

Achtung:

- Jede Klasse eines Pakets, die in einer Klasse außerhalb des Pakets benutzt werden soll, muss als `public` gekennzeichnet werden.
- Jede Datei darf zwar mehrere Klassen-Definitionen enthalten, aber nur eine einzige, die `public` ist.
- Der Name der öffentlichen Klasse muss mit demjenigen der Datei **übereinstimmen** ... :-)
- Der Paket-Name enthält den gesamten **absoluten** Zugriffs-Pfad von dem Wurzel-Paket.
- Abhängigkeiten zwischen Paketen können zirkulär sein.

Im Verzeichnis a lässt sich das Programm compilieren. Allerdings liefert ...

```
> java A
```

```
Exception in thread "main" java.lang.NoClassDefFoundError: a/A (wrong name
    at java.lang.ClassLoader.defineClass0(Native Method)
    at java.lang.ClassLoader.defineClass(Compiled Code)
    at java.security.SecureClassLoader.defineClass(Compiled Code)
    at java.net.URLClassLoader.defineClass(Compiled Code)
    at java.net.URLClassLoader.access$1(Compiled Code)
    at java.net.URLClassLoader$1.run(Compiled Code)
    at java.security.AccessController.doPrivileged(Native Method)
    at java.net.URLClassLoader.findClass(Compiled Code)
    at java.lang.ClassLoader.loadClass(Compiled Code)
    at sun.misc.Launcher$AppClassLoader.loadClass(Compiled Code)
    at java.lang.ClassLoader.loadClass(Compiled Code)
```

Aufruf von `java a.A` ist schon besser:

```
> java a.A
```

```
Exception in thread "main" java.lang.NoClassDefFoundError: a/A
```

Aufruf von `java a.A` ein Verzeichnis **oberhalb** von `a` liefert dagegen:

```
> java a.A
```

```
a.b.c.C@67bb4c68  a.d.D@69df4c68
```

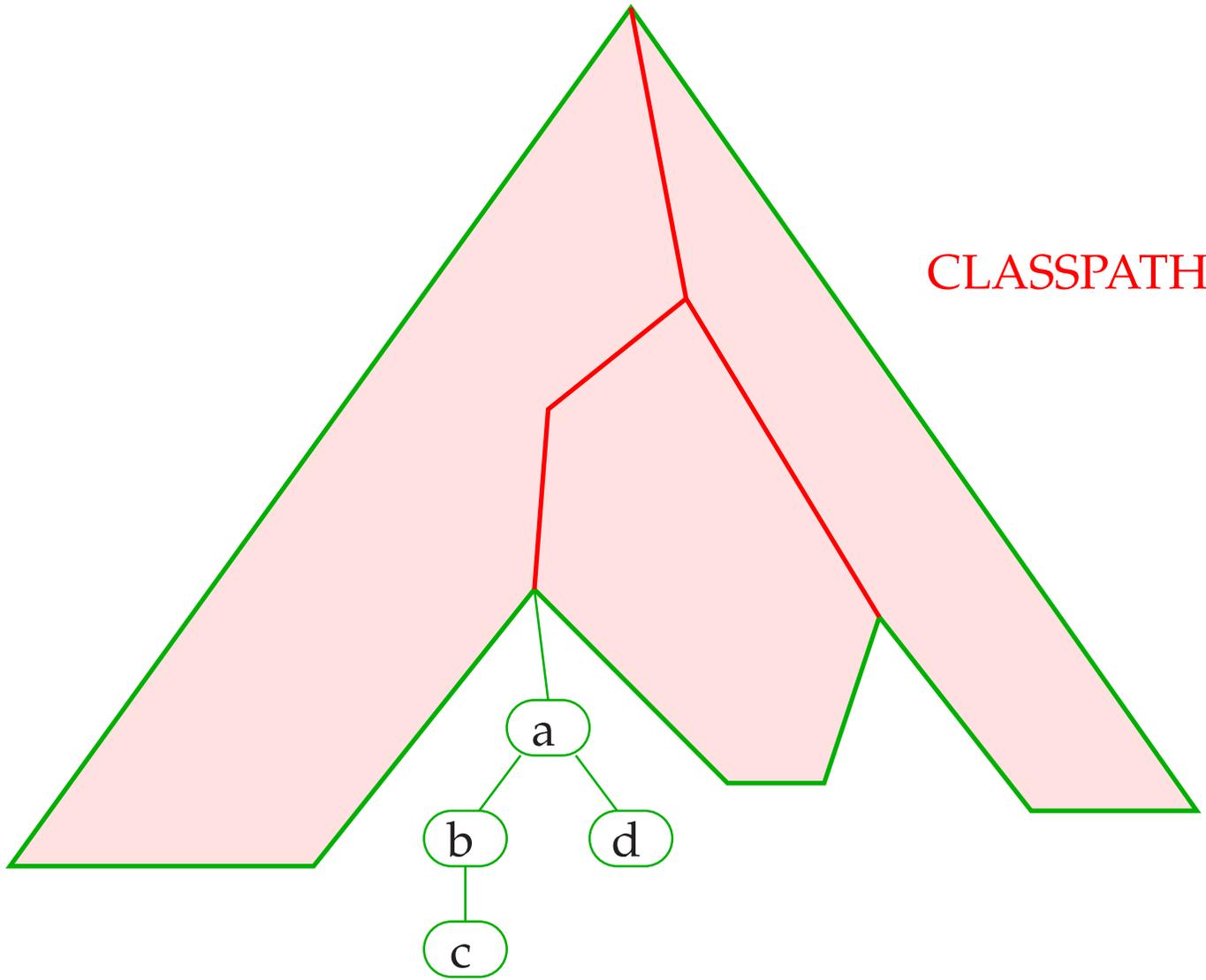
Der Grund:

