ARM-Cortex-M4 / Thumb-2-Befehlssatz
Adressierungsarten und arithmetische Operationen

Name : _____	**Name : _____**
Vorname : _____	**Vorname : _____**
Matrikel-Nr : _____	**Matrikel-Nr : _____**
Datum:	

Aufgabenstellung:

- das beigefügte Assembler-Programm schrittweise ausführen, dazu sind die Codeabschnitte vorbereitet mitzubringen
- sich mit der Handhabung des Entwicklungswerkzeuges vertraut machen
- mit dem Debugger die Belegung von Hauptspeicher und Registern ermitteln

Themen zur Aufgabenstellung:

- Speicherorganisation im Hauptspeicher und in den Registern
- Transportbefehle
- Addition von signed und unsigned Integer-Werten
- Adressierungsarten

Die ermittelten Register- und Speicherinhalte sind in das beigefügte Schema einzutragen. Geben Sie alle Register- /Speicherinhalte **im Hexformat** an.

Hinweise zur Abgabe der Aufgabenbearbeitung:

Die Bearbeitungsergebnisse werden zum Abschluss des Labortermins dem Professor oder dem Assistenten vorgestellt. Nachbearbeitungen sind bis zum nächsten Labortermin vorzulegen.

Vorbereitungsaufgaben bitte bearbeiten und erklären können

1. Geben Sie das 8-Bit-Zweierkomplement der folgenden Zahlen an:
   a) +66

   b) -57

2. Geben Sie den Dezimalwert der folgenden vorzeichenlosen 8-Bit-Binärzahl an:
   1001 1011

3. Geben Sie die Dezimalwerte der folgenden 8-Bit-Zweierkomplement-Zahlen an:

   a) 1011 1110
   b) 0111 0111

4. Addieren Sie binär und geben Sie die Flags an:

a)
```
  00101111
+ 01011001
----------
```
C =
V =
N =

Vorzeichenlose Rechnung richtig?
Vorzeichenbehaftete Rechnung

b)
```
  11111110
+ 10111110
----------
```
C =
V =
N =

Vorzeichenlose Rechnung richtig?
Vorzeichenbehaftete Rechnung

5. Subtrahieren Sie durch „Addition des Zweierkomplements“ und geben Sie die Flags an:

a) 00111100 – 01011111

```
  00111100
+
----------
```
C =
V =
N =

Vorzeichenlose Rechnung richtig?
Vorzeichenbehaftete Rechnung

b) 10000010 – 01000001

```
  10000010
+
----------
```
C =
V =
N =

Vorzeichenlose Rechnung richtig?
Vorzeichenbehaftete Rechnung

6. Geben Sie die Codierung des folgenden 0-terminierten ASCII-Strings im Hex.-Format an:
“DA da 04“,0

Initialisierungsteil des Assemblerprogramms

```
; Schreibkonvention für Schlüsselwörter im ARM-Assembler des Keil uVision Werkzeugs
; Groß-/Kleinschreibung akzeptiert, jedoch nicht 'mixed' im Schlüsselwort
; Konvention h i e r: Direktiven GROSS, Parameter für Direktiven: klein
;
; label:        Anfang immer in Spalte 0, case sensitive
; Direktiven:  mindestens ein blank am Anfang
; Konstanten: binär: 2_10111000... / dezimal: 12345... /  hexadezimal: 0xaffe…
;
;*****************************************
; Initialisierte globale Daten im Data-RAM mit Startadresse 0x20000000
;*****************************************
        AREA MyData, DATA, align = 4      ; align !!=!! : p a r a m e t e r für den Block MyData,
                                          ; Grenze des B l o c k s: modulo 16 =  2^4
                                          ; 16-Byte-Alignment wg. Darstellung im Memory-Fenster
; folgende GLOBAL-Vereinbarungen jeweils zeilenweise angeben, um Warnungen zu vermeiden
        GLOBAL MyData, MeinNumFeld, MeinHaWoFeld, MeinTextFeld, MeinByteFeld, MeinBlock

; DCD: 32 Bit Word / DCW: 16 Bit Halfword / DCB: Byte
MeinNumFeld   DCD    0x33,  2_01111110,  -57,  66,  0x70000000,  0x80000000

MeinHaWoFeld  DCW    0x1234, 0x5678, 0x9abc, 0xdef0

MeinTextFeld  DCB    "ABab0123",0     ; Nullterminierung bei Strings

              ALIGN  4                ; wegen besserer Darstellung im Memory-Fenster

MeinByteFeld  DCB    0xef, 0xdc, 0xba, 0x98
;*****************************************
; nicht Initialisierte globale Daten (Data-RAM)
;*****************************************
              ALIGN  4                ; empfehlenswert für hohe Performance, wenn in MeinBlock
MeinBlock     SPACE  0x20             ; Worte und Halbworte abgelegt werden
```

Geben Sie die RAM-Belegung im Hex-Format ab Adresse 0x20000020 an. Dazu &**MeinNumFeld** in das Memory-Fenster eingeben.
Beachten Sie die Little Endian Darstellung mit Least Significant Byte First.

Adresse	+0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9	+A	+B	+C	+D	+E	+F
0x20000020																
0x20000030																
0x20000040																
0x20000050																

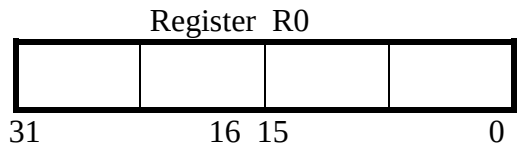
Ggf. Adressen entsprechend Memory-Fenster des Debuggers anpassen.

Laden von Konstanten in Register

01 Konstanten der Form $m \cdot 2^N$ mit m=0…255=0xFF und N=0…31 als Links-Schiebefaktor können mit **mov** direkt in ein Register geladen werden oder mit **add**, **sub**,… verarbeitet werden.
$m=0…2^{16}-1=0xFFFF$ **ohne** shift geht beim Cortex **nur** bei **mov**, jedoch **nicht** bei **add**, **sub**,…

```
mov  r0,#0x21                ; Anw-01
```

1. Geben Sie den Registerinhalt nach Ausführung von Anw. 01 an.



---

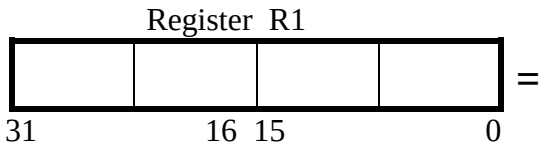
02 Der ARM-Assembler erlaubt auch die Angabe negativer Konstanten, z.B. **mov R1, #-10**.
Der Assembler ersetzt dann diesen Befehl durch

mvn R1, #10-1 ;bzw.
mvn R1, #9 **;**da Einerkomplement = Zweierkomplement - 1.

Mit **mvn** wird das *Einerkomplement* einer Konstante der Form $m \cdot 2^N$ mit m=0…255 und N=0…31 (Links-Schiebefaktor) in ein Register geladen. Durch Subtraktion einer 1 vor der Negation wird das *Zweierkomplement* der Konstante abgelegt.

```
mov  r1,#-4                  ; Anw-02
```

1. Geben Sie den Registerinhalt nach Ausführung von Anw. 02 an.
2. Vergleichen Sie die programmierte Anw. mit -4 (vgl. Editor) mit der tatsächlich vom ARM-Assembler assemblierten Anweisung (vgl. Disassembler).



Dezimalwert bei vorzeichenbehafteter Interpretation: ___

Dezimalwert bei vorzeichenloser Interpretation: _____

---

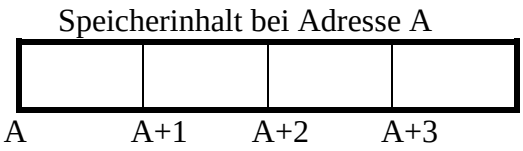
03 Andere Konstanten müssen zuvor im Speicher abgelegt werden, z.B. am Ende des Programms. Dort kann man dann mit Hilfe relativer Adressierungsarten darauf zugreifen. Da dies mühevoll zu programmieren ist, bietet der ARM-Assembler einen ***Pseudobefehl*** an: **ldr R2, =0x12345678**.

