B=B-1,HL=HL+1

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1  Opcode
             10100010 &A2 Byte 2  Opcode

Flag: S Z V C
      U x U
```

INIR

Block-Eingabe-Befehl

```
              (HL),=(C) B=B-1,Hl=HL+1

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1  Opcode
             10110010 &B2 Byte 2  Opcode

Flag: S Z V C
      U 1 U
```

IND

Block-Eingabe-Befehl

```
              (HL)=(C), B=B-1, HL=HL-1

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1  Opcode
             10101010 &AA Byte 2  Opcode
```

```
   Flag: S Z V C
         U x U


INDR

   Block-Eingabe-Befehl

                (HL)=(C), B=B-1, HL=HL-1

   Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1  Opcode
                10111010 &BA Byte 2  Opcode

   Flag: S Z V C
         U 1 U


OUT (data),A

   Ausgabebefehl

                (data)=A

   Befehlscode: 11010011 &D3 Byte 1  Opcode
                <--ko-->     Byte 2  Konstante

   Flag: S Z V C


OUT (C),reg

   Ausgabebefehl

                (C)=reg

   Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1  Opcode
                01rrr001     Byte 2  Register
```

Flag: S Z V C

OUTI

Block-Ausgabebefehl

(C)=(HL),B=B-1,HL=HL+1

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1 Opcode
10100011 &A3 Byte 2 Opcode

Flag: S Z V C
U x U

OTIR

Block-Ausgabebefehl

(C)=(HL),B=B-1,HL=HL+1

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1 Opcode
10110011 &B3 Byte 2 Opcode

Flag: S Z V C
U 1 U

OUTD

Block-Ausgabebefehl

(C)=(HL),B=B-1,HL=HL-1

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1 Opcode
10101011 &AB Byte 2 Opcode

Flag: S Z V C
U x U

OTDR

Block-Ausgabebefehl

Solange B<>0 ist: (C)=(HL),B=B-1,HL=HL-1

Befehlscode: 11101101 &ED Byte 1 Opcode
10111011 &BB Byte 2 Opcode

Flag: S Z V C
U 1 U

5.1 DER ASSEMBLER

Damit wir die nächsten Maschinenprogramme nicht mehr mit der Hand übersetzen müssen, haben wir einen Z80-Assembler geschrieben.
Der Assembler erzeugt den zu einem in Assemblersprache geschriebenen Programm (Source-Programm) dazugehörigen Maschinencode (Objektcode bzw. Objectprogramm). Dabei werden z.B. die Sprungdistanzen automatisch berechnet. Wir brauchen also die lästige Arbeit des Übersetzens per Hand, des Nachschlagens der Opcodes etc. nicht mehr auszuführen.
Für die Z80-Assemblerprogramme gelten bestimmte Konventionen.

Eine Assemblerzeile sieht folgendermaßen aus:

```
Label  Befehl  Operand ;Kommentar
```

Da wir zur Eingabe der Programme den BASIC-Editor verwenden wollen, ist jede Assembleranweisung einer Zeilennummer zugeordnet.

Im Folgenden wird das Eingabeformat des Assemblers definiert. Zur Vermeidung von Fehlern beim Benutzen des Assemblers ist der nun folgende Teil sehr wichtig. Bitte bearbeiten Sie ihn besonders gründlich.

Label:

Am Anfang einer Zeile kann ein Label (Marke) stehen. Ein Label ist eine Variable. Die länge des Variablennamens (Labelnamens) darf nicht mehr als 6 Zeichen betragen. Labelnamen müssen mit einem Buchstaben beginnen.

Assemblerbefehle dürfen nicht als Labelnamen benutzt werden. Durch die Benutzung von Labels vereinfacht sich die Programmierung von Sprüngen:

```
          .
          .
ANF   Befehl        ANF: Label
          .
          .
          JR  ANF         : Springe nach ANF
          .
          .
```

Der Assembler berechnet automatisch die richtige Distanz.

Befehl (Mnemonic):

Nach dem eventuell vorhanden Label muß der Befehl folgen. Label und Befehl müssen durch Leerzeichen voneinander getrennt sein. Der Mnemonic muß ein gültiges Assemblerbefehlswort sein. Gültige Befehlsworte haben wir ständig in den Befehlslisten benutzt z.B.: LD, ADD, INC usw.

Operand:

Auf das Befehlswort folgt, wieder durch Leerzeichen getrennt, der Operand. Bei Sprüngen kann die Sprungadresse als Label angegeben werden (s.o). Die Existenz dieses Labels ist natürlich wichtig.
Anstelle von Konstanten oder Distanzen können Variablennamen oder Labels eingesetzt werden.
Innerhalb des Operanden dürfen niemals Leerzeichen stehen!

Kommentar:

Am Ende der Zeile kann, durch ein Leerzeichen und Semikolon abgetrennt, ein Kommentar folgen. Alle auf ein Semikolon folgenden Zeilen werden bei der Übersetzung nicht beachtet. Das Kommentieren ist eine nützliche Hilfe zum späteren

Verständnis der Programme.

Während der Übersetzung erzeugt der Assembler ein Assemblerlisting, daß auf dem Drucker bzw. Bildschirm ausgegeben werden kann. Außerdem kann der erzeugte Code auf Cassette abgespeichert werdem.
Das Assemblerlisting hat folgenden Aufbau:

```
&Adr. &Codes BASIC Label Befehl Operand ;Kommentar
             Zeiln.

A003 36CC      50  WEITER LD   (hl),Bitmat ; Bitmatrix ...
A005 23        60         INC  hl ; hl erhöhen
```

Zusätzlich zu den Z80-Befehlen kennt der Assembler eine Reihe von Pseudo-Befehlen. Sie sind Anweisungen an den Assembler, wie z.B. END. END bedeutet für den Assembler, nicht mehr nach weiteren Befehlen zu suchen und die Übersetzung abzuschließen.
Eine weitere wichtige Anweisung ist EQU (engl.equal: gleich). Mit EQU wird der Wert einer Variablen definiert.

```
Variablenname EQU Wert
```

Die Anweisung ORG (Organisation) gibt an, ab welcher Adresse das Programm gespeichert werden soll. Wir werden meistens &A000 als Startadresse benutzen.
Bei der Angabe von Zahlen sind folgende Vereinbarungen getroffen worden.
Hexadezimale Zahlen werden durch das Voranstellen von "&" gekennzeichnet.
Dualzahlen werden durch das Voranstellen von "&X" gekennzeichnet.
Ist eine Zahl ohne eines dieser Zeichen angegeben, so wird sie als Dezimalzahl interpretiert.
Die Standardvereinbarungen für Z80-Assembler sind ein H am Ende einer Hex-Zahl und ein B am Ende einer Binärzahl. Wir werden jedoch die oben angegebene Konvention mit & und &X

benutzen.

Probieren Sie doch den Assembler durch Eingabe eines kleinen Programmes einfach einmal aus.

Das Assemblersourceprogramm (Ausgangsprogramm) kann unabhängig vom Assemblerprogramm eingegeben werden. Das erste Programm aus Kapitel 1.2 würde dann folgendermaßen aussehen:

```
10 ' org &a000
20 ' bildad equ &c000 ;start Bildschirmspeicher
30 ' bitmat equ &cc ;Bildschirmpunkt Matrix
40 ' ld hl,bildad
50 ' weiter ld (hl),bitmat
60 ' inc hl
70 ' cp h ;vergleich mit 0
80 ' jr nz,weiter
90 ' ret
100 ' end
```

Bei der Eingabe können Sie sowohl Klein- als auch Großschrift benutzen.
Beachten Sie, daß hinter jeder Zeilennummer mit einem Leerzeichen abstand Shift 7 (') eingegeben werden muß. Vergessen Sie dieses Zeichen, kann die jeweilige Zeile später nicht vom Assembler übersetzt werden, und es erscheint die Fehlermeldung:
"Fehler ' missing in ..."
Durch Zeile 10 wird der Programmspeicherplatz ab &A000 aufwärts festgelegt.
In Zeile 20 wird der Variablen Bildad (V) der Wert &C000 zugewiesen.
Anstelle von &C000 kann danach immer "Bildad" (V) geschrieben werden. Beim sinnvollen Einsatz von Variablen wird ein Programm übersichtlicher. In der Programmschleife haben wir das Label "weiter" als Sprungziel verwendet. Ansonsten benutzten wir die normalen Assemblerbefehle.

Folgt ein Kommentar in einer Zeile, so ist er durch Semikolon abgetrennt. Wichtig ist, daß vor dem Semikolon ein Leerzeichen steht. Leerzeichen bedeuten für den Assembler, daß z.B. ein Label endet und darauf der Befehl folgt. Deswegen müssen zwischen Label, Befehl, Operand und Kommentar immer (!!) Leerzeichen stehen und dürfen z.B. innerhalb eines Operanden keine (!!) Leerzeichen verwendet werden.
Beispiel:

```
        ( HL )      FALSCH !!!

         (HL)       RICHTIG!!!
```

Am Ende des Programms sollte der Pseudo-Befehl END stehen. Dieser bedeutet für den Assembler, daß die Übersetzung hier beendet werden kann.
Speichern Sie das eingegebene Programm
mit >SAVE"Name"< ab und laden mit >MERGE< den Assembler nach. Der Assembler belegt die Zeilennummer ab 10000 und die Zeile 1. Diese Zeilennummern dürfen folglich nicht von den Source-Programmen benutzt werden.
ANMERKUNG für Diskettenbenutzer: Ein Programm was von Diskette mit >MERGE< geladen werden soll, muß eine ASCI-Datei ohne Vorspann sein. Das erreichen Sie durch ein mit Komma abgetrenntes "A" hinter dem >SAVE<-Befehl. Da das Laden dieses Dateitypes länger dauert, sollten Sie zuerst immer den Assembler (als normales BASIC-Programm) laden, und dann das Source-Programm (ASCI-Datei ohne Vorspann) nachladen. Da das AMSDOS ca.500 Bytes RAM Speicherplatz belegt, die dynamisch zugeteilt werden, sollten Diskettenbenutzer Maschinenprogramme bis maximal Adresse &A600 abspeichern, um Komplikationen zu vermeiden.

Nun starten Sie einfach mit > RUN <.
Der Assembler fragt nach dem Namen des Programmes, ob ein Assemblerlisting der Übersetzung gewünscht wird, und ob dieses Listing gedruckt werden soll. Die vorgegebenen Antworten (j beim Listing und n beim Drucker) können Sie

durch › ENTER ‹ wählen. Wählen Sie zunächst die Standardeingaben.

Jetzt beginnt die eigentliche Übersetzung.
Das Ihnen bekannte Assemblerlisting wird auf dem Schirm ausgegeben. Bei Fehlerauftritt werden die entsprechenden Meldungen vor der jeweiligen Zeile ausgegeben. Am Ende des Listings werden, falls vorhanden, die undefinierten Labels und Variablen angezeigt. Darauf folgt der Programmname, Startadresse, Endadresse, Programmlänge und die Fehlerzahl. Sind Fehler aufgetreten, können sie in der entsprechenden BASIC-Zeile korrigiert werden.
Am Schluß des Listings wird eine Tabelle aller Labels und Variablen mit ihren Werten ausgegeben, und zwar in der Reihenfolge ihres Auftretens. Zu guterletzt wird gefragt, ob der Maschinencode aufgezeichnet (gespeichert) werden soll.
Bei Eingabe von "j" wird der erzeugte Code als Binärdatei unter dem eingegebenen Namen mit dem Zusatz ".OBJ" abgespeichert (OBJ:Objektcode). Nach der Assemblierung befindet sich das Maschinenprogramm an der angegebenen Stelle im Speicher und kann mit ›Call‹ aufgerufen werden.
Sollen weitere Programme in Maschinensprache übersetzt werden, kann mit ›DELETE 2-9999‹ das alte Source-Programm gelöscht werden. Das neue Programm kann dann mit ›MERGE‹ geladen werdem. Als Beispiel führen wir hier das komplettes Assemblerlisting von unserem Programmlauf auf.

```
A000             10         ORG  &a000
A000             20 BILDAD  EQU  &c000 ;start Bildschirmspeic
her
A000             30 BITMAT  EQU  &cc ;Bildschirmpunkt Matrix
A000 2100C0      40         LD   hl,bildad
A003 36CC        50 WEITER  LD   (hl),bitmat
A005 23          60         INC  hl
A006 BC          70         CP   h ;vergleich mit 0
A007 20FA        80         JR   nz,weiter
A009 C9          90         RET
```

```
Programm :Bild
Start : &A000     Ende : &A009
Laenge : 000A
0  Fehler
Variablentabelle::
BILDAD C000    BITMAT 00CC    WEITER A003
```

Versuchen Sie, beim Abtippen des Listings die grundsätzliche Struktur des Assemblers anhand der auf das Listing folgenden Erklärungen zu verstehen.

HINWEIS: Ändern Sie nie Zeile 1. Achten Sie darauf, daß hier kein Leerzeichen o.ä. zuviel steht, auch nicht am Ende der Zeile. Weiterhin sollte auch bis einschließlich Zeile 10010 und am Anfang des Initialisierungsteils Zeile 14160-14180 nichts geändert oder eingefügt werden. Der Startwert von bpc (V) und von vapt (V) könnten dann falsche Werte enthalten, wodurch das Programm nicht mehr funktionieren würde.

Das Listing: Assembler

```
1 MEMORY &9FFF:GOTO 10000
10000 REM ********** Z80 Assembler c 1984 by Holger Dullin *
*********
10010 GOTO 14160
10020 LOCATE 20,4:PRINT"Z 8 0 - A s s e m b l e r"
10030 LOCATE 5,8:INPUT"Programmname :",name$
10040 LOCATE 19,11:PRINT"j"
10050 LOCATE 5,11:INPUT"Listing (j/n):",t$
10060 IF t$="n" THEN listflag=0:GOTO 10100 ELSE listflag=-1
10070 LOCATE 19,13:PRINT"n";
10080 LOCATE 5,13:INPUT"Drucker (j/n):",t$
10090 IF t$="j" THEN aus=8:PRINT#aus ELSE aus=0
10100 REM Start Assembly **********
10110 MODE 2
10120 REM Zeilenanfang testen ---------
10130 laze=FNdeek(bpc)
10140 bpc=bpc+2
10150 zenr=FNdeek(bpc)
10160 IF zenr>9999 THEN PRINT#aus,"End Assumed":GOTO 13400
10170 bpc=bpc+2
10180 IF FNdeek(bpc)<>49153 THEN PRINT#aus,"Fehler ' missing
 in";zenr:bpc=bpc+laze-4:feza=feza+1:GOTO 10130
10190 bpc=bpc+2
10200 REM zeile lesen  ----------------
10210 POKE vapt,laze-7
10220 POKE vapt+1,bpc-256*INT(bpc/256)
10230 POKE vapt+2,INT(bpc/256)
10240 REM zeile zerlegen --------------
10250 zeia$=zei$
10260 bpc=bpc+laze-6
10270 FOR i=0 TO 3:a$(i)="":NEXT
10280 bepo=INSTR(zei$,";")
10290 IF bepo=0 THEN bemer$="":GOTO 10320
10300 bemer$=RIGHT$(zei$,LEN(zei$)-bepo+1)
10310 zei$=LEFT$(zei$,bepo-1)
10320 j=0
10330 IF LEFT$(zei$,1)=" " THEN zei$=RIGHT$(zei$,LEN(zei$)-1
):GOTO 10330
```

```
10340 sppo=INSTR(zei$," ")
10350 IF zei$="" THEN j=j-1:GOTO 10420
10360 IF sppo=0 THEN 10410
10370 a$(j)=LEFT$(zei$,sppo-1):zei$=RIGHT$(zei$,LEN(zei$)-sp
po)
10380 IF zei$="" THEN j=j-1:GOTO 10420
10390 IF j>3 THEN 10420
10400 j=j+1:GOTO 10330
10410 a$(j)=zei$
10420 IF j>2 THEN 13250
10430 REM Interpretation --------------
10440 j=0
10450 bef$=LEFT$(UPPER$(a$(j))+"      ",4)
10460 po=INSTR(teadr$,bef$)
10470 IF po<>0 THEN lp=0:GOTO 11190
10480 po=INSTR(teb1$,bef$)
10490 IF po<>0 THEN lp=1:GOTO 10810
10500 po=INSTR(teed$,bef$)
10510 IF po<>0 THEN lp=2:pw(1)=&ED:GOTO 10850
10520 REM pseudo bef test --------------
10530 po=INSTR(teps$,bef$)
10540 IF po<>0 THEN 10890
10550 REM a$(j)=label ?  --------------
10560 IF j>0 THEN 13250
10570 IF a$(0)="" THEN 13100
10580 a$=a$(0)
10590 GOSUB 13630
10600 IF nolafl THEN 13280
10610 label$=UPPER$(lab$)
10620 wert=mpc
10630 lata$(ltp)=label$:wlta(ltp)=mpc:ltp=ltp+1
10640 FOR i=0 TO ultp:IF label$=ulata$(i) THEN 10670
10650 NEXT i
10660 j=j+1:GOTO 10450
10670 ON udata(i,2) GOTO 10680,10700
10680 adr=udata(i,1)-1:ziel=wert:GOSUB 14100
10690 pw(1)=of:GOTO 10720
10700 pw(2)=INT(wert/256)
```

```
10710 pw(1)=wert-pw(2)*256
10720 PRINT#aus,"**** Zeile "udata(i,0);" : ";ulata$(i);"=&"
;HEX$(wert,4)
10730 FOR k=1 TO udata(i,2)
10740 POKE udata(i,1)+k-1,pw(k)
10750 NEXT k
10760 FOR k=i TO ultp-1
10770 ulata$(k)=ulata$(k+1)
10780 FOR c=0 TO 2:udata(k,c)=udata(k+1,c):NEXT c:NEXT k
10790 ultp=ultp-1:i=i-1
10800 GOTO 10650
10810 REM bef1 / 1-Byter ohne Operand -
10820 IF a$(j+1)<>"" THEN 13270
10830 pw(1)=wb1((po-1)/4)
10840 GOTO 13100
10850 REM ed / 2 byter ohne operand anfang ed
10860 IF a$(j+1)<>"" THEN 13270
10870 pw(2)=wed((po-1)/4)
10880 GOTO 13100
10890 REM pseudo befehle ---------------
10900 j=j+1
10910 ope$=a$(j):op$=UPPER$(ope$)
10920 ON (po-1)/4 GOTO 10980,11040,11060,11080,11100,11160
10930 REM EQU
10940 IF label$="" THEN 13280
10950 a$=op$:GOSUB 13790
10960 wlta(ltp-1)=wert
10970 GOTO 13100
10980 REM ORG
10990 IF op$="" THEN 13290
11000 a$=op$:GOSUB 13790
11010 lp=0
11020 mpc=wert:mpstart=mpc
11030 GOTO 13100
11040 REM END
11050 GOTO 13400
11060 REM DB
11070 a$=op$:GOSUB 14050:GOTO 13100
```

```
11080 REM DW
11090 a$=op$:GOSUB 13860:GOTO 13100
11100 REM DM
11110 IF LEFT$(op$,1)<>CHR$(34) OR RIGHT$(op$,1)<>CHR$(34) T
HEN 13260
11120 zwi$=MID$(ope$,2,LEN(ope$)-2)
11130 lp=LEN(zwi$)
11140 FOR i=1 TO lp:pw(i)=ASC(MID$(zwi$,i,1)):NEXT
11150 GOTO 13100
11160 REM DS
11170 a$=op$:GOSUB 13860
11180 ds=wert:lp=0:GOTO 13100
11190 REM bef Auswertung---------------
11200 j=j+1:ope$=a$(j)
11210 op$=UPPER$(ope$)
11220 IF op$="" AND bef$<>"RET " THEN 13290
11230 GOSUB 11240:GOTO 11340
11240 poko=INSTR(op$,",")
11250 IF poko=0 THEN o1$=op$:koflag=0:GOTO 11280
11260 koflag=-1
11270 o1$=LEFT$(op$,poko-1):o2$=RIGHT$(op$,LEN(op$)-poko)
11280 pokla=INSTR(op$,"("):poklz=INSTR(op$,")")
11290 IF pokla=0 THEN klaflag=0:klin$="":GOTO 11330
11300 IF pokla>poklz THEN GOTO 13260
11310 klaflag=-1
11320 klin$=MID$(op$,pokla+1,poklz-pokla-1)
11330 RETURN
11340 REM
11350 ipo=INSTR(op$,"IX")
11360 IF ipo<>0 THEN pwi=&DD:ireg$="IX":GOTO 11450
11370 ipo=INSTR(op$,"IY")
11380 IF ipo<>0 THEN pwi=&FD:ireg$="IY":GOTO 11450
11390 zwi=(po+3)/4
11400 ON zwi GOTO 12630,11920,11900,12040,12040,12080,12220,
12240,12340,12320,12380,12430,12430,12520,12560
11410 REM ld0,relativspru(2),spru(3),zahl(2),stapel(2),rst,i
/o,im
11420 IF zwi<24 THEN 11590
```

```
11430 IF zwi<32 THEN 11760
11440 GOTO 11830
11450 REM indizierte Befehle ---------
11460 iflag=-1
11470 IF (NOT klaflag) OR (ipo-pokla<>1) THEN op$=LEFT$(op$,
ipo-1)+"HL"+RIGHT$(op$,LEN(op$)-ipo-1):GOTO 11550
11480 zwi$=MID$(klin$,3,1):IF zwi$<>"+" AND zwi$<>"-" THEN I
F bef$="JP  " THEN 11540 ELSE GOTO 13250
11490 a$=RIGHT$(klin$,LEN(klin$)-3)
11500 dis$=a$:GOSUB 14050:lp=lp-1
11510 IF fe$<>"" THEN GOTO 13260
11520 disflag=-1
11530 disw=wert:IF zwi$="-" THEN disw=(disw XOR 255) +1
11540 op$=LEFT$(op$,pokla)+"HL"+RIGHT$(op$,LEN(op$)-poklz+1)
11550 IF (INSTR(op$,"IX")=0)AND(INSTR(op$,"IY")=0)THEN 11570
11560 IF (op$=("HL,"+ireg$))AND(bef$="ADD ") THEN op$="HL,HL
" ELSE GOTO 13260
11570 GOSUB 11240
11580 GOTO 11390
11590 REM arilog ----------------------
11600 IF NOT koflag THEN a$=o1$:GOTO 11620
11610 IF o1$<>"A" THEN 11670 ELSE a$=o2$
11620 lp=1:code=zwi-16
11630 GOSUB 13680
11640 IF rflag THEN pw(1)=128 OR(code*8) OR rrr:GOTO 13100
11650 pw(1)-&X11000110 OR (code*0)
11660 GOSUB 14050:GOTO 13100
11670 IF o1$<>"HL" THEN 13260
11680 a$=o2$
11690 GOSUB 13730
11700 IF NOT rflag THEN 13260
11710 IF bef$="ADD " THEN code=&X1001:lp=1:GOTO 11750
11720 pw(1)=&ED:lp=2
11730 IF bef$="ADC " THEN code=&X1001010 :GOTO 11750
11740 IF bef$="SBC " THEN code=&X1000010 ELSE GOTO 13250
11750 pw(lp)=code OR (dd*16):GOTO 13100
11760 REM rotschie ---------------------
11770 lp=2:pw(1)=&CB
```

```
11780 IF koflag THEN 13260
11790 a$=op$:GOSUB 13680
11800 IF NOT rflag THEN 13260
11810 pw(2)=(8*(zwi-24)) OR rrr
11820 GOTO 13100
11830 REM bitti ----------------------
11840 lp=2:pw(1)=&CB
11850 a$=o2$:GOSUB 13680
11860 IF NOT rflag THEN 13260
11870 bbb=ASC(o1$)-48
11880 IF (0>bbb) OR (7<bbb) OR (LEN(o1$)<>1) THEN 13260
11890 pw(2)=(64*(zwi-31))OR(bbb*8)OR rrr:GOTO 13100
11900 REM relative Spruenge ----------
11910 lp=1:pw(1)=&10:a$=op$:GOTO 11990
11920 lp=1
11930 IF NOT koflag THEN ccc=&X11:a$=op$:GOTO 11980
11940 a$=o1$:GOSUB 13760
11950 IF (NOT cflag) OR (ccc>3) THEN 13260
11960 ccc=ccc OR 4
11970 a$=o2$
11980 pw(1)=ccc*8
11990 IF LEFT$(a$,1)<>"$" THEN GOSUB 13860:lp=lp-2:IF i>ltp
THEN wert=mpc  :GOTO 12010:ELSE 12010
12000 wert=mpc+VAL(RIGHT$(a$,LEN(a$)-1))
12010 lp=lp+1:adr=mpc:ziel=wert
12020 GOSUB 14100
12030 pw(2)=of:GOTO 13100
12040 REM Spruenge --------------------
12050 zwi=1:lp=1
12060 IF bef$="RET " THEN code=0 ELSE code=&X100
12070 GOTO 12110
12080 IF op$="(HL)" THEN lp=1:pw(1)=&E9:GOTO 13100
12090 code=&X10
12100 zwi=0:lp=1
12110 IF bef$="RET " THEN IF op$="" THEN 12130 ELSE 12160 EL
SE
12120 IF koflag THEN 12160
12130 pw(1)=192 OR code OR 1 OR (zwi*8)
```