- Damit **Java** Verzeichnisse mit Paketen findet, sollte die **Umgebungsvariable** CLASSPATH gesetzt werden, z.B. hier mithilfe des Kommandos:

```
export CLASSPATH=~/.java:.
```

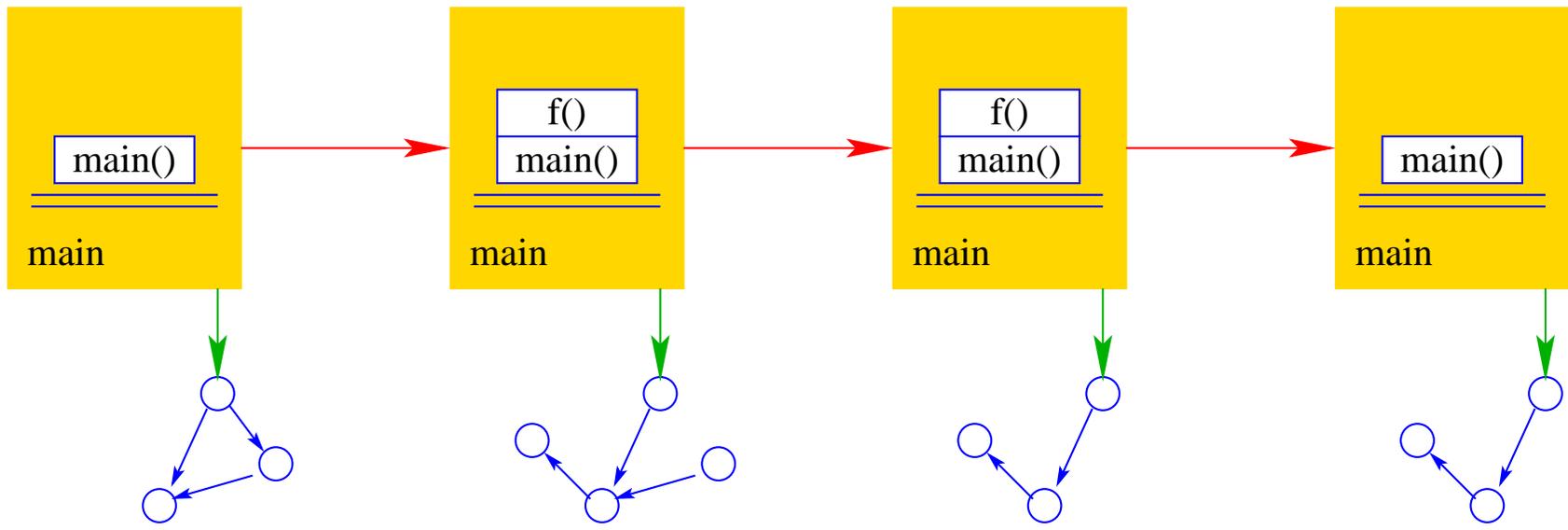
- Diese Variable enthält die Start-Verzeichnisse, in denen bei einem Aufruf nach Klassen oder Paketen gesucht wird.
- Bei einem Aufruf `> java A` durchsucht das Laufzeit-System sämtliche in CLASSPATH angegebenen Verzeichnisse nach einer Datei `A.class` und führt diese aus (– sofern sie vorhanden ist).
- Bei einem Aufruf `> java a.b.c.A` sucht das Laufzeit-System eine Datei `A.class` in Unterverzeichnissen `a/b/c` von Verzeichnissen aus CLASSPATH.
- Voreingestellt ist das aktuelle Verzeichnis, d.h.: `CLASSPATH=.`

