# U2 2. Übung

- Datentypen mit fester Größe
- (Statische) Programmbibliotheken
- SPiCboard-Bibliothek
- Wiederholung: **volatile**
- Wiederholung: Nebenläufigkeit / Synchronisation
- Aufgabe 1

# U2-1 Datentypen fester Größe

- Die Grösse der primitiven Datentypen in C ist architekturabhängig
- Beispiel für drei Architekturen (Angaben in Bits)

| | 8-bit AVR | Intel x86-32 | Intel x86-64 |
|---|---|---|---|
| char | 8 | 8 | 8 |
| short | 16 | 16 | 16 |
| int | 16 | 32 | 32 |
| long | 32 | 32 | 64 |

- Probleme
  - Portabilität des Quellcodes eingeschränkt
  - Insbesondere in der hardwarenahen Programmierung braucht man oft Datentypen einer bekannten, festen Grösse (I/O-Register)

# U2-1 Datentypen fester Größe

- C99 definiert neue Datentypen mit definierter Grösse
- Auszug der wichtigsten Typen:

| | |
|---|---|
| `int8_t` | `8-bit signed` |
| `uint8_t` | `8-bit unsigned` |
| `int16_t` | `16-bit signed` |
| `uint16_t` | `16-bit unsigned` |
| `int32_t` | `32-bit signed` |
| `uint32_t` | `32-bit unsigned` |

- verfügbar durch Einbinden von **stdint.h**
  - ☞ wird auch mit vielen nicht C99-konformen Compilern geliefert
  - ☞ kann ansonsten auch relativ einfach selbst erstellt werden
- die Grösse von Zeigertypen ist immer architekturabhängig (Adressbusbreite)

# U2-2 Statische Bibliotheken

- Zugriff auf Funktionen und Variablen über symbolische Namen
- Eine Übersetzungseinheit (C-Datei) **definiert** und **verwendet** Symbole
  - Hauptprogramm definiert das Symbol *main* für die main-Funktion
  - Programm ruft (verwendet) eine Funktion der C-Bibliothek (z.B. malloc)
  - C-Datei definiert eine globale (nicht-static) Variable
  - Programm verwendet eine globale Variable, die u.U. in einer anderen Übersetzungseinheit definiert wurden
- Der Namensraum ist flach
  - jeder Name muss eindeutig sein
  - es darf auch keine Funktion mit dem Namen einer globalen Variable geben
- Kompilierte Übersetzungseinheit (Objekt-Datei) enthält Symboltabelle
  - Liste mit Symbolen, die von der Einheit verwendet werden
  - Liste von Symbolen, die von der Einheit definiert werden

# U2-2 Auflösung von Symbolreferenzen

- Statisches Binden: Binden der Übersetzungseinheiten zum Binärabbild
- Offene Symbolreferenzen werden aufgelöst
  - definiert in anderen Übersetzungseinheiten
  - Suche in Programmbibliotheken
- GCC sucht beim Binden implizit in der Standard C-Bibliothek (**libc.a**)
- weitere Bibliotheken können vom Entwickler angegeben werden

# U2-2 Statische Bibliotheken

- **Archiv** (Dateiendung **.a**) von Objekt-Dateien (**.o**-Dateien)
  ☞ Erstellen einer Bibliothek mit dem Kommando **ar**

```
avr-ar rcs libexample.a bar.o foo.o
```

- Jede Objekt-Datei enthält wiederrum eine Symboltabelle
  ☞ Anzeige mit dem Kommando **avr-nm libexample.a** bzw. **avr-nm bar.o**

- Die Bibliothek kann dem Linker als Symbolquelle angeboten werden
  - Parameter -L*pfad*: Suche nach Bibliotheken (.a-Dateien) in *pfad*
  - Parameter -l*libname*: Binden mit der Bibliothek *libname*
    ☞ diese wird in einer Datei lib*libname*.a in den Suchpfaden gesucht

- Der Linker bindet dann alle Objekt-Dateien, die **bis dahin** unaufgelöste Symbole definieren, zum Binärabbild dazu

- Die Reihenfolge von Objekt-Dateien und Bibliotheken ist wichtig

# U2-2 Beispiel: Kompilieren mit Bibliotheken

```
#include <bar.h>

void main ( void ) {
        bar ( 42 );
}
```

main.c

```
#ifndef BAR_H
#define BAR_H

void bar ( int );

#endif
```

bar.h (Schnittstelle)

```
#include <bar.h>
void bar ( int param ) {
        /* do some magic */
}
```

bar.c (Implementierung)

- Module exportieren eine Schnittstelle (Header-Datei)
  - Funktionsdeklarationen und ggf. Deklarationen (*extern*) globaler Variablen
- Beim Übersetzen muss der Compiler den Typen eines Symbols kennen
  - Einbinden der Schnittstellenbeschreibung mit *#include <bar.h>*
  - Die Adresse der Funktion bzw. Variable ist an dieser Stelle nicht notwendig
- Parameter -I*pfad*: Teilt Compiler zusätzlichen Suchpfad für Headerdateien mit

```
avr-gcc -c <...> -I/myincludes main.c
```

# U2-2 Beispiel: Binden mit statischen Bibliotheken

```
#include <bar.h>

void main ( void ) {
        bar ( 42 );
}
```

main.c

```
#ifndef BAR_H
#define BAR_H

void bar ( int );

#endif
```

bar.h (Schnittstelle)

```
#include <bar.h>
void bar ( int param ) {
        /* do some magic */
}
```

bar.c (Implementierung)

- Modul *bar* **definiert** Symbol *bar* ( `Funktion void bar(int);` )
- Hauptprogramm ruft die Funktion `bar` auf (**verwendet** Symbol *bar*)
- Annahme: Modul *bar.o* ist Teil der Bibliothek *libexample.a* in */libbase*
- Übersetzung mit Kommando:

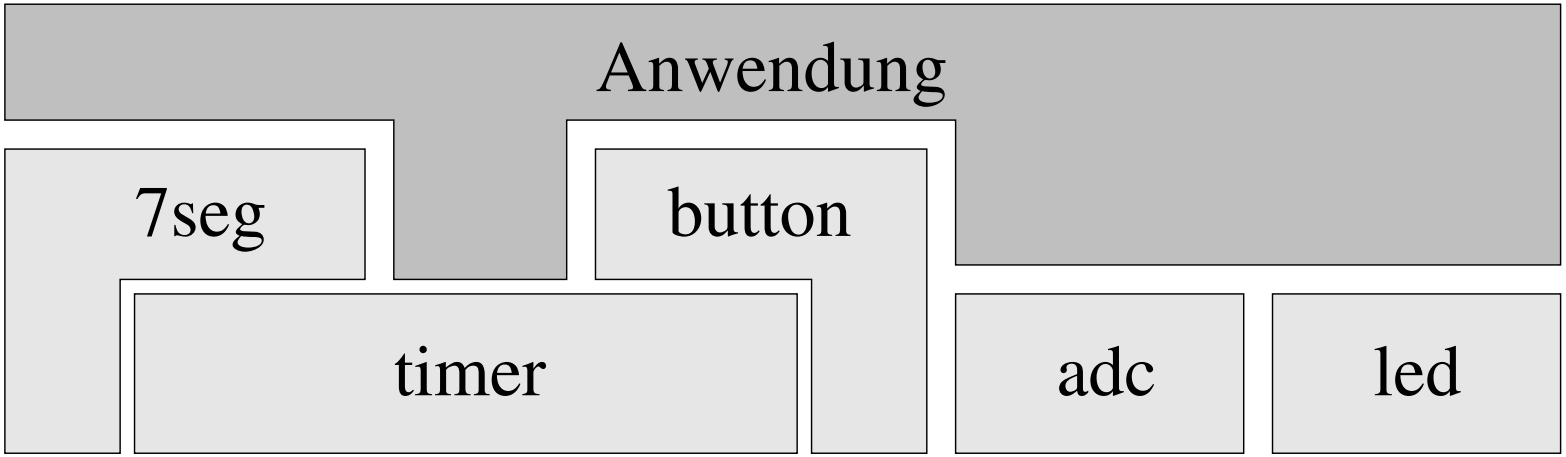
```
avr-gcc -L/libbase -o main.elf <...> main.o -lexample
```

- Falsch (warum?):

```
avr-gcc -L/libbase -o main.elf <...> -lexample main.o
```

# U2-3 SPiCboard-Bibliothek

- modular
- einfacher Zugriff auf die Hardware ohne diese selbst zu programmieren
- die einzelnen Module eignen sich selbst gut als Übungsaufgabe - Schnittstellenbeschreibung im Doku-Bereich auf der Webseite (timer und button sind jedoch relativ schwierig)
- Header und Bibliothek *libspicboard.a* in */proj/i4spic/pub/i4* installiert



# U2-3 Timer-Modul

- Erlaubt Registrierung sog. *Alarms* und ms-genaues Warten
- Ein Alarm ist beschrieben durch drei Parameter
  - Aktion (*Callback-Funktion*), die ausgeführt wird wenn der Alarm auslöst
  - Alarmzeit: Zeitspanne relativ zum aktuellen Zeipunkt in ms, nach deren Verstreichen der Alarm auslösen soll
  - Zyklus: Zeitspanne in ms, in der der Alarm nach der Erstauslösung periodisch immer wieder auslöst. Ist die Zeitspanne 0, so löst der Alarm nur ein einziges Mal aus (nicht-zyklisch).

## 1 Delay-Funktion zur Realisierung von Wartezeiten

```
int8_t sb_timer_delay(uint16_t waittime);
```

- Wartet `waittime` Millisekunden
- Rückgabe: Im Erfolgsfall 0, sonst -1 (Wartezeit u.U. nicht verstrichen!)

# 2 Aktivieren eines Alarms

- Angabe einer Rückruf (Callback)-Funktion
  - diese wird, ähnlich einem Interrupthandler (ISR), bei Ablauf des Alarms asynchron ausgeführt
  - es gelten die selben Randbedingungen wie bei ISRs
- Eine Alarmcallback-Funktion hat den Typ

```
void callbackFunktion(void);
```

- Registrierung eines neuen Alarms mit

```
ALARM *sb_timer_setAlarm(alarmcallback_t cb,
    uint16_t alarmtime, uint16_t cycletime);
```

  - die Funktion liefert einen Zeiger auf einen abstrakten ALARM-Datentyp
  - im Fehlerfall wird **NULL** zurückgeliefert, der ALARM wurde nicht aktiviert
  - diese Referenz kann nachher zum Abbruch des Alarms verwendet werden

## 3 Abbruch einer aktiven Verzögerung

- Funktion

```
void sb_timer_delay_abort();
```

- Kann nur auf ISR-Level ausgeführt werden (Programm gerade im Delay)
- Bricht eine aktive Verzögerung ab

## 4 Abbruch eines laufenden Alarms

- Funktion

```
uint8_t sb_timer_cancelAlarm(ALARM *alrm);
```

- Parameter ist die Referenz auf einen aktiven Alarm
  ☞ diese Referenz hat man von `sb_timer_setAlarm` erhalten
- Nach dem Abbruch verliert die Referenz ihre Gültigkeit
- Die Funktion liefert 0 im Erfolgsfall, -1 im Fehlerfall (ungültige Referenz)

# U2-3 7seg-Modul (7-Segment-Anzeigen)

- Ansteuerung der beiden 7-Segment-Anzeigen
- Verwendet Timer-Modul zur schnellen Umschaltung
  ☞ quasi-parallele Nutzung der beiden Anzeigen möglich
- Anzeige von Dezimalzahlen im Bereich [-9; 99]

```
int8_t sb_7seg_showNumber(int8_t number);
```

- Deaktivierung der 7-Segment-Anzeigen

```
void sb_7seg_disable(void);
```

- weitere Anzeigemöglichkeiten ☞ API-Dokumentation

# U2-4 Button-Modul (Taster)

- Das Board verfügt über zwei Taster (Ort siehe Board-Übersicht)
  C-Datentyp: `BUTTONEVENT`
  - `BUTTON0`: hardwareseitig entprellt
  - `BUTTON1`: softwareseitig durch SPiCboard-Bibliothek entprellt
  - für die Anwendung sind beide Taster gleichermaßen verwendbar
- Anwendung kann sich für Tasterereignisse an einem Taster registrieren
  C-Datentyp: `BUTTONEVENT`
  - `BTNPRESSED`: Taster wurde gedrückt
  - `BTNRELEASED`: Taster wurde losgelassen
  - bitweise Veroderung ermöglicht Registrierung für beide Ereignisse

# 1 Rückruffunktion für Tasterereignisse

```
void buttoncallback(BUTTON btn, BUTTONEVENT eve);
```

- Parameter `btn`: ID des Buttons, der gedrückt wurde
- Parameter `eve`: Typ des eingetretenen Ereignisses
- Die gleiche Funktion kann bei verschiedenen Tastern für verschiedene Ereignisse registriert werden, pro Taster/Ereignis jedoch nur einmal
- Auch diese Rückruffunktion wird auf ISR-Ebene ausgeführt

## 2 Anmeldung für Benachrichtigung bei Tasterevents

```
uint8_t sb_button_registerListener(
    BUTTON btn, BUTTONEVENT eve, buttoncallback_t callback);
```

- `btn`: für welchen Button sollen Events gemeldet werden
- `eve`: für welches Tasterereignis soll eine Benachrichtigung erfolgen (Drücken, Loslassen, oder beides)
- `callback`: die Funktion, die zur Benachrichtigung aufgerufen wird

## 3 Abmeldung, Polling

- siehe Online-Dokumentation

# U2-5 Beispiel: Countdown von 99-0 mit Resettaste

```
#include <timer.h>
#include <7seg.h>
#include <button.h>
#include <avr/interrupt.h>
static int8_t cnt;
static void reset ( BUTTON btn, BUTTONEVENT eve ) { cnt = 99; }

void main( void ) {
        sb_button_registerListener(BUTTON0, BTNPRESSED, reset);
        sei(); /* Interrupts initial erlauben */

        while ( 1 ) {
            for(cnt=99; cnt >= 0; ) {
                sb_7seg_showNumber(cnt); /* akt. Zahl anzeigen */
                sb_timer_delay(100); /* 100 ms warten */
                cnt--; /* countdown */
            }

            sb_timer_delay(5000); /* 5s warten, dann von vorn beginnen */
        }
}
```

# U2-6 Wiederholung: der volatile-Qualifier

- Manche Variablen werden "von außen" verändert
  - Hardware-Register
  - Variablen, auf die mehrere Programmabläufe nebenläufig zugreifen
    - ➤ Threads
    - ➤ Unterbrechungsbehandlungen
- Kann Probleme bei Compileroptimierungen verursachen

# 1 Beispiel

- Hauptprogramm wartet auf ein Ereignis, das durch einen Interrupt gemeldet wird (dieser setzt **event** auf **1**)
- Aktive Warteschleife wartet, bis **event != 0**
- Der Compiler sieht, dass **event** innerhalb der Warteschleife nicht verändert wird
  - ➤ der Wert von **event** wird nur einmal **vor** der Warteschleife aus dem Speicher in ein Prozessorregister geladen
  - ➤ dann wird nur noch der Wert im Register betrachtet
  - ➤ Endlosschleife

```
static char event=0;
ISR (INT0_vect) { event=1; }

void main(void) {
    while(1) {
        while(event == 0) { /* warte auf Event */ }
        /* bearbeite Event */
```

# 2 Beispiel (2)

- Lösung: Unterdrücken der Optimierung mit dem **volatile**-Schlüsselwort

```
static volatile char event=0;
ISR (INT0_vect) { event=1; }

void main(void) {
    while(1) {
        while(event == 0) { /* warte auf Event */ }
        /* bearbeite Event */
    }
}
```

- Teilt dem Compiler mit, dass der Wert extern verändert wird
- Wert wird bei jedem Lesezugriff erneut aus dem Speicher geladen
- **Sofort-Aufgabe:** Schreiben Sie gemeinsam ein Programm, das ähnlich obigem Beispiel die Bibliothek verwendet. Das Programm soll auf ein Event warten (wie oben), das von einem Taster-Eventhandler gesetzt wird. Danach aktiviert das Programm eine LED zur Bestätigung. Kompilieren und Testen Sie das Programm mit -O0 sowie -O3.

# 3 volatile in einem anderen Zusammenhang...

- Beispiel: Funktion zum aktiven Warten

```
void wait(unsigned int len) {
    while(len > 0) { len--; }
}
```

- Die Schleife wird terminieren
- Der Wert von `len` wird bei Verlassen der Funktion verworfen
  - ➤ Optimierender Compiler entfernt die komplette Schleife
  - ➤ Wartezeit wird stark verkürzt
- Mit **volatile** kann diese Optimierung verhindert werden
  - ➤ Sonderfall: `len` wird nicht extern modifiziert

# 4 Verwendung von volatile

- Fehlendes **volatile** kann zu unerwartetem Programmablauf führen
- Unnötige Verwendung von **volatile** unterbindet Optimierungen des Compilers und führt zu schlechterem Maschinencode
- Korrekte Verwendung von **volatile** ist Aufgabe des Programmierers!

Verwendung von **volatile** so selten wie möglich, aber so oft wie nötig

# 5 volatile im Beispielprogramm?

```
#include <timer.h>
#include <7seg.h>
#include <button.h>
#include <avr/interrupt.h>
static int8_t cnt;
static void reset ( BUTTON btn, BUTTONEVENT eve ) { cnt = 99; }

void main( void ) {
        sb_button_registerListener(BUTTON0, BTNPRESSED, reset);
        sei(); /* Interrupts initial erlauben */

        while ( 1 ) {
            for(cnt=99; cnt >= 0; ) {
                sb_7seg_showNumber(cnt); /* akt. Zahl anzeigen */
                sb_timer_delay(100); /* 100 ms warten */
                cnt--; /* countdown */
            }

            sb_timer_delay(5000); /* 5s warten, dann von vorn beginnen */
        }
}
```

# 5 volatile im Beispielprogramm?

```
#include <timer.h>
#include <7seg.h>
#include <button.h>
#include <avr/interrupt.h>
static volatile int8_t cnt;
static void reset ( BUTTON btn, BUTTONEVENT eve ) { cnt = 99; }

void main( void ) {
        sb_button_registerListener(BUTTON0, BTNPRESSED, reset);
        sei(); /* Interrupts initial erlauben */

        while ( 1 ) {
            for(cnt=99; cnt >= 0; ) {
                sb_7seg_showNumber(cnt); /* akt. Zahl anzeigen */
                sb_timer_delay(100); /* 100 ms warten */
                cnt--; /* countdown */
            }

            sb_timer_delay(5000); /* 5s warten, dann von vorn beginnen */
        }
}
```

# U2-7 Synchronisation mit Interrupt-Handlern

- Unterbrechungsbehandlungen führen zu **Nebenläufigkeit**
- Nicht-atomare Modifikation von gemeinsamen Daten
- Kann zu Inkonsistenzen führen
- Einseitige Unterbrechung: Interrupt-Handler überlappt Hauptprogramm
- Lösung: Synchronisationsprimitiven
  - ➤ hier: zeitweilige Deaktivierung der Interruptbehandlung

# 1 Beispiel 1: Lost Update

- Tastendruckzähler: Zählt noch zu bearbeitende Tastendrücke
  - ➤ Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
  - ➤ Dekrementierung im Hauptprogramm zum Start der Verarbeitung

```
/* Hauptprogramm */
volatile unsigned char zaehler;

/* C-Anweisung: zaehler--; */
1 lds r24, zaehler
2 dec r24
3 sts zaehler, r24
```

```
/* Interrupt-Behandlung */


/* C-Anweisung: zaehler++ */
4 lds r24, zaehler
5 inc r24
6 sts zaehler, r24
```

| Instruktion | zaehler | zaehler HP | zaehler INT |
|---|---|---|---|
| 1 | 5 | | |
| 2 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 3 | | | |

# 1 Beispiel 1: Lost Update

- Tastendruckzähler: Zählt noch zu bearbeitende Tastendrücke
  - ➤ Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
  - ➤ Dekrementierung im Hauptprogramm zum Start der Verarbeitung

```
/* Hauptprogramm */
volatile unsigned char zaehler;

/* C-Anweisung: zaehler--; */
1 lds r24, zaehler
2 dec r24
3 sts zaehler, r24
```

```
/* Interrupt-Behandlung */


/* C-Anweisung: zaehler++ */
4 lds r24, zaehler
5 inc r24
6 sts zaehler, r24
```

| Instruktion | zaehler | zaehler HP | zaehler INT |
|---|---|---|---|
| 1 | 5 | 5 | - |
| 2 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 3 | | | |

# 1 Beispiel 1: Lost Update

- Tastendruckzähler: Zählt noch zu bearbeitende Tastendrücke
  - ➤ Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
  - ➤ Dekrementierung im Hauptprogramm zum Start der Verarbeitung

```
/* Hauptprogramm */
volatile unsigned char zaehler;

/* C-Anweisung: zaehler--; */
1 lds r24, zaehler
2 dec r24
3 sts zaehler, r24
```

```
/* Interrupt-Behandlung */


/* C-Anweisung: zaehler++ */
4 lds r24, zaehler
5 inc r24
6 sts zaehler, r24
```

| Instruktion | zaehler | zaehler HP | zaehler INT |
|---|---|---|---|
| 1 | 5 | 5 | - |
| 2 | 5 | 4 | - |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 3 | | | |

# 1 Beispiel 1: Lost Update

- Tastendruckzähler: Zählt noch zu bearbeitende Tastendrücke
  - ➤ Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
  - ➤ Dekrementierung im Hauptprogramm zum Start der Verarbeitung

```
/* Hauptprogramm */
volatile unsigned char zaehler;

/* C-Anweisung: zaehler--; */
1 lds r24, zaehler
2 dec r24
3 sts zaehler, r24
```

```
/* Interrupt-Behandlung */


/* C-Anweisung: zaehler++ */
4 lds r24, zaehler
5 inc r24
6 sts zaehler, r24
```

| Instruktion | zaehler | zaehler HP | zaehler INT |
|---|---|---|---|
| 1 | 5 | 5 | - |
| 2 | 5 | 4 | - |
| 4 | 5 | 4 | 5 |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 3 | | | |

# 1 Beispiel 1: Lost Update

- Tastendruckzähler: Zählt noch zu bearbeitende Tastendrücke
  - ➤ Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
  - ➤ Dekrementierung im Hauptprogramm zum Start der Verarbeitung

```
/* Hauptprogramm */
volatile unsigned char zaehler;

/* C-Anweisung: zaehler--; */
1 lds r24, zaehler
2 dec r24
3 sts zaehler, r24
```

```
/* Interrupt-Behandlung */


/* C-Anweisung: zaehler++ */
4 lds r24, zaehler
5 inc r24
6 sts zaehler, r24
```

| Instruktion | zaehler | zaehler HP | zaehler INT |
|---|---|---|---|
| 1 | 5 | 5 | - |
| 2 | 5 | 4 | - |
| 4 | 5 | 4 | 5 |
| 5 | 5 | 4 | 6 |
| 6 | | | |
| 3 | | | |

# 1 Beispiel 1: Lost Update

- Tastendruckzähler: Zählt noch zu bearbeitende Tastendrücke
  - ➤ Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
  - ➤ Dekrementierung im Hauptprogramm zum Start der Verarbeitung

```
/* Hauptprogramm */
volatile unsigned char zaehler;

/* C-Anweisung: zaehler--; */
1 lds r24, zaehler
2 dec r24
3 sts zaehler, r24
```

```
/* Interrupt-Behandlung */


/* C-Anweisung: zaehler++ */
4 lds r24, zaehler
5 inc r24
6 sts zaehler, r24
```

| Instruktion | zaehler | zaehler HP | zaehler INT |
|---|---|---|---|
| 1 | 5 | 5 | - |
| 2 | 5 | 4 | - |
| 4 | 5 | 4 | 5 |
| 5 | 5 | 4 | 6 |
| 6 | 6 | 4 | 6 |
| 3 | | | |

# 1 Beispiel 1: Lost Update

- Tastendruckzähler: Zählt noch zu bearbeitende Tastendrücke
  - ➤ Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
  - ➤ Dekrementierung im Hauptprogramm zum Start der Verarbeitung

```
/* Hauptprogramm */
volatile unsigned char zaehler;

/* C-Anweisung: zaehler--; */
1 lds r24, zaehler
2 dec r24
3 sts zaehler, r24
```

```
/* Interrupt-Behandlung */


/* C-Anweisung: zaehler++ */
4 lds r24, zaehler
5 inc r24
6 sts zaehler, r24
```

| Instruktion | zaehler | zaehler HP | zaehler INT |
|---|---|---|---|
| 1 | 5 | 5 | - |
| 2 | 5 | 4 | - |
| 4 | 5 | 4 | 5 |
| 5 | 5 | 4 | 6 |
| 6 | 6 | 4 | 6 |
| 3 | 4 | 4 | - |

# 2 Beispiel 2: 16-bit-Zugriffe

- Nebenläufige Nutzung von 16-bit-Werten

```
/* Hauptprogramm */
volatile unsigned int zaehler;

/* C-Anweisung: z=zaehler; */
1 lds r24, zaehler
2 lds r25, zaehler+1
/* z verwenden... */
```

```
/* Interrupt-Behandlung */
/* C-Anweisung: zaehler++ */
3 lds r24, zaehler
4 lds r25, zaehler+1
5 adiw r24,1
6 sts zaehler+1, r25
7 sts zaehler, r24
```

| Instruktion | zaehler | z HP |
|---|---|---|
| 1 | 0x00ff | |
| 3-7 | | |
| 2 | | |

# 2 Beispiel 2: 16-bit-Zugriffe

- Nebenläufige Nutzung von 16-bit-Werten

```
/* Hauptprogramm */
volatile unsigned int zaehler;

/* C-Anweisung: z=zaehler; */
1 lds r24, zaehler
2 lds r25, zaehler+1
/* z verwenden... */
```

```
/* Interrupt-Behandlung */
/* C-Anweisung: zaehler++ */
3 lds r24, zaehler
4 lds r25, zaehler+1
5 adiw r24,1
6 sts zaehler+1, r25
7 sts zaehler, r24
```

| Instruktion | zaehler | z HP |
|---|---|---|
| 1 | 0x00ff | 0x??ff |
| 3-7 | | |
| 2 | | |

# 2 Beispiel 2: 16-bit-Zugriffe

- Nebenläufige Nutzung von 16-bit-Werten

```
/* Hauptprogramm */
volatile unsigned int zaehler;

/* C-Anweisung: z=zaehler; */
1 lds r24, zaehler
2 lds r25, zaehler+1
/* z verwenden... */
```

```
/* Interrupt-Behandlung */
/* C-Anweisung: zaehler++ */
3 lds r24, zaehler
4 lds r25, zaehler+1
5 adiw r24,1
6 sts zaehler+1, r25
7 sts zaehler, r24
```

| Instruktion | zaehler | z HP |
|---|---|---|
| 1 | 0x00ff | 0x??ff |
| 3-7 | 0x0100 | 0x??ff |
| 2 | | |

# 2 Beispiel 2: 16-bit-Zugriffe

- Nebenläufige Nutzung von 16-bit-Werten

```
/* Hauptprogramm */
volatile unsigned int zaehler;

/* C-Anweisung: z=zaehler; */
1 lds r24, zaehler
2 lds r25, zaehler+1
/* z verwenden... */
```

```
/* Interrupt-Behandlung */
/* C-Anweisung: zaehler++ */
3 lds r24, zaehler
4 lds r25, zaehler+1
5 adiw r24,1
6 sts zaehler+1, r25
7 sts zaehler, r24
```

| Instruktion | zaehler | z HP |
|---|---|---|
| 1 | 0x00ff | 0x??ff |
| 3-7 | 0x0100 | 0x??ff |
| 2 | 0x0100 | 0x01ff |

- Weitere Problemszenarien?
- Nebenläufige Zugriffe auf Werte >8-bit müssen i.d.R. geschützt werden!

# 3 Sperren der Unterbrechungsbehandlung beim AVR

- Viele weitere Nebenläufigkeitsprobleme möglich
  - Problemanalyse durch den Anwendungsprogrammierer
  - Vorsicht bei gemeinsamen Daten nebenläufiger Kontrollflüsse
  - Auswahl geeigneter Synchronisationsprimitive
- Lösung hier: Einseitiger Ausschluss durch Sperren der Interrupts
  - Sperrung aller Interrupts (`sei()`, `cli()`)
  - Maskieren einzelner Interrupts (`GICR`-Register)
- Problem: Interrupts während der Sperrung gehen evtl. verloren

# 4 Synchronisation im Beispiel?

```
#include <timer.h>
#include <7seg.h>
#include <button.h>
#include <avr/interrupt.h>
static int8_t cnt;
static void reset ( BUTTON btn, BUTTONEVENT eve ) { cnt = 99; }

void main( void ) {
        sb_button_registerListener(BUTTON0, BTNPRESSED, reset);
        sei(); /* Interrupts initial erlauben */

        while ( 1 ) {
            for(cnt=99; cnt >= 0; ) {
                sb_7seg_showNumber(cnt); /* akt. Zahl anzeigen */
                sb_timer_delay(100); /* 100 ms warten */
                cnt--; /* countdown */
            }

            sb_timer_delay(5000); /* 5s warten, dann von vorn beginnen */
        }
}
```

# 4 Synchronisation im Beispiel? Lost Update Problem

```
#include <timer.h>
#include <7seg.h>
#include <button.h>
#include <avr/interrupt.h>
static volatile int8_t cnt;
static void reset ( BUTTON btn, BUTTONEVENT eve ) { cnt = 99; }

void main( void ) {
        sb_button_registerListener(BUTTON0, BTNPRESSED, reset);
        sei(); /* Interrupts initial erlauben */

        while ( 1 ) {
            for(cnt=99; cnt >= 0; ) {
                sb_7seg_showNumber(cnt); /* akt. Zahl anzeigen */
                sb_timer_delay(100); /* 100 ms warten */
                cli(); cnt--; sei(); /* countdown, sync wozu? */
            }

            sb_timer_delay(5000); /* 5s warten, dann von vorn beginnen */
        }
}
```

# U2-8 Aufgabe 1

- Messung der Dauer eines Tastendrucks in 100 ms Intervallen
- Anzeige der laufenden Messung auf den 7-Segment-Anzeigen
- Anzeige des Ergebnisses auf den 7-Segment-Anzeigen
- Verwendung der SPiCboard-Bibliothek zur Implementierung