```
12140 a$=op$
12150 GOTO 12200
12160 a$=o1$:GOSUB 13760
12170 IF NOT cflag THEN 13260
12180 pw(1)=192 OR code OR(ccc*8)
12190 a$=o2$
12200 IF bef$="RET " THEN 13100
12210 GOSUB 13860:GOTO 13100
12220 REM Zaehlbefehle ----------------
12230 zwi=0:GOTO 12250
12240 zwi=1
12250 IF koflag THEN 13260
12260 lp=1:a$=op$:GOSUB 13680
12270 IF rflag THEN pw(1)=&X100 OR (rrr*8) OR zwi:GOTO 13100
12280 GOSUB 13730
12290 IF NOT rflag THEN 13260
12300 pw(1)=&X11 OR (dd*16) OR (zwi*8)
12310 GOTO 13100
12320 REM Stapelbefehle ---------------
12330 code=&X11000001:GOTO 12350
12340 code=&X11000101
12350 a$=op$:dreg$(3)="AF":GOSUB 13730:dreg$(3)="SP"
12360 IF NOT rflag THEN 13260
12370 lp=1:pw(1)=code OR (dd*16):GOTO 13100
12380 REM restart ---------------------
12390 a$=op$:GOSUB 14050
12400 zwi=wert1/8
12410 IF zwi<>INT(zwi) OR zwi>7 THEN 13260
12420 lp=1:pw(1)=&X11000111 OR (zwi*8):GOTO 13100
12430 REM I/O Befehle -----------------
12440 IF NOT(koflag AND klaflag) THEN 13260
12450 IF bef$="IN  " THEN zwi=0 ELSE zwi=1:zwi$=o2$:o2$=o1$:
o1$=zwi$
12460 IF klin$<>"C" THEN 12500
12470 a$=o1$:GOSUB 13680
12480 IF (NOT rflag) OR (klin$<>"C") THEN 13260
12490 lp=2:pw(1)=&ED:pw(2)=64 OR (rrr*8) OR zwi:GOTO 13100
12500 lp=1:a$=klin$:GOSUB 14050
```

```
12510 pw(1)=&X11011011 XOR (zwi*8):GOTO 13100
12520 REM interrupt modi -------------
12530 IF op$<>"0" AND op$<>"1" AND op$<>"2" THEN 13260
12540 lp=2:pw(1)=&ED
12550 pw(2)=&X1000110 OR ((VAL(op$)-(op$<>"0"))*8):GOTO 1310
0
12560 REM EX -------------------------
12570 lp=1
12580 IF op$="(SP),HL" THEN pw(1)=&E3:GOTO 13100
12590 IF op$="DE,HL" THEN pw(1)=&EB:GOTO 12620
12600 IF op$="AF,AF'" THEN pw(1)=&8:GOTO 13100
12610 GOTO 13260
12620 IF iflag THEN 13260 ELSE 13100
12630 REM ld--------------------------
12640 IF NOT koflag THEN 13260
12650 a$=o1$:GOSUB 13680
12660 IF rflag THEN 12860
12670 GOSUB 13730
12680 IF rflag THEN 12760
12690 a$=o2$:GOSUB 13730
12700 IF rflag THEN 12740
12710 zwi$=o2$:o2$=o1$:o1$=zwi$
12720 a=0:GOSUB 12940
12730 IF nflag THEN 13260 ELSE GOTO 13100
12740 IF NOT klaflag THEN 13260
12750 zwi$=o2$:zwiflag=1:GOTO 12800
12760 IF op$="SP,HL" THEN lp=1:pw(1)=&F9:GOTO 13100
12770 IF klaflag THEN zwi$=o1$:zwiflag=0:GOTO 12800
12780 a$=o2$
12790 lp=1:code=1:GOTO 12830
12800 a$=klin$
12810 IF zwi$="HL" THEN lp=1:code=&A:GOTO 12830
12820 lp=2:pw(1)=&ED:code=&X1001011
12830 code=code AND NOT (zwiflag*8)
12840 pw(lp)=code OR (dd*16)
12850 GOSUB 13860:GOTO 13100
12860 zzz=rrr:a$=o2$:GOSUB 13680
12870 IF NOT rflag THEN 12900
```

```
12880 lp=1:pw(1)=64 OR (zzz*8) OR rrr
12890 IF pw(1)=&76 THEN 13260 ELSE 13100
12900 a=1:GOSUB 12940
12910 IF NOT nflag THEN 13100
12920 lp=1:pw(1)=&X110 OR (rrr*8)
12930 a$=o2$ : GOSUB 14050:GOTO 13100
12940 REM 8-bit Lade Spezial ----------
12950 nflag=0
12960 IF o1$<>"A" THEN nflag=-1:RETURN
12970 IF klaflag THEN 13030
12980 IF o2$="I"THEN zwi=0:GOTO 13010
12990 IF o2$="R" THEN zwi=1:GOTO 13010
13000 nflag=-1:RETURN
13010 code =&X1000111:lp=2:pw(1)=&ED
13020 pp=(a*2) OR zwi:GOTO 13080
13030 IF klin$="BC" THEN zwi=0:GOTO 13070
13040 IF klin$="DE" THEN zwi=1:GOTO 13070
13050 lp=1:pw(1)=&X110010 OR (a*8)
13060 a$=klin$:GOSUB 13860:RETURN
13070 code=&X10:lp=1:pp=(zwi*2)OR a
13080 pw(lp)=code OR (8*pp):RETURN
13090 REM
13100 REM Ausgabe **********
13110 IF iflag THEN 13310
13120 IF fe$<>"" THEN feza=feza+1
13130 IF NOT listflag THEN LOCATE 5,3:PRINT zenr:GOTO 13200
13140 IF fe$<>"" THEN PRINT CHR$(7);:PRINT#aus,fe$,TAB(30);z
enr;zeia$:GOTO 13210
13150 PRINT#aus,HEX$(mpc,4);" ";
13160 FOR i=1 TO lp:PRINT#aus,HEX$(pw(i),2);:POKE mpc+i-1,pw
(i):NEXT i
13170 PRINT#aus,TAB(14);USING"####";zenr;
13180 PRINT#aus,TAB(20);label$;TAB(27);bef$;TAB(32);ope$;" "
;bemer$;
13190 PRINT#aus
13200 mpc=mpc+lp+ds
13210 lp=0:ds=0
13220 label$="":bef$="":ope$="":bemer$="":fe$=""
```

```
13230 GOTO 10130
13240 REM Fehlermeldungen ------------
13250 fe$="Syntax Error":GOTO 13100
13260 fe$="Syntax Error im Operanden":GOTO 13100
13270 fe$="Operand zuviel":GOTO 13100
13280 fe$="Label fehlt":GOTO 13100
13290 fe$="Operand fehlt":GOTO 13100
13300 fe$="illegal Quantity":GOTO 13100
13310 REM indiziert -------------------
13320 FOR j=lp TO 1 STEP -1
13330 pw(j+1)=pw(j):NEXT
13340 pw(1)=pwi:lp=lp+1
13350 IF NOT disflag THEN 13380
13360 IF lp=3 THEN pw(4)=pw(3)
13370 pw(3)=disw:lp=lp+1
13380 iflag=0:disflag=0
13390 GOTO 13120
13400 REM Ende programm **********
13410 PRINT#aus
13420 IF ultp=0 THEN 13470
13430 FOR i=0 TO ultp-1
13440 PRINT#aus,"undefiniertes Label ";ulata$(i);" in";udata
(i,0);" / Adresse &";HEX$(udata(i,1),4)
13450 feza=feza+1:NEXT i
13460 PRINT#aus
13470 PRINT#aus,"Programm :";name$
13480 PRINT#aus,"Start : &";HEX$(mpstart,4);"    Ende : &";H
EX$(mpc-1,4)
13490 PRINT#aus,"Laenge : ";HEX$(mpc-mpstart,4)
13500 PRINT#aus,feza;" Fehler"
13510 IF ltp=0 THEN 13560
13520 PRINT#aus,"Variablentabelle :"
13530 FOR i=0 TO ltp-1
13540 PRINT#aus,LEFT$(lata$(i)+"          ",7);HEX$(wlta(i),4)
,
13550 NEXT i
13560 PRINT#aus
13570 INPUT"Aufzeichnung (j/n):",t$
```

```
13580 IF t$<>"j" THEN 13600
13590 SAVE name$+".obj",B,mpstart,mpc-mpstart
13600 END
13610 REM Unterprogramme **********
13620 REM label test ------------------
13630 laas=ASC(UPPER$(LEFT$(a$,1)))
13640 IF laas<65 OR laas>90 THEN nolafl=-1:RETURN
13650 IF LEN(a$)>6 THEN PRINT"Label zu lang":a$=LEFT$(a$,6)
13660 lab$=a$:nolafl=0
13670 RETURN
13680 REM r test ----------------------
13690 FOR i=0 TO 7
13700 IF reg$(i)=a$ THEN rflag=-1:rrr=i:RETURN
13710 NEXT
13720 rflag=0:RETURN
13730 REM rps test --------------------
13740 FOR i=0 TO 3:IF dreg$(i)=a$ THEN rflag=-1:dd=i:RETURN
ELSE NEXT
13750 rflag=0:RETURN
13760 REM cond test -------------------
13770 FOR i=0 TO 7:IF a$=cond$(i) THEN cflag=-1:ccc=i:RETURN
 ELSE NEXT
13780 cflag=0:RETURN
13790 REM Zahltest --------------------
13800 wert=VAL(a$)
13810 laas=ASC(LEFT$(a$,1))
13820 IF wert=0 AND laas<>38 AND (laas>57 OR laas<48) THEN f
e$="illegal character":wert=0:RETURN
13830 IF wert>=0 THEN 13850
13840 IF LEFT$(a$,1)="&" THEN wert=wert+2^16 ELSE fe$="illeg
al Quantity":wert=0
13850 RETURN
13860 REM Werter ----------------------
13870 GOSUB 13620
13880 IF nolafl THEN GOSUB 13790:GOTO 13920
13890 FOR i=0 TO ltp:IF lata$(i)<>lab$ THEN NEXT
13900 IF i>ltp THEN 13980
13910 wert=wlta(i)
```

```
13920 werth=INT(wert/256)
13930 wertl=wert-256*werth
13940 lp=lp+2
13950 pw(lp-1)=wertl
13960 pw(lp)=werth
13970 RETURN
13980 ulata$(ultp)=a$
13990 udata(ultp,0)=zenr
14000 udata(ultp,1)=mpc+lp-iflag-disflag
14010 udata(ultp,2)=2+(bef$="DJNZ" OR bef$="JR   ")
14020 ultp=ultp+1
14030 wert=0
14040 GOTO 13920
14050 REM werter low ------------------
14060 GOSUB 13860
14070 lp=lp-1
14080 IF werth<>0 THEN fe$="illegal Quantity":wert=0
14090 RETURN
14100 REM offset berechnen ------------
14110 of =ziel-adr
14120 of=of-2
14130 IF of>129 OR of<-126 THEN fe$="illegal Quantity":of=0
14140 IF of<0 THEN of=256+of
14150 RETURN
14160 REM Initialisierung *********
14170 zei$="test"
14180 vapt=HIMEM-FRE(0)-15
14190 DEF FNdeek(x)=PEEK(x)+256*PEEK(x+1)
14200 MODE 2
14210 teadr$="LD  JR  DJNZCALLRET JP  INC DEC PUSHPOP RST IN
  OUT IM  EX  ADD ADC SUB SBC AND XOR OR  CP  RLC RRC RL  RR
  SLA SRA *** SRL BIT RES SET "
14220 teed$="CPD CPDRCPI CPIRIND INDRINI INIRLDD LDDRLDI LDI
RNEG OTDROTIROUTDOUTIRETIRETNRLD RRD "
14230 DATA A9,B9,A1,B1,AA,BA,A2,B2,A8,B8,A0,B0,44,BB,B3,AB,A
3,4D,45,6F,67
14240 teb1$="CCF CPL DAA DI  EI  EXX HALTNOP RLA RLCARRA RRC
ASCF "
```

```
14250 DATA 3F,2F,27,F3,FB,D9,76,00,17,07,1F,0F,37
14260 teps$="EQU ORG END DB  DW  DM  DS  "
14270 DIM lata$(50),wlta(50),ulata$(50),udata$(50,2)
14280 DIM wb1(12),wed(20)
14290 FOR i=0 TO 20:READ a$:wed(i)=VAL("&"+a$):NEXT
14300 FOR i=0 TO 12:READ a$:wb1(i)=VAL("&"+a$):NEXT
14310 bpc=384:mpc=40960:mpstart=mpc
14320 DIM reg$(7),cond$(7),dreg$(3)
14330 FOR i=0 TO 7:READ reg$(i):NEXT
14340 FOR i=0 TO 7:READ cond$(i):NEXT
14350 FOR i=0 TO 3:READ dreg$(i):NEXT
14360 DATA B,C,D,E,H,L,(HL),A
14370 DATA NZ,Z,NC,C,PO,PE,P,M
14380 DATA BC,DE,HL,SP
14390 GOTO 10020
```

Programmbeschreibung:

Zeile 1:

RAM-Speicherplatz von &A000-&AB7F wird für das Maschinenprogramm reserviert, dann wird das Sourceprogramm zwischen Zeile 2 bis 9999 liegend, übersprungen.

Zeile 10010:

Verzweigung zum Programmteil Initialisierung, d.h. Aufbau der Befehlstabelle u.ä. (siehe Zeile 14160-).

Zeile 10020-10090:

Menue, listflag (V) und Ausgabekanal aus (V) werden bestimmt.

Zeile 10100-10190:

bpc zeigt auf die aktuelle Adresse im BASIC-Source-Programm (bpc:BASIC Programm Counter). Am Anfang einer Zeile steht die Länge derselben als Low- und High-Byte. FNdeek(bpc) liest den 16-Bit Wert an Adresse bpc und bpc+1. Der Wert entspricht der Zeilenlänge laze (V). bpc wird um 2 erhöht, und die Zeilennummer zenr (V) wird gelesen. Ist sie größer als 9999, wird die Übersetzung beendet. In Zeile 10180 wird geprüft, ob das (')-Zeichen am Anfang der Zeile steht. Wenn es dort nicht steht, wird die Fehlermeldung ausgegeben und die nächste Zeile gelesen.

Zeile 10200-10240:

Durch diesen Programmteil wird zei$ (V) mit der aktuellen Zeile gefüllt. Um die Geschwindigkeit des Assemblers möglichst hoch zu halten, geschieht das über eine Änderung der Stringzeiger von zei$ (V) in der internen Variablentabelle.

Zeile 10240-10420:

Zuerst wird ein evtl. vorhandener Kommentar in bemer$ (V)

abgespeichert, dann wird die verbleibende Zeile bei jedem auftretenden Leerzeichen zerschnitten, und die zerschnittenen Teile werden in a$(j) (V) gespeichert. Ließ sich die Zeile in mehr als 3 Teile zerlegen (Label,Befehl,Operand), d.h. j>2, wird ein Syntax Error ausgegeben.

Zeile 10430-10540:

Hier wird geprüft, ob es sich bei a$(j) (V) um einen gültigen Befehl handelt. War der Befehl gültig, wird an die Stelle an der diese Befehle übersetzt werden verzweigt.

Zeile 10540-10550:

Wurde kein Befehl festgestellt, wird hier auf Pseudo-Befehle geprüft und verzweigt.

Zeile 10560-10800:

Handelt es sich um ein Label, so wird es in die Labeltabelle eingetragen und der mpc (Maschinenprogramm-Counter) wird dem Label als Wert zugeordnet (Zeile 10610-10630). In den folgenden Zeilen bis 10800 wird geprüft, ob dieses Label schon einmal benutzt wurde, zu dem Zeitpunkt aber noch undefiniert war. Trifft das zu, wird nachträglich der entsprechende Wert gepoked und das Label aus der Tabelle der undefinierten ulata$(i) (V) gelöscht. Handelt es sich um kein gültiges Label (d.h. es fängt nicht mit einem Buchstaben an), so wird die Fehlermeldung "Label fehlt" ausgegeben (Zeile 10600).

Zeile 10810-10840:

Hier werden Befehle mit einem 1-Byte Opcode die keine Operanden besitzen ausgewertet. Der Code ergibt sich aus der Stellung im teb1$ (V) und dem dazugehörigen wb1(i) (V).

Zeile 10850-10880:

Hier werden die 2-Byte Befehle ohne Operand behandelt. Der erste Opcode ist immer &ED (pw(1)=&ED). Das zweite Byte des Opcodes ergibt sich aus der Stellung des Befehls im teed$ (V) und wed(i) (V).

Zeile 10890-11180:

Hier werden alle Pseudo-Befehle übersetzt.

Zeile 11190-13080:

Fällt der Befehl in keine der oben genannten Gruppen, wird er in diesem Programmteil ausgewertet. Zuerst wird geprüft, ob der Operand op$ (V) ein Komma enthält. Wenn ja, wird er in o1$ (V) (Vorkommateil) und o2$ (V) (Nachkommateil) zerlegt und koflag (V) wird auf -1 (=wahr) gesetzt. Weiterhin wird geprüft, ob Klammern auftreten. Wenn ja, wir der Klammerinhalt in klin$ (V) gespeichert und klflag (V) wird gesetzt (=-1).

Zeile 11280-11330:

Handelt es sich um einen indiziert adressierten Befehl, so wird zur Zeile 11450 verzweigt.

Zeile 11400-11440:

Hier wird aufgrund der Stellung in teadr$ (V) zur jeweiligen Befehlsbehandlungsroutine gesprungen.

Zeile 11450-11580:

Bei den indizierten Befehlen wird XY bzw. XY+dis durch HL ersetzt, iflag (V) und disflag (V) werden entsprechend gesetzt. Danach wird die normale Befehlsauswertung ab Zeile 11390 fortgesetzt. Nach der Interpretation wird die Veränderung wieder rückgängig gemacht, und der Code des indizierten Befehls (der dem von HL analog ist) wird ausgegeben.

Zeile 11590-11750:

Die Arithmetischen Befehle (8- und 16-Bit) werden hier interpretiert.

Zeile 11760-11820:
Rotier- und Schiebebefehle

Zeile 11830-11890:
Bit-Manipulationsbefehle

Zeile 11900-12030:
relative Sprünge (JR und DJNZ)

Zeile 12050-12210:
andere Sprünge (JP,RET,CALL)

Zeile 12220-12310:
Zählbefehle (INC,DEC)

Zeile 12320-12620
(siehe REM-Zeilen)

Zeile 12630-13080:
Lade-Befehle

Jede Routine zu erklären, würde den Rahmen dieses Buches sprengen. Greifen wir exemplarisch die Routine für die Bitmanipulationsbefehle heraus:

Zeile 11840:
lp (V) (Länge des Befehles, d.h. Anzahl der zu pokenden Werte) ist 2. Der erste Wert pw(1) (V) ist &CB. Das trifft für alle Bit-Befehle zu.

Zeile 11850:
o2$ (V) (der Nachkommateil des Operanden) wird zur Übergabe an das Unterprogramm ab Zeile 13680 in a$ (V) gespeichert. Das Unterprogramm stellt fest, ob es sich um eines der Register A,B,C,D,E,H,L, oder (HL) handelt.

Zeile 11860:

Wurde keine Übereinstimmung gefunden (rflag=0), wird die Fehlermeldung "Syntax Error im Operanden" ausgegeben. Ansonsten wird der Code des Registers in rrr zurückgegeben und rflag ist gesetzt.

Zeile 11870:

bbb wird der Wert der vor dem Komma stehenden Zahl (der Bitnummer) zugeordnet.

Zeile 11880:

Nun wird geprüft, ob die Zahl zwischen 0 und 7 liegt. Wenn sie nicht in diesem Bereich liegt, wird wieder "Syntax Error im Operanden" angezeigt.

Zeile 11890:

Zum Schluß wird der Opcode in pw(2) (V) gespeichert. Der Opcode setzt sich folgendermaßen zusammen:

```
01 bbb rrr - für BIT-Befehle
10 bbb rrr - für RES-Befehle
11 bbb rrr - für SET-Befehle
```

Aus (zwi-31)*64 ergeben sich Bit 7 und 6 des Opcodes. zwi (V) ist die Position des Befehls in teadr$ (V). bbb*8 stellt Bit 5-3 und rrr die Bits 2-0 dar. rrr ist vom Unterprogramm ermittelt worden und entspricht dem Registercode. Ist der Opcode berechnet, so wird zur Ausgabe (Zeile 13100) gesprungen. In ähnlicher Weise funktionieren auch die anderen Routinen.

Zeile 13100-13230:

Ausgabe: Ist iflag (V) (Flag für Indizierte Befehle) gesetzt, wird vorher zur extra Routine ab Zeile 13310 gesprungen. Sonst wird hier die komplette Assemblerzeile ausgegeben. Traten Fehler auf, so werden diese angezeigt und feza (V), der Fehlerzähler wird erhöht.
Bevor zum Anfang gesprungen wird, um die nächste Zeile zu

übersetzen, werden die wichtigen Variablen rückgesetzt und der mpc (Maschinenprogramm-Counter) wird um die Befehlslänge lp (V) erhöht.

Zeile 13240-13300:

Wurde ein Fehler festgestellt, wird an eine dieser Routinen verzweigt, die den Fehlerstring fe$ (V) mit der Meldung füllt und dann zur Ausgabe springt.

Zeile 13310-13390:

Hier werden die Codes für die Indizierten Befehle aufbereitet.

Zeile 13400-13600:

Am Ende des Programmes werden die undefinierten Labels ausgegeben, Programmname, Start- und Endadresse, Länge, Fehlerzahl und Variablentabelle.
Ab Zeile 13570 wird die Aufzeichnung des Objektcodes vorgenommen.

In den Zeile 13610-14150 stehen
häufig benutzte Unterprogramme:

Zeile 13620-13670:

Hier wird geprüft, ob in a$ (V) ein zulässiges Label steht.

Zeile 13680-13670:

Diese Zeilen prüfen, ob in a$ (V) ein Register steht (A,B,C,D,E,H,L,(HL)).

Zeile 13730-13750:

Hier wird geprüft, ob in a$ (V) eines der Registerpaare BC,DE,HL,SP steht.

Zeile 13760-13780:

Prüft, ob in a$ eine Bedingung C,NC,Z,NZ,PO,PE,P,M steht.

Zeile 13790-13850:

Prüft, ob a$ (V) eine Zahl ist und gibt den Wert dieser Zahl zurück.

Zeile 13860-14040:

Diese Zeilen ermitteln den 2-Byte Wert von a$ (V). a$ kann sowohl eine Zahl, als auch eine Variable oder ein Label sein.

Zeile 14050-14090:

Ermittelt den 1-Byte Wert (Low-Byte) von a$.

Zeile 14100-14150:

Berechnet den Offset für relative Sprünge.

Zeile 14160-14390:

Initialisierung: Die Datenfelder und Strings zum Vergleich werden erzeugt. vapt (V) zeigt auf die Adresse, an der die Stringlänge von zei$ (V) gespeichert ist.
FNdeek(X) gibt den 16-Bit-Wert zweier aufeinanderfolgender Speicherstellen an.
bpc wird auf den Anfang der auf Zeile 1 folgenden Zeile gesetzt (=384).
mpc wird auf &A000 gesetzt.

Variablenliste
(SUB bedeutet: Unterprogramm)

a-	Übergabe an SUB "8-Bit Lade Spezial"
a$-	Übergabe an verschiedene Unterprogramme
adr-	Übergabe an SUB"Offset berechnen": Absprung-adresse
aus-	Kanal des Ausgabegerätes (0 oder 8)
bbb-	Bitnummer Code bei Bit-Manipulations-Befehlen
bef$-	Assemblerbefehlswort
bemer$-	Bemerkung der Assemblerzeile
bepo-	Position des Anfangs der Bemerkung in der jeweiligen Zeile

bpc- BASIC-Programm-Zeiger

ccc- Bedingungscode bei Sprüngen

cflag- gesetzt (d.h. =-1), wenn Bedingung gefunden
rückgesetzt (d.h. =0), wenn nicht, Rückgabe von
SUB "cond test"

code- Zur Erzeugung der Opcodes des jeweiligen Befehls
benutzt

dis$- enthält die Distanz bei Indizierten Befehlen

disflag- gesetzt bei Indiziertem Befehl mit Distanzangabe
sonst rückgesetzt

disw- Wert der angegebenen Distanz (2er Komplement)

ds- Enthält die Anzahl der durch einen DS-Befehl re-
servierten Speicherplätze

fe$- Fehlermeldung

feza- Fehlerzahl

i,j,k- Zähler für Schleifen

iflag- gesetzt, bei Indizierten Befehlen, sonst rück-
gesetzt

ipo- Position vom Indexregister (IX oder IY) im
Operanden

ireg$- Wenn Indizierte Adressierung vorliegt, enthält
ireg$ entweder IX oder IY

klaflag- gesetzt, falls Klammern im Operanden, sonst
rückgesetzt

klin$- enthält Klammerinhalt vom Operanden (falls
vorhanden)

koflag- gesetzt, falls Komma im Operanden, sonst rück-
gesetzt

laas- ASCI Code des ersten Zeichen eines zu prüfenden
Labels (SUB"Label-Test")

lab$- Rückgabe des Labelnamens vom SUB-Label-Test

label$- aktueller Labelname

laze- Länge der aktuellen Sourceprogrammzeile die
übersetzt wird

listflag- gesetzt, wenn Listing gewünscht, sonst rück-
gesetzt

lp- Länge des jeweiligen Befehls (Objektcodelänge)

ltp- Zeiger auf freien Platz in Labeltabelle (lata$)

(Label Tabellen-Pointer)

mpc- Maschinen-Programm-Counter: zeigt auf die Speicherstelle, an der der nächste Maschinencode gespeichert wird

mpstart- Anfangsadresse des Maschinenprogrammes

name$- Programmname

nflag- gesetzt, wenn bei einem Ladebefehl unmittelbare Adressierung vorliegt, sonst rückgesetzt (SUB"8-Bit-Lade-Spezial)

nolafl- no Label-Flag: gesetzt, wenn der Label-Test erfolglos war, sonst rückgesetzt; Rückgabe vom SUB Label-Test

o1$- Vorkommateil des Operanden

o2$- Nachkommateil des Operanden

of- berechneter Offset von SUB Offset

op$- Operand zur Bearbeitung

ope$- Operand, original zur Ausgabe

po- Position des Befehlswortes in den Teststrings

pokla- Position der "Klammer auf" im Operanden

poklz- Position der "Klammer zu " im OPeranden

poko- Position des Kommas im Operanden

pwi- erstes Opcode-Byte bei Indizierter Adressierung, also &FF oder &DF

rflag- gesetzt, wenn SUB"rtest"eines der Register A,B, C,D,E,H,L,(HL) festgestellt hat, sonst rückgesetzt

rrr- Code des Registers; Rückgabe von SUB"rtest"

sppo- Space-Position, Stellung des Leerzeichens in der Zeile

t$- Eingabe-String (Menue)

teadr$- Test Adressierte: Enthält alle Befehlswörter, die mit einem Operanden vorkommen

teb1$- Test 1 Byter: Enthält alle Befehlswörter, die nur ohne Operand vorkommen und einen 1-Byte Opcode haben

teed$- Test &ED: Enthält alle Befehlswörter, die nur ohne Operand vorkommen, einen 2-Byte Opcode haben und dessen erstes Byte &ED ist