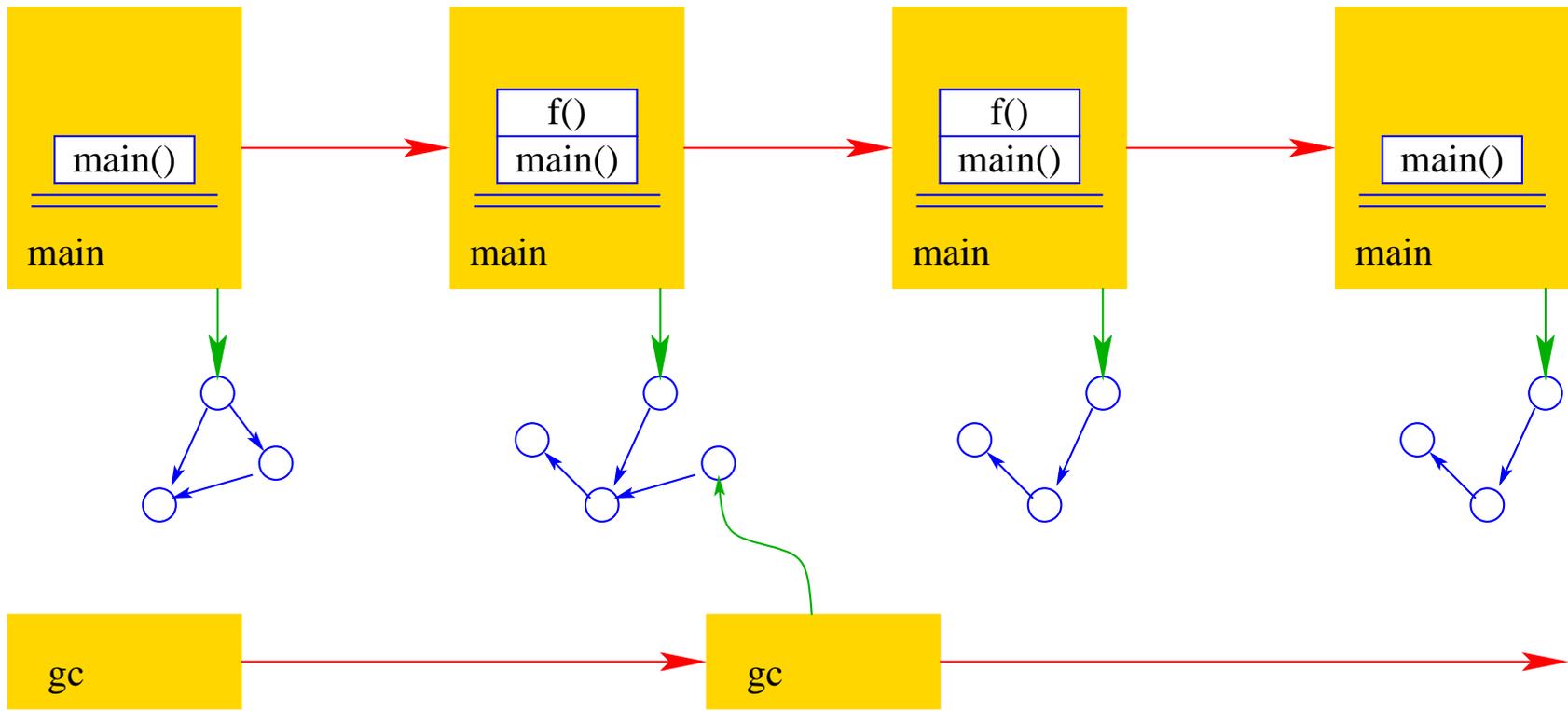
Verzeichnis-Baum



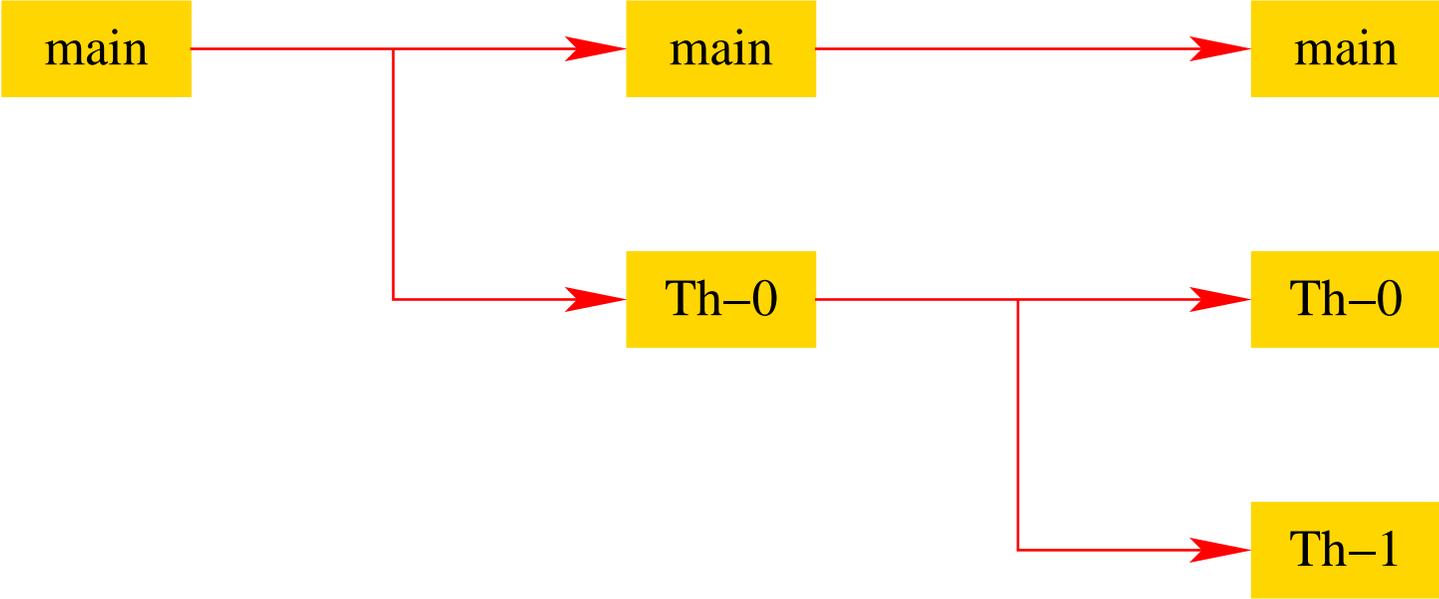
21 Threads

- Die Ausführung eines **Java**-Programms besteht in Wahrheit nicht aus einem, sondern **mehreren** parallel laufenden **Threads**.
- Ein Thread ist ein sequentieller Ausführungs-Strang.
- Der Aufruf eines Programms startet einen Thread `main`, der die Methode `main()` des Programms ausführt.
- Ein weiterer Thread, den das Laufzeitsystem parallel startet, ist die **Garbage Collection**.
- Die Garbage Collection soll mittlerweile nicht mehr erreichbare Objekte beseitigen und den von ihnen belegten Speicherplatz der weiteren Programm-Ausführung zur Verfügung stellen.





- Mehrere Threads sind auch nützlich, um
 - ... mehrere Eingabe-Quellen zu überwachen (z.B. Mouse-Klicks und Tastatur-Eingaben) ↑**Graphik**;
 - ... während der Blockierung einer Aufgabe etwas anderes Sinnvolles erledigen zu können;
 - ... die Rechenkraft mehrerer Prozessoren auszunutzen.
- Neue Threads können deshalb vom Programm selbst erzeugt und gestartet werden.
- Dazu stellt **Java** die Klasse Thread und das Interface Runnable bereit.



Beispiel:

```
public class MyThread extends Thread {
    public void hello(String s) {
        System.out.println(s);
    }
    public void run() {
        hello("I'm running ...");
    } // end of run()
    public static void main(String[] args) {
        MyThread t = new MyThread();
        t.start();
        System.out.println("Thread has been started ...");
    } // end of main()
} // end of class MyThread
```

- Neue Threads werden für Objekte aus (Unter-) Klassen der Klasse Thread angelegt.
- Jede (konkrete) Unterklasse von Thread sollte die Objekt-Methode `public void run();` implementieren.
- Ist `t` ein Thread-Objekt, dann bewirkt der Aufruf `t.start();` das folgende:
 1. ein neuer Thread wird initialisiert;