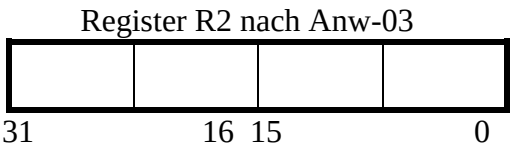
Der Assembler sorgt dafür, dass die Konstante im Programmspeicher abgelegt wird und der Pseudobefehl ersetzt wird z.B. durch **ldr R2, [PC, #0x54]**, d.h. der Prozessor greift relativ zum ProgramCounter auf die im Speicher abgelegte Konstante zu.

```
ldr   r2,=0xfe543210         ; Anw-03
```

1. Auf welcher Adresse A liegt die Konstante (vgl. Disassembler)?
2. Geben Sie den Speicherinhalt bei Adresse A an (vgl. Memory-Viewer).
3. Geben Sie den Registerinhalt nach Ausführung von Anw. 03 an.

Adresse A = _____ (Hex.)





Laden von Variablen in Register

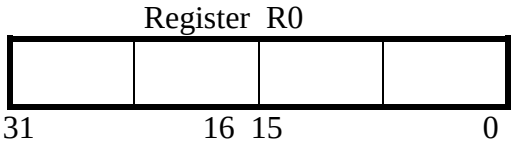
04 Der ARM hat keine direkte Adressierung mi *„Lade Inhalt von Adresse xxxxx“*. Aus diesem Grund wird erst die Adresse des zu lesenden Speichers als Konstante geladen. Anschließend wird indirekt auf die Speicheradresse zugegriffen.

Beispiel: „MeineVariable“ sei die symbolische Adresse (label) des zu lesenden Datenfeldes. Die Variable wird mit der folgenden Befehlssequenz gelesen:

```
ldr     r0, =MeineVariable
ldr     r1, [r0]
```

```
ldr     r0, =MeinByteFeld       ; Anw-04
```

1. Vergleichen Sie die programmierte Anw. 04 (s. Editor) mit dem assemblierten Befehl (s. Disassembler).
2. Geben Sie den Registerinhalt nach Ausführung von Anw. 04 an.

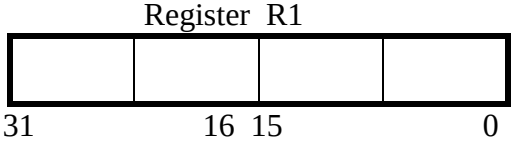


---

05 Auch bei Byte- und Halbwortzugriffen (z.B. : **ldrb r1, [r0]**) wird immer das ganze Zielregister verändert. Nicht verwendete Stellen werden mit 0 aufgefüllt.

```
ldrb    r1, [r0]                ; Anw-05 mit r0-Inhalt aus Anw-04
```

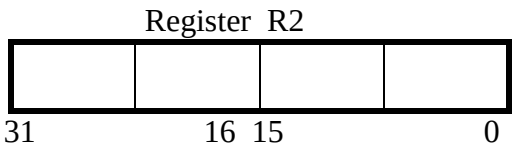
1. Geben Sie den Registerinhalt nach Ausführung von Anw-05 an.

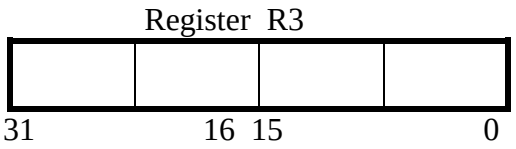


06…07 Beim *little-endian*-Byte-Ordering ist die **Reihenfolge der Bytes** in Halbworten und Worten im Speicher vertauscht!

```
ldrh    r2, [r0]            ; Anw-06
ldr     r3, [r0]            ; Anw-07
```

1. Geben Sie den Registerinhalt nach Ausführung von Anw. 06 und Anw. 07 an.
2. Erklären Sie das Ergebnis.



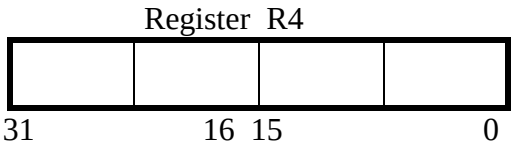


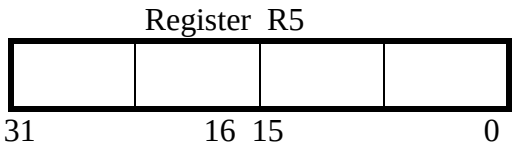
Feldzugriffe mit konstantem Offset

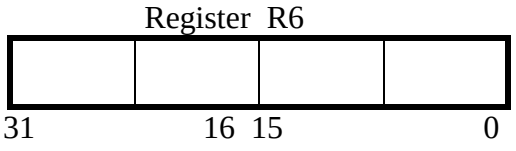
08 …10 Auf die Elemente von Datenfeldern (Arrays) wird z.B. mit einem Basisadressregister, das die Startadresse des Feldes enthält, und mit einem Offset zugegriffen.

```
ldr     r4, =MeinHaWoFeld   ; Anw-08 Startadresse laden
ldr     r5, [r4]            ; Anw-09
ldr     r6, [r4, #4]        ; Anw-10
```

1. Geben Sie die Registerinhalte nach Ausführung von Anw. 08 … 10 an.







Variablen speichern

11 …17 Beim Speichern von Halbworten und Worten ist das Alignment für hohe Performance empfehlenswert.

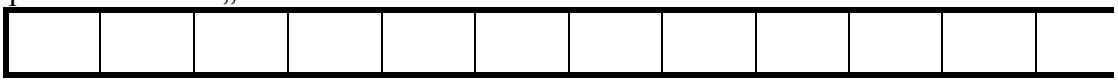
```
ldr   r0, =0x123456ab        ; Anw-11
ldr   r1, =MeinBlock         ; Anw-12
str   r0, [r1]               ; Anw-13
str   r0, [r1, #4]           ; Anw-14

mov r2, #0x1a                ; Anw-15
strb  r2, [r1, #9]           ; Anw-16
strb  r2, [r1, #10]          ; Anw-17
```

1. Geben Sie die Startadresse A des Speicherbereiches „MeinBlock“ an.
2. Geben Sie den Speicherinhalt ab „MeinBlock“ nach Ausführung von Anw. 11 … 17 an.

Adresse „MeinBlock“ = _____ (Hex.)

Speicherinhalt ab „MeinBlock“



A A+1 A+2 A+3 ….

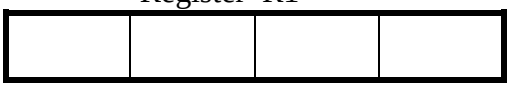
Ganzzahladdition und Flags

18 …21

```
ldr     r0,=MeinNumFeld      ; Anw-18
ldr     r1, [r0]             ; Anw-19
ldr     r2, [r0, #4]         ; Anw-20
adds    r3, r1, r2           ; Anw-21
```

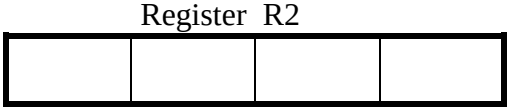
1. Geben Sie die Registerinhalte und Flags nach Ausführung von Anw. 18 … 21 an.

Register R1



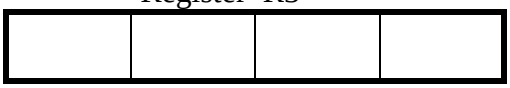
31 16 15 0

Register R2



31 16 15 0

Register R3



31 16 15 0

Negativ N = ……
Carry C = ……
Overflow V = ……

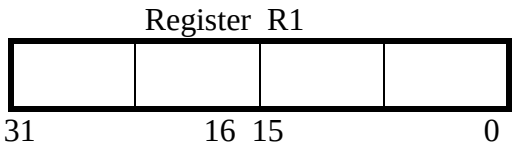
2. Angenommen die Operanden sind vorzeichenlos, war die Addition fehlerfrei?

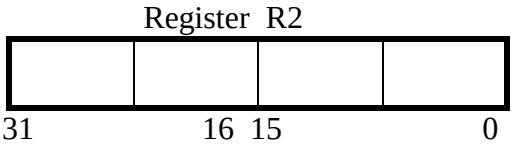
3. Angenommen die Operanden sind vorzeichenbehaftet, war die Addition fehlerfrei?

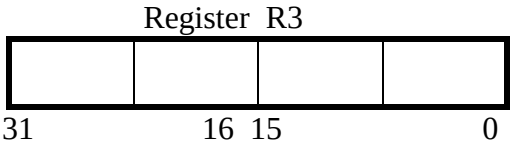
22 ...25 ----------

```
ldr     r0,=MeinNumFeld+8    ; Anw-22
ldr     r1, [r0]             ; Anw-23
ldr     r2, [r0, #4]         ; Anw-24
adds    r3, r1, r2           ; Anw-25
```

1. Geben Sie die Registerinhalte und Flags nach Ausführung von Anw. 22 … 25 an.







Negativ N = ……
Carry C = ……
Overflow V = ……

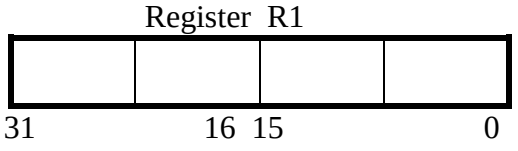
2. Angenommen die Operanden sind vorzeichenlos, war die Addition fehlerfrei?

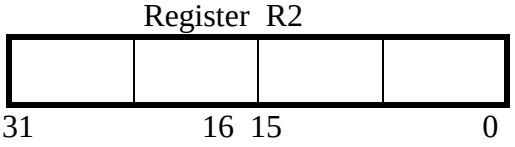
3. Angenommen die Operanden sind vorzeichenbehaftet, war die Addition fehlerfrei?

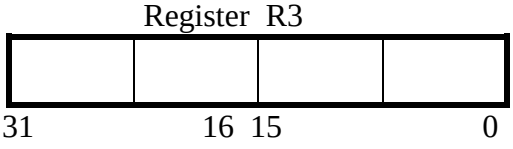
26 … 29 ----------

```
ldr   r0,=MeinNumFeld+16    ; Anw-26
ldr   r1, [r0]              ; Anw-27
ldr   r2, [r0, #4]          ; Anw-28
adds r3, r1, r2             ; Anw-29
```

1. Geben Sie den Registerinhalt nach Ausführung von Anw. 26 … 29 an.







Negativ N = ……
Carry C = ……
Overflow V = ……

2. Angenommen die Operanden sind vorzeichenlos, war die Addition fehlerfrei?

3. Angenommen die Operanden sind vorzeichenbehaftet, war die Addition fehlerfrei?

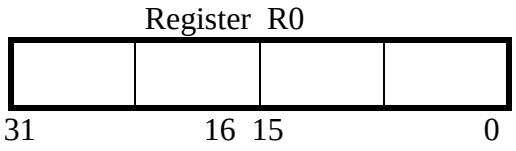
Feldzugriffe mit Offset

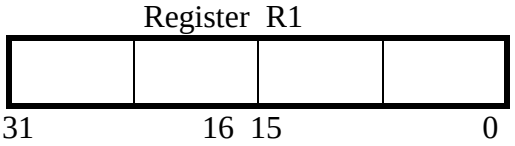
30 ...32 ----------

```
ldr     r0,=MeinTextFeld    ; Anw-30
ldrb    r1, [r0, #1]!       ; Anw-31
ldrb    r1, [r0, #1]!       ; Anw-32
```

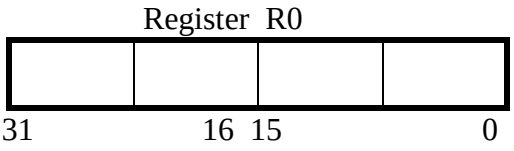
1. Benennen Sie die Adressierungsart:

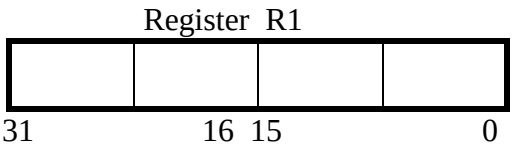
2. Geben Sie den Registerinhalt nach Ausführung von Anw. 30 … 31 an.





3. Geben Sie den Registerinhalt nach Ausführung von Anw. 32 an.



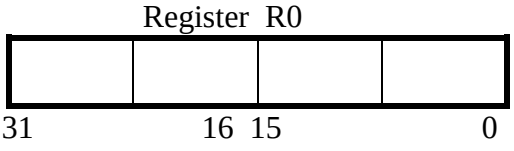


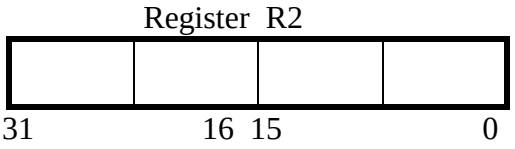
33 ... 35 ----------

```
ldr   r0,=MeinHaWoFeld    ; Anw-33
ldr   r2, [r0], #4        ; Anw-34
ldr   r2, [r0], #4        ; Anw-35
```

1. Benennen Sie die Adressierungsart:

2. Geben Sie den Registerinhalt nach Ausführung von Anw. 33 … 34 an.





3. Geben Sie den Registerinhalt nach Ausführung von Anw. 35 an.