```
      teps$- Test pseudo: Enthält alle Pseudo-Befehle
       ultp- Undefinierte-Label-Tabellen-Pointer: zeigt auf
             nächsten freien Platz in der Tabelle ulata$ bzw.
             udata
       vapt- Variablen Pointer: zeigt auf die Adresse von
             zei$ in der internen Variablentabelle
       wert- Wert eines Ausdrucks, Rückgabe von SUB"Werter"
             bzw. SUB"Zahltest"
      werth- High-Byte von Wert
      wertl- Low -Byte von Wert
       zei$- enthält die aktuelle Zeile zur Verarbeitung
      zeia$- enthält die aktuelle Zeile (original)
       zenr- aktuelle Zeilennummer
       Ziel- Übergabe von SUB"Offset berechnen"an Zieladresse
        zwi- diverse Zwischenspeicheraufgaben
       zwi$- diverse Zwischenspeicheraufgaben
```

Tabellen

```
   lata$(50)- Labeltabelle
    wlta(50)- Werte der Label der Wertetabelle
  ulata$(50)- Tabelle der undefinierten Label
udata$(50,2)- Daten zu undefinierten Label
      (i,0) : Zeilennummer des Auftretens
      (i,1) : Adresse des nachträglich zu pokenden Wertes
      (i,2) : Typ, d.h. 16-Bit (=2) oder Offset (=1)
     wb1(12)- Opcodes der 1-Byte Befehle (teb1$)
     wed(20)- Opcode der 2-Byte Befehle (teed$)
     reg$(7)- Registertabelle: B,C,D,E,H,L,(HL),A
    cond$(7)- Bedingungstabelle: NZ,Z,NC,C,PO,PE,a,M
    dreg$(3)- Doppelregistertabelle: BC,DE,HL,SP
```

Als erstes größeres Programmprojekt wollen wir uns noch einmal mit dem Bildschirm befassen.
Wahrscheinlich ist es Ihnen bei der Programmierung der Beispielaufgaben auch passiert, daß Sie nicht MODE 2 vor dem Programmstart eingegeben haben. Die Ergebnisse sehen dann etwas merkwürdig aus. Dieses Phänomen wollen wir jetzt erklären:

Nach der Eingabe von MODE 2 entspricht das erste Bildschirm-Byte links oben, der Adresse &C000:
Durch ›POKE &C000,255‹ erhalten wir an dieser Stelle einen Strich.
Gehen Sie nun mit dem Cursor an den unteren Bildschirmrand und scrollen einmal den Bildschirm, indem Sie den Cursor einen Schritt nach unten bewegen. Dann lassen Sie den Cursor an den Anfang der mittleren Bildschirmzeile laufen. Nach nochmaliger Eingabe von ›POKE &C000,255‹ erscheint der Strich im unteren Bildschirmbereich. Geben Sie dagegen ›Poke &C050,255‹ ein, so erscheint der Strich wieder an der alten Stelle. Die Differenz zwischen &C000 und &C050 ist &50 also dezimal 80. Diese Differenz entspricht den 80 Zeichen der Zeile, die beim Scrollen oben aus dem Bildschirm "gelaufen" ist. Scrollen Sie nun wiederum den Bildschirm, so erhalten Sie den Strich nur durch ›POKE &C0A0,255‹ wieder (&C050+&50=&C0A0).
Die Differenz von &C000 zu der wirklichen Adresse des linken oberen Bildschirmbytes wird intern an den Adressen &B1C9 (Low) und &B1CA (High) gespeichert. Lesen wir den 16-Bit-Wert dieser Speicherstelle aus. Wenn nicht zwischendurch wieder "gescrollt" wurde, ergibt

›PRINT HEX$(PEEK(&B1C9)+PEEK(&BACA)*256)‹ den Wert A0.

Das ist genau die Differenz von &C000 zu &C0A0. Durch ein

Ändern der Inhalte von &B1C9 und &B1CA entstehen u.U. interessante Effekte auf dem Bildschirm.
Bei allen den Bildschirm betreffenden Operationen müssen wir diese Differenz berücksichtigen.

Unter Berücksichtigung der Scrolldifferenz wollen wir jetzt das Programm zum Invertieren des oberen linken Zeichens ändern.

Zunächst wird HL wieder mit &C000 geladen. Da wir mit dem Assembler arbeiten, speichern wir &C000 in einer Variablen. Das Programm starten wir wie üblich ab Adresse &A000. Die ersten Zeilen sehen folgendermaßen aus:

```
10 'Bildad  EQU &C000 ; Bildschirmbasisadresse
20 'ORG     &A000
30 'LD  HL,Bildad
```

Nun muß die jeweilige Differenz zur Basisadresse addiert werden.

```
40 'LD  DE,(&B1C9) ; "Scrolldifferenz"
50 'ADD HL,DE ; Startadresse errechnen
```

Der 16 Bit Ladebefehl LD DE,(&B1C9) in Zeile 50, lädt Low- und High-Byte in das Registerpaar DE. Nun verfahren wir auf die gleiche Weise, wie im Programm in Kapitel 4.10.

```
60 'LD  DE,&800 ; Differenz
70 'LD  B,8 ; Zaehler für Schleife
80 'wieder LD A,(HL) ; aktuelle Bitmatrix
90 'CPL ; Invertieren
100 'LD (HL),A ; wieder speichern
110 'ADD HL,DE ; Differenz addieren
```

Nun kann jedoch ADD HL,DE bewirken, daß HL größer als &FFFF wird.
Beispiel:

HL=&F9A0 DE=&800

Nach ADD HL,DE :

HL=&01A0 Carry=1

Das wäre sicherlich nicht die richtige Adresse im Bildschirmspeicher, da an dieser Adresse unsere BASIC-Programme stehen. Die auf die in Adresse &FFFF gespeicherten folgenden Punkte stehen an Adresse &C000.
Ist also ein Übertrag (CF=1) aufgetreten, müssen wir &C000 zu HL addieren.
Versuchen Sie dieses Programm in Maschinensprachen zu vollenden.

Lösung:

```
120 'CALL C,DIFADD ; Unterprogramm zur Korrektur
130 'DJNZ wieder ; 8* wiederholen
140 'RET ; Rücksprung Unterprogramm
150 'DIFADD PUSH DE ; Unterprogramm start,DE retten
160 'LD DE,Bildad ; Bildad=&C000
170 'ADD HL,DE ; zu HL addieren
180 'POP DE ; DE holen
190 'RET ; Rücksprung Unterprogramm
200 'END
```

Erläuterung:

Zeile 120:
Ist ein Übertrag aufgetreten, wird zur Korrekturroutine gesprungen.

Zeile 150 und 190:
Alle Registerpaare sind bereits benutzt. Die 16 Bit-Addition ist jedoch nur implizit adressiert möglich. Daher wird der Inhalt von DE durch PUSH DE kurzzeitig auf

dem Stack zwischengespeichert und nach der Addition mit POP DE wieder vom Stapel geholt.

Assemblieren Sie dieses Programm. Betrachten wir das Assemblerlisting:

```
A000            10  BILDAD EQU  &c000 ;Bildschirmadresse
A000            20         ORG  &a000
A000 2100C0     30         LD   hl,bildad
A003 ED5BC9B1   40         LD   de,(&b1c9) ;"Scrolldifferenz
"
A007 19         50         ADD  hl,de ;neue Startadresse
A008 110008     60         LD   de,&800 ;Differenz
A00B 0608       70         LD   b,8 ;Zaehler fuer Schleife
A00D 7E         80  WIEDER LD   a,(hl) ;aktuelle Bitmatrix
A00E 2F         90         CPL   ;Invertieren
A00F 77        100         LD   (hl),a ;wieder Speichern
A010 19        110         ADD  hl,de ;Differenz addieren
A011 DC0000    120         CALL c,DIFADD ;Unterprogramm zur K
orrektur
A014 10F7      130         DJNZ wieder
A016 C9        140         RET
**** Zeile  120  : DIFADD=A017
A017 D5        150  DIFADD PUSH de ;DE retten
A018 1100C0    160         LD   de,bildad ;=&C000
A01B 19        170         ADD  hl,de ;zu hl addieren
A01C D1        180         POP  de
A01D C9        190         RET

Programm :Invers
Start : &A000    Ende : &A01D
Laenge : 001E
 0  Fehler
Variablentabelle :
BILDAD C000   WIEDER A00D   DIFADD A017
```

In Zeile 130 erfolgt ein Sprung zum Label DIFADD. DIFADD taucht aber erst in Zeile 150 wieder auf. Daher wird

zunächst DC0000 als Code gespeichert. Bei der Übersetzung von Zeile 150 findet der Assembler das Label DIFADD und gibt an, daß dieses Label in Zeile 120 vorkam. Der Code DC0000 wird dabei automatisch richtig gestellt. Das ist genauso bei JR und JP möglich. Dieses Problem tritt auf, wenn im Programm ein Vorwärtssprung stattfindet.
Die Verarbeitung von Vorwärtssprüngen auf diese Weise ist notwendig, da es sich bei dem Assembler um einen 1-Pass-Assembler handelt. Das bedeutet, daß der Assembler das Source-Programm nur ein einziges Mal durchsucht.
Ein 2-Pass-Assembler dagegen sucht beim ersten Durchlauf nur alle Variablen und Labels heraus und ordnet ihnen Werte zu. Erst beim zweiten Pass wird die Übersetzung vorgenommen. Große professionelle Assembler führen mehrere Durchläufe (PASSES) aus. Der 1-Pass-Assembler ist für unsere Zwecke insofern sinnvoller, da er ca. doppelt so schnell wie ein 2-Pass-Assembler ist.

Doch zurück zum Programm:
Natürlich gibt es noch einige andere Lösungen dieser Programmaufgabe. Zunächst ist nur entscheidend, ob das Programm die gestellte Aufgabe löst. Sinnvoll ist es jedoch nach der kürzesten und schnellsten Version zu suchen.
Bei den folgenden Programmen werden wir weniger auf Geschwindigkeit und Speicherplatzbedarf achten, als vielmehr auf die Verständlichkeit dieser Programme.

HL darf niemals kleiner als &C000 sein. Für H sind also die Werte &C0 bis &FF möglich. Bei allen Werten dieser Form, sind die obersten beiden Bits (Nummer 7 und 6) gesetzt. Zur Vorbeuge gegen Fehler, können wir bei jedem Schleifendurchlauf diese Bits auf 1 setzen. Das Unterprogramm ab Zeile 160 entfällt dann , und für Zeile 130 schreiben wir:

```
130 'SET 6,H
135 'SET 7,H
```

Mit der OR-Verknüpfung kann diese Aufgabe noch schneller gelöst werden (mit OR können Bits gesetzt werden!).

```
85 'LD C,&X11000000
130 'LD A,H
133 'OR C
135 'LD H,A
```

Auch die anderen bisher geschriebenen Programme zur Manipulation des Bildschirms, können durch das Berücksichtigen der Scrolldifferenz universell einsetzbar gemacht werden. Diese Änderungen bleiben Ihnen überlassen.

Monitor Routine BASIC

Wir haben die Arbeitsweise des Assemblers kennengelernt. Es gibt noch einige andere Hilfsmittel zur Verbesserung der Arbeit mit der Maschinensprache. Zu denen zählt u.A. der sogenannte Monitor.
Hier handelt es sich nicht um den Monitor (Bildschirm) ihres Computers, vielmehr um ein Programm, mit dem Sie z.B. den Speicherinhalt anschauen (engl. to monitor: überprüfen) oder ändern können. Ein Monitor bietet auch die Möglichkeit Maschinenprogramme zu speichern, zu laden oder zu starten.
Im Folgenden wollen wir einige Funktionen eines solchen Monitors in Maschinensprache programmieren.
Dadurch "schlagen wir zwei Fliegen mit einer Klappe:"
Sie lernen grundsätzliche Programmiertechniken kennen und erhalten als Ergebnis ein einfaches Monitor-Programm.

Wie schon erwähnt, ist die grundsätzliche Aufgabe eines Monitorprogrammes, den Speicherinhalt anzuzeigen. Das läßt sich im BASIC mit PEEK verwirklichen.
Schreiben Sie ein Programm, daß bei Eingabe von der Startadresse (V) und der Endadresse (V) die dazwischenliegenden Speicherinhalte ausgibt. Verwenden Sie bei der Ausgabe das übliche Format für einen Hex-DUMP

(Ausgabe der Speicherinhalte in hexadezimaler Form), und zwar:

Hex-Dump von Adresse &10 bis &27:

```
0010 C3 16 BA C3 10 BA D5 C9 C.:C.:UI
0018 C3 BF B9 C3 B1 B9 E9 00 C?9C19i.
0020 C3 CB BA C3 B9 B9 00 00 CK:C99..
```

Ihr Programm sollte das gleiche Bild wie unser erzeugen. Die Codes müssen in ihrer Reihenfolge unbedingt stimmen.
Beachten Sie, daß rechts neben dem eigentlichen Hex-Dump die ASCI-Darstellung der Codes erfolgt. Codes, die größer als 127 sind, werden vorher um 128 erniedrigt. Nicht darstellbare Codes (0-31), werden als Punkt ausgegeben.

Lösung:

```
10 REM Monitorroutine BASIC
20 MODE 1
30 INPUT start
40 INPUT ende
50 FOR i=start TO ende STEP 8
60 ascii$=""
70 PRINT HEX$(i,4);" ";
80 FOR j=0 TO 7
90 w=PEEK(i+j)
100 PRINT HEX$(w,2);" ";
110 IF w>127 THEN w=w-128
120 IF w<32 THEN w=46
130 ascii$=ascii$+CHR$(w)
140 NEXT j
150 PRINT" ";ascii$;
160 NEXT i
170 END
```

Mit diesem Programm können Sie sich nun das gesamte RAM des

Rechner ansehen. Geben Sie in ihr Monitorprogramm folgende Zeile ein:

```
1 REM Dies ist die erste Zeile
```

Sehen wir uns den Speicherinhalt von &170 bis &200 an. In der ASCII-Darstellung der Speicherinhalte erkennen wir die erste Zeile, d.h. den Kommentar "Dies ist die erste Zeile" wieder. Ab &170 werden die BASIC-Programme im Speicher abgelegt. Direkt auf das BASIC-Programm folgt eine intern verwaltete Seite aller benutzten Variablen im Programm, wobei für die Numerischen-Variablen der Zahlenwert direkt abgespeichert ist, und für String-Variablen die Adresse und die Länge der Zeichenkette gespeichert ist. Die Variablen sind dort in der Reihenfolge ihres Auftretens im Programm abgelegt.
Professionelle Monitorprogramme bieten die Möglichkeit direkt in der Anzeige die Speicherinhalt zu ändern. Soviel zum M-(Monitor)-Befehl des Programmes.

Fill Routine

Nun beschäftigen wir uns mit der Routine "Fill". Sie wird benutzt, um einen beliebigen Speicherbereich mit einem beliebigen, festen Wert zu füllen. So kann zum Beispiel der gesamte Bildschirmspeicher gelöscht, d.h. mit Null gefüllt werden. Der F (-ill)-Befehl wird z.B. benutzt, um vor der Programmausführung bestimmte Vorraussetzungen an Speicherinhalten zu realisieren. Es stellt sich folgendes Programmproblem:
Vom BASIC-Programm wird die Eingabe der Start- und Endadresse des zu füllenden Bereiches und der Wert, mit dem dieser Bereich gefüllt werden soll, abgefragt. Im BASIC-Programm soll geprüft werden, ob die Startadresse (V) kleiner als die Endadresse (V) ist und ob es sich um 2-Byte-Zahlen, d.h. Zahlen zwischen 0 und 2^16-1 handelt. Weiterhin muß der Wert (V) auf den Bereich von 0-255 (1

Byte) getestet werden. Diese drei Werte (entsprechen 5 Bytes) werden dann an fest definierte Speicherplätze "gepoked", so daß sie dann nach dem Maschinenspracheaufruf der Fill-Routine zur Verfügung stehen. Das Maschinenprogramm soll das eigentliche "Füllen" erledigen, danach erfolgt ein Rücksprung zum BASIC.
Hier folgt nun ein BASIC-Programm, das eine Eingabe dieser Form verarbeitet und auf die oben aufgezeigten Kriterien überprüft.

```
10 MEMORY &9FFF
90 MODE 2
100 LOCATE 10,5:PRINT"MONITOR-PROGRAMM"
110 LOCATE  5,8:PRINT"BEDIEN
120 LOCATE 7,10:INPUT"STARTADRESSE:",START
130 IF START <0 OR START>=2^16 then 120
140 IF START <>INT (START) THEN 120
150 LOCATE 7,11:INPUT"ENDADRESSE:",ENDE
160 IF ENDE<= START OR ENDE >=2^16 THEN 150
170 IF ENDE <> INT (ENDE) THEN 150
180 LOCATE 7,12:INPUT"WERT:",WERT
190 IF WERT <0 OR WERT >255 OR (WERT <> INT(WERT))
THEN 180
200 POKE &A000,WERT
210 POKE &A002, INT(START/256): POKE &A001, START-INT
(START/256)*256
220 POKE &A004, INT(ENDE/256): POKE &A003, ENDE-INT
(ENDE/256)*256
230 CALL &A005
240 END
```

Für das Maschinenprogramm steht also der Wert (V) an Adresse &A000, die Startadresse steht ab &A001 (Low/High) und die Endadresse steht ab &A003 (Low/High) zur Verfügung.
Da die ersten Speicherplätze ab &A000 besetzt sind, starten wir das Maschinenprogramm ab Adresse &A005.

Der erste Teil des Source Programmes:

```
10 'ORG          &A005
20 'Start   EQU &A001
30 'Ende    EQU &A003
40 'Wert    EQU &A000
50 'LD   A,(Wert)
60 'LD  DE,(Start) ;Blockzeiger
```

Programmbeschreibung:

Zeile 10:

Start-Programm auf &A005

Zeile 20-40:

Der Übersichtlichkeit halber werden die Adressen der übergebenen Daten (übergabeadressen) als Variablen definiert. Es braucht dann bei einer Änderung der Übergabeadressen nur der Wert in der Variablendefinition geändert zu werden.

Zeile 50-60:

Der Wert wird in den Akku (1Byte), die Endadresse in das HL-Registerpaar (2 Byte) und die Startadresse in das DE-Registerpaar geladen.

Damit kommen wir zur eigentlichen Fill-Routine.
Zunächst die naheliegendste Lösung:

```
70 'Schlei LD (DE),A ; Wert schreiben
80 'INC DE           ; Zeiger erhöhen
90 'LD HL,(Ende) ;berechnen,
100 'SBC HL,DE   ;ob schon
110 'JR NZ,Schlei    ; Ende erreicht ?
120 'LD (DE),A       ; letztes Element füllen
130 'RET
140 'END
```

Programmbeschreibung

Zeile 50:
HL mit Enadresse (V) laden

Zeile 70:
Anfang der Schleife. An Adresse HL wird der Wert (A) gespeichert.

Zeile 80:
Der Adresszeiger (DE) wird erhöht.

Zeile 100:
16-Bit Subtraktion der aktuellen Adresse von der Endadresse
(HL-DE)

Zeile 110:
Ist der Adresszeiger DE kleiner als die Endadresse in HL, so ist das Z-Flag nicht gesetzt, da HL-DE ungleich 0 ist. In diesem Fall (NZ) wird zum Schleifenanfang (Schlei) gesprungen. Ist HL jedoch gleich DE, so ist Z=1 und der nächstfolgende Befehle (Zeile 120) wird aufgeführt.

Zeile 120:
Hier wird der Wert A (=Akkuinhalt) auch noch an die Endadresse des zu füllenden Bereichs geschrieben. Das war noch nicht geschehen !! (Warum??)

Zeile 130:
Zurück zum BASIC

Wenn Sie dieses Programm vom Assembler übersetzen lassen, erhalten Sie folgendes Assemblerlisting:

```
A000            10  START  EQU  &a001
```

```
A000            20  ENDE   EQU  &a003
A000            30  WERT   EQU  &a000
A005            40         ORG  &A005
A005 3A00A0     50         LD   a,(Wert)
A008 ED5B01A0   60         LD   de,(Start) ;Blockzeiger
A00C 12         70  SCHLEI LD   (de),a ;Wert cchreiben
A00D 13         80         INC  de ;Zeiger erhoehen
A00E 2A03A0     90         LD   hl,(Ende)
A011 ED52      100         SBC  hl,de ;Ende erreicht?
A013 20F7      110         JR   nz,Schlei ;nein, weiter
A015 12        120         LD   (de),a ;letztes Element
fuellen
A016 C9        130         RET

Programm :Fill
Start : &A005    Ende : &A016
Laenge : 0012
 0  Fehler
Variablentabelle :
START  A001   ENDE   A003   WERT   A000   SCHLEI A00C
```

Schreiben Sie einen BASIC-Lader für dieses Programm, und integrieren Sie ihn in das BASIC-Fill-Programm.

```
20 FOR I=&A000 TO &A016:READ a$:a=VAL("&"+a$):POKE i,a:NEXT
25 DATA ff,00,c0,ff,ff
30 DATA 3a,00,a0,ed,5b,01,a0,12
40 DATA 13,2a,03,a0,ed,52,20,f7
50 DATA 12,c9
```

Wie schon erwähnt, ist dieses Programm die wohl einfachste Möglichkeit die Fill-Routine zu realisieren. Sie ist jedoch zu lang und zu langsam.
Die schnellste Lösung erhalten wir unter Benutzung der Blockladebefehle. Zum Füllen eines Bereiches müssen wir sie absichtlich falsch benutzen. (Siehe Kapitel 4.3)

Source Programm:

```
(Zeile 10-70 wie oben)
80 'SBC HL,DE      ; Länge des Blockes
90 'LD B,H         ; Byte-Counter mit
100 'LD C,L        ; Blocklänge laden
110 'LD H,D        ; Quellblock Anfang (HL)
120 'LD L,E        ; Mit Startadresse laden
130 'INC DE        ; Zieladresse=Startadresse+1
140 'LD (HL),A     ; erstes Quellbyte mit Wert laden
150 'LDIR
160 'RET
170 'END
```

Übersetzen Sie auch dieses Maschinenprogramm für einen BASIC-Lader. Starten Sie das BASIC-Programm, wählen Sie die Startadresse &C000, Endadresse &CFFF und Wert &FF.
Der Block liegt im Bildschirmbereich. Wert=&FF=&X1111 1111 entspricht 8 gesetzten Punkten. Als Ergebnis sollten auf dem Bildschirm waagerecht, ein Punkt breite Streifen entstehen.

Transfer Routine

Als nächstes wollen wir die Blockladebefehle "richtig" einsetzen, um eine Transferroutine zu schreiben. Dieses Programm soll einen Speicherbereich an eine andere Stelle übertragen. Mit Hilfe eines BASIC-Programmes, soll die Anfangs- und Endadresse des Quellblockes, sowie die Anfangsadresse des Zielblockes eingegeben und auf Richtigkeit überprüft werden. Für die Übergabe benutzen wir folgende Adressen:

```
Quellblock   Anfang: &A020/&A021
Quellblock   Ende  : &A022/&A023
Zielblock    Anfang: &A024/&A025
```

Die Anfangsadresse des Maschinenprogrammes ist dann &A026.

Für den Fall, daß der Quell- und der Zielblock sich nicht überlappen, soll der Zielblock die richtigen Daten enthalten, auch wenn dadurch der alte Inhalt des Quellblockes überschrieben wird.

Source Programm:

```
5 'BLOCKVERSCHIEBEROUTINE
10 'QANF  EQU  &A020  ;QUELLBLOCK ANFANGSADRESSE
20 'QEND  EQU  &A022  ;QUELLBLOCK ENDADRESSE
30 'ZANF  EQU  &A024  ;ZIELBLOCK ANFANGSADRESSE
40 'ORG   EQU  &A026  ;PROGRAMMSTART
45 ' ;PROGRAMMSTART, BLOCKLAENGE ERMITTELN
50 'LD HL,(QEND)
60 'LD DE,(QANF)
70 'OR A ; CARRY FUER SBC LOESCHEN
80 'SBC HL,DE ;=BLOCKLAENGE-1
90 'INC HL    ;+1=BLOCKLAENGE
100 'LD B,H   ;BLOCKLAENGE NACH
110 'LD C,L   ;BC SPEICHERN
115 ' ;ENTSCHEIDUNG AUF INC-ODER DECREMENTIEREN
120 'LD HL,(QANF)
130 'SBC HL,DE ;ZANF KLEINER ALS
140 'JR C,LADINC ;QANF,DANN LADINC
150 'SBC HL,BC   ;DIFFERENZ GROESSER ALS
160 'JR NC,LADINC ;BLOCKLAENGE,DANN LADINC
170 'LD HL,(ZANF)
180 'ADD HL,BC ;ZANF+LAENGE
190 'DEC HL    ;-1=ZIELBLOCKENDE
200 'EX DE,HL  ;VON HL NACH DE LADEN
210 'LD HL,(QEND) ; QUELLBLOCKENDE
220 'LDDR
230 'RET
240 ' ;BLOCKLADEN INCREMENTIEREN
250 'LADINC EX DE,HL ; QUELLANFANG VON DE NACH HL
260 'LD DE,(ZANF)
270 'LDIR
280 'RET
```

```
290 'END
```

Anfang und Ende des Programmes bedürfen keiner weiteren Eklärung. Schwieriger ist der Mittelteil, wo entschieden wird, ob der Befehl LDDR oder LDIR angewendet werden soll. (Zeile 115-160). Vergegenwärtigen Sie sich die Notwendigkeit dieser Unterscheidung (Kapitel 2.3). Im Normalfall, d.h. bei keiner Überlappung der Blöcke, verwenden wir den LDIR-Befehl. Ist die Anfangszieladresse kleiner als die Quellblockanfangsadresse, kann auch LDIR verwendet werden. Durch die Subtraktion in Zeile 130 und den Sprung in Zeile 140, wird für den Fall Zanf < Qanf, zum Blockladen-Incrementieren verzweigt. Ist Zanf >= Qanf, muß entschieden werden, ob Zanf <= Qend ist.