 2. die (parallele) Ausführung der Objekt-Methode `run()` für `t` wird angestoßen;
 3. die eigene Programm-Ausführung wird hinter dem Aufruf fortgesetzt.

Beispiel:

```
public class MyRunnable implements Runnable {
    public void hello(String s) {
        System.out.println(s);
    }
    public void run() {
        hello("I'm running ...");
    } // end of run()
    public static void main(String[] args) {
        Thread t = new Thread(new MyRunnable());
        t.start();
        System.out.println("Thread has been started ...");
    } // end of main()
} // end of class MyRunnable
```

- Auch das Interface `Runnable` verlangt die Implementierung einer Objekt-Methode `public void run();`
- `public Thread(Runnable obj);` legt für ein `Runnable`-Objekt `obj` ein `Thread`-Objekt an.
- Ist `t` das `Thread`-Objekt für das `Runnable obj`, dann bewirkt der Aufruf `t.start();` das folgende:
 1. ein neuer `Thread` wird initialisiert;
 2. die (parallele) Ausführung der Objekt-Methode `run()` für `obj` wird angestoßen;
 3. die eigene Programm-Ausführung wird hinter dem Aufruf fortgesetzt.

Mögliche Ausführungen:

```
Thread has been started ...  
I'm running ...
```

... oder:

```
I'm running ...  
Thread has been started ...
```

- Ein Thread kann nur eine Operation ausführen, wenn ihm ein Prozessor (CPU) zur Ausführung zugeteilt worden ist.
- Im Allgemeinen gibt es mehr Threads als CPUs.
- Der **Scheduler** verwaltet die verfügbaren CPUs und teilt sie den Threads zu.
- Bei verschiedenen Programm-Läufen kann diese Zuteilung verschieden aussehen!!!
- Es gibt verschiedene Politiken, nach denen sich Scheduler richten können ↑ **Betriebssysteme**.

1. Zeitscheiben-Verfahren:

- Ein Thread erhält eine CPU nur für eine bestimmte Zeitspanne (**Time Slice**), in der er rechnen darf.
- Danach wird er unterbrochen. Dann darf ein anderer.

