

Übung zu Betriebssysteme

Ereignisbearbeitung und Synchronisation

18. & 21. Januar 2018

Andreas Ziegler
Bernhard Heinloth

Lehrstuhl für Informatik 4
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



Lehrstuhl für Verteilte Systeme
und Betriebssysteme



FRIEDRICH-ALEXANDER
UNIVERSITÄT
ERLANGEN-NÜRNBERG

TECHNISCHE FAKULTÄT

Bitte evaluiert die Übung!

Eine TAN für Tafel- und Rechnerübung zusammen,
uns interessieren vor allem die Zusatzfragen

Motivation

Wie sieht es mit gegenseitigem Ausschluss auf Fadenebene in OOSTuBS/MPSTuBS aus?

Wie sieht es mit gegenseitigem Ausschluss auf Fadenebene in OOSTuBS/MPSTuBS aus?

Wir haben doch bereits ein spinlock implementiert...

Mutex mit aktivem Warten

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()
```

Mutex mit aktivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App2

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App3

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

Mutex mit aktivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App2

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

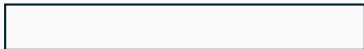
App3

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

active



ready list

App1 App2 App3



Mutex mit aktivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App2

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App3

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

active

App1

ready list

App2 App3

Mutex mit aktivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App2

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App3

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

active

App1

ready list

App2 App3

CPU-Zeit →



Mutex mit aktivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App2

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App3

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

active

App1

ready list

App2 App3

CPU-Zeit →



Mutex mit aktivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App2

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App3

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

active

App1

ready list

App2 App3

CPU-Zeit →



Mutex mit aktivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App2

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App3

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

active



ready list

App2 App3 App1



CPU-Zeit →



Mutex mit aktivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App2

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App3

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

active

App2

ready list

App3 App1

CPU-Zeit →



Mutex mit aktivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App2

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App3

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

active

App2

ready list

App3 App1

CPU-Zeit →



Mutex mit aktivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App2

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App3

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

active

App2

ready list

App3 App1

CPU-Zeit →



Mutex mit aktivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App2

```
mutex.lock() ⚡
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App3

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

active

App2

ready list

App3 App1

CPU-Zeit →



Mutex mit aktivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App2

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App3

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

active



ready list

App3 App1 App2



CPU-Zeit →



Mutex mit aktivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App2

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App3

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

active

App3

ready list

App1 App2

CPU-Zeit →



Mutex mit aktivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App2

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App3

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

active

App3

ready list

App1 App2

CPU-Zeit →



Mutex mit aktivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App2

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App3

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

active

App3

ready list

App1 App2

CPU-Zeit →



Mutex mit aktivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App2

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App3

```
mutex.lock() ⚡
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

active

App3

ready list

App1 App2

CPU-Zeit →



Mutex mit aktivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App2

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App3

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

active



ready list

App1 App2 App3



CPU-Zeit →



Mutex mit aktivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App2

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App3

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

active

App1

ready list

App2 App3

CPU-Zeit →



Mutex mit aktivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App2

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

App3

```
mutex.lock()
```

```
// code
```

```
mutex.unlock()
```

active

App1

ready list

App2 App3

CPU-Zeit →



Mutex mit aktivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()
```

App2

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()
```

App3

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()
```

active

App1

ready list

App2 App3

CPU-Zeit →



Verschwendung von CPU-Zeit

Mutex mit harter Synchronisation

Mutex mit harter Synchronisation

- Analog zur Interruptsperre mit `cli`

Mutex mit harter Synchronisation

- Analog zur Interruptsperr mit `cli`
- **Ziel:** Kein (präemptives) Scheduling

Mutex mit harter Synchronisation

- Analog zur Interruptsperrre mit `cli`
- **Ziel:** Kein (präemptives) Scheduling
- Realisierbar durch

Mutex mit harter Synchronisation

- Analog zur Interruptsperrre mit `cli`
- **Ziel:** Kein (präemptives) Scheduling
- Realisierbar durch
 - Multitasking (temporär) deaktivieren

Mutex mit harter Synchronisation

- Analog zur Interruptsperre mit `cli`
- **Ziel:** Kein (präemptives) Scheduling
- Realisierbar durch
 - Multitasking (temporär) deaktivieren
 - Erweiterung des Schedulers

Mutex mit harter Synchronisation

- Analog zur Interruptsperre mit `cli`
- **Ziel:** Kein (präemptives) Scheduling
- Realisierbar durch
 - Multitasking (temporär) deaktivieren
 - Erweiterung des Schedulers
 - Wechsel auf Epilogebe

Mutex mit harter Synchronisation

- Analog zur Interruptsperre mit `cli`
- **Ziel:** Kein (präemptives) Scheduling
- Realisierbar durch
 - Multitasking (temporär) deaktivieren
 - Erweiterung des Schedulers
 - Wechsel auf Epilogebe
- **Vorteile:**
 - konsistent
 - (relativ) einfach zu implementieren

Mutex mit harter Synchronisation

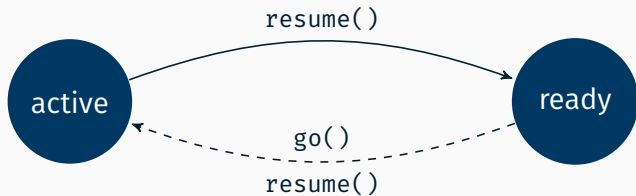
- Analog zur Interruptsperre mit `cli`
- **Ziel:** Kein (präemptives) Scheduling
- Realisierbar durch
 - Multitasking (temporär) deaktivieren
 - Erweiterung des Schedulers
 - Wechsel auf Epilogebe
- **Vorteile:**
 - konsistent
 - (relativ) einfach zu implementieren
- **Nachteile:**
 - Breitbandwirkung
 - Prioritätsverletzung
 - Prophylaktisch

Idee: Passives Warten

Ansatz: Fäden, die den kritischen Abschnitt nicht betreten können, werden blockiert
(d.h. von der CPU-Zuteilung ausgeschlossen)

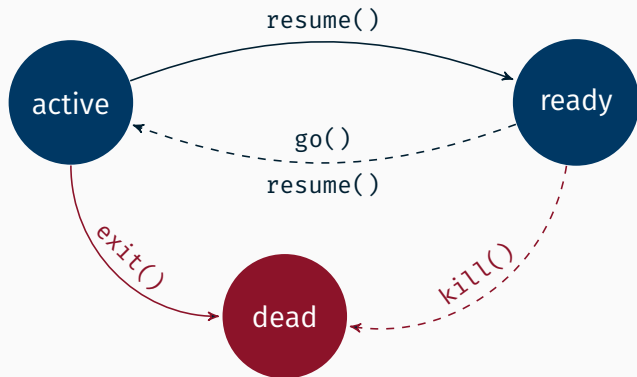
Idee: Passives Warten

Ansatz: Fäden, die den kritischen Abschnitt nicht betreten können, werden blockiert
(d.h. von der CPU-Zuteilung ausgeschlossen)

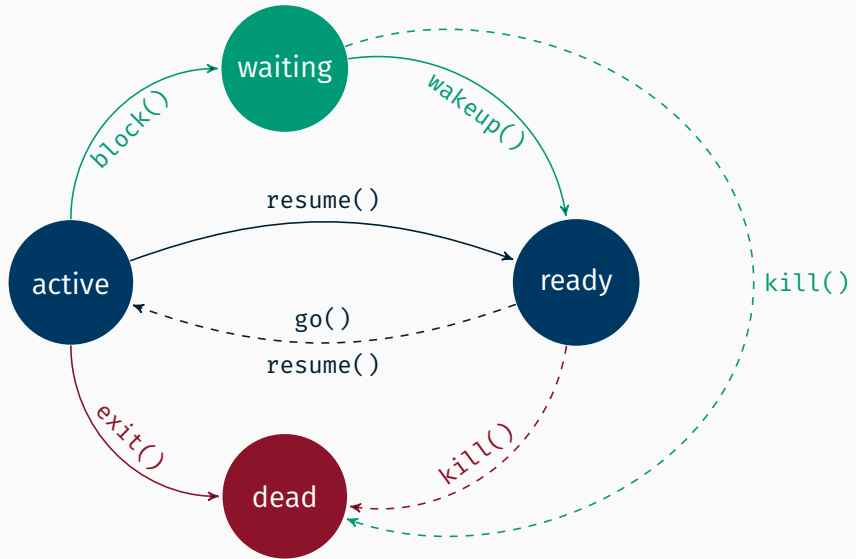


Idee: Passives Warten

Ansatz: Fäden, die den kritischen Abschnitt nicht betreten können, werden blockiert (d.h. von der CPU-Zuteilung ausgeschlossen)



Idee: Passives Warten





Einführung eines **waiting rooms**
(Liste mit wartenden Prozessen)

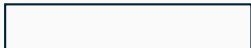
Mutex mit passivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

active



App2

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

ready list



App3

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

waiting room



Mutex mit passivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

active

App1

App2

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

ready list

App2 App3

App3

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

waiting room



Mutex mit passivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

active

App1

App2

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

ready list

App2 App3

App3

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

waiting room

CPU-Zeit →



Mutex mit passivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

active

App1

App2

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

ready list

App2 App3

App3

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

waiting room

CPU-Zeit →



Mutex mit passivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock() ⚡  
// mehr code
```

App2

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App3

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

active

App1

ready list

App2 App3

waiting room

CPU-Zeit →



Mutex mit passivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

active



App2

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

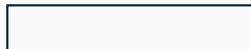
ready list



App3

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

waiting room



CPU-Zeit →



Mutex mit passivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App2

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App3

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

active

App2

ready list

App3 App1

waiting room

CPU-Zeit →



Mutex mit passivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App2

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App3

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

active

App2

ready list

App3 App1

waiting room

CPU-Zeit →



Mutex mit passivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

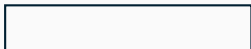
App2

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App3

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

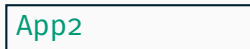
active



ready list



waiting room



CPU-Zeit →



Mutex mit passivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App2

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App3

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

active

App3

ready list

App1

waiting room

App2

CPU-Zeit →



Mutex mit passivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App2

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App3

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

active

App3

ready list

App1

waiting room

App2

CPU-Zeit →



Mutex mit passivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App2

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

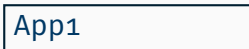
App3

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

active



ready list



waiting room



CPU-Zeit →



Mutex mit passivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App2

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App3

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

active

App1

ready list



waiting room

App2 App3

CPU-Zeit →



Mutex mit passivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App2

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App3

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

active

App1

ready list

waiting room

App2 App3

CPU-Zeit →



Mutex mit passivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

active

App1

App2

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

ready list

App2

App3

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

waiting room

App3

CPU-Zeit →



Mutex mit passivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

active

App1

App2

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

ready list

App2

App3

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

waiting room

App3

CPU-Zeit →



Mutex mit passivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```



App2

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App3

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

active

App1

ready list

App2

waiting room

App3

CPU-Zeit →



Mutex mit passivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

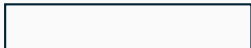
App2

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App3

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

active



ready list



waiting room



CPU-Zeit →



Mutex mit passivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App2

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App3

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

active

App2

ready list

App1

waiting room

App3

CPU-Zeit →



Mutex mit passivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App2

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App3

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

active

App2

ready list

App1

waiting room

App3

CPU-Zeit →



Mutex mit passivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App2

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App3

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

active

App2

ready list

App1

waiting room

App3

CPU-Zeit →



Mutex mit passivem Warten

Beispiel: Drei Threads auf einer CPU

App1

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App2

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

App3

```
mutex.lock()  
// code  
mutex.unlock()  
// mehr code
```

active

App2

ready list

App1 App3

waiting room

CPU-Zeit →



Semaphore

sem·a·phore

1. any apparatus for signaling, as by an arrangement of lights, flags, and mechanical arms on railroads
2. a system for signaling by the use of two flags, one held in each hand: the letters of the alphabet are represented by the various positions of the arms
3. any system of signaling by semaphore

nach V. E. Neufeld, Webster's New World Dictionary, Simon & Schuster Inc., third college edition, 1988

Operationen

init() Zähler c mit positivem Wert initialisieren

P() von *Prolaag* (versuchen zu verringern)

bzw. *Passeering*[†] (passieren)

$c > 0$ dekrementieren

$c = 0$ warten

V() von *Verhoog* (erhöhen) bzw. *Vrijgave*[†] (freigeben)

- nächsten wartenden Faden aufwecken oder
- Zähler c erhöhen

[†] nach Edsger W. Dijkstra, Over de sequentialiteit van procesbeschrijvingen, ca. 1962

Zeitgesteuertes Warten

Schlafen legen

```
App::action(){  
    foo();  
    sleep(13);  
    bar();  
}
```

Schlafen legen

```
App::action(){  
    foo();  
    sleep(13);  
    bar();  
}
```

- ähnlich der Funktion sleep(3)

Schlafen legen

```
App::action(){  
    foo();  
    sleep(13);  
    bar();  
}
```

- ähnlich der Funktion `sleep(3)`
- jedoch mit Wartezeit in Millisekunden (statt Sekunden)

Schlafen legen

```
App::action(){  
    foo();  
    sleep(13);  
    bar();  
}
```

- ähnlich der Funktion `sleep(3)`
- jedoch mit Wartezeit in Millisekunden (statt Sekunden)
- Verwendung des Wartezimmerkonzepts, um Thread aus Scheduler zu nehmen

Schlafen legen

```
App::action(){  
    foo();  
    sleep(13);  
    bar();  
}
```

- ähnlich der Funktion `sleep(3)`
- jedoch mit Wartezeit in Millisekunden (statt Sekunden)
- Verwendung des Wartezimmerkonzepts, um Thread aus Scheduler zu nehmen
waiting room (13ms)

App

Schlafen legen

```
App::action(){  
    foo();  
    sleep(13);  
    bar();  
}
```

- ähnlich der Funktion `sleep(3)`
- jedoch mit Wartezeit in Millisekunden (statt Sekunden)
- Verwendung des Wartezimmerkonzepts, um Thread aus Scheduler zu nehmen



(alternative Darstellung)

Schlafen legen

```
App::action(){  
    foo();  
    sleep(13);  
    bar();  
}
```

- ähnlich der Funktion `sleep(3)`
- jedoch mit Wartezeit in Millisekunden (statt Sekunden)
- Verwendung des Wartezimmerkonzepts, um Thread aus Scheduler zu nehmen



- mit jedem Tick wird die Wartezeit dekrementiert

Schlafen legen

```
App::action(){  
    foo();  
    sleep(13);  
    bar();  
}
```

- ähnlich der Funktion `sleep(3)`
- jedoch mit Wartezeit in Millisekunden (statt Sekunden)
- Verwendung des Wartezimmerkonzepts, um Thread aus Scheduler zu nehmen



- mit jedem Tick wird die Wartezeit dekrementiert ●

Schlafen legen

```
App::action(){  
    foo();  
    sleep(13);  
    bar();  
}
```

- ähnlich der Funktion `sleep(3)`
- jedoch mit Wartezeit in Millisekunden (statt Sekunden)
- Verwendung des Wartezimmerkonzepts, um Thread aus Scheduler zu nehmen



- mit jedem Tick wird die Wartezeit dekrementiert ●●

Schlafen legen

```
App::action(){  
    foo();  
    sleep(13);  
    bar();  
}
```

- ähnlich der Funktion `sleep(3)`
- jedoch mit Wartezeit in Millisekunden (statt Sekunden)
- Verwendung des Wartezimmerkonzepts, um Thread aus Scheduler zu nehmen



- mit jedem Tick wird die Wartezeit dekrementiert ●●●

Schlafen legen

```
App::action(){  
    foo();  
    sleep(13);  
    bar();  
}
```

- ähnlich der Funktion `sleep(3)`
- jedoch mit Wartezeit in Millisekunden (statt Sekunden)
- Verwendung des Wartezimmerkonzepts, um Thread aus Scheduler zu nehmen



- mit jedem Tick wird die Wartezeit dekrementiert
- nach Ablauf der Wartezeit wird der Thread wieder im Scheduler eingereiht

Beispiel: Drei Anwendungen legen sich nacheinander schlafen

Beispiel: Drei Anwendungen legen sich nacheinander schlafen

1. Thread **foo** für 666ms

Beispiel: Drei Anwendungen legen sich nacheinander schlafen

1. Thread **foo** für 666ms



Beispiel: Drei Anwendungen legen sich nacheinander schlafen

1. Thread **foo** für 666ms
2. Thread **bar** für 23ms



Beispiel: Drei Anwendungen legen sich nacheinander schlafen

1. Thread **foo** für 666ms
2. Thread **bar** für 23ms



Beispiel: Drei Anwendungen legen sich nacheinander schlafen

1. Thread **foo** für 666ms
2. Thread **bar** für 23ms
3. Thread **baz** für 42ms



Beispiel: Drei Anwendungen legen sich nacheinander schlafen

1. Thread **foo** für 666ms
2. Thread **bar** für 23ms
3. Thread **baz** für 42ms



Beispiel: Drei Anwendungen legen sich nacheinander schlafen

1. Thread **foo** für 666ms
2. Thread **bar** für 23ms
3. Thread **baz** für 42ms

Verwaltung mittels verketteter Liste



Beispiel: Drei Anwendungen legen sich nacheinander schlafen

1. Thread **foo** für 666ms
2. Thread **bar** für 23ms
3. Thread **baz** für 42ms

Verwaltung mittels verketteter Liste



Beispiel: Drei Anwendungen legen sich nacheinander schlafen

1. Thread **foo** für 666ms
2. Thread **bar** für 23ms
3. Thread **baz** für 42ms

Verwaltung mittels verketteter Liste hat den Nachteil, dass bei jedem Tick die gesamte Liste durchlaufen werden muss



Beispiel: Drei Anwendungen legen sich nacheinander schlafen

1. Thread **foo** für 666ms
2. Thread **bar** für 23ms
3. Thread **baz** für 42ms

Verwaltung mittels verketteter Liste hat den Nachteil, dass bei jedem Tick die gesamte Liste durchlaufen werden muss ●



Beispiel: Drei Anwendungen legen sich nacheinander schlafen

1. Thread **foo** für 666ms
2. Thread **bar** für 23ms
3. Thread **baz** für 42ms

Verwaltung mittels verketteter Liste hat den Nachteil, dass bei jedem Tick die gesamte Liste durchlaufen werden muss ●●



Beispiel: Drei Anwendungen legen sich nacheinander schlafen

1. Thread **foo** für 666ms
2. Thread **bar** für 23ms
3. Thread **baz** für 42ms

Verwaltung mittels verketteter Liste hat den Nachteil, dass bei jedem Tick die gesamte Liste durchlaufen werden muss ●●●



Beispiel: Drei Anwendungen legen sich nacheinander schlafen

1. Thread **foo** für 666ms
2. Thread **bar** für 23ms
3. Thread **baz** für 42ms

Verwaltung mittels verketteter Liste hat den Nachteil, dass bei jedem Tick die gesamte Liste durchlaufen werden muss

($\mathcal{O}(n)$, und das $1000\times$ pro Sekunde in der Epilogebe)



Beispiel: Drei Anwendungen legen sich nacheinander schlafen

1. Thread **foo** für 666ms
2. Thread **bar** für 23ms
3. Thread **baz** für 42ms

Verwaltung mittels verketteter Liste hat den Nachteil, dass bei jedem Tick die gesamte Liste durchlaufen werden muss

($\mathcal{O}(n)$, und das $1000\times$ pro Sekunde in der Epilogebeine)



Das muss besser gehen!

- Einführung einer absoluten Zeit

- Einführung einer absoluten Zeit

Beispiel: absolute Zeit $T = 1334\text{ms}$

- Einführung einer absoluten Zeit
 - wird mit jedem Tick inkrementiert

Beispiel: absolute Zeit $T = 1334\text{ms}$

Alternative Variante

- Einführung einer absoluten Zeit
 - wird mit jedem Tick inkrementiert ●

Beispiel: absolute Zeit $T = 1335\text{ms}$

Alternative Variante

- Einführung einer absoluten Zeit
 - wird mit jedem Tick inkrementiert ●●

Beispiel: absolute Zeit $T = 1336\text{ms}$

- Einführung einer absoluten Zeit
 - wird mit jedem Tick inkrementiert ●●●

Beispiel: absolute Zeit $T = 1337\text{ms}$

Alternative Variante

- Einführung einer absoluten Zeit
 - wird mit jedem Tick inkrementiert
- Berechnung der Endzeit beim Einfügen neuer Threads

Beispiel: absolute Zeit $T = 1337\text{ms}$

Alternative Variante

- Einführung einer absoluten Zeit
 - wird mit jedem Tick inkrementiert
- Berechnung der Endzeit beim Einfügen neuer Threads

Beispiel: absolute Zeit $T = 1337\text{ms}$

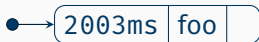
1. Thread **foo**: $666\text{ms} + 1337\text{ms}$

Alternative Variante

- Einführung einer absoluten Zeit
 - wird mit jedem Tick inkrementiert
- Berechnung der Endzeit beim Einfügen neuer Threads

Beispiel: absolute Zeit $T = 1337\text{ms}$

1. Thread **foo**: $666\text{ms} + 1337\text{ms}$

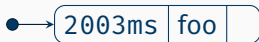


Alternative Variante

- Einführung einer absoluten Zeit
 - wird mit jedem Tick inkrementiert
- Berechnung der Endzeit beim Einfügen neuer Threads

Beispiel: absolute Zeit $T = 1337\text{ms}$

1. Thread **foo**: $666\text{ms} + 1337\text{ms}$
2. Thread **bar**: $23\text{ms} + 1337\text{ms}$



Alternative Variante

- Einführung einer absoluten Zeit
 - wird mit jedem Tick inkrementiert
- Berechnung der Endzeit beim Einfügen neuer Threads

Beispiel: absolute Zeit $T = 1337\text{ms}$

1. Thread **foo**: $666\text{ms} + 1337\text{ms}$
2. Thread **bar**: $23\text{ms} + 1337\text{ms}$



Alternative Variante

- Einführung einer absoluten Zeit
 - wird mit jedem Tick inkrementiert
- Berechnung der Endzeit beim Einfügen neuer Threads
- Einordnen in einer Vorrangwarteschlange ($\mathcal{O}(n)$)

Beispiel: absolute Zeit $T = 1337\text{ms}$

1. Thread **foo**: $666\text{ms} + 1337\text{ms}$
2. Thread **bar**: $23\text{ms} + 1337\text{ms}$



Alternative Variante

- Einführung einer absoluten Zeit
 - wird mit jedem Tick inkrementiert
- Berechnung der Endzeit beim Einfügen neuer Threads
- Einordnen in einer Vorrangwarteschlange ($\mathcal{O}(n)$)

Beispiel: absolute Zeit $T = 1337\text{ms}$

1. Thread **foo**: $666\text{ms} + 1337\text{ms}$
2. Thread **bar**: $23\text{ms} + 1337\text{ms}$



Alternative Variante

- Einführung einer absoluten Zeit
 - wird mit jedem Tick inkrementiert
- Berechnung der Endzeit beim Einfügen neuer Threads
- Einordnen in einer Vorrangwarteschlange ($\mathcal{O}(n)$)

Beispiel: absolute Zeit $T = 1337\text{ms}$

1. Thread **foo**: $666\text{ms} + 1337\text{ms}$
2. Thread **bar**: $23\text{ms} + 1337\text{ms}$
3. Thread **baz**: $42\text{ms} + 1337\text{ms}$

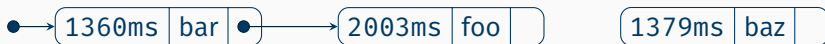


Alternative Variante

- Einführung einer absoluten Zeit
 - wird mit jedem Tick inkrementiert
- Berechnung der Endzeit beim Einfügen neuer Threads
- Einordnen in einer Vorrangwarteschlange ($\mathcal{O}(n)$)

Beispiel: absolute Zeit $T = 1337\text{ms}$

1. Thread **foo**: $666\text{ms} + 1337\text{ms}$
2. Thread **bar**: $23\text{ms} + 1337\text{ms}$
3. Thread **baz**: $42\text{ms} + 1337\text{ms}$

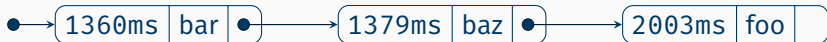


Alternative Variante

- Einführung einer absoluten Zeit
 - wird mit jedem Tick inkrementiert
- Berechnung der Endzeit beim Einfügen neuer Threads
- Einordnen in einer Vorrangwarteschlange ($\mathcal{O}(n)$)

Beispiel: absolute Zeit $T = 1337\text{ms}$

1. Thread **foo**: $666\text{ms} + 1337\text{ms}$
2. Thread **bar**: $23\text{ms} + 1337\text{ms}$
3. Thread **baz**: $42\text{ms} + 1337\text{ms}$



Alternative Variante

- Einführung einer absoluten Zeit
 - wird mit jedem Tick inkrementiert
- Berechnung der Endzeit beim Einfügen neuer Threads
- Einordnen in einer Vorrangwarteschlange ($\mathcal{O}(n)$)
- Wenn die aktuelle Zeit T dem ersten Element entspricht: Thread wieder dem Scheduler übergeben ($\mathcal{O}(1)$)

Beispiel: absolute Zeit $T = 1337\text{ms}$

1. Thread **foo**: $666\text{ms} + 1337\text{ms}$
2. Thread **bar**: $23\text{ms} + 1337\text{ms}$
3. Thread **baz**: $42\text{ms} + 1337\text{ms}$

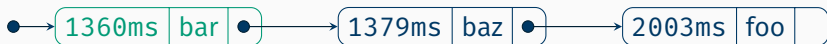


Alternative Variante

- Einführung einer absoluten Zeit
 - wird mit jedem Tick inkrementiert
- Berechnung der Endzeit beim Einfügen neuer Threads
- Einordnen in einer Vorrangwarteschlange ($\mathcal{O}(n)$)
- Wenn die aktuelle Zeit T dem ersten Element entspricht: Thread wieder dem Scheduler übergeben ($\mathcal{O}(1)$)

Beispiel: absolute Zeit $T = 1360\text{ms}$

1. Thread **foo**: $666\text{ms} + 1337\text{ms}$
2. Thread **bar**: $23\text{ms} + 1337\text{ms}$
3. Thread **baz**: $42\text{ms} + 1337\text{ms}$



Alternative Variante

- Einführung einer absoluten Zeit
 - wird mit jedem Tick inkrementiert
- Berechnung der Endzeit beim Einfügen neuer Threads
- Einordnen in einer Vorrangwarteschlange ($\mathcal{O}(n)$)
- Wenn die aktuelle Zeit T dem ersten Element entspricht: Thread wieder dem Scheduler übergeben ($\mathcal{O}(1)$)

Nachteile

Alternative Variante

- Einführung einer absoluten Zeit
 - wird mit jedem Tick inkrementiert
- Berechnung der Endzeit beim Einfügen neuer Threads
- Einordnen in einer Vorrangwarteschlange ($\mathcal{O}(n)$)
- Wenn die aktuelle Zeit T dem ersten Element entspricht: Thread wieder dem Scheduler übergeben ($\mathcal{O}(1)$)

Nachteile

- absolute Zeit ist ein neuer Zustand

Alternative Variante

- Einführung einer absoluten Zeit
 - wird mit jedem Tick inkrementiert
- Berechnung der Endzeit beim Einfügen neuer Threads
- Einordnen in einer Vorrangwarteschlange ($\mathcal{O}(n)$)
- Wenn die aktuelle Zeit T dem ersten Element entspricht: Thread wieder dem Scheduler übergeben ($\mathcal{O}(1)$)

Nachteile

- absolute Zeit ist ein neuer Zustand
- 32bit-Überlauf (nach 49.7 Tagen)

Alternative Variante

- Einführung einer absoluten Zeit
 - wird mit jedem Tick inkrementiert
- Berechnung der Endzeit beim Einfügen neuer Threads
- Einordnen in einer Vorrangwarteschlange ($\mathcal{O}(n)$)
- Wenn die aktuelle Zeit T dem ersten Element entspricht: Thread wieder dem Scheduler übergeben ($\mathcal{O}(1)$)

Nachteile

- absolute Zeit ist ein neuer Zustand
- 32bit-Überlauf (nach 49.7 Tagen)

Geht das nicht effizienter (ohne solche Probleme)?

Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit

Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)

Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)

Beispiel:

1. Thread **foo**: 666ms

Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)

Beispiel:

1. Thread **foo**: 666ms



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$

Beispiel:

1. Thread **foo**: 666ms



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$

Beispiel:

1. Thread **foo**: $666\text{ms} - t_0 = 666\text{ms}$



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$

Beispiel:

1. Thread **foo**: 666ms



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$

Beispiel:

1. Thread **foo**: 666ms
2. Thread **bar**: 23ms



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$

Beispiel:

1. Thread **foo**: 666ms
2. Thread **bar**: 23ms



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$
- Neue Threads nach Schlafdauer einordnen ($\mathcal{O}(n)$)

Beispiel:

1. Thread **foo**: 666ms
2. Thread **bar**: 23ms



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$
- Neue Threads nach Schlafdauer einordnen ($\mathcal{O}(n)$)

Beispiel:

1. Thread **foo**: 666ms
2. Thread **bar**: $23\text{ms} - t_0 = 23\text{ms}$



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$
- Neue Threads nach Schlafdauer einordnen ($\mathcal{O}(n)$)

Beispiel:

1. Thread **foo**: 666ms
2. Thread **bar**: 23ms



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$
- Neue Threads nach Schlafdauer einordnen ($\mathcal{O}(n)$)
 - Nachfolgendes Element muss angepasst werden ($\mathcal{O}(1)$)

Beispiel:

1. Thread **foo**: 666ms
2. Thread **bar**: 23ms



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$
- Neue Threads nach Schlafdauer einordnen ($\mathcal{O}(n)$)
 - Nachfolgendes Element muss angepasst werden ($\mathcal{O}(1)$)

Beispiel:

1. Thread **foo**: $666\text{ms} - t_{\text{bar}} = 643\text{ms}$
2. Thread **bar**: 23ms



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$
- Neue Threads nach Schlafdauer einordnen ($\mathcal{O}(n)$)
 - Nachfolgendes Element muss angepasst werden ($\mathcal{O}(1)$)

Beispiel:

1. Thread **foo**: 643ms
2. Thread **bar**: 23ms



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$
- Neue Threads nach Schlafdauer einordnen ($\mathcal{O}(n)$)
 - Nachfolgendes Element muss angepasst werden ($\mathcal{O}(1)$)

Beispiel:

1. Thread **foo**: 643ms
2. Thread **bar**: 23ms
3. Thread **baz**: 42ms

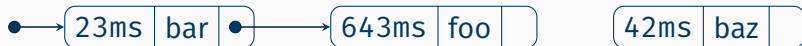


Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$
- Neue Threads nach Schlafdauer einordnen ($\mathcal{O}(n)$)
 - Nachfolgendes Element muss angepasst werden ($\mathcal{O}(1)$)

Beispiel:

1. Thread **foo**: 643ms
2. Thread **bar**: 23ms
3. Thread **baz**: 42ms



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$
- Neue Threads nach Schlafdauer einordnen ($\mathcal{O}(n)$)
 - Nachfolgendes Element muss angepasst werden ($\mathcal{O}(1)$)

Beispiel:

1. Thread **foo**: 643ms
2. Thread **bar**: 23ms
3. Thread **baz**: 42ms – $t_0 = 42\text{ms}$



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$
- Neue Threads nach Schlafdauer einordnen ($\mathcal{O}(n)$)
 - Nachfolgendes Element muss angepasst werden ($\mathcal{O}(1)$)

Beispiel:

1. Thread **foo**: 643ms
2. Thread **bar**: 23ms
3. Thread **baz**: $42\text{ms} - t_0 = 42\text{ms} > t_{\text{bar}}$

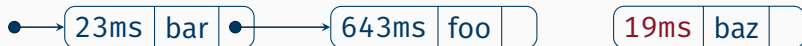


Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$
- Neue Threads nach Schlafdauer einordnen ($\mathcal{O}(n)$)
 - Nachfolgendes Element muss angepasst werden ($\mathcal{O}(1)$)

Beispiel:

1. Thread **foo**: 643ms
2. Thread **bar**: 23ms
3. Thread **baz**: $42\text{ms} - t_0 - t_{\text{bar}} = 19\text{ms}$



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$
- Neue Threads nach Schlafdauer einordnen ($\mathcal{O}(n)$)
 - Nachfolgendes Element muss angepasst werden ($\mathcal{O}(1)$)

Beispiel:

1. Thread **foo**: 643ms
2. Thread **bar**: 23ms
3. Thread **baz**: 19ms



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$
 - Neue Threads nach Schlafdauer einordnen ($\mathcal{O}(n)$)
 - Nachfolgendes Element muss angepasst werden ($\mathcal{O}(1)$)
- ⇒ keine Vorrangwarteschlange!

Beispiel:

1. Thread **foo**: 643ms
2. Thread **bar**: 23ms
3. Thread **baz**: 19ms



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$
 - Neue Threads nach Schlafdauer einordnen ($\mathcal{O}(n)$)
 - Nachfolgendes Element muss angepasst werden ($\mathcal{O}(1)$)
- ⇒ keine Vorrangwarteschlange!

Beispiel:

1. Thread **foo**: $643\text{ms} - t_{\text{baz}} = 624\text{ms}$
2. Thread **bar**: 23ms
3. Thread **baz**: 19ms



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$
 - Neue Threads nach Schlafdauer einordnen ($\mathcal{O}(n)$)
 - Nachfolgendes Element muss angepasst werden ($\mathcal{O}(1)$)
- ⇒ keine Vorrangwarteschlange!

Beispiel:

1. Thread **foo**: 624ms
2. Thread **bar**: 23ms
3. Thread **baz**: 19ms



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$
- Neue Threads nach Schlafdauer einordnen ($\mathcal{O}(n)$)
 - Nachfolgendes Element muss angepasst werden ($\mathcal{O}(1)$)
⇒ keine Vorrangwarteschlange!
- Erstes Element wird mit jedem Tick dekrementiert

Beispiel:

1. Thread **foo**: 624ms
2. Thread **bar**: 23ms
3. Thread **baz**: 19ms



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$
- Neue Threads nach Schlafdauer einordnen ($\mathcal{O}(n)$)
 - Nachfolgendes Element muss angepasst werden ($\mathcal{O}(1)$)
⇒ keine Vorrangwarteschlange!
- Erstes Element wird mit jedem Tick dekrementiert ●

Beispiel:

1. Thread **foo**: 624ms
2. Thread **bar**: 23ms
3. Thread **baz**: 19ms



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$
- Neue Threads nach Schlafdauer einordnen ($\mathcal{O}(n)$)
 - Nachfolgendes Element muss angepasst werden ($\mathcal{O}(1)$)
⇒ keine Vorrangwarteschlange!
- Erstes Element wird mit jedem Tick dekrementiert ●●

Beispiel:

1. Thread **foo**: 624ms
2. Thread **bar**: 23ms
3. Thread **baz**: 19ms



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$
- Neue Threads nach Schlafdauer einordnen ($\mathcal{O}(n)$)
 - Nachfolgendes Element muss angepasst werden ($\mathcal{O}(1)$)
⇒ keine Vorrangwarteschlange!
- Erstes Element wird mit jedem Tick dekrementiert ●●●

Beispiel:

1. Thread **foo**: 624ms
2. Thread **bar**: 23ms
3. Thread **baz**: 19ms



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$
- Neue Threads nach Schlafdauer einordnen ($\mathcal{O}(n)$)
 - Nachfolgendes Element muss angepasst werden ($\mathcal{O}(1)$)
⇒ keine Vorrangwarteschlange!
- Erstes Element wird mit jedem Tick dekrementiert und bei 0 dem Scheduler übergeben

Beispiel:

1. Thread **foo**: 624ms
2. Thread **bar**: 23ms
3. Thread **baz**: 19ms



Effiziente Variante

- Verwendung der relativen Delta-Zeit
 - es wird nur die Zeitdifferenz zum Vorgänger gespeichert (negative Zeitdifferenzen sind nicht erlaubt!)
 - Vorgänger des ersten Elements hat Zeit $t_0 = 0\text{ms}$
- Neue Threads nach Schlafdauer einordnen ($\mathcal{O}(n)$)
 - Nachfolgendes Element muss angepasst werden ($\mathcal{O}(1)$)
⇒ keine Vorrangwarteschlange!
- Erstes Element wird mit jedem Tick dekrementiert und bei 0 dem Scheduler übergeben ($\mathcal{O}(1)$)

Beispiel:

1. Thread **foo**: 624ms
2. Thread **bar**: 23ms
3. Thread **baz**: 19ms



Umsetzung

- Implementierung von Semaphoren mit passivem Warten

- Implementierung von Semaphoren mit passivem Warten
 - Verwendung in der neuen `getKey()` Funktion

- Implementierung von Semaphoren mit passivem Warten
 - Verwendung in der neuen `getKey()` Funktion
- Zeitgesteuertes Schlafen der Threads

- Implementierung von Semaphoren mit passivem Warten
 - Verwendung in der neuen `getKey()` Funktion
- Zeitgesteuertes Schlafen der Threads
- Leerlauf des Prozessor (falls keine Threads vorhanden)

- Implementierung von Semaphoren mit passivem Warten
 - Verwendung in der neuen `getKey()` Funktion
- Zeitgesteuertes Schlafen der Threads
- Leerlauf des Prozessor (falls keine Threads vorhanden)
- Kapselung in Systemaufrufchnittstellen (`syscall`)
welche sich um den Wechsel in die Epilogebeene kümmern

(viel zu) viele Wartezimmer

- Jede Semaphore und jeder Wecker (bell) sind gleichzeitig Wartezimmer

(viel zu) viele Wartezimmer

- Jede Semaphore und jeder Wecker (bell) sind gleichzeitig Wartezimmer
 - auch wenn bei unseren Weckern nur je ein Faden darin weilt

(viel zu) viele Wartezimmer

- Jede Semaphore und jeder Wecker (bell) sind gleichzeitig Wartezimmer
 - auch wenn bei unseren Weckern nur je ein Faden darin weilt
 - Grund dafür ist eine einfachere Implementierung, da wir beim Wecker die neuen Ablaufplanmethoden für die Semaphoren verwenden können.
Wirkt aber dafür auf den ersten Blick komisch.

(viel zu) viele Wartezimmer

- Jede Semaphore und jeder Wecker (`bell`) sind gleichzeitig Wartezimmer
 - auch wenn bei unseren Weckern nur je ein Faden darin weilt
 - Grund dafür ist eine einfachere Implementierung, da wir beim Wecker die neuen Ablaufplanmethoden für die Semaphoren verwenden können.
Wirkt aber dafür auf den ersten Blick komisch.
- Umsetzung durch Ableitung von `waitingroom`

(viel zu) viele Wartezimmer

- Jede Semaphore und jeder Wecker (`bell`) sind gleichzeitig Wartezimmer
 - auch wenn bei unseren Weckern nur je ein Faden darin weilt
 - Grund dafür ist eine einfachere Implementierung, da wir beim Wecker die neuen Ablaufplanmethoden für die Semaphoren verwenden können.
Wirkt aber dafür auf den ersten Blick komisch.
- Umsetzung durch Ableitung von `waitingroom`
- Die Wecker (inklusive Wartezimmer) werden zur Laufzeit als temporäre Objekte erzeugt

(viel zu) viele Wartezimmer

- Jede Semaphore und jeder Wecker (`bell`) sind gleichzeitig Wartezimmer
 - auch wenn bei unseren Weckern nur je ein Faden darin weilt
 - Grund dafür ist eine einfachere Implementierung, da wir beim Wecker die neuen Ablaufplanmethoden für die Semaphoren verwenden können.
Wirkt aber dafür auf den ersten Blick komisch.
- Umsetzung durch Ableitung von `waitingroom`
- Die Wecker (inklusive Wartezimmer) werden zur Laufzeit als temporäre Objekte erzeugt
 - d.h. sie liegen auf dem Stapelspeicher (Stack)

(viel zu) viele Wartezimmer

- Jede Semaphore und jeder Wecker (`bell`) sind gleichzeitig Wartezimmer
 - auch wenn bei unseren Weckern nur je ein Faden darin weilt
 - Grund dafür ist eine einfachere Implementierung, da wir beim Wecker die neuen Ablaufplanmethoden für die Semaphoren verwenden können.
Wirkt aber dafür auf den ersten Blick komisch.
- Umsetzung durch Ableitung von `waitingroom`
- Die Wecker (inklusive Wartezimmer) werden zur Laufzeit als temporäre Objekte erzeugt
 - d.h. sie liegen auf dem Stapelspeicher (Stack)
- Die Wecker werden wieder in einer Liste (vom *Glöckner* / `bellringer`) verwaltet

Der bellringer prüft regelmäßig die Wecker

Der `bellringer` prüft regelmäßig die Wecker

- unter Verwendung des LAPIC Timers

Der `bellringer` prüft regelmäßig die Wecker

- unter Verwendung des LAPIC Timers
- welcher mit `windup(1000)` auf Millisekundentakt gestellt werden sollte

Der `bellringer` prüft regelmäßig die Wecker

- unter Verwendung des LAPIC Timers
- welcher mit `windup(1000)` auf Millisekundentakt gestellt werden sollte
- es reicht, wenn eine CPU das übernimmt

Problem: zu wenig Threads bereit

Problem: zu wenig Threads bereit

Lösung: je ein IdleThread pro CPU

Problem: zu wenig Threads bereit

Lösung: je ein IdleThread pro CPU

```
void IdleThread::action() {  
    while (true) {  
        if(!scheduler.isEmpty())  
            Guarded_Scheduler::resume();  
    }  
}
```

Problem: zu wenig Threads bereit

Lösung: je ein IdleThread pro CPU

```
void IdleThread::action() {  
    while (true) {  
        if(!scheduler.isEmpty())  
            Guarded_Scheduler::resume();  
    }  
}
```

CPU fungiert effektiv als Heizkörper

Problem: zu wenig Threads bereit

Lösung: je ein IdleThread pro CPU

```
void IdleThread::action() {  
    while (true) {  
        if(!scheduler.isEmpty())  
            Guarded_Scheduler::resume();  
    }  
}
```

CPU fungiert effektiv als Heizkörper, besser wäre jedoch ein Schlafzustand

`CPU::idle()` hält Prozessor bis zum nächsten Interrupt an

CPU::idle() hält Prozessor bis zum nächsten Interrupt an

```
void IdleThread::action() {  
    while (true) {  
        if(scheduler.isEmpty())  
            CPU::idle();  
        else  
            Guarded_Scheduler::resume();  
    }  
}
```


CPU::idle() hält Prozessor bis zum nächsten Interrupt an

```
void IdleThread::action() {  
    while (true) {  
        if(scheduler.isEmpty())  
            CPU::idle();  
        else  
            Guarded_Scheduler::resume();  
    }  
}
```

Thread ready

CPU::idle() hält Prozessor bis zum nächsten Interrupt an

```
void IdleThread::action() {  
    while (true) {  
        if(scheduler.isEmpty())  
            CPU::idle();  
        else  
            Guarded_Scheduler::resume();  
    }  
}
```

Thread ready

Durch Aufwachen eines wartenden Threads (oder Neueinplanung bei MPStuBS) kann ein **Lost-Wakeup** passieren!

Leerlauf

CPU::idle() hält Prozessor bis zum nächsten Interrupt an
(mittels atomaren sti und hlt)

```
void IdleThread::action() {  
    while (true) {  
        if(scheduler.isEmpty())  
            CPU::idle();  
        else  
            Guarded_Scheduler::resume();  
    }  
}
```

Thread ready

Durch Aufwachen eines wartenden Threads (oder
Neueinplanung bei MPStuBS) kann ein **Lost-Wakeup**
passieren!

Leerlauf

CPU::idle() hält Prozessor bis zum nächsten Interrupt an
(mittels atomaren sti und hlt)

```
void IdleThread::action() {  
    while (true) {  
        CPU::disable_int();  
        if(scheduler.isEmpty())  
            CPU::idle();  
        else {  
            CPU::enable_int();  
            Guarded_Scheduler::resume();  
        }  
    }  
}
```

Optional: Nicht mehr ticken

Im Leerlauf wird der Kern jedoch immer noch durch Unterbrechungen von unserer watch aufgeweckt.

Optional: Nicht mehr ticken

Im Leerlauf wird der Kern jedoch immer noch durch Unterbrechungen von unserer watch aufgeweckt.

⇒ **erhöhter Energieverbrauch**

Optional: Nicht mehr ticken

Im Leerlauf wird der Kern jedoch immer noch durch Unterbrechungen von unserer watch aufgeweckt.

⇒ **erhöhter Energieverbrauch**

- Im Leerlauf kann der LAPIC Timer deaktiviert werden (Interrupt maskieren)

Optional: Nicht mehr ticken

Im Leerlauf wird der Kern jedoch immer noch durch Unterbrechungen von unserer watch aufgeweckt.

⇒ **erhöhter Energieverbrauch**

- Im Leerlauf kann der LAPIC Timer deaktiviert werden (Interrupt maskieren)
- Erweiterung der watch im IdleThread anwenden:

```
if(scheduler.isEmpty()){  
    watch.block();  
    CPU::idle();  
    watch.unblock();  
}
```


Optional: Nicht mehr ticken

Im Leerlauf wird der Kern jedoch immer noch durch Unterbrechungen von unserer watch aufgeweckt.

⇒ **erhöhter Energieverbrauch**

- Im Leerlauf kann der LAPIC Timer deaktiviert werden (Interrupt maskieren)
- Erweiterung der watch im IdleThread anwenden:

```
if(scheduler.isEmpty()){  
    watch.block();  
    CPU::idle();  
    watch.unblock();  
}
```

- Sonderbehandlung bei der für den bellringer verantwortlichen CPU berücksichtigen!

Weitere Fragen?

Fast geschafft - dies ist die letzte *Pflichtaufgabe*!