```
                Zanf <=  Qend
                Zanf <=  Qanf+Länge-1
     Zanf -Qanf-Länge <= -1
               HL-BC <= -1
```

Ist nach HL-BC das Carry gesetzt (Ergebnis kleiner oder gleich -1), so muß LDDR verwendet werden. Ist das Carry=0, so war HL-BC >=0, also lag Zanf nicht im Quellblock, und es wird zu LDIR verzweigt.

Um dieses Programm wieder in den Monitor einzubinden, mußte es in DATA-Zeilen abgelegt werden. Bei einem Programm dieser Länge entstehen dabei oft Fehler. Um diesem Problem zu begegnen, gibt es zwei Möglichkeiten. Während des Lesens der Data-Zeilen werden alle gelesenen Werte addiert, und die Endsumme wird mit einer Prüfsumme verglichen. Stimmt die Endsumme nicht mit der Prüfsumme überein, so liegt ein Fehler vor. Für unser Programm sieht das folgendermaßen aus:

```
10 FOR I=&A020 TO &A051
20 READ a$:a=VAL("&"+a$):POKE i,a:s=s+a:NEXT
30 DATA 00,80,FF,bF,00,c0
```

```
40 DATA 2A,22,A0,ED,5B,20,A0,B7
50 DATA ED,52,23,44,4D,2A,24,A0
60 DATA ED,52,38,10,ED,42,30,0C
70 DATA 2A,24,A0,09,2B,EB,2A,22
80 DATA A0,ED,B8,C9,EB,ED,5B,24
90 DATA A0,ED,B0,C9
100 IF s<> 5186 THEN PRINT"Fehler in Datas" ELSE PRINT
"ok!"
```

Für uns ist die zweite Möglichkeit einfacher:
Nach dem Assemblerlisting des Programms, haben Sie sicherlich den Objekt-Code auf Cassette (Diskette) gespeichert. Mit ›LOAD "Programmname"‹ können Sie dieses Programm auch von einem BASIC-Programm aus laden.

Ein Monitorprogramm sollte auch die Möglichkeit bieten Maschinenprogramme zu laden und zu speichern.
Mit Hilfe von LOAD "Name",Adresse und
SAVE "Name",B,Startadresse,Länge
läßt sich das leicht realisieren.
Verbinden Sie alle Funktionen, so "kann" ihr Monitor folgende Befehle:

M-(engl.Monitor) - Speicherbereich anzeigen
F-(engl.Fill) - Speicherbereich mit Wert (V) füllen
T-(engl.Transfer)- Speicherbereiche verschieben
L-(engl.Load) - Maschinenprogramme laden
S-(engl.Save) - Maschinenprogramme speichern

Compare Routine

Nun beschäftigen wir uns mit der Compare-Routine. Sie dient zum Vergleichen zweier Speicherbereiche. Ihr Befehlskürzel ist C. Als Eingaben von BASIC-Programmen aus, benötigt die Routine die Anfangs- und Endadresse des Ausgangsblockes und

die Anfangsadresse des zu vergleichenden Blockes. Alle Adressen des zu vergleichenden Blockes, an denen die gespeicherten Werte nicht mit dem entsprechenden des Ausgangsblockes übereinstimmen, sollen ausgegeben werden.

Source Programm:

```
10 ' ORG &A060
20 ' Flag DB 1
30 ' Anf DS 2
40 ' Ende DS 2
50 ' Anfver DS 2 ;Vergleichsblockanfang
60 ' LD DE,(Anf)
70 ' LD HL,(Ende)
80 ' OR A
90 ' SBC HL,DE ;Blocklaenge
100 ' INC HL ;+1
110 ' LD B,H
120 ' LD C,L ;nach BC laden
130 ' EX DE,HL ;Anf nach HL
140 ' LD DE,(Anfver) ;Blockzeiger
150 ' Weiter LD A,(DE) ;Vergleichselement
160 ' INC DE
170 ' CPI ;Vergleich (HL) mit A
180 ' JR NZ,Ausga ;ungleich dann Ausgabe
190 ' JP PE,Weiter ;naechstes Element
200 ' LD A,B
210 ' LD (Flag),A ;Ende, Flag=0
220 ' RET
230 ' Ausga LD (Anf),HL
240 ' LD (Anfver),DE
250 ' RET PE ;Noch nicht Blockende
260 ' DEC B ;B=255
270 ' LD A,B
280 ' LD (Flag),A ; Flag=255
290 ' RET ;Blockende
300 ' END
```

In den Zeilen 20-50 wird Speicherplatz für die zu übergebenden Daten reserviert. Dazu werden die Pseudo-Befehle benutzt. Der Befehl DB (Define Byte) legt an der aktuellen Adresse den als Operand angegebenen Wert ab. In unserem Fall wird dadurch der Wert 1 an Adresse &A060 gespeichert. Diese Speicherstelle dient als Flag für die Kommunikation mit dem BASIC-Programm. Folgende Werte für Flag sind möglich:

1- Beim Vergleich wurde Ungleichheit festgestellt, der Block ist jedoch noch nicht zuende verglichen
0- Der Block ist bis zum Ende verglichen
255- Der Block ist bis zum Ende verglichen und beim letzten Blockelement wurde Ungleichheit festgestellt.

In den Zeilen 30 und 50 steht der DS (Define Storage:Definiere Speicherplatz) verwendet. Der Pseudo-Befehl DS weist den Assembler an den mpc, um die angegebene Zahl von Speicherstellen zu erhöhen. Dadurch wird dieser Platz freigehalten, und wir können dort die Übergabevariablen speichern. In unserem Fall benötigen wir für das Abspeichern von Anf, Ende und Anver je zwei Bytes (Low- und High-Byte der Adresse), folglich haben wir DS 2 benutzt.
In den Zeilen 60-120 wird der Byte-Counter BC mit der Länge des Ausgangsblockes geladen. Der INC HL-Befehl in Zeile 100 ist notwendig, da sonst das letzte Element nicht mehr verglichen würde.
In Zeile 130 wird HL mit der Anfangsadresse des Ausgangsblockes, und in Zeile 140 DE mit der Anfangsadresse des Vergleichsblockes geladen.
Ab Zeile 150 beginnt die Hauptschleife des Programmes. Zunächst wird der Akku mit dem jeweiligen Wert des Vergleichsblockes geladen (150), und der Zeiger im Vergleichsblock wird erhöht (160). CPI hat mehrere Funktionen. Es vergleicht den Akkuinhalt (=Wert aus Vergleichsblock) mit dem Wert an der Adresse HL (=Wert im Ausgangsblock). Je nach Ausgang des Vergleiches wird das

Z-Flag beeinflußt. Weiterhin wird HL erhöht und BC erniedrigt. Ist BC danach gleich Null, so wird das P/V rückgesetzt (PO), ansonsten gesetzt (PE).
In Zeile 180 wird zur Ausgabe gesprungen, wenn die verglichenen Werte ungleich waren. Lag Gleichheit vor, wird durch Zeile 190 die Schleife wiederholt, wenn P/V=0, d.h. PE war. Ist P/V dagegen 1, so wird in Zeile 200 das Flag auf 0 gesetzt und es erfolgt ein Rücksprung ins BASIC.
Ab Zeile 220 beginnt der Programmteil zur Ausgabe.
Zuerst werden die aktuellen Blockzeiger abgespeichert. DE enthält dabei die um 1 erhöhte Adresse der Speicherstelle, die nicht gleich ist. Nach der Ausgabe dieser Adresse durch das BASIC-Programm wird die Routine erneut aufgerufen und an der richtigen Stelle fortgesetzt, da Anf und Anfver vor dem Sprung ins BASIC durch die Zeilen 230 une 240 auf den aktuellen Stand gesetzt wurden. Ist der Block noch nicht zuende verglichen, d.h. BC<>0 und P/V=1 also PE, wird der RET-Befehl ausgeführt. Ist dagegen das letzte Element verglichen worden (Gleichheit liegt nicht vor), so wird durch die Zeilen 260/280 Flag (V) auf 255 gesetzt, um von dem Fall, daß das Blockende erreicht war und Gleichheit (!) vorlag (d.h. Flag=0) zu unterscheiden.

```
A060            10         ORG  &A060
A060 01         20  FLAG   DB   1
A061            30  ANF    DS   2
A063            40  ENDE   DS   2
A065            50  ANFVER DS   2 ;Vergleichsblockanfang
A067 ED5B61A0   60         LD   DE,(Anf)
A06B 2A63A0     70         LD   HL,(Ende)
A06E B7         80         OR   A
A06F ED52       90         SBC  HL,DE ;Blocklaenge
A071 23        100         INC  HL +1
A072 44        110         LD   B,H
A073 4D        120         LD   C,L ;nach BC laden
A074 EB        130         EX   DE,HL ;Anf nach HL
A075 ED5B65A0  140         LD   DE,(Anfver) ;Blockzeiger
A079 1A        150  WEITER LD   A,(DE) ;Vergleichselement
```

```
A07A 13        160          INC  DE
A07B EDA1      170          CPI   ;Vergleich (HL) mit A
A07D 20FE      180          JR   NZ,Ausga ;ungleich dann Ausg
abe
A07F EA79A0    190          JP   PE,Weiter ;naechstes Element
A082 78        200          LD   A,B
A083 2260A0    210          LD   (Flag),A ;Ende, Flag=0
A086 C9        220          RET
**** Zeile  180  : AUSGA=A087
A087 2261A0    230  AUSGA   LD   (Anf),HL
A08A ED5365A0  240          LD   (Anfver),DE
A08E E8        250          RET  PE ;Noch nicht Blockende
A08F 05        260          DEC  B ;B=255
A090 78        270          LD   A,B
A091 3260A0    280          LD   (Flag),A
A094 C9        290          RTT   ;Blockende

Programm :Compare
Start : &A060    Ende : &A094
Laenge : 0035
0  Fehler
Variablentabelle :
FLAG   A060   ANF    A061   ENDE   A063   ANFVER A065   WEI
TER A079   AUSGA  A087
```

Das BASIC-Programm zum Aufruf der Routine sieht so aus:

```
10 REM COMPARE
20 MEMORY &9FFF
30 MODE 2
40 POKE &A060,1
50 INPUT "Blockanfang :&",a$
60 adr=&A061: GOSUB 170
70 INPUT "Blockende   :&",a$
80 adr=&A063 : GOSUB 170
90 INPUT "Vergleichsblockanfang :&",a$
100 adr=&A065 : GOSUB 170
110 CALL &A067
```

```
120 w= PEEK (&A060)
130 IF w= 0 THEN END
140 PRINT HEX$(PEEK(&A061)+256*PEEK(&A062)-1,4)
150 IF w=1 THEN 110
160 END
170 a=VAL ("&"+a$)
180 IF a<0 THEN a=a+2^16
190 ah=INT (a/256)
200 POKE adr,a-ah*256
210 POKE adr+1,ah
220 RETURN
```

Den Befehl GO (G), also den Aufruf eines Maschinenprogrammes vom Monitorprogramm aus (z.B. zu Testzwecken), können Sie leicht mit dem BASIC-Befehl >CALL Adresse<, und einer entsprechenden Eingaberoutine für die Adresse (V), selbst programmieren.

Bei dem Compare-Programm ist das Hin- und Herspringen zwischen BASIC und Maschinensprache recht umständlich und unübersichtlich. Die Verbindung zwischen Maschinensprache und BASIC war notwendig, da wir in Maschinensprache noch keine Ein- und Ausgabe (d.h. INPUT bzw. PRINT) programmieren können. Diese Routinen sind relativ kompliziert. Zum Ausgeben z.B. eines Buchstabens auf dem Bildschirm, müßte die richtige Position des Buchstaben unter Berücksichtigung der Scrolldifferenz berechnet werden. Danach müssen die 8-Bytes, die zur Darstellung des Zeichens dienen, aus dem Zeichenspeicher (ROM &3800 bis &3FFF) gelesen und in den Bildschirmspeicher geschrieben werden. Da die Ausgabe von Zeichen auf dem Bildschirm schon nach dem Einschalten des Rechners funktioniert, muß die Routine dafür schon im ROM existieren. Wenn wir diese Routine oder wenigstens ihre Startadresse kennen würden, könnten wir sie direkt von unserem Maschinenspracheprogramm aus aufrufen. Diese Möglichkeit mit Hilfe der Maschinensprache sogenannte Systemroutinen aufzurufen ist sehr nützlich und interessant.

6.1 DER DISASSEMBLER

Der CPC 464 besitzt 32K ROM. Diese 32 Kilobyte sind mit Systemroutinen beschrieben. Die oberen 16K ROM (&C000 bis &FFFF) enthalten das BASIC, die unteren 16K (&0 bis &3FFF) das Betriebssystem des Rechners. Im Betriebssystem sind viele Routinen enthalten, die für den Maschinenprogrammierer von Interesse sind.
Zum Analysieren dieser Routinen benötigen wir ein weiteres "Werkzeug", den Disassembler.
Ein Disassembler interpretiert die Bytes eines eingegebenen Bereiches als Maschinencode und übersetzt die Zahlen in die dazugehörigen Assemblerbefehle. Damit bildet der Disassembler das Gegenstück zum Assembler. Mit dem Disassembler können wir fremde Maschinenprogramme, die als BASIC-Lader (DATA-Zeilen) gegeben sind, nach dem Laden in Assemblerbefehle rückübersetzen. Auch rechnerinterne Routinen lassen sich übersetzen. Aus diesen, von "Profis" erstellten Programmen, läßt sich viel abgucken. Außerdem können wir die Routinen noch in unseren eigenen Programmen verwenden.
Zum Ausprobieren des Disassemblers, starten Sie ihn mit ›RUN‹ und geben &BACB als Start- und &BADB als Endadresse ein.
Sie erhalten folgendes Bild.

```
BACB  F3          DI
BACC  D9          EXX
BACD  59          LD    E,C
BACE  CB D3       SET   2,E
BADO  CB DB       SET   3,E
BAD2  ED 59       OUT   (C),E
BAD4  D9          EXX
```

```
BAD5  7E        LD    A,(HL)
BAD6  D9        EXX
BAD7  ED 49     OUT   (C),C
BAD9  D9        EXX
BADA  FB        EI
BADB  C9        RET
```

Diese eben übersetzte Systemroutine dient zum Lesen des RAM's. Der an Adresse HL im RAM stehende Wert wird unabhängig vom jeweiligen ROM/RAM Zustand in den Akku geladen. Die Routine wird über den RST &20-Befehl aufgerufen. Sehen Sie an Adresse &20 nach:

```
0020  C3 CB BA     JP    &BACB
```

Achten Sie beim Eingeben des Disassemblers auf die Programmbeschreibung !

```
10 MEMORY &9FFF
20 MODE 2
30 GOTO 990
40 LOCATE 18,4:PRINT"Z 8 0  -  D I S A S S E M B L E R"
50 LOCATE 5,7:INPUT"Drucker (j/n) ",e$
60 IF e$="j" THEN aus=8 ELSE aus=0
70 LOCATE 5,10:INPUT"Startadresse : &",a$
80 GOSUB 900:anfa=a
90 LOCATE 5,12:INPUT"Endadresse   : &",a$
100 GOSUB 900:ende=a
110 IF anfa>ende THEN 20
120 pc=anfa
130 MODE 2
140 adr=pc
150 PRINT#aus,HEX$(adr,4);"  ";
160 iflag=0
170 GOSUB 940
180 GOSUB 300
190 IF iflag THEN 600
200 IF w=&CF OR w=&D7 OR w=&DF OR w=&EF THEN pr$=pr$+" /DW:n
n"
210 IF INSTR(pr$,"n")<>0 THEN 700
220 IF INSTR(pr$,"e")<>0 THEN 820
230 po=INSTR(pr$," ")
240 IF PR$="" THEN PR$="???"
250 IF po=0 THEN PRINT#aus,TAB(21);pr$;:GOTO 270
260 PRINT#aus,TAB(21);LEFT$(pr$,po-1);TAB(27);RIGHT$(pr$,LEN
(pr$)-po);
270 PRINT#aus
280 IF pc<=ende THEN 140
290 END
300 REM Interpretieren
310 IF (w=&DD OR w=&FD) AND NOT iflag THEN 490
320 IF w=&ED THEN 460
330 IF w=&CB THEN 410
340 GOSUB 540
350 ON co1 GOTO 370,390,360
360 pr$=bef$(w):RETURN
```

```
370 IF w=&76 THEN pr$="HALT":RETURN
380 pr$="LD "+regtab$(co2)+","+reg$:RETURN
390 IF co2=0 OR co2=1 OR co2=3 THEN a$=" A," ELSE a$=" "
400 pr$=arilog$(co2)+a$+reg$:RETURN
410 REM cb
420 GOSUB 940
425 IF iflag THEN dis=w:GOSUB 940
430 GOSUB 540
440 IF co1=0 THEN pr$=rotschi$(co2)+" "+reg$ ELSE pr$=bitti$
(co1)+STR$(co2)+","+reg$
450 RETURN
460 REM ed
470 GOSUB 940
480 IF w<&40 OR w>&BF THEN pr$="???":RETURN ELSE GOTO 360
490 REM xy
500 iflag=-1
510 IF w=&DD THEN i$="IX" ELSE i$="IY"
520 GOSUB 940
530 GOTO 300
540 REM code zerlegen
550 co1=(w AND &X11000000)/64
560 co2=(w AND &X111000)/8
570 co3=w AND &X111
580 reg$=regtab$(co3)
590 RETURN
600 REM indiziert
610 po=INSTR(pr$,"HL")
620 IF po=0 THEN pr$="???":GOTO 230
630 IF INSTR(pr$,"(HL)")<>0 THEN 670
640 IF pr$="EX DE,HL" THEN pr$="???":GOTO 230
650 IF pr$="ADD HL,HL" THEN pr$="ADD "+i$+","+i$:GOTO 230
660 pr$=LEFT$(pr$,po-1)+i$+RIGHT$(pr$,LEN(pr$)-po-1):GOTO 20
0
670 IF LEFT$(pr$,2)="JP" THEN 660
680 IF pc-adr<3 THEN GOSUB 940:dis=w
685 IF dis>127 THEN dis$=STR$(dis-256) ELSE dis$="+"+RIGHT$(
STR$(dis),LEN(STR$(dis))-1)
690 i$=i$+dis$:GOTO 660
```

```
700 REM n ersetzen
710 po=INSTR(pr$,"nn")
720 IF po<>0 THEN 770
730 po=INSTR(pr$,"n")
740 GOSUB 940
750 pr$=LEFT$(pr$,po-1)+"&"+HEX$(w,2)+RIGHT$(pr$,LEN(pr$)-po
)
760 GOTO 230
770 GOSUB 940:lb=w
780 GOSUB 940
790 wert=w*256+lb
800 pr$=LEFT$(pr$,po-1)+"&"+HEX$(wert,4)+RIGHT$(pr$,LEN(pr$)
-po-1)
810 GOTO 230
820 REM e ersetzen
830 po=INSTR(pr$,"e")
840 GOSUB 940
850 IF w>127 THEN w=w-256:REM 2er-Komp.
860 w=w+2
870 a$="$"+STR$(w)+" >"+"&"+HEX$(pc+w-2,4)
880 pr$=LEFT$(pr$,po-1)+a$+RIGHT$(pr$,LEN(pr$)-po)
890 GOTO 230
900 REM Umwandlung hex -> dez
910 IF a$="" THEN a=0:RETURN
920 a=VAL("&"+a$)
930 RETURN
940 REM Byte lesen
950 w=PEEK(pc)
960 pc=pc+1
970 PRINT#aus,HEX$(w,2);" ";
980 RETURN
990 REM init
1000 DIM regtab$(7),rotschi$(8),bitti$(3),arilog$(7),bef$(25
5)
1010 FOR i=0 TO 7:READ regtab$(i):NEXT
1020 FOR i=0 TO 7:READ rotschi$(i):NEXT
1030 FOR i=1 TO 3:READ bitti$(i):NEXT
1040 FOR i=0 TO 7:READ arilog$(i):NEXT
```

```
1050 FOR i=0 TO &7F:READ bef$(i):NEXT
1060 FOR i=&80 TO &9F:bef$(i)="":NEXT
1070 FOR i=&A0 TO &FF:READ bef$(i):NEXT
1080 GOTO 40
1090 REM DATAS
1100 DATA B,C,D,E,H,L,(HL),A
1110 DATA RLC,RRC,RL,RR,SLA,SRA,???,SRL
1120 DATA BIT,RES,SET
1130 DATA ADD,ADC,SUB,SBC,AND,XOR,OR,CP
1140 DATA NOP,"LD BC,nn","LD (BC),A",INC BC,INC B,DEC B,"LD
B,n",RLCA
1150 DATA "EX AF,AF'","ADD HL,BC","LD A,(BC)",DEC BC,INC C,D
EC C,"LD C,n",RRCA
1160 DATA DJNZ e,"LD DE,nn","LD (DE),A",INC DE,INC D,DEC D,"
LD D,n",RLA
1170 DATA JR e,"ADD HL,DE","LD A,(DE)",DEC DE,INC E,DEC E,"L
D E,n",RRA
1180 DATA "JR NZ,e","LD HL,nn","LD (nn),HL",INC HL,INC H,DEC
 H,"LD H,n",DAA
1190 DATA "JR Z,e","ADD HL,HL","LD HL,(nn)",DEC HL,INC H,DEC
 H,"LD L,n",CPL
1200 DATA "JR NC,e","LD SP,nn","LD (nn),A",INC SP,INC (HL),D
EC (HL),"LD (HL),n",SCF
1210 DATA "JR C,e","ADD HL,SP","LD A,(nn)",DEC SP,INC A,DEC
A,"LD A,n",CCF
1220 DATA "IN B,(C)","OUT (C),B","SBC HL,BC","LD (nn),BC",NE
G,RETN,IM 0,"LD I,A"
1230 DATA "IN C,(C)","OUT (C),C","ADC HL,BC","LD BC,(nn)",,R
ETI,,"LD R,A"
1240 DATA "IN D,(C)","OUT (C),D","SBC HL,DE","LD (nn),DE",,,
IM 1,"LD A,I"
1250 DATA "IN E,(C)","OUT (C),E","ADC HL,DE","LD DE,(nn)",,,
IM 2,"LD A,R"
1260 DATA "IN H,(C)","OUT (C),H","SBC HL,HL","LD (nn),HL",,,
,RRD
1270 DATA "IN L,(C)","OUT (C),L","ADC HL,HL","LD HL,(nn)",,,
,RLD
1280 DATA ,,"SBC HL,SP","LD (nn),SP",,,,
```