Thread-1:



Thread-2:



Thread-3:



Scheduler



Thread-1:



Thread-2:



Thread-3:



Scheduler



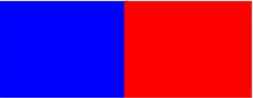
Thread-1:



Thread-2:



Thread-3:



Scheduler



Thread-1:



Thread-2:



Thread-3:



Scheduler



Thread-1:



Thread-2:



Thread-3:



Scheduler



Thread-1:



Thread-2:



Thread-3:



Scheduler



Thread-1:



Thread-2:



Thread-3:



Scheduler



Thread-1:



Thread-2:



Thread-3:



Scheduler



Thread-1:



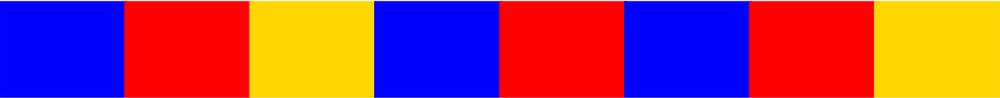
Thread-2:



Thread-3:



Scheduler



Thread-1:



Thread-2:



Thread-3:



Scheduler



Thread-1:



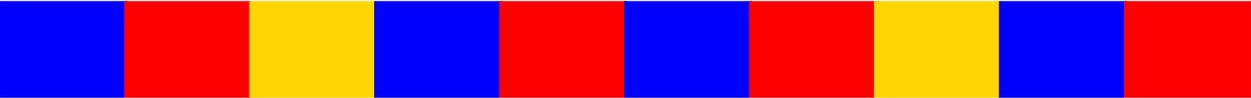
Thread-2:



Thread-3:



Scheduler



Thread-1:



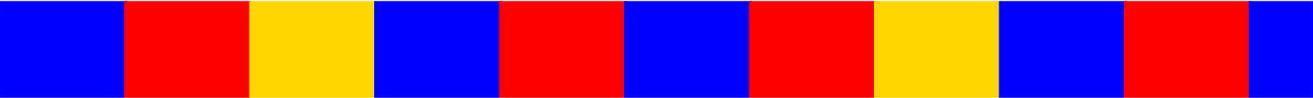
Thread-2:



Thread-3:



Scheduler



Thread-1:



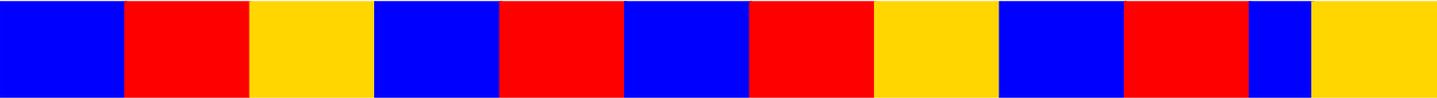
Thread-2:



Thread-3:

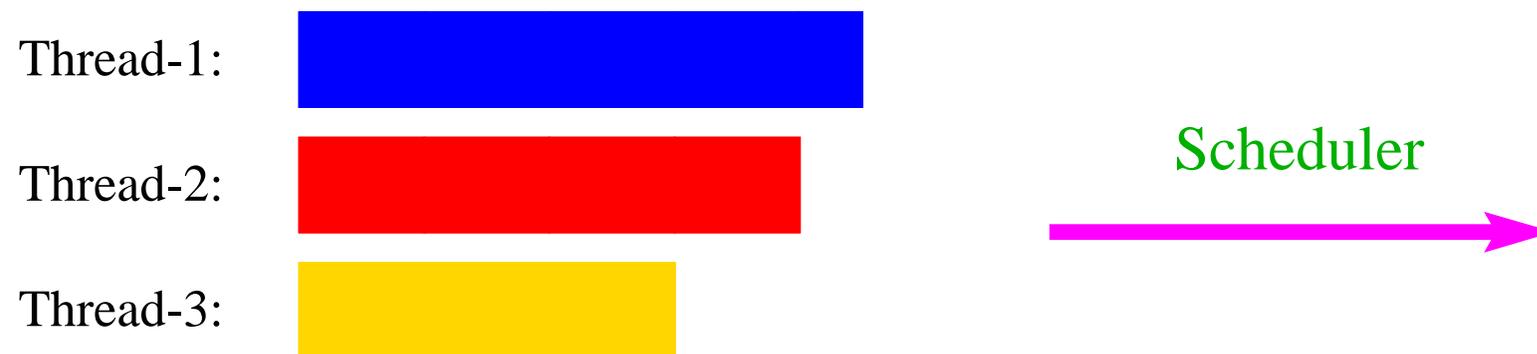


Scheduler



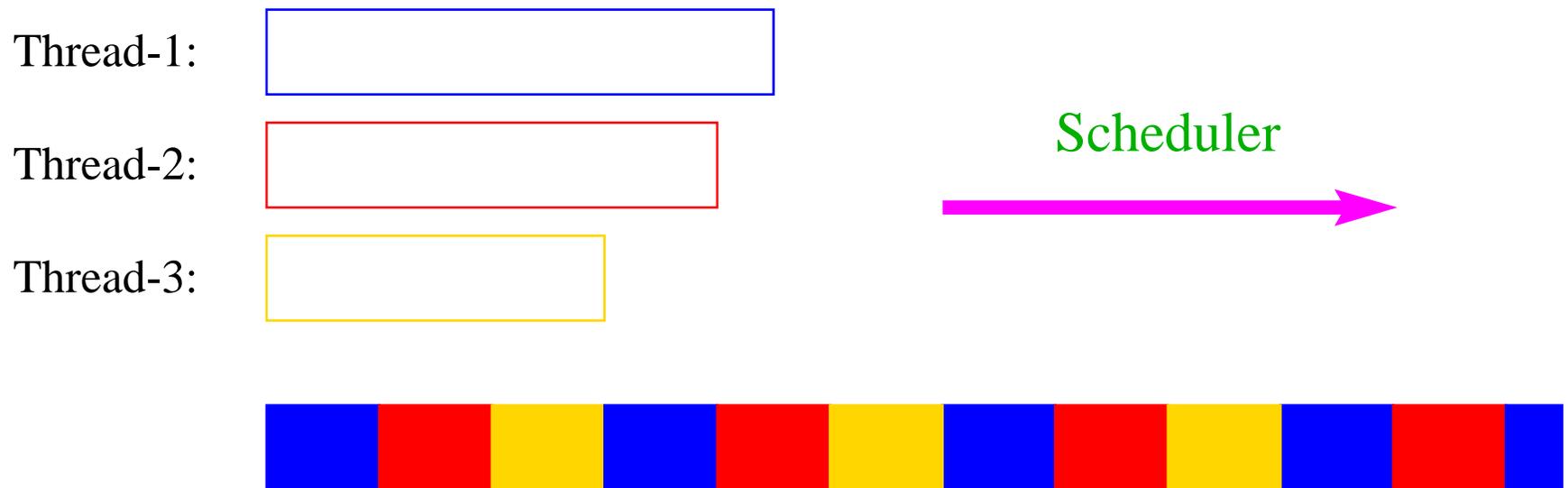
Achtung:

Eine andere Programm-Ausführung mag dagegen liefern:



Achtung:

Eine andere Programm-Ausführung mag dagegen liefern:



- Ein Zeitscheiben-Scheduler versucht, jeden Thread **fair** zu behandeln, d.h. ab und zu Rechenzeit zuzuordnen – egal, welche Threads sonst noch Rechenzeit beanspruchen.
- Kein Thread hat jedoch Anspruch auf einen bestimmten Time-Slice.
- Für den Programmierer sieht es so aus, als ob sämtliche Threads “echt” parallel ausgeführt werden, d.h. jeder über eine eigene CPU verfügt :-)

2. Naives Verfahren:

- Erhält ein Thread eine CPU, darf er laufen, so lange er will ...
- Gibt er die CPU wieder frei, darf ein anderer Thread arbeiten ...

Thread-1:



Thread-2:



Thread-3:



Scheduler



Thread-1:



Thread-2:



Thread-3:



Scheduler



Thread-1:



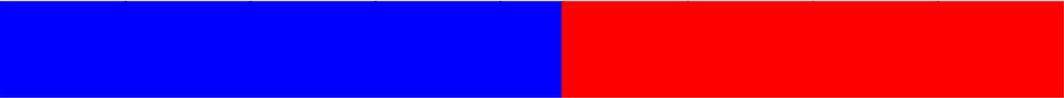
Thread-2:



Thread-3:



Scheduler



Thread-1:



Thread-2:



Thread-3:



Scheduler



Beispiel:

```
public class Start extends Thread {
    public void run() {
        System.out.println("I'm running ...");
        while(true) ;
    }
    public static void main(String[] args) {
        (new Start()).start();
        (new Start()).start();
        (new Start()).start();
        System.out.println("main is running ...");
        while(true) ;
    }
} // end of class Start
```

... liefert als Ausgabe (bei naivem Scheduling und einer CPU) :

```
main is running ...
```

... liefert als Ausgabe (bei naivem Scheduling und einer CPU) :

```
main is running ...
```

- Weil main nie fertig wird, erhalten die anderen Threads keine Chance, sie **verhungern**.
- Faires Scheduling mit einem Zeitscheiben-Verfahren würde z.B. **liefern**:

```
I'm running ...
```

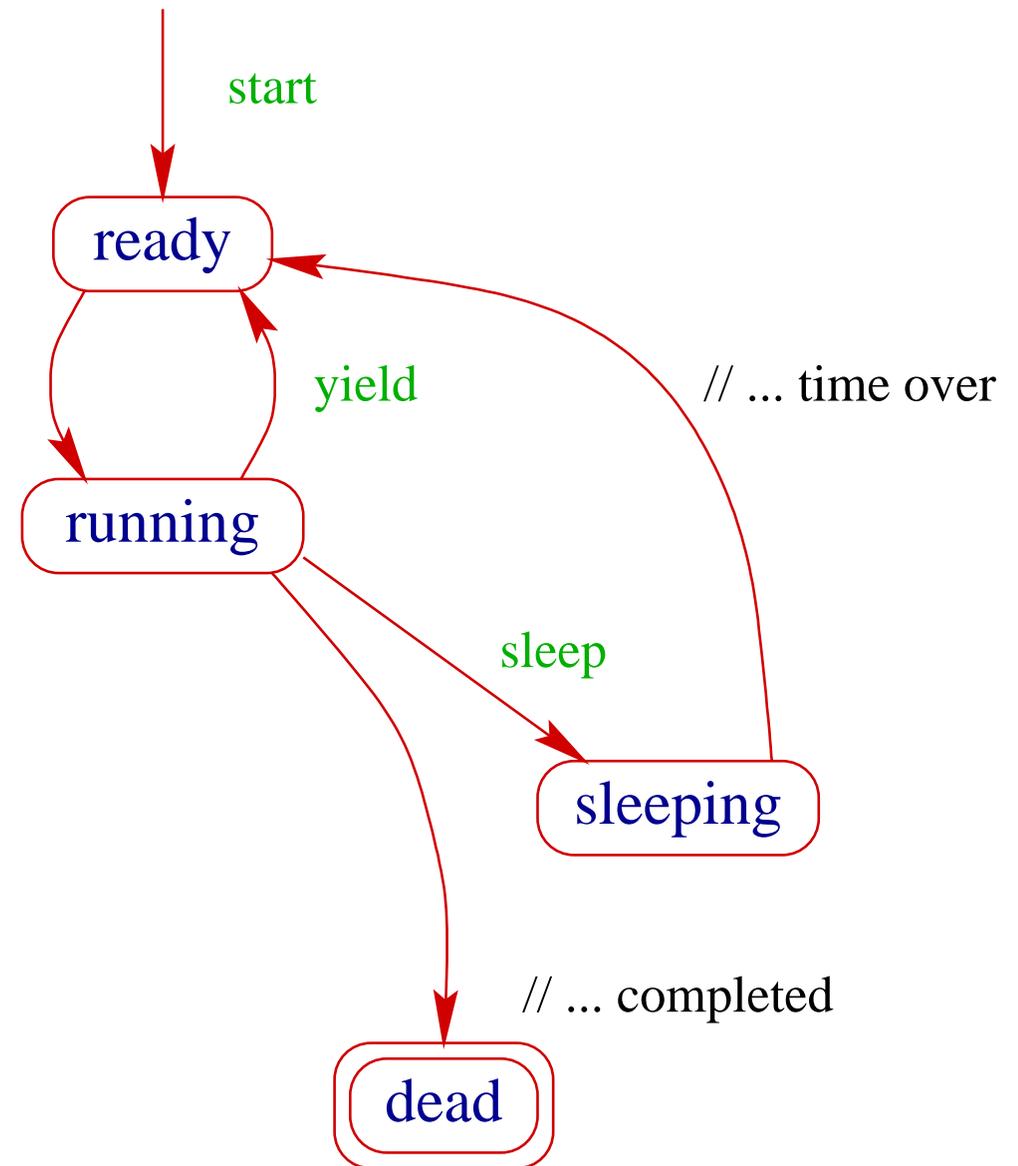
```
main is running ...
```

```
I'm running ...
```

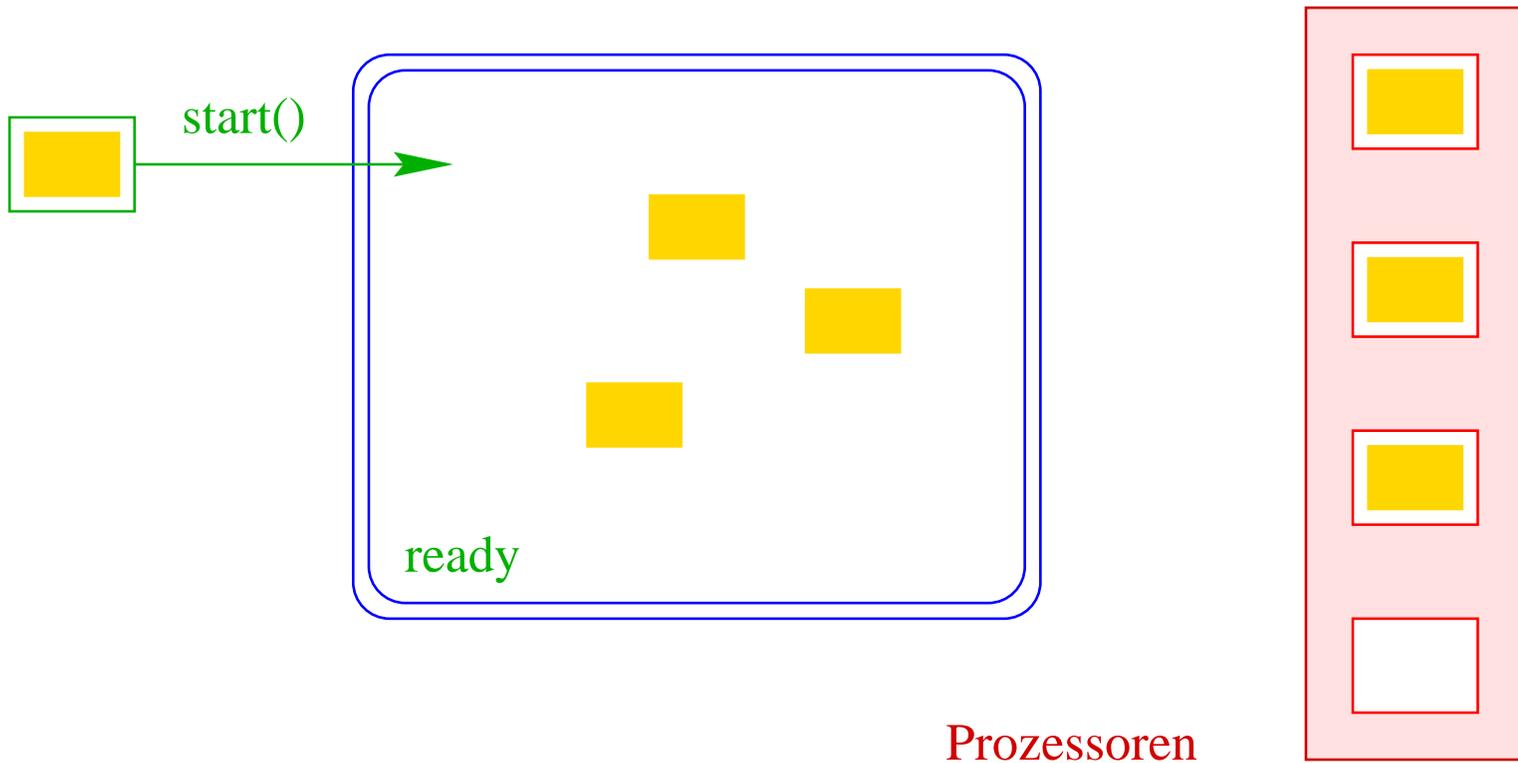
```
I'm running ...
```

- **Java** legt nicht fest, wie intelligent der Scheduler ist.
- Die aktuelle Implementierung unterstützt **fares** Scheduling :-)
- Programme sollten aber für jeden Scheduler das **gleiche Verhalten** zeigen. Das heißt:
 - ... Threads, die aktuell nichts sinnvolles zu tun haben, z.B. weil sie auf Verstreichen der Zeit oder besseres Wetter warten, sollten stets ihre CPU anderen Threads zur Verfügung stellen.
 - ... Selbst wenn Threads etwas Vernünftiges tun, sollten sie ab und zu andere Threads laufen lassen.
- (**Achtung:** Wechsel des Threads ist **teuer!!!**)
- Dazu verfügt jeder Thread über einen **Zustand**, der bei der Vergabe von Rechenzeit berücksichtigt wird.

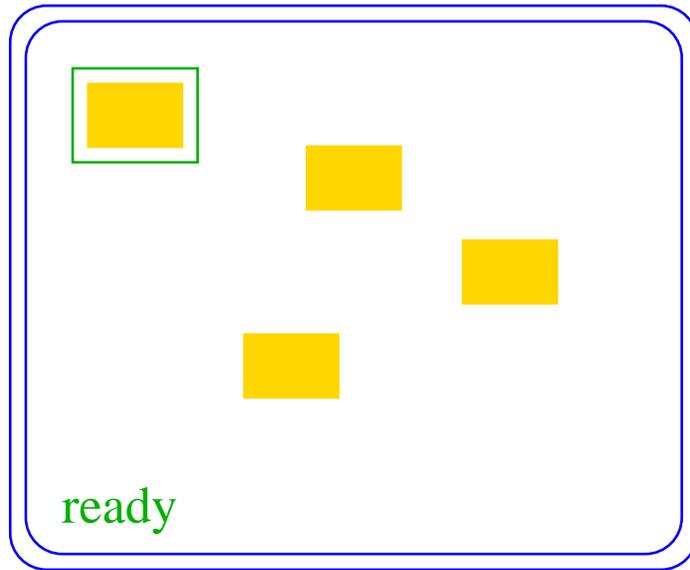
Einige Thread-Zustände:



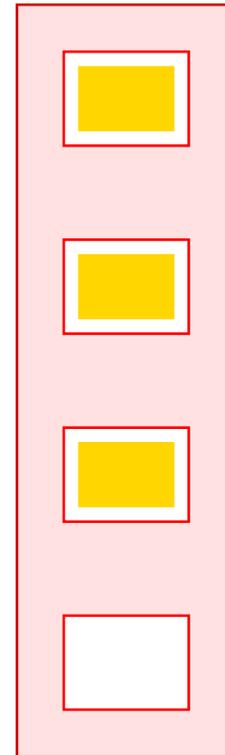
- `public void start();` legt einen neuen Thread an, setzt den Zustand auf `ready` und übergibt damit den Thread dem Scheduler zur Ausführung.
- Der Scheduler ordnet den Threads, die im Zustand `ready` sind, Prozessoren zu (“dispatching”). Aktuell laufende Threads haben den Zustand `running`.
- `public static void yield();` setzt den aktuellen Zustand zurück auf `ready` und unterbricht damit die aktuelle Programm-Ausführung. Andere ausführbare Threