U1 1. Übung

- Organisatorisches
- Arbeitsumgebung
- Toolchain: vom Quellcode zum ladbaren Binärabbild
- Arbeiten mit dem Debugger
- Aufgabe 0

U1-1 Organisatorisches

- keine Vorlesung
  - Grundlegende C-Kenntnisse aus der Vorlesung werden vorausgesetzt...
  - ...oder müssen sich selbst angeeignet werden
- Übungsablauf wie im Sommersemester
  - Besuch einer Tafelübung (Anwesenheitspflicht)
    - Anmeldung im Waffel zur Abgabe von Aufgaben zwingend erforderlich
  - Besuch von Rechnerübungen (2 Termine) nach Bedarf
  - **eigenständige Arbeit** außerhalb der Übungen erforderlich!
- Erwerb von Bonuspunkten
  - Bonuspunkte aus dem Sommersemester können nicht übernommen werden
  - Neuerwerb von Bonuspunkten durch Bearbeitung der Übungsaufgaben
- Alle Aufgaben sind **einzeln** abzugeben

U1-1 Umsetzung von Evaluationsanmerkungen

- viele neue Boards...
- mehr Wert auf eigenständige (real-world nahe ;-)) Arbeit
  - selbstständiges Nachschlagen im Datenblatt
  - möglichst keine 1:1 übernehmbaren Codebeispiele in den Folien
  - Bereitstellung einer Schnittstellen-Dokumentation (in späteren Aufgaben)
- größere Programme aus mehreren Modulen
- Makefiles
- bei Bedarf zwei Übungsleiter in den Rechnerübungen
  - wenn bis 30 Minuten nach Übungsbeginn (*hh*:30 Uhr) keine Teilnehmer anwesend sind, können die Übungsleiter die Rechnerübung vorzeitig beenden

U1-2 Arbeitsumgebung

- 20 neue SPiC-Boards, entwickelt von Susanne Brunner
  - umfangreichere Peripherie als auf den alten Boards
  - ATMega32 Mikrokontroller (MCU)
- zugehörige Hardware-Debugger
  - Entwicklung direkt auf den Boards
  - Nutzung des Simulators entfällt
- Entwicklung ausschließlich unter Linux

U1-2 UNIX/Linux Benutzerumgebung

- Projektverzeichnisse zur Bearbeitung der Übungsaufgaben
  - `/proj/i4spic/`*login-Name*
  - werden nach Anmeldung im Waffel innerhalb eines Tages erzeugt
  - Wechseln des Arbeitsverzeichnisses dorthin (cd = change directory):
    `cd /proj/i4spic/`*login-Name*
  - Einrichten eines Verzeichnisses für Aufgabe 1:
    `mkdir aufgabe1`
  - Anzeigen der Dateien in einem Verzeichnis:
    aktuelles Verzeichnis anzeigen: `ls` oder `ls -l`
    Verzeichnis `aufgabe1` anzeigen: `ls -l aufgabe1`
- Aufgaben sollten ausschließlich im Projektverzeichnis bearbeitet werden
  - Nur vom eigenen Benutzer lesbar
  - Suchverzeichnis des Abgabeprogramms

U1-2 Kommandointerpreter (Shell)

- Kommandointerpreter (Shell)
  - Programm, das Kommandos entgegennimmt und ausführt
  - verschiedene Varianten, am häufigsten unter Linux: bash oder tcsh
- Sonderzeichen
  - einige Zeichen haben unter UNIX besondere Bedeutung
  - Funktionen:
    - Korrektur von Tippfehlern
    - Einwirkung auf den Ablauf von Programmen
- Übersicht: (<CTRL> = <STRG>)

<BACKSPACE>	letztes Zeichen löschen (manchmal auch **<DELETE>**)
<CTRL> - C	Interrupt - Programm wird abgebrochen
<CTRL> - Z	Stop - Programm wird gestoppt (Fortsetzen mit `fg`)
<CTRL> - D	End-of-File

U1-3 Toolchain: Vom Quellcode zum geflashten Binärabbild

(1) Erstellen des Programmquellcodes mit einem Texteditor (z.B. vim oder **kate**)
- das Programm besteht ggf. aus mehreren Modulen (= **.c-Dateien**)
- und ggf. einer Schnittstellenbeschreibung/Header pro Modul (= **.h-Dateien**)
- modulare Programmierung ist Gegenstand einer späteren Übung

(2) Übersetzen der C-Module zu Objektdateien mit einem C-Compiler (GCC)
- jedes C-Modul wird zu einer Objektdatei (= **.o-Datei**) kompiliert
- da wir Binärcode für den AVR erzeugen wollen, verwenden wir einen AVR-Crosscompiler (avr-gcc)

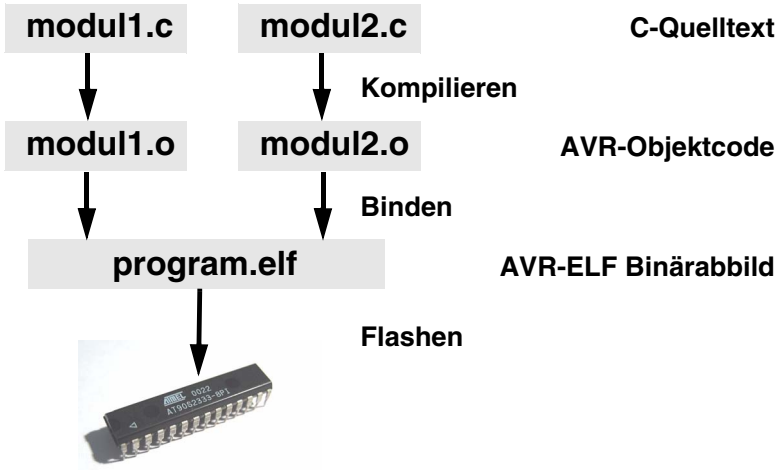
```
avr-gcc -c -o modul2.o modul2.c
```

(3) Linken/Binden der Objektdateien zu einem ladbaren ELF-Binärabbild (**.elf-Datei**)
- mit GCC oder LD

```
avr-gcc -o program.elf modul1.o modul2.o
```

(4) Flashen des Binärabbilds auf den Mikrokontroller
- z.B. mit avarice oder avrdude

U1-3 Toolchain Überblick



U1-3 Texteditoren

- verschiedene Editoren unter UNIX verfügbar
  - vim
  - emacs
- für Newbs zu empfehlen: `kate`
  - Starten
    - ➤ durch Eingabe von `kate` in einer Shell
    - ➤ oder über Auswahlmenü von KDE
- Abspeichern der Quelltexte in Dateien mit der Endung **.c** im Projektverzeichnis
  - die zu entwickelnden Module und Dateinamen sind in der Aufgabenstellung vorgegeben

U1-3 Kompilieren der C-Module

- C-Quellcode wird mit einem C-Compiler (z.B. GCC) zu Binärcode für die Zielarchitektur (hier: 8-bit AVR) übersetzt: **avr-gcc**
- Jede **.c**-Datei wird in eine Objektdatei übersetzt: Compileroption **-c**
- Referenzen auf externe Symbole werden hierbei noch nicht aufgelöst
- Weitere Compiler Flags
  - -mmcu=atmega32: teilt dem Compiler den Typ der Ziel-CPU mit
  - -ansi: wählt den C-Standard ISO C90
  - -Wall: aktiviert viele Warnungen, die auf evtl. Programmierfehler hinweisen
  - -pedantic: aktiviert weitere Warnungen in Bezug auf ISO-C-Konformität
  - -O0 bzw. -Os: Optimierungen deaktivieren bzw. nach Größe optimieren
    ☞ Debuggen mit -O0 -g, Testen (**volatile** richtig verwendet?) mit -Os
- Übersetzung eines C-Moduls **modul.c** dann zu **modul.o** mit Aufruf:

```
avr-gcc -Os -c -mmcu=atmega32 -ansi -pedantic -Wall modul.c
```


U1-3 Binden der Objektdateien

- Im Bindeschritt werden offene Symbolreferenzen aufgelöst
- Binden z.B. mit **avr-gcc**
- Beispiel: Programm aus den Modulen **modul1.o** und **modul2.o**
  - mit avr-gcc (**-o** bestimmt den Namen der Zieldatei, hier **program.elf**):

```
avr-gcc -mmcu=atmega32 -o program.elf modul1.o modul2.o
```

- GCC kann auch in einem Schritt kompilieren und binden:

```
avr-gcc -mmcu=atmega32 ... -o program.elf modul1.c modul2.c
```

  - Vorteil: Übersetzer sieht komplettes Programm ➡ globale Optimierungen
    - in aktuellen GCC Versionen: Compiler-Flags **-combine -fwhole-program**
  - Nachteil: Alle Module müssen komplett übersetzt werden, auch wenn man nur ein Modul verändert hat
  - Für kleine Programme ist diese Variante aber oft die bevorzugte Wahl
  - In SPiC: your choice...

U1-3 Flashen des ELF-Images

- Ablegen des Binärabbilds im Flash-ROM des Mikrokontrollers
  - z.B. mit unserem Debugger und dem Programm **avarice**
  - wir haben das entsprechende Kommando in einem **Makefile** abgelegt
  - Beispiel: Flashen des Binärabbilds **program.elf**:

```
make -f /proj/i4spic/pub/i4/debug.mk program.elf.flash
```

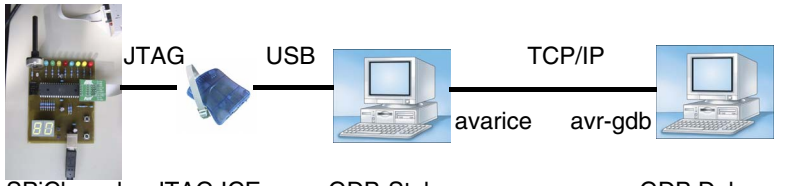
- Nach jedem Reset lädt der **Bootloader** des Mikrokontrollers die relevanten Sektionen in den RAM und startet die Ausführung

U1-4 Debugger

- Der Debugger vereinfacht die Fehlersuche im Programm
  - ähnlich wie der Debugger des Simulators im Sommersemester
  - schrittweises Abarbeiten des Programms
  - Beobachten der Werte von Variablen
  - Haltepunkte (Breakpoints), auch abhängig von Bedingungen
- Die JTAG-Debugger erlauben das Debugging der Ausführung direkt auf dem Mikrokontroller
- Die Debugger/Boards können gegen Hinterlegung eines staatlichen Ausweisdokuments **für die Arbeit im CIP-Pool** ausgeliehen werden
  - Abholung/Rückgabe bei M. Stilkerich (Büro 0.044, RRZE Erdgeschoss)
  - die Debugger sind am gleichen Tag zurückzugeben

U1-4 Anschluss des Debuggers

- Verbinden des Debuggers mit dem JTAG-Anschluss auf dem SPiCboard
- Board und Debugger an zwei USB-Ports des Rechners anschließen
  - Achtung: der Debugger funktioniert nicht zuverlässig an den SunRays, daher "richtige" Rechner verwenden
- Das Programm **avarice** öffnet einen GDB-Stub und fungiert so als Mittler zwischen JTAG-Debugger und Software-Debugger (**avr-gdb**)
- GDB-Stub-Rechner und Debug-Rechner sind normalerweise identisch



U1-4 Verwendung des Debuggers

- Flashen des Binärabbilds **program.elf** in den Mikrokontroller
  - das Binärabbild sollte mit Debug Symbolen erzeugt werden:
    ☞ zusätzliches Compiler-Flag **-g** bei der Übersetzung verwenden
  - Compiler-Optimierungen sollten deaktiviert werden: **-O0**
- Starten des GDB-Stubs **avarice**

```
make -f /proj/i4spic/pub/i4/debug.mk dbgstub
```

- Starten des Debuggers **avr-gdb** auf dem gleichen Rechner

```
avr-gdb program.elf
```

  - das hier verwendete Binärimage muss mit dem in den Mikrokontroller geflashten Abbild übereinstimmen!
- Verbinden des Debuggers mit dem GDB-Stub

```
target remote localhost:4242
```

- Das Programm ist gestoppt an der ersten Instruktion

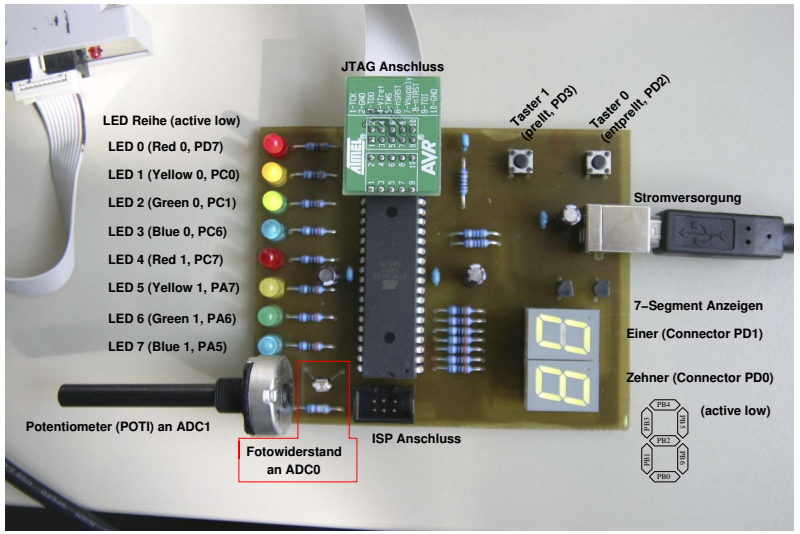
U1-4 Wichtige GDB-Kommandos

- Schrittweises Abarbeiten des Programms
  - **n**: führt nächste Zeile C-Code aus, übergeht Funktionen
  - **s**: wie **n**, steigt aber in Funktionen ab
- Setzen von Breakpoints (Haltepunkten)
  - Anzahl durch die Hardware auf 3 beschränkt
  - **b** [***Dateiname:***]***Funktionsname*** [***condition***]
  - **b** ***Dateiname:Zeilennr.*** [***condition***]
  - Die Ausführung stoppt bei Erreichen der angegebenen Stelle
  - wenn **condition** angeben (C-Ausdruck) nur dann, wenn Bedingung erfüllt ist
  - Breakpoints anzeigen: info breakpoints
  - Breakpoint löschen (Nr. des Breakpoints aus Anzeige): **d *BreakpointNr***
- Fortsetzen der Programmausführung bis zu Haltepunkt: **c**

U1-4 Wichtige GDB-Kommandos

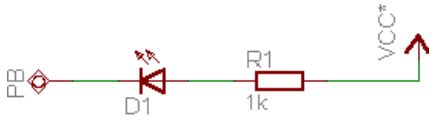
- Watchpoints: Stop der Ausführung bei Zugriff auf eine bestimmte Variable
  - **watch *expr***: Stoppt, wenn sich Wert des C-Ausdrucks **expr** ändert
  - **rwatch *expr***: Stoppt, wenn **expr** gelesen wird
  - **awatch *expr***: Stoppt bei jedem Zugriff (kombiniert **rwatch** und **watch**)
  - **expr** ist ein C-Ausdruck, im einfachsten Fall der Name einer Variable
  - Achtung: für jedes Byte des Ausdrucks wird ein Hardware-Breakpoints verbraucht, **watch** auf einen **int** belegt also zwei Hardware-Breakpoints!
- Weitere im Reference-Sheet (☞ Doku-Bereich der Webseite)

U1-5 SPiCboard



U1-5 Hardware

- acht Leuchtdioden
  - Achtung: die LEDs werden durch low-Pegel eingeschaltet



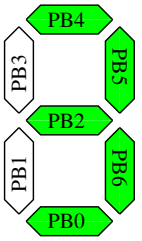
- zwei Geräte am A/D-Wandler
  - Potentiometer: Regelbarer Spannungsteiler
  - Fotowiderstand: von Helligkeit abhängiger Widerstand
- zwei Taster
  - ein Taster ist entprellt, der andere muss durch Software entprellt werden
  - der nicht-entprellte Taster darf nicht an einer Interruptleitung betrieben werden

U1-5 7-Segment-Anzeigen

- zwei 7-Segment-Anzeigen
- bestehen aus 7 Balken, die ebenfalls durch low-Pegel aktiviert werden
  - für jedes darzustellende Zeichen muss man sich also überlegen, welche Balken leuchten sollen
  - an diese Pins legt man einen low-Pegel an
- Beispiel (Erinnerung: active low!): Ziffer 3

  ```
  0b 1000 1010 = 0x8a
  ```

  ☞ Der Wert 0x8a in Port B zeigt die Ziffer 3 an.



- teilen sich einen Port
  - Umschaltung zwischen den Anzeigen mit Transistoren
  - low-Pegel an Transistorpin verbindet entsprechende Anzeige mit Port B
  - schnelle Umschaltung zwischen den Anzeigen für Auge nicht wahrnehmbar
  - quasi-paralleler Betrieb also z.B. durch einen regelmässigen Timerinterrupt

U1-6 Aufgabe 0

- Einfacher Countdown (von 9 bis 0)
  - es wird nur eine 7-Segemtanzeige verwendet (Umschaltung nicht nötig!)
- Ziele der Aufgabe: Kennenlernen der Arbeitsumgebung
  - wie bekomme ich mein Programm auf den Mikrokontroller
  - wie verwende ich einen Debugger, um den Programmablauf zu beobachten
  - wie gebe ich meine Aufgabe ab
- Notwendiges bzw. anzueignendes Wissen
  - Hardware Ports konfigurieren
  - Umgang mit Hexadezimalzahlen
  - siehe ATMega32 Datenblatt, S. 49-54
    ☞ zu finden im Doku-Bereich auf der SPiC-Webseite
  - alternativ: SPiC Übung U4 aus dem Sommersemester