```
1290 DATA "IN A,(C)","OUT (C),A","ADC HL,SP","LD SP,(nn)",,,
,
1300 DATA LDI,CPI,INI,OUTI,,,,,LDD,CPD,IND,OUTD,,,,
1310 DATA LDIR,CPIR,INIR,OTIR,,,,,LDDR,CPDR,INDR,OTDR,,,,
1320 DATA RET NZ,POP BC,"JP NZ,nn",JP nn,"CALL NZ,nn",PUSH B
C,"ADD A,n",RST &00
1330 DATA RET Z,RET,"JP Z,nn",->,"CALL Z,nn",CALL nn,"ADC A,
n",RST &08
1340 DATA RET NC,POP DE,"JP NC,nn","OUT (n),A","CALL NC,nn",
PUSH DE,"SUB n",RST &10
1350 DATA RET C,EXX,"JP C,nn","IN A,(n)","CALL C,nn",->,"SBC
 A,n",RST &18
1360 DATA RET PO,POP HL,"JP PO,nn","EX (SP),HL","CALL PO,nn"
,PUSH HL,"AND n",RST &20
1370 DATA RET PE,JP (HL),"JP PE,nn","EX DE,HL","CALL PE,nn",
->,"XOR n",RST &28
1380 DATA RET P,POP AF,"JP P,nn",DI,"CALL P,nn",PUSH AF,"OR
n",RST &30
1390 DATA RET M,"LD SP,HL","JP M,nn",EI,"CALL M,nn",->,"CP n
",RST &38
```

ERKLÄRUNG:

Zeile 10-130:
Menue: Eingabe von Start- und Endadresse. Entscheidung, ob Drucker oder Bidschirm

In den Zeilen 140-290:
steht die Hauptschleife des Programms:

Zeile 150:
Hier wird die aktuelle Adresse ausgegeben

Zeile 170:
Nächstes Byte lesen und ausgeben

Zeile 180:
Sprung ins Unterprogramm, daß die Interpretation ausführt

Zeile 190:
Zur Behandlung Indizierter-Befehle springen, wenn iflag gesetzt ist (=-1)

Zeile 200:
Behandlung der RST-Befehle, die das folgende Dataword benutzen

Zeile 210:
Verzweigung, wenn Befehl Zahlen enthält

Zeile 220:
Verzweigung, wenn Befehl relative Distanzen enthält

Zeile 230-270:
Formatierte Ausgabe

Zeile 280:
Wenn noch nicht Ende, dann zurück zum Anfang der

Hauptschleife

In den Zeilen 300-530:
stehen die Unterprogramme zur Interpretation

Zeile 310:
Verzweigung zur Behandlung Indizierter Befehle

Zeile 320:
Verzweigung zur Behandlung der Befehle, die mit &ED beginnen

Zeile 330:
Verzweigung zur Behandlung der Befehle, die mit &CB beginnen

Zeile 340:
Sprung ins Unterprogramm, das w in co1(Bit 6,7),co2(Bit 5-3) und co3 (Bit 2-0) zerlegt.

Zeile 350:
Bei co1=0 und co1=3 zu Zeile 360, d.h. Befehle aus Tabelle lesen, sonst Zeile 370 Befehle der Form LD reg,reg' bzw. Zeile 390 8-Bit Arithmetisch Logische Befehle

Zeile 360:
pr$ aus Tabelle bestimmen

Zeile 370/380:
Befehle der Form LD r,r' und HALT

Zeile 390/400:
Arilog-Befehle

In den Zeilen 410-450
findet die Behandlung der Befehle, die mit dem Code &CB anfangen statt

Zeile 420:
nächstes Byte lesen

Zeile 430:
in co1,co2,co3 zerlegen

Zeile 440:
pr$ für Rotier-bzw. Schiebebefehle (co1=0) und Bit-Manipulationsbefehle erzeugen

In den Zeilen 460-480
findet die Behandlung der Befehle, die mit dem Code &ED anfangen statt

Zeile 470:
nächsttes Byte lesen

Zeile 480:
wenn gültiger Code in Tabelle (Zeile 360) ermitteln

In den Zeilen 490-530
findet die erste Behandlung der Indizierten Befehle (von Zeile 310) statt

Zeile 500:
Flag setzen

Zeile 510:
in i$ das Register speichern (entweder IX oder IY)

Zeile 520:
nächstes Byte lesen

Zeile 530:
Interpretation nochmals beginnen (Zeile 300)

Zeile 540-590:

SUB Code zerlegen, w wird in co1 (Bit7,6), co2 (Bit 5-3) und co3 (Bit 2-0) zerlegt. reg$ enthält das zu co3 gehörende Register

Zeile 600-690:
Indizierte Befehl zweite Behandlung (Ansprung von Zeile 190). Prüfen, ob Indizierter Befehl zulässig; wenn ja, dann HL durch i$ ersetzen. Falls Distanzangabe nötig lesen Zeilen 680/690 die Distanz

Zeile 700-810:
Enthält pr$ ein "n", so wird hier eine Zahl für n eingesetzt

Zeile 730-760:
1 Byte Zahlen (n)

Zeile 770-810:
2 Byte Zahlen (nn)

Zeile 820-890:
Offset (e) ersetzen

Zeile 850/860:
Offset berechnen

Zeile 870/880:
Offset einsetzen

Zeile 900-930:
SUB Hex-Dez Wandler

Zeile 940-980:
SUB nächstes Byte lesen und ausgeben

Zeile 990-1080:
Initialisierung:Aufbau der Tabellen

Zeile 1090-1380:
DATA-Zeilen

Variablenliste

```
      a- Rückgabe von SUB"Hex.-Dez."Wert von a$ als Hex.-
         Zahl interpretiert
     a$- Eingabe einer Hexzahl/ Übergabe an SUB"Hex.-Dez."
    adr- Adresse des ersten Codes des aktuellen Befehls
   anfa- Anfangsadresse Übersetzung
    aus- Kanal Ausgabegerät
    co1- Bit 7 und 6
    co2- Bit 5 bis 3
    co3- Bit 2-0
    dis- Distanz bei Indizierten Befehlen
   dis$- Distanz String für Ausgabe
     e$- Eingabe String (j/n)
   ende- Endadresse übersetzen
     i$- enthält aktuelles Indexregister
  iflag- gesetzt, wenn Indizierte Adressierung, sonst
         rückgesetzt
     lb- Zwischenspeicherung des Low-Bytes bei 2-Byte
         Zahlen
     pc- Programmzeiger zeigt auf die Adressen des
     po- Position von n,nn,e,HL... in pr$
    pr$- Print $ enthält Assemblerbefehl
   reg$- Register: Rückgabe von SUB Code zerlegen
      w- reg$ enthält den co3 zugeordneten Register
         gelesenen Code
   wert- Wert einer 2-Byte Zahl (nn)
```

Tabellen

```
  regtab$(7)  - Register
rotschie$(7)  - Rotier- und Schiebebefehle
   bitti$(3)  - Bit-Manipulationsbefehle
  arilog$(7)  - Arithmetisch bzw. Logische Befehle
     bef$(255)- 0 bis &3F: Befehl, die mit &ED beginnen und
                als Byte eins die Nummer haben
                &40-&BF: Befehle, die mit &ED bginnen und
                als Byte zwei die Nummer haben
                &BF-&FF: Befehle, die als Byte eins die
                Nummer haben
```

Eine der wohl wichtigsten Systemroutinen ist die zur Ausgabe eines Zeichens auf dem Bildschirm. Mit CALL &BB5A kann sie aufgerufen werden. Diese Routine gibt das Zeichen aus, daß dem im Akku enthaltenen Wert entspricht.
Schreiben Sie ein Programm, zur Ausgabe des Zeichensatzes (Codes 32 bis 255) des Schneider CPC 464.

Lösung:

```
10 'ORG &A000
20 'PRINT EQU &BB5A
30 'LD B,223 ;ZAEHLER=255-32
40 'LD A,32
50 'SCHLEI CALL PRINT ;CHR$(A) AUSGEBEN
60 'INC A
70 'DJNZ SCHLEI
80 'RET
90 'END
```

Im Zusammenhang mit der Ausgabe von Zeichen besitzt der Assembler den Pseudo-Befehl DM. Auf den DM-Befehl folgt als Operand ein Wort in Anführungszeichen. Die ASCII Codes der Buchstaben des Wortes werden durch DM ab der aktuellen Adresse abgelegt. Sehen Sie sich folgendes Programm an:

```
10 ' ORG &A000
20 ' PRINT EQU &BB5A
30 ' LD HL,wort ; Adresse des auszugebenden Wortes
40 ' schlei LD a,(HL) ; Akku mit ASCII-Code des jeweiligen
Buchstaben laden
50 ' INC HL ; Zeiger auf naechsten Buchstaben setzen
60 ' CALL PRINT
70 ' OR A ; Flags setzen
```

```
80 ' JR NZ,schlei ; noch nicht 0,dann naechsten Buchstaben
90 ' RET
100 ' wort DM "Schneider"
110 ' DB 0
120 ' END
```

Das durch DB 0 erzeugte Nullbyte am Ende des Wortes (Zeile 110), dient zur Erkennung des Endes des auszugebenden Wortes.

Disassemblieren Sie ab der Einsprungadresse der Routine (&BB5A). Sie erhalten folgende Ausgabe:

```
BB5A CF 00 94     RST   &08/DW: &9400
```

An Adresse &BB5A steht ein Restart-Befehl nach Adresse &0008. Übersetzen wir dort weiter:

```
0008 C3 82 B9     JP    &B982
```

Diese Routine (ab &B982) wird als "RST &08 Routine" bezeichnet. Sie bewirkt, daß die beiden hinter dem RST &08-Befehl stehenden Bytes (Low/High) besonders behandelt werden. Aus diesem Grund gibt der Disassembler die auf den RST &08 folgenden Bytes mit dem Kennzeichen DW (DATA-Word, d.h. Low- und High-Byte) aus. DW stellt auch einen Pseudo-Befehl dar, der bewirkt, daß das auf den Befehl folgende Data word, also eine 2-Byte Zahl, an der jeweiligen Stelle im Speicher abgelegt wird.Die Bits 0-13 werden als Sprungzeiladresse interpretiert (mit 14 Bits sind Adressen im Bereich von &0 bis &3FFF darstellbar). Bit 14 und 15 dienen zur Selection vom ROM bzw. RAM.
Bit 14 bestimmt den Status des Bereiches von &0-&3FFF. Bit 15 bestimmt den Status des Bereiches von &C000 bis &FFFF (Bildschirm RAM oder BASIC ROM). Ein gesetztes Bit selectiert das ROM, ein rückgesetztes wählt das ROM aus.
Welchen Status und welches Sprungziel hat folgender Befehl?

```
RST &08
DW  &9400
```

Zerlegen wir:
&9400=&8000+&1400=&X10 01 0100 0000 0000

Bit 15=1 => Bildschirm RAM
Bit 14=0 => Betriebssystem ROM
Adresse : &1400

RST &08/DW &9400 bewirkt einen Sprung zur Betriebssystemroutine an Adresse &1400. Der Bildschirm (RAM) ist selectiert.
Obwohl die RST-Befehle prinzipiell Unterprogrammsprünge sind, d.h. die Rücksprungadresse wird auf den Stack gelegt, ist der RST &08-Befehl kein Unterprogramm sondern ein normaler Sprung. Das wird durch Stapelmanipulation in der Routine ab &B982 erreicht.
Auch die anderen RST-Befehle haben besondere Aufgaben. Wir werden sie im Laufe des Kapitels besprechen.

Mit Hilfe der Print-Routine wollen wir jetzt ein Monitor Programm schreiben.

Der Monitor

Da wir die Speicherinhalte als Hex-Zahlen ausgeben, brauchen wir zunächst ein Unterprogramm, daß ein Byte als Hexzahl ausgibt. Das auszugebende Byte wird im Akku übergeben.

Beispiel: A= 63 = &3F = &X 0011 1111

F entspricht den unteren 4 Bit (High-Nibble).
3 entspricht den oberen 4 Bit (Low -Nibble).

Zuerst wird das High-Nibble ausgegeben. Dazu verschieben wir den Akkuinhalt 4 mal nach rechts (8 Bit-Rotation). Das Ergebnis dieser Verschiebung ist &X 1111 0011. Dann werden mit AND die obersten 4 Bit gelöscht. Anschließend enthält der Akku den Wert &X 0000 0011=3. Dieser Wert (3) soll ausgegeben werden.
Der ASCII Code von 3 ist 51. Um den Wert 51 im Akku zu erhalten, müssen wir 48 zum Akkuinhalt (=3) addieren. Danach wird die PRINT-Routine aufgerufen. Zum Ausgeben des Low-Nibbles löschen wir die obersten 4 Bit vom alten Akkuinhalt. Nach der Addition von 48 erhalten wir 63. Als Ausgabe wollen wir F (&F=15) erhalten. Der ASCII-Wert von F ist 70. Das bedeutet, daß wenn die auszugebende Hexziffer größer als 9 ist (also als Buchstabe dargestellt wird) muß zusätzlich 7 addiert werden, bevor die Routine aufgerufen wird.
Versuchen Sie die Routine für die Ausgabe eines Bytes in hexadezimaler Form zu schreiben.

```
A000            10         ORG  &a000
A000            20 PRINT   EQU  &bb5a
A000            30 ; ausgahex
A000            40 ; gibt Akku hexadezimal aus
A000            50 ; E-Register wird veraendert
A000 5F         60 AUSHEX LD   e,a ; Akku zwischenspeichern
A001 0F         70         RRCA  ; Akku um
A002 0F         80         RRCA  ; 4 Bits nach
A003 0F         90         RRCA  ; rechts
A004 0F        100         RRCA  ;rotieren
A005 E60F      110         AND  &X1111 ; Bit 4-7 loeschen
A007 CD0000    120         CALL conv ; High-Nibble ausgeben
A00A 7B        130         LD   a,e ; alter Akkuinhalt
A00B E60F      140         AND  &X1111 ; Bit 4-7 loeschen
A00D CD0000    150         CALL conv ; Low-Nibble ausgeben
A010 C9        160         RET   ; ende aushex
A011           170 ; Routine conv
A011           180 ; gibt dem Akkuinhalt entsprechende Hexzif
```

```
fer aus
**** Zeile  120  : OONV=&AO11
**** Zeile  150  : CONV=&AO11
AO11 FEOA     190  CONV   CP   &a ; Wert der Ziffer < 10
AO13 38FE     200        JR   c,zahl ; ja dann nach Zahl
AO15 C607     210        ADD  a,7 ; 7 fuer Buchstaben addi
eren
**** Zeile  200  : ZAHL=&AO17
AO17 C630     220  ZAHL   ADD  a,48 ; =ASCII Code der Hex-Zi
ffer
AO19 CD5ABB   230        CALL print
AO1C C9       240        RET   ; ende conv

Programm :ausgahex
Start : &AOOO    Ende : &AO1C
Laenge : OO1D
 0  Fehler
Variablentabelle :
PRINT  BB5A  AUSHEX AOOO  CONV   AO11  ZAHL   AO17
```

Mit diesem Programm können wir nun die Ausgabe für das Compare Programm aus dem letzten Kapitel in Maschinensprache schreiben. Verbinden Sie beide Programme so, daß die Ausgabe der Adressen von obiger Routine erledigt wird.

```
AOOO            10                ;compare
AOOO            20        ORG   &AOOO
AOOO            30  PRINT EQU   &bb5a
AOOO            40  ANF   DS    2
AOO2            50  ENDE  DS    2
AO44            60  ANFVER DS    2 ;Vergleichsblockanfang
AOO6 ED5BOOAO   70        LD    DE,(Anf)
AOOA 2AO2AO     80        LD    HL,(Ende)
AOOD B7         90        OR    A
AOOE ED52      100        SBC   HL,DE ;Blocklaenge
AO10 23        110        INC   HL ;+1
AO11 44        120        LD    B,H
```

```
A012 4D       130          LD   C,L ;nach BC laden
A013 EB       140          EX   de,hl ;Anf nach HL
A014 ED5B04A0 150          LD   DE,(Anfver) ;Blockzeiger
A018 1A       160  WEITER LD   A,(DE) ;Vergleichselement
A019 13       170          INC  DE
A01A EDA1     180          CPI   ;Vergleich (HL) mit A
A01C C40000   190          CALL NZ,Ausga ;ungleich dann Ausg
abe
A01F EA18A0   200          JP   PE,Weiter ;naechstes Element
A022 C9       210          RET   ; ende compare
A023          220                ;
**** Zeile  190  : AUSGA=&A023
A023 D5       230  AUSGA   PUSH de ; Blockzeiger retten
A024 F5       240          PUSH af ; Flags retten
A025 2B       250          DEC  hl ; hl fuer ausgabe erniedr
igen
A026 7C       260          LD   a,h
A027 CD0000   270          CALL aushex ; Low Byte ausgeben
A02A 7D       280          LD   a,l
A02B CD0000   290          CALL aushex ; High Byte ausgeben
A02E 23       300          INC  hl ; hl wieder richtigstelle
n
A02F 3E20     310          LD   a,&20 ; Leerzeichen
A031 CD5ABB   320          CALL print
A034 F1       330          POP  af
A035 D1       340          POP  de
A036 C9       350          RET   ;ende ausga
A037          360                ;
A037          370                ; ausgahex
A037          380                ; gibt Akku hexadezimal aus
A037          390                ; E-Register wird veraender
t
**** Zeile  270  : AUSHEX=&A037
**** Zeile  290  : AUSHEX=&A037
A037 5F       400  AUSHEX LD   e,a ; Akku zwischenspeichern
A038 0F       410          RRCA  ; Akku um
A039 0F       420          RRCA  ; 4 Bits nach
A03A 0F       430          RRCA  ; rechts
```

```
A03B 0F       440          RRCA  ;rotieren
A03C E60F     450          AND  &x1111 ; Bit 4-7 loeschen
A03E CD0000   460          CALL conv ; High-Nibble ausgeben
A041 7B       470          LD   a,e ; alter Akkuinhalt
A042 E60F     480          AND  &x1111 ; Bit 4-7 loeschen
A044 CD0000   490          CALL conv ; Low-Nibble ausgeben
A047 C9       500          RET   ; ende aushex
A048          510                ; Routine conv
A048          520                ; gibt dem Akkuinhalt entsp
rechende Hexziffer aus
**** Zeile  460  : CONV=&A048
**** Zeile  490  : CONV=&A048
A048 FE0A     530  CONV    CP   &a ; Wert der Ziffer < 10
A04A 38FE     540          JR   c,zahl ; ja dann nach Zahl
A04C 38FE     550          JR   c,zahl
A04E C607     560          ADD  a,7 ; 7 fuer Buchstaben addi
eren
**** Zeile  540    ZAHL=&A050
**** Zeile  550  : ZAHL=&A050
A050 C630     570  ZAHL    ADD  a,48 ; =ASCII Code der Hex-
Ziffer
A052 CD5ABB   580          CALL print
A055 C9       590          RET   ; ende conv

Programm :comheaus
Start : &A000    Ende : &A055
Laenge : 0056
0  Fehler
Variablentabelle :
PRINT  BB5A  ANF    A000  ENDE   A002  ANFVER A004  WEITER
A018  AUSGA  A023  AUSHEX A037  CONV   A048  ZAHL   A050
```

Jetzt wollen wir mit der Monitor Routine fortfahren.
Vom BASIC aus werden die Start- und Endadresse übergeben.

```
10 ' ORG &A000
20 ' PRINT EQU &BB5A
30 ' START DS 2
```

```
40 ' ENDE DS 2
```

Laden wir zunächst HL mit der Startadresse und geben diese aus:

```
50 ' LD HL,(START) ; Zeiger
60 ' WEI16 LD A,H ; High Byte ausgeben
70 ' CALL AUSHEX
80 ' LD A,L ; Low Byte ausgeben
90 ' CALL AUSHEX
```

Danach soll ein Leerzeichen ausgegeben werden:

```
100 ' LD A,&20 ; ASCII von Leerzeichen
110 ' CALL PRINT
```

Nun werden die Werte der 16 (8 bei Mode 1) folgenden Speicherstellen ausgegeben:

```
120 ' LD B,16 ; Zaehler
130 ' WEI LD A,(HL) ; Byte in Akku laden
140 ' CALL AUSHEX ; und ausgeben
150 ' LD A,&20 ; Leerzeichen
160 ' CALL PRINT ; ausgeben
170 ' INC HL
180 ' DJNZ WEI
```

Als Nächstes wird ein Leerzeichen ausgegeben und die letzten 16 (8) Bytes werden als ASCII-Zeichen ausgegeben. Von Codes, die größer als 127 sind, wird 128 abgezogen (Bit 7 wird rückgesetzt). Für Codes, die kleiner als 32 sind (Steuerzeichen), wird ein Punkt (ASCII= 46) ausgegeben.

```
190 ' LD A,&20
200 ' CALL PRINT ; Leerzeichen
210 ' LD DE,16
220 ' OR A ; Carry = 0
230 ' SBC HL,DE ; Zeiger um 16 erniedrigen
```

```
240 ' LD B,16
250 ' WEIAS LD A,(HL) ; Akku mit Byte laden
260 ' INC HL ; Zeiger erhoehen
270 ' RES 7,A ; Grafikzeichen in ASCII umwandeln
280 ' CP $20 ; groesser gleich 32 ??
290 ' JR NC,PR ; ja, dann Ausgabe
300 ' LD A,46 ; ASCII fuer Punkt
310 ' PR CALL PRINT ; Zeichen ausgeben
320 ' DJNZ WEIAS
```

Um auf den Anfang der nächsten Zeile zu gelangen, wird der Code 13 und Code 10 gesendet:
(CHR$(13) = Carriage Return = Enter)
(CHR$(10) = Line Feed-Zeilenvorschub)

```
330 ' LD A,13 ; Carriage Return
340 ' CALL PRINT ; ausgeben
350 ' LD A,10 ; Zeilenvorschub
360 ' CALL PRINT ; ausgeben
```

Nun wird geprüft, ob bereits das Ende erreicht ist:

```
370 ' PUSH HL ; Zeiger retten
380 ' LD DE,(ENDE)
390 ' OR A ; Carry = 0
400 ' SBC HL,DE ; Zeiger-Ende<=0
410 ' POP HL ; Zeiger holen (keine Flagbeeinflussung !!)
420 ' JR C,WEI16 ; HL-DE<0, dann weiter
430 ' JR Z,WEI16 ; HL-DE=0, dann weiter
440 ' RET ; HL-DE>0, dann Ende
450 ' ;Ende Monitor
```

Jetzt muß noch die Routine Aushex angehängt oder vorangestellt werden, und unser Programm ist lauffähig:

```
460 ' ;Ausgahex
470 ' ; gibt Akku Hexadezimal aus
480 ' ; E-Register wird veraendert
```

```
490 ' AUSHEX LD E,A ; Akku zwischenspeichern
500 ' RRCA ; Akku um
510 ' RRCA ; 4 Bits nach
520 ' RRCA ; rechts
530 ' RRCA ; rotieren
540 ' AND &X1111 ; Bit 4-7 loeschen
550 ' CALL CONV ; High-Nibble ausgeben
560 ' LD A,E ; alter Akkuinhalt
570 ' AND &X1111 ; Bit 4-7 loeschen
580 ' CALL CONV ; Low-Nibble ausgeben
590 ' RET ; Ende Aushex
600 ' ; Routine Conv
610 ' ; gibt dem Akkuinhalt entsprechende Hexziffer aus
620 ' CONV CP &A ; Wert der Ziffer <10
630 ' JR C,ZAHL ; ja, dann nach Zahl
640 ' ADD A,7 ; 7 fuer Buchstaben addieren
650 ' ZAHL ADD A,48 ; =ASCII Code der Hex-Ziffer
660 ' CALL PRINT
670 ' RET ; Ende Conv
680 ' END
```

Mit dieser Routine können wir allerdings nur den RAM des Rechners auslesen. Um auch auf das ROM zuzugreifen, benutzen wir den RST &18-Befehl. Dieser Befehl bewirkt beim CPC 464 einen sogenannten Far Call. Die beiden auf den RST &18 folgenden Bytes stellen einen Zeiger auf die Adresse eines Sprungvektors dar. An der angegebenen Vektoradresse stehen 3 Bytes. Die ersten beiden zeigen auf die eigentliche Sprungadresse, und das 3te Byte bestimmt dabei den ROM/RAM Status.

Beispiel:

```
          .
          .
          .
&A000     RST &18
&A001     DW  Vekadr
&A003     RET
          .
```

```
        Vekadr DW Zielad
               DB Status
```

Durch den RST &18-Befehl in &A000 wird ein Unterprogrammsprung nach Zielad (V) ausgeführt, wobei der Status (V) bestimmt, ob ROM bzw. RAM selektiert ist.
Für Status (V) gelten folgende Werte:

Status	&0-&3FFF (Betriebssystem)	&C000-&FFFF(BASIC)
&FC =252:	ROM	ROM
&FD =253:	RAM	ROM
&FE =254:	ROM	RAM
&FA =255:	RAM	RAM

Alle anderen Werte für den Status selektieren einen Expansions-ROM.
Der Bereich von &4000 bis &BFFF ist grundsätzlich RAM-Adressenbereich.

Der Name "Far Call" (soviel wie:"weiter Ruf"), drückt aus, daß über den RST &18-Befehl Sprünge in alle RAM's und ROM's des Rechners möglich sind. Der Far Call wirkt wie ein CALL, d.h. die Programmausführung nach dem RET-Befehl wird hinter dem aufrufenden RST &18-Befehl fortgesetzt.

Wollen wir also mit der Monitorroutine das ROM auslesen, so rufen wir sie über den RST &18-Befehl auf. Die Adresse, die der Sprungvektor angibt, ist dann die Startadresse der Monitorroutine. Zum Selektieren beider ROM's muß der Status 252 sein. Die Erweiterung des Programmes sieht dann folgendermaßen aus:

```
10 ' ORG &A000
20 ' RST &18
30 ' DW  vektor
```

```
40 ' RET ; zurueck zum BASIC
50 ' VECTOR DW MONITO ; Adresse Sprungvektor
60 ' STATUS DB 252 ; ROM/RAM Status
70 ' PRINT EQU &BB5A
80 ' START DS 2
90 ' ENDE  DS 2
100 ' MONITO LD HL,(START) ; Zeiger
```

Das komplette Assemblerlisting:

```
A000            10          ORG  &a000
A000 DF         20          RST  &18
A001 0000       30          DW   vektor
A003 C9         40          RET   ; zurueck zu BASIC
**** Zeile  30  : VEKTOR=&A004
A004 0000       50  VEKTOR  DW   monito ;adresse Sprungvektor
A006 FC         60  STATUS  DB   252 ; ROM/RAM Status
A007            70  PRINT   EQU  &bb5a
A007            80  START   DS   2
A009            90  ENDE    DS   2
**** Zeile  50  : MONITO=&A00B
A00B 2A07A0    100  MONITO  LD   hl,(start) ; Zeiger
A00E 7C        110  WEI16   LD   a,h ; High Byte ausgeben
A00F CD0000    120          CALL aushex
A012 7D        130          LD   a,l ; Low Byte ausgeben
A013 CD0000    140          CALL aushex
A016 3E20      150          LD   a,&20 ;ASCII von Leerzeichen
A018 CD5ABB    160          CALL print
A01B 0610      170          LD   b,16 ; Zaehler
A01D 7E        180  WEI     LD   a,(hl) ; Byte in Akku laden
A01E CD0000    190          CALL aushex ; und ausgeben
A021 3E20      200          LD   a,&20 ; Leerzeichen
A023 CD5ABB    210          CALL print ; ausgeben
A026 23        220          INC  hl
A027 10F4      230          DJNZ wei
A029 3E20      240          LD   a,&20
```

