

MUSTERPRÜFUNG D	Blatt Nr.: 1 von 14
Studiengang: Kommunikationstechnik Softwaretechnik Technische Informatik	Semester: SWB4, TIB4, KTB4
Prüfungsfach: Computerarchitektur 3	Fachnummer: 4021
Hilfsmittel: Vorlesungs- und Labormanuskript, Fachliteratur, Taschenrechner	Dauer: 90 min

Tragen Sie hier bitte Ihren Namen ein:

Vorname:	Nachname:
----------	-----------

Aufgabe 1: Verständnisfragen (35 Punkte)

- 1.1** Erklären Sie stichwortartig, in welchen Schritten aus einem C-Quellprogramm ein ausführbares Programm im Speicher des HCS12-Mikrocontrollers erstellt wird.

Lösung zu Aufgabe 1.1:

- 1.2** Ein HCS12 C-Programm initialisiert einen Pointer `long *p = 0x1002` und speichert dann über den Pointer mit `*p = 0x89ABCDEF` einen Datenwert im Speicher ab. Aus der zugehörigen Map-Datei sieht man außerdem, dass `&p=0x1000` ist. Geben Sie den Inhalt der folgenden Speicherzellen an. Falls Sie einen Wert nicht kennen, tragen Sie bitte „??“ ein:

Lösung zu Aufgabe 1.2:

<i>Adresse</i>	<i>Inhalt</i>
\$1000	
\$1001	
\$1002	
\$1003	
\$1004	
\$1005	
\$1006	
\$1007	

Bitte geben Sie alle Aufgabenblätter wieder ab!

MUSTERPRÜFUNG D	Blatt Nr.: 2 von 14
Studiengang: Kommunikationstechnik Softwaretechnik Technische Informatik	Semester: SWB4, TIB4, KTB4
Prüfungsfach: Computerarchitektur 3	Fachnummer: 4021
Hilfsmittel: Vorlesungs- und Labormanuskript, Fachliteratur, Taschenrechner	Dauer: 90 min

1.3 Das unten stehende Listing zeigt einen Ausschnitt aus der Map-Datei eines Codewarrior HCS12-Projektes:

- Wieviel Speicherplatz benötigt das Programm im ROM, wieviel im RAM?
- Wie groß ist der Stackbereich und bei welcher Speicheradresse endet er?
- Bei welcher Speicheradresse beginnt die Programmausführung nach einem Reset und wie lang ist der eigentliche Programmcode?
- Stehen die „Variablen“ `hrs` und `ctext` im RAM oder im ROM und wieviel Speicher benötigen sie?

```
*****
SECTION-ALLOCATION SECTION
Section Name                Size  Type    From      To        Segment
-----
.init                       718    R      0xC000    0xC2CD    ROM_C000
.data                       45    R/W    0x1000    0x102C    RAM
ticker.asm__ORG00001        2      R      0xFFE6    0xFFE7    .absSeg0
.const                      28      R      0xC2CE    0xC2E9    ROM_C000
.stack                     256    R/W    0x102D    0x112C    RAM
.vectSeg1_vect              2      R      0xFFFF    0xFFFF    .vectSeg1

Summary of section sizes per section type:
READ_ONLY (R):           2EE (dec:    750)
READ_WRITE (R/W):       12D (dec:    301)

*****
VECTOR-ALLOCATION SECTION
      Address      InitValue  InitFunction
-----
      0xFFFFE      0xC000    Entry

*****
OBJECT-ALLOCATION SECTION
      Name                Module      Addr    hSize    dSize      Ref  Section
-----
MODULE:                  -- main.asm.o --
- PROCEDURES:
      Entry              C000        17        23         0    .init
      main               C000         0         0         0    .init
      . . .
      cont1              C025         2         2         0    .init
- VARIABLES:
      clockEvent         1000         1         1         4    .data
      hrs                 1015         2         2         6    .data
      . . .
      Ctext              C2D7         9         9         1    .const
- LABELS:
      __SEG_END_SSTACK   112D         0         0         1
      . . .
```

Lösung zu Aufgabe 1.3:

Speicherbedarf im ROM:

Speicherbedarf im RAM:

Stack-Länge:

Stack-Endadresse:

Programmbeginn:

Programmlänge:

Variable `hrs`:

Variable `ctext`:

MUSTERPRÜFUNG D	Blatt Nr.: 3 von 14
Studiengang: Kommunikationstechnik Softwaretechnik Technische Informatik	Semester: SWB4, TIB4, KTB4
Prüfungsfach: Computerarchitektur 3	Fachnummer: 4021
Hilfsmittel: Vorlesungs- und Labormanuskript, Fachliteratur, Taschenrechner	Dauer: 90 min

- 1.4** a) Was geschieht, wenn in einem HCS12-Mikrocontroller gleichzeitig der RTI- und der ADC-Interrupt ausgelöst werden?
- b) Was geschieht, wenn der Microcontroller bereits die ADC-Interrupt-Service-Routine ausführt und während dieser Interrupt-Service-Routine ein RTI-Interrupt auftritt?

Listing und Lösung zu Aufgabe 1.4:

a)

b)

- 1.5** In Vorbereitungsaufgabe 2.6 des Laborversuchs 1 haben Sie ein Unterprogramm `decToASCII` entwickelt, mit dem eine Dualzahl in einen ASCII-String umgewandelt wurde. Beschreiben Sie den Algorithmus, den Sie dort realisiert haben mit Hilfe eines Programmablaufplans. Die Beschreibung soll unabhängig von der Assemblersprache des HCS12 erfolgen, so dass der Algorithmus leicht auch auf andere Mikrocontroller portiert werden kann. Soweit notwendig, dürfen Sie in der Beschreibung C-artige Datentypen und -Befehle verwenden. Zur Vereinfachung sollen Sie hier davon ausgehen, dass es sich bei der Zahl um eine 8 bit Betragszahl handelt. Das Vorzeichen muss nicht ausgegeben werden.

Lösung zu Aufgabe 1.5:

MUSTERPRÜFUNG D		Blatt Nr.:	4 von 14
Studiengang:	Kommunikationstechnik Softwaretechnik Technische Informatik	Semester:	SWB4, TIB4, KTB4
Prüfungsfach:	Computerarchitektur 3	Fachnummer:	4021
Hilfsmittel:	Vorlesungs- und Labormanuskript, Fachliteratur, Taschenrechner	Dauer:	90 min

Fortsetzung der Lösung zu Aufgabe 1.5:

MUSTERPRÜFUNG D	Blatt Nr.: 5 von 14
Studiengang: Kommunikationstechnik Softwaretechnik Technische Informatik	Semester: SWB4, TIB4, KTB4
Prüfungsfach: Computerarchitektur 3	Fachnummer: 4021
Hilfsmittel: Vorlesungs- und Labormanuskript, Fachliteratur, Taschenrechner	Dauer: 90 min

Aufgabe 2: Programmanalyse (35 Punkte)

Das folgende Programm stellt eine Funktion in HCS12-Assembler dar, die von einem C-Programm aufgerufen werden kann. Die C-Prototyp-Definition ist:

```
unsigned int func(unsigned int *u, unsigned int *v, unsigned char n)
```

Listing zu Aufgabe 2:

```

1  func: STAB  4, -SP
2          CLRB
3          CLRA
4          STD  2, SP
5          STAB 1, SP
6          BRA  L2
7  L1:     CLRA
8          ASLD
9          PSHD
10         ADDD 10, SP
11         TFR  D, X
12         PULD
13         ADDD 6, SP
14         TFR  D, Y
15         LDD  0, X
16         LDY  0, Y
17         EMUL
18         ADDD 2, SP
19         STD  2, SP
20         INC  1, SP
21  L2:     LDAB 1, SP
22         CMPB 0, SP
23         BLO  L1
24         LDD  2, SP
25         LEAS 4, SP
26         RTS

