G Nebenläufigkeit

G.1 Überblick

- Definition von Nebenläufigkeit:
  zwei Programmausführungen sind nebenläufig, wenn für zwei einzelne Befehle a und b aus beiden Ausführungen nicht feststeht, ob a oder b tatsächlich zuerst ausgeführt wird

- Nebenläufigkeit tritt auf
  - bei Interrupts
  - bei parallelen Abläufen (gleichzeitige Ausführung von Code in einem Mehrprozessorsystem mit Zugriff auf den gleichen Speicher)
  - bei quasi-parallelen Abläufen (wenn ein Betriebssystem verschiedenen Prozesse den Prozessor jeweils für einen Zeitraum zuteilt und ihn nach Ablauf der Zeit wieder entzieht)

- Problem:
  - was passiert, wenn die nebenläufigen Ausführungen auf die gleichen Daten im Speicher zugreifen?

G.2 Nebenläufigkeit durch Interrupts

- Interrupts unterbrechen Anwendungsprogramme "irgendwo"

- Interrupts haben Zugriff auf den gleichen Speicher

- Szenario:
  - eine Lichtschranke soll Fahrzeuge zählen und alle 10 Sekunden soll der Wert ausgegeben werden

```
int a;

  int main() {
  long i;
  while(1) {
    for (i=0; i<2000000; i++)
    /* Zählen dauert 10 Sek. */;
    print(a);
    a=0;
  }
}
```

```
/* Lichtschranken-
   Interrupt */
int count() {
        a++;
}
```

G.2 Nebenläufigkeit durch Interrupts (2)

- Auf C-Ebene führt die Interrupt-Behandlung nur einen Befehl aus: a++
  - ➤ nur scheinbar ein Befehl
  - ➤ auf Maschinencode-Ebene (Bsp. AVR) sieht die Sache anders aus

```
...
    print(a);
    a=0;
...
```

```
int count() {
        a++;
}
```

```
...
.L5:
        lds r24,a
        lds r25,(a)+1
        rcall print
        sts (a)+1,__zero_reg__
        sts a,__zero_reg__
        rjmp .L2
...
```

```
...
        lds r24,a
        lds r25,(a)+1
        adiw r24,1
        sts (a)+1,r25
        sts a,r24
...
```


G.2 Nebenläufigkeit durch Interrupts (3)

- Annahme: Interrupt trifft folgendermaßen ein:

```
.L5:
        lds r24,a
        lds r25,(a)+1
        rcall print
        sts (a)+1,__zero_reg__
        sts a,__zero_reg__
        rjmp .L2
```

```
        lds r24,a
        lds r25,(a)+1
        adiw r24,1
        sts (a)+1,r25
        sts a,r24
```

  - ➤ Folge: ein Fahrzeug wird nicht gezählt

- Details des Szenarios zeigen mehrere Problemstellen:
  - ➤ int-Wert wird in zwei Schritten in zwei Register geladen (long: 4 Register)
  - ➤ Operationen erfolgen in Registern, danach wird in Speicher zurückgeschrieben

G.2 Nebenläufigkeit durch Interrupts (4)

- Annahme: Interrupt trifft folgendermaßen ein:

```
.L5:
        lds r24,a
        lds r25,(a)+1
        rcall print
        sts (a)+1,__zero_reg__
        sts a,__zero_reg__
        rjmp .L2
```

```
lds r24,a
lds r25,(a)+1
adiw r24,1
sts (a)+1,r25
sts a,r24
```

➤ Folge: möglicherweise werden 255 Fahrzeuge zuviel gezählt
- Variable a ist auf 2 Register verteilt → a = 0 nicht atomar
  zuerst wird obere Hälfte auf 0 gesetzt
- falls a++ im Interrupt-Handler a zufällig von 255 auf 256 zählt
  → Bitüberlauf vom "unteren" in's "obere" Register
- nach Interrupt wird nur noch untere Hälfte auf 0 gesetzt → a = 256

G.2 Nebenläufigkeit durch Interrupts (5)

- weiteres Problem bei Zugriff auf globale Variablen:
  - ◆ AVR stellt 32 Register zur Vefügung
  - ◆ Compiler optimiert Code und vermeidet Speicherzugriffe wenn möglich
    - ➤ Variablen werden möglichst in Registern gehalten
  - ◆ Registerinhalte werden bei Interrupt gesichert und am Ende restauriert
    - ➤ Änderungen der Interrupt-Funktion an einer Variablen gehen beim Restaurieren der Register wieder verloren
- Lösung für dieses Problem:
  - ◆ Compiler muss Variablen vor jedem Zugriff aus dem Speicher laden und anschließend zurückschreiben
    - ➤ Attribut `volatile`

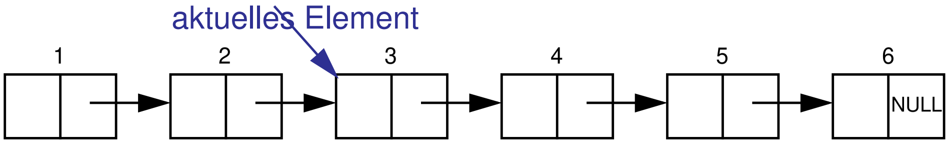
```
volatile int a;
```

  - ◆ Nachteil: Code wird umfangreicher und langsamer
    - ➤ nur einsetzen wo unbedingt notwendig!

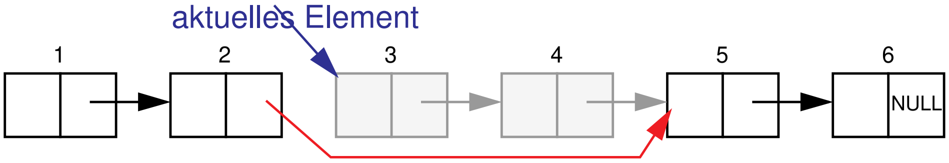
G.3 Nebenläufigkeitsprobleme allgemein

- Zugriff auf gemeinsame Daten ist bei nebenläufigen Ausführungen generell kritisch
  - ➤ selbst bei einfachen Variablen (siehe vorheriges Beispiel)
  - ➤ Problem bei komplexeren Datenstrukturen
    (z. B. Einketten einer Struktur in verkettete Liste)
    noch gravierender: Datenstruktur kann völlig zerstört werden

- Beispiel: Programm läuft durch eine verkettete Liste



u Interrupt-Handler oder parallel laufendes Programm entfernt Elemente 3 und 4 und gibt den Speicher dieser Elemente frei



G.4 Umgang mit Nebenläufigkeitsproblemen

- Gemeinsame Daten möglichst vermeiden
  - ➤ Interrupt-Funktionen sollten weitgehend auf eigenen Daten arbeiten
  - ➤ Parallele Abläufe sollten ebenfalls möglichst eigene Datenbereiche haben

- Kommunikation zwischen Anwendungsabläufen erfordert aber oft gemeinsame Daten
  - ➤ solche Daten sollten deutlich hervorgehoben werden
    z. B. durch entsprechenden Namen

```
volatile int INT_zaehler;
```

    - betrifft nur globale Variablen
    - lokale Variablen sind unkritisch
      (nur in der jeweiligen Funktion sichtbar)
  - ➤ Zugriff auf solche Daten sollte in der Anwendung möglichst begrenzt sein
    (z. B. nur in bestimmten Funktionen,
    gemeinsames Modul mit Interrupt-Handlern, vgl. Kap. D.9-3)

G.4 Umgang mit Nebenläufigkeitsproblemen (2)

- Zugriffskonflikte mit Interrupt-Handlern verhindern
  - das Programm muss vor kritischen Zugriffen auf gemeinsame Daten Interrupts sperren
    - ➤ Beispiel AVR:
      Funktionen `cli()` (blockiert alle Interrupts)
      und `sei()` (erlaubt Interrupts)
  - in dieser Zeit können Interrupts verloren gehen

  ➥ Zeitraum von Interruptsperren muss möglichst kurz bleiben!

  - es kann sinnvoll sein, nur Interrupts des Geräts zu sperren, dessen Handler auch auf die kritischen Daten zugreift
    (hängt von Details der Hardware ab!)

- Zugriffskonflikte bei parallelen Abläufen
  - spezielle atomare Maschinenbefehle
    (z. B. test-and-set oder compare-and-swap bei Intel-Architekturen)
  - Software-Synchronisation (lock-Variablen, Semaphore, etc.)
  - Kommunikation mittels Nachrichten statt gemeinsamer Daten