

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++;  
}
```

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;
...
```

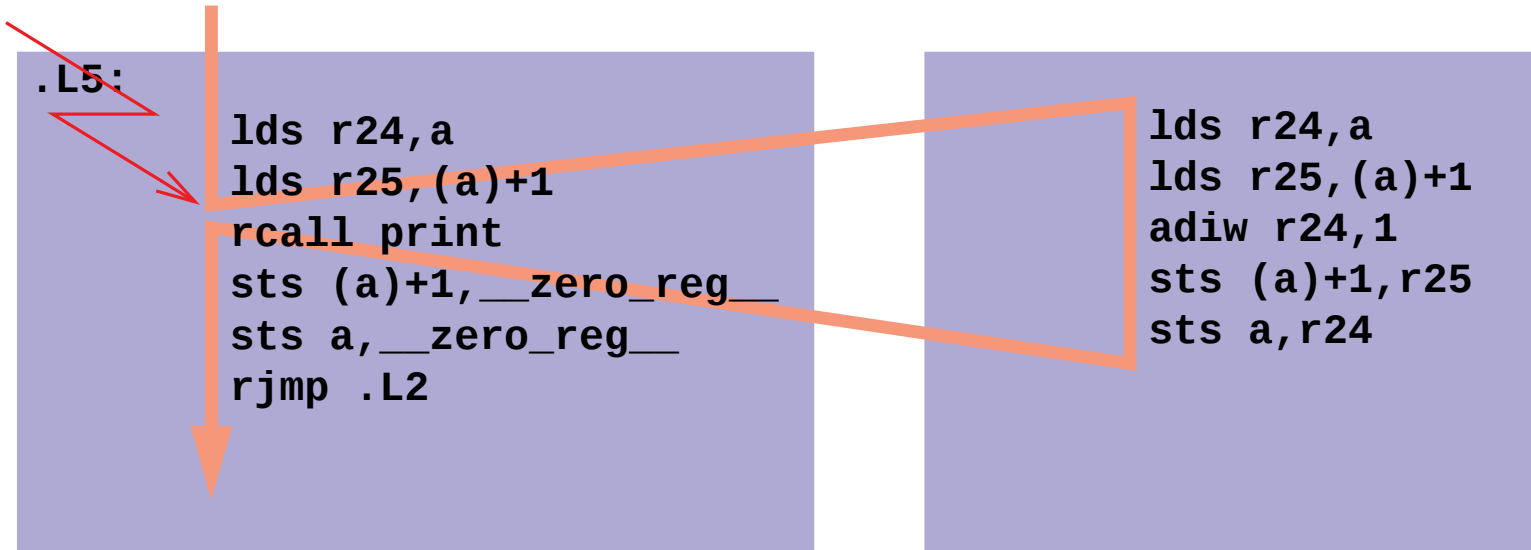
```
...
.L5:
    lds r24,a
    lds r25,(a)+1
    rcall print
    sts (a)+1,__zero_reg__
    sts a,__zero_reg__
    rjmp .L2
...
```

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

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

2 Nebenläufigkeit durch Interrupts (3)

- Annahme: Interrupt trifft folgendermaßen ein:



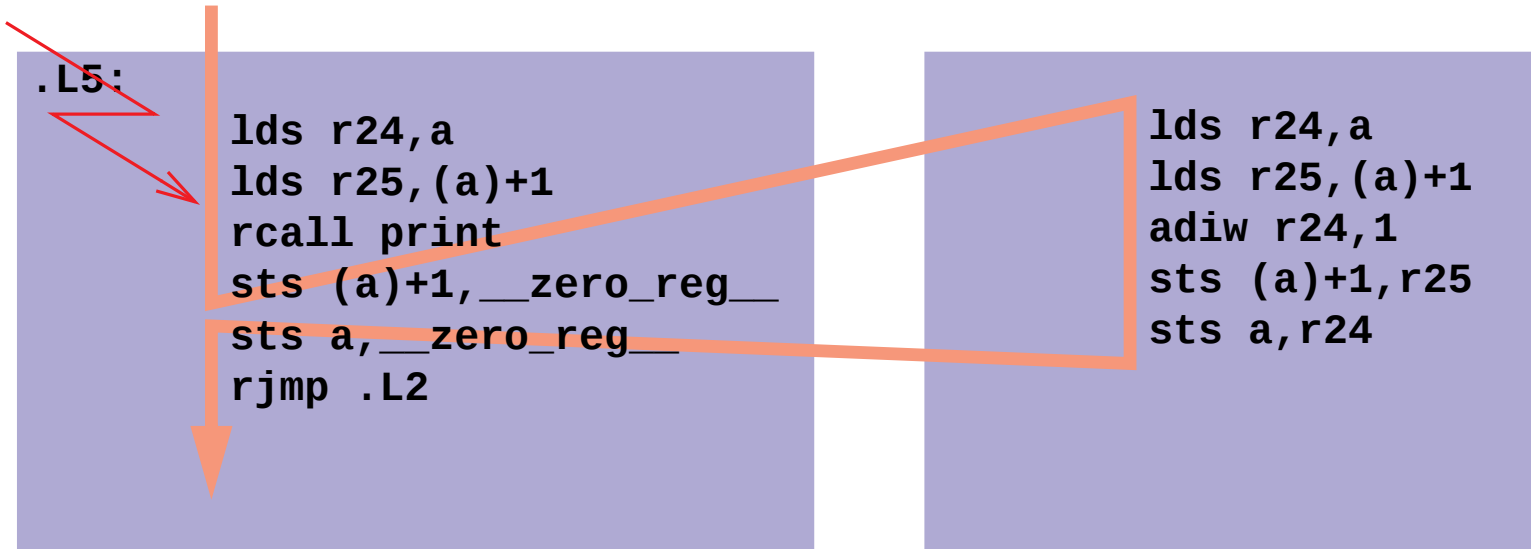
- Folge: ein Fahrzeug wird nicht gezählt

- 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

2 Nebenläufigkeit durch Interrupts (4)

- Annahme: Interrupt trifft folgendermaßen ein:



- 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

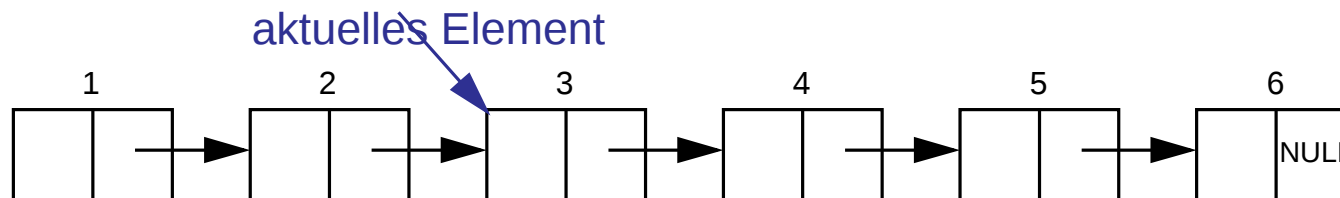
2 Nebenläufigkeit durch Interrupts (5)

- weiteres Problem bei Zugriff auf globale Variablen:
 - ◆ AVR stellt 32 Register zur Verfügung
 - ◆ 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`

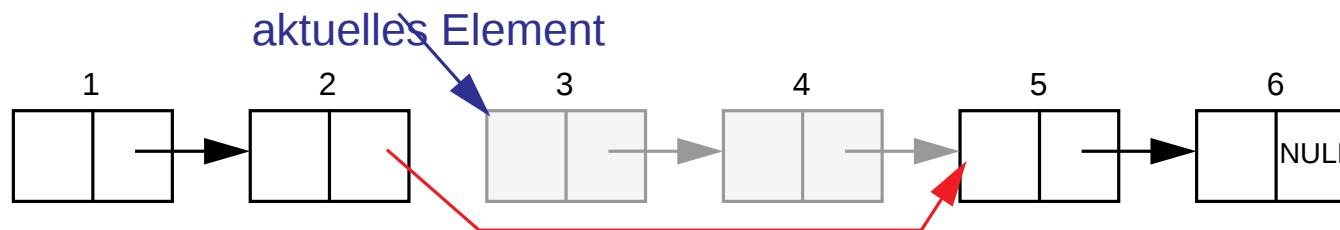
`volatile int a;`
 - ◆ Nachteil: Code wird umfangreicher und langsamer
 - nur einsetzen wo unbedingt notwendig!

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



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



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_zaeher;
```

- 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)

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 Interruptsperrern 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