U4 4. Übungsaufgabe

- Grundlegendes zur Übung mit dem AVR-µC
- Register
- I/O Ports
- Interrupts
- AVR-Umgebung

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U4-1 Grundlegendes zur Übung mit dem AVR-µC

- Die Übungsaufgaben werden wir mit Hilfe eines Simulators testen und entwickeln
  - ➤ der Simulator simuliert den Mikrocontroller **ATmega128**
- Wer möchte kann sein Programm auch auf einer echten Hardware testen
  - ➤ hier wird ein **ATmega8** eingesetzt
  - ➤ wurde für uns von Studenten der AGEE gebaut (DANKE!)
- Die beiden Plattformen unterscheiden sich geringfügig.
  - ➤ daher sind kleine Anpassungen nötig, um ein Programm welches auf dem Simulator läuft auf der echten Hardware einzusetzen
- Im Folgenden werden immer beide Varianten des AVR-µC angesprochen. Auf Unterschiede wird gelegentlich hingewiesen

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U4-2 Register beim AVR-µC

1 Überblick

- Beim AVR µC sind die Register:
  - in den Specher eingebettet
  - am Anfang des Adressbereichs angeordnet
- Adressen sind der Dokumentation zu entnehmen
- vollständige Dokumentation für "unsere" Mikrocontroller:
  `/proj/i4gdi/tools/doc/`
- Die für die Übungsaufgabe benötigten Register sind auf den Folien erwähnt
- Die Bibliothek (avr-libc), die wir verwenden, definiert bereits sinnvolle Makros für alle Register des AVR µC
  (`#include <avr/io.h>`)

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Makros für Register-Zugriffe

- Makros mit aussagekräftigen Namen können den Umgang mit Registern deutlich vereinfachen
- Beispiel:
  - Makro für Register an Adresse 0x5:

```
#define REG1 (*(volatile unsigned char *)0x5)
```

  - Verwenden dieses Registers:

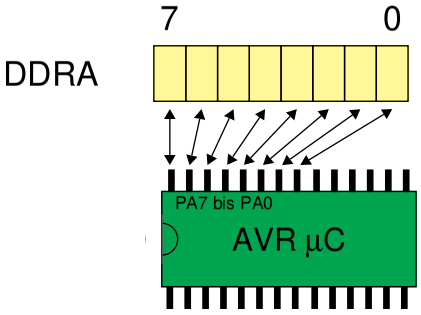
```
REG1 = 0;              // schreibender Zugriff
...
if (REG1 == 0x04)      // lesender Zugriff
    REG1 &= ~4;        // lesender und schreibender Zugriff
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U4-3 I/O-Ports des AVR µC

1 Überblick

- Jeder I/O-Port des AVR µC wird durch 3 (8-bit) Register gesteuert:
  - Datenrichtungsregister (`DDRx` = data direction register)
  - Datenregister (`PORTx`)
  - Port Eingabe Register (`PINx` = port input register) [nur-lesbar]
- Jedem Anschluss-Pin ist ein Bit in jedem der 3 Register zugeordnet
  - ➤ Beispiel: DDR von Port A:



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 I/O Port Register

- **`PINxi`**: hier kann der aktuelle Wert von Port *x*, Pin *i* ausgelesen werden
- **`DDRxi`**: hier konfiguriert man ob man den Pin *i* von Port *x* als Ein- oder Ausgang verwenden möchte
  - `DDRxi` = 1→ Ausgang
  - `DDRxi` = 0→ Eingang
- **`PORTxi`**: Auswirkung abhängig von `DDRxi`:
  - ist Pin *i* als Ausgang konfiguriert, so steuert `PORTxi` ob am Pin *i* ein high- oder ein low-Pegel erzeugt werden soll.
  - ist Pin *i* als Eingang konfiguriert, so kann man einen internen pull-up Widerstand aktivieren (`PORTxi` = 1)

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3 Beispiel: Aktivieren eines Ports

- Pin 3 von Port B als Ausgang konfigurieren
  und auf V_{CC} schalten:

```
DDRB |= 0x08;  // Pin 3 von Port B als Ausgang nutzen ...

PORTB |= 0x08; // ... und auf 1 (=high) setzen
```

- Pin 0 von Port D als Eingang nutzen,
  pull-up Widerstand aktivieren
  und prüfen ob ein low-Pegel anliegt:

```
DDRD &= ~0x01; // Pin 0 von Port D als Ausgang nutzen ...
PORTD |= 0x01; // ... und den pull-up Widerstand aktivieren.

if ( (PIND & 0x01) == 0) { // den Zustand auslesen
    // ja ein low Pegel liegt an...
}
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U4-4 Externe Interrupts des AVR µC

1 Flanken-/Pegel-Steuerung

- Externe Interrupts durch Pegeländerung an bestimmten I/O-Pins
  - ATmega128: 8 Quellen an den Pins PD0-PD3 und PE4 - PE7
  - ATmega8: 2 Quellen an den Pins PD2 und PD3
- Für jeden Interrupt kann bestimmt werden, ob er Pegel- oder Flanken-gesteuert ist
  - ➤ Steuerung für Interrupt *n* durch Interrupt Sense Control Bits (`ISCn0` und `ISCn1`)

ISC*n*1	ISC*n*0	IRQ bei:
0	0	low-Pegel
0	1	jedem Wechsel
1	0	fallender Flanke
1	1	steigender Flanke

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Flanken-/Pegel-Steuerung (2)

- Je nach Variante des AVR-µC befinden sich die ISC-Bits in unterschiedlichen Registern:
  - ATmega128: External Interrupt Control Register A bzw. B (`EICRA` für INT 0-3, `EICRB` für INT 4-7).
  - ATmega8: MCU Control Register (`MCUCR`)
- Beispiel: `INT0` bei fallender Flanke

```
// die ISCs für INT0 befinden sich im EICR A
EICRA &= ~(1<<ISC00);     // ISC00 löschen
EICRA |= (1<<ISC01);      // ISC01 setzen
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Maskieren

- Alle Interruptquellen können separat ausgeschaltet (=maskiert) werden
- Für externe Interrupts sind folgende Register zuständig:
  - ATmega128: External Interrupt Mask Register (`EIMR`)
  - ATmega8: General Interrupt Control Register (`GICR`)
- Die Bits in diesen Registern sind durch Makros `INT`*n* definiert
- Beispiel:

```
EIMSK |= (1<<INT0);       // unmaks Interrupt 0
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Maskieren (2)

- Alle Interrupts können nochmals bei der CPU direkt abgeschaltet werden
  - ➤ durch spezielle Maschinenbefehle
- Die Bibliothek avr-libc bietet hierfür Funktionen an:
  (**`#include <avr/interrupt.h>`**)
  - ◆ **`sei()`** - lässt Interrupts zu
  - ◆ **`cli()`** - blockiert alle Interrupts
- Beispiel

```
#include <avr/interrupt.h>

sei();                          // IRQs zulassen
```

- Innerhalb eines Interrupt-Handlers sind automatisch alle Interrupts maskiert, beim Verlassen werden sie wieder demaskiert

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3 Interrupt-Handler

- Installieren eines Interrupt-Handlers wird durch die verwendete Bibliothek unterstützt
- Makro `ISR` (Interrupt Service Routine) zur Definition einer Handler-Funktion
  (**`#include <avr/interrupt.h>`**)
- Als Parameter gibt man dem Makro den gewünschten Vektor an, z. B. `INT0_vect` für den externen Interrupt 0
- Beispiel: Handler für Interrupt 0 implementieren

```
#include <avr/interrupt.h>
volatile int zaehler;

ISR (INT0_vect) {
  zaehler++;
}
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U4-5 AVR Umgebung

1 Compiler

- Um auf einem PC Programme für den AVR-Mikrocontroller zu erstellen, wird ein ***Cross-Compiler*** benötigt
  - ◆ AVR-Studio + WinAVR (Windows)
  - ◆ GNU gcc (Linux)
- Wir verwenden gcc: Alle benötigten Programme, Werkzeuge und Bibliotheken befinden sich in: `/proj/i4gdi/tools/`
  - ➤ z. B. der Cross-Compiler: `/proj/i4gdi/tools/bin/avr-gcc`
- Wichtiger Parameter: `-mmcpu`, um den Werkzeugen die genaue Zielplattform mitzuteilen
  - ➤ Beispiel: ein Programm für den ATmega128 erstellen

```
/proj/i4gdi/tools/bin/avr-gcc -mmcu=atmega128 ampel.c -o ampel
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 AVR-Simulator

- Simuliert die AVR-CPU und die integrierte Peripherie auf der Entwicklungsplattform
- Einfaches Testen und Debuggen, ohne das Programm auf der echten Hardware installieren zu müssen
- Bietet Möglichkeiten den Zustand der Pins zu verändern und zu beobachten
- In Verbindung mit einem Debugger ist auch das zeilenweise Ausführen des Programmes möglich
- Mögliche Varianten:
  - ➤ integriert in AVR-Studio (Windows)
  - ➤ `simulavr` bzw. `simulavrxx` (Linux)

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3 AVR-Simulator simulavrxx

- Simulator für den ATmega128
- Der Simulator befindet sich in: `/proj/i4gdi/tools/bin/`
- Aufruf des Simulators mit einer kleinen graphischen Anzeige der Peripherie für unsere Übungsaufgabe:
  `/proj/i4gdi/tools/bin/simulavr_gui` Programm-Name
- An den Simulator kann man einen Debugger koppeln
  - Simulator und Debugger starten:
    `/proj/i4gdi/tools/bin/simulavr_gui_debug` Programm-Name

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4 Makefile

- Zur Vereinfachung wird unter
  `/proj/i4gdi/pub/aufgabe4/Makefile`
  ein kleines Makefile zur Verfügung gestellt
- Ein Makefile beschreibt wie ein Programm gebaut und ggf. gestartet wird
- Das Programm `make` liest dieses Makefile und baut das Programm entsprechend
- Kopieren sie sich das Makefile in ihr Verzeichnis
  `cp /proj/i4gdi/pub/aufgabe4/Makefile /proj/i4gdi/loginname/aufgabe4/`
- Ein Aufruf von `make` erstellt das Programm `ampel` für den ATmega128 falls ein `ampel.c` im selben Verzeichnis liegt
- `make sim` erstellt das Programm und startet es mit Hilfe des Simulators

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U4-6 Ein einfaches Beispiel

- `bsp.c`: Die grüne LED einschalten.

```
#include <avr/io.h>

int main(void){

    DDRB |= 0xff;  //alle Pins von Port B als Ausgang nutzen
    PORTB = 0x01;  // ... und Pin 0 auf high setzen

    for (;;);
}
```

- Compilieren:

```
/proj/i4gdi/tools/bin/avr-gcc -mmcu=atmega128 bsp.c -o bsp
```

- Programm im Simulator starten

```
/proj/i4gdi/tools/bin/simulavr_gui bsp
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U4-7 Übungsaufgabe: Peripherie

- Als externe Peripherie verwenden wir 4 LEDs und einen Taster die wie folgt angeschlossen sind:

	ATmega128 (Simulator)	ATmega8
Taster (Eingang)	Port D Pin 0	Port D Pin 2
LED rot	Port B Pin 0	
LED gelb	Port B Pin 1	
LED grün	Port B Pin 2	
LED x	Port D Pin 7	

- Adressen der Port-Register im I/O-Adressbereich (identisch für ATmega128 und ATmega8)

Register	Adresse
DDRB	0x37
PORTB	0x38
PINB	0x36

Register	Adresse
DDRD	0x31
PORTD	0x32
PIND	0x30

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Taster-Details

- Für den Taster muss der pull-up-Widerstand aktiviert werden
- Taster zieht den Pegel auf GND
- Durch den Taster kann Interrupt 0 ausgelöst werden

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.