# E Mikrocontroller-Programmierung

## E.1 Überblick

- Mikrocontroller-Umgebung
  - ➤ Prozessor am Beispiel AVR-Mikrocontroller
  - ➤ Speicher
  - ➤ Peripherie
- Programmausführung
  - ➤ Programm laden
  - ➤ starten
  - ➤ Fehler zur Laufzeit
- Interrupts
  - ➤ Grundkonzepte
  - ➤ Nebenläufigkeit
  - ➤ Umgang mit Nebenläufigkeit


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



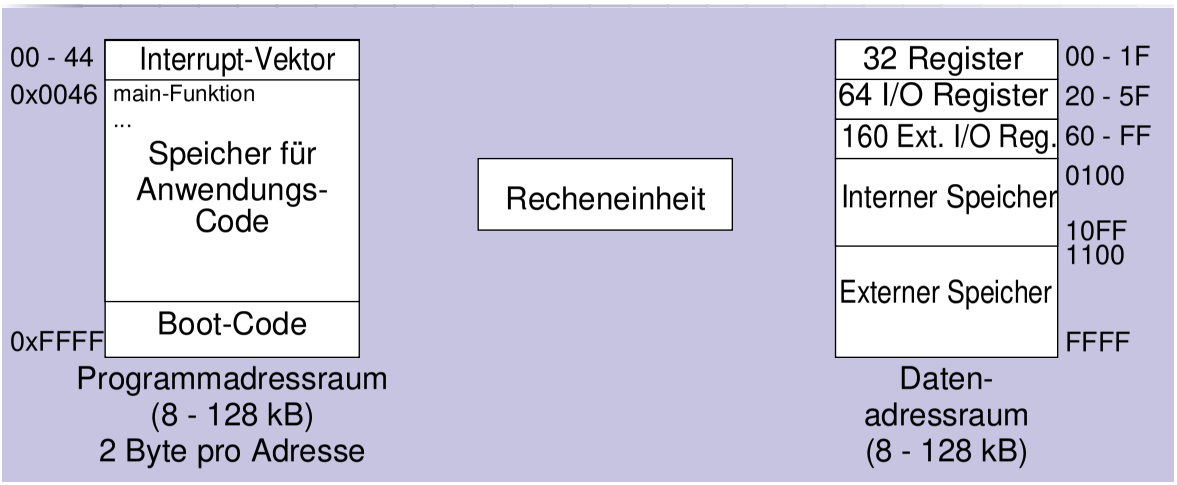
# 1 Mikrocontroller-Umgebung

- Programm läuft "nackt" auf der Hardware
  - ➥ Compiler und Binder müssen ein vollständiges Programm erzeugen
    - ➤ keine Betriebssystemunterstützung zur Laufzeit
  - ◆ Funktionalität muss entweder vom Anwender programmiert werden oder in Form von Funktionsbibliotheken zum Programm dazugebunden werden
  - ◆ Umgang mit "lästigen Programmierdetails" (z. B. bestimmte Bits setzen) wird durch Makros erleichtert
- Es wird genau ein Programm ausgeführt
  - ➤ Programm kann zur Laufzeit "niemanden stören"
  - ➤ Fehler betreffen nur das Programm selbst
  - ➤ keine Schutzmechanismen notwendig
    - ➥ ABER: Fehler ohne direkte Auswirkung werden leichter übersehen


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

# E.2 Beispiel: AVR-Mikrocontroller (ATmega-Serie)

## 1 Architektur




- Getrennter Speicher für Programm (Flash-Speicher) und Daten (SRAM)
- Register des Prozessors und Register für Ein-/Ausgabe-Schnittstellen sind in Adressbereich des Datenspeichers eingebettet


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



## 1 Architektur(2)

- Peripherie-Bausteine werden über I/O-Register angesprochen bzw. gesteuert (Befehle werden in den Bits eines I/O-Registers kodiert)
  - ➤ mehrere Timer
    (Zähler, deren Geschwindigkeit einstellbar ist und die bei einem bestimmten Wert einen Interrupt auslösen)
  - ➤ Ports
    (Gruppen von jeweils 8 Anschlüssen, die auf 0V oder $V_{cc}$ gesetzt, bzw. deren Zustand abgefragt werden kann)
  - ➤ Output Compare Modulator (OCM)
    (zur Pulsweitenmodulation)
  - ➤ Serial Peripheral Interface (SPI)
  - ➤ Synchrone/Asynchrone serielle Schnittstelle (USART)
  - ➤ Analog-Comparator
  - ➤ A/D-Wandler
  - ➤ EEPROM
    (zur Speicherung von Konfigurationsdaten)


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

## 2 In Speicher eingebettete Register (memory mapped registers)

- Je nach Prozessor sind Zugriffe auf I/O-Register auf zwei Arten realisiert:
  - ◆ spezielle Befehle (z. B. in, out bei x86)
  - ◆ in den Adressraum eingebettet, Zugriff mittels Speicheroperationen
- Bei den meisten Mikrocontrollern sind die Register in den Speicheradressraum eingebettet
- Zugriffe auf die entsprechende Adresse werden auf das entsprechende Register umgeleitet

↪ sehr einfacher und komfortabler Zugriff


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



## 3 I/O-Ports

- Ein I/O-Port ist eine Gruppe von meist 8 Anschluss-Pins und dient zum Anschluss von digitalen Peripheriegeräten
- Die Pins können entweder als Eingang oder als Ausgang dienen
  - ◆ als Ausgang konfiguriert, kann man festlegen, ob sie eine logische "1" oder eine logische "0" darstellen sollen
    - ➤ Ausgang wird dann entsprechend auf $V_{CC}$ oder GND gesetzt
  - ◆ als Eingang konfiguriert, kann man den Zustand abfragen
- Manche I/O Pins können dazu genutzt werden, einen Interrupt (IRQ = Interrupt Request) auszulösen (externe Interrupt-Quelle)
- Die meisten Pins können alternativ eine Spezialfunktion übernehmen, da sie einem integrierten Gerät als Ein- oder Ausgabe dienen können
  - ◆ z. B. dienen die Pins 0 und 1 von Port E (ATmega128) entweder als allgemeine I/O-Ports oder als RxD und TxD der seriellen Schnittstelle


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

## 4 Programme laden

- generell bei Mikrocontrollern mehrere Möglichkeiten
- Programm ist schon da (ROM)
- Bootloader-Programm ist da, liest Anwendung über serielle Schnittstelle ein und speichert sie im Programmspeicher ab
- spezielle Hardware-Schnittstelle
  - ➤ "jemand anderes" kann auf Speicher zugreifen
  - ➤ Beispiel: JTAG
    spezielle Hardware-Komponente im AVR-Chip, die Zugriff auf die Speicher hat und mit der man über spezielle PINs kommunizieren kann


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



## 5 Programm starten

- Reset bewirkt Ausführung des Befehls an Adresse 0x0000
  - ➤ dort steht ein Sprungbefehl auf die Speicheradresse einer start-Funktion, die nach einer Initialisierungsphase die main-Funktion aufruft
  - ➤ alternativ: Sprungbefehl auf Adresse des Bootloader-Programms, Bootloader lädt Anwendung, initialisiert die Umgebung und springt dann auf main-Adresse

## 6 Fehler zur Laufzeit

- Zugriff auf ungültige Adresse
  - ◆ es passiert nichts:
    - ➤ Schreiben geht in's Leere
    - ➤ Lesen ergibt zufälliges Ergebnis
- ungültige Operation auf nur-lesbare / nur-schreibbare Register/Speicher
  - ➤ hat keine Auswirkung


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

# E.3 Interrupts

## 1 Motivation

- An einer Peripherie-Schnittstelle tritt ein Ereignis auf
  - ➤ Spannung wird angelegt
  - ➤ Zähler ist abgelaufen
  - ➤ Gerät hat Aufgabe erledigt (z. B. serielle Schnittstelle hat Byte übertragen, A/D-Wandler hat neuen Wert vorliegen)
  - ➤ Gerät hat Daten für die Anwendung bereit stehen (z. B. serielle Schnittstelle hat Byte empfangen)

? wie bekommt das Programm das mit?

- ➤ Zustand der Schnittstelle regelmäßig überprüfen (= ***Polling***)
- ➤ Schnittstelle meldet sich von sich aus beim Prozessor und unterbricht den Programmablauf (= ***Interrupt***)


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



## 1 Motivation (2)

- Polling vs. Interrupts: Vor und Nachteile
  - ◆ Polling
    - \+ Pollen erfolgt **synchron** zum Programmablauf, Programm ist in dem Moment auf das Ereignis vorbereitet
    - – Interrupts unterbrechen den Programmablauf irgendwo (**asynchron**), sie könnten in dem Augenblick stören
      - ➥ durch die Interrupt-Bearbeitungentsteht **Nebenläufigkeit**
    - – Pollen erfolgt explizit im Programm und meistens umsonst — Rechenzeit wird verschwendet


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

# 1 Motivation (3)

- Polling vs. Interrupts: Vor und Nachteile
  - ◆ Interrrupts
    - \+ Interrupts melden sich nur, wenn tatsächlich etwas zu erledigen ist
    - \+ Interrupt-Bearbeitung ist in einer Funktion kompakt zusammengefasst
    - – Polling-Funktionalität ist in den normalen Pragrammablauf eingestreut — und hat mit der "eigentlichen" Funktionalität dort meist nichts zu tun


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



# 2 Implementierung

- typischerweise mehrere Interrupt-Quellen
- Interrupt-Vektor
  - ◆ Speicherbereich (Tabelle), der für jeden Interrupt Informationen zur Bearbeitung enthält
    - ➤ Maschinenbefehl
      (typischerweise ein Sprungbefehl auf eine Adresse, an der eine Bearbeitungsfunktion steht)
      oder
    - ➤ Adresse einer Funktion (***Interrupt-Handler***)
  - ◆ feste Position im Speicher — ist im Prozessorhandbuch nachzulesen
- Maskieren von Interrupts
  - ➤ Bit im Prozessor-Statusregister schaltet den Empfang aller Interrupts ab
  - ➤ zwischenzeitlich eintreffende Interrupts werden gepuffert (nur einer!)
  - ➤ die Erzeugung einzelner Interrupts kann am jeweiligen Gerät unterbunden werden


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

# 3 Ablauf

① Gerät löst Interrupt aus,
Ablauf des Anwendungsprogramms wird unmittelbar unterbrochen

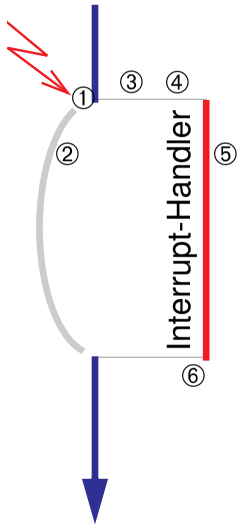
② weitere Interrupts werden deaktiviert

③ aktuelle Position im Programm und Registerinhalte werden im Datenspeicher gesichert

④ Eintrag im Interrupt-Vektor ermitteln

⑤ Befehl wird ausgeführt bzw.
Funktion aufrufen

⑥ am Ende der Bearbeitungsfunktion bewirkt ein Befehl "Return from Interrupt" die Fortsetzung des Anwendungsprogramms und die Reaktivierung der Interrupts



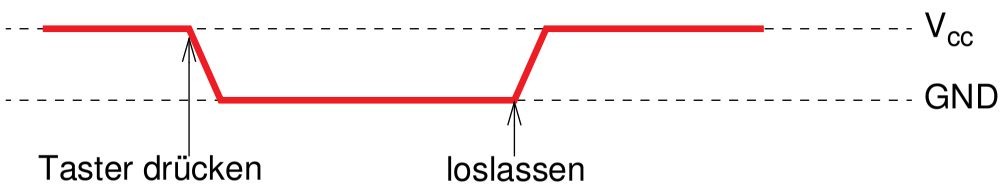


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.



# 4 Pegel- und Flanken-gesteuerte Interrupts

- Beispiel: Signal eines Tasters




- Flanken-gesteuert
  - ➤ Interupt wird durch die Flanke (= Wechsel des Pegels) ausgelöst
  - ➤ welche Flanke einen Interrupt auslöst kann bei manchen Prozessoren konfiguriert werden
- Pegel-gesteuert
  - ➤ solange ein bestimmter Pegel anliegt (hier Pegel = GND) wird immer wieder ein Interrupt ausgelöst


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