```
A02B CD5ABB    250          CALL print ; Leerzeichen
A02E 111000    260          LD   de,16
A031 B7        270          OR   a ; Carry = 0
A032 ED52      280          SBC  hl,de ; Zeiger um 16 erniedr
igen
A034 0610      290          LD   b,16
A036 7E        300  WEIAS   LD   a,(hl) ; Akku mit Byte laden
A037 23        310          INC  hl ; Zeiger erhoehen
A038 CBBF      320          RES  7,a ;Grafikzeichen in ASCII
umwandeln
A03A FE20      330          CP   &20 ; groesser gleich 32 ??
A03C 30FE      340          JR   nc,pr ; ja, dann ausgabe
A03E 3E2E      350          LD   a,46 ; ASCI fuer Punkt
**** Zeile  340  : PR=&A040
A040 CD5ABB    360  PR      CALL print ; zeichen ausgeben
A043 10F1      370          DJNZ weias
A045 3E0D      380          LD   a,13 ; Carriage Return
A047 CD5ABB    390          CALL print ; ausgeben
A04A 3E0A      400          LD   a,10 ; Zeilenvorschub
A04C CD5ABB    410          CALL print ; ausgeben
A04F E5        420          PUSH hl ; Zeiger retten
A050 ED5B09A0  430          LD   de,(ende)
A054 B7        440          OR   a ; Carry = 0
A055 ED52      450          SBC  hl,de ; Zeiger-Ende<=0
A057 E1        460          POP  hl ;Zeiger holen (keine Flag
beeinflussung!!)
A058 38B4      470          JR   c,wei16 ;hl-de<0,dann weiter
A05A 28B2      480          JR   z,wei16 ;hl-de=0,dann weiter
A05C C9        490          RET   ; hl-de>0,dann ende
A05D           500                ; ende monitor
A05D           510                ; ausgahex
A05D           520                ; gib  Aku hexadezimal aus
A05D           530                ; E-Register wird veraendert
**** Zeile  120  : AUSHEX=&A05D
**** Zeile  140  : AUSHEX=&A05D
**** Zeile  190  : AUSHEX=&A05D
A05D 5F        540  AUSHEX LD   e,a ;Akku zwischenspeichern
A05E 0F        550          RRCA  ; Akku um
```

```
A05F 0F       560          RRCA  ; 4 Bits nach
A060 0F       570          RRCA  ; rechts
A061 0F       580          RRCA  ;rotieren
A062 E60F     590          AND  &x1111 ; Bit 4-7 loeschen
A064 CD0000   600          CALL conv ; High-Nibble ausgeben
A067 7B       610          LD   a,e ; alter Akkuinhalt
A068 E60F     620          AND  &x1111 ; Bit 4-7 loeschen
A06A CD0000   630          CALL conv ; Low-Nibble ausgeben
A06D C9       640          RET   ; ende aushex
A06E          650                ; Routine conv
A06E          660                ;gibt dem Akkuinhalt entspr
echende Hexziffer aus
**** Zeile  600  : CONV=&A06E
**** Zeile  630  : CONV=&A06E
A06E FE0A     670  CONV    CP   &a ; Wert der Ziffer < 10
A070 38FE     680          JR   c,zahl ; ja dann nach Zahl
A072 C607     690          ADD  a,7 ;7 fuer Buchstaben addie
ren
**** Zeile  680  : ZAHL=&A074
A074 C630     700  ZAHL    ADD  a,48 ;=ASCII Code der Hex-Zif
fer
A076 CD5ABB   710          CALL print
A079 C9       720          RET   ; ende conv

Programm :monitor
Start : &A000    Ende : &A079
Laenge : 007A
 0  Fehler
Variablentabelle :
VEKTOR A004  STATUS A006  PRINT  BB5A  START  A007
ENDE   A009  MONITO A00B  WEI16  A00E  WEI    A01D
WEIAS  A036  PR     A040  AUSHEX A05D  CONV   A06E
ZAHL   A074

Das BASIC Bedienprogramm:


   10 REM Monitor Bedienprogramm
```

```
20 MEMORY &9FFF
30 LOAD"monitor.obj"
40 r$(0)="ROM":r$(1)="RAM"
50 MODE 2
60 PRINT"M O N I T O R    R O M / R A M   L E S E N
70 INPUT"Startadresse : &",a$
80 adr=&A007:GOSUB 220
90 INPUT"Endadresse   : &",a$
100 adr=&A009:GOSUB 220
110 p=VPOS(#0)
120 PRINT"Betriebssystem :";r$(betrsta);CHR$(13);
130 a$=INKEY$:IF a$="" THEN 130
140 IF a$<>CHR$(13) THEN betrsta=betrsta XOR 1:GOTO 120
ELSE PRINT
150 PRINT"BASIC          :";r$(basista);CHR$(13);
160 a$=INKEY$:IF a$="" THEN 160
170 IF a$<>CHR$(13) THEN basista=basista XOR 1:GOTO 150
ELSE PRINT
180 status=&X11111100 OR basista*2 OR betrsta
190 POKE &A006,status
200 CALL &A000
210 GOTO 70
220 a=VAL("&"+a$)
230 IF a<0 THEN a=a+2^16
240 ah=INT(a/256):POKE adr+1,ah
250 POKE adr,a-ah*256
260 RETURN
```

Beim Auswählen des Status wird durch ›ENTER‹ der angezeigte Status beibehalten. Durch das Drücken einer bliebigen anderen Taste wird der Status verändert. Nun können wir uns auf die "Reise in die Firmware" begeben.
Starten Sie das Programm und geben folgendes ein:

```
Startadresse     : &CC00        ›ENTER‹
Endadresse       : &CE00        ›ENTER‹
Betriebssystem   : ROM          ›ENTER‹
```

```
BASIC           : ROM           >ENTER<
```

Geben Sie dieselben Adressen ein, ändern jedoch den Status des BASIC-Bereiches zu RAM, erhalten Sie anstatt der Fehlermeldungen des Rechners (die im ROM liegen), nur ein Hexdump des Bildschirmbereichs (RAM).
Ab &660 (ROM) steht die Einschaltmeldung des Computers. Im BASIC-ROM steht ab &E380 die Liste der BASIC Befehlsworte, die der Interpreter benutzt.
Sehen Sie sich die ROM- und RAM-Inhalte einmal an, damit Sie sich ein Bild von der Aufteilung machen können.
Der Großteil des ROM-Inhaltes sind Programme. Schreiben Sie eine Routine mit dem RST &18-Befehl, die den Inhalt einer ROM-Speicherstelle an ein BASIC Programm übergibt, und bauen Sie diese im Disassembler in das Unterprogramm ab Zeile 940 ein. Dann haben Sie die Möglichkeit die Programme im ROM zu übersetzen. Zum Verständnis der internen Routinen ist ein kommentiertes ROM-Listing sehr sinnvoll.

Als nächstes wollen wir zeigen, wie man prinzipiell ein Testprogramm für Maschinenprogramme schreibt. Sicherlich ist Ihnen auch schon manchmal der Rechner abgestürzt, und Sie hatten keine Ahnung, woran das lag. Ein Maschinenprogramm gibt keine Fehlermeldung aus, es stürzt in den meisten Fällen wenn ein Fehler vorliegt einfach ab. Eine Rekonstruktion des Weges zum Fehler hin ist nicht möglich. Sinnvoll wäre es, wenn man an beliebiger Stelle das Programm unterbrechen könnte, um sich die Registerinhalte anzuschauen. Anhand dieser Informationen kann dann ein Fehler aufgespürt werden. Um das zu erreichen benutzen wir den RST &30 Befehl. Dieser Restart ist nicht vom Betriebssystem benutzt, und steht zur freien Verfügung. Die anderen Restart-Befehle dürfen auf keinen Fall benutzt werden, da alle Aufgaben für das Betriebssystem erfüllen. Der RST &30 Befehl hat den Code &F7. An der Stelle, wo das Programm unterbrochen werden soll, wird mit POKE der Code &F7 geschrieben. Durch den Befehlscode &F7 wird das Programm unterbrochen, daher der Name Breakpoint. Dann wird das zu testende Programm gestartet. Trifft es auf den RST &30 -Befehl, wird ein Unterprogrammsprung nach Adresse &30 ausgeführt. An Adresse &30 schreiben wir einen JP Befehl, der zur eigentlichen Registerausgabe-Routine verzweigt. Das folgende Assemblerlisting dokumentiert sich selbst:

Assemblerlisting:

```
A000             10          ORG  &a500
A500             20               ; Breakpoint aktivieren
A500 3EC3        30          LD   a,&c3 ; Code fuer JP
A502 323000      40          LD   (&0030),a ; nach &30 (RST) l
aden
```

```
A505 210000    50          LD   hl,redump ;startadresse Regis
ter-Dump
A508 223100    60          LD   (&0031),hl ; nach &31/&32
A50B C9        70          RET   ;aktivieren ende
A50C           80                ; Register-Dump
**** Zeile  50  : REDUMP=&A50C
A50C F5        90  REDUMP PUSH af ; Register auf
A50D C5       100         PUSH bc ; Stack legen
A50E D5       110         PUSH de
A50F E5       120         PUSH hl
A510 210000   130         LD   hl,0 ; urspruenglichen
A513 39       140         ADD  hl,sp ; SP Inhalt
A514 110A00   150         LD   de,10 ; berechnen
A517 19       160         ADD  hl,de ; und auf den
A518 E5       170         PUSH hl ; Stack legen
A519 060C     180         LD   b,12 ; Anzahl auszugebender
Bytes
A51B          190               ;Ausgabe in der Reihenfolge
A51B          200               ; PC AF BC DE HP SP
A51B 2B       210  PRNT   DEC  hl
A51C 7E       220         LD   a,(hl) ; Byte vom Stack holen
A51D CD0000   230         CALL aushex ; und ausgeben
A520 10F9     240         DJNZ prnt
A522 E1       250         POP  hl ;alten SP holen und nicht
beachten
A523 E1       260         POP  hl ; restliche
A524 D1       270         POP  de ; Register
A525 C1       280         POP  bc ; vom Stapel
A526 F1       290         POP  af ; holen
A527 DDE1     300         POP  ix ;Ruecksprungadresse holen
A529 C9       310         RET   ; ins BASIC springen

..... Routine ausgahex

Programm :breakpoi
Start : &A500    Ende : &A529
Laenge : 002A
 0  Fehler
```

Variablentabelle :
REDUMP A50C PRNT A51B

Auch hier müssen Sie natürlich die Ausgahex-Routine wieder "anhängen".
Durch Call &A500 wird die Startadresse der Register-Dump Routine mit dem JP-Befehl ab Adresse &30 gespeichert. Damit steht der RST &30-Befehl zur Verfügung um Programme zu testen. Progieren Sie nach Call &A500 folgendes Programm:

```
10 ' ORG &A000
20 ' LD A,1
30 ' LD BC,&0203
40 ' LD DE,&0405
50 ' LD HL,&0607
60 ' RET
70 ' END
```

Nach der Übersetzung starten Sie das Programm mit Call &A000. Die Register sollten mit den Werten 1 bis 7 geladen sein. Um dies zu Prüfen, setzen wir anstelle des RET-Befehls den RST &F7-Befehl:

```
POKE &A00B,&F7
```

Geben Sie nun CALL &A000 ein so erhalten Sie die Ausgabe:

```
A00C0168020304050607BFF8
```

Die ersten beiden Bytes sind der PC-Inhalt nach der Unterbrechung (die Unterbrechung fand an Adresse &A00B statt). Dann folgt der Akku (=1). Als nächstes das Flagregister:

```
          &68=&X 0 1 1 0 1 0  0 0
                 S Z   H  P/V N C
```

Darauf folgen die Register B,C,D,E,H und L.
Die letzten 4 Ziffern stellen den Inhalt von SP vor der Unterbrechung dar.
Beachten Sie, daß der Breakpoint (der Code &F7, also RST

&30) mit dieser Routine nur in der obersten Programmebene stehen darf. Wird er in einem Unterprogramm angetroffen, findet der korrekte Rücksprung ins BASIC nicht statt, da nur eine Rücksprungadresse durch POP IX vom Stapel geholt wird. Auf das Prinzip dieser Routine aufbauend, ist es möglich, komfortable Programmierhilfen wie z.B. einen Einzelschrittsimulator zu schreiben. Gute Programmpakete enthalten solche Testprogramme.

Routine Suchen

Um Ihre Sammlung von Monitor-Routinen vollständig zu machen, folgt hier noch die Routine, die den Speicher nach einer Zeichenfolge durchsucht. Wollen Sie auch das ROM durchsuchen, müßen Sie wie bei der Monitor-Routine den Aufruf über einen Far Call &18 Befehl bewerkstelligen. Die Routine "ausgahex" muß mit integriert werden.

```
A000             10                ; Sucher
A000             20         ORG    &a000
A000             30  PRINT  EQU    &bb5a
A000             40  START  DS     2
A002             50  ENDE   DS     2
A004             60  LAENGE DS     1 ;laenge der Zeichenfolge
A005             70  TAB1   DS     1 ; Anfang Zeichenfolge
A006             80  TAB2   DS     19 ;max.20 Zeichen reserviert
A019             90                ; Anfang Sucher
A019 3A05A0     100         LD     a,(tab1) ; erste Element
A01C ED5B00A0   110         LD     de,(start) ;Blockanfang
A020 2A02A0     120         LD     hl,(ende) ;Blockende
A023 B7         130         OR     a ;Carry=0
A024 ED52       140         SBC    hl,de ; Blocklaenge
A026 23         150         INC    hl ; nach BC
A027 44         160         LD     b,h ; laden
A028 4D         170         LD     c,l
A029 EB         180         EX     de,hl ; start nach HL
```

```
A02A EDB1     190  COMP   CPIR  ; suchen bis
A02C CC0000   200         CALL z,found ;Gleichheit dann nach
found
A02F E0       210         RET  po ;RET wenn Block durchsucht
A030 18F8     220         JR   comp
**** Zeile  200  : FOUND=&A032
A032 F5       230  FOUND  PUSH af
A033 C5       240         PUSH bc
A034 E5       250         PUSH hl
A035 3A04A0   260         LD   a,(laenge)
A038 4F       270         LD   c,a ; laenge nach
A039 0600     280         LD   b,0 ; BC speichern
A03B 0D       290         DEC  c ;da ab 2.Element verglichen
wird
A03C 28FE     300         JR   z,ok
A03E 1106A0   310         LD   de,tab2 ; Adresse 2.Element
A041 1A       320  COMP1  LD   a,(de) ; naechstes Element
A042 EDA1     330         CPI   ; vergleichen
A044 13       340         INC  de ; Zeiger erhoehen
A045 20FE     350         JR   nz,rueck ;ungleich,zum CPIR-
Befehl
A047 EA42A0   360         JP   pe,comp1 ; noch nicht BC=0,
dann weiter vergleichen
**** Zeile  300  : OK=&A04B
A04A E1       370  OK     POP  hl ; adresse der gefundenen
Folge+1
A04B 2B       380         DEC  hl
A04C 7C       390         LD   a,h ; High Byte
A04D CD0000   400         CALL aushex ; ausgeben
A05E 7D       410         LD   a,l ; Low Byte
A051 CD0000   420         CALL aushex ; ausgeben
A054 3E20     430         LD   a,32 ; Leerzeichen
A056 CD5ABB   440         CALL print ; ausgeben
A059 23       450         INC  hl ;alten Wert wiederherstel
len
A05A C1       460         POP  bc
A05B F1       470         POP  af
A05C C9       480         RET   ; weitersuchen
```

```
**** Zeile  350  : RUECK=&A05E
A05D E1       490  RUECK  POP  hl ; nicht gleich
A05E C1       500        POP  bc
A06F F1       510        POP  af
A060 C9       520        RET   ; weitersuchen
```

.
.
.

Routine Ausgahex

```
Programm :sucher
Start : &A000    Ende : &A061
Laenge : 0062
 0  Fehler
Variablentabelle :
PRINT  BB5A  START  A000  ENDE   A002  LAENGE A004  TAB1
A005  TAB2   A006  COMP   A02A  FOUND  A032  COMP1  A042
OK    A04B   RUECK  A05E
```

Die zu suchende Folge muß vor dem Aufruf der Routine mit Call &A019 ab Adresse &A005 gespeichert werden; dieses sowie das Poken der Länge der Start- und Endadresse wird von einem BASIC-Programm erledigt.

Eingabe von Daten

Bisher haben wir Systemroutinen kennengelernt, die eine Ausgabe von Maschinensprache aus ermöglichen. Jetzt wollen wir uns mit der Eingaben von Daten beschäftigen. Variable Daten, wie Anfangs- und Endadresse mußten bisher relativ umständlich vom BASIC aus mit POKE-Befehlen an die Maschinenprogramme übergeben werden.
Das Schneider BASIC bietet uns aber die Möglichkeit mit dem CALL-Befehl Daten zu übergeben. Mit diesem Befehl ist eine Übergabe von bis zu 32 2-Byte Zahlen möglich. Der erweiterte CALL-Befehl hat folgende Form:

CALL Adresse,Ausdruck,Ausdruck,...

Ausdruck kann dabei eine 16-Bit Zahl, eine Funktion oder eine Variable sein, deren Wert eine 16-Bit Zahl ist. Da bis zu 32 Zahlen übergeben werden können, ist es nicht möglich alle in den Registern zu speichern. Die übergebenen Zahlen werden auf den Stapel gelegt. Der Akku enthält die Anzahl der übergebenen Ausdrücke. Das DE-Register enthält den letzten angegebenen Wert. Die Stapeladresse, an der die letzte Eintragung der übergebenen Zahlen steht, wird im IX-Register übergeben. Das C-Register enthält den ROM/RAM Status (siehe Far Call-RST &18), dieser ist beim Standardaufruf immer &FF (also RAM's ausgewählt). HL zeigt immer auf die Adresse, an der der jeweilige Call-Befhehl endet. Fassen wir zusammen:

Register	keine Übergabe von Zahlen	Übergabe von n Zahlen
A	0	n (Anzahl)
F	F=&68 (Z=1)	F=&28 (Z=0 !)
B	&20	&20-n
C	&FF (Status)	&FF
DE	Anzuspringende Adresse	letzte übergebene Zahl
HL	Adresse des Call-Befehls Endes	
IX	Stapeladresse &BFFE	Stapeladresse des letzten Elements =&BFFE-2*n

Benutzen wir diese Art der Eingabe um das Monitorprogramm mit den entsprechenden Werten zu versorgen. Übergeben werden soll:
Die Startadresse
Die Endadresse
Der ROM/RAM Status (Far Call)

Der Aufruf hat dann folgendes Format:

```
Call &A000,Startadresse,Endadresse,Status
```

Die Änderungen im Programm sehen folgendermaßen aus:

```
10 ' ORG &A000
15 ' CP 3 ; 3 Parameter
20 ' RET NZ ; nein,dann Ende
```

Zunächst wird geprüft, ob 3 Werte eingegeben wurden (A=3). Falls das nicht zutrifft, erfolgt ein Rücksprung ins BASIC.

```
25 ' LD A,D
30 ' OR A
35 ' RET NZ
40 ' LD A,E
45 ' LD (Status),A
```

In den Zeilen 25,30 und 35 wird geprüft, ob D=0 ist. Falls D nicht gleich Null ist, wird das Programm beendet. Der Status ist eine 1-Byte Zahl. Es können aber auch 2-Byte große Zahlen eingegeben werden. Aus diesem Grund muß geprüft werden, ob das zweite Byte, also das High Byte gleich Null ist. In den Zeilen 40 und 45 wird der eingegebene Status an die für den RST &18-Befehl richtige Stelle geschrieben.

```
50 ' LD E,(IX+2)
55 ' LD D,(IX+3)
60 ' LD L,(IX+4)
65 ' LD H,(IX+5)
```

In den Zeilen 50 und 55 wird die übergebene Endadresse nach DE geladen. In Zeile 60 und 65 wird die Startadresse in HL gespeichert.

```
70 ' RST &18
```

```
75 ' DW vektor
80 ' RET ;zurueck zum BASIC
85 ' vektor DW monito ; Adresse Sprungvektor
90 ' status DS 1 ;ROM/RAM Status
95 ' ende DS 2
100 ' monito LD(ende),de

..... Fortsetzung wie bekannt
```

Nach der Übersetzung des gesamten Programms, erreichen Sie zum Beispiel mit
CALL &A000,&CC50,&CE60,252
die Ausgabe der Fehlermeldung des BASIC-Rom's.

Eine weitere wichtige Systemroutine ist die, zur Eingabe einer Taste. Nach Aufruf von &BB06 wartet der Rechner, bis eine Taste gedrückt ist. Der Wert der gedrückten Taste wird dann im Akku zurückgegeben.
Mit folgender einfachen Routine können wir eine einfache Eingabe über die Tastatur realisieren.

```
A000            10         ORG  &A000
A000            20  GET    EUU  &BB06
A000            30  PRINT  EQU  &bb5a
A000 CD06BB     40  EIN    CALL get
A003 CD5ABB     50         CALL print
A006 FE0D       60         CP   13 ; Enter ???
A008 20F6       70         JR   nz,ein
A00A 3E0A       80         LD   a,10
A00C CD5ABB     90         CALL print ; Zeilenvorschub
A00F C9        100         RET

Programm :eingabe
Start : &A000    Ende : &A00F
Laenge : 0010
0  Fehler
Variablentabelle :
```

```
GET    BB06  PRINT  BB5A  EIN    A000
```

Anmerkung: Bei dieser Eingabe funktionieren alle CTRL-Steuerzeichen also z.B. CTRL L für Bildschirm löschen oder CTRL G für Ton klingen lassen.

Sie haben die grundsätzlichen Programmiertechniken und Hilfsprogramme zur Erstellung von Maschinenprogrammen kennengelernt.
Programmierung in Assembler ist für größere Programmprobleme unerläßlich. Die Entwicklungszeiten für Software sind jedoch viel länger als die, für Programme in höheren Sprachen. Aus diesem Grund sind gute Entwicklungsprogramme für die effektive Programmierung notwendig.
Die Eigenschaften solcher Programme werden wir kurz besprechen. Zu einem Programmpaket zur Entwicklung von Maschinenprogrammen gehört mindestens ein Assemblerprogramm und ein umfangreiches Monitorprogramm.
Der Assembler ist die Voraussetzung zur Entwicklung größerer Programme. Zusätzlich zu den Ihnen bekannten Pseudobefehlen bieten viele Assembler Möglichkeiten, die die Programmentwicklung noch weiter vereinfachen, z.B gehört dazu die Definition von Macros, bedingt zu assemblieren und auf externe Programme bzw. Variablen zuzugreifen.

Macros:

Oft ist es der Fall, daß eine bestimmte Folge von Befehlen mehrmals in einem Programm vorkommt. Durch die Benutzung von Macros wird vermieden, daß Sie in solchen Fällen ein und dieselbe Befehlsfolge immer wieder eingeben. Mit Hilfe einer Macrodefinition kann einer Befehlsfolge ein Name gegeben werden. Dann kann im Source-Programm anstelle der Befehlsfolge einfach der Macroname gesetzt werden.
Der Assembler ersetzt den Macronamen automatisch durch die zugeordnete Befehlsfolge. Auch Sourceprogramme werden durch die Benutzung von Macros übersichtlicher und kürzer.

Bedingte Assemblierung:

Bei der bedingten Assemblierung ist es möglich, bestimmte Teile des Programms in Abhängigkeit von einer Bedingung zu übersetzen. Die bedingte Assemblierung macht es möglich, daß ein allgemeines Source Programm wie eine Dateiverwaltung geschrieben und dann auf die jeweilige Anwendung zugeschnitten werden kann.

Externe Programme und Variablen

Bei der Programmierung in Assembler ist es sehr sinnvoll, strukturiert zu programmieren. Das bedeutet, daß größere Probleme in viele kleine unterteilt werden, und jeder Programmabschnitt für sich erstellt wird. Oft tauchen ständig dieselben Unterprogramme auf, z.B. benutzten wir die Routine zur hexadezimalen Ausgabe eines Zeichens in verschiedenen Programmen. Solche oft benötigten Routinen und häufig verwendete Variablen bilden bei einem komfortablen Assembler eine Programm/Variablen-Bibliothek. Die Routinen werden durch ihren Namen im Source Programm gekennzeichnet und dann von Cassette/Diskette automatisch nachgeladen und in das Objekt-Programm eingefügt.
Das Programm, das die Verbindung von verschiedenen Maschinenprogrammen durchführt, bezeichnet man auch als "Linker" (link engl.: verbinde). Damit verbunden ist meist noch ein sogenannter Relocator (Verschieber), der die Adressen, die sich durch das Einfügen und Verschieben der Programme ändern, wieder korrigiert. Programme, die diese Fähigkeit auch enthalten sind allerdings sehr umfangreich und relativ teuer. Die Programmierung wird dafür aber auch um ein Vielfaches komfortabler und schneller. Zudem besitzen viele Assembler einen eigenen Editor, d.h. die Eingabe der Assemblerbefehle ist nicht mehr an eine Zeilennummer gebunden.

Es gibt noch einige andere zusätzliche Hilfsprogramme zum Assembler. Die meisten werden zu einem Monitor zusammengefaßt. Die Standardroutinen eines Monitors haben Sie kennengelernt. Der Disassembler ist meist im

Monitorprogramm integriert. Ein wichtiges Merkmal eines Monitors sind seine Möglichkeiten zum Testen von Programmen. Die Möglichkeit, einen Breakpoint zu setzen, ist die einfachste der Testmöglichkeiten. Umfangreichere Testroutinen werden oft zu einem sogenannten Debugger (Fehlerbeseitiger) zusammengefaßt. Das wichtigste Programm in diesem Zusammenhang ist der Einzelschrittsimulator, der der TRON-Funktion des Schneider-BASIC entspricht.
Mit dem Besitz guter Hilfsprogramme zur Software-Entwicklung ist es jedoch nicht getan. Viel wichtiger ist der Schritt in die Praxis des Programmierens. Dieses Buch hat Ihnen grundlegende Techniken vermittelt, die zur Programmierung des Z80 notwendig sind. Erst durch das Praktizieren werden Sie die Maschinensprache richtig lernen. Bei der Erstellung Ihrer eigenen Maschinenprogramme wünschen wir:

Viel S p a ß !!!

8 BIT-LADEBEFEHLE (LD)

Zielregister	Quellregister A	B	C	D	E	H	L	(HL)	data	(IX+d) DD	(IX+d) FD	(IY+d) DD	(IY+d) FD
A	7F	78	79	7A	7B	7C	7D	7E	3E data	7E dis	7E dis		
B	47	40	41	42	43	44	45	46	06 data	46 dis	46 dis		
C	4F	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	0E data	4E dis	4E dis		
D	57	50	51	52	53	54	55	56	16 data	56 dis	56 dis		
E	5F	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	1E data	5E dis	5E dis		
H	67	60	61	62	63	64	65	66	26 data	66 dis	66 dis		
L	6F	68	69	6A	6B	6C	6D	6E	2E data	6E dis	6E dis		
(HL)	77	70	71	72	73	74	75		36				

Quellregister

Zieleregister	A	B	C	D	E	H	L	(HL)	data	(IX+d)	(IY+d)
A	DD 77 dis	DD 70 dis	DD 71 dis	DD 72 dis	DD 73 dis	DD 74 dis	DD 75 dis		DD 36 dis data		
(IX+d)	FD 77 dis	FD 70 dis	FD 71 dis	FD 72 dis	FD 73 dis	FD 74 dis	FD 75 dis		FD 36 dis data		

Zieleregister	A	I	R	(BC)	(DE)	(nn)
A	7F	ED 57	ED 5F	DA	1A	3A al ah
I	ED 47					
R	ED 4F					
(BC)	02					
(DE)	12					
(nn)	32 al ah					

	nn	(nn)			
Z		01	ED		
i	BC	data	4B	EX AF,AF'	Code: 08
e		data	al		
l			ah	EXX	Code: D9
r					
e		11	ED	EX DE,HL	Code: EB
g	DE	data	5B		
i		data	al	EX (SP),HL	Code: E3
s			ah		
t					
e		21	2A	EX (SP),IX	Code: DD
r	HL	data	al		E3
		data	ah		
		DD	DD		
	IX	21	2A		
		data	al		
		data	ah		
		FD	FD		
	IY	21	2A		
		data	al		
		data	ah		

Austauschbefehle

	AF	BC	DE	HL	SP	IX	IY
SP				F9		DD F9	FD F9
(nn)		ED 43 al ah	ED 53 al ah	22 al ah	ED 73 al ah	DD 22 al ah	FD 22 al ah

	AF	BC	DE	HL	IX	IY
PUSH	F5	C5	D6	E5	DD E5	FD E5
POP	F1	C1	D1	E1	DD E1	FD E1

BLOCKTRANSFER- UND SUCHBEFEHLE

LDI : ED AO
LDIR : ED BO
LDD : ED A8
LDDR : ED B8
CPI : ED A1
CPIR : ED B1
CPD : ED A9
CPDR : ED B9

8-BIT-ARITHMETISCH/LOGISCHE BEFEHLE

	Quellregister										
	A	B	C	D	E	H	L	(HL)	data	(IX+d)	(IY+d)
										DD	FD
ABC	87	80	81	82	83	84	85	86	C6	86	86
									data	dis	dis
										DD	FD
ADC	8F	88	89	8A	8B	8C	8D	8E	CE	8E	8E
									data	dis	dis
										DD	FD
SUB	97	90	91	92	93	94	95	96	D6	96	96
									data	dis	dis
										DD	FD
SBC	9F	98	99	9A	9B	9C	9D	9E	DE	9E	9E
									data	dis	dis
										DD	FD
AND	A7	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E6	A6	A6
									data	dis	dis
										DD	FD
XOR	AF	A8	A9	AA	AB	AC	AD	AE	EE	AE	AE
									data	dis	dis
										DD	FD
OR	B7	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	F6	B6	B6
									data	dis	dis

8-BIT-ARITHMETISCH/LOGISCHE BEFEHLE

	Quellregister										
	A	B	C	D	E	H	L	(HL)	data	(IX+d)	(IY+d)
CP	BF	B8	B9	BA	BB	BC	BD	BE	FE	DD BE dis	FD BE dis
INC	3C	04	0C	14	1C	24	2C	34		DD 34 dis	FD 34 dis
DEC	3D	05	0D	15	1D	25	2D	35		DD 35 dis	FD 35 dis

8-Bit Spezial:
- DAA Code: 27
- CPL Code: 2F
- NEG Code: ED 44

16 BIT-ARITHMETISCH/LOGISCHE BEFEHLE

Zieleregister		BC	DE	HL	SP	IX	IY
HL	ADD	09	19	29	39		
IX	ADD	DD 09	DD 19		DD 39	DD 29	
IY	ADD	FD 09	FD 19		FD 39		FD 29
HL	ADC	ED 4A	ED 5A	ED 6A	ED 7A		
HL	SBC	ED 42	ED 52	ED 62	ED 72		
	INC	03	13	29	3?	DD 23	FD 23
	DEC	08	18	28	38	DD 2B	FD 2B

ROTATIONS- UND SCHIEBE-BEFEHLE

Quell- und Zielregister

Zielregister	A	B	C	D	E	H	L	(HL)	(IX+d)	(IY+d)
RLC	CB 07	CB 00	CB 01	CB 02	CB 03	CB 04	CB 05	CB 06	DD CB dis 06	FD CB dis 06
RRC	CB 0F	CB 08	CB 09	CB 0A	CB 0B	CB 0C	CB 0C	CB 0E	DD CB dis 0E	FD CB dis 0E
RL	CB 17	CB 10	CB 11	CB 12	CB 13	CB 14	CB 15	CB 16	DD CB dis 16	FD CB dis 16
RR	CB 1F	CB 18	CB 19	CB 1A	CB 1C	CB 1C	CB 1E	CB 1C	DD CB dis 1E	FD CB dis 1E
SLA	CB 27	CB 20	CB 21	CB 22	CB 23	CB 24	CB 25	CB 26	DD CB dis 26	FD CB dis 26
SRA	CB 2F	CB 28	CB 29	CB 2A	CB 2B	CB 2C	CB 2D	CB 2E	DD CB dis 2E	FD CB dis 2E

Quell- und Zielregister

	A	B	C	D	E	H	L	(HL)	(IX+d)	(IY+d)
SRL	CB 3F	CB 38	CB 39	CB 3A	CB 3B	CB 3C	CB 3D	CB 3E	DD CB dis 3E	FD CB dis 3E

RLD Code: ED 6F

RRD Code: ED 67

BIT-BEFEHLE

Quell- und Zielregister

	A	B	C	D	E	H	L	(HL)	(IX+d)	(IY+d)
									DD	FD
0	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB
	47	40	41	42	43	44	45	46	dis	dis
									46	46
									DD	FD
1	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB
	4F	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	dis	dis
									4E	4E
									DD	FD
2	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB
	57	50	51	52	53	54	55	56	dis	dis
									56	56
									DD	FD
3	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB
	5F	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	dis	dis
									5E	5E
									DD	FD
4	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB
	67	60	61	62	63	64	65	66	dis	dis
									66	66
									DD	FD
5	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB
	6F	68	69	6A	6B	6C	6D	6E	dis	dis
									6E	6E

BIT-BEFEHLE

	A	B	C	D	E	H	L	(HL)	(IX+d)	(IY+d)
									DD	FD
6	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB
	77	70	71	72	73	74	75	76	dis	dis
									76	76
									DD	FD
7	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB
	7F	78	79	7A	7B	7C	7D	7E	dis	dis
									7E	7E

RES-BEFEHLE

Quell- und Zielregister

	A	B	C	D	E	H	L	(HL)	(IX+d)	(IY+d
									DD	FD
0	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB
	87	80	81	82	83	84	85	86	dis	dis
									86	86
									DD	FD
1	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB
	8F	88	89	8A	8B	8C	8D	8E	dis	dis
									8E	8E
									DD	FD
2	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB
	97	90	91	92	93	94	95	96	dis	dis
									96	96

Quell- und Zielregister

	A	B	C	D	E	H	L	(HL)	(IX+d)	(IY+d)
									DD FD	
3	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB CB	
	9F	98	99	9A	9B	9C	9D	9E	dis dis	
									9E 9E	
									DD FD	
4	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB CB	
	A7	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	dis dis	
									A6 A6	
									DD FD	
5	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB CB	
	AF	A8	A9	AA	AB	AC	AD	AE	dis dis	
									AE AE	
									DD FD	
6	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB CB	
	B7	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	dis dis	
									B6 B6	
									DD FD	
7	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB CB	
	BF	B8	B9	BA	BB	BC	BD	BE	dis dis	
									BE BE	

Quell- und Zielregister

	A	B	C	D	E	H	L	(HL)	(IX+d)	(IY+d)
									DD	FD
0	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB
	C7	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	dis	dis
									C6	C6
									DD	FD
1	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB
	CF	C8	C9	CA	CB	CC	CD	CE	dis	dis
									CE	CE
									DD	FD
2	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB
	D7	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	dis	dis
									D6	D6
									DD	FD
3	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB
	DF	D8	D9	DA	DB	DC	DD	DE	dis	dis
									DE	DE
									DD	FD
4	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB
	E7	E0	E1	E2	E3	E4	E5	E6	dis	dis
									E6	E6
									DD	FD
5	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB
	EF	E8	E9	EA	EB	EC	ED	EE	dis	dis
									EE	EE

	Quell- und Zielregister									
	A	B	C	D	E	H	L	(HL)	(IX+d)	(IY+d)
6	CB F7	CB F0	CB F1	CB F2	CB F3	CB F4	CB F5	CB F6	DD CB dis F6	FD CB dis F6
7	CB FF	CB F8	CB F9	CB FA	CB FB	CB FC	CB FD	CB FE	DD CB dis FE	FD CB dis FE

Bedingung

		C	NC	Z	NZ	PE	PO	M	N
JP	adr	C3 adr	DA adr	D2 adr	CA adr	C2 adr	EA adr	E2 adr	FA adr	F2 adr
JR	of	18 of-2	38 of-2	30 of-2	28 of-2	20 of-2				
CALL	adr	CD adr	DC adr	D4 adr	CC adr	C4 adr	EC adr	E4 adr	FC adr	F4 adr
RET		C9	D8	D0	C8	C0	E8	E0	F8	F0

```
JP (HL)   Code:E9
JP (IX)   Code:DD E9
JP (IY)   Code:FD E9
DJNZ of   Code:10 of-2
RETI      Code:ED 4D
RETN      Code:ED 45
```

Restart Befehle

	&00	&08	&10	&18	&20	&28	&30	&38
RST	C7	CF	D7	DF	E7	EF	F7	FF

	(n)	(C)
A	DB	ED 78
B		ED 40
C		ED 48
D		ED 50
E		ED 40
H		ED 48
L		ED 50

Blockeingabebefehle

INI Code: ED A2
INIR Code: ED B2
IND Code: ED AA
INDR Code: ED BA

BLOCK-AUSGABE-BEFEHLE

		Register							
		A	B	C	D	E	H	L	
OUT	(n)	D3							
OUT	(C)	ED 79	ED 41	ED 49	ED 51	ED 59	ED 61	ED 69	

Blockausgabebefehle

OUTI Code: ED A3
OTIR Code: ED B3
OUTD Code: ED AB
OTDR Code: ED BB

Carrybeeinflussung

CCF Code: 3F
SCF Code: 37

Steuerbefehle

NOP Code: 00 DI Code: F3 IM 0 Code: ED 46
HALT Code: 76 EI Code: FB IM 1 Code: ED 56
IM 2 Code: ED 5E

UMRECHNUNGSTABELLE DEZIMAL - HEXADEZIMAL - BINÄR

dezimal	hex	binär	dezimal	hex	binär
0	&00	&X00000000	26	&1A	&X00011010
1	&01	&X00000001	27	&1B	&X00011011
2	&02	&X00000010	28	&1C	&X00011100
3	&03	&X00000011	29	&1D	&X00011101
4	&04	&X00000100	30	&1E	&X00011110
5	&05	&X00000101	31	&1F	&X00011111
6	&06	&X00000110	32	&20	&X00100000
7	&07	&X00000111	33	&21	&X00100001
8	&08	&X00001000	34	&22	&X00100010
9	&09	&X00001001	35	&23	&X00100011
10	&0A	&X00001010	36	&24	&X00100100
11	&0B	&X00001011	37	&25	&X00100101
12	&0C	&X00001100	38	&26	&X00100110
13	&0D	&X00001101	39	&27	&X00100111
14	&0E	&X00001110	40	&28	&X00101000
15	&0F	&X00001111	41	&29	&X00101001
16	&10	&X00010000	42	&2A	&X00101010
17	&11	&X00010001	43	&2B	&X00101011
18	&12	&X00010010	44	&2C	&X00101100
19	&13	&X00010011	45	&2D	&X00101101
20	&14	&X00010100	46	&2E	&X00101110
21	&15	&X00010101	47	&2F	&X00101111
22	&16	&X00010110	48	&30	&X00110000
23	&17	&X00010111	49	&31	&X00110001
24	&18	&X00011000	50	&32	&X00110010
25	&19	&X00011001	51	&33	&X00110011

UMRECHNUNGSTABELLE DEZIMAL - HEXADEZIMAL - BINÄR

dezimal	hex	binär	dezimal	hex	binär
52	&34	&X00110100	78	&4E	&X01001110
53	&35	&X00110101	79	&4F	&X01001111
54	&36	&X00110110	80	&50	&X01010000
55	&37	&X00110111	81	&51	&X01010001
56	&38	&X00111000	82	&52	&X01010010
57	&39	&X00111001	83	&53	&X01010011
58	&3A	&X00111010	84	&54	&X01010100
59	&3B	&X00111011	85	&55	&X01010101
60	&3C	&X00111100	86	&56	&X01010110
61	&3D	&X00111101	87	&57	&X01010111
62	&3E	&X00111110	88	&58	&X01011000
63	&3F	&X00111111	89	&59	&X01011001
64	&40	&X01000000	90	&5A	&X01011010
65	&41	&X01000001	91	&5B	&X01011011
66	&42	&X01000010	92	&5C	&X01011100
67	&43	&X01000011	93	&5D	&X01011101
68	&44	&X01000100	94	&5E	&X01011110
69	&45	&X01000101	95	&5F	&X01011111
70	&46	&X01000110	96	&60	&X01100000
71	&47	&X01000111	97	&61	&X01100001
72	&48	&X01001000	98	&62	&X01100010
73	&49	&X01001001	99	&63	&X01100011
74	&4A	&X01001010	100	&64	&X01100100
75	&4B	&X01001011	101	&65	&X01100101
76	&4C	&X01001100	102	&66	&X01100110
77	&4D	&X01001101	103	&67	&X01100111

UMRECHNUNGSTABELLE DEZIMAL - HEXADEZIMAL - BINÄR

dezimal	hex	binär	dezimal	hex	binär
104	&68	&X01101000	130	&82	&X10000010
105	&69	&X01101001	131	&83	&X10000011
106	&6A	&X01101010	132	&84	&X10000100
107	&6B	&X01101011	133	&85	&X10000101
108	&6C	&X01101100	134	&86	&X10000110
109	&6D	&X01101101	135	&87	&X10000111
110	&6E	&X01101110	136	&88	&X10001000
111	&6F	&X01101111	137	&89	&X10001001
112	&70	&X01110000	138	&8A	&X10001010
113	&71	&X01110001	139	&8B	&X10001011
114	&72	&X01110010	140	&8C	&X10001100
115	&73	&X01110011	141	&8D	&X10001101
116	&74	&X01110100	142	&8E	&X10001110
117	&75	&X01110101	143	&8F	&X10001111
118	&76	&X01110110	144	&90	&X10010000
119	&77	&X01110111	145	&91	&X10010001
120	&78	&X01111000	146	&92	&X10010010
121	&79	&X01111001	147	&93	&X10010011
122	&7A	&X01111010	148	&94	&X10010100
123	&7B	&X01111011	149	&95	&X10010101
124	&7C	&X01111100	150	&96	&X10010110
125	&7D	&X01111101	151	&97	&X10010111
126	&7E	&X01111110	152	&98	&X10011000
127	&7F	&X01111111	153	&99	&X10011001
128	&80	&X10000000	154	&9A	&X10011010
129	&81	&X10000001	155	&9B	&X10011011

UMRECHNUNGSTABELLE DEZIMAL - HEXADEZIMAL - BINÄR

dezimal	hex	binär	dezimal	hex	binär
156	&9C	&X10011100	182	&B6	&X10110110
157	&9D	&X10011101	183	&B7	&X10110111
158	&9E	&X10011110	184	&B8	&X10111000
159	&9F	&X10011111	185	&B9	&X10111001
160	&A0	&X10100000	186	&BA	&X10111010
161	&A1	&X10100001	187	&BB	&X10111011
162	&A2	&X10100010	188	&BC	&X10111100
163	&A3	&X10100011	189	&BD	&X10111101
164	&A4	&X10100100	190	&BE	&X10111110
165	&A5	&X10100101	191	&BF	&X10111111
166	&A6	&X10100110	192	&C0	&X11000000
167	&A7	&X10100111	193	&C1	&X11000001
168	&A8	&X10101000	194	&C2	&X11000010
169	&A9	&X10101001	195	&C3	&X11000011
170	&AA	&X10101010	196	&C4	&X11000100
171	&AB	&X10101011	197	&C5	&X11000101
172	&AC	&X10101100	198	&C6	&X11000110
173	&AD	&X10101101	199	&C7	&X11000111
174	&AE	&X10101110	200	&C8	&X11001000
175	&AF	&X10101111	201	&C9	&X11001001
176	&B0	&X10110000	202	&CA	&X11001010
177	&B1	&X10110001	203	&CB	&X11001011
178	&B2	&X10110010	204	&CC	&X11001100
179	&B3	&X10110011	205	&CD	&X11001101
180	&B4	&X10110100	206	&CE	&X11001110
181	&B5	&X10110101	207	&CF	&X11001111

UMRECHNUNGSTABELLE DEZIMAL - HEXADEZIMAL - BINÄR

dezimal	hex	binär	dezimal	hex	binär
208	&D0	&X11010000	234	&EA	&X11101010
209	&D1	&X11010001	235	&EB	&X11101011
210	&D2	&X11010010	236	&EC	&X11101100
211	&D3	&X11010011	237	&ED	&X11101101
212	&D4	&X11010100	238	&EE	&X11101110
213	&D5	&X11010101	239	&EF	&X11101111
214	&D6	&X11010110	240	&F0	&X11110000
215	&D7	&X11010111	241	&F1	&X11110001
216	&D8	&X11011000	242	&F2	&X11110010
217	&D9	&X11011001	243	&F3	&X11110011
218	&DA	&X11011010	244	&F4	&X11110100
219	&DB	&X11011011	245	&F5	&X11110101
220	&DC	&X11011100	246	&F6	&X11110110
221	&DD	&X11011101	247	&F7	&X11110111
222	&DE	&X11011110	248	&F8	&X11111000
223	&DF	&X11011111	249	&F9	&X11111001
224	&E0	&X11100000	250	&FA	&X11111010
225	&E1	&X11100001	251	&FB	&X11111011
226	&E2	&X11100010	252	&FC	&X11111100
227	&E3	&X11100011	253	&FD	&X11111101
228	&E4	&X11100100	254	&FE	&X11111110
229	&E5	&X11100101	255	&FF	&X11111111
230	&E6	&X11100110			
231	&E7	&X11100111			
232	&E8	&X11101000			
233	&E9	&X11101001			

Kurzworte für Befehlszusammenstellungen:

Assemblerbefehl	Code
adr -16 Bit Adresse	<--- al ---> (Adresse Low) <--- ah ---> (Adresse High)
data -8 Bit Daten(Konstante)	<--- ko --->
data16-16Bit Daten(Konstante)	<--- kl ---> <--- kh --->
dis 'Distanz	<--- dis--->
rpa -Registerpaar BC,DE,HL,AF	pp
rps -Registerpaar BC,DE,HL,SP	pp
reg 'Register A,B,C,D,E,H,L	rrr
req -Quellregister "	qqq
xy -für IX/Y d.h. IX o. IY	x entspricht 0=>IX x entspricht 1=>IY (z.B. 11x11101 (DD/FD))
() -Inhalt d. Speicherstelle	
B -Bitnummer	bbb
of -Offset/Sprungdistanz	of-2
cond -Bedingung Z,NZ,C,NC,PO, PE,M,P	ccc
con -C,NC,Z,NZ	cc

Flags:

1- Flag ist gesetzt nach Operation
0- Flag ist rückgesetzt nach Operation
U- Flag ist unbekannt nach Operation
X- Flag wird je nach Ausgang gesetzt bzw.rückgesetzt
P- P/V Flag zeigt Parität an
- (Leerzeichen): Kein Einfluß
!- Besonderheit

Erklärung zu den folgenden Tabellen

In der ersten Tabelle stehen für die Codes &CB,&ED,&DD und &FD Pfeile. Dies hat folgende Bedeutung:

&CB : Ist der erste zu übersetzende Code &CB so muß der 2. Code in der 2. Tabelle nachgeschlagen werden. Diese Befehle sind die Rotier- und Schiebebefehle

&ED : Ist der erste zu übersetzende Code &ED so muß der 2. Code in der 3. Tabelle nachgeschlagen werden.

&DD und &FD : Ist der erste Code &DD oder &FD so handelt es sich um indiziert adressierte Befehle. Bei &DD ist das IX Register betroffen und bei &FD ist das IY Register betroffen. Die indiziert adressierten Befehle sind nicht in einer weiteren Tabelle aufgeführt. Sie können aus den vorhandenen Tabellen in folgender Weise ermittelt werden: Der zweite Code wird wie üblich in den Tabellen nachgeschaut. Der erhaltene Befehl muß das HL Register enthalten. Kommt das HL Register nicht im Operanden vor oder wurde der EX DE,HL Befehl ermittelt handelt es sich um einen ungültigen Befehl (wird vom Disassembler als ??? ausgegeben). Handelt es sich um einen gültigen Befehl muß das HL Register durch IX bzw. IY ersetzt werden.

Aus HL wird IX bzw. IY
Aus HL wird (IX+dis) bzw. (IY+dis) wobei dis durch den 3. Code gegeben ist.

Diese Regeln gelten mit Ausnahme des JP (HL) Befehls für alle Befehle die HL enthalten. Aus JP (HL) wird trotzdem HL in Klammern steht nach dem einsetzen der Indexregister JP (IX) bzw. JP (IY).

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	NOP	LD BC,nn	LD (BC),A	INC BC	INC B	DEC B	LD B,n	RLCA
1	DJNZ of	LD DE,nn	LD (DE),A	INC DE	INC D	DEC D	LD D,n	RLA
2	JR NZ,of	LD HL,nn	LD (nn),HL	INC HL	INC H	DEC H	LD H,n	DAA
3	JR NC,of	LD SP,nn	LD (nn),A	INC SP	INC (HL)	DEC (HL)	LD (HL),n	SCF
4	LD B,B	LD B,C	LD B,D	LD B,E	LD B,H	LD B,L	LD B,(HL)	LD B,A
5	LD D,B	LD D,C	LD D,D	LD D,E	LD D,H	LD D,L	LD D,(HL)	LD D,A
6	LD H,B	LD H,C	LD H,D	LD H,E	LD H,H	LD H,L	LD H,(HL)	LD H,A
7	LD (HL),B	LD (HL),C	LD (HL),D	LD (HL),E	LD (HL),H	LD (HL),L	HALT	LD (HL),A
8	ADD A,B	ADD A,C	ADD A,D	ADD A,E	ADD A,H	ADD A,L	ADD A,(HL)	ADD A,A
9	SUB B	SUB C	SUB D	SUB E	SUB H	SUB L	SUB (HL)	SUB A
A	AND B	AND C	AND D	AND E	AND H	AND L	AND (HL)	AND A
B	OR B	OR C	OR D	OR E	OR H	OR L	OR (HL)	OR A
C	RET NZ	POP BC	JP NZ,nn	JP nn	CALL NZ,nn	PUSH BC	ADD A,n	RST & 00
D	RET NC	POP DE	JP NC,nn	OUT (n),A	CALL NC,nn	PUSH DE	SUB n	RST & 10
E	RET PO	POP HL	JP PO,nn	EX (SP),HL	CALL PO,nn	PUSH HL	AND n	RST & 20
F	RET P	POP AF	JP P,nn	DI	CALL P,nn	PUSH AF	OR n	RST & 30

	8	9	A	B	C	D	E	F
0	EX AF,AF	ADD HL,BC	LD A,(BC)	DEC BC	INC C	DEC C	LD C,n	RRCA
1	JR of	ADD HL,DE	LD A,(DE)	DEC DE	INC E	DEC E	LD E,n	RRA
2	JR Z,of	ADD HL,HL	LD HL,(nn)	DEC HL	INC H	DEC H	LD L,n	CPL
3	JR C,of	ADD HL,SP	LD HL,(nn)	DEC SP	INC A	DEC A	LD A,n	CCF
4	LD C,B	LD C,C	LD C,D	LD C,E	LD C,H	LD C,L	LD C,(HL)	LD C,A
5	LD E,B	LD E,C	LD E,D	LD E,E	LD E,H	LD E,L	LD E,(HL)	LD E,A
6	LD L,B	LD L,C	LD L,D	LD L,E	LD L,H	LD L,L	LD L,(HL)	LD L,A
7	LD A,B	LD A,C	LD A,D	LD A,E	LD A,H	LD A,L	LD A,(HL)	LD A,A
8	ADC A,B	ADC A,C	ADC A,D	ADC A,E	ADC A,H	ADC A,L	ADC A,(HL)	ADC A,A
9	SBC A,B	SBC A,C	SBC A,D	SBC A,E	SBC A,H	SBC A,L	SBC A,(HL)	SBC A,A
A	XOR B	XOR C	XOR D	XOR E	XOR H	XOR L	XOR (HL)	XOR A
B	CP B	CP C	CP D	CP E	CP H	CP L	CP (HL)	CP A
C	RET Z	RET	JP Z,nn	⟶	CALL Z,nn	CALL nn	ADC A,n	RST & 08
D	RET C	EXX	JP C,nn	IN A,(n)	CALL C,nn	⟶	SBC A,n	RST & 18
E	RET PE	JP (HL)	JP PE,nn	EX DE,HL	CALL PE,nn	⟶	XOR n	RST & 28
F	RET M	LD SP,HL	JP M,nn	EI	CALL M,nn	⟶	CP n	RST & 38

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	RLC B	RLC C	RLC D	RLC E	RLC H	RLC L	RLC (HL)	RLC A
1	RL B	RL C	RL D	RL E	RL H	RL L	RL (HL)	RL A
2	SLA B	SLA C	SLA D	SLA E	SLA H	SLA L	SLA (HL)	SLA A
3								
4	BIT 0,B	BIT 0,C	BIT 0,D	BIT 0,E	BIT 0,H	BIT 0,L	BIT 0,(HL)	BIT 0,A
5	BIT 2,B	BIT 2,C	BIT 2,D	BIT 2,E	BIT 2,H	BIT 2,L	BIT 2,(HL)	BIT 2,A
6	BIT 4,B	BIT 4,C	BIT 4,D	BIT 4,E	BIT 4,H	BIT 4,L	BIT 4,(HL)	BIT 4,A
7	BIT 6,B	BIT 6,C	BIT 6,D	BIT 6,E	BIT 6,H	BIT 6,L	BIT 6,(HL)	BIT 6,A
8	RES 0,B	RES 0,C	RES 0,D	RES 0,E	RES 0,H	RES 0,L	RES 0,(HL)	RES 0,A
9	RES 2,B	RES 2,C	RES 2,D	RES 2,E	RES 2,H	RES 2,L	RES 2,(HL)	RES 2,A
A	RES 4,B	RES 4,C	RES 4,D	RES 4,E	RES 4,H	RES 4,L	RES 4,(HL)	RES 4,A
B	RES 6,B	RES 6,C	RES 6,D	RES 6,E	RES 6,H	RES 6,L	RES 6,(HL)	RES 6,A
C	SET 0,B	SET 0,C	SET 0,D	SET 0,E	SET 0,H	SET 0,L	SET 0,(HL)	SET 0,A
D	SET 2,B	SET 2,C	SET 2,D	SET 2,E	SET 2,H	SET 2,L	SET 2,(HL)	SET 2,A
E	SET 4,B	SET 4,C	SET 4,D	SET 4,E	SET 4,H	SET 4,L	SET 4,(HL)	SET 4,A
F	SET 6,B	SET 6,C	SET 6,D	SET 6,E	SET 6,H	SET 6,L	SET 6,(HL)	SET 6,A

	8	9	A	B	C	D	E	F
0	RRC B	RRC C	RRC D	RRC E	RRC H	RRC L	RRC (HL)	RRC A
1	RR B	RR C	RR D	RR E	RR H	RR L	RR (HL)	RR A
2	SRA B	SRA C	SRA D	SRA E	SRA H	SRA L	SRA (HL)	SRA A
3	SRL B	SRL C	SRL D	SRL E	SRL H	SRL L	SRL (HL)	SRL A
4	BIT 1,B	BIT 1,C	BIT 1,D	BIT 1,E	BIT 1,H	BIT 1,L	BIT 1,(HL)	BIT 1,A
5	BIT 3,B	BIT 3,C	BIT 3,D	BIT 3,E	BIT 3,H	BIT 3,L	BIT 3,(HL)	BIT 3,A
6	BIT 5,B	BIT 5,C	BIT 5,D	BIT 5,E	BIT 5,H	BIT 5,L	BIT 5,(HL)	BIT 5,A
7	BIT 7,B	BIT 7,C	BIT 7,D	BIT 7,E	BIT 7,H	BIT 7,L	BIT 7,(HL)	BIT 7,A
8	RES 1,B	RES 1,C	RES 1,D	RES 1,E	RES 1,H	RES 1,L	RES 1,(HL)	RES 1,A
9	RES 3,B	RES 3,C	RES 3,D	RES 3,E	RES 3,H	RES 3,L	RES 3,(HL)	RES 3,A
A	RES 5,B	RES 5,C	RES 5,D	RES 5,E	RES 5,H	RES 5,L	RES 5,(HL)	RES 5,A
B	RES 7,B	RES 7,C	RES 7,D	RES 7,E	RES 7,H	RES 7,L	RES 7,(HL)	RES 7,A
C	SET 1,B	SET 1,C	SET 1,D	SET 1,E	SET 1,H	SET 1,L	SET 1,(HL)	SET 1,A
D	SET 3,B	SET 3,C	SET 3,D	SET 3,E	SET 3,H	SET 3,L	SET 3,(HL)	SET 3,A
E	SET 5,B	SET 5,C	SET 5,D	SET 5,E	SET 5,H	SET 5,L	SET 5,(HL)	SET 5,A
F	SET 7,B	SET 7,C	SET 7,D	SET 7,E	SET 7,H	SET 7,L	SET 7,(HL)	SET 7,A

	0	1	2	3	4	5	6	7	...
4	IN B,(C)	OUT (C),B	SBC HL,BC	LD (nn),BC	NEG	RETN	IM 0	LD I,A	...
5	IN D,(C)	OUT (C),P	SBC HL,DE	LD (nn),DE			IM 1	LD A,I	...
6	IN H,(C)	OUT (C),H	SBC HL,HL	LD (nn),HL				RRD	...
7			SBC HL,SP	LD (nn),SP					...
8									...
9									...
A	LDI	CPI	INI	OUTI					...
	LDIR	CPIR	INIR	OTIR					...

	8	9	A	B	C	D	E	F
4	IN C,(C)	OUT (C),C	ADC HL,BC	LD BC,(nn)		RETI		LD R,A
5	IN E,(C)	OUT (C),E	ADC HL,DE	LD DE,(nn)			IM 2	LD A,R
6	IN L,(C)	OUT (C),L	ADC HL,HL	LD HL,(nn)				RLD
7	IN A,(C)	OUT (C),A	ADC HL,SP	LD SP,(nn)				
8								
9								
A	LDD	CPD	IND	OUTD				
B	LDDR	CPDR	INDR	OTDR				

FLAGBEEINFLUSSUNG

Befehl	C	Z	P/V	S	Kommentar
ADD;ADC;SUB;SBC;CP;NEG	x	x	V	x	8-Bit-Befehle
AND;OR;XOR;	0	x	P	x	
INC;DEC		x	V	x	8-Bit-Befehle
ADD	x				16-Bit-Addition
ADC;SBC	x	x	V	x	16-Bit-Befehle
RLA;RLCA;RRA;RRCA	x				
RL;RLC;RR;RRC;SLA;SRA;SRL	x	x	P	x	
RLD;RRD		x	P	x	
DAA	!	!	P	!	
CCF	!				!:Komplementiert Carry-Flag
SCF	1				
IN reg,(C)		x	P	x	
INI;IND;OUTI;OUTD		!	U	U	!:Z=0,wenn B=0 sonst Z=1
INIR;INDR;OTIR;OTDR		1	U	U	Z=0,wenn B=0 sonst Z=1
LDI;LDD			!		!:P/V=0,wenn BC=0 sonst P/V=1

Befehl	C	Z	P/V	S	Kommentar
LDIR;LDDR			0		
CPI;CPIR;CPD;CPDR		!	!	x	!:Z=1,wenn A=(HL) sonst Z=0 !:P/V=0,wenn BC=0 sonst P/V=1
LD A,I;LD A,R		x	!	x	!:P/V=IFF-Status
BIT		x	U	U	

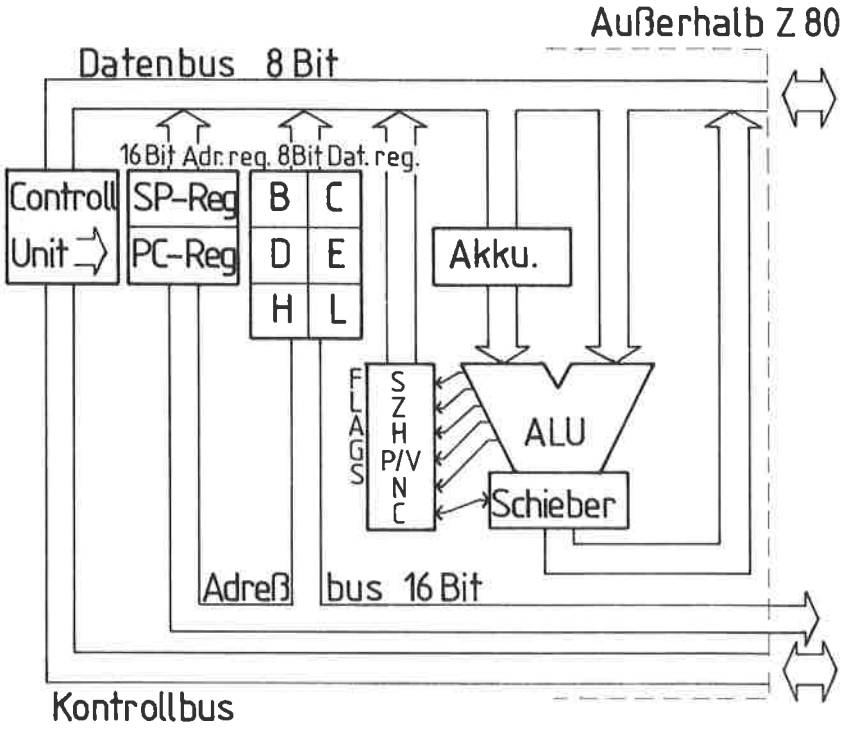


Abb.1 Aufbau des Z 80 2.1

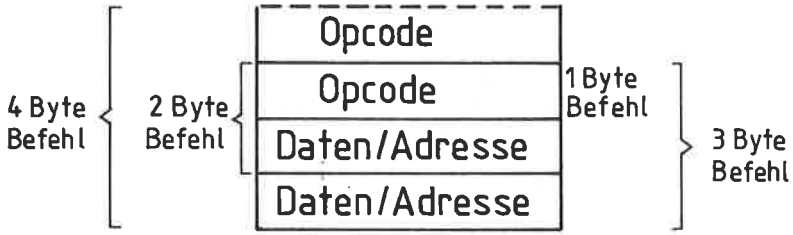

Opcode
Opcode
Daten/Adresse
Daten/Adresse
4 Byte Befehl
2 Byte Befehl
1 Byte Befehl
3 Byte Befehl

Abb. 2 4.1

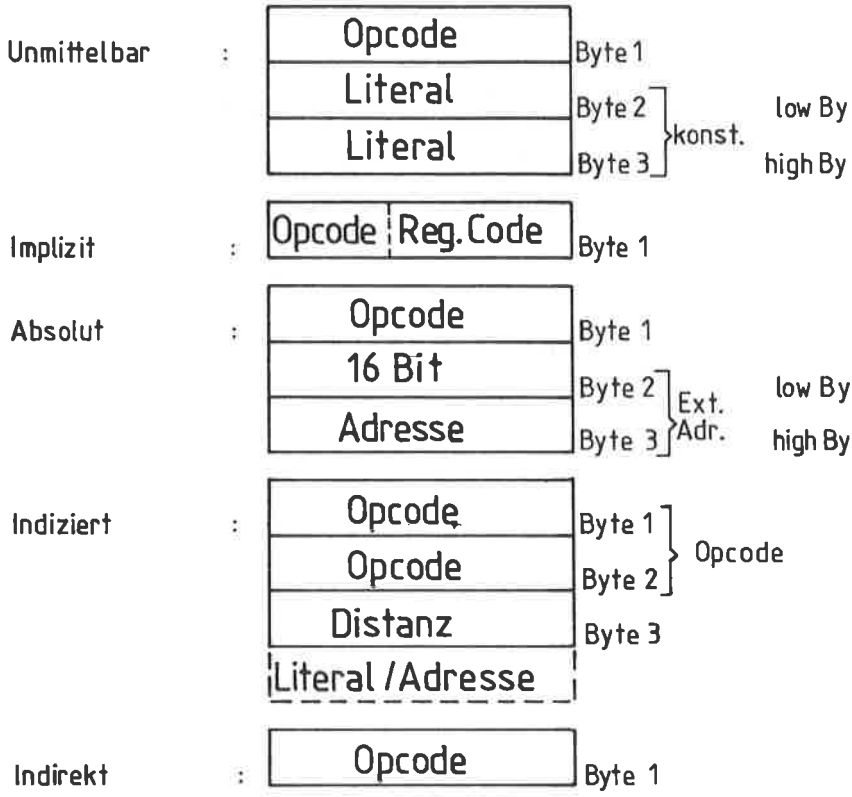

Unmittelbar :
Opcode
Literal
Literal
Byte 1
Byte 2
Byte 3
konst.
low By
high By
Implizit :
Opcode
Reg.Code
Byte 1
Absolut :
Opcode
16 Bit
Adresse
Byte 1
Byte 2
Byte 3
Ext. Adr.
low By
high By
Indiziert :
Opcode
Opcode
Distanz
Literal / Adresse
Byte 1
Byte 2
Byte 3
Opcode
Indirekt :
Opcode
Byte 1

Abb. 3 4.1

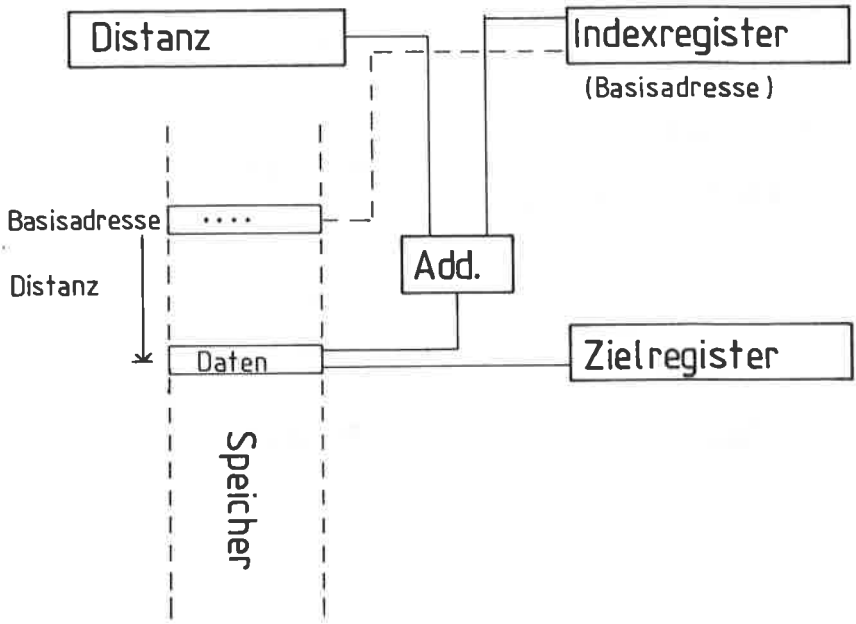


Abb. 4 Indizierte Adressierung / LD reg,(XY+dis)

4.1

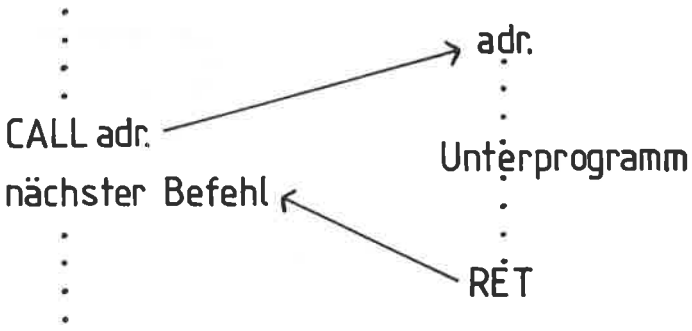


Abb. 5 Unterprogramm Aufruf 4.3

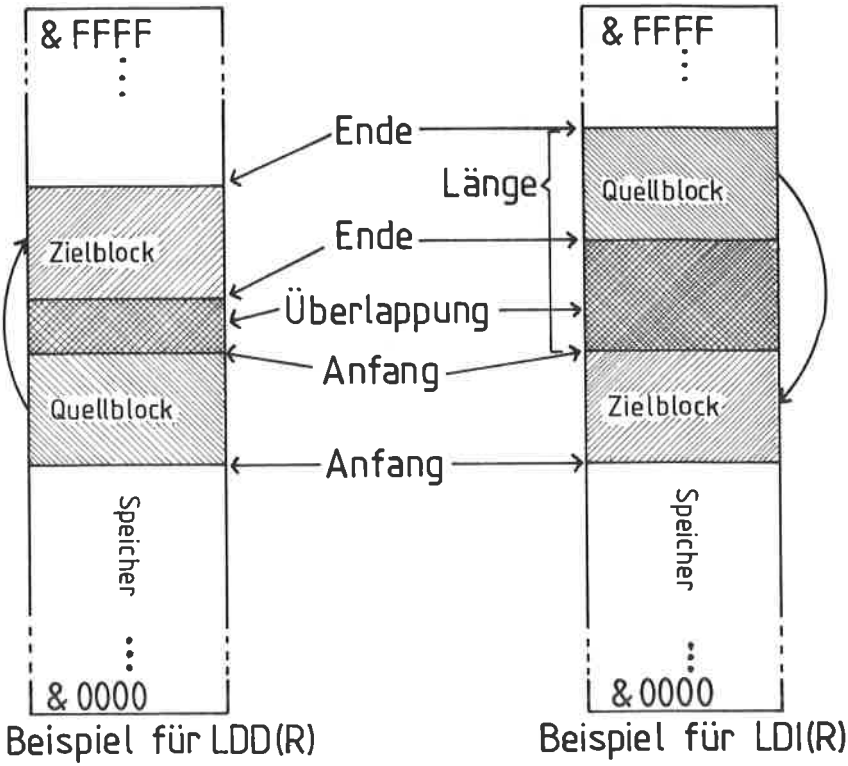
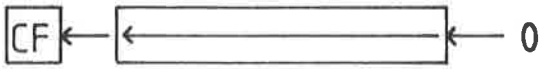
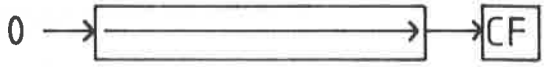


Abb. 6 Blocktransferbefehle 4.5

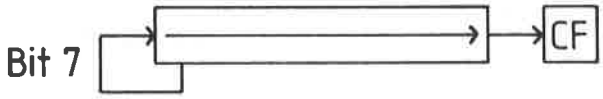


SLA- Schiebe links arithmetisch



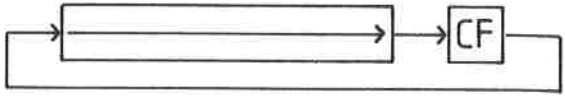
SRL- Schiebe rechts logisch

Abb. 7 4.8

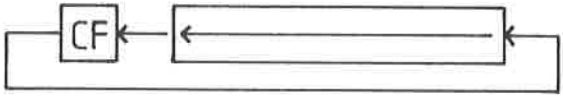


SRA- Schiebe rechts arithmetisch

Abb. 8 4.8

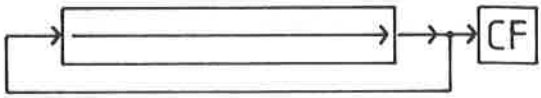


RR- Rotiere rechts durch Carry

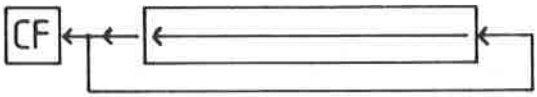


RL- Rotiere links durch Carry

Abb. 9 9- Bit Rotation 4.8



RRC- Rotiere rechts

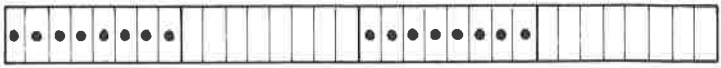


RLC- Rotiere links

Abb. 10 8-Bit Rotation

4.8

Vier Bildschirmbytes vor Ausführung



Nach wiederholter Ausführung von RR

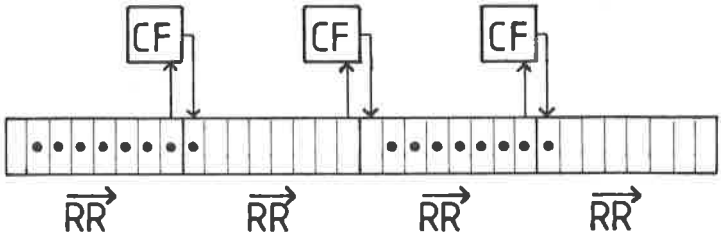


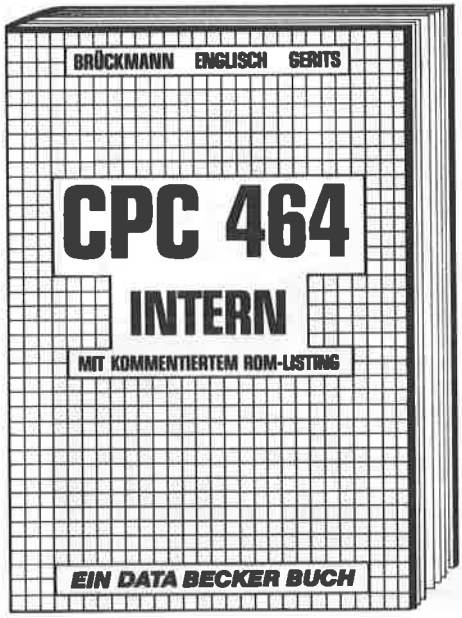
Abb. 11 Anwendung 9-Bit Rotation

4.8

Deutschlands meistverkaufte Textverarbeitung jetzt in einer speziellen Version für den CPC 464. Erweitert um 80-Zeichen-Darstellung, Tabulatoren, Word Wrap und Trennvorschläge. Natürlich mit deutschem Zeichensatz. Komplett in Maschinensprache und damit superschnell. Durch Menuesteuerung leicht zu bedienen. Läßt sich ideal mit DATAMAT kombinieren. **TEXTOMAT für den CPC 464 kostet einschließlich umfangreichem Handbuch DM 148,–.**

Deutschlands meistverkaufte Dateiverwaltung jetzt in einer speziellen Version für den CPC 464. Erweitert um 80-Zeichen-Darstellung und größere Datensätze mit bis zu 512 Zeichen. Komplett in Maschinensprache und damit superschnell. Läßt sich ideal mit TEXTOMAT kombinieren. **DATAMAT für den CPC 464 kostet einschließlich umfangreichem Handbuch DM 148,–.**

Universelle Buchführung sowohl für private Zwecke als auch zur Planung, Überwachung und Abwicklung von Budgets jeglicher Art. Komplett mit ausführlichem Handbuch ab April für DM 148,–. In Vorbereitung: **MATHEMAT** das leistungsstarke Mathematik-programm. Ab Ende April.



Unentbehrlich für den fortgeschrittenen Basic-Programmierer und ein absolutes Muß für den professionellen Assembler-Programmierer. Z 80-Prozessor, Videocontroller, Schnittstellen sind ausführlich beschrieben. Kommentiertes Listing des BASIC-Interpreters und des Betriebssystems.
CPC 464 INTERN, 1985,
ca. 500 S., DM 69,—.

Neben der Welt Ihres eigenen Computers gibt es noch eine andere, immer wichtiger werdende Welt: die Welt der IBM. Sie wird bestimmt von Großrechnern, Kommunikation und Netzwerken. Dieses Buch führt Sie leicht verständlich und umfassend in die Welt der IBM ein. Dabei werden Begriffe wie SNA, 3270 und SDLC ebenso erklärt wie Datenübertragungsmöglichkeiten, PC-Anschluß an Großrechner und Netzwerkfähigkeiten. Sogar die Möglichkeiten des neuen IBM PC AT sind bereits enthalten.
EIN WEGWEISER DURCH DIE IBM-WELT, ca. 200 Seiten, DM 59,–

DAS STEHT DRIN:

Das Maschinensprachebuch zum CPC 464 ist für jeden, dem das umfangreiche BASIC an Leistung und Geschwindigkeit nicht mehr ausreicht. Von den Grundlagen der Maschinenspracheprogrammierung über die Arbeitsweise des Z80-Prozessors und einer genauen Beschreibung seiner Befehle bis zur Benutzung von Systemroutinen ist alles ausführlich und mit vielen Beispielen erklärt. Im Buch enthalten sind Assembler, Disassembler und Monitor als komplette Anwenderprogramme. So wird der Einstieg in die Maschinensprache leichtgemacht!

UND GESCHRIEBEN HABEN DIESES BUCH:

Holger Dullin und Hardy Straßenburg sind Studenten (Biologie und Informatik) und engagierte Programmierer, die sich einen der ersten CPC's holten und sich sofort mit der Programmierung des Z80 Prozessors auseinandersetzten.

ISBN 3-89011-070-3