```

Im Hauptprogramm, das diese Funktion aufruft, sind folgende Variable definiert:

```

unsigned int C[5] = { 1, 2, 3, 4, 5 };
unsigned int S[5] = { 2, 4, 8, 16, 32 };
unsigned int erg;

```

Aus der MAP-Datei ist bekannt, dass das Array `c` bei der Adresse `$1000` und das Array `s` bei der Adresse `$100A` im Speicher beginnt.

Der Aufruf der Funktion erfolgt im Hauptprogramm mit

```
erg = func( C, S, 5 );
```

Bitte geben Sie alle Aufgabenblätter wieder ab!

MUSTERPRÜFUNG D	Blatt Nr.: 6 von 14
Studiengang: Kommunikationstechnik Softwaretechnik Technische Informatik	Semester: SWB4, TIB4, KTB4
Prüfungsfach: Computerarchitektur 3	Fachnummer: 4021
Hilfsmittel: Vorlesungs- und Labormanuskript, Fachliteratur, Taschenrechner	Dauer: 90 min

2.1 Welcher Wert steht nach Ausführung von Zeile 5 im D-Register?

Lösung zu Aufgabe 2.1:

2.2 Tragen Sie in die folgende Tabelle den Zustand des Stacks (einschließlich Stackpointer) ein, nachdem der Befehl in Zeile 5 ausgeführt wurde. Geben Sie jeweils den Inhalt der Speicherzellen sowie ihre Funktion für das Unterprogramm `func` an.

Niedrigere Adressen

Höhere Adressen ← 1 Byte →

2.3 Welcher Wert steht im D-Register, wenn die Zeile 19 zum ersten Mal ausgeführt wird?

Lösung zu Aufgabe 2.3:

2.4 Wie wird das Ergebnis an die aufrufende Funktion zurückgegeben und welchen Wert hat das Ergebnis, wenn die Funktion mit den oben angegebenen Werten aufgerufen wird?

Lösung zu Aufgabe 2.4:

MUSTERPRÜFUNG D	Blatt Nr.: 7 von 14
Studiengang: Kommunikationstechnik Softwaretechnik Technische Informatik	Semester: SWB4, TIB4, KTB4
Prüfungsfach: Computerarchitektur 3	Fachnummer: 4021
Hilfsmittel: Vorlesungs- und Labormanuskript, Fachliteratur, Taschenrechner	Dauer: 90 min

2.5 Das Unterprogramm enthält eine `for ()`-Schleife:

- In welchem Register und/oder in welcher Speicherzelle wird die Zählvariable der Schleife gespeichert?
- In welcher Programmzeile wird die Zählvariable initialisiert?
- Wo wird sie beim Schleifendurchlauf verändert?
- Wo wird die Endebedingung für die Schleife abgeprüft?

Lösung zu Aufgabe 2.5:

Zählvariable:

Initialisierung der Zählvariable:

Ändern der Zählvariable:

Abprüfen der Endebedingung:

2.6 Erstellen Sie ein zum Assemblerlisting äquivalentes C-Programm:

Lösung zu Aufgabe 2.6:

```
unsigned int func(unsigned int *u, unsigned int *v, unsigned char n)
{

}
}
```

MUSTERPRÜFUNG D	Blatt Nr.: 8 von 14
Studiengang: Kommunikationstechnik Softwaretechnik Technische Informatik	Semester: SWB4, TIB4, KTB4
Prüfungsfach: Computerarchitektur 3	Fachnummer: 4021
Hilfsmittel: Vorlesungs- und Labormanuskript, Fachliteratur, Taschenrechner	Dauer: 90 min

Aufgabe 3: Adressierungsarten (25 Punkte):

3.1

In einem HCS12-Assemblerprogramm sind folgende globalen Variablen definiert:

```
.const: SECTION
        ORG    $D000
tabelle1: DC.B  $11, $22, $33, $44, $55, $66, $77, $88
tabelle2: DC.W  $0123, $4567, $89AB, $CDEF
tabelle3: DC.W  tabelle1, tabelle2
```

Geben Sie den Inhalt der CPU-Register D, X und Y an, nachdem die im jeweiligen Tabellenfeld stehenden Assemblerbefehle nacheinander ausgeführt wurden. Es reicht aus, wenn Sie bei jedem Befehl diejenigen Registerwerte eintragen, die sich jeweils ändern.

Assemblerbefehle	D	X	Y
	\$0000	\$0000	\$0000
LDD tabelle2			
LDD tabelle2+3			
LDD tabelle1			
LDD tabelle1+4			
LDX #tabelle1+4 LDAB 0, X			
LDY #tabelle2 LDD 4, Y			
LDD -4, Y			
LDD 2, -Y			
LDX #\$0002 LDD tabelle2, X			
LEAY tabelle3, X			
LDD [tabelle3, X]			

MUSTERPRÜFUNG D	Blatt Nr.: 9 von 14
Studiengang: Kommunikationstechnik Softwaretechnik Technische Informatik	Semester: SWB4, TIB4, KTB4
Prüfungsfach: Computerarchitektur 3	Fachnummer: 4021
Hilfsmittel: Vorlesungs- und Labormanuskript, Fachliteratur, Taschenrechner	Dauer: 90 min

3.2

In einem C-Programm seien die folgenden globalen Variablen definiert:

```
char arrayA[8], valA;
int arrayB[8], valB, *pB, i;
```

Diese Variablen werden im folgenden C-Programmausschnitt verwendet, das Sie „von Hand“ in die entsprechenden HCS12-Assemblerbefehle übersetzen sollen. Die Definition der globalen Variablen muss nicht übersetzt werden. Assemblerdirektiven wie XDEF, XREF, INCLUDE, SECTION usw. dürfen weggelassen werden. Geben Sie den Assembler-Programmcode an:

Lösung zu Frage 3.2:	
<i>C-Programm</i>	<i>HCS12-Assembler-Programm</i>
<code>i = 3;</code>	
<code>valA = arrayA[i];</code>	
<code>valB = valA;</code>	
<code>valA = arrayA[6];</code>	
<code>valB = arrayB[i];</code>	
<code>pB = &valB;</code>	
<code>*pB = 4;</code>	

MUSTERPRÜFUNG D	Blatt Nr.: 10 von 14
Studiengang: Kommunikationstechnik Softwaretechnik Technische Informatik	Semester: SWB4, TIB4, KTB4
Prüfungsfach: Computerarchitektur 3	Fachnummer: 4021
Hilfsmittel: Vorlesungs- und Labormanuskript, Fachliteratur, Taschenrechner	Dauer: 90 min

Aufgabe 4: Temperaturregelung mit HCS12 (40 Punkte):

Mit einem Dragon12-Entwicklungsboard soll der Prototyp einer einfachen Temperaturregelung und Temperaturüberwachung aufgebaut werden.

Die Messung der Isttemperatur ϑ_{ist} erfolgt durch einen temperaturabhängigen Widerstand. Der Widerstand wird in einer Spannungsteilerschaltung betrieben, dessen Ausgangsspannung durch den Kanal AD0.6 des ADC des Mikrocontrollers gemessen wird. Das Ergebnis der AD-Umsetzung ist die Zahl N_{ist} .

Die Solltemperatur ϑ_{soll} wird über ein Potentiometer am Kanal AD0.7 des ADC vorgegeben und in die Zahl N_{soll} umgesetzt. Die übrigen ADC-Eingänge werden nicht verwendet. Der Zusammenhang zwischen Temperatur ϑ und Spannung u an beiden ADC-Eingängen ist

$$u = \frac{\vartheta + 40^{\circ}\text{C}}{80^{\circ}\text{C}} \cdot U_{\text{ref}}$$

Der Spannungsteiler und der ADC arbeiten mit der Referenzspannung $U_{\text{ref}} = 5\text{V}$. Der ADC wird mit Hilfe des folgenden Unterprogramms initialisiert:

```

AdcInit:  MOVB  #011000000, ATD0CTL2
            MOVB  #00010000, ATD0CTL3
            MOVB  #00000101, ATD0CTL4
            MOVB  #010010110, ATD0CTL5
            RTS

```

Das Stellventil der Heizungsregelung wird über den PWM-Ausgang Port P.0 des HCS12 angesteuert. Das Tastverhältnis des PWM-Ausgangs sei $\lambda = T_E / T_P$. Dabei soll λ bei konstanter Periodendauer T_P durch den Regelalgorithmus vergrößert werden, wenn $\vartheta_{\text{soll}} > \vartheta_{\text{ist}}$ ist. Die übrigen PWM-Ausgänge werden nicht verwendet.

Der Regelalgorithmus soll periodisch ca. alle 100ms berechnet werden. Dazu wird der RTI-Interrupt des HCS12 eingesetzt. Die Quarzfrequenz auf dem Entwicklungsboard beträgt 4MHz, die Ausgangsfrequenz der PLL ist 24MHz.

Falls die Isttemperatur $\vartheta_{\text{ist}} < 5^{\circ}\text{C}$ ist, soll über den Piepser am Port T.5 ein Warnsignal mit einer Frequenz von 500Hz ausgegeben werden. Die Ein- und Ausschalten des Piepsers erfolgt über ein Unterprogramm `void beeper(unsigned int frequenz)`, wobei zum Einschalten die Frequenz direkt in Hz übergeben werden darf. Mit `frequenz=0` wird der Piepser abgeschaltet. Eine vorherige Initialisierung ist nicht erforderlich.

4.1

Geben Sie den Programmcode für das Unterprogramm `RtiInit` in HCS12-Assembler an, mit dem der RTI-Interrupt initialisiert wird. Außerdem soll der notwendige Eintrag in der Assembler-Vektor-Tabelle für die zugehörige Interrupt-Service-Routine `RtiIsr` angelegt werden. Vergessen Sie nicht, diese und alle anderen Programme mit verständlichen Kommentaren zu versehen! (Hinweis: Die ISR selbst muss hier noch nicht geschrieben werden.)

Bitte geben Sie alle Aufgabenblätter wieder ab!

MUSTERPRÜFUNG D	Blatt Nr.: 11 von 14
Studiengang: Kommunikationstechnik Softwaretechnik Technische Informatik	Semester: SWB4, TIB4, KTB4
Prüfungsfach: Computerarchitektur 3	Fachnummer: 4021
Hilfsmittel: Vorlesungs- und Labormanuskript, Fachliteratur, Taschenrechner	Dauer: 90 min

Lösung zu Frage 4.1:

RtiInit:

Eintrag in die Interrupt-Vektor-Tabelle:

4.2

Als Taktquelle für den PWM-Ausgang P.0 wird Takt T_{SA} eingesetzt. Die Teilerfaktoren sollen mit $x_A = y_{SA} = 7$ und $PWMPER=255$ konfiguriert werden. Welche Periodendauer T_P wird das PWM-Signal haben? Geben Sie den Programmcode für das Unterprogramm **PwmInit** in HCS12-Assembler an, mit dem die PWM-Einheit initialisiert werden muss.

Lösung zu Frage 4.2:

Periodendauer $T_P =$

PwmInit:

MUSTERPRÜFUNG D	Blatt Nr.: 12 von 14
Studiengang: Kommunikationstechnik Softwaretechnik Technische Informatik	Semester: SWB4, TIB4, KTB4
Prüfungsfach: Computerarchitektur 3	Fachnummer: 4021
Hilfsmittel: Vorlesungs- und Labormanuskript, Fachliteratur, Taschenrechner	Dauer: 90 min

4.3

Welche Zahlenwerte N_{\min} und N_{\max} liefert der ADC, wenn die Temperatur die Werte $\vartheta_{\min} = -40^{\circ}\text{C}$ bzw. $\vartheta_{\max} = +40^{\circ}\text{C}$ hat?

Der Regelalgorithmus ist $\lambda = K1 * (N_{\text{soll}} - N_{\text{ist}}) + K2$. Wie groß dürfte der positive Wert $K1$ höchstens gewählt werden, wenn $K2 = +128$ festgelegt wird und für die Ansteuerung der PWM-Einheit im Mikrocontroller $0 \leq \lambda \leq 255$ gelten muss?

Lösung zu Frage 4.3:

$N_{\min} =$

$N_{\max} =$

$K1_{\max} :$

4.4

Schreiben Sie die Interrupt-Service-Routine **RtiIsr**. Die ISR soll folgendes erledigen:

- Die Soll- und die Isttemperatur sollen vom AD-Umsetzer eingelesen werden. Die vorderen 8bit des 10bit Messwertes N_{ist} sollen in der globalen 8bit Variable **TempIst** abgespeichert werden.
- Die Regeldifferenz $N_{\text{soll}} - N_{\text{ist}}$ soll berechnet und im Register D an das Unterprogramm **Regler** übergeben werden. (Hinweis: Das Unterprogramm **Regler** selbst muss nicht geschrieben werden.)
- Mit der vom Unterprogramm **Regler** berechneten Stellgröße λ (Rückgabe im Register B) wird der PWM-Ausgang P.0 angesteuert.
- Am Ende der Interrupt-Service-Routine wird die nächste AD-Umsetzung gestartet.

Lösung zu Frage 4.4:

MUSTERPRÜFUNG D		Blatt Nr.: 13 von 14
Studiengang: Kommunikationstechnik Softwaretechnik Technische Informatik		Semester: SWB4, TIB4, KTB4
Prüfungsfach: Computerarchitektur 3		Fachnummer: 4021
Hilfsmittel: Vorlesungs- und Labormanuskript, Fachliteratur, Taschenrechner		Dauer: 90 min

Fortsetzung der Lösung zu Frage 4.4:

4.5

Das Hauptprogramm ruft zunächst die Initialisierungsfunktionen für die ADC-, PWM- und die RTI-Einheit auf und geht dann in eine Endlosschleife. In der Endlosschleife wird die Ist-Temperatur (in der Variable `TempIst`, siehe Frage 4.4) ständig abgefragt und mit Hilfe eines Aufrufs der Funktion `beeper()` der Warnton eingeschaltet wird, falls die Temperatur $\vartheta_{\text{ist}} < 5^{\circ}\text{C}$ ist. Bei größeren Temperaturen soll der Piepser stumm bleiben.

Schreiben Sie den Programmcode des Hauptprogramms. Definitionen wie `XDEF`, `INCLUDE`, `SECTION` usw. dürfen weggelassen werden. Die Unterprogramme `AdcInit()`, `Beeper()` usw. müssen nicht (mehr) geschrieben werden.

Lösung zu Frage 4.5:

MUSTERPRÜFUNG D		Blatt Nr.:	14 von 14
Studiengang:	Kommunikationstechnik Softwaretechnik Technische Informatik	Semester:	SWB4, TIB4, KTB4
Prüfungsfach:	Computerarchitektur 3	Fachnummer:	4021
Hilfsmittel:	Vorlesungs- und Labormanuskript, Fachliteratur, Taschenrechner	Dauer:	90 min

Fortsetzung der Lösung zu Frage 4.5: