Assembler

Prozessor-
unabhängig

Prozessor-
abhängig

Programm in einer Hochsprache

↓

Übersetzer (Compiler)

↓

Assemblerprogramm

↓

Übersetzer (Assembler)

↓

Maschinenprogramm

```
int fact (int n)
{
    f = 1;
    i = 1;
    while (i++ < n)
        f = f * i;
    return (f);
}
```

```
LDB     -1, X
CMPB      ,X
BGE     OUT
INCB
STB     -1, X
LDA     -2 ,X
MUL
STB     -2 ,X
BRA     REPEAT
```

```
0100110 01101111 01010101
0000100 01010110 01000010
0011111 11000110 11111000
0000000 00100100 01110001
```

Maschinencode des Beispielprogramms: “Rotate Right“

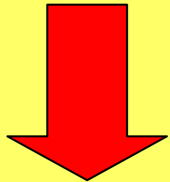
Sp.- Adr	OPC	OP-Adr.	HEX	Octal
00010000	1001	10000001	10 9 81	020 4601
00010001	1000	00000000	11 8 00	021 4000
00010010	1011	10000010	12 B 82	022 5602
00010011	1011	10000100	13 B 84	023 5604
00010100	1010	10000011	14 A 83	024 5203
00010101	1001	10000000	15 9 80	025 4600
00010110	0101	00000000	16 5 00	026 2400
00010111	1010	10000000	17 A 80	027 5200
00011000	1001	10000010	18 9 82	030 4602
00011001	1000	00000000	19 8 00	031 4000
00011010	1011	10000010	1A B 82	032 5602
00011011	1011	10000011	1B B 83	033 5603
00011100	0001	00011110	1C 1 1E	034 0436
00011101	0010	00010101	1D 2 15	035 1025
00011110	0000	00000000	1E 0 00	036 0000

Zahlendarstellung

Dezimal (Basis 10)	Dual (Basis 2)	Oktal (Basis 8)	Hexadezimal (Basis 16)
0	0	0	0
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	3	3
4	100	4	4
5	101	5	5
6	110	6	6
7	111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F
16	10000	21	10
•	•	•	•

Assembler

Eingabe: Textdatei(en)
Quellprogramm



Ausgabe: Maschinen
Code

- Assembler ist der „Compiler“ für die Maschinensprache eines Prozessors.

  Unterstützt werden:
  - Symbolische Befehle eines Prozessors (Mnemotechnische Codes)
  - Notation für Adressierungsarten
  - Festlegen von Speicheradressen für Programme und Daten
  - Symbolische Speicheradressen *(Labels)*
  - Durchführung von Adreßrechnungen

- Vorteil gegenüber Maschinenprogrammen:
  - leichter schreibbar
  - leichter lesbar
  - weniger fehleranfällig

Assembler

Eigenschaften:

- reflektiert die Architektur des Rechners
- gibt genau an, was im Rechner geschieht, d.h. 1:1 Abbildung von Programmstatement und Maschinenoperation
- Vorhersagbarkeit (Predictability) für zeitkritische Anwendungen, z.B. in Steuerungssystemen
- Kompakter Code

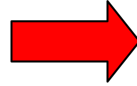
Aussagen über Struktur und Leistungsfähigkeit eines Prozessors werden durch das Programmiermodell eines Rechners ermöglicht. Es erlaubt die Beurteilung einer Rechnerarchitektur vom Standpunkt eines Compiler- oder Betriebssystementwicklers. Der Assembler ermöglicht den Umgang mit dem Rechner auf der Ebene des Programmiermodells.

Das Programmiermodell umfaßt:

Befehlssatz,
Registerorganisation,
Speicherorganisation
Adressierungsmodi
Ausnahmebehandlung
Ein/Ausgabe

```
LOOP    LDA     5, PCR
        ADDA    LABEL
        BHI     LOOP

LABEL   some data
```



A6
8C
BB
label ?
label ?
22
FA

10100110
10001100
10111011
01101101
01101101
00100010
11111010

foo.as

Quelltext → Assembler → Ausführbares Programm → Lader/Binder → Speicher

Einfache Assemblierung

- Zuordnung von Namen zu Binärzahlen
- Mnemotechnische Codes
- Statische Reservierung von Speicherplatz
- Berechnung von Sprungadressen
- Erstellen der Speicherbelegung

Assemblerbefehle (Zeilenorientiert)

[<Label>] <Opcode> [<Operanden>] [<Kommentar>]

Label:	**symbolische Marke die (meist) mit der aktuellen Speicheradresse verbunden wird**
Opcode:	**symbolischer Maschinenbefehl oder Assemblerdirektive (Steueranweisung für den Assembler)**
Operanden:	**z.B. Angaben zur Adressierungsart, Adressen**
Kommentar:	**meist bis Ende der Zeile (oft eingeleitet mit speziellem Zeichen, z.B. * oder ;)**

Assembler Direktiven:

Assembler Direktiven sind Statements, die nicht direkt ausführbarem Code entsprechen, sondern zur Steuerung der Übersetzung dienen.

EQUATE oder DEFINE	**name EQU number** **name EQU name**
ORIGIN	**ORG name** **ORG number**
RESERVE	**RMB number**
DATA	**FCB number** **FDB number** **FCC string (ASCII)**

Zahlendarstellung

Dezimalzahlen: wie gewohnt,	z.B. **55 meist default, sonst oft &55**
Hexadezimalzahlen: mit führendem **$**-Zeichen,	z.B. **$a0**
Octalzahlen: mit führendem @ Zeichen	z.B. **@71**
Binärzahlen: mit führendem **%**-Zeichen,	z.B. **%00101001**
Oft auch Berechnungen im Text möglich:	z.B. **$a0+5**

Konstantendefinition:

\# : bezeichnet Konstanten im Programmtext (immediate) LDA #23, ADDA #$AF

FCB, FDB, FCC: typische Verwendung: Label FCB %10101010

Label FCC „das ist eine Zeichenkette“

Zuordnung Konstante → Symbolischer name:

Assemblerdirektive EQU

Beispiel: Length EQU $0400 Label Length wird mit Konstante $0400 verknüpft

Length wird nun vom Assembler immer durc 400 ersetzt.

Daher auch in Befehlen verwendbar, z.B. LDX #Length+$8

Reservierung von Variablen:

RMB: Reserve Memory Byte(s) typische Verwendung Label RMB 2

Array RMB 256

Beispiel Codierung einer Siebensegmentanzeige

SP. Adr	OPC	OP	SP.M	MNE.	OP	Kommentar
				ORG $A000		
				MMSEG EQU $FF00		
A000	3F			CLRB		setzt den Fehlercode : löschen des Displays
A001	96	A0		LDA	$A0	Wert in den Acc. A holen
A003	81	09		CMPA	#9	ist der Wert eine Ziffer 0…9 ?
A005	22	05		BHI	DONE	wenn A > 9 bleibt der Fehlercode gesetzt
A007	8E	AF00		LDX	#SSG	Lade X mit dem Beginn der Conversionsliste “SSG“
A00A	E6	86		LDB	A, X	Lade 7-Segment Muster in Acc A
A00C	D7	FF00	DONE	STB	MMSEG	Abspeichern auf ein Ausgabegerät
A010	39			RTS		Return from Subroutine
AF00			SSG	FCB	$3F, $06, $5B, $4F, $66	
AF05				FCB	$6D, $7D, $07, $7F, $6F	
FF00			MMSEG	……	………	Adresse des Ausgabegeräts

Im Assembler-Statement: ‘ADD $69‘ bezeichnet ‘$69‘ eine Adresse.
Ein unmittelbarer Operand wird durch ‘#‘ gekennzeichnet: ADD #$69 !

Macros: spezifizieren eine Folge von Assembler Statements, die bei der Assemblierung in den Code “expandiert“ werden.

Bedingte Assemblierung:

if CONDITION = TRUE then expand code
else endif

IF CONDITION
•
• Code wird zwischen IF ind ENDIF in das
• Maschinenprogramm eingefügt
•
ENDIF

Beispiel für bedingte Assemblierung:

```
HasFloppy EQU 1
...
if HasFloppy
LDA #... * wird nur assembliert
... * wenn HasFloppy ungleich Null
endif
```

Assemblieren und Binden mehrerer Assemblermoduln

Binder

Zusammenfügen getrennt übersetzter und assemblierter Softwareteile

insbesondere Einbinden von Bibliotheken

Lader

Laden eines Programms in den Hauptspeicher

Verwaltung und Berücksichtigung von Relokationsinformation

Programm verschiebbar im Hauptspeicher

Bindemodul ortsunabhängig

Direktiven des Linkers:

EXTERNAL (import)	**EXT name**
ENTRY (export)	**ENT name**

Compilierung von Hochsprachenprogrammen

test.c

C-Programm

```
int main()
{
    exit(0);
}
```

test.s

Assembler

```
main:
 pushl %ebp
 movl %esp,%ebp
 pushl $0
 call exit
 addl $4,%esp
 movl  %ebp,%esp
 popl %ebp
 ret
```

test.o

Bindemodul

```
0000 55
0001 89E5
0003 6A00
0005 E800000000
000a 83C404
000d 89EC
000f 5D
0010 C3

main: 0

0006: exit ADDR32
```

Erzeugung beim Compilevorgang

ersetze Adresse von exit

test.o	test	Prozess
Bindemodul	**Lademodul**	**Speicherabbild**

```
test.o                       test                          Prozess
Bindemodul                   Lademodul                     Speicherabbild

0000 55                      ...                           ...
0001 89E5          →         0030 55              →        2130 55
0003 6A00                    0031 89E5                     2131 89E5
0005 E800000000              0033 6A00                     2133 6A00
000a 83C404                  0035 E848010000               2135 E848220000
000d 89EC                    003a 83C404                   213a 83C404
000f 5D                      003d 89EC                     213d 89EC
0010 C3                      003f 5D                       213f 5D
                             0040 C3                       2140 C3
main: 0                      ...                           ...

0006: exit ADDR32            0036: ADDR32 TXT
```

ersetze Adresse von exit

ersetze Adresse relativ zum Befehlssegment

Adresse ist nun absolut
Befehlssegment: 2100

fac.c

```
main ()
{
    printf ("die Fakultät von 5 ist: %d\n", fact (5));
}

int fact (int n)
{
    if (n < 1)
      return (1);

    else
     return (n * fact (n-1));
}
```

gcc –S fac.c

fac.s

```
                .file           "fac.c"
                .version        "01.01"
gcc2_compiled.:
.section        .rodata
.LC0:
                .string         "die Fakult\344t von 5 ist: %d\n"
.text
                .align 16
.globl main
                .type            main,@function
main:
                pushl %ebp
                movl %esp,%ebp
                subl $8,%esp
                addl $-8,%esp
                addl $-12,%esp
                pushl $5
                call fact
                addl $16,%esp
                movl %eax,%eax
                pushl %eax
                pushl $.LC0
                call printf
                addl $16,%esp
.L2:
                movl %ebp,%esp
                popl %ebp
                ret
.Lfe1:
                .size            main,.Lfe1-main
                .align 16
.globl fact
                .type            fact,@function
fact:
                pushl %ebp
                movl %esp,%ebp
                subl $8,%esp
                cmpl $0,8(%ebp)
                jg .L4
                movl $1,%eax
                jmp .L3
                jmp .L5
                .p2align 4,,7
.               .
.               .
.               .
.               .
```

as –a fac.s > fac1.s

```
GAS LISTING fac.s                                               page 1


   1                                    .file           "fac.c"
   2                                    .version        "01.01"
   3                        gcc2_compiled.:
   4                        .section    .rodata
   5                        .LC0:
   6 0000 64696520                      .string         "die Fakult\344t von 5 ist: %d\n"
   6      46616B75
   6      6C74E474
   6      20766F6E
   6      20352069
   7                        .text
   8                                    .align 16
   9                        .globl main
  10                                    .type            main,@function
  11                        main:
  12 0000 55                            pushl %ebp
  13 0001 89E5                          movl %esp,%ebp
  14 0003 83EC08                        subl $8,%esp
  15 0006 83C4F8                        addl $-8,%esp
  16 0009 83C4F4                        addl $-12,%esp
  17 000c 6A05                          pushl $5
  18 000e E8FCFFFF                      call fact
  18      FF
  19 0013 83C410                        addl $16,%esp
  20 0016 89C0                          movl %eax,%eax
  21 0018 50                            pushl %eax
  22 0019 68000000                      pushl $.LC0
  22      00
  23 001e E8FCFFFF                      call printf
  23      FF
  24 0023 83C410                        addl $16,%esp
  25                        .L2:
  26 0026 89EC                          movl %ebp,%esp
  27 0028 5D                            popl %ebp
  28 0029 C3                            ret
  29                        .Lfe1:
  30                                    .size            main,.Lfe1-main
  31 002a 8DB60000                      .align 16
  31      0000
  32                        .globl fact
  33                                    .type            fact,@function
  34                        fact:
  35 0030 55                            pushl %ebp
  36 0031 89E5                          movl %esp,%ebp
  37 0033 83EC08                        subl $8,%esp
  38 0036 837D0800                      cmpl $0,8(%ebp)
  39 003a 7F09                          jg .L4
  40 003c B8010000                      movl $1,%eax
  40      00
  41 0041 EB1E                          jmp .L3
  42 0043 EB1C                          jmp .L5
  43                                    .p2align 4,,7
   .                                    .
   .                                    .
   .                                    .
```

as –o fac.o fac.s

od -x fac.o

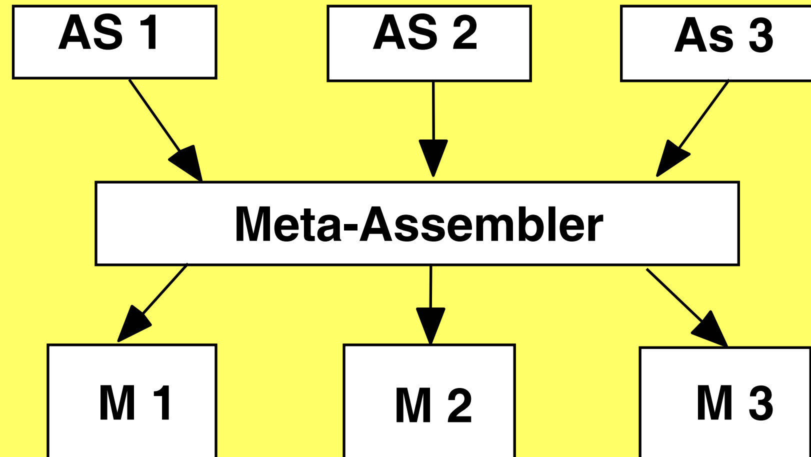
```
0000000 457f 464c 0101 0001 0000 0000 0000 0000
0000020 0001 0003 0001 0000 0000 0000 0000 0000
0000040 0150 0000 0000 0000 0034 0000 0000 0028
0000060 000b 0008 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000100 8955 83e5 08ec c483 83f8 f4c4 056a fce8
0000120 ffff 83ff 10c4 c089 6850 0000 0000 fce8
0000140 ffff 83ff 10c4 ec89 c35d b68d 0000 0000
0000160 8955 83e5 08ec 7d83 0008 097f 01b8 0000
0000200 eb00 eb1e 831c f4c4 458b 4808 e850 fffc
0000220 ffff c483 8910 89c0 0fc2 55af 8908 ebd0
0000240 8900 5dec 8dc3 2674 8d00 27bc 0000 0000
0000260 0008 0000 0000 0000 0001 0000 3130 302e
0000300 0031 0000 6964 2065 6146 756b 746c 74e4
0000320 7620 6e6f 3520 6920 7473 203a 6425 000a
0000340 4700 4343 203a 4728 554e 2029 2e32 3539
0000360 332e 3220 3030 3031 3133 2035 5328 5375
0000400 2945 0000 732e 6d79 6174 0062 732e 7274
0000420 6174 0062 732e 7368 7274 6174 0062 742e
0000440 7865 0074 722e 6c65 742e 7865 0074 642e
0000460 7461 0061 622e 7373 2e00 6f6e 6574 2e00
0000500 6f72 6164 6174 2e00 6f63 6d6d 6e65 0074
0000520 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
*
```

Assembler Typen

Cross-Assembler: läuft auf einer (meist leistungsfähigen) Wirtsmaschine
prodiziert Code für eine andere Zielmaschine
Wirtsmaschine mit guter Textverarbeitung/Filesystem/Simulator etc.
Zielmaschine z.B. “embedded Computer“

Resident Assembler: Wirtsmaschine und Zielmaschine sind gleich

Meta-Assembler: Assembler für verschiedene Instruktionssätze



Maschinenunabhängiger Binärcode: Die Hardware/Firmware emuliert einen einheitlichen Architektur-unabhängigen Maschinenbefehlssatz

Nachteile von Assembler gegenüber einer höheren Programmiersprache:

- **Maschinennahe Abstraktionsebene**
  - einfache Datentypen
  - keine Modularisierung auf der Sprachebene
  - wenige Überprüfungen der Korrektheit möglich

- **Portierbarkeit, Lesbarkeit, Fehlermöglichkeiten, Wartbarkeit**

- **Asm.Progr. wird z.B bei RISC-Prozessoren immer schwieriger (delayed branching, umsortieren v. Instr. bei Datenabhängigkeiten)**

Assember ist (meist) keine Alternative zu einer problemorientierten Hochsprache sondern dient zur Beurteilung einer Rechnerarchitektur und elementarer Programmier-konstrukte.