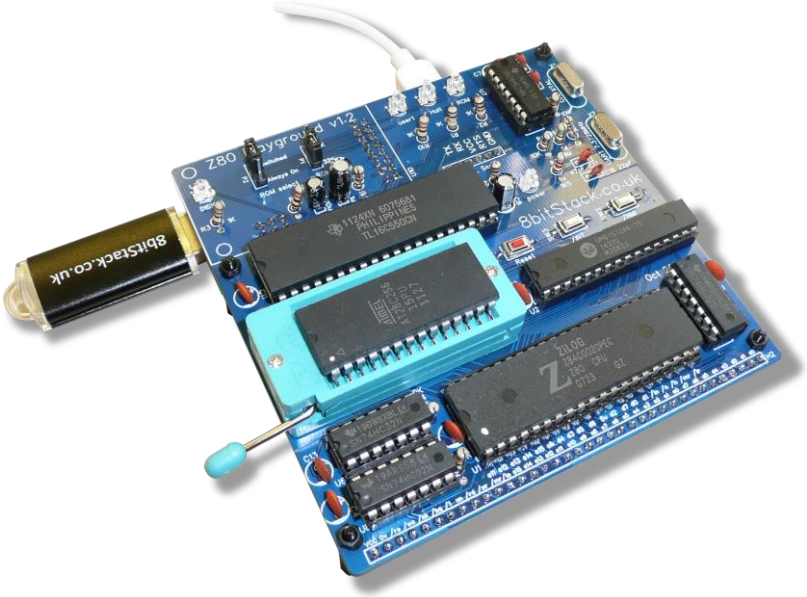
Erik Bartmann

Z80

Der Z80 mit dem Z80-Playground-PCB erklärt

Spaß mit der Programmierung des **Z80**

Eine etwas
andere Herangehensweise



Dieses Dokument	
Titel	Die Programmierung des Z80
Thema	Der Z80
Erstellt am	23. April 2021
Erstellt von	Bartmann, Erik
Version	1.02
Dateiname	Z80

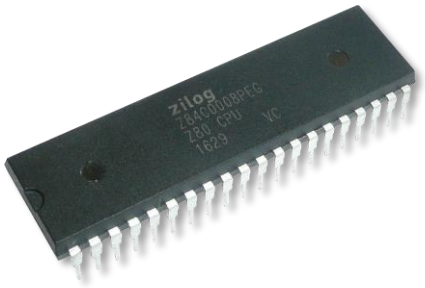
Ihr Ansprechpartner	
Name	Erik Bartmann
E-Mail	erk.bartmann@yahoo.de
Internet	https://erik-bartmann.de/

Inhalt

1 Der Sinn dieses Manuals

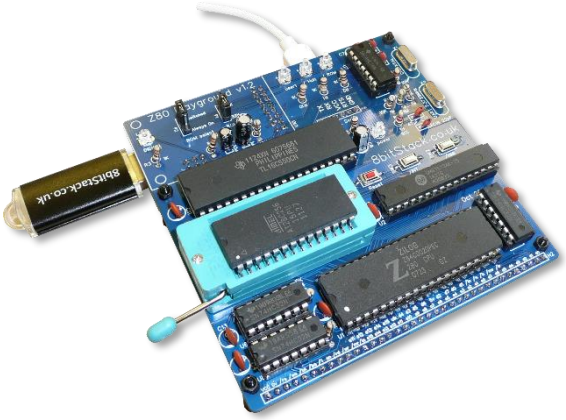
Wenn jemand den Reiz verspürt, sich mit einer etwas älteren, aber immer noch sehr interessanten Technik der Z80-CPU, auseinanderzusetzen, dann ist er hier genau richtig gelandet. Dieses Manual stellt die Z80-CPU mithilfe eines sehr günstigen Z80-Computers vor. Der Interessierte lernt sowohl etwas über das Betriebssystem CP/M, als auch ein wenig über die Z80-CPU mit einer grundlegenden Einführung in die Programmierung über die Maschinensprache des Z80. Die angesprochenen Themen füllen ganze Bücherschränke und es wäre illusorisch und vermessen zu behaupten, dass das auf ein paar hundert Seiten auch nur annähernd abzuhandeln wäre. Das soll es auch nicht und ist lediglich dazu da, einen geeigneten Einstieg in das Thema CP/M und Z80 zu liefern. Spaß ist auf jeden Fall die oberste Prämisse und das wird in meinen Augen auch geschehen. Wer wirklich grundlegende (Er)Kenntnisse darüber erlangen möchte, wie eine CPU funktioniert, wie Bits und Bytes hin und hergeschoben werden, der sollte hier etwas Zeit investieren. Es gibt in meinen Augen nichts Schlimmeres, als sich als angehender Entwickler nur mit Programmier-Hochsprachen zu beschäftigen und dann nicht zu wissen, was quasi unter der Haube eines Computers geschieht. Das ist heutzutage im Zeitalter „moderner“ Betriebssysteme wie *Windows*, *Mac OSX* oder *Linux*, sehr schwierig bis unmöglich, zu erfassen beziehungsweise zu realisieren, was der Computer denn so treibt, während wir gebannt und paralysiert auf den Bildschirm starren. Alle drei bis 5 Tage werden Updates eingespielt und auch nicht die vermeintlichen Spezialisten können ergründen, was denn wirklich im Hintergrund „gespielt“ wird. Eine in meinen Augen sehr verwerfliche Situation, die den Nutzern zugemutet wird. Das bedeutet nun nicht, alle modernen Computer mit dem Betriebssystem CP/M zu versehen, was sowieso nicht funktionieren würde. Doch zurück zum eigentlichen Thema. Der Z80 ist eine 8-Bit-CPU, was bedeutet, dass sein Datenbus eine Breite von 8 Bits besitzt. Mit diesen 8-Bits können eine Menge interessanter Dinge angestellt werden, wobei diese über einen 16-Bit breiten Adressbus quasi *gemanaged* werden. Auch mit Betriebssystem CP/M - DOS hat sich hier reichlich Innovationen *geholt* - können Dateien erstellt, gelöscht, kopiert oder umbenannt werden. Es gibt Programme für die Textverarbeitung, die Tabellenkalkulation und für Datenbanken. Sogar Spiele wurden entwickelt, die jedoch nur im Textmodus verfügbar sind, da CP/M keine Möglichkeit der Grafikausgabe hat. Das was nützen heutzutage die unzähligen hirnlosen Spiele mit wahnsinniger Grafik, die ohne Sinn und Verstand programmiert wurden. Da lobe ich mir doch ein kniffliges Text-Adventure, dass die kleinen grauen Zellen in Bewegung und einen in Grübeln bringt. Das alles ist jedoch nur meine persönliche Meinung und spiegelt nicht die öffentliche Meinung wider.

2 Die Geschichte des Z80



Der Z80-Prozessor wurde von der Firma *Zilog* unter der Leitung von *Federico Faggin* entwickelt und kam erstmals im Jahre 1976 auf den Markt. Er war ein direkter Konkurrent zu den bis dahin sehr beliebten und weit verbreiteten Intel-Prozessoren und bot sowohl Kompatibilität mit Intel-Systemen als auch mehr Funktionalität. Zum Starten eines CP/M-Systems ist nur ein minimales ROM erforderlich, was dann das Betriebssystem von Diskette lädt und startet, auf der die erforderlichen Dateien gespeichert sind. Im März des Jahres 1976 wurde der Z80 herausgebracht. Die Entwicklung des Z80 hatte das Ziel, dass diese CPU zum schon vorhandenen Intel 8080 abwärtskompatibel sein muss, wodurch alle auf dem 8080 entwickelten Programme auch auf dem Z80 lauffähig waren, was natürlich auch für das CP/M-System galt. Die ersten Z80-Versionen erlaubten eine Taktrate von 2,5 MHz, wobei spätere Versionen höhere Taktraten ermöglichten. Der Z80A konnte mit 4 MHz, der Z80B mit 6 MHz und der Z80H 8 MHz betrieben werden. Gerade auf dem Spielemarkt war der Z80 sehr beliebt und wurde bis Ende der 1980er Jahre in vielen Arcade-Konsolen und Heimcomputern verbaut. Nennenswerte Vertreter sind dabei der *ZX80* beziehungsweise *ZX81*, der *Tandy TRS-80* und der *PC-8801*, wobei es noch viele andere gab. Sogar für den sehr beliebten *Apple II* wurde eine Z80-Erweiterungskarte entwickelt, die ihn dazu befähigte, neben der hauseigenen 6502-CPU nun auch mit dem Z80 CP/M zu starten. Später wurde der Z80 sogar in den Taschenrechnern von Texas-Instruments verbaut und ist in den Modellen *TI-83 Plus*, *TI-84 Plus* und *TI-84 Plus Silver Edition* zu finden.

3 Der Z80-Playground



Dieses Manual - ich erwähnte es schon - soll und wird jetzt kein Handbuch für den Z80 sein, denn das Thema ist viel zu umfangreich und würde den Rahmen mit mehreren hunderten oder tausenden Seiten einfach sprengen. Zu diesem Thema gibt es sehr viele und gute Bücher, die in Form von PDFs im Internet frei verfügbar sind. Am Ende werde ich eine kleine Liste bereitstellen und auf diese Literatur verweisen. Dort sind alle Details zum Z80 sowohl für die Hard- als auch für die Software zu finden. Da das Ganze für einen Einsteiger jedoch sehr komplex scheint, ist es sehr leicht, sich zu verirren und die Lust an der sehr interessanten Thematik zu verlieren und ich rede hier aus eigener Erfahrung. Sehr viele Fachbuchautoren haben ein gigantisches Wissen, können dieses jedoch nicht in der Art didaktisch aufbereiten, dass ein Neuling einen geeigneten Einstieg findet. Meistens ist dann Frust angesagt und nach recht kurzer Zeit wird sich anderen Dingen gewidmet. Das ist in meinen Augen sehr schade, denn mit ein bisschen mehr Fingerspitzengefühl und Verständnis könnten die Menschen dort abgeholt werden, wo sie sich im Moment gerade befinden. Also quasi wissbegierig und wahrscheinlich ein wenig verloren. Nun bin ich schon seit vielen Jahren Fachbuchautor für elektronische Themen wie Arduino, Raspberry Pi oder auch ESP32, um nur einige wenige zu nennen. Für mich ist es außerordentlich wichtig und entscheidend, eine didaktische Linie zu fahren, wo ein Thema auf das andere aufbaut. Der Einsteiger wird also wie in einer geführten Meditation durch einen für ihn neuen Themenbereich geführt, wobei ich jedoch nicht hoffe, dass er dabei einschläft, wie das während einer Meditation durchaus einmal der Fall sein kann. Sollte man sich überhaupt mit der Programmierung einer veralteten CPU befassen? Macht es nicht mehr Sinn, sich mit aktuelleren IT-Themen zu befassen? Ja und Nein, in der Reihenfolge! Wer wirklich verstehen will, wie ein Computer quasi Low-Level – also auf unterster Ebene – arbeitet, sollte in Erwägung ziehen, einen anderen Weg einzuschlagen, als den, der vermeintlich Mainstream ist. Professionelle Programmiersprachen wie C/C++ oder C#, um nur wenige zu nennen, bieten zwar ebenfalls einen guten Einstieg in die Thematik der Arbeitsweise eines Computers, doch eben nicht so ganz. Natürlich ist das nur meine persönliche Meinung und kein Dogma, das nicht infrage gestellt werden darf. Wer also Lust und Zeit hat, sich mit der Programmierung einer CPU, respektive dem Aufbau eines Z80-Komplettsystems zu befassen, der sollte jetzt weiterlesen. Alle anderen können das Manual jetzt beiseitelegen und sich anderen netten Dingen widmen.

Pause!

Ok, es scheint also doch ein gewisses Interesse zu bestehen, was mich persönlich sehr freut! Ich möchte jedoch nicht weiter mit einer möglicherweise belanglosen und einschläfernden Einleitung fortfahren und nun zum eigentlichen Thema kommen. Der Z80! Wer sich mit dieser CPU beschäftigen möchte, kann das natürlich über sogenannte Emulatoren recht gut machen und einen geeigneten Einstieg finden. Es gibt umfangreiche Software, die frei verfügbar und kostenlos ist. Doch sich mit Software zu begnügen, die eine bestimmte Hardware nachbildet, ist für echte Bastler nicht so das wahre, denke ich. Nun komme ich auf den Punkt des Ganzen. Es gibt eine Entwicklungsplatine, die sich Z80-Playground nennt und von *John Squires* entwickelt wurde. Keine Sorge, ich habe mit ihm keine Vereinbarung getroffen und er hat mir - auf meinen persönlichen Wunsch hin - auch die Platine mit allen erforderlichen Bauteilen nicht frei zur Verfügung gestellt. Ich schätze die Arbeit und den Enthusiasmus

der Entwickler, die sich darum bemühen, etwas zu erschaffen, das bisher noch niemand in dieser Form gemacht hat und ich möchte deswegen nicht ausdrücklich betonen, dass ich keinen Nutzen daraus ziehen möchte und lediglich daran interessiert bin, seine Arbeit Wert zu schätzen. Das *PCB* (Printed-Circuit-Board), was er entwickelt hat, nennt sich *Z80-Playgound* und ist in meinen Augen eine wunderbare Möglichkeit, sich in die Thematik der Z80-Programmierung einzuarbeiten. Alle, für die es wichtig erscheint, sollten sich das Board einmal näher anschauen. Die Internetadresse lautet wie folgt.

http://8bitstack.co.uk/

Das Z80-Playgound-Board enthält alle Komponenten, die ein Z80-Computer benötigt. Hier die drei Hauptkomponenten, deren Funktionen gleich noch im Detail erläutert werden.

- Die **Z80** (CPU) - Zentraleinheit
- Den **ROM-Baustein 28C256** (32K EEPROM) - Nur-Lese-Speicher
- Den **RAM-Baustein UM61512** (32K RAM) - Schreib-Lese-Speicher

Zusätzlich werden noch weitere Komponenten benötigt, die eine Kommunikation mit der Außenwelt gestatten.

- **CH376S USB Pen-Drive Module** – Der CH376 wird als Dateiverwaltungs-Steuerungs-Chip verwendet, mit dem das MCU-System Dateien auf einem USB-Flash-Laufwerk oder einer SD-Karte lesen/schreiben kann. Hier sind die zahlreichen Programme und Dateien abgelegt.
- **16C550-UART** – Der 16550 UART ist eine integrierte Schaltung zur Implementierung der Schnittstelle für die serielle Kommunikation. Über diesen Weg wird die Verbindung zum Z80-Playground über das Terminal-Programm hergestellt.

3.1 Die Kommunikationswege

Auf der folgenden Abbildung sind die beiden Kommunikationswege abgebildet.

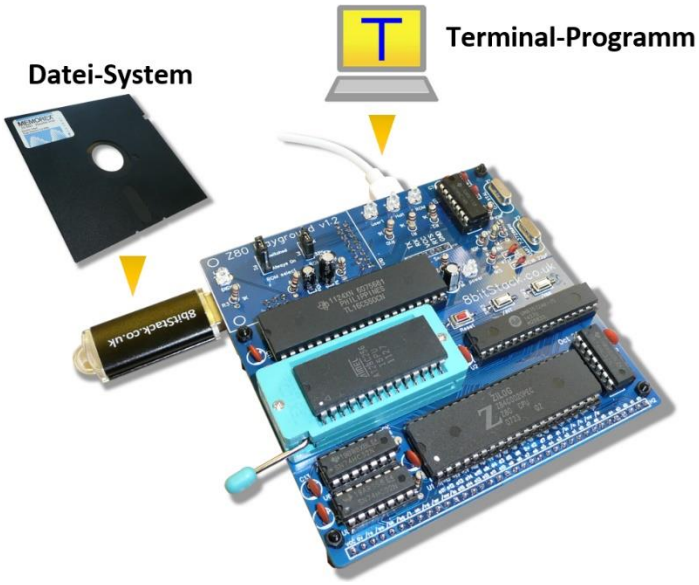


Abbildung 1 - Die Kommunikationswege

3.2 Die integrierten Schaltkreise

Nun befinden sich auf dem Z80-Playground-Board einige integrierte Schaltkreise, die sogenannten *IC*s. Die großen ICs sind auf der folgenden Abbildung markiert und beschriftet. Die drei kleinen Schaltkreise bilden die Logik zur Ansteuerung der Speicherbausteine (RAM und ROM) und des Pen-Moduls CH376.

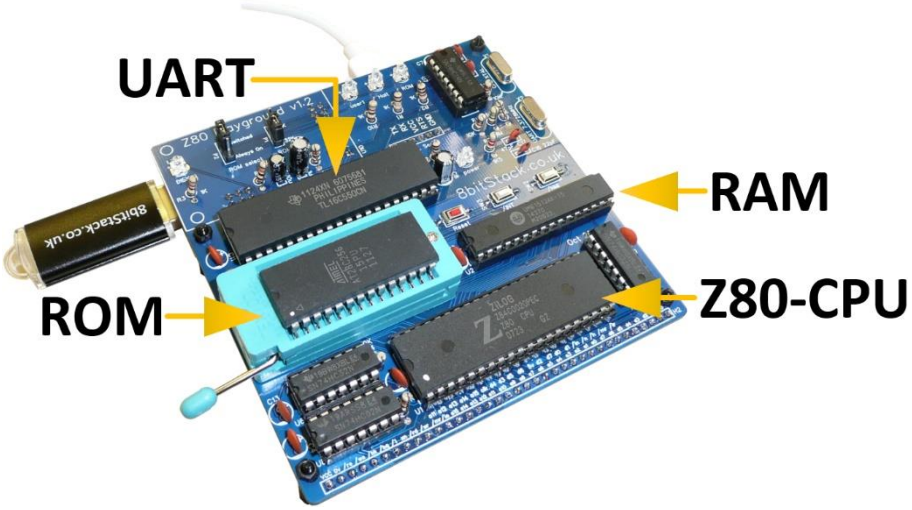


Abbildung 2 - Die grundlegenden integrierten Schaltkreise

3.3 Die Leuchtdioden

Natürlich befinden sich auf dem Z80-Playground auch einige Leuchtdioden, die sogenannten *LEDs*. Sie geben Informationen über den Status des Boards.

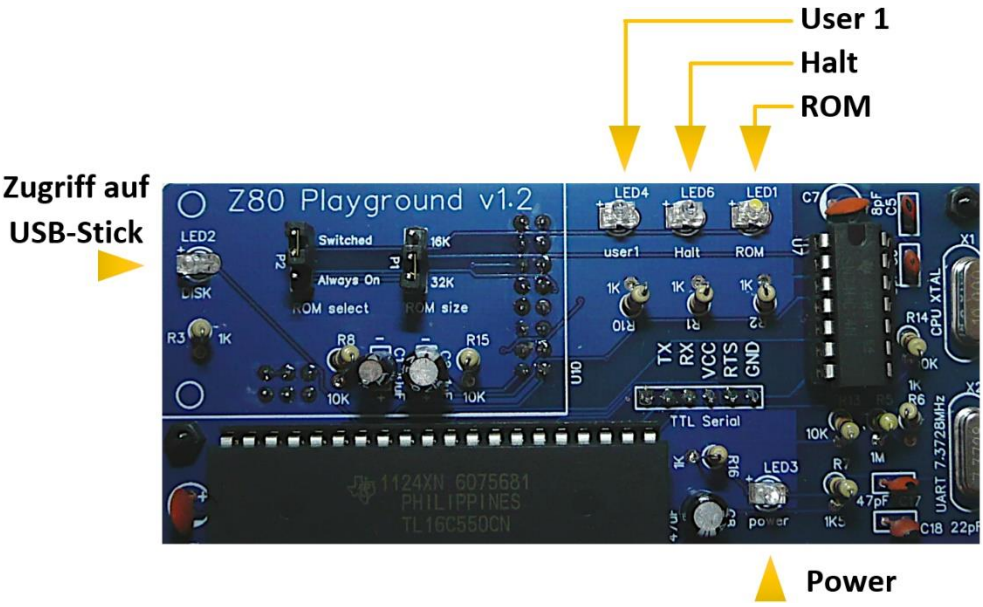


Abbildung 3 - Die LEDs

In der nachfolgenden Tabelle sind die Funktionen der LEDs erläutert.

LED	Bedeutung
LED 1	Leuchtet, wenn das ROM aktiviert ist. Kann unmittelbar nach dem Booten über die Tasten 3 (ROM ON) an- beziehungsweise 4 (ROM OFF) ausgeschaltet werden
LED 2	Leuchtet, wenn auf den USB-Stick zugegriffen wird
LED 3	Leuchtet, wenn das Board mit Spannung versorgt ist
LED 4	Leuchtet, wenn der User diese ansteuert
LED 6	Leuchtet, wenn sich die CPU im Halt-Modus befindet

3.4 Die Steckbrücken

Zur Konfiguration des Z80-Playground sind zwei Steckbrücken, die sogenannten *Jumper* vorhanden. Durch einfaches Umstecken, während das Board stromlos ist, kann eine Anpassung der Konfiguration vorgenommen werden.

Abbildung 4 - Die Jumper

Jumper	Bedeutung
ROM select	• Switched: Kann über Software gesteuert werden (Standard) • Always on: Ist immer aktiv
ROM size	• 16K: ROM nutzt 16K des Speichers • 32K: ROM nutzt 32K des Speichers (Standard)

Der RAM-Chip UM61512 besitzt eine Speichergröße von 64K. Er belegt den gesamten Z80-Speicheradressraum. Zusätzlich gibt es den ROM-Chip in Form eines EEPROMs vom Typ AT28C256, der 32K groß ist und entweder unteren 16K oder 32K des Adressraums belegt. Das Zusammenspiel zwischen diesen beiden Chips ist wie folgt.

ROM-Select

Dieser Jumper legt fest, ob das EEPROM immer eingeschaltet ist oder von der Z80 umgeschaltet werden kann. Es ist IMMER eingeschaltet, wenn das System zurückgesetzt wird. Wenn es schaltbar ist, kann die Software es jederzeit ein- oder ausschalten, indem sie Bit 3 des Modem-Steuerregisters des UART ein- oder ausschaltet (das sich an Z80-Port 12 befindet).

ROM-Size

Über diesen Jumper wird die Größe des EEPROMs eingestellt. Wenn er auf 16k gesetzt ist, belegt das EEPROM nur die unteren 16K des Adressraums, so dass 48K für das RAM übrigbleiben. Wenn er auf 32K gesetzt ist, belegt das EEPROM die untere Hälfte des Adressraums und das RAM die obere Hälfte.

Regel für das Lesen und Schreiben

Es gibt jedoch unterschiedliche Regeln für das Lesen und Schreiben aus beziehungsweise in den Speicher. Ein *WRITE* schreibt immer in das RAM, unabhängig davon, wie das ROM konfiguriert ist. Ein *READ* liest entweder aus dem ROM oder aus dem RAM, abhängig von der Konfiguration. Wenn das ROM umschaltbar und aktiviert ist, dann wird zum Beispiel beim Lesen von Speicherplatz 27 aus dem ROM gelesen, aber beim Schreiben auf Speicherplatz 27 in das RAM geschrieben. Das bedeutet, dass Sie das gesamte ROM in das RAM kopieren können, indem Sie das ROM in einer Schleife durchlaufen, jedes Byte lesen und es an dieselbe Stelle zurückschreiben. Sie können dann das ROM ausschalten und das Programm trotzdem aus dem RAM ausführen.

3.5 Die Mikro-Taster

Um von außen auf das Verhalten des Z80-Playground Einfluss zu nehmen, sind drei Mikro-Taster (Switches) vorhanden.

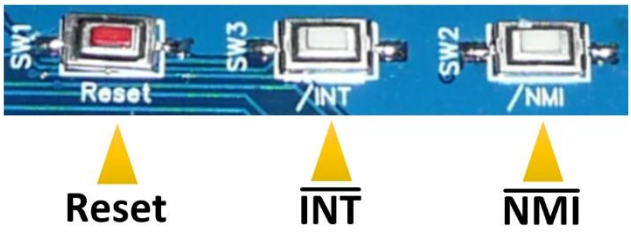


Abbildung 5 - Die Mikro-Taster

Taster	Bedeutung
SW1: Reset	Führt einen Reset des Boards durch (Kaltstart)
SW3: INT	Führt einen Interrupt durch
SW2: NMI	Führt einen Non Mascable Interrupt durch

3.6 Der Schaltplan

Der Schaltplan des Z80-Playground v1.2 ist unter der folgenden Internetadresse zu finden.

http://8bitstack.co.uk/wp-content/uploads/2021/01/Schematic_Z80-playground_v_1_2.pdf

Dort sind alle Komponenten zu finden und wie sie untereinander verbunden sind.

4 Das Bus-System

Wenn es darum geht, dass eine CPU, die ja das Herz eines Computersystems darstellt, funktionieren soll, dann kann sie das nicht alleine bewerkstelligen. Genau wie im menschlichen Körper gibt es ja auch nicht nur das Gehirn als zentrale Schaltzentrale, sondern weitere Organe, wie zum Beispiel das Herz, die Lunge, die Leber und viele andere. Alle zusammen bilden – recht materiell gesehen – den menschlichen Körper und stehen in einer bestimmten Verbindung untereinander. Es werden also Informationen ausgetauscht, die notwendig sind, dass das System Mensch lebensfähig ist und bleibt. Das Ganze hört sich sehr technisch an und soll lediglich als Beispiel diesen, auch, wenn es an vielen Stellen etwas hinkt. Im Körper eines Menschen gibt es natürlich viele Wege, um Informationen zwischen den einzelnen Organen auszutauschen. Da ist zum einen der Blutstrom, der durch viele Adern fließt und nicht nur Sauerstoff zu den „*Verbrauchern*“ leitet. Über Hormone beziehungsweise Botenstoffe können auf diesem Wege ebenfalls Informationen verbreitet werden, die von den entsprechenden Organen, die sie benötigen, in Empfang genommen und verarbeitet werden. Zum anderen gibt es auch das Nervensystem, das über elektrische Impulse wichtige Daten quasi in Echtzeit weiterleitet. Auch hier sind Sender und Empfänger in geeigneter Form miteinander verbunden und stehen in regem Austausch wichtiger Signale zur Aufrechterhaltung des organischen Systems. Warum erzähle ich das alles? Nun, in einem Computersystem sieht es – natürlich sehr vereinfacht – ähnlich aus. Es gibt Baugruppen, die Informationen versenden und andere, die diese empfangen. Nicht jede Information ist für jeden bestimmt und deswegen gibt es eine Logik, die bestimmt, wer was auszuwerten hat. Die einzelnen Baugruppen eines Computers kommunizieren über sogenannte *Bussysteme* miteinander. Busse bestehen in der Regel aus einzelnen elektrischen Leitungen, die zu funktionalen Gruppen zusammengefasst werden, wobei sich im Grunde genommen drei Einzelbusse unterscheiden.

- **Datenbus**: Auf diesen Leitungen werden die Daten (Informationen) zwischen den Baugruppen CPU, RAM und ROM untereinander ausgetauscht
- **Adressbus**: Die CPU legt fest, welche Baugruppe Sender beziehungsweise Empfänger der Daten ist. Jede einzelne Baugruppe besitzt eine oder mehrere Adressen, wobei durch die Angabe der Adressen auf dem Adressbus die gewünschte Baugruppe angesprochen wird. Die Anzahl der möglichen Adressen richtet sich nach der Anzahl der zur Verfügung stehenden Adressleitungen. Eine CPU mit 16 Adressleitungen kann zum Beispiel 2^{16} = 65536 Adressen (0x0000 bis 0xFFFF) adressieren.
- **Steuerbus**: Eine CPU besitzt eine Vielzahl an Steuerleitungen, die die Zugriffsart auf die einzelnen Baugruppen bestimmen. Um den Zugriff auf einen externen Speicher zu ermöglichen, wird zwischen zwei Leitungen unterschieden.
  - **RD**: Read (aus Speicher lesen)
  - **WR**: Write (in Speicher schreiben)

Auf der folgenden Abbildung ist die Kommunikation zwischen den Baugruppen CPU, RAM, ROM und PIO zu sehen.

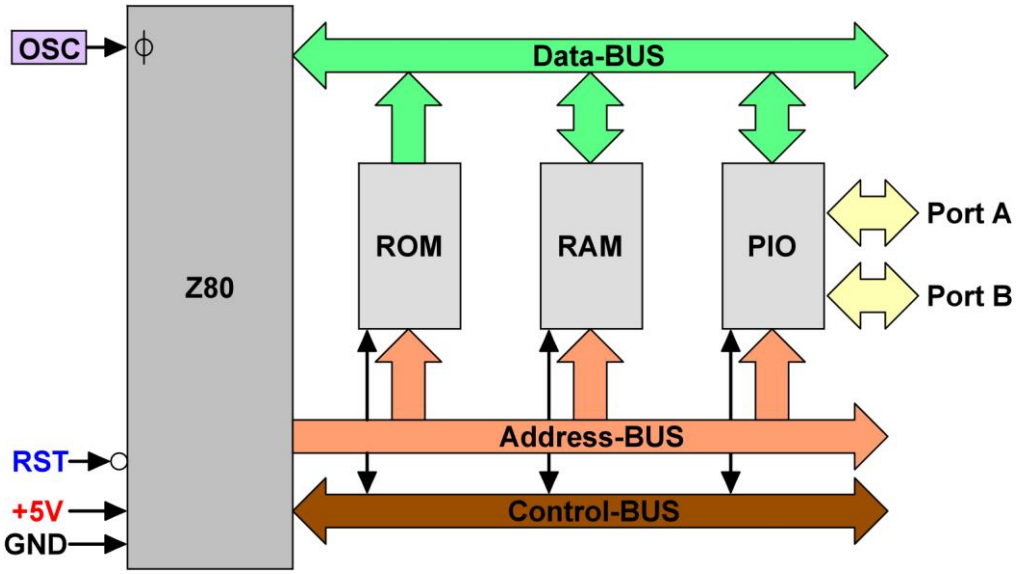


Abbildung 6 - Das grundlegende Bus-System des Z80

Der Adress- und Datenbus muss in einem Computersystem eine Vielzahl von Aufgaben erledigen, wobei alle Aufgaben etwas mit der Übermittlung von Daten beziehungsweise Informationen zu tun haben. Es müssen zum Beispiel die Informationen von einem Eingabegerät (z.B. Tastatur) in den Arbeitsspeicher, das RAM, gelangen, dann vom Z80 verarbeitet und wieder zurück in den Arbeitsspeicher und am Ende in das Ausgabegerät (z.B. Monitor) versendet werden. Dieser Datentransport im Zusammenspiel zwischen Adress- und Datenbus wird oftmals auch als *Datenautobahn* im Computer bezeichnet. Auf die genauen Unterschiede zwischen ROM und RAM und was sie bedeuteten, gehe ich gleich genauer ein.

5 Der Speicherbereich

Ein adressierbarer Speicherbereich ist naturgemäß abhängig, von den zur Verfügung stehenden Adressleitungen. Je mehr es davon gibt, desto mehr unterschiedliche Adressen können damit erreicht – adressiert – werden. Ein Z80 besitzt 16 Adressleitungen. Der mögliche Adressbereich berechnet sich wie folgt, wobei der Adressraum den adressierbaren Speicherbereich bezeichnet.

$$\text{Anzahl der möglichen Adressen} = 2^{Anzahl\ der\ Adressleitungen}$$

Konkret schaut das dann wie folgt aus.

$$\text{Anzahl der möglichen Adressen} = 2^{16} = 65.536$$

Da im Umfeld der Programmierung beziehungsweise der Adressierung nicht mit Dezimalzahlen, sondern mit hexadezimalen Zahlen gearbeitet wird, ist das ein Adressierungsbereich, der sich von *0x0000* bis *0xFFFF* erstreckt. Das Präfix 0x deutet darauf hin, dass es sich um eine hexadezimale Zahl handelt. Teilweise werden auch Angaben gemacht, die als Postfix ein *H* anhängen, wobei der Bereich dann von *0000H* bis *FFFFH* deklariert wird. Der Speicher eines Computersystems ist der Ort, an dem Daten gespeichert und/oder abgerufen werden können. Es gibt unterschiedliche Arten von Speicher, aber der Einfachheit halber erwähne ich lediglich das *ROM* und das *RAM*. Was aber bedeuten die Abkürzungen ROM beziehungsweise RAM überhaupt?

- ***ROM***: Dies ist die Abkürzung für *Read-Only-Memory* und bedeutet übersetzt *Nur-Lese-Speicher*. In diesem Speicher sind Daten abgelegt, die vom System nicht mehr verändert werden können und es ist der Speicherbereich, in dem zum Beispiel das Betriebssystem abgelegt ist. Die Daten bleiben nach der Unterbrechung von der Stromversorgung weiterhin bestehen.
- ***RAM***: Dies ist die Abkürzung für *Random-Access-Memory* und bedeutet übersetzt Speicher mit wahlfreiem Direktzugriff. Es handelt sich um eine Speicherform, der bei Computern als sogenannter Arbeitsspeicher Verwendung findet. Die Daten sind nach der Unterbrechung von der Stromversorgung verloren, da es sich um einen sogenannten flüchtigen Speicher handelt.

Nun ist es sicherlich sinnvoll, diese beiden Speicherformen der Z80-CPU irgendwie zugänglich zu machen. Man hat sich für das folgende Schema entschieden, obwohl das natürlich auch in einigen Spezialfällen geändert werden kann.

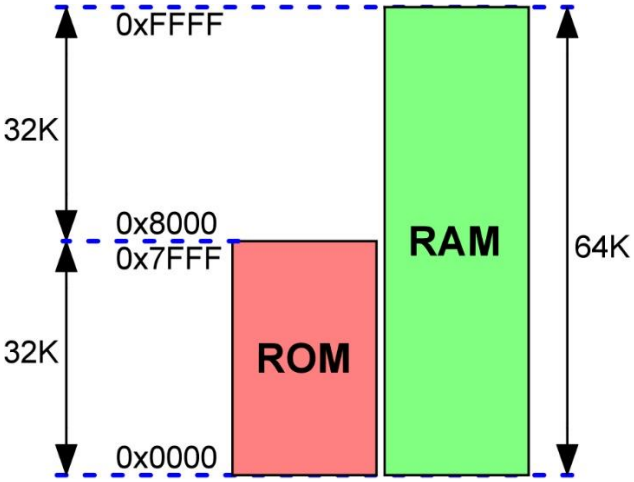


Abbildung 7 - Die Speicheraufteilung von ROM und RAM mit der Überlappung der Bereiche

Im unteren Bereich von *0x0000* bis *0x7FFF* ist das ROM mit seinen 32K angesiedelt. Parallel dazu befindet sich das RAM und deckt den Bereich von *0x0000* bis *0xFFFF* ab. Dieser gesamte Speicherbereich beträgt also in Summe 64KByte. Es sei hier nochmals erwähnt, dass das ROM in seiner Größe zwischen 16K und 32K dimensioniert werden kann. Auf der folgenden Abbildung sind sowohl die 32K-, als auch 16K-Konfiguration zu sehen. Standardmäßig sind bei der Auslieferung 32K für das ROM ausgewählt.

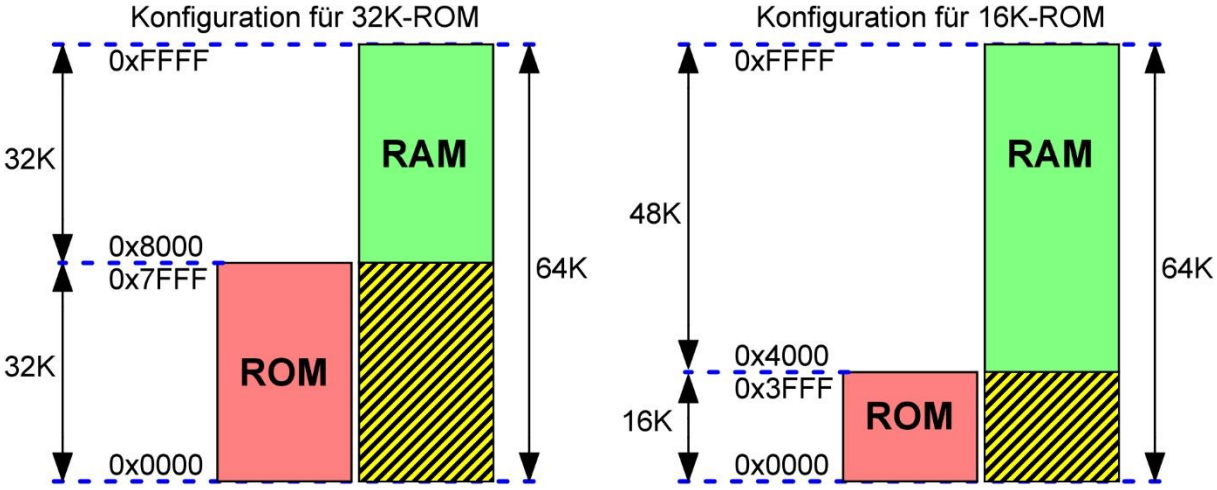


Abbildung 8 - Die Speicheraufteilung bei unterschiedlichen Konfigurationen

Die vorhandene Konfiguration kann über den Menüpunkt *m* (Memory Map) nach dem Booten des Z80-Playground abgerufen werden.

Abbildung 9 - Der Aufruf der Memory Map

Im Anschluss zeigt sich, je nach Konfiguration, die *Memory Map* mit der vorherrschenden Aufteilung von ROM und RAM.

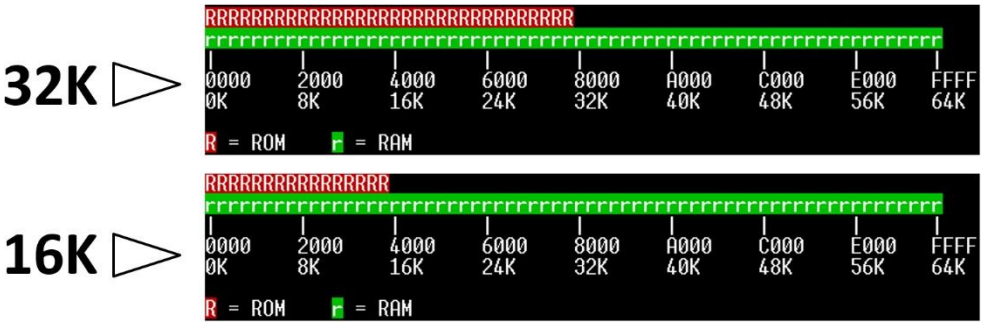


Abbildung 10 - Die Speicheraufteilung bei unterschiedlichen Konfigurationen

Um hier wieder eine Analogie zur Realität zu verwenden, kann gesagt werden, dass die Speicheradressierung ist wie die Zustellung einer Post ist. Jedes einzelne Haus besitzt in der jeweiligen Straße eine eindeutige Hausnummer und ist vergleichbar mit einer Speicheradresse im Z80-Computersystem, die der Postbote zum Beispiel bei der Zustellung eines Briefes nutzt. Beim Starten des Systems ist der RAM-Bereich, der ja den flüchtigen Speicher darstellt leer und aus diesem Grund ist es sinnvoll, der CPU über das ROM mitzuteilen, was sie denn überhaupt machen soll. Die Adresse 0x0000 wird also immer die erste Stelle sein, an der der Z80 beim Systemstart sucht, was zu tun ist. An dieser Stelle muss also eine Anweisung stehen, die ausgeführt werden kann. Wie ist das aber genau zu verstehen, denn eine einzelne Adresse auf dem Adressbus ist ja quasi nur eine Hausnummer. Was verbirgt eigentlich sich dahinter? Jetzt kommt der Datenbus ins Spiel! Bei der Wahl einer bestimmten Adresse - sei es ROM oder RAM – werden die dort gespeicherten Informationen in Form von Daten auf den Datenbus gelegt. Und da der Z80 ebenfalls an den Datenbus angeschlossen ist, kann der diese unmittelbar lesen. Der Datenbus besitzt eine Datenbreite von 8 Bits, was einem Byte entspricht. Über die eben genannte Formel können auch in diesem Fall die unterschiedlichen Bitmöglichkeiten berechnet werden.

$$\text{Anzahl der möglichen Daten} = 2^{Anzahl\ der\ Datenleitungen}$$

Konkret schaut das dann wie folgt aus.

$$\text{Anzahl der möglichen Daten} = 2^8 = 256$$

Über die abgerufenen Daten des Datenbusses über die angeforderte Adresse kann der Z80 nun ermitteln, was er als nächstes zu tun hat. Wenn es darum geht, Daten zu speichern, so ist das zwar über interne Speicherbereiche – den sogenannten Registern – innerhalb des Z80 möglich, doch diese sind in ihrer Anzahl sehr gering. Aus diesem Grund ist ja das RAM vorhanden, dass die Speicherung von Informationen zulässt, was bei einem ROM nicht möglich ist, da es ja quasi schreibgeschützt ist. Das RAM wird beim Z80 durch einen speziellen Speicherbaustein gebildet, der sich *SRAM* nennt. SRAM steht für Static-RAM und benötigt im Gegensatz zum *DRAM* (Dynamic-RAM) keinen Refresh-Zyklus, um den Inhalt zu bewahren. Der Zugriff auf den RAM-Bereich ist in diesem Beispiel im Speicherbereich von 0x8000 bis 0xFFFF angesiedelt und kann nach Lust und Laune beschrieben und wieder gelöscht werden. Abschließend zu diesem Thema kann gesagt werden, dass aus diesem Grund ist die erste Anweisung für den Z80 entscheidend ist, ob und wie das ganze System funktioniert. Dann wollen wir im nächsten Schritt doch einmal sehen, wie das Ganze in logischer Abfolge – wenn auch etwas vereinfacht dargestellt - so funktioniert. Die Kombination zwischen Adress-, Daten- und Steuerbus wird auch als *Systembus* bezeichnet.

- ***Schritt 1:*** Der Z80 legt eine Adresse auf den Adressbus
- ***Schritt 2:*** Der Z80 gibt einen Lesebefehl auf den Steuerbus
- ***Schritt 3:*** Die angesprochene Baugruppe (ROM, RAM) übermittelt ihre Daten an den Datenbus
- ***Schritt 4:*** Der Z80 liest die Daten vom Datenbus und verarbeitet sie

Wenn man sich die Speicherbausteine von früher und von heute anschaut, dann sind da schon einige Unterschiede zu bemerken. Ich fange einmal mit den ROM-Bausteinen an. Früher waren das sogenannte EPROMs, die als Festspeicher genutzt wurden. *EPROM* ist die Abkürzung für *Erasable Programmable Read-Only Memory* und frei übersetzt löschbarer programmierbarer Nur-Lese-Speicher bedeutet. Es handelt sich um einen nichtflüchtigen elektronischen Speicherbaustein, der bis zur Mitte der 1990er-Jahre in der Computertechnik verwendet wurde, inzwischen jedoch durch sogenannte EEPROMs ersetzt wurden. *EEPROM* ist die Abkürzung für *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory* und bedeutet, dass es sich um einen elektrisch löschbaren und programmierbaren Nur-Lese-Speicher handelt. Ganz schön lange Beschreibung, nicht wahr?! Auf der folgenden Abbildung sind beide Bausteine zu sehen.

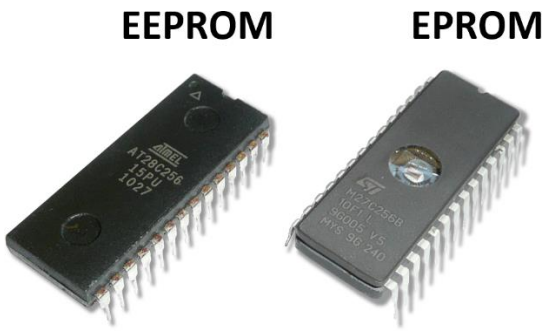


Abbildung 11 - Unterschiedliche ROM-Bausteine

Bei einem EPROM ist zu sehen, dass sich dort ein kleines Fenster befindet, was dafür da ist, bei entsprechender UV-Bestrahlung, den Inhalt des Speichers zu löschen. Derartiges ist heutzutage nicht mehr erforderlich, obwohl das Ganze natürlich einen besonderen Charme aufweist und deswegen immer noch eine gewisse Herausforderung darstellt, der man sich schlecht entziehen kann.

6 Das Pinout – Die Pinbelegung

Die Z80-CPU mit ihren 40 Pins hat natürlich sehr viele unterschiedliche Pin-Funktionen, die im nachfolgenden Pinout zu sehen sind.

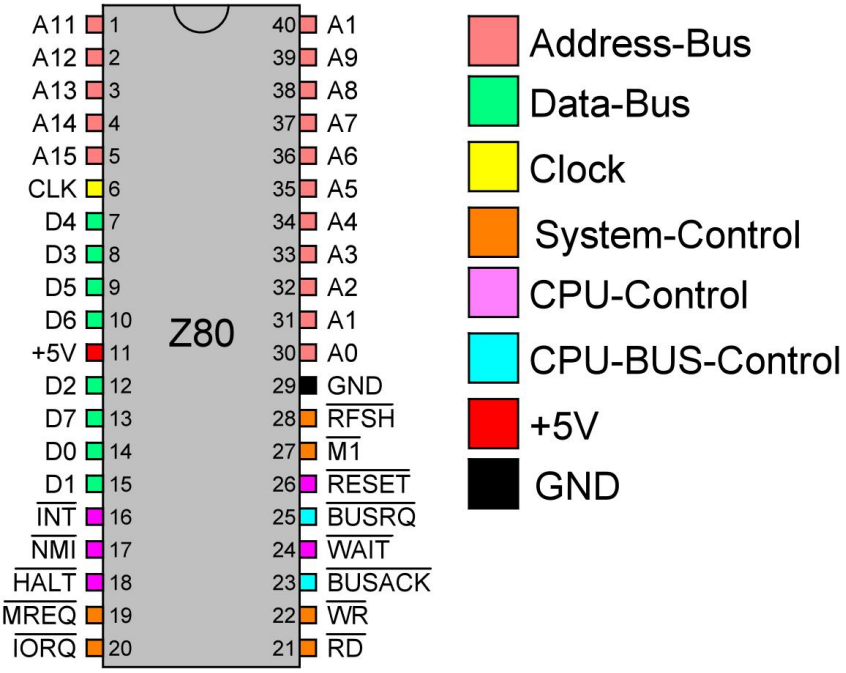


Abbildung 12 - Die Z80-Pinbelegung

In der nachfolgenden Tabelle sind die farblichen Kodierungen der einzelnen Pins erläutert.

Farbe	Bedeutung
	Die hellroten Pins sind der ***Adressbus***. A0 bis A15 werden verwendet, um eine Adresse im Speicher während eines Speicher-Lese- oder Schreibvorgangs anzugeben. A0 bis A7 werden auch verwendet, um während eines Port-Lese- oder Schreibvorgangs ein E/A-Gerät auszuwählen. Der Adressbus arbeitet nur unidirektional.
	Die grünen Pins sind der ***Datenbus***. D0 bis D7 werden zum Übertragen oder Empfangen von Daten während einer Speicher- oder Port-Lese- oder Schreiboperation verwendet. Der Datenbus kann auch verwendet werden, um anzuzeigen, welches Gerät einen Interrupt ausgelöst hat. Der Datenbus arbeitet bidirektional.
	Der Pin für den ***Takt*** (Clock)

	Der rote Pin ist die ***Spannungsversorgung*** für +5V
	Der schwarze Pin ist die ***Spannungsversorgung*** für Masse (GND)
	Die orangenen Pins sind für die ***System-Controls*** zuständig: • $\overline{\text{M1}}$ zeigt an, dass der Z80 den nächsten Befehl aus dem Speicher holt • $\overline{\text{MREQ}}$ zeigt an, dass der Z80 auf den Speicher zugreifen möchte • $\overline{\text{IORQ}}$ zeigt an, dass der Z80 auf einen I/O-Port zugreifen möchte • $\overline{\text{RD}}$ geht während eines Speicher- oder I/O-Lesevorgangs auf einen LOW-Pegel • $\overline{\text{WR}}$ geht während eines Speicher- oder I/O-Schreibvorgangs auf einen LOW-Pegel • $\overline{\text{RFSH}}$ wird dazu genutzt, um einen Refresh-Impuls an die Speichermodule zu senden. Die frühen Speicherschaltungen konnten ihren Inhalt nicht auf unbestimmte Zeit speichern und mussten einen Refresh-Impuls von Zeit zu Zeit erhalten. Dies erforderte normalerweise eine zusätzliche Schaltung, die sicherstellte, welche Speicheradressen aufgefrischt werden mussten
	Die lila Pins sind für die ***CPU-Controls*** zuständig: • $\overline{\text{HALT}}$ zeigt an, dass sich der Z80 in einem angehaltenen Zustand befindet, d. h. er wartet auf einen Interrupt • $\overline{\text{WAIT}}$ kann von Speicher- oder E/A-Geräten verwendet werden, um die Z80 während eines Lese- oder Schreibvorgangs warten zu lassen, während sich das Gerät darauf vorbereitet, eine Anforderung zu erfüllen • $\overline{\text{INT}}$ zeigt an, dass ein Hardware-Interrupt aufgetreten ist und veranlasst den Z80, auf diesen zu reagieren • $\overline{\text{NMI}}$ ist ein nicht maskierbarer Interrupt und hat eine höhere Priorität als der INT • $\overline{\text{RESET}}$ wird verwendet, um die Z80 in einen wohldefinierten Zustand zurückzusetzen
	Die cyan Pins sind für den ***Bus-CPU-Control*** zuständig: • $\overline{\text{BUSRQ}}$ wird von externen Geräten verwendet, um die Kontrolle über die Daten-, Adress- und Systemsteuerungsbusse anzufordern. Wenn die Z80 bereit ist, die Kontrolle zu übergeben, wird dies dem anfordernden Gerät über den BUSACK-Pin signalisiert • $\overline{\text{BUSACK}}$ zeigt an, dass die Z80 einem anderen Gerät die Kontrolle über die Busse überlassen hat

Auf der folgenden Abbildung sind die einzelnen Pins zu logischen Gruppen zusammengefasst.

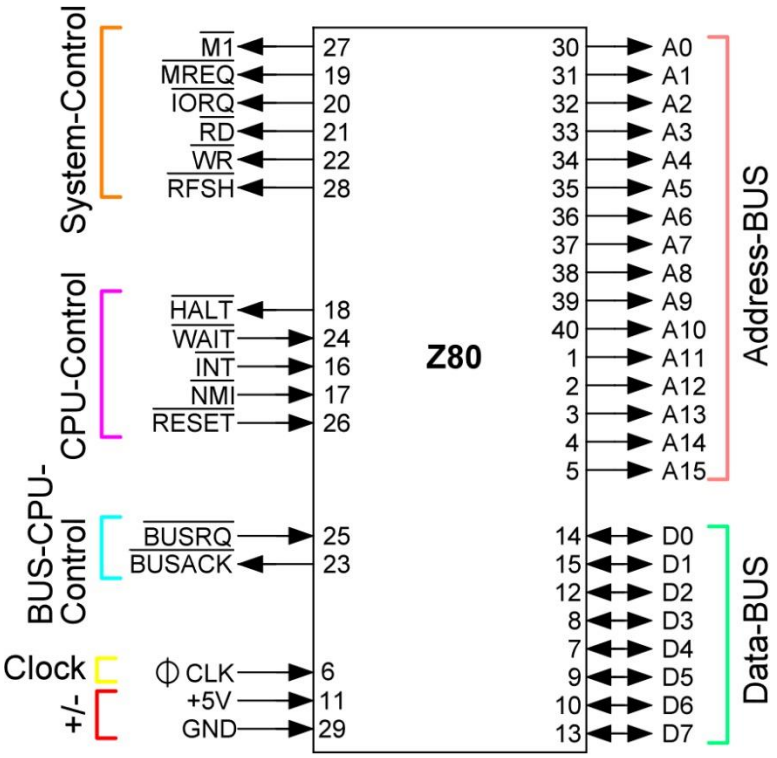


Abbildung 13 - Die Pinbelegung in logischen Gruppen

Im nächsten Schritt geht es darum, wie die Z80-CPU, die alleine für sich nicht wirklich einen Sinn ergibt, mit der Peripherie in Verbindung tritt. Damit die CPU also weiß, was sie beim nächsten Programmschritt ausführen soll, kommen sowohl Adress- als auch Datenbus ins Spiel. Eine an die Speicherbausteine gelegte Adresse liefert eine Antwort an den Datenbus. Diese Antwort veranlasst die CPU entsprechend des gelesenen Byte-Wertes - es können natürlich auch mehrere in Folge sein - etwas zu tun. Die Verschaltung von Z80, ROM und RAM schaut sehr vereinfacht wie folgt aus. Es ist zu erkennen, dass alle Adress- und alle Datenleitungen parallel miteinander verbunden sind. Welcher Speicherbaustein jedoch wann angesprochen werden soll, erfolgt über eine bestimmte Logik.

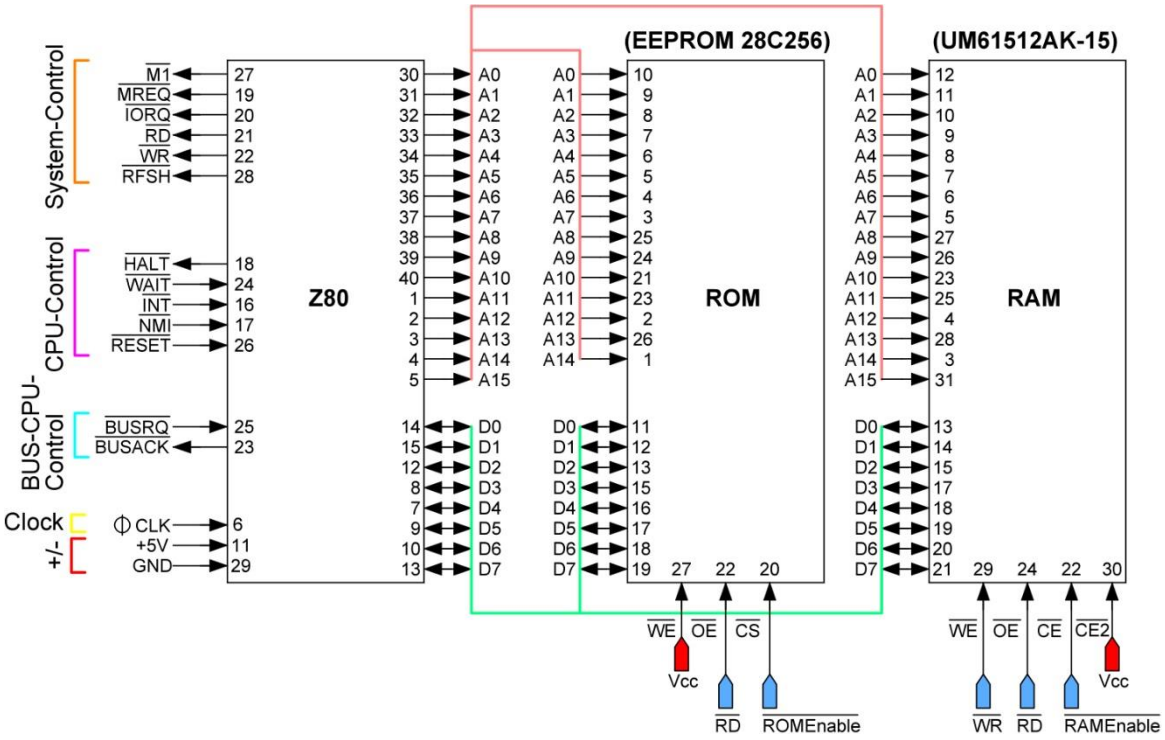


Abbildung 14 - Z80 + ROM + RAM

Für Detailinformationen zur Ansteuerung der Speicherbausteine, empfehle ich einen Blick auf den offiziellen und vollständigen Schaltplan zu werfen, der unter der folgenden Internetadresse zu finden ist.

http://8bitstack.co.uk/wp-content/uploads/2021/01/Schematic_Z80-playground_v_1_2.pdf

7 Das Betriebssystem CP/M

Um mit einem Computer in Kommunikation zu treten, muss nach Möglichkeit eine Software installiert sein, die es dem Nutzer gestattet, mehr oder weniger komfortabel eine Interaktion zwischen Mensch und Maschine zu führen. Man tippt also zum Beispiel Befehle in eine sogenannte Kommandozeile ein und versendet damit Anfragen an den Rechner, der entsprechende Aktionen ausführt und Antworten präsentiert. Natürlich geht das im Zeitalter der modernen Betriebssysteme wie *Windows*, *Mac OSX* oder Linux zumeist über eine grafische Benutzeroberfläche, die über das Eingabegerät Maus sehr einfach Programme startet um dann zum Beispiel über die Tastatur Texte in schicken Fenstern zu erstellen beziehungsweise zu verwalten, Grafiken zu kreieren oder auch Musik zu komponieren und abzuspielen. Das sind nur sehr wenige Beispiel einer Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten eines modernen Computers. Die Geschichte der Betriebssysteme hat jedoch etwas angefangen. In den 1970er Jahren gab es einen amerikanischen Bastler und Computer-Freak mit Namen *Gary Kildall*. Man sagt, dass er ein Diskettenlaufwerk bekommen hatte und nun bestrebt war, dieses an seinen selbst gebauten Computer anzuschließen. Sicherlich kein einfaches und alltägliches Unterfangen dieser Tage. Es war jedoch so intelligent, dass er sich kurzerhand selbst eine passende Schaltung – einen Controller – bastelte, um das Laufwerk nutzen zu können. Doch derartige Hardware ist ohne eine geeignete Software eigentlich nicht viel Wert und unbrauchbar. Also programmierte er noch eine – man würde heute sagen – Treibersoftware, die in der Lage war, Informationen beziehungsweise Daten auf eine Diskette zu schreiben und auch wieder zu lesen. Das war quasi die Geburtsstunde für *CP/M*, was für ***C**ontrol-**P**rogram for **M**ikrocomputers* steht. Kildall gründete daraufhin eine Firma mit dem Namen *Digital Research*.

Bei CP/M handelte sich also um das erste *DOS* (Disk Operating System) und war somit der Vorläufer für die heute geläufigen Microsoft- DOS/Windows-Systeme, wobei MS-DOS selber von einem CP/M-Clone namens *QDOS* (Quick and Dirty Operating System) abstammt, das von *Tim Patterson* programmiert und von Microsoft für den ersten IBM PC eingekauft wurde. Microsoft hat sich für das Betriebssystem DOS an CP/M orientiert und diese Grundlagen gnadenlos ausgenutzt, um ein eigenes Produkt auf den Markt zu bringen. Wurde es „*geklaut*“? Das muss jeder für sich selbst entscheiden und recherchieren. Wer die Wahrheit sucht, für den sprechen die Fakten für sich! Es ist nichts so, wie es scheint! Und schon sind wir beim eigentlichen Thema dieses Kapitels angelangt. CP/M wurde sofort zum Standard-Betriebssystem für Prozessoren wie den Z80, 8080 und 8085 erkoren, die sich alle sehr ähnlich sind. Dadurch entstand eine sehr große Anzahl von Programmen, die auf Rechnern liefen, die diese CPUs besaßen. Zahllose Programme wie zum Beispiel Assembler, diverse Programmiersprachen wie BASIC, PASCAL, FORTRAN wurden für CP/M entwickelt oder portiert und CP/M erfreute sich dadurch großer Beliebtheit. Auch heute noch – 50 Jahre später – hat dieses Betriebssystem nichts von seinem Charme verloren und viele Entwickler basteln Platinen, die einen Z80 als CPU besitzen, um Software aus vergangenen Zeiten wieder aufleben zu lassen.

Da CP/M nun die Basis für den Betrieb des Z80-Playground darstellt, werden wir uns einigen grundlegenden Strukturen beziehungsweise Befehlen widmen, damit der Einstieg im Umgang mit dem Z80-Playground auch gelingt und der Spaßfaktor nicht zu kurz kommt. Natürlich wird das hier keine

umfassende und komplette Einführung in CP/M werden, doch es reicht dafür aus, erste Erfahrungen zu sammeln. Eine frei verfügbare Buchliste – ich erwähnte es schon – findet sich am Ende des Manuals.

7.1 Die Speicheraufteilung unter CP/M

Woraus setzt sich denn CP/M eigentlich zusammen? Nun, bei CP/M handelt es sich sowohl um ein spezielles Programm, als auch um eine Sammlung von Programmen, die den Umgang mit CP/M ermöglicht beziehungsweise erleichtert. Im Grunde genommen wird zwischen zwei Softwaregruppen unterschieden. Da ist zum einen die Systemsoftware, die über das CP/M mit internen Kommandos abgebildet wird und zum anderen die schon erwähnte Sammlung diverser (Dienst)-Programme, auch Tools genannt. Prominente Vertreter der Tools sind Programme wie *ED* oder *PIP*, auf die ich natürlich noch im Detail eingehe. Der Unterbau von CP/M ist in drei wesentliche Komponenten gegliedert.

- **BIOS**: *Basic Input Output System* - Basisfunktionen der Ein-/Ausgabe
- **BDOS**: *Basic Disk Operating System* - Grundlegende Diskettenverwaltung
- **CCP**: *Console Command Processor* - Eingabeaufforderung mit den wichtigsten CP/M-Kommandos

Des Weiteren gibt es noch die folgenden beiden Bereiche.

- **TPA**: *Transient Program Area* - Speicherbereich für Anwenderprogramme
- **System**: *Low-Storage* - System-Puffer und Parameter

Die für den Z80-Playground verwendete Version ist CP/M 2.2. Wie sind die genannten Bereiche aber beim Z80-Playground im Speicher angeordnet? Das zeigt die folgende Abbildung.

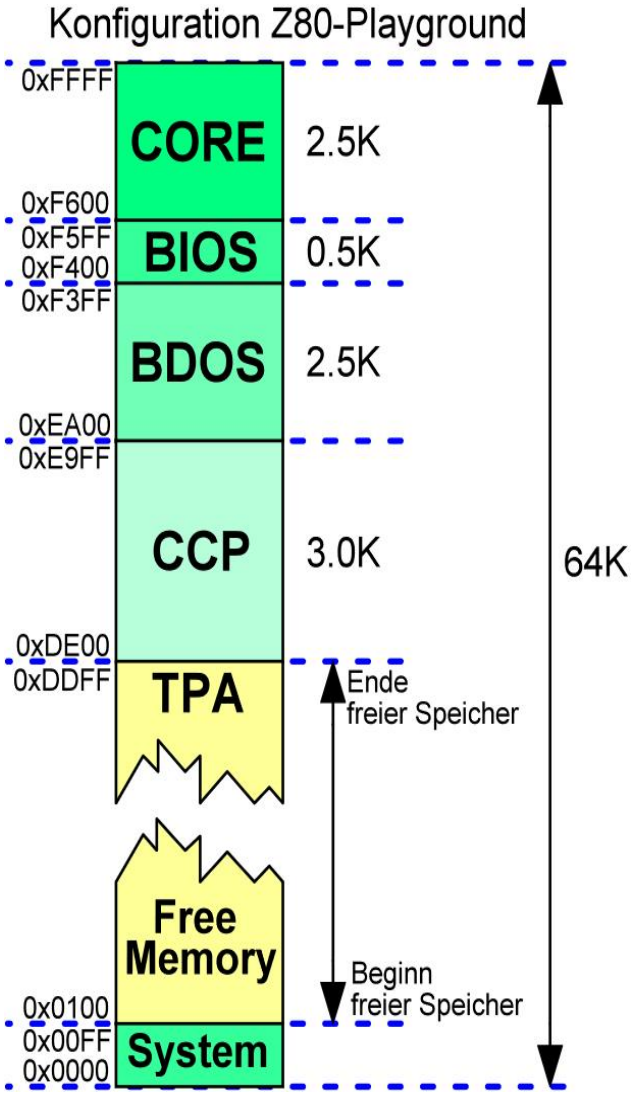


Abbildung 15 - Die Speicheraufteilung beim Z80-Playground

Ich fange einmal mit der Erklärung der einzelnen Bereiche von unten, also der niedrigsten Adresse an.

Bereich	Bedeutung
System	Die ersten 255 Bytes werden vom Betriebssystem als sogenanntes Scratchpad verwendet. Er verwaltet Puffer, Parameter und weitere flüchtige Daten. Dieser Bereich wird *Low Storage* genannt.
TPA	Die Adresse ab 0x0100 ist der Bereich, der für Anwendungsprogramme zur Verfügung steht. Hier kann der Benutzer seine Programme hineinladen und ausführen. Dieser Bereich wird *TPA* (Transient Program Area) genannt. Die Größe hängt um Umfang des zur Verfügung stehenden RAMs ab. Das Ausführen eines Programms von der Kommandozeile aus macht nichts weiter, als die gewünschte Datei in den Speicher beginnend bei Adresse 0x0100 zu laden und nach dem Laden die Ausführung des Codes bei 0x0100 zu starten. Was an Speicher noch übrigbleibt, wird vom CP/M in Anspruch genommen.
CCP	Der Kommandozeileninterpreter *CCP* (Console Command Processor) übernimmt das Ausführen von Anwendungen und Hilfsprogrammen (Tools) vom Datenträger beziehungsweise Laufwerk. Nach der Ausführung wird die Kontrolle zurück an den CCP gegeben.

BDOS	Das BDOS besitzt alle primitiven Funktionen, um mit Laufwerken, der Tastatur und dem Bildschirm umzugehen. Das BDOS und der CCP sind auf allen CP/M-Maschinen gleich und müssen in der Regel keiner Anpassung unterzogen werden. Es besteht natürlich eine Notwendigkeit, den Bereich zu *relozieren*, was eine Verschiebung im Speicher nach oben oder unten bedeutet, wenn sich die Größe des Gesamtspeichers ändert, wenn zum Beispiel der RAM-bereich erweitert wurde.
BIOS	Das BIOS befindet sich nahezu am oberen Ende des Speicherbereiches. Die Größe kann variieren, wenn zum Beispiel spezielle Hardware vorhanden ist, die verwaltet werden muss. Das BIOS ist eine Funktionsbibliothek, die das BDOS unterstützt. Alle hardwarespezifischen Details müssen von den verschiedenen BIOS-Funktionen erledigt werden. Das BDOS besitzt zum Beispiel eine Funktion, um einen Text auf der Konsole anzuzeigen.
CORE	Letztendlich gibt es noch den CORE-Bereich, der eine Reihe von Kernroutinen, für Leds, Disketten, etc. zur Verfügung stellt.

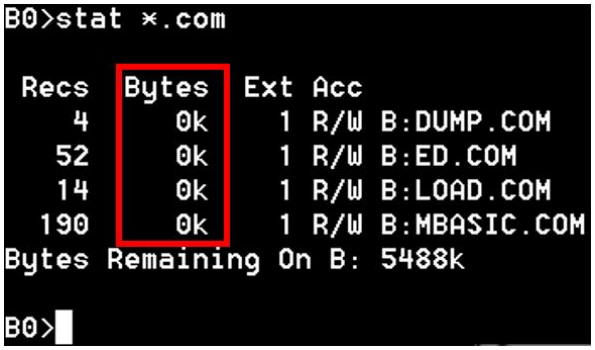
Nähere Informationen hinsichtlich der Speicheradressen sind unter der folgenden Internetadresse zu finden.

https://github.com/z80playground/cpm-fat/blob/main/locations.asm

Für den Nutzer des Z80-Playground ist diese Dreiteilung der genannten Komponenten quasi unsichtbar. Beim Systemstart von CP/M werden die drei Komponenten komplett in den Arbeitsspeicher geladen. Der verbleibende Speicher wird *TPA* - Transient Program Area - genannt und steht für nachzuladende Programme bereit, die als Programmdateien mit der Endung *COM* gespeichert werden. Das sind essentielle Dateien - auch *Transient Commands* genannt - wie zum Beispiel

- PIP.COM
- STAT.COM
- DDT.COM
- DUMP.COM
- LOAD.COM
- SUBMIT.COM
- usw.

Diese Programme werden üblicherweise als Dienstprogramme beziehungsweise Tools bezeichnet, um sie von den residenten Befehlen zu unterscheiden. Sie müssen den Dateityp .COM haben und sind so programmiert, dass sie ab der Speicherposition 256, als 0x0100 in den Speicher geladen werden. Ein interessantes Programm ist *STAT.COM*. Leider funktioniert es auf dem Z80-Playground nicht in der Weise, wie es sollte. Die Dateigröße in Bytes wird immer den Wert 0K anzeigen.



Es ist eine Folge der Art und Weise, wie CP/M auf BDOS-Ebene implementiert ist. STAT schaut sich einige Low-Level-Ebenen an, um darüber die einzelnen Dateigrößen zu ermitteln und diese Möglichkeit gibt es bei der CP/M-Implementierung des Z80-Playground nicht. Als Ersatz sollte das *SD*-Kommando verwendet werden, das Dateigrößen gerundet auf den nächsten 4k-Block zur Anzeige bringt. Ich denke, dass sich damit leben lässt.

```
B0>sd *.com
DUMP    .COM   4k : ED      .COM   8k : LOAD    .COM   4k : MBASIC  .COM  24k
B: Total of 40k in 4 files with 5488k space remaining.
B0>
```

7.2 Der eigentliche Boot-Prozess von CP/M

Es ist sicherlich zu Beginn etwas verwirrend, wenn man sich die Bereiche von ROM und RAM anschaut. Das Betriebssystem von CP/M befindet sich ja im ROM und doch ist es nach dem Starten von CP/M in einem Bereich zu finden, dass dem RAM zugeordnet ist. Wie kann das sein? Um einen CP/M-Computer zu starten, muss ein sogenannter *Bootup-Code* den eigentlichen CP/M-Code in den Speicher legen und die vorhandene Hardware muss initialisiert werden. Wird der Z80 mit Spannung versorgt, dann beginnt die CPU mit der Ausführung des Programmcode an der Speicherstelle 0x0000. An dieser Stelle ist auch beim Z80-Playground unter anderem die erste Adresse des ROMs zu finden. Eine gängige Methode ist, dass der Startup-Code, der sich ja im ROM befindet, das ebenfalls im ROM gespeicherte Betriebssystem an einer bestimmten Stelle in das RAM zu kopieren, um damit den Bootvorgang abzuschließen. In einem „richtigen“ CP/M-System lädt das ROM den CP/M-Bootsektor von der Festplatte und legt ihn zum Beispiel im Speicher des RAMs ab der Speicheradresse 0xDC00 ab und beginnt dann, den BIOS-Code auszuführen. Beim Z80-Playground ist diese Adresse jedoch 0xDE00, was zeigt, dass das sehr flexibel gehandhabt werden kann. Ab diesem Zeitpunkt übernimmt das Betriebssystem CP/M die Kontrolle, wobei der *Low-Storage-Bereich*, der in der Abbildung mit *System* gekennzeichnet ist, initialisiert wurde.

7.3 Das Starten von CP/M beim Z80-Playground

Wird der Z80-Playground mit der Versorgungsspannung verbunden und ist ein Terminal-Programm wie zum Beispiel *Terra Term* angeschlossen, dann ist nach kurzer Zeit ein unscheinbares Promptzeichen zu sehen, das die Bereitschaft zum Empfang eines Kommandos anzeigt. Die Übertragungsrate muss bei *Tera Term* dabei auf *460800* Baud gesetzt werden.

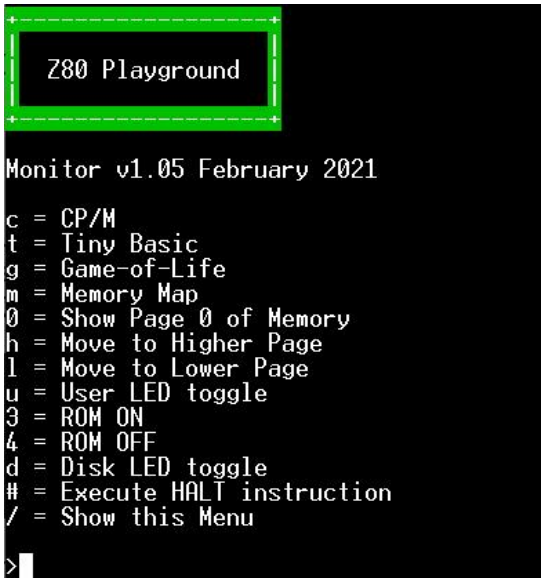


Abbildung 16 - Z80-Playground-Start

Um das Betriebssystem CP/M zu starten, muss die Taste *c* (für CP/M) gedrückt werden. Im Anschluss schaut die Anzeige im Terminalprogramm wie folgt aus. Es erscheinen zu Beginn ein paar grundlegende Informationen über die Größe des Systems - hier 64K - mit den möglichen Laufwerken von A bis P. Zudem werden Startadressen der Bereiche *CORE*, *BIOS*, *BDOS* uns *CCP* ausgegeben.

```
CP/M v2.2
Z80 Playground - 8bitStack.co.uk
Rel 1.08
Inspired by Digital Research

64K system with drives A thru P

CORE F600
BIOS F400
BDOS EA00
Z80CCP.BIN DE00

A0>
```

Das Prompt *A0* zeigt an, dass wir uns auf dem Laufwerk *A* befinden und die nachfolgende *0* zeigt den betreffenden User an. Da es bei CP/M noch keine Unterverzeichnisse gab, wurde dieses Manko über unterschiedliche User (0, 1, 2, usw.) realisiert. Später mehr dazu. Ich sprach darüber, dass in CP/M als Systemprogramm interne Kommandos verfügbar sind, die in der sogenannten *CCP* (Console Command Processor) implementiert sind. Es handelt sich dabei um den Kommandozeileninterpreter, der vergleichbar mit der Kommandozeile unter *DOS* ist. Die folgenden Kommandos sind intern, also fest eingebaut und beziehen sich auf Diskettenoperationen. Diese Befehle sind also nicht im Dateisystem zu finden, sondern sind im Betriebssystem integriert, was deren Ausführungsgeschwindigkeit aufgrund des nicht erforderlichen Zugriffes auf einen Datenträger beträchtlich erhöht.

Kommando	Funktion
DIR	Anzeige des aktiven Disketteninhaltes
ERA	Löschen einer Datei
REN	Umbenennen einer Datei
SAVE	Speichern einer Datei
TYPE	Anzeigen einer ASCII-Datei auf der Konsole

USER	Ändern der Anwendernummer

Das zu sehende Promptzeichen **A0>** zeigt sowohl den Laufwerksnamen *A*, als auch den User *0* an, wobei CP/M 16 verschiedene Laufwerke von *A:* bis *P:* und User von *0* bis *15* unterstützt. Nach dem Booten ist immer User 0 aktiv. Gehen wir also die essentiell wichtigen internen Befehle einmal durch. Die übrigen Befehle liegen als Programme auf der CP/M-Diskette vor und werden bei Bedarf und auf Anforderung nachgeladen und werden *Transiente Befehle* genannt. Für den Anwender ist es eigentlich nicht wichtig, zu welcher Kategorie ein Befehl oder ein Programm gehört.

7.4 Residente - interne - Befehle

Starten wir mit der Erläuterung der residenten - internen - Befehle.

7.4.1 Das DIR-Kommando

Über das *DIR*-Kommando wird eine Liste der auf dem Standardlaufwerk vorhandenen Dateien erzeugt, die vierspaltig ist. DIR ist die Abkürzung für *Directory*, was übersetzt „Verzeichnis“ bedeutet. Wird kein weiterer Parameter angegeben, enthält die Liste alle vorhandenen Dateien. Um eine Filterung nach bestimmten Mustern vorzunehmen, können die Zeichen * beziehungsweise ? als Platzhalter verwendet werden. Ein ? im Suchmuster ist stellvertretend für ein beliebiges Zeichen, ein * für beliebig viele beliebige Zeichen. Es ist dabei zu beachten, dass ein CP/M-Dateiname immer aus 8 Zeichen für den eigentlichen Namen und drei Zeichen für das Suffix besteht. Wird diese Konvention nicht erfüllt, werden Name und Suffix intern mit Leerzeichen aufgefüllt. Eine Datei mit dem Namen

xyz.txt

wird intern gespeichert als

xyz·····.txt

wobei die Punkte für Leerzeichen stehen. CP/M kennt keine Verzeichnisse, wie das von DOS vielleicht geläufig ist. Alle Dateien eines Verzeichnisses liegen demnach auf einer Ebene. Damit entfällt auch die Angabe von Pfadnamen. Soll eine Datei auf einem anderen als dem aktuellen Laufwerk angesprochen werden, so wird der Laufwerksbuchstabe gefolgt von einem Doppelpunkt vor den Dateinamen gestellt, also beispielsweise

B:dump.com

Ein Stern (*) steht also für eine komplette Zeichenfolge und das Fragezeichen (?) für ein einzelnes Zeichen. Hierzu einige Beispiele. Angenommen, es sind die folgenden Dateien auf Laufwerk ***A*:** vorhanden, was über das *DIR*-Kommando ohne weitere Parameter zur Anzeige gebracht wird.

```
A0>dir
CHK16550.COM : DELBR   .COM : PIP     .COM : SARGON  .COM
SD      .COM : STAT    .COM : TE      .COM : TECF    .COM
UNARC   .COM : UNCR    .COM : UNZIP   .COM : ZDE     .COM
ZDENST  .COM : DDT     .COM
A0>
```

Möchte ich jetzt zum Beispiel alle Dateien anzeigen, die mit dem Buchstaben *T* beginnen, ist das folgende Kommando mit den angezeigten Parametern abzusetzen.

```
A0>dir t*.*
TE      .COM : TECF    .COM
A0>
```

Ist es notwendig, dass alle Dateien, die mit einem *D* beginnen, *3* Zeichen lang sind und mit *COM* enden, dass ist das folgende Kommando abzusetzen. Zu Beginn habe ich noch einmal das DIR-Kommando ohne Parameter abgesetzt, damit auch klar ist, welche Datei dann letztendlich das Filterkriterium erfüllt.

```
A0>dir
CHK16550.COM : DELBR   .COM : PIP     .COM : SARGON  .COM
SD      .COM : STAT    .COM : TE      .COM : TECF    .COM
UNARC   .COM : UNCR    .COM : UNZIP   .COM : ZDE     .COM
ZDENST  .COM : DDT     .COM
A0>dir D??.com
DDT     .COM
A0>
```

Nähere Informationen zum DIR-Kommando sind unter der folgenden Internetadresse zu finden.

http://www.gaby.de/cpm/manuals/archive/cpm22htm/ch1.htm#Section_1.4.2

7.4.2 Das ERA-Kommando

Über das *ERA*-Kommando können vorhandene Dateien vom Datenträger entfernt, also gelöscht werden. ERA ist die Abkürzung für *Erase*, was übersetzt „Löschen“ bedeutet. Es können bei diesem Kommando die gleichen Filtereinstellungen, wie beim DIR-Kommando verwendet werden. Um alle Dateien in einem Laufwerk zu löschen, was jedoch gut überlegt sein sollte, muss das folgende Kommando abgesetzt werden.

```
A1>era *.*
All (Y/N)?>
```

Wie zu sehen ist, erfolgt bei dieser Löschaktion eine vorherige Sicherheitsabfrage, ob die Löschung aller Dateien auf A1 wirklich durchgeführt werden soll. Fall Ja, muss das mit *Y* (Ja) bestätigt werden. Andernfalls sollte schnell die Taste *N* (Nein) gedrückt werden, denn es gibt nach einer versehentlich durchgeführten Löschung kein Zurück mehr.

Nähere Informationen zum *ERA*-Kommando sind unter der folgenden Internetadresse zu finden.

http://www.gaby.de/cpm/manuals/archive/cpm22htm/ch1.htm#Section_1.4.1

7.4.3 Das REN-Kommando

Über das *REN*-Kommando können vorhandene Dateien umbenannt werden. REN ist die Abkürzung für *Rename*, was übersetzt „Umbenennung“ bedeutet. Die Umbenennung erfolgt dabei nach dem folgenden Schema:

```
REN <Neu>=<Alt>
```

Zuerst wird also der neue Name der Datei, dann der alte genannt und zwischen den beiden Namen steht ein Gleichheitszeichen. Wenn die Umbenennung auf dem gerade aktuellen Laufwerk erfolgen soll, bedarf es keiner Laufwerksbezeichnung vor die Dateinamen. Wenn der neue Name einer Datei schon existieren sollte, erfolgt ein entsprechender Warnhinweis. Im Folgenden wird die Datei *test.txt* in *namen.txt* umbenannt.

```
I0>dir
TEST    .TXT
I0>ren namen.txt=test.txt
I0>dir
NAMEN   .TXT
I0>
```

Nähere Informationen zum *REN*-Kommando sind unter der folgenden Internetadresse zu finden.

http://www.gaby.de/cpm/manuals/archive/cpm22htm/ch1.htm#Section_1.4.3

7.4.4 Das SAVE-Kommando

Das SAVE-Kommando speichert die angegebene Anzahl *n* von Seiten des transienten Programmbereichs auf der Festplatte unter dem angegebenen Dateinamen.

Nähere Informationen zum *SAVE*-Kommando sind unter der folgenden Internetadresse zu finden.

http://www.gaby.de/cpm/manuals/archive/cpm22htm/ch1.htm#Section_1.4.4

Das SAVE-Kommando wird hauptsächlich von Programmieren benutzt, die die sich intensiv mit der Assembler-Programmierung befassen.

7.4.5 Das TYPE-Kommando

Über das *TYPE*-Kommando kann der Inhalt einer Datei im ASCII-Format angezeigt werden.

```
P0>type cities.txt
Berlin
London
Tokio
Rom

P0>
```

Wenn man sich den Inhalt der Datei über das *DUMP*-Programm (das Programm wird später noch genauer erklärt) anschaut, dann sind die einzelnen Buchstaben mit ihren jeweiligen ASCII-Codes zu sehen.

```
P0>dump cities.txt
0000 : 42 65 72 6C 69 6E 0D 0A 4C 6F 6E 64 6F 6E 0D 0A : Berlin..London..
0010 : 54 6F 6B 69 6F 0D 0A 52 6F 6D 0D 0A 1A 1A 1A 1A : Tokio..Rom......
```

Nähere Informationen zum *TYPE*-Kommando sind unter der folgenden Internetadresse zu finden.

http://www.gaby.de/cpm/manuals/archive/cpm22htm/ch1.htm#Section_1.4.5

7.4.6 Das USER-Kommando

Da es unter CP/M 2.2 noch keine Unterverzeichnisse gibt, die zur Organisation der einzelnen Dateien sinnvoll wäre, stellt das *USER*-Kommando eine erste Form der Strukturierung dar. Über dieses Kommando wird es ermöglicht, ein Laufwerk in 16 Bereiche zu unterteilen, wobei sich die Bezeichnung der Bereiche von 0 bis 15 erstreckt. Eine derartige Aufteilung war seinerzeit recht nützlich, wenn sich mehrere Benutzer einen Computer teilen und die jeweiligen Benutzerdateien nicht

durcheinanderkommen sollten. Um in einen anderen Bereich zu wechseln, wird das USER-Kommando, gefolgt von der entsprechenden Nummer eingegeben. Das Prompt ändert dann die angehängte Ziffer, die zu Beginn immer den Bereich 0 repräsentiert. Im nachfolgenden Beispiel wurde der Inhalt von A0: über das DIR-Kommando aufgelistet, dann auf A1: gewechselt und erneut der Inhalt angezeigt.

```
A0>dir
CHK16550.COM : DELBR    .COM : PIP      .COM : SARGON   .COM
SD       .COM : STAT    .COM : TE       .COM : TECF     .COM
UNARC    .COM : UNCR    .COM : UNZIP    .COM : ZDE      .COM
ZDENST   .COM : DDT     .COM
A0>user 1
A1>dir
No Files
A1>
```

Nach jedem Kaltstart von CP/M startet das Betriebssystem im Benutzerbereich Null (0).

7.5 Transiente Befehle

Kommen wir nun zu den Transienten Befehlen. Natürlich kann ich an dieser Stelle nicht alle Programme, die jemals für CP/M programmiert wurden, auflisten und dennoch gibt es einige Standard-Programme, die eigentlich immer Teil des CP/M-Systems sind.

7.5.1 PIP - Dateien kopieren

Wenn es um das Kopieren von Dateien geht, dann ist das Programm *PIP* (Peripheral Interchange Program) gefordert. PIP kann auch Daten zu oder von einem der seriellen Geräte kopieren. Es kann sowohl im Einzelbefehlsmodus, als auch im interaktiven Modus arbeiten. Wenn PIP ohne weitere Parameter aufgerufen wird, geht das Programm in den interaktiven Modus über und zeigt ein Sternchen als Eingabeaufforderung an. Der interaktive Modus kann wieder verlassen, indem an der Eingabeaufforderung ohne Parameter die Eingabetaste gedrückt wird. In beiden Modi sind die Parameter von PIP jedoch gleich. Die grundlegende Syntax für eine PIP-Übertragungsanforderung lautet

```
destination=source[options]
```

Das Ziel (Destination) und die Quelle (Source) können dabei logische Geräte oder Dateinamen sein. Hier einige Beispiele für PIP-Kommandos.

Kommando	Bedeutung
PIP B:STAT.BAK=B:STAT.COM	Kopiert die Datei *STAT.COM* auf dem von Laufwerk B: in eine neue Datei namens *STAT.BAK* auf demselben Laufwerk B:
PIP B:=A:DUMP.COM	Kopiert die Datei *DUMP.COM* von Laufwerk A: in die Datei *DUMP.COM* auf Laufwerk B:
PIP C.TXT=A.TXT,B.TXT	Fügt die Dateien A.TXT und B.TXT zusammen und speichert sie unter C.TXT ab

Nähere Informationen zu PIP sind unter der folgenden Internetadresse zu finden.

http://www.gaby.de/cpm/manuals/archive/cpm22htm/ch1.htm#Section_1.6.4

7.5.2 STAT - Statistics

Das Problem mit dem STAT-Kommando wurde schon angesprochen. Abhilfe bietet das SD-Kommando des Z80-Playground.

Nähere Informationen zu STAT sind unter der folgenden Internetadresse zu finden.

http://www.gaby.de/cpm/manuals/archive/cpm22htm/ch1.htm#Section_1.6.1

7.5.3 ED - Ein grauenvoller Editor

Es handelt sich um den standardmäßig unter CP/M vorhandenen und einfach grausamen und - bringen wir es auf den Punkt - unbrauchbaren Texteditor, der diesen Namen im Grunde genommen nicht verdient. Deswegen gehe ich nicht auf ihn ein und übernehme auch keine Haftung, für etwaige psychischen Folgen, die bei der Nutzung auftreten können!

Nähere Informationen zu ED sind unter der folgenden Internetadresse zu finden.

http://www.gaby.de/cpm/manuals/archive/cpm22htm/ch1.htm#Section_1.6.5

7.5.4 DUMP - Programminhalte anzeigen

Das Programm DUMP gibt den Inhalt der Datenträgerdatei in hexadezimaler Form auf der Konsole aus. Der Dateiinhalt wird in Form von sechzehn Bytes auf einmal aufgelistet, wobei die absolute Byte-Adresse links von jeder Zeile in hexadezimaler Form aufgeführt wird. Im weiteren Verlauf dieses Manuals wird auf DUMP ausführlich eingegangen.

Nähere Informationen zu DUMP sind unter der folgenden Internetadresse zu finden.

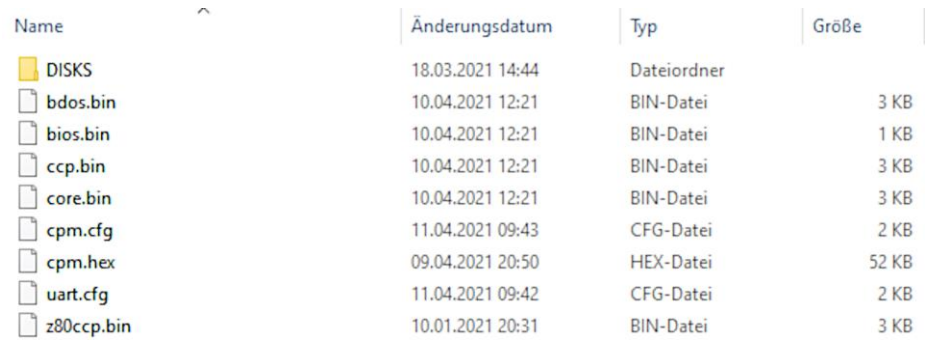
http://www.gaby.de/cpm/manuals/archive/cpm22htm/ch1.htm#Section_1.6.8

7.6 Regelmäßige Z80-Playground Updates

Von Zeit zu Zeit erscheinen regelmäßige Updates für den Z80-Playground, die unter der folgenden Internetadresse zu finden sind.

https://github.com/z80playground/cpm-fat/

Auf dem USB-Stick befinden sich im CPM-Ordner die folgenden Dateien.



Name	Änderungsdatum	Typ	Größe
DISKS	18.03.2021 14:44	Dateiordner	
bdos.bin	10.04.2021 12:21	BIN-Datei	3 KB
bios.bin	10.04.2021 12:21	BIN-Datei	1 KB
ccp.bin	10.04.2021 12:21	BIN-Datei	3 KB
core.bin	10.04.2021 12:21	BIN-Datei	3 KB
cpm.cfg	11.04.2021 09:43	CFG-Datei	2 KB
cpm.hex	09.04.2021 20:50	HEX-Datei	52 KB
uart.cfg	11.04.2021 09:42	CFG-Datei	2 KB
z80ccp.bin	10.01.2021 20:31	BIN-Datei	3 KB

Diese müssen dann bei einem vorhandenen Update ggf. ersetzt werden.

8 Z80-Maschinensprache

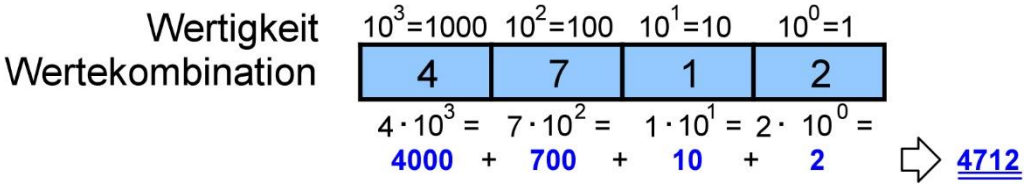
Nun geht es wirklich an's Eingemachte, denn wir beginnen mit der Programmierung von Z80-*Maschinensprache*. Nun, ganz so einfach ist das nicht und doch möchte ich einen geeigneten Einstieg vorstellen. Eigentlich stimmt die Überschrift nicht so ganz, denn wir programmieren nicht in Maschinensprache. Also was denn nun?! Was ist überhaupt Maschinensprache und wie schaut sie aus? Eine Maschinensprache, die genau genommen eigentlich keine Programmiersprache. Es handelt sich um einen Maschinencode, die ein Prozessor direkt ausführen kann. Wenn das so ist, dann muss es sich ja lediglich um Einsen und Nullen handeln, die eine Maschinensprache ausmacht. Ja und Nein! Wenn zum Beispiel die folgende Bitfolge vorliegt, dann handelt es sich beim Z80 schon um ein kleines Programm. Wir werden gleich im Detail sehen, was dieser Code so bewirkt.

```
00111110 00000100

00111100

11001001
```

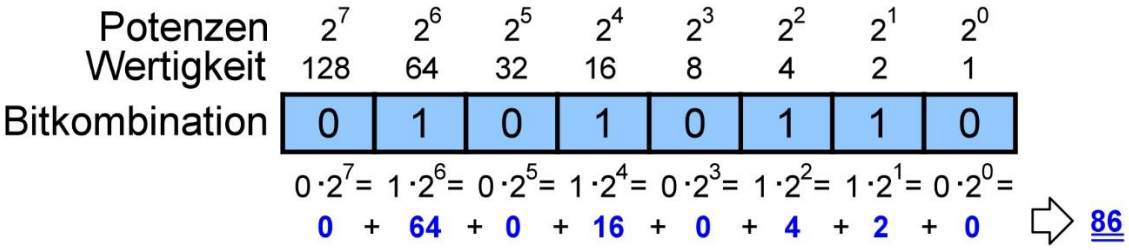
Nun ist es aber recht mühsam, wenn man sich als Programmierer mit diesen Einsen und Nullen herumschlagen muss, denn irgendwie ist das genauso aussagekräftig, wie ägyptische Hieroglyphen. Jedenfalls für einen Nicht-Sprachwissenschaftler.

8.1 Einführung in verschiedene Zahlensysteme

Unser bekanntes Dezimalsystem ist wie folgt aufgebaut, wobei jede einzelne Stelle die uns bekannten Wertigkeiten - von rechts nach links - Einer, Zehner, Hunderter, Tausender, usw. besitzt. Es arbeitet also in einem Stellenwertsystem zur Basis 10.



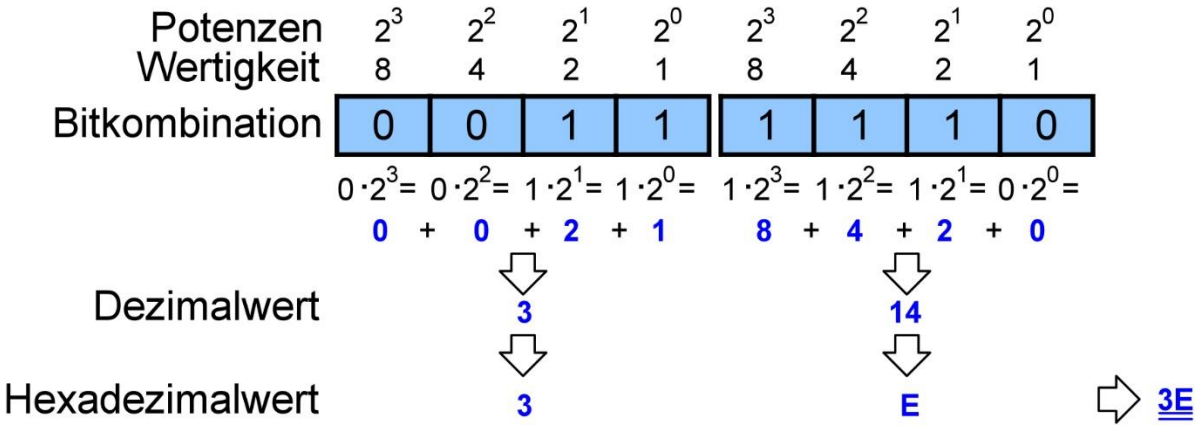
Das Ergebnis ist für uns Normalsterbliche natürlich sofort ablesbar, da wird dieses Zahlensystem in Form des Dezimalsystems täglich im Gebrauch haben. Eine Zahl hingegen, die lediglich aus den genannten Einsen und Nullen besteht, wird *Binärzahl* genannt. Hier schauen die Stellenwertigkeiten ein wenig anders aus und arbeitet in einem Stellenwertsystem zur Basis 2.



Um diese Bytefolgen, die ja aus vier 8-Bit-Gruppen besteht, etwas übersichtlicher zu gestalten, hat man die hexadezimalen Zahlen ins Leben gerufen. Diese beziehen sich immer auf 4-Bits - auch *Nibble* genannt. Im Hexadezimalsystem werden die einzelnen Zahlen in einem Stellenwertsystem zur Basis 16 abgebildet. Es gibt also statt 10 Ziffern (0 bis 9) des Dezimalsystems im Hexadezimalsystem 16 unterschiedliche Ziffern. Nun, das stimmt wiederum nicht ganz, denn es handelt sich dabei nicht nur um Ziffern, die ja auf 10 unterschiedliche Werte begrenzt sind. Es fehlen also noch 6 weitere und man hat sich dabei den Buchstaben *A* bis *F* bedient. In der folgenden Tabelle sind die dezimalen Werte den Hexadezimalen und Binärzahlen gegenübergestellt.

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

Hinsichtlich der ersten Bitkombination schaut das dann wie folgt aus.



Um nun die eben gezeigten Bitfolgen in Gänze in hexadezimale Werte (kurz: HEX-Werte) zu wandeln, gestaltet sich das Ergebnis wie folgt.

3	E	0	4
0011	1110	0000	0100

3	C
0011	1100

C	9
1100	1001

Der Maschinencode würde dementsprechend wie folgt lauten.

```
3E 04 3C C9
```

Ok, das ist schon ein wenig besser zu lesen, obwohl es immer noch einiges an Vorstellungskraft abverlangt. Auf diese Weise zu Programmieren ist sicherlich keine Freude, denn er handelt sich ja eigentlich um Befehle für die Z80-CPU, die sich dahinter verbergen. Gibt es keinen einfacheren Weg, der den Code irgendwie sprechender gestaltet? Den gibt es! Eine kleine Stufe über der Maschinensprache ist die sogenannte *Assemblersprache* angesiedelt. Die Assemblersprache - kurz auch *Assembler* genannt -, ist eine Programmiersprache, die auf den bestimmten Befehlsvorrat einer bestimmten CPU ausgerichtet ist. Hier natürlich die Z80-CPU. Diese Sprache bedeutet auf jeden Fall einen Fortschritt im Gegensatz zur Maschinensprache. Assembler ist leichter zu lesen und zu verstehen. Sehen wir uns doch einmal die ersten beiden Hexadezimalzahlen genauer an, denn sie gehören zusammen.

```
3E 04
```

Sie sagen der Z80-CPU, dass der Wert 04 in eine interne Speicherstelle geladen werden soll. Der Z80 besitzt einige unterschiedliche interne Speicherstellen, wobei eine spezielle Speicherstelle eine ganz besondere Stellung einnimmt. Es handelt sich um den sogenannten *Akkumulator* mit der Abkürzung *A*. In diesem Register, so werden die internen Speicherstellen auch genannt, werden alle Rechenoperationen durchgeführt. In Prosa ausgedrückt, würde die Anweisung wie folgt lauten.

„Lade den Wert 4 in den Akkumulator!“

Kommen wir noch einmal zum Maschinencode zurück, denn da haben die HEX-Werte die folgenden Bedeutungen. Der erste HEX-Wert *3E* ist der sogenannte OP-Code (Abkürzung für Operation-Code), der über die angegebene Zahl einen Maschinenbefehl repräsentiert, wobei die Summe aller OP-Codes den Befehlssatz des entsprechenden Prozessors bilden.

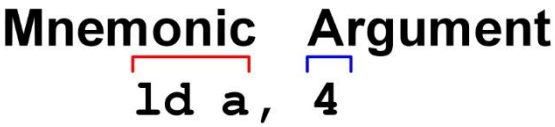
OP-Code	Befehl
3E	ld a

Der nachfolgende Wert *04* stellt das Argument für diesen Befehl dar. In Assembler lautet das dann wie folgt.

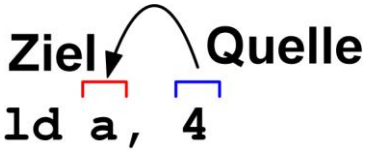
```
ld a, 4
```

Die beiden Buchstaben *ld* sind die Abkürzung für das englische Wort *Load*, was übersetzt „laden“ bedeutet. In Assembler wird jede Anweisung an den Computer durch ein sogenanntes mnemonisches

Symbol dargestellt, was ich gerade etwas lapidar *Befehl* genannt habe. Diese *Mnemonics* sind sehr kurze Wörter, die so ähnlich klingen, wie di zu repräsentierende Anweisung. Sollten wir uns diese Befehlszeile ein wenig genauer anschauen. Da befindet sich auf der linken Seite das Mnemonic und auf der rechten Seite das Argument.



Nun ist es in beim Assembler für den Z80 immer so, dass sich Ziel auf der linken und die Quelle auf der rechten Seite befindet. Das schaut dann wie folgt aus.



Die nächste Anweisung lautet binär

```
00111100
```

In der hexadezimalen Schreibweise wäre das der Maschinencode *3C*. Ok, keinen Schimmer, was das nun wieder zu bedeuten hat! Einen Blick in die Liste der OP-Codes für den Z80 zeigt, dass dieser Wert für *inc a* steht. Es handelt sich natürlich wieder um einen Mnemonic, wobei die Abkürzung *inc* für *Increment* steht, was übersetzt „Erhöhung“ bedeutet. Der Inhalt des Akkumulators soll also um den Wert 1 erhöht werden. Im Assembler wird das wie folgt geschrieben.

```
inc a
```

Die letzte Anweisung lautet binär

```
11001001
```

Das wird in HEX mit *C9* kodiert. Ein Blick in die Liste der OP-Codes zeigt, dass dies *ret* bedeutet und die Abkürzung für *return* ist. Return bedeutet übersetzt „zurück“. Im Assembler wird das wie folgt geschrieben.

```
ret
```

Eine Liste aller OP-Codes ist unter der folgenden Internetadresse zu finden.

http://map.grauw.nl/resources/z80instr.php

Ich zeige an dieser Stelle das Ergebnis noch einmal in einer Tabelle, damit es in Gänze übersichtlich erscheint.

Binärkombination(en)	HEX-Wert	Mnemonic
00111110 00000100	3E 04	ld a, 4
00111100	3C	inc a
11001001	C9	ret

Somit wäre das kleine Programm fertig. Doch wir haben das Pferd von hinten aufgezäumt und das hatte natürlich seinen Sinn. Ich wollte den Weg von den Einsen und Nullen über die HEX-Zahlen hin zu den Mnemonics des Assemblers aufzeigen. Ein Programmierer beschreitet genau den anderen Weg. Er

programmiert in Assembler mithilfe der Mnemonics und als Endergebnis fällt quasi hinten der Maschinencode raus. Genau diesen Weg werden wir jetzt gehen.

8.2 Die Programmierung über den Assembler

Die Programmierung in Assembler kann über zwei unterschiedliche Ansätze erfolgen, die ich beide vorstellen möchte. Zum einen - und damit werde ich beginnen - kann die Programmierung mit Bordmitteln, wie man das so schön sagt, erfolgen, also mit Programmen und Tools, die direkt für CP/M entwickelt wurden. Zum anderen gibt es noch die Möglichkeit, auf einem PC die Entwicklung zu starten und dann von dort aus mithilfe eines sogenannten *Cross-Assemblers* das Maschinenprogramm zu generieren. Bei einem Cross-Assembler handelt es sich um ist eine Spezialform eines Assemblers, der auf einer speziellen Computerplattform - also zum Beispiel auf einem PC - läuft und den Maschinencode für eine andere Computerplattform - dem Z80-Playground - generiert. Auch diesen Ansatz werde ich verfolgen. Zuerst sollten wir jedoch einen Blick auf die internen Speicherstellen des Z80 werfen, die ja bekanntermaßen Register genannt werden.

8.2.1 Die Z80-Register

Auf der folgenden Abbildung sind die Z80-Register zu sehen. Es handelt sich um interne Speicherstellen, die sehr schnell zu adressieren sind.

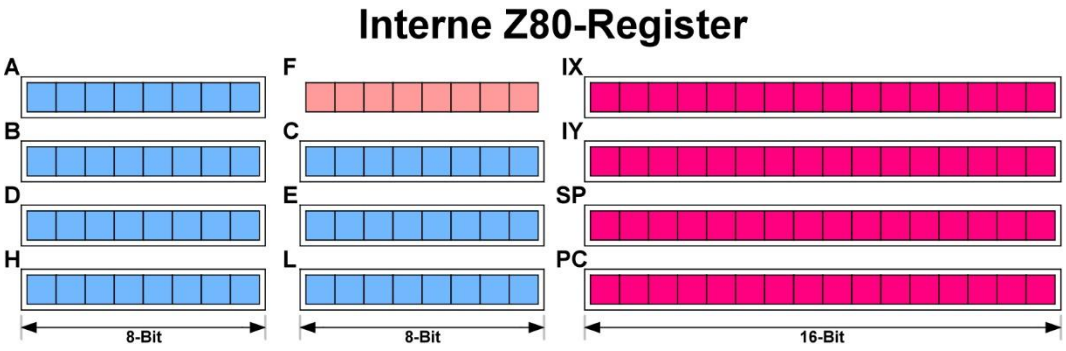


Abbildung 17 - Die Z80-Register

Diese Register haben unterschiedliche Datenbreiten, die 8- und 16-Bit breit sein können. Ein besonderes Register ist das *A*-Register, was für den *Akkumulator* steht, in dem alle Rechenoperationen durchgeführt werden und eine Breite von 8 Bits einnimmt. Das *PC*-Register, das die Abkürzung für *Program-Counter* ist, zeigt immer auf den nächsten Befehl, den die CPU abzuarbeiten hat und besitzt eine Datenbreite von 16-Bits. Die Register können zum Teil paarweise zu sogenannten Doppelregistern zusammengefasst werden.

- AF (A und F)
- BC (B und C)
- DE (D und E)
- HL (H und L)

Dann gibt es noch die sogenannten Flags - hier mit *F* abgekürzt - in dem die Ergebnisse von verschiedenen Rechenoperationen in Form von Status-Bits abgebildet sind. Wir kommen natürlich noch im Detail darauf zu sprechen.

8.2.2 Der externe Speicher – ROM und RAM

Natürlich können nicht nur in den internen Registern des Z80 Daten gespeichert werden, es gibt ja auch noch den externen Speicher in Form der ROM und des RAM. Aber Vorsicht, denn nur das RAM kann Daten speichern. Das ROM besitzt bekannter Weise auch Daten, die jedoch nicht über den Z80 aktualisiert werden können.

8.3 Die Z80-Bordmittel verwenden

Bevor wir jedoch über den Assembler mithilfe der Mnemonics ein Programm erstellen, sind noch einige Details zu erwähnen. Das ursprüngliche CP/M war für den Prozessor 8080 entwickelt worden. Da wir es nun jedoch mit einem Z80 zu tun haben, schaut die Sache - trotz der Abwärtskompatibilität vom Z80 zum 8080 - etwas anders aus. Der ursprüngliche Assembler *asm* für den 8080, besitzt andere Mnemonics als der Z80, was dazu führt, dass dieser Assembler für unsere Belange nicht genutzt werden kann, es sei denn, es werden die für den 8080 erforderlichen Mnemonics verwendet. Das möchte ich jedoch nicht, denn es geht hier um den Z80! Die Mnemonics für den Z80 wurden im Hinblick auf den 8080 vereinfacht. Es besteht jedoch keine Änderung der Technik des der Z80 zum 8080, denn nur die „Befehle“ wurden vereinfacht! Diese generieren jedoch hinsichtlich der Funktionalität den gleichen Maschinencode wie die 8080-Assembler-Mnemonics mithilfe der „alten“ Befehle. Kein Grund zur Sorge also. Es ist lediglich notwendig, einen anderen Assembler zur Programmierung zu verwenden. Alle erforderlichen Programme sind unter der folgenden Internetadresse zu finden. Notfalls auch auf meiner Internetseite.

https://github.com/MiguelVis/zsm

Doch bevor es losgeht, sollte ich einige Details besprechen. Ein ausführbares Programm unter dem Betriebssystem CP/M besitzt laut Konvention die Dateiendung *.COM*. Na, hat sich da das Betriebssystem *DOS* etwas abgeschaut?! Ein Schelm, wer Böses denkt! Es besteht also die Aufgabe, mithilfe eines Assemblers eine ausführbare Datei zu generieren, die die Dateiendung .COM besitzt. Das geht jedoch nicht, denn ein Assembler generiert immer nur eine sogenannte *Intel-HEX-Datei* mit der Dateiendung *.HEX*. Diese Datei ist quasi ein Zwischenprodukt auf dem Weg zur eigentlichen COM-Datei, die ja von uns beabsichtigt ist und die letztendlich einfach ausgeführt werden kann, was man von der Intel-HEX-Datei nicht behaupten kann. Das Intel HEX-Format wird zur Speicherung und Übertragung von binären Daten verwendet und wird auch heute noch dazu verwendet, um Programmierdaten für Mikrocontroller bzw. Mikroprozessoren zu speichern. Um nun eine Datei im Intel-HEX-Format in eine COM-Datei zu wandeln, wird ein kleines Tool - also Hilfsprogramm - benötigt, das für den 8080 *load* heißt. Doch sehen wir uns das in einem Arbeitsablauf - dem sogenannten *Workflow* - genauer an, der von links nach rechts abgearbeitet wird. Ganz links ist der Text-Editor *te* zu sehen, mit dessen Hilfe der Quellcode in Form einer einfachen Textdatei eingegeben wird. Ich würde auf keinen Fall den von CP/M standardmäßig vorhandenen Editor *ed* nutzen, denn er ist ein Graus und nur etwas für Programmierer, die mit körperlichen Schmerzen umzugehen wissen. Die erstellte Text-Datei muss die Endung *.asm* vorweisen, denn nur eine derartige Datei wird vom Assembler *asm* erkannt und beim Aufruf von asm darf die Dateierweiterung nicht mit angegeben werden. Das Ergebnis des Assembleraufrufes sind zwei Dateien, die die Endungen *.hex* und *.prn* besitzen. Die Datei .hex beinhaltet den schon erwähnten HEX-Code, der im nächsten Schritt mithilfe des Programms *load* dazu verwendet wird, eine ausführbare COM-Datei im Binärformat zu generieren. Die Datei mit der Endung .prn besitzt das ursprüngliche Quellprogramm, jedoch ergänzt um zusätzliche Assembler-Informationen in den äußersten 16 Spalten, die zum Beispiel die Programmadressen und den hexadezimalen Maschinencode enthalten. Diese Datei kann als Backup für die originale Quelldatei dienen. Wenn die Quelldatei versehentlich entfernt oder zerstört wird, kann die PRN-Datei durch Entfernen der äußersten linken 16 Zeichen jeder Zeile bearbeitet werden.

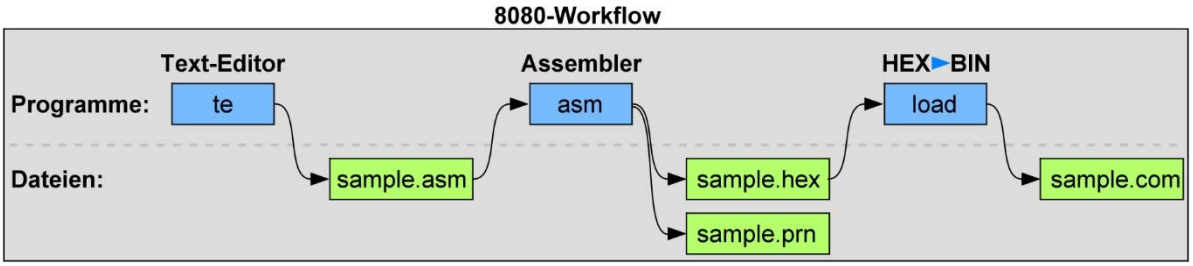


Abbildung 18 - Der Assembler-Workflow für den 8080

Der Assembler *asm* verarbeitet alle mnemonischen 8080-Befehle. Doch Stopp! Wir wollen ja nicht für den 8080 sondern für den Z80 programmieren. Zu diesem Zweck müssen ein paar zusätzliche Programme installiert beziehungsweise einfach auf das entsprechende Laufwerk kopiert werden, die unter der gerade genannten Internetadresse zu finden sind. Es handelt sich dabei um die Programme

- ZSM.COM
- HEXTOCOM.COM
- DUMP.COM

Der Workflow schaut dabei ähnlich aus und verwendet anstatt *asm* das Programm *zsm* und anstatt *load* das Programm *hextocom*, wobei der Workflow ganz ähnlich ausschaut.

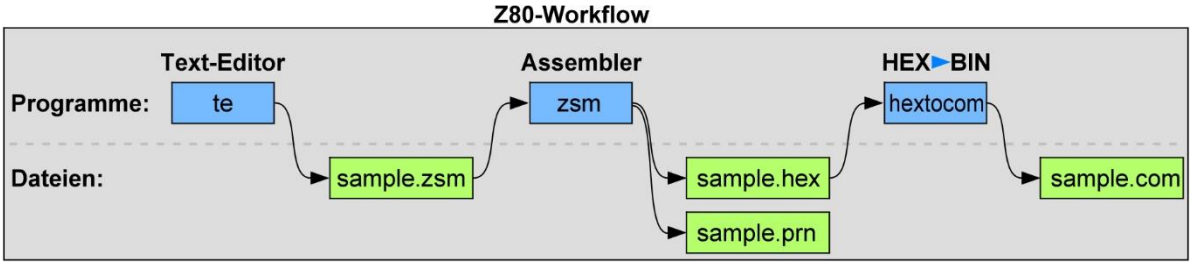


Abbildung 19 - Der Assembler-Workflow für den Z80

Ich denke, dass wir eine derartige Workflow-Session einmal komplett durchspielen sollten.

8.3.1 Die Quellcode-Eingabe über den Text-Editor TE

Ich möchte meine Z80-Programme auf dem Laufwerk P: speichern und verwalten und wechsle über die Eingabe *P:* in dieses Laufwerk. Der Text-Editor *te* befindet jedoch auf Laufwerk *A:*, was jedoch kein Problem darstellt, da CP/M zuerst immer auf Laufwerk *A:* nachschaut, ob sich das aufgerufene Programm dort befindet. Nach der Eingabe von *te* öffnet sich also der Text-Editor.

Abbildung 20 - Der Text-Editor TE

Es wird die momentan einzige vorhandene Zeilennummer 1 mit dem Cursor angezeigt. Nun kann der Quellcode eingegeben werden, doch ich muss zuvor noch ein paar Dinge erklären. Unter den vermeintlich modernen Betriebssystemen gibt es natürlich die Pfeiltasten, die es einem ermöglicht, den Cursor *rauf/runter* beziehungsweise *links/rechts* zu positionieren. Die ersten CP/M-Rechner besaßen jedoch keine derartigen Tasten, sodass es mit dem Navigieren hier nun etwas anders ausschaut. Es wurden dazu die Tasten E und X beziehungsweise S und D genutzt, deren Positionen beziehungsweise Anordnung quasi dem Navigationskreuz der Pfeiltasten entspricht. Zusätzlich muss natürlich die Steuerungstaste *Strg* gedrückt werden, um die Eingabe von der normalen Texteingabe zu unterscheiden.

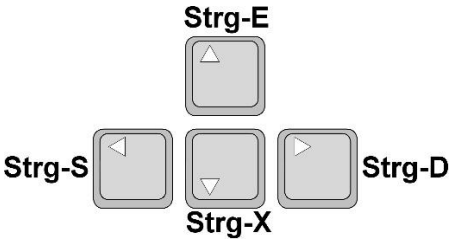


Abbildung 21 - Die Navigation im Text-Editor TE

Für das Löschen eines Zeichens - je nachdem, wo sich der Cursor gerade befindet - können sowohl die *Entfernen*- als auch die *Backspace*-Taste genutzt werden. Um eine Datei zu speichern muss das Menü über die *ESC*-Taste aufgerufen und später *Save* gewählt werden. Die gezeigten Großbuchstaben zeigen das jeweilige Tastenkürzel an. Dort sind auch andere wichtige Optionen zu finden.

Abbildung 22 - Die Optionen des Text-Editors TE

Alle wichtigen Menü-Befehle sind unter der Option *Help* zu finden. Bevor es nun wirklich losgehen kann, ist es wichtig zu wissen, wie die Struktur von Assemblerprogrammen respektive einer einzelnen Zeile denn so ausschaut. Eine Unterscheidung zwischen Groß- beziehungsweise Kleinschreibung findet hier übrigens nicht statt. Es ist also nicht *Case-Sensitiv*, wie man Neu-Deutsch so sagt. In Assembler werden die einzelnen Befehle also durch Textzeilen formuliert, wobei jeder Befehl einer einzigen Zeile entspricht. Eine derartige Zeile besitzt die folgende Struktur.

```
[<Label>[:]]<Space/Tab><Befehl>[[<Space/Tab><Argument1>],<Argument2>]
```

Da es wichtig ist, an welcher Stelle im Speicher sich das Programm später befinden soll, ist eine zusätzliche Angabe erforderlich. Sie wird über die eine sogenannte Assembler-Direktive - auch Pseudo-Anweisung genannt - angegeben, die sich *org* nennt. Wir nutzen dazu den freien Speicher ab 0100h. Doch nun zum eigentlichen Programm, dass ich in den Text-Editor eingegeben und unter dem Namen *sample.zsm* abgespeichert habe. Da bei diesem Programm noch keine Labels - also Sprungmarken - zur Anwendung kommen, habe ich jede einzelne Zeile mit einem Tabulator nach rechts eingerückt. Wenn das nicht gemacht wird, liefert der Assembler *zsm* Fehler.

```
    org 100h
    ld a, 4
    inc a
    ret
```

Um zu sehen, wie es auf dem Laufwerk *P:* nun ausschaut, habe ich das Kommando *dir* abgesetzt.

```
P0>dir
ZSM     .COM : HEXTOCOM.COM : DUMP    .COM : TE      .BKP
SAMPLE  .ZSM
P0>
```

Die Datei *sample.zsm* ist also vorhanden.

8.3.2 Der Aufruf des Assemblers

Um nun diese Quelldatei zu assemblieren, wird das Programm *zsm* mit dem Namen der Datei ohne den Zusatz *.zsm* aufgerufen, was dann das folgende Ergebnis liefert.

```
P0>zsm sample
Zilog/Mostek Z80 Assembler Version 3.4 (Z80 CPU)

Pass 1
Pass 2

Errors    0

Finished


P0>
```

Der Assembler hat die Quelldatei also ohne einen Fehler (Errors 0) übersetzt. Dann wollen wir einmal sehen, wie es jetzt auf dem Laufwerk *P:* ausschaut.

```
P0>dir
ZSM     .COM : HEXTOCOM.COM : DUMP    .COM : TE      .BKP
SAMPLE  .ZSM : SAMPLE  .HEX : SAMPLE  .PRN
P0>
```

Es ist zu sehen, dass zwei neue Dateien erstellt wurden, die *sample.hex* und *sample.prn* lauten. Die für uns im Moment wichtige Datei ist die mit der Endung *.hex*, denn diese wird benötigt, um eine ausführbare COM-Datei zu generieren.

8.3.3 Eine COM-Datei generieren

Das erfolgt mit dem Aufruf des Programms *hextocom* mit dem Namen der Datei ohne den Zusatz *.hex*. Das schaut dann wie folgt aus.

```
P0>hextocom sample
HexToCom v1.05 / 10 Jan 2016

(c) 2007-2016 FloppySoftware

First address: 0100
Last address:  0103
Size of code:  0004 (4 dec) bytes

P0>
```

Es ist zu sehen, dass das Programm *sample.com* nach der Ausführung ab der Speicherstelle 0100h im Speicher liegt, wobei das letzte Byte die Adresse 0103h belegt und das Programm in Summe eine Länge von 4 Bytes besitzt. Ein erneuter Blick auf das Laufwerk *P:* zeigt, dass nun eine Datei mit dem Namen *sample.com* generiert wurde.

```
P0>dir
ZSM      .COM : HEXTOCOM.COM : DUMP    .COM : TE      .BKP
SAMPLE   .ZSM : SAMPLE  .HEX : SAMPLE  .PRN : SAMPLE  .COM
P0>
```

8.3.4 Ein Blick in die COM-Datei - DUMP

Kann man denn nun überhaupt einen Blick in die generierte binäre und ausführbare Datei mit der Endung *.COM* werfen? Das ist möglich, denn für diese Zwecke gibt es das Programm *dump*. Nähere Informationen zu *ddt* sind unter der folgenden Internetadresse zu finden.

http://www.gaby.de/cpm/manuals/archive/cpm22htm/ch1.htm#Section_1.6.8

Dieses Programm zeigt den Inhalt einer Datei mit ihren binären Werten in Form von einzelnen Byte-Blöcken sowohl als HEX- als auch als ASCII-Werte an. Dann wollen wir einen Blick in die Datei *sample.com* werfen, in dem *dump* gefolgt vom entsprechenden Dateinamen aufgerufen wird.

```
P0>dump sample.com
0000 : 3E 04 3C C9 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A : >.<.............
0010 : 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A : ................
0020 : 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A : ................
0030 : 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A : ................
0040 : 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A : ................
0050 : 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A : ................
0060 : 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A : ................
0070 : 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A : ................

P0>
```

Die ersten vier Bytes zeigen genau die zuvor generierten Bytes in Form von HEX-Zahlen, die dem Maschinencode unseres Programms entsprechen. Jede, der hier gezeigten Zeilen besitzt 16 Bytes und eine führende Nummerierung, die ebenfalls eine HEX-Zahl ist und auf der rechten Seite befindet sich

der Bereich, wo die einzelnen Bytes in Form von ASCII-Zeichen angezeigt werden. Die führende Nummerierung repräsentiert jedoch nicht die eigentlichen Speicherstellen, an denen sich das Programm befindet, das ja ab der Speicherstelle 100h abgelegt werden soll. Befindet sich das Programm *sample.com* denn überhaupt schon in diesem Bereich ab 100h? Das Programm *dump* zeigt nur den Inhalt einer Datei an und nicht die Inhalte von Speicherstellen im ROM beziehungsweise RAM. Ist das auch möglich? Natürlich!

8.3.5 Speicherbereiche anzeigen

Hinsichtlich des Programms *ddt*, was als Standard unter CP/M gilt, gibt es beim Z80-Playground ein entscheidendes Problem, das bisher noch nicht gelöst wurde. Das Programm an sich funktioniert offensichtlich ohne weitere Probleme, doch wenn es darum geht, es zu beenden, was im Normalfall über *Ctrl-C* oder *g0* + <RETURN> erfolgt, funktioniert dies nicht und es ist nur ein Reset des gesamten Systems erforderlich. Wer im Moment damit leben kann und es ist in meinen Augen eine sehr kurze Zeitverzögerung, bevor man weiterarbeiten kann, der kann dies durchaus tuen. Es gibt jedoch eine Alternative, die ich ebenfalls ansprechen werde, was durch das Programm mit Namen *zsid* ermöglicht wird.

8.3.5.1 Das Programm DDT

Beginnen wir mit dem Programm *ddt*, was die Abkürzung für *Dynamic Debugging Tool* ist. Nähere Informationen zu *ddt* sind unter den folgenden Internetadressen zu finden.

- http://www.cpm.z80.de/randyfiles/DRI/DDT.pdf
- http://www.gaby.de/cpm/manuals/archive/cpm22htm/ch4.htm

Dann wollen wir einen Blick in die Datei *sample.com* werfen, in dem *ddt* gefolgt vom entsprechenden Dateinamen aufgerufen wird. Nach dem Strich, was das Bereitschaftszeichen von *ddt* ist, muss dann *d* eingegeben, um einen Dump zu erzeugen.

```
P0>ddt sample.com
DDT VERS 1.4
NEXT  PC
0180 0100
-d
0100 3E 04 3C C9 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A >.<..............
0110 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A ................
0120 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A ................
0130 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A ................
0140 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A ................
0150 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A ................
0160 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A ................
0170 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A ................
0180 1A 84 12 13 C3 69 01 D1 2E 00 E9 2A 7C 1D EB 0E .....i.....*|....
0190 1A CD 67 1B C9 3E 0C D3 01 3E 08 D3 01 DB 01 07 ..g..>...>......
01A0 07 07 1F DA A9 08 C3 9D 08 DB 03 E6 7F C9 21 83 ..............!.
01B0 1D 70 2B 71 2A 82 1D 44 4D CD A1 07 0E 3A CD 86 .p+q*..DM....:..
-
```

Der Inhalt sieht ähnlich dem aus, der mit *dump* erzielt wurde und doch beinhalten die Informationen weitere Details. Ganz zu Beginn werden zwei wichtige Hinweise gegeben.

- *NEXT*: Gibt die Adresse an, die als nächste belegt würde - hier 0180h

- *PC*: Steht für *Programm-Counter* und ist der Programmzähler, der zeigt, an welcher Speicherstelle das Programm sich nach der Ausführung im Speicher befindet

Es ist über *ddt* auch möglich, sich den Inhalt in Form der Assembler-Mnemonics anzuschauen. Es muss dazu nur der Befehl *l* (kleines L) abgesetzt werden Hier wird jedoch der Code so angezeigt, als wäre er für den 8080 geschrieben worden. *MVI A* entspricht *LD A* und *INR A* entspricht *INC A*.

```
-l
  0100  MVI  A,04
  0102  INR  A
  0103  RET
  0104  LDAX D
  0105  LDAX D
  0106  LDAX D
  0107  LDAX D
  0108  LDAX D
  0109  LDAX D
  010A  LDAX D
  010B  LDAX D
-
```

Das interessante an *ddt* ist, dass das geladene Programm schrittweise beziehungsweise zeilenweise abgearbeitet werden kann und die Möglichkeit besteht, verschiedene Parameter wie *PC* (Program-Counter) und *A* (Akkumulator) zu inspizieren. Bei beiden handelt es sich um interne Register in im Z80 und es gibt noch einige andere mehr, auf die ich noch zu sprechen komme, die im Moment jedoch nicht von Bedeutung sind. Vorab zeige ich hier schon einmal eine verkürzte Liste mit einigen Tastenkürzeln, um *ddt* zu bedienen.

Kommando	Bedeutung
`D - Dump`	Zeigt den Speicher in Hexadezimal und ASCII an
`L - List`	Listet Speicher mit Assembler-Mnemonics auf
`R - Run`	Startet ein Programm schrittweise zum anschließenden Testen
`T - Trace`	Verfolgt die Programmausführung mit der Anzeige der Registerinhalte

8.3.6 Schrittweise Ausführung eines Programms - DDT

Im nächsten Schritt wollen wir das geschriebene Programm etwas erweitern, damit der Inhalt des Akkumulators erhöht und erniedrigt wird. Dann lassen wir uns den Inhalt anzeigen. Bevor das jedoch geschieht, sollten wir einen Blick auf den sogenannten *PC* (Program-Counter) werfen, denn das ist ein essentieller Zähler innerhalb einer CPU. Der Z80 muss quasi im Auge behalten, an welcher Stelle im Speicher er den Code denn gerade ausführt und was als nächstes auszuführen ist. Er speichert diese Adresse in dem 16-Bit breiten PC-Register, wobei es diese Breite besitzen muss, um den ebenfalls 16-Bit breiten Adressbus komplett adressieren zu können. Der *PC* zeigt immer auf die Adresse, die als nächstes auszuführen ist. Das schauen wir uns am besten am schon erwähnten und erweiterten Quellcode an, der wie folgt ausschaut.

```
    org 100h
    ld a, 4
    inc a
    inc a
    dec a
    ret
```

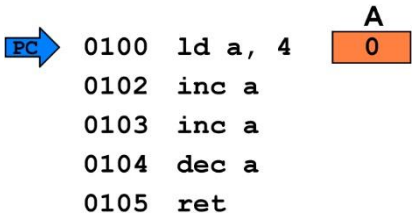
Es ist zu sehen, dass 2x ein *inc a* erfolgt und dann 1x ein *dec a*, was für *Decrement* steht und Erniedrigung um den Wert 1 bedeutet. Der Inhalt des Akkumulators wird also schrittweise die Werte 4, 5, 6 und letztendlich 5 durchlaufen. Das hört sich sehr trivial an, was es ja auch ist, doch das

Zusammenspiel von A und PC sollte genauer untersucht werden. Dabei hilft uns natürlich wieder das Programm *ddt*. Zuerst muss also der gezeigte Quellcode nach gezeigter Abfolge eingegeben, assembliert und in eine COM-Datei überführt werden, was ich hier nicht erneut zeigen werden. Im Anschluss erfolgt der Aufruf von *ddt*, wobei ich die neue Datei *sample2.zsm* genannt habe. Um die Mnemonics anzuzeigen, wurde in *ddt* wieder *l* eingegeben, was zur folgenden Ausgabe führte.

```
P0>ddt sample2.com
DDT VERS 1.4
NEXT  PC
0180 0100
-l
  0100  MVI  A,04
  0102  INR  A
  0103  INR  A
  0104  DCR  A
  0105  RET
  0106  LDAX D
  0107  LDAX D
  0108  LDAX D
  0109  LDAX D
  010A  LDAX D
  010B  LDAX D
-
```

Natürlich werden hier wieder die 8080-Mnemonics zur Anzeige gebracht, was jedoch nicht weiter stören soll, denn es geht primär um den Maschinencode und dessen Ausführung, der ja - wie schon erwähnt - bei 8080 und Z80 identisch ist. Nun wollen wir das Programm schrittweise ausführen, um dann die Register A und PC zu inspizieren. Bei der nachfolgen Erläuterung verwende ich jedoch wieder die Z80-Mnemonics, um die Verwirrung nicht allzu groß werden zu lassen. Wie wir sehen, zeigt der PC zu Beginn auf die Speicherstelle 0100h, wobei diese Ausführung jedoch noch nicht stattgefunden hat. Der Inhalt des Akkumulators ist noch 0 oder besitzt einen anderen Wert, der uns jedoch nicht weiter zu interessieren hat.

Schritt 1: Ausgangssituation



Um den Zustand mithilfe von *ddt* nun abzufragen, muss *t* für *trace* eingegeben werden. Es ist zu sehen, dass *A=00* und *P(PC)=0100* sind. Rechts vom PC ist das Mnemonic *MVI A, 04* für den 8080 zu sehen, das im nächsten Schritt zur Ausführung kommt.

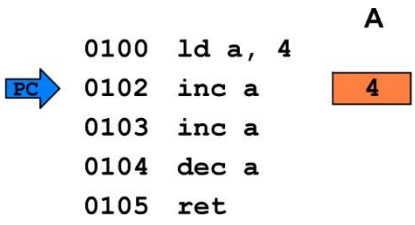
```
-t
C0Z0M0E0I0 A=00 B=0000 D=0000 H=0000 S=0100 P=0100 MVI  A,04*0102
-
```

Schritt 2: Ausführung 1. Befehl ld a, 4

Um den 1. Befehl jetzt zur Ausführung zu bringen, wird mit *r* für *run* diese Zeile abgearbeitet und der PC auf die nächste Zeile positioniert. Im Anschluss können mit *t* wieder die Registerinhalte angezeigt werden. Doch eigentlich kann die Eingabe von *r* entfallen und nur mit *t* die Programmschritte abgearbeitet werden. Einfach mal ausprobieren!

```
-r
NEXT  PC
0180 0102
-t
C0Z0M0E0I0 A=04 B=0000 D=0000 H=0000 S=0100 P=0102 INR  A*0103
-
```

Es ist zu sehen, dass der Akkumulator jetzt den Wert *04* besitzt und der PC auf die nächste Zeile *0102h* positioniert wurde. Es ist dabei zu beachten, dass der PC nicht immer um den Wert 1 erhöht wird, denn bei *ld a, 04* handelt es sich um einen 2-Byte-Befehl. Auf der folgenden Abbildung ist das noch einmal übersichtlicher dargestellt.

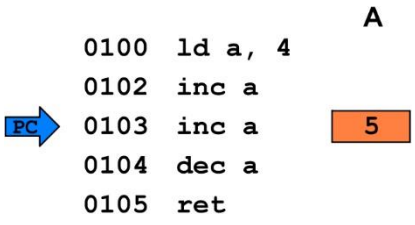


Schritt 3: Ausführung 2. Befehl inc a

Um den 2. Befehl zur Ausführung zu bringen, wird wiederum mit *r* diese Zeile abgearbeitet und der PC auf die nächste Zeile positioniert. Im Anschluss können mit *t* wieder die Registerinhalte angezeigt werden.

```
-r
NEXT  PC
0180 0103
-t
C0Z0M0E0I0 A=05 B=0000 D=0000 H=0000 S=0100 P=0103 INR  A*0104
-
```

Es ist zu sehen, dass der Akkumulator jetzt den Wert *05* besitzt, da er über *inc a* um den Wert 1 erhöht wurde und der PC auf die nächste Zeile *0103h* positioniert wurde. Auf der folgenden Abbildung ist das erneut übersichtlicher dargestellt.

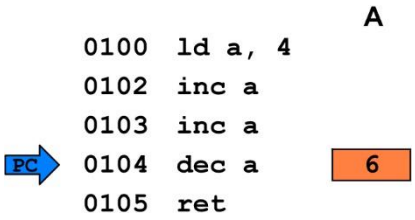


Schritt 4: Ausführung 3. Befehl inc a

Um den 3. Befehl zur Ausführung zu bringen, wird wiederum mit *r* diese Zeile abgearbeitet und der PC auf die nächste Zeile positioniert. Im Anschluss können mit *t* wieder die Registerinhalte angezeigt werden.

```
-r
NEXT  PC
0180 0104
-t
C0Z0M0E0I0 A=06 B=0000 D=0000 H=0000 S=0100 P=0104 DCR  A*0105
-
```

Es ist zu sehen, dass der Akkumulator jetzt den Wert *06* besitzt, da er über *inc a* wieder um den Wert 1 erhöht wurde und der PC auf die nächste Zeile *0104h* positioniert wurde. Auf der folgenden Abbildung ist das erneut übersichtlicher dargestellt.

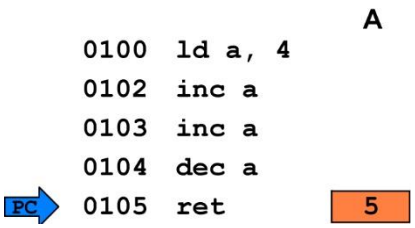


Schritt 5: Ausführung 4. Befehl dec a

Um den 4. Befehl zur Ausführung zu bringen, wird wiederum mit *r* diese Zeile abgearbeitet und der PC auf die nächste Zeile positioniert. Im Anschluss können mit *t* wieder die Registerinhalte angezeigt werden.

```
-r
NEXT  PC
0180 0105
-t
C0Z0M0E0I0 A=05 B=0000 D=0000 H=0000 S=0100 P=0105 RET  *043E
-
```

Es ist zu sehen, dass der Akkumulator jetzt den Wert *05* besitzt, da er diesmal über *dec a* um den Wert 1 erniedrigt wurde und der PC auf die nächste Zeile *0105h* positioniert wurde. Auf der folgenden Abbildung ist das erneut übersichtlicher dargestellt.



Schritt 6: Ausführung 5. Befehl ret

Über den nächsten Befehl *ret* würde die Kontrolle zurück an den Aufrufer gegeben und das Programm wäre abgearbeitet. Das hier vorgestellte Programm ist natürlich sehr einfach, doch es bietet sicherlich einen guten Einstieg in die Handhabung von Programmen, um aus einer Quelldatei eine COM-Datei über einen Assembler zu erstellen.

8.3.6.1 Das Programm ZSID

Kommen wir nun zur versprochenen Alternative, die sich *zsid* nennt. Das Programm und das Manual sind unter den folgenden Internetadressen zu bekommen.

- http://www.cpm.z80.de/binary.html
- http://www.cpm.z80.de/manuals/zsid-m.pdf
- http://ucw.datatraveler.co.uk/manuals/zsid-m.pdf

Nachdem ich das Programm zsid mach dem Download auf mein Laufwerk P: kopiert habe, erfolgt der Aufruf der schon zu Beginn genannten Datei *sample.com*.

```
P0>zsid sample.com
ZSID VERS 1.4
NEXT  PC  END
0180 0100 C7FF
#l
  0100  LD   A,04
  0102  INC  A
  0103  RET
  0104  LD   A,(DE)
  0105  LD   A,(DE)
  0106  LD   A,(DE)
  0107  LD   A,(DE)
```

Und sieh da, es sind die Mnemonics zu sehen, die diesmal dem Z80 entsprechen. Fantastisch! Auch hier können mit der Taste *t* für Trace die einzelnen Programmschritte angesprungen werden. Es gut zu sehen, wie sich der Inhalt des Akkumulators schrittweise ändert.

```
#t
 ----- A=00 B=0000 D=0000 H=0000 S=0100 P=0100
 ----- A'00 B'0000 D'0000 H'0000 X=0000 Y=0000 LD   A,04
×0102
#t
 ----- A=04 B=0000 D=0000 H=0000 S=0100 P=0102
 ----- A'00 B'0000 D'0000 H'0000 X=0000 Y=0000 INC  A
×0103
#t
 ----- A=05 B=0000 D=0000 H=0000 S=0100 P=0103
 ----- A'00 B'0000 D'0000 H'0000 X=0000 Y=0000 RET
×043E
#t
 ----- A=05 B=0000 D=0000 H=0000 S=0102 P=043E
 ----- A'00 B'0000 D'0000 H'0000 X=0000 Y=0000 LD   A,ED
×0440
#g0

P0>
```

Abschließend kann mit der Eingabe von *g0* das Programm *zsid* verlassen werden. Perfekt!

8.4 Den Z80-Cross-Assembler verwenden

Kommen wir nun zur angekündigten zweiten Variante, mit Assembler zu programmieren. Es handelt sich um den schon erwähnten Cross-Assembler. Ich stelle hier den *Pasmo* vor, der unter der folgenden Internetadresse zu finden ist.

http://pasmo.speccy.org/

Der Vorteil dieser Vorgehensweise besteht in der viel einfacheren Handhabung des Quellcodes über aktuelle Betriebssysteme wie zum Beispiel Windows. Wenn es um Texteditoren geht, die sehr gut mit Quellcodes umgehen können und zudem das *Syntax-Highlighting* beherrschen, dann ist *Notepad++* sicherlich eine sehr gute Wahl! Unter Syntax-Highlighting wird die Fähigkeit eines Texteditors verstanden, bestimmte Wörter abhängig von ihrer Bedeutung in unterschiedlichen Farben darzustellen. Notepad++ ist unter der folgenden Internetadresse zu finden.

https://notepad-plus-plus.org/

Im Folgenden stelle ich die erforderlichen Schritte vor, eine Entwicklungsumgebung für Z80 auf einem Windows-Rechner einzurichten. Sowohl Pasmo, als auch Notepad++ sollten jetzt heruntergeladen beziehungsweise installiert worden sein. Ich verwende Pasmo in der Version 0.5.3, wobei nach dem Entpacken der Zip-Datei drei Dateien zur Verfügung stehen, die nicht installiert werden müssen.

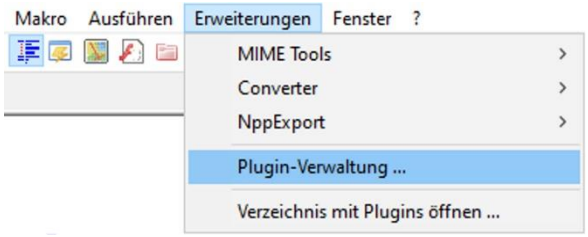
Der Ordner von Pasmo sollte an einer bestimmten Stelle - am besten nicht im Download-Ordner - im Dateisystem verschoben werden. Ich habe den Ordner einfach auf meine *D*-Partition verschoben und ihn einfach *Pasmo* genannt. Der Aufruf von Pasmo gestaltet sich recht einfach, obwohl es Unmengen an weiteren Parametern gibt, mit denen Pasmo während des Aufrufs quasi konfiguriert werden kann.

```
pasmo.exe <Quelldatei.asm> <Zieldatei.com>
```

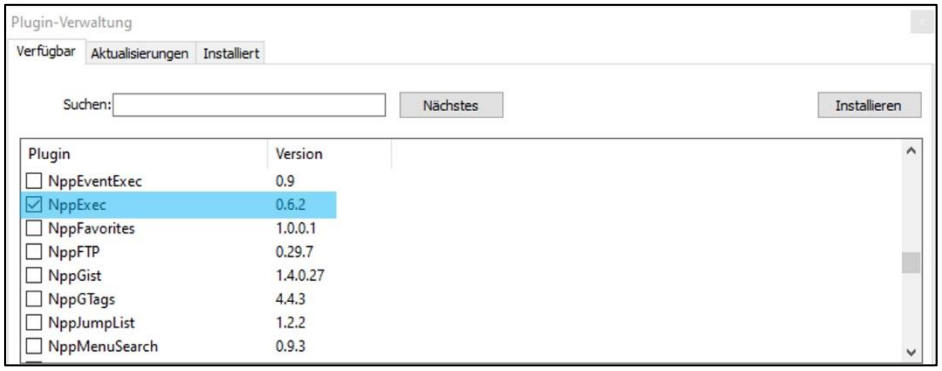
Nähere Informationen zu den diversen Parametern sind in der umfangreichen Dokumentation zu finden, die auf der genannten Internetseite einzusehen ist.

http://pasmo.speccy.org/pasmodoc.html

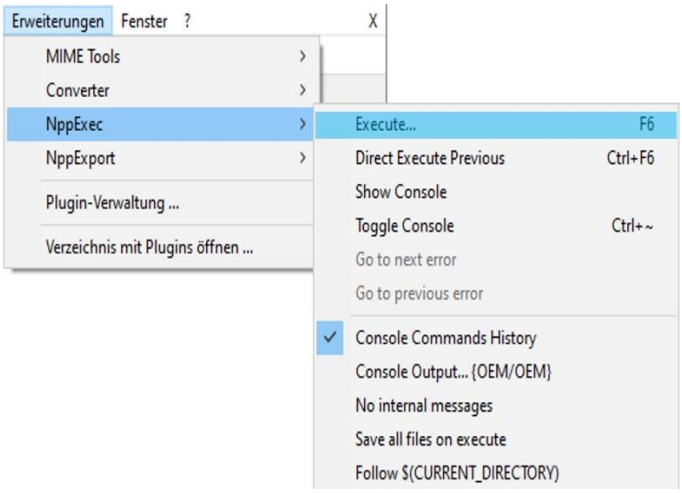
Nun geht es daran, Notepad++ so zu konfigurieren, dass aus dem Editor heraus ein bestimmter Quellcode kompiliert beziehungsweise assembliert werden kann. Dazu ist eine Erweiterung - auch *Plugin* genannt - erforderlich, die die ganze Sache sehr vereinfacht. Über den Menüpunkt *Erweiterungen* muss dafür die *Plugin-Verwaltung* aufgerufen werden.



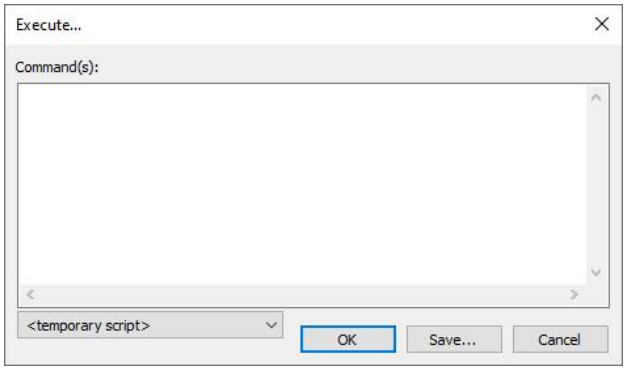
Im nächsten Schritt muss das Plugin mit dem Namen *NppExec* ausgewählt und über die Schaltfläche *Installieren* installiert werden.



Wird im Anschluss erneut der Menüpunkt *Erweiterungen* aufgerufen, ist dort unter anderem der Punkt *NppExec* zu sehen, der vorher aufgrund des fehlenden Plugins nicht dort war.



Entscheidend ist nun das Untermenü *Execute* auf der rechten Seite, was jetzt ausgewählt werden muss, wonach sich ein kleines Dialog-Fenster öffnet, das wie folgt ausschaut.



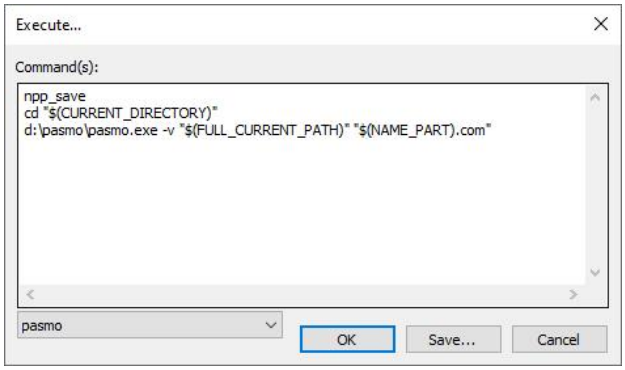
In diesen kleinen Editor müssen nun die entsprechenden Befehle eingetragen werden, um die Quelldatei mithilfe des Cross-Assemblers Pasmo in eine COM-Datei zu assemblieren. Woher sollte Notepad++ auch ohne diese Informationen wissen, wie das zu machen ist. Dazu sind einige Befehle erforderlich, die wie folgt ausschauen.

```
npp_save
cd "$(CURRENT_DIRECTORY)"
d:\pasmo\pasmo.exe -v "$(FULL_CURRENT_PATH)" "$(NAME_PART).com"
```

Was bedeuten die einzelnen Zeilen und was bewirken sie? Die folgende Tabelle gibt Aufschluss.

Kommando	Bedeutung
`npp_save`	Speichern der aktuellen Datei
`cd "$(CURRENT_DIRECTORY)"`	In das aktuelle Verzeichnis wechseln
`d:\pasmo\pasmo.exe -v "$(FULL_CURRENT_PATH)" "$(NAME_PART).com"`	Pasmo mit den erforderlichen Parametern aufrufen. Der Schalter -v (verbose=ausführlich) gibt Aufschluss über den ablaufenden Prozess und liefert eine Ausgabe in der Notepad-Konsole

Eingetragen in das Dialog-Fenster schaut das nun wie folgt aus, wobei ich das Skript unter dem Namen *pasmo* mithilfe der Schaltfläche *Save* gespeichert habe.



In *Notepad++* habe ich nun den schon bekannten und sehr einfachen Quellcode hereingeladen, unter *prg001.asm* abgespeichert, der sich dann wie folgt gestaltet.

```
prg001.asm
1 org #0100
2 ld a, 4
3 inc a
4 ret
```

Wenn nun über die Funktionstaste *F6* das Menü *Execute* des zuvor installierten Plugins aufgerufen wird und abschließend die Schaltfläche *OK* angeklickt wird, startet der Pasmo-Prozess. In Notepad++ wird ein Konsolen-Fenster unterhalb des Quellcodes angezeigt, der die Ausgaben von Pasmo aufgrund des Schalters *-v* anzeigt.

```
Console
NPP_SAVE: C:\Users\Schmullus\Desktop\Assemblerprogramme\prg001.asm
CD: C:\Users\Schmullus\Desktop\Assemblerprogramme
Current directory: C:\Users\Schmullus\Desktop\Assemblerprogramme
d:\pasmo\pasmo.exe -v "C:\Users\Schmullus\Desktop\Assemblerprogramme\prg001.asm" "prg001.com"
Process started (PID=7612) >>>
Loading file: C:\Users\Schmullus\Desktop\Assemblerprogramme\prg001.asm in 0
Finished loading file: C:\Users\Schmullus\Desktop\Assemblerprogramme\prg001.asm in 4
Entering pass 1
Pass 1 finished
Entering pass 2
Pass 2 finished
<<< Process finished (PID=7612). (Exit code 0)
================ READY ================
```

Nun werfe ich einen Blick in mein Verzeichnis, in dem ich die Quelldatei abgespeichert habe.

Name	Änderungsdatum	Typ
prg001.asm	12.04.2021 12:43	ASM-Datei
prg001.com	12.04.2021 12:45	MS-DOS-Anwendung

Es ist zu sehen, dass sich dort nun eine COM-Datei befindet, die das Ergebnis des Pasmo-Cross-Compilers ist. Es steht dort zwar als Typ MS-DOS-Anwendung, ist aber in Wahrheit eine Z80-COM-Datei. Nun kann diese ausführbare Datei auf den USB-Stick des Z80-Playgrounds kopiert und ausgeführt werden. Auf diese Art und Weise kann eine Entwicklung eines Z80-Maschinenprogramms etwas komfortabler erfolgen. Aber das muss jeder wieder für sich selbst entscheiden, ob er sich nun für den traditionellen und eigentlichen Weg der Z80-Programmierung entscheidet oder den etwas moderner und nicht ganz so authentischen Weg beschreitet. Beide sind in meinen Augen einen Blick wert!

8.5 Tiefergehende Programmierung

Nachfolgend möchte ich ein paar Z80-Programm zeigen, die etwas mehr Hintergrundwissen voraussetzen. Natürlich ist das hier kein Z80-Maschinensprachekurs, denn das würde den Rahmen etwas sprengen. Aber vielleicht ist es dennoch interessant für einen Einsteiger und macht Lust auf mehr. Wenn es zum Beispiel darum geht, ein einzelnes Zeichen oder eine ganze Zeichenkette auf der Konsole anzuzeigen, dann stellt das *BDOS* einige nützliche Funktionen zur Verfügung, die über Funktionsnummern aufzurufen sind. Alle BDOS-Funktionen werden durch einen sogenannten *CALL*-Befehl an der Speicherstelle 0005H aufgerufen. Um dem BDOS mitzuteilen, was es tun soll, muss dafür gesorgt werden, dass die internen Register des Z80 die erforderlichen Informationen enthalten, bevor die CALL-Anweisung ausgeführt wird. Die erwähnte Funktionsnummer des spezifischen Funktionsaufrufs, der aufgerufen werden soll, muss sich im *C-Register* befinden. Wenn zum Beispiel ein Ein-Byte-Wert an das BDOS übergeben muss, wie zum Beispiel ein einzelnes Zeichen, das an die Konsole gesendet werden soll - das werden wir gleich machen -, dann muss sichergestellt werden, dass sich dieser Wert im *E-Register* befindet. Wenn der Wert, der an das BDOS übergeben werden muss, ein 16-Bit-Wert ist, wie zum Beispiel die Adresse eines Puffers oder eines Dateisteuerblocks, dann muss dieser Wert im Registerpaar *DE* (Doppelregister) stehen. Das kommt dann beim Anzeigen einer Zeichenkette zum Tragen, was wir ebenfalls gleich sehen werden. Wenn BDOS einen 8-Bit-Wert zurückgibt, zum Beispiel ein Tastaturzeichen oder einen Rückgabecode, der den Erfolg oder Misserfolg der angeforderten Funktion anzeigt, wird dieser im *A-Register* zurückgegeben. Wenn das BDOS einen 16-Bit-Wert zurückgibt, steht dieser im Registerpaar *HL*. Unter der folgenden Internetadresse sind die BDOS-Funktionen aufgelistet.

https://www.seasip.info/Cpm/bdosfunc.html

Es ist natürlich wichtig zu erwähnen, dass das BDOS gibt keine Garantie über den Inhalt der anderen Register gibt. Die zuvor genannten Register werden bei einem BDOS-Aufruf gnadenlos überschrieben und wenn sich ein Wert in einem bestimmten Register befindet, der erhalten bleiben soll, so muss er vor dem Aufruf einer BDOS-Funktion in irgendeiner Art und Weise gesichert werden, indem er entweder im Speicher abgelegt oder auf den sogenannten *Stack* geschoben wird. Der Stack, was übersetzt *Stapel* bedeutet, ist eine der wichtigsten Grundstrukturen in der Informatik. Er funktioniert nach dem Prinzip, dass man bildlich gesprochen mehrere Elemente aufeinanderstapelt und immer nur auf das oberste Element dieses Stapels zugreifen kann um es dann zu lesen und/oder zu entfernen. Das Verhalten eines Stapels wird im Englischen auch mit den vier Buchstaben *LIFO* abgekürzt, was übersetzt *Last-In-First-Out* bedeutet. Was also zuletzt auf den Stapel gepackt wurde, wird zuerst wieder von ihm entnommen.

8.5.1 Ein Zeichen auf der Konsole ausgeben

Um ein einziges Zeichen auf der Konsole - sprich im Terminal-Fenster - anzuzeigen, sind in Assembler so einige Dinge zu beachten. Das *BDOS* stellt - ich erwähnte es gerade - einige Funktionen zur Verfügung, die die Handhabung mit dem Betriebssystem CP/M sehr vereinfachen. Die nachfolgende Liste zeigt einige Funktionen, wobei die diejenigen, die gleich genutzt werden, schon markiert sind.

```
0000 =  B$SYSRESET  EQU  0  ;System Reset
0001 =  B$CONIN     EQU  1  ;Read Console Byte
0002 =  B$CONOUT    EQU  2  ;Write Console Byte
0003 =  B$READIN    EQU  3  ;Read "Reader" Byte
0004 =  B$OUNOUT    EQU  4  ;Write "Punch" Byte
0005 =  B$LISTOUT   EQU  5  ;Write Printer Byte
0006 =  B$DIRCONIO  EQU  6  ;Direct Console I/O
0007 =  B$GETIO     EQU  7  ;Get IOByte
0008 =  B$SETIO     EQU  8  ;Set IOByte
0009 =  B$PRINTS    EQU  9  ;Print Console String
```

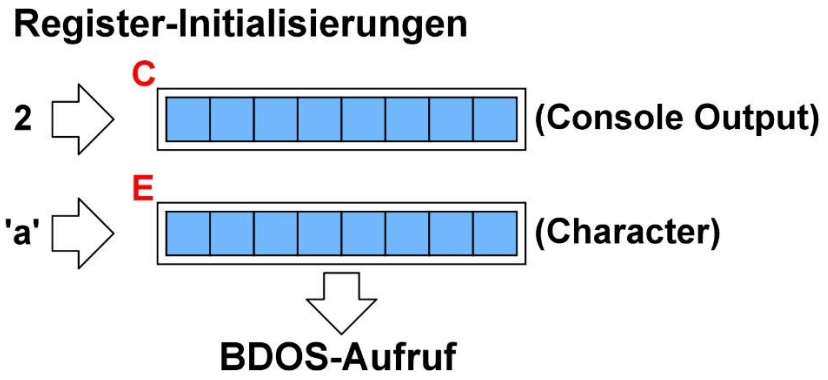
Wenn also zum Beispiel ein einzelnes Zeichen auf der Konsole angezeigt werden soll, dann besitzt der sogenannte Function-Code den Wert 2 (Console Output). Dieser Wert muss in das *C-Register* geladen werden. Das anzuzeigende Zeichen muss dann im *E-Register* abgelegt werden. Abschließend erfolgt dann der Aufruf von BDOS über die Adresse 0005h. Die folgende Tabelle zeigt die erforderlichen Parameter.

Function Code	**C = 0002h**
Entry Parameter	**E = Data byte to be output**
Exits Parameters	**None**

Das entsprechende Programm schaut wie folgt aus, wobei das Zeichen *‚a‘* auf der Konsole ausgegeben wird.

```
     org 0100h ; free memory
BDOS equ 0005h ; BDOS entry point
     ld c,2    ; BDOS function print char
     ld e,'a'  ; load char
     call BDOS ; CALL BDOS
     ret       ; return to CCP
```

Hier noch einmal die Details zum Programm.



Der Aufruf der BDOS-Adresse 0x0005 führt letztendlich zur Ausführung des Konsolen-Outputs mit dem Zeichen *‚a‘*. Wird das gezeigte Programm assembliert und ausgeführt, zeigt sich die folgende Ausgabe im Terminal-Fenster.

```
P0>out
a
P0>
```

In diesem Programm ist eine weitere Assembler-Direktive zur Anwendung gekommen, die sich *EQU* nennt und ein symbolischer Name darstellt, dem Wert zugewiesen werden soll. In Hochsprachen werden auch Variablen benannt, die einen bestimmten Wert repräsentieren, denn der Wert 5 ist wohl eine sogenannte magische Konstante, wo keiner weiß, was sich dahinter verbirgt. Jetzt kommt EQU ins Spiel. Das schaut doch schon viel „sprechender“ aus und macht mehr Sinn. Es wird quasi eine Variable mit dem Namen BDOS geschaffen, die dann im weiteren Verlauf des Quellcodes immer wieder verwendet werden kann.

8.5.2 Mehrere Zeichen auf der Konsole ausgeben

Ein einzelnes Zeichen auf der Konsole ist natürlich recht spärlich, denn in den meisten Fällen müssen ganze Texte zur Anzeige von Statusinformationen angezeigt werden. Ist das überhaupt möglich, ohne, dass ein mehrfacher Aufruf der Anzeige einzelner Zeichen erfolgen müsste? Auch dafür gibt es eine BDOS-Funktion, die diese Aufgabe übernimmt. Anstatt des Function-Codes 2 muss jetzt der Code 9 verwendet werden. Das ist aber nur die halbe Wahrheit, denn das zuvor verwendete *E-Register*, das zur Anzeige eines einzelnen Zeichens verwendet wurde, kann nicht mehrere Zeichen speichern. Wie können also mehrere Zeichen zur Anzeige gebracht werden? Dafür reicht ein einzelnes Register natürlich nicht aus! Es muss also eine Technik zur Anwendung kommen, die quasi auf eine definierte Zeichenkette verweist. Das wird als *Zeiger*, *Vektor* oder *Pointer* bezeichnet, der auf eine Startadresse innerhalb des Speichers verweist, wo die anzuzeigende Zeichenkette abgelegt ist. Das dieser Zeiger jedoch einen Speicherberiech von 64K abdecken muss, kann es sich nicht um einen 8-Bit-Zeiger handeln, der nur die Adressen von 0 bis 255 erreichen kann. Ein 16-Bit-Zeiger schafft dagegen schon mehr und kann die vorhandenen 64K voll abdecken. Deswegen kommt das *DE-Register* zum Tragen. Die folgende Tabelle zeigt die erforderlichen Parameter.

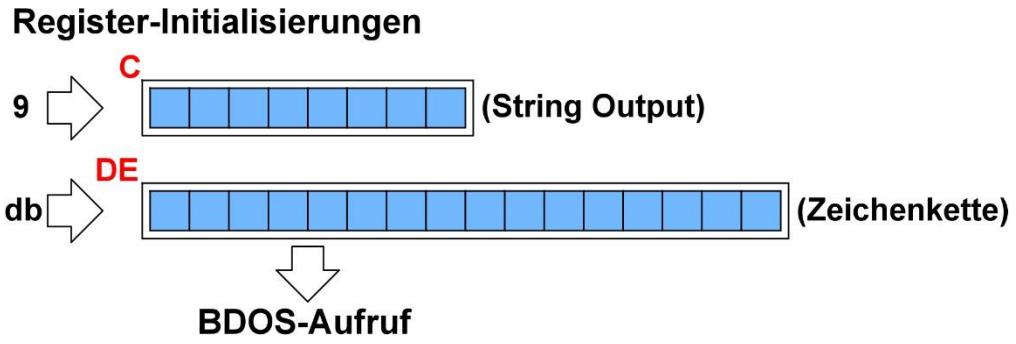
Function Code	**C = 0009h**
Entry Parameter	**DE = Address of first byte of string**
Exits Parameters	**None**

Die anzuzeigende Zeichenkette muss dabei mit dem Zeichen *$* abgeschlossen werden. Es ist darauf zu achten, dass das letzte Zeichen der Zeichenkette wirklich das Zeichen *$* ist, was BDOS verwendet dieses Zeichen als Markierung für das Ende der Zeichenkette zu akzeptieren. Das Zeichen $ selbst wird nicht auf der Konsole ausgegeben. Einer der größten Nachteile dieser Funktion ist die Verwendung des Zeichens *$* als Beendigungszeichen, dass sonst nicht verwendet werden kann.

Sehen wir uns zunächst das Programm an.

```
     org 0100h ; free memory
BDOS equ 0005h ; BDOS entry point
     ld c,9    ; BDOS function print string
     ld de,MSG ; address of string
     call BDOS ; CALL BDOS
     ret       ; return to CCP
MSG  db 'Hello world!$'
```

Das C-Register wird nun mit dem Wert 9 geladen, was der *Print-String* Funktion des BDOS entspricht. Im nächsten Schritt wird das DE-Register (Doppelregister) mit einer Adresse geladen, die auf die anzuzeigende Zeichenkette verweist, die über das Label *MSG* zu erreichen ist. Die Assembler-Direktive *db* spiel hier eine entscheidende Rolle. Die Buchstaben *db* steht für "*define byte*". Es erlaubt die Definition von einem oder mehreren literalen Bytes, sowie Zeichenketten von Bytes. Literal bedeutet übersetzt *Buchstabe*. Hier noch einmal die Details zum Programm.



Der Aufruf der BDOS-Adresse 0x0005 führt letztendlich wiederum zur Ausführung des Konsolen-Outputs, doch diesmal mit der Ausgabe der Zeichenkette. Wird das gezeigte Programm assembliert und ausgeführt, zeigt sich die folgende Ausgabe im Terminal-Fenster.

```
P0>out2
Hello world!
```

Ein Blick in die COM-Datei zeigt die folgenden Informationen.

```
P0>dump out2.com
0000 : 0E 09 11 09 01 CD 05 00 C9 48 65 6C 6C 6F 20 77 : .........Hello w
0010 : 6F 72 6C 64 21 24 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A : orld!$..........
0020 : 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A : ................
0030 : 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A : ................
0040 : 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A : ................
0050 : 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A : ................
0060 : 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A : ................
0070 : 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A 1A : ................
```

Dort ist die anzuzeigende Zeichenkette „*Hello world!*“ sehr gut zu erkennen. Sehen wir uns dazu die ASCII-Tabelle mit ihren entsprechenden Werten an.

ASCII	48	65	6C	6C	6F	20	77	6F	72	6C	64	21
Zeichen	H	e	l	l	o	SP	w	o	r	l	d	!

Die ASCII-Zeichen sind zum Beispiel unter der folgenden Internetseite zu finden.

https://www.torsten-horn.de/techdocs/ascii.htm

8.5.3 Mehrere gleiche Zeichen auf der Konsole ausgeben

Wir haben schon gesehen, dass es möglich ist, eine Zeichenkette auf der Konsole auszugeben. Wie ist es aber möglich, zum Beispiel ein bestimmtes einzelnes Zeichen mehrfach auszugeben und das in Abhängigkeit eines bestimmten Wertes? Eine Fortschrittsanzeige wäre da ein repräsentatives Beispiel. Jeder einzelne Punkt auf der Konsole würde 10% Fortschritt von Irgendetwas darstellen und wenn 10 Punkte sichtbar sind, ist der Fortschritt beendet. Mit dem folgenden Programm können zum Beispiel zwei Punkte auf der Konsole angezeigt werden. Das Programm habe ich *outputmulti* genannt.

```
     org 0100h ; free memory
BDOS equ 0005h ; BDOS entry point
     ld c,2    ; BDOS function print char
     ld e,'.'  ; load char
     call BDOS ; CALL BDOS
     call BDOS ; CALL BDOS
     ret       ; return to CCP
```

Es ist zu sehen, dass der Punkt in das *E-Register* geladen wurde, und dann zweimal hintereinander die BDOS-Funktion für das Anzeigen eines Zeichens auf der Konsole aufgerufen wurde. Die Anzeige schaut auf der Konsole dementsprechend aus.

```
P0>outmulti
..
P0>
```

Es sind zwei Punkte zu sehen. Wie kann das Programm jedoch ein wenig flexibler gestaltet werden, dass der Aufruf der BDOS-Funktion von einer bestimmten Variablen abhängig ist? Die Lösung liegt in den sogenannten *Kontrollstrukturen*, die durch *Schleifen*, die auch *Loops* genannt werden, realisiert werden. Vielleicht sind dem einen oder anderen die FOR-NEXT-Schleifen aus den Zeiten von Basic noch ein Begriff. Auf ähnliche Art und Weise arbeitet auch das Z80-Konstrukt zur Realisierung derartiger Wiederholungen. Sehen wir uns das genauer an.

8.5.4 Eine Schleife programmieren

Eine Schleife zu programmieren, ist in Assembler nicht weiter schwer. Ich nutze zu diesem Zweck ein spezielles 8-Bit Register, was den Schleifendurchlauf auf 255 begrenzt, was aber im Moment nicht weiter interessieren soll. Der Z80 hat eine spezielle Anweisung zur Implementierung von Schleifenzählungen. Die *DJNZ*-Anweisung (*Decrement B-Register and Jump if Not Zero*) steht für

„B-Register dekrementieren und springen, wenn nicht Null“

Das geht in diesem Fall nur mit dem *B-Register*, was also das Register unserer Wahl ist, um eine Schleife zu implementieren. Eine in Basic programmierte *FOR-NEXT*-Schleife muss also in diesem Fall rückwärts implementiert werden, da das Register bis zum Wert 0 herunterzählt. Wenn man das in Flussdiagramm überträgt, dann würde sich das wie folgt gestalten.

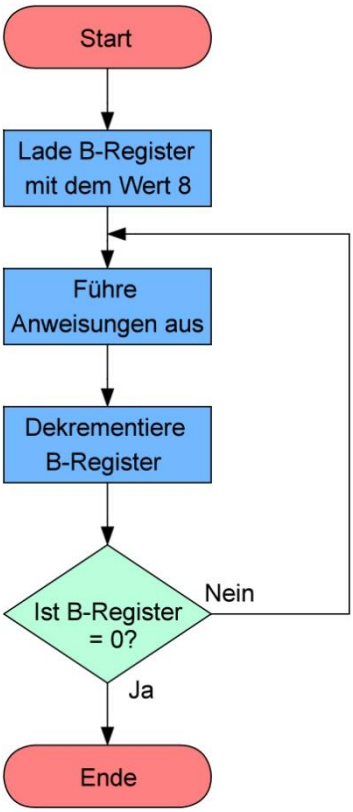


Abbildung 23 - Das Flussdiagramm für eine Schleife

Werden wir nun konkret und schauen uns den Quellcode an, wobei ein *Label* eingesetzt und das als Sprungmarkierung verwendet wird.

```
      org 0100h ; free memory
BDOS  equ 0005h ; BDOS entry point
      ld c,2    ; BDOS function print char
      ld e,'.'  ; load char
      ld b,8    ; LOOP 8x
LOOP: call BDOS ; CALL BDOS
      djnz LOOP ; Decrease B and Loop
      ret       ; return to CCP
```

Wird das Programm assembliert, in eine COM-Datei überführt und ausgeführt, zeigt sich, ob das auch wirklich funktioniert hat mit dem 8-fachen Schleifendurchlauf. Es müssten also 8 Punkte zu sehen sein.

```
P0>outloop
........
```

Das müssten 8 Punkte sein und das Programm funktioniert also mit dem 8-fachen Aufruf der BDOS-Funktion zur Anzeige eines einzelnen Zeichens. Wenn der Schleifenwert auf den Maximalwert von 255 gesetzt wird, kann man sehen, wie schnell die Ausgabe erfolgt.

8.5.5 Wir rechnen etwas

Im nächsten Beispiel soll etwas gerechnet werden, denn dazu ist ja der schon erwähnte Akkumulator *A* eigentlich da. Ich sollte noch etwas detaillierter auf die Funktion eines Akkumulators eingehen. Ein

Akkumulator ist ein Register innerhalb einer CPU - hier natürlich der Z80 -, in die Ergebnisse der Recheneinheit gespeichert werden. Ohne einen Akkumulator wäre es notwendig, jedes Ergebnis einer Berechnung, sei es Addition, Multiplikation oder auch logische Verknüpfung, im Hauptspeicher, also RAM, zu speichern und später von dort wieder in den Z80 zu laden. Der Zugriff auf das interne Register - genannt *Akkumulator* - ist aber wesentlich schneller als ein Zugriff auf das RAM, da dieses Register mit der *ALU* (Englisch: Arithmetic Logic Unit) in der CPU integriert ist.

Eine einfache Addition soll dazu für den Anfang herhalten. Der Wert 4, der in den Akkumulator geladen wird, soll mit dem Wert 6 addiert werden. Der Quellcode dazu schaut wie folgt aus.

```
    org 0100h ; Free memory
    ld a, 4   ; Load Akkumulator #4
    add 6     ; Add #6
    ret       ; return to CCP
```

Um einen Wert mit dem Akkumulator zu addieren, wird das *ADD* und der Angabe des entsprechenden Wertes verwendet. Um zu sehen, wie sich das Ergebnis beziehungsweise die einzelnen Schritte gestalten, wird wieder *ddt* mit der Angabe der COM-Datei bemüht, die bei mir *ADD.COM* lautet.

```
P0>ddt add.com
DDT VERS 1.4
NEXT  PC
0180 0100
-l
  0100  MVI  A,04
  0102  ADI  06
  0104  RET
```

Natürlich ist hier wieder der 8080-Code zu sehen, was nicht weiter stören soll. Der Maschinencode ist - wie schon erwähnt - der gleiche. Wir erinnern uns noch einmal, was die einzelnen *ddt*-Befehle bedeuten, die im Moment für uns wichtig sind. Das sind

- *t*: Anzeige der Register
- *r*: Schrittweise Ausführung des Codes

Das habe ich nun auch durchgeführt und es zeigt sich das folgende Ergebnis auf der Konsole.

```
-t
C0Z0M0E0I0 A=00 B=0000 D=0000 H=0000 S=0100 P=0100 MVI  A,04×0102
-r
NEXT  PC
0180 0102
-t
C0Z0M0E0I0 A=04 B=0000 D=0000 H=0000 S=0100 P=0102 ADI  06×0104
-r
NEXT  PC
0180 0104
-t
C0Z0M0E0I0 A=0A B=0000 D=0000 H=0000 S=0100 P=0104 RET  ×043E
-
```

Es ist zu sehen, dass im ersten Schritt der Inhalt des Akkumulators noch den Wert 0 enthält. Nach der Ausführung des Ladebefehls (8080-Code: MVI A, 04) wurde der Wert *04* in den Akkumulator geladen. Der nächste Schritt führt dann eine Addition mit dem Wert *06* durch (8080-Code: ADI 06), was dazu führt, dass der Akkumulator den Wert dieser Addition beinhaltet und *0A* ist. Somit ist die Addition erfolgreich durchgeführt worden, denn 4 + 6 = 10 und der Wert 10 ist in hexadezimaler Schreibweise

eben *0A*. An dieser Stelle ist es sicherlich wichtig, einmal auf die sogenannten *Flags* einzugehen, die ich bisher zwar erwähnt, doch nicht erläutert hatte.

Diese Flags sind in einem speziellen Statusregister innerhalb des Rechenwerks eines Mikroprozessors gespeichert. Da diese einzelnen Bits auch als Flags bezeichnet werden, wird das Statusregister auch *Flag-Register* genannt. Es enthält eine Reihe von Bits, die von der arithmetisch-logischen Einheit (ALU) in Abhängigkeit von der zuletzt durchgeführten Rechenoperation gesetzt werden. Das können zum Beispiel ein Überlauf oder ein negatives Ergebnis sein. Doch lenken wir unser Augenmerk zuerst auf das sogenannte *Carry-Bit*. Das Carry-Bit (auch *Übertrags-Bit* genannt) ist ein spezieller Begriff aus der Informatik. Er bezeichnet ein Bit, welches den Übertrag einer Addition oder Subtraktion von Bits auf das nächst höherwertige Bit repräsentiert. Das hört sich sehr geschwollen an und doch ist es recht logisch! Der Akkumulator besitzt eine Breite von 8 Bits, was bedeutet, dass der höchste Wert, der dort gespeichert werden kann, 255 beträgt. Was passiert aber, wenn zum dem Wert 255 der Wert 1 addiert wird? Das Ergebnis wäre rein rechnerisch natürlich der Wert 256, der jedoch nicht innerhalb von 8-Bits gespeichert werden kann. Es wäre ein weiteres Bit notwendig, das aber nicht zur Verfügung steht! Um diesen Umstand zu signalisieren, ist das *Carry-Bit* verantwortlich! Dieser sogenannte *Überlauf* darf bei einer durchgeführten Rechnung nicht unberücksichtigt bleiben. Auf der folgenden Abbildung ist der Umstand zu sehen.

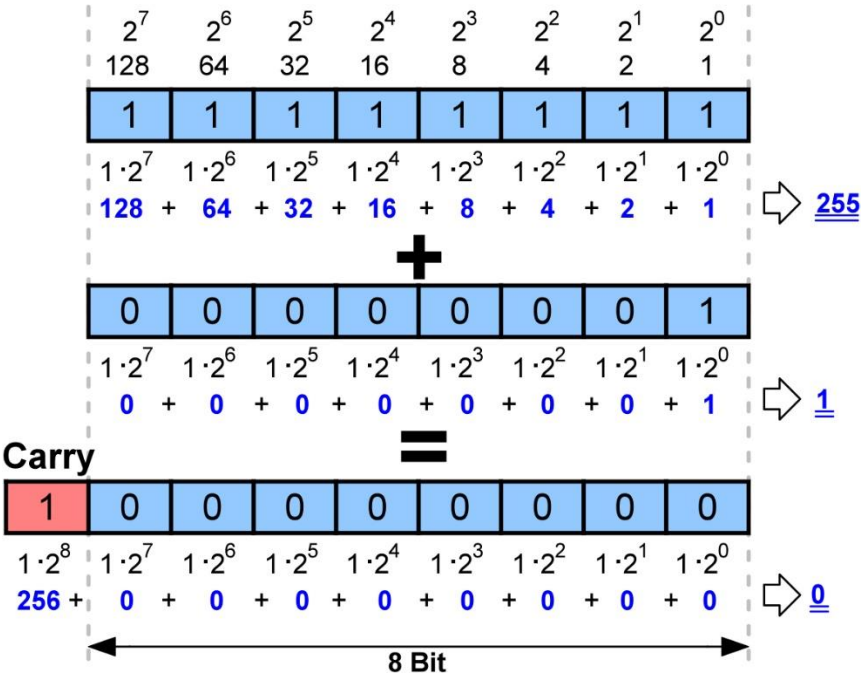


Abbildung 24 - Addition mit Überlauf

Sehen wir uns das an einem konkreten Beispiel an, bei dem der Wert 255 um den Wert 1 erhöht werden soll. Der Quellcode schaut dabei wie folgt aus.

```
org 0100h ; Free memory
ld a, 255 ; Load Akkumulator #255
add 1     ; Add #1
ret       ; return to CCP
```

Das Ergebnis der durchgeführten Addition würde also 256 lauten, was aber nicht innerhalb von 8 Bits abgespeichert werden kann, denn 8-Bits können maximal einen Wert von 255 speichern. Da kommt das Carry-Bit ins Spiel, was signalisiert, das hier bei der durchgeführten Rechenoperation etwas

hinsichtlich der 8-Bits nicht stimmt! In der folgenden Abbildung sind die Flags zu sehen, wo natürlich auch das Carry-Bit zu finden ist.

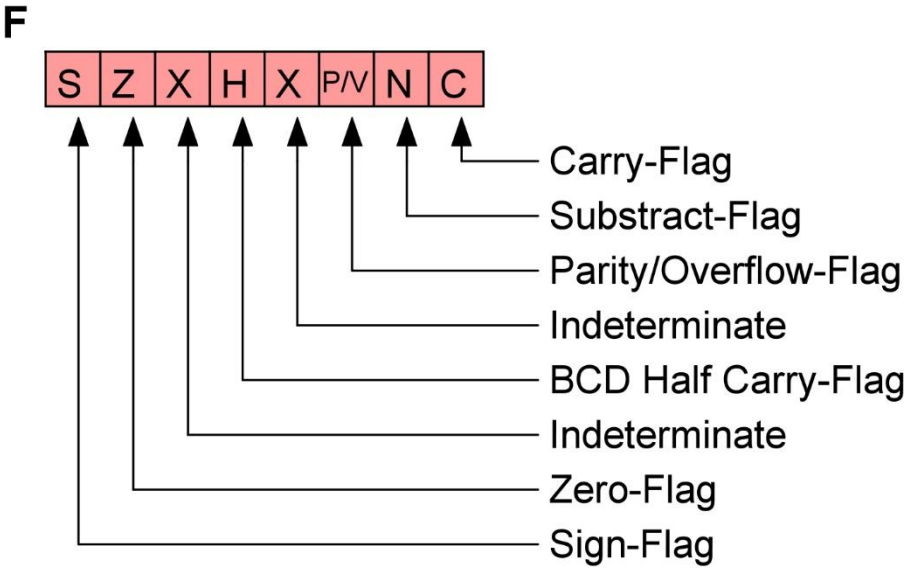


Abbildung 25 - Die Z80-Flags

Um zu sehen, wie sich das Ergebnis beziehungsweise die einzelnen Schritte gestalten, werde ich zu Beginn wieder *ddt* mit der Angabe der COM-Datei bemühen, die bei mir *ADD2.COM* lautet.

```
P0>ddt add2.com
DDT VERS 1.4
NEXT  PC
0180 0100
-l
  0100  MVI  A,FF
  0102  ADI  01
  0104  RET
```

Wenn die Ausführung wieder schrittweise durchgeführt wird, ist Folgendes zu sehen.

```
-t
C0Z0M0E0I0 A=00 B=0000 D=0000 H=0000 S=0100 P=0100 MVI  A,FF×0102
-r
NEXT  PC
0180 0102
-t
C0Z0M0E0I0 A=FF B=0000 D=0000 H=0000 S=0100 P=0102 ADI  01×0104
-r
NEXT  PC
0180 0104
-t
C1Z1M0E0I1 A=00 B=0000 D=0000 H=0000 S=0100 P=0104 RET  ×FF3E
-
```

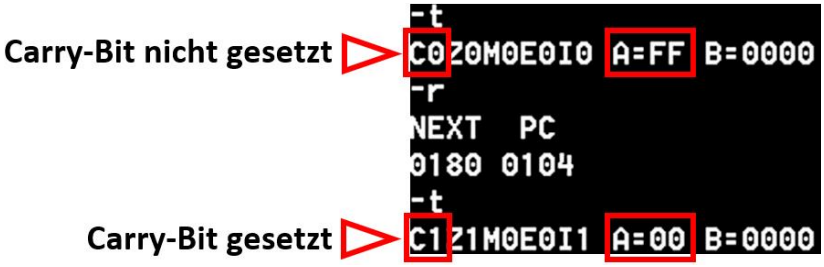
Nun sollten wir uns die Ausgabezeilen für trace einmal hinsichtlich der führenden Buchstaben und Ziffern etwas genauer anschauen. Das allgemeine Format schau da wie folgt aus.

```
CxZxMxExIx
```

Die Angaben haben dabei die folgenden Bedeutungen.

Buchstabe	Mögliche Werte	Bedeutung
C	0 oder 1	Carry - Übertragsbit
Z	0 oder 1	Zero - Nullbit
M	0 oder 1	Minus - Vorzeichenbit
E	0 oder 1	Even-Parity - Paritätsbit
I	0 oder 1	Interdigit Carry - Hilfsübertragsbit

Es ist nach der durchgeführten Addition sehr gut zu sehen, dass das Carry-Bit gesetzt wurde. Der Inhalt des Akkumulators A änderte sich von *FFh* nach *00h*, was aus den genannten Gründen ja verständlich ist.



Nun komme ich zum schon einmalig angewandten Programm *zsid*. Da schaut das dann wie folgt aus. Hier werden die Mnemonics - wie schon erwähnt - für den Z80 korrekt angezeigt.

```
P0>zsid add2.com
ZSID VERS 1.4
NEXT  PC  END
0180 0100 C7FF
#l
  0100  LD   A,FF
  0102  ADD  A,01
  0104  RET
```

Über den mehrfachen Aufruf des Trace-Kommandos *t* erfolgt eine schrittweise Abarbeitung der Befehlszeilen.

```
#t
 ----- A=00 B=0000 D=0000 H=0000 S=0100 P=0100
 ----- A'00 B'0000 D'0000 H'0000 X=0000 Y=0000 LD   A,FF
*0102
#t
 ----- A=FF B=0000 D=0000 H=0000 S=0100 P=0102
 ----- A'00 B'0000 D'0000 H'0000 X=0000 Y=0000 ADD  A,01
*0104
#t
 CZ--I A=00 B=0000 D=0000 H=0000 S=0100 P=0104
 ----- A'00 B'0000 D'0000 H'0000 X=0000 Y=0000 RET
*FF3E
#
```

Die Anzeige der Flags ist hier etwas anders gehandhabt, denn es werden nur die Flags durch einen entsprechenden Buchstaben angezeigt, die gerade gesetzt sind. Ist kein Flag gesetzt, werden nur Striche angezeigt.


Flags gesetzt
CZ--I
Keine Flags gesetzt
-----

9 Die Programmiersprache Basic

```
10 PRINT "Hallo, hier ist Basic"
20 PRINT "Und es macht Spass, damit zu programmieren"
```

Kommen wir nun zu einer Programmiersprache, die eine entscheidende Rolle in der Programmierung von Computern gespielt hat und von sehr vielen als „Spielsprache“ degradiert wurde. Das sind Individuen, die in einem Café sitzen und sich die verbeilaufenden Menschen anschauen und sich anmaßen zu urteilen, wie der- oder die jenige denn ausschaut. Der hat aber eine komische Hose an und die trägt aber eine merkwürdige Frisur. Ist der nicht zu dick und hat die nicht ein zu aufdringliches Makeup aufgetragen? Sie wissen nicht, dass sie fernab dessen sind, worauf es ankommt und haben keine Ahnung, wie Abgrund tief sie gesunken sind. Doch das ist nur meine bescheidende Meinung. Zurück zum Thema. Bei der Programmiersprache Basic handelt es sich um eine sogenannte imperative Programmiersprache, die 1964 von John G. Kemeny, Thomas E. Kurtz und Mary Kenneth Keller am Dartmouth College als Bildungsorientierte Programmiersprache entwickelt wurde. Es gibt eine Vielzahl verschiedener *Basic-Dialekte*, von denen einige der jüngeren alle Elemente höherer Programmiersprachen aufweisen, so etwa die sogenannte *Objektorientierte Programmierung*. Das Akronym *Basic* steht für *Beginner’s All-purpose Symbolic Instruction Code*, was so viel bedeutet wie „symbolische Allzweck-Programmiersprache für Anfänger“. Diese Sprache ist in meinen Augen ein sehr guter Einstieg in die Programmierung von Computern und alle anderen Meinungen können mir gestohlen bleiben. Die Hochsprachen wie C oder C++ stellen natürlich eine Weiterentwicklung von Programmiersprachen dar, doch sie bauen alle auf den Anfängen von Basic auf und das darf nicht vergessen werden, auch, wenn das viele einfach ignorieren! In den meisten IT-Unternehmen kommen moderne Programmiersprachen zum Einsatz. Der Blödsinn, der dort zeitweise propagiert wird, dient nicht der Eleganz der Programmierung, sondern alleine dem Profit von Wenigen! Jede Woche gibt es neue Updates diverser Programmpakete und nur die wenigsten wissen, was sich im Hintergrund wirklich abspielt. Jeder will sich - um immer auf dem neuesten Stand zu sein - mit neuen Features vertraut machen und niemand merkt, wie er in eine Ecke gedrängt wir, die absolut unnötig sind und ihn von dem abbringt, was das eigentlich Ziel ist: *Der Spaß am Programmieren* und nicht den von oben vorgegebenem Wahnsinn zur Profit-Maximierung! Zu Zeiten von Basic in den 1980er Jahren war es noch spannend, Programme zu entwickeln, die einfach tolle Dinge vollbrachten. Heutzutage geht es nur darum, mit irrwitzigen Programmiersprachen, die sicherlich hier und da ihre Berechtigung haben, die Reichen noch reicher zu machen und die genialen Programmierer zu knechten. Kommt das einem irgendwie bekannt vor? Wer sich also mit der Programmiersprache *MBASIC* unter CP/M Release 5.0 und später etwas vertraut machen will, der kann unter der folgenden Internetadresse interessante Hinweise finden.

http://www.msxarchive.nl/pub/msx/mirrors/msx2.com/sources/mbasic.pdf

Auf dem Z80-Playground ist auf dem Laufwerk *B:* die Programmiersprache *MBASIC* zu finden.

Es handelt sich um die Version 5.21 von *Basic-80* und wurde von *Microsoft* (man sollte sich schlau machen, was das für ein Konzern ist und für was er steht) entwickelt. Der Gründer *Bill Gates*, der sich als Menschenfreud ausgibt, ist vielleicht nicht das, was er zu vorgeben scheint. Doch das nur am Rande! Nach dem Start von MBASIC ist ein *Ok-Prompt* zu sehen. „*Basic ist doch keine Programmiersprache*“ raunten damals schon die selbst ernannten Spezialisten. Na und? Erstens ist diese Aussage absoluter Quatsch und zweitens ist es mir vollkommen egal!

Wenn ich meinen Computer dazu bringe, meine Eingaben und Wünsche zu verarbeiten und auszugebe, dann programmiere ich. Basic ist eine sehr einfache, aber dafür auch leicht erlernbare Programmiersprache. Moderne Hochsprachen wie C oder C++ benötigen einen Compiler, der den Quellcode übersetzt, so dass die CPU ihn ausführen kann. Bei Basic hingegen handelt es sich um eine sogenannte *Interpretersprache*, was bedeutet, dass ein Programm unmittelbar ausgeführt werden kann. Das geht natürlich zu Lasten der Ausführungsgeschwindigkeit, denn Basic-Programm sind im Vergleich zu Programmen, die in C, C++ oder sogar in Assembler geschrieben wurden, viel langsamer.

Bei den frühen Computern wie dem *VC-20*, *C64*, *Apple II* oder *CPC464* - um nur einige zu nennen - war es so, dass nach dem Einschalten der Benutzer sofort mit der Programmierung von Basic beginnen konnte, denn der Basic-Interpreter war Teil des ROMs. Leider gab es keine einheitlichen Standards von der Programmiersprache Basic und jeder kochte quasi sein eigenes Süppchen, was natürlich dazu führte, dass Basic-Programme untereinander nicht kompatibel waren. Zwar gab es einen Grundwortschatz, der aber - wie gerade schon erwähnt -, je nach Firma, einige Erweiterungen erfahren hatte.

MBASIC macht da natürlich keine Ausnahme und doch ist es möglich, mit MBASIC so einiges anzustellen. Wie schaut die Programmierung in der Sprache Basic denn überhaupt aus? Nun, da wird jeder einzelnen Befehlszeile mit einer sogenannten Zeilennummer versehen. Die dadurch entstandene Befehlssequenz wird anhand der vorherrschenden Zeilennummern von der niedrigsten hin zur höchsten abgearbeitet. Da es jedoch Kontrollstrukturen gibt, kann mit geeigneten Abfragen der flache Ablauf von oben nach unten durchbrochen werden. Über Sprunganweisungen (mit *GOTO*) oder Aufrufen von Unterprogrammen (mit GOSUB) kann es zu mehr oder weniger intelligenten Verzweigungen im Programmablauf kommen.

Hier nun ein kleines Programm, dass sich mit der Primzahlberechnung befasst, was jedoch nicht von mir programmiert wurde. Nähere Hinweise finden sich unter der folgenden Internetadresse.

https://www.c64-wiki.de/wiki/Die_Denkspielmaschine

```
10 INPUT "Primzahlgrenze (0 bis 7000)";P
20 DIM F(7000)
30 PRINT 2;:F(1)=3
40 FOR X=3 TO P STEP 2
50 Y=Y+1:IF F(Y)*F(Y) > X THEN 80
60 D=X/F(Y):IF D=INT(D) THEN 90
70 GOTO 50
80 A=A+1:F(A)=X:PRINT X;
90 Y=0:NEXT X
Ok
run
Primzahlgrenze (0 bis 7000)? 100
 2  3  5  7  11  13  17  19  23  29  31  37  41  43  47  53  59  61  67  71  73
 79  83  89  97
Ok
```

10 Die Programmiersprache C

Wenn es um eine Hochsprache geht, die auch heute noch sehr stark Verwendung findet, dann ist das die Programmiersprache *C*. Es handelt sich um eine imperative und prozedurale Programmiersprache, die der Informatiker *Dennis Ritchie* in den 1970er Jahren an den Bell Laboratories entwickelt hat. Sie bietet eine hohe Performance, arbeitet maschinennah und funktioniert mit minimalen Ressourcen auf den unterschiedlichsten Plattformen und war beziehungsweise ist der Grund für die weite Verbreitung. Natürlich ist sie auch für den Z80 unter CP/M verfügbar. Unter der folgenden Internetadresse ist Mike's *Enhanced Small C Compiler for Z80 and CP/M* zu finden.

https://github.com/MiguelVis/mescc

Im Internet finden sich eine Unmenge an freier Literatur und Tutorials. Der hier genannte Compiler stellt eine abgespeckte Version eines C-Compilers dar, was das Wort *Small* sicherlich erkennen lässt. Dennoch lässt sich hiermit ein sehr guter Einstieg in die C-Programmierung finden, denn die zahlreichen Bibliotheken, die zur Verfügung, erleichtern das Erstellen eines Programms. Das typische *Hello-World!* Programm schaut dann wie folgt aus, was ich unter *hello.c* gespeichert habe.

```
#include "mescc.h"
#include "conio.h"

main()
{
 puts("Hello world!");
}
```

Auch hier möchte ich einen geeigneten Einstieg für jemanden finden, der sich noch nicht mit dieser Programmiersprache auseinandergesetzt hat. Programme in der Programmiersprache C werden - wie bei Maschinensprache - in einer Textdatei gespeichert, deren Dateiendung *.c* ist. Auch hier kann natürlich der schon zum Einsatz gekommene Text-Editor *te* verwendet werden. Wie ist aber ein C-Programm im Grunde genommen strukturiert? Sehen wir uns das einmal genauer an.

Jedes C-Programm enthält die Definition einer Funktion mit dem Namen *main*, die den definierten Start des Programms darstellt. Das *int* vor der Funktion ist der Datentyp des Rückgabewertes dieser Funktion. Im gezeigten Beispiel wird dieser Datentyp jedoch nicht explizit angegeben, was vollkommen ok ist, denn im Hintergrund ist er trotzdem vorhanden.

```
int main()

{

}
```

Vorsicht, die Programmiersprache C unterscheidet zwischen Klein- und Großschreibung! Eine Funktion ist in diversen höheren Programmiersprachen die Bezeichnung eines Programmkonstrukts, mit dem der Quellcode strukturiert wird, so dass Teile der Funktionalität des Programms wiederverwendbar sind. Eine Funktion kapselt sozusagen mehrere Einzelanweisungen unter einem bestimmten Namen. Wenn dieser Name dann programmtechnisch aufgerufen wird, kommt es zur Ausführung der einzelnen Anweisungen, die diese Funktion beinhaltet. Beim Start eines C-Programms wird sofort nach der *main*-Funktion gesucht und diese dann aufgerufen.

Vor der Definition der *main*-Funktion befinden sich einige Konstrukte, die sehr hilfreich beim Programmieren sind. Mit der Befehlszeile *#include* wird eine Bibliothek eingebunden, welche einen mehr oder weniger großen Satz an Befehlen zur Verfügung stellt, die für das komfortable Programmieren benötigt werden. Auf diese Weise muss das Rad also nicht immer wieder neu erfunden werden. Bei der genannten #include-Anweisung handelt es sich genaugenommen um keine Anweisung, sondern um eine sogenannte Präprozessordirektive, die mit einem # eingeleitet werden. Sie werden vom Präprozessor ausgewertet. Die Direktive #include bedeutet, dass die nachfolgende Headerdatei einzufügen ist. Headerdateien besitzen die Dateinamenendung (*Suffix.h*) und sind in der Programmierung Textdateien, die bestimmte Deklarationen und andere Bestandteile des Quelltextes beinhalten.

Die beiden einzufügenden Header-Dateien

- mescc.h
- conio.h

besitzen also Informationen, die im späteren Verlauf des Programms benötigt werden. Die Datei *mescc.h* beinhaltet Details, die der *Small C Compiler for Z80* unter CP/M benötigt und muss immer an erster Stelle aufgeführt werden. Die Datei *conio.h* - Der Name *conio* kommt von *CONsole Input/Output* - enthält Funktionen für die Konsolen Ein- beziehungsweise Ausgabe. Einige der an den häufigsten verwendeten Funktionen sind *clrscr*, *getch*, *getche*, usw. Sie können dazu verwendet werden, um den Bildschirm zu löschen, die Farbe von Text und Hintergrund zu ändern, Text zu verschieben, zu prüfen, ob eine Taste gedrückt ist und um andere Aufgaben auszuführen.

Der eigentliche Start des Programms ist dann der Aufruf der *main*-Funktion, wo die eigentlichen Anweisungen beginnen, was das Programm denn überhaupt machen soll. Die *puts*-Funktion (Bibliotheksfunktion) innerhalb der *main*-Funktion bewirkt, dass eine angegebene Zeichenkette bis einschließlich des Nullzeichens nach *stdout*. Ein Befehl in *C* wird immer mit einem Semikolon (;) abgeschlossen. An die Ausgabe wird ein Zeilenumbruchzeichen angehängt. Was bedeutet denn um Himmels Willen *stdout*? Die Datenströme (englisch: *standard streams*) sind Datenströme für die Ein- und Ausgabe in einem Betriebssystem und werden von der C-Standard-Bibliothek unterstützt. Wird *stdout* aufgerufen, wird ein Datenstrom - zum Beispiel eine Zeichenkette - an die Konsole weitergeleitet. Das soll zur Einleitung eines C-Programms erst einmal genügen. Sehen wir uns den Ablauf an, der zur Erstellung einer COM-Datei aus der C-Quelldatei notwendig ist, einmal genauer an.

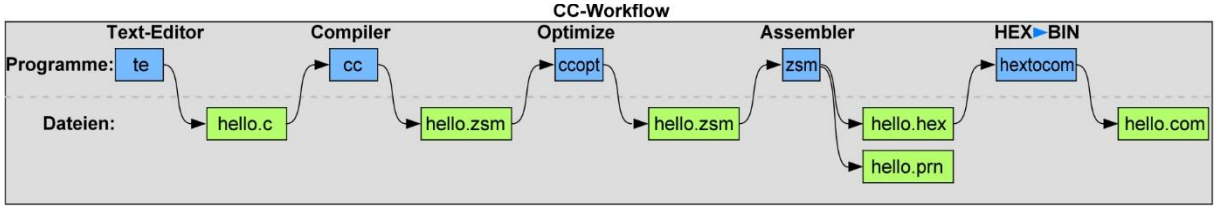


Abbildung 26 - Der CC-Workflow

Sagen wir, dass die Datei *hello.c* existiert, die über den Text-Editor *te* eingegeben wurde. Die folgenden Schritte sind erforderlich, wobei die jeweiligen Dateiendungen nicht mit angegeben werden. Um detaillierte Informationen zu bekommen, ist ein Blick in die folgende Datei ratsam.

https://github.com/MiguelVis/mescc/blob/master/mescc.txt

10.1 Die Quelldatei kompilieren

Um die Quelldatei zu kompilieren, muss die folgende Befehlszeile eingegeben werden.

```
cc <Dateiname>
```

Die Angabe der Dateiendung *.c* ist hier nicht erforderlich.

```
00>cc hello
Mike's Enhanced Small C Compiler v1.23 - 13 Jan 2021

(c) 1999-2021 FloppySoftware

#include "mescc.h"
#end include
#include "conio.h"
  Function: getchar
  Function: putchar
  Function: putstr
  Function: puts
#end include
Function: main

Writing strings...
Writing globals...

Table    Used  Free
-------- ----- -----
Strings     13  9203
Globals    126  7974
Macros     118  3882

Errors:     0
Next label: a4

00>
```

Als Ergebnis liegt nun die Assembler-Datei *hello.zsm* vor.

10.2 Die Kompilierung optimieren

Um die erstellte Datei *hello.zsm* zu optimieren, wird die folgende Kommandozeile eingegeben

```
ccopt <Dateiname>
```

Die Angabe der Dateiendung *.zsm* ist hier ebenfalls nicht erforderlich.

```
00>ccopt hello
ccopt v2.02 / 28 Jan 2016

(c) 2015-2016 FloppySoftware

Optimizing (97 rules):

Rules - pass #1:    2 bytes saved.
Rules - pass #2:    0 bytes saved.

Jumps:    3 bytes saved (11 labels found).

Total saved:    5 bytes (Rules:    2, Jumps:    3)

Done.

00>
```

Es ist zu erkennen, dass beim Optimierungsprozess 2 Bytes eingespart wurden. Die zuvor vorhandene *hello.zsm*-Datei wurde aktualisiert und neu generiert.

10.3 Die Assemblierung durchführen

Im nächsten Schritt wird die erstelle und optimierte *hello.zsm*-Datei assembliert. Um diese Datei zu assemblieren, muss die folgende Befehlszeile eingegeben werden.

```
zsm <Dateiname>
```

Die Angabe der Dateiendung *.zsm* ist hier wiederum nicht erforderlich.

```
00>zsm hello
Zilog/Mostek Z80 Assembler Version 3.4 (Z80 CPU)

Pass 1
Pass 2

Errors    0

Sorting symbols

Finished


00>
```

Das Ergebnis dieses Prozesses besteht in der Generierung der beiden Dateien *hello.hex* und *hello.prn*. Letztendlich muss aus der HEX-Datei - wie schon vormals erwähnt - eine COM-Datei erzeugt werden, was mit dem Programm *hextocom* erfolgt.

10.4 Eine COM-Datei generieren

Im nächsten und letzten Schritt erfolgt die Generierung einer ausführbaren COM-Datei. Es muss die folgende Befehlszeile eingegeben werden.

```
hextocom <Dateiname>
```

Die Angabe der Dateiendung *.hex* ist hier - wie sollte es anders sein - nicht erforderlich.

```
00>hextocom hello
HexToCom v1.05 / 10 Jan 2016

(c) 2007-2016 FloppySoftware

First address: 0100
Last address:  04AD
Size of code:  03AE (942 dec) bytes

00>
```

Letztendlich liegt nun die *hello.com* Datei vor, die einfach ausgeführt werden kann.

10.5 Die COM-Datei ausführen

Jetzt kommt die Zeit der Wahrheit und es kann überprüft werden, ob die Quelldatei denn auch richtig programmiert wurde. Dazu muss die folgende Befehlszeile eingegeben werden.

```
<Dateiname>
```

Die Angabe der Dateiendung *.com* ist hier - ich muss es eigentlich ja wohl nicht mehr erwähnen - nicht erforderlich.

```
00>hello
Hello world!

00>
```

Und siehe da, die Nachricht wurde korrekt angezeigt. *Puhh!!!* Natürlich ist das hier kein Programmierkurs in C und deshalb werde ich mit diesem Beispiel diesen Compiler quasi beenden. Alle weiteren Informationen sind auf den genannten Internetseiten zu finden.

10.6 Ein weiteres kleines C-Programm

Im nächsten kleinen C-Programm wollen wir eine Eingabe machen und dann diesen Text mit der Anzahl der einzelnen Zeichen wieder ausgeben. Das Programm schaut wie folgt aus, wobei ich es *inout.c* genannt habe.

```
#include "mescc.h"
#include "conio.h"
#include "printf.h"

int main()
{
    char c, sentence[80];
    int i;
    i = 0;
    puts("Enter text:");
    while((c=getchar())!='\r')
        sentence[i++]=c;
    sentence[i]='\0';
    puts("\nText was:");
    puts(sentence);
    printf("with %d letters.\n", i);
    return 0;
}
```

Hier kommen einige Programmkonstrukte der Programmiersprache C zum Einsatz.

- Datentypen
- Variablen
- Array
- Schleife
- Funktion zur Eingabe
- Funktion zur formatierten Ausgabe
- Escape-Steuerzeichen

Das sind natürlich einige Aspekte, die für einen Einsteiger in der Programmiersprache C absolut neu sind. Dies soll aber kein Grundkurs in C sein und darum bringe ich nur ein paar essentielle Dinge. Die verwendete Funktion zur Anzeige einer Zeichenkette oder einzelner Zeichen *printf* ist etwas flexibler, als *puts*, denn mit ihr kann eine formatierte Ausgabe erzielt werden. Um diese zu nutzen, muss jedoch eine neue #include-Zeile mit dem Namen der entsprechenden Header-Datei eingefügt werden. Über die *while*-Schleife wird die Eingabe der eingegebenen Zeichen mithilfe der *getchar*-Funktion solange fortgeführt, bis die *RETURN*-Taste gedrückt wird, was dem Zeichen *\r* entspricht, wobei das einzelne Zeichen in der Variablen *c* gespeichert wird und im Endeffekt alle Zeichen im Array *sentence* abgelegt sind. Die Funktion *puts* zeigt die eingegebenen Zeichen an und über die *printf*-Funktion kommt es dann letztendlich zur Anzeige der Variablen *i*, in der ein Anzahl der eingegebenen Zeichen gespeichert sind. Das Zeichen *\n* bewirkt nach der Ausgabe einen Zeilenvorschub. Eine mögliche Ein und Ausgabe schaut dann wie folgt aus.

```
00>inout
Enter text:
Z80-Playground
Text was:
Z80-Playground
with 14 letters.

00>
```

10.7 Verschiedene Farben auf der Konsole ausgeben

Wenn es um die Ansteuerung eines Terminals geht, dann ist das *VT100* sehr verbreitet. Es handelt sich um ein ASCII-Computer-Terminal, das von der Firma *Digital Equipment Corporation* (DEC) in den Jahren 1978 bis 1983 hergestellt wurde. Wenn es zum Beispiel um die Steuerung des Cursors oder um die Darstellung verschiedener Farben geht, dann werden sogenannte *ANSI-Escape-Sequenzen* verwendet. Es werden dabei anstelle von darzustellenden Buchstaben und Zahlen definierte Zeichenfolgen als Steueranweisungen an das Terminal gesendet, die mit dem Escape-Zeichen (ASCII: dezimaler Wert = 27, oktal = 033) beginnen.

Um also zum Beispiel die Vordergrundfarbe eines anzuzeigenden Textes zu ändern, werden die folgenden Escape-Sequenzen verwendet.

- Black: \033[0;30m
- Red: \033[0;31m
- Green: \033[0;32m
- Yellow: \033[0;33m
- Blue: \033[0;34m
- Purple: \033[0;35m
- Cyan: \033[0;36m
- White: \033[0;37m

Für Fettschrift (BOLD) muss einfach die anfängliche 0 vor dem Semikolon durch eine 1 ersetzt werden. BOLD Yello wäre dann *\033[1;33m*.

Ein entsprechendes C-Programm kann wie folgt ausschauen.

```
#include "mescc.h"
#include "conio.h"
#include "printf.h"

main()
{
    printf("\033[0;31m");
    printf("Red\n");
    printf("\033[0;32m");
    printf("Green\n");
    printf("\033[1;33m");
    printf("Yello\n");
}
```

Die Ausgabe schaut dann wie folgt aus.

```
00>color
Red
Green
Yello

00>
```

Es ist hoffentlich zu sehen, dass die Textausgabe für Gelb (Yello), fett dargestellt ist.

10.8 Cross-Compiler

Natürlich gibt es auch hinsichtlich eines C-Compilers einen *Cross-Compiler*, der einen vorhandenen Quellcode auf einer fremden Plattform wie zum Beispiel Windows kompilieren kann, um ihn unter CP/M hinsichtlich des Z80 lauffähig zu machen.

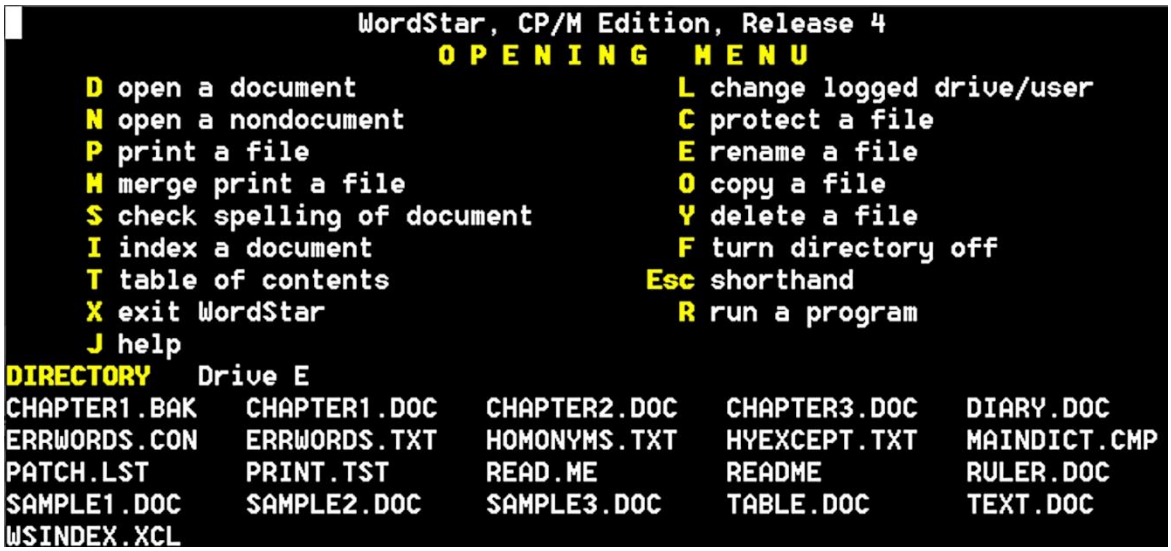
https://z88dk.org/site/

11 Namhafte CP/M-Programme

Natürlich gibt es unter CP/M sehr namhafte Programme, die später unter dem Betriebssystem Windows als neue und eigene Entwicklungen präsentiert wurden und dann wirklich sehr viel Geld in die Taschen gespült wurden. Ich kann und will es nicht beurteilen, ob hier viele Ideen übernommen und/oder geklaut wurden, denn das muss jeder selbst recherchieren. Wer an der Wahrheit interessiert ist, wird sie auch finden.

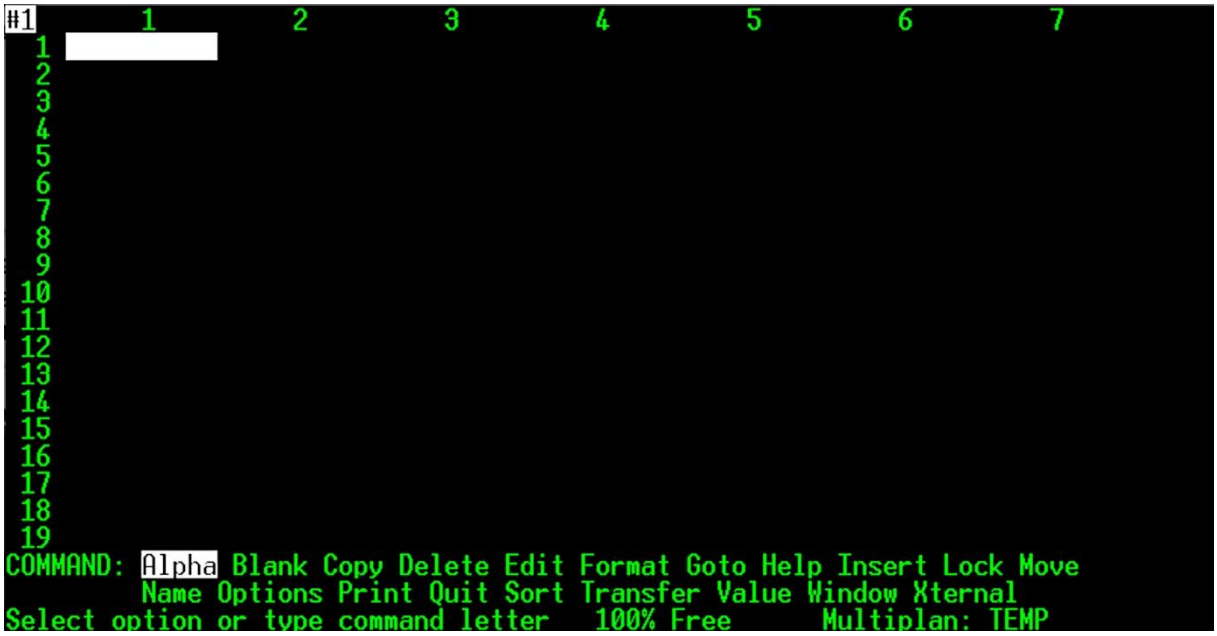
11.1 WordStar

Das Programm *WordStar* war eines der ersten Textverarbeitungsprogramme für einen Computer und die Version 1.0 war eine Weiterentwicklung des Programms *WordMaster*, das im September 1978 für das Betriebssystem CP/M entwickelt beziehungsweise veröffentlicht. Natürlich ist *WordStar* in der Version 3.0 auch standardmäßig auf dem Z80-Playground installiert und auf dem Laufwerk *D:* zu finden, wobei die Nachfolgeversion 4.0 auf dem Laufwerk *E:* beheimatet ist.

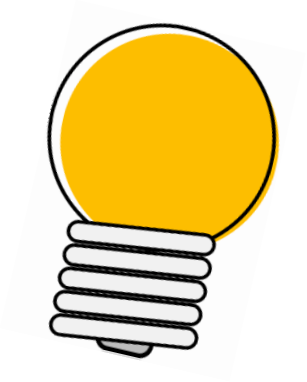


11.2 Multiplan

Das Programm *Multiplan* ist ein Tabellenkalkulationsprogramm der Firma *Microsoft*. Es wurde im Jahre 1982 veröffentlicht und zunächst für CP/M und dann MS-DOS, später auch für den Rechner Apple II sowie den Apple Macintosh umgesetzt. Es gab sogar eine Version für den Commodore 64. Die entsprechenden COM-Dateien sind im Netz zu finden.


#1
1 2 3 4 5 6 7
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
COMMAND: Alpha Blank Copy Delete Edit Format Goto Help Insert Lock Move
Name Options Print Quit Sort Transfer Value Window Xternal
Select option or type command letter 100% Free Multiplan: TEMP

12 Tipps und Tricks



12.1 Eine eingegebene Befehlszeile erneut aufrufen

Das Betriebssystem CP/M kannte seinerzeit noch keine Möglichkeit, abgesetzte Kommandos noch einmal zu wiederholen. Doch durch das verwendete Terminalprogramm *Terra Term* ist es sehr einfach, eine zuvor abgesetzte Befehlszeile mit der Maus zu markieren, und dann mit der rechten Maustaste hinter das angezeigte Prompt wieder einzufügen. Dann kann die Zeile dort editiert werden, was gerade bei etwas längeren Befehlszeilen etwas Mühe und Zeit erspart.

12.2 Den Inhalt des Terminals löschen

Um den Inhalt des gerade angezeigten Terminals zu löschen, kann der Befehl *cls* (Clear Screen) eingegeben werden.

13 Freie interessante Literatur

Im Internet gibt es Unmengen an freier Literatur, die sich mit dem Z80 und CP/M befassen. Nachfolgend liste ich einige Links dazu auf.

13.1 Z80-CPU

https://www.zilog.com/docs/z80/um0080.pdf

http://www.cpcwiki.eu/imgs/9/9f/Das_Z80-Buch.pdf

http://oldcomputers-ddns.org/public/pub/manuals/zaks_programmierung_des_z80_bw.pdf

http://www.bitsavers.org/components/zilog/z80/03-0029-01_Z80_CPU_Technical_Manual_1977.pdf

https://feldtmann.ddns.net/rc2014/doc/Z80%20Assembly%20Language%20Subroutines.pdf

http://www.fundus.org/pdf.asp?ID=6378

13.2 CP/M

http://www.cpm.z80.de/manuals/cpm22-m.pdf

http://www.cpm.z80.de/randyfiles/DRI/ASM.pdf

http://bitsavers.informatik.uni-stuttgart.de/pdf/digitalResearch/cpm/CPM_Assembly_Language_Programming_1983.pdf

http://www.cpcwiki.eu/imgs/5/5d/CPM-Handbuch.pdf

https://mirrors.apple2.org.za/ftp.apple.asimov.net/documentation/programming/cpm/Programmers%20CPM%20Handbook%20by%20Andy%20Johnson-Laird.pdf

13.3 MBASIC

http://www.bitsavers.org/pdf/dec/terminal/vt180/AA-P226A-TV_BASIC-80_Reference_Manual_VT180_V5.21_1981.pdf

http://www.msxarchive.nl/pub/msx/mirrors/msx2.com/sources/mbasic.pdf

http://www.cpm.z80.de/manuals/microsoft_softcard_volume_2.pdf

13.4 C-Programmierung

https://openbook.rheinwerk-verlag.de/c_von_a_bis_z/

13.5 Internetseiten

https://www.z80cpu.eu/mirrors/www.z80.info/index.htm

http://www.gaby.de/z80/z80lit.htm

http://www.cpm.z80.de/drilib.html

http://oldcomputers-ddns.org/public/pub/manuals/

http://www.cpm.z80.de/develop.htm

http://www.z80.eu/c-compiler.html

http://www.retroarchive.org/

https://www.ndr-nkc.de/compo/doku/books.htm

https://colorcomputerarchive.com/repo/Documents/Books/

14 Abschließend

Ich hoffe, ich konnte ein wenig bei der Einführung eines CP/M-Rechners behilflich sein und wünsche viel Spaß damit!

Weitere Informationen sind auf meiner Internetseite zu finden.

	**Hyperlinks!**
https://erik-bartmann.de/	

Frohes Frickeln!

Erik Bartmann