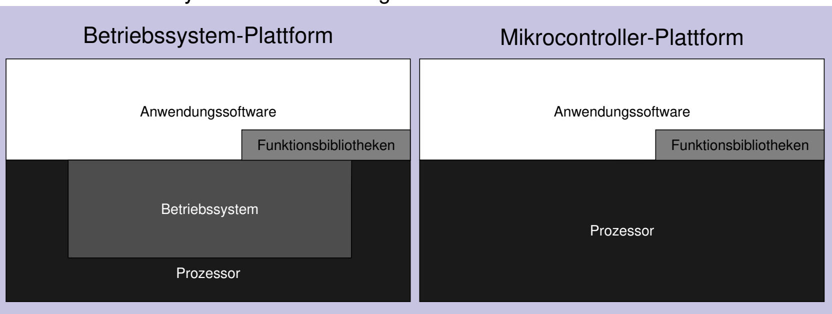
H Mikrocontroller-Programmierung

H.1 Überblick

- Mikrocontroller im Gegensatz zu Betriebssystem-Plattform
  - ➤ Prozessor am Beispiel AVR-Mikrocontroller
  - ➤ Speicher
  - ➤ Peripherie
- Programmausführung
  - ➤ Programm laden
  - ➤ starten
  - ➤ Fehler zur Laufzeit
- Interrupts
  - ➤ Grundkonzepte
  - ➤ Nebenläufigkeit
  - ➤ Umgang mit Nebenläufigkeit

H.2 Mikrocontroller vs. Betriebssystem-Plattform

- Entscheidende Unterschiede:
  - ◆ Betriebssystem-Unterstützung entfällt



  - ◆ Prozessor bietet in der Regel weniger / andere Funktionalität
    - ➤ kein virtueller Speicher
    - ➤ kein Speicherschutz
    - ➤ einfachere Peripherie-Ansteuerung

1 Betriebssystemunterstützung

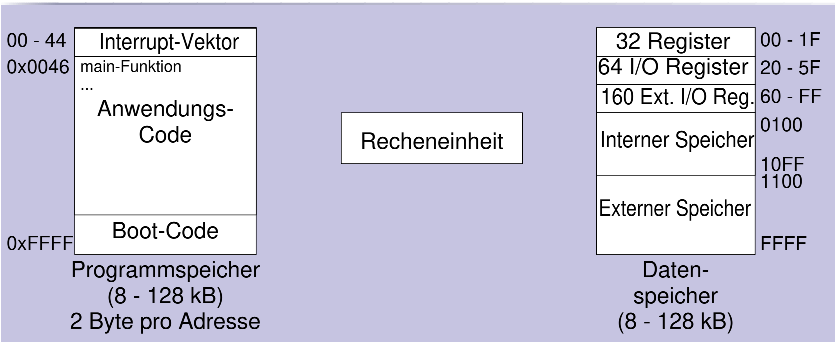
- Prozesse als Ausführungsumgebung für Programme
  - ◆ Erzeugen von Prozessen, Starten von Programmen
  - ◆ Ausführung mehrerer Prozesse quasi-gleichzeitig
  - ◆ Überwachung der Prozesse (z. B. beim Speicherzugriff), notfalls Abbrechen
- Dateisystem zur Abstraktion von Speichermedien und Peripheriegeräten
  - ◆ Abwicklung der Interaktion mit der Peripherie
    - ➤ Ansteuerung der Controller
    - ➤ Bearbeitung von Interrupts
  - ◆ Bereitstellen einer einheitlichen Schnittstelle (read/write) für Anwendungsprogramme
- Mechanismen zur Kommunikation zwischen Prozessen
  - ◆ gemeinsame Speicherbereiche
  - ◆ Nachrichtenaustausch
  - ◆ Signale

2 Mikrocontroller-Umgebung

- Programm läuft "nackt" auf der Hardware
  - ➥ Compiler und Binder müssen bereits ein vollständiges Programm erzeugen
    - ➤ kein dynamisches Binden zur Ladezeit
    - ➤ 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

H.3 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

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)

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 Speicher eingebettet
- Zugriffe auf die entsprechende Speicherstelle werden auf das entsprechende Register umgeleitet

➥ sehr einfacher und komfortabler Zugriff

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

4 Programme laden

- generell bei Mikrocontrollern mehrere Möglichkeiten
- Programm ist schon da (ROM)
- Bootloader-Programm ist da und 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

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

H.4 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***)

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

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

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

3 Ablauf

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

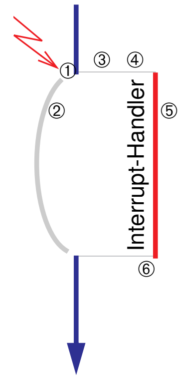
② weitere Interrupts werden deaktiviert

③ aktuelle Position im Programm und Registerinhalte werden im Datenspeicher gesichert

④ Eintrag im Interrupt-Vektor ermitteln

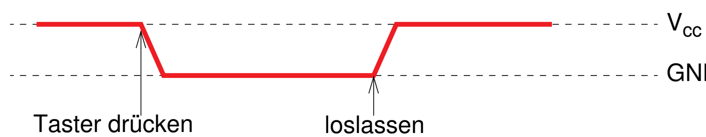
⑤ Befehl wird ausgeführt bzw. Funktion aufrufen

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



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