

Systemnahe Programmierung in C

19 Unterbrechungen – Beispiel

J. Kleinöder, D. Lohmann, V. Sieh, P. Wägemann

Lehrstuhl für Informatik 4
Systemsoftware

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg (FAU)

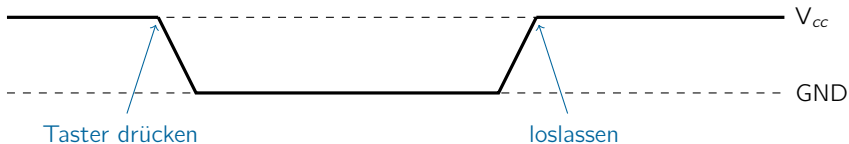
Sommersemester 2026

<http://sys.cs.fau.de/lehre/ss26>



Pegel- und Flanken-gesteuerte Interrupts

- Beispiel: Signal eines **idealisierten** Tasters (*active low*)



- Flankengesteuerter Interrupt
 - Interrupt wird durch den Pegelwechsel (Flanke) ausgelöst
 - Häufig ist konfigurierbar, welche Flanke (steigend/fallend/beide) einen Interrupt auslösen soll
- Pegelgesteuerter Interrupt
 - Interrupt wird immer wieder ausgelöst, so lange der Pegel anliegt



Interruptsteuerung beim AVR ATmega

■ IRQ-Quellen beim ATmega328PB

- 45 IRQ-Quellen
- einzeln de-/aktivierbar
- IRQ \rightsquigarrow Sprung an Vektor-Adresse

(IRQ \mapsto *Interrupt ReQuest*)

[1, S. 78]

■ Verschaltung SPiCboard

(\leftrightarrow 17-12 \leftrightarrow 2-10)

- INT0 \mapsto PD2 \mapsto Button0 (hardwareseitig entprellt)
- INT1 \mapsto PD3 \mapsto Button1

Vector No	Program Address	Source	Interrupts definition
1	0x0000	RESET	External Pin, Power-on Reset, Brown-out Reset and Watchdog System Reset
2	0x0002	INT0	External Interrupt Request 0
3	0x0004	INT1	External Interrupt Request 0
4	0x0006	PCINT0	Pin Change Interrupt Request 0
5	0x0008	PCINT1	Pin Change Interrupt Request 1
6	0x000A	PCINT2	Pin Change Interrupt Request 2
7	0x000C	WDT	Watchdog Time-out Interrupt
8	0x000E	TIMER2_COMPA	Timer/Counter2 Compare Match A
9	0x0010	TIMER2_COMPB	Timer/Counter2 Compare Match B
10	0x0012	TIMER2_OVF	Timer/Counter2 Overflow
11	0x0014	TIMER1_CAPT	Timer/Counter1 Capture Event
12	0x0016	TIMER1_COMPA	Timer/Counter1 Compare Match A
13	0x0018	TIMER1_COMPB	Timer/Counter1 Compare Match B
14	0x001A	TIMER1_OVF	Timer/Counter1 Overflow
15	0x001C	TIMER0_COMPA	Timer/Counter0 Compare Match A
16	0x001E	TIMER0_COMPB	Timer/Counter0 Compare Match B
17	0x0020	TIMER0_OVF	Timer/Counter0 Overflow
18	0x0022	SPI0_STC	SPI1 Serial Transfer Complete
19	0x0024	USART0_RX	USART0 Rx Complete
20	0x0026	USART0_UDRE	USART0, Data Register Empty
21	0x0028	USART0_TX	USART0, Tx Complete
22	0x002A	ADC	ADC Conversion Complete



Externe Interrupts: Register

■ Steuerregister für INT0 und INT1

- **EIMSK** **External Interrupt Mask Register:** Legt fest, ob die Quellen INT_i IRQs auslösen (Bit $INT_i=1$) oder deaktiviert sind (Bit $INT_i=0$) [1, S. 84]



- **EICRA** **External Interrupt Control Register A:** Legt für externe Interrupts INT0 und INT1 fest, wodurch ein IRQ ausgelöst wird (Flanken-/Pegelsteuerung) [1, S. 83]



Jeweils zwei *Interrupt-Sense-Control*-Bits (ISC_{i0} und ISC_{i1}) steuern dabei die Auslöser (Tabelle für INT1, für INT0 gilt entsprechendes):

ISC11	ISC10	Description
0	0	The low level of INT1 generates an interrupt request.
0	1	Any logical change on INT1 generates an interrupt request.
1	0	The falling edge of INT1 generates an interrupt request.
1	1	The rising edge of INT1 generates an interrupt request.



- **Schritt 1:** Installation der **Interrupt-Service-Routine**
 - ISR in Hochsprache \rightsquigarrow Registerinhalte sichern und wiederherstellen
 - Unterstützung durch die `avrlibc`: Makro `ISR(SOURCE_vect)` (Modul `avr/interrupt.h`)

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

ISR(INT1_vect) { // asynchronously invoked for every INT1 IRQ
    static uint8_t counter = 0;
    sb_7seg_showNumber(counter++);
    if (counter == 100) counter = 0;
}

void main(void) {
    ... // setup
}
```



■ Schritt 2: Konfigurieren der Interrupt-Steuerung

- Steuerregister dem Wunsch entsprechend initialisieren
- Unterstützung durch die `avrlibc`: Makros für Bit-Indizes (Modul `avr/interrupt.h` und `avr/io.h`)

```
...  
void main(void) {  
  DDRD  &= ~(1<<PD3);           // PD3: input with pull-up  
  PORTD |= (1<<PD3);  
  EICRA &= ~(1<<ISC10 | 1<<ISC11); // INT1: IRQ on level=low  
  EIMSK |= (1<<INT1);           // INT1: enable  
  ...  
  sei();                         // global IRQ enable  
  ...  
}
```

■ Schritt 3: Interrupts global zulassen

- Nach Abschluss der Geräteinitialisierung
- Unterstützung durch die `avrlibc`: Befehl `sei()` (Modul `avr/interrupt.h`)



■ Schritt 4: Wenn nichts zu tun, den Stromsparmmodus betreten

- Die `sleep`-Instruktion hält die CPU an, bis ein IRQ eintrifft
 - In diesem Zustand wird nur sehr wenig Strom verbraucht
- Unterstützung durch die `avrlibc` (Modul `avr/sleep.h`):
 - `sleep_enable()` / `sleep_disable()`: Sleep-Modus erlauben / verbieten
 - `sleep_cpu()`: Sleep-Modus betreten



```
#include <avr/sleep.h>
...
void main(void) {
...
    sei(); // global IRQ enable
    while(1) {
        sleep_enable();
        sleep_cpu(); // wait for IRQ
        sleep_disable();
    }
}
```



- [1] *ATmega328PB 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash*. Atmel Corporation. Okt. 2015. URL: https://sys.cs.fau.de/extern/lehre/ss25/spic/uebung/spicboard/Atmel-42397-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328PB_Datasheet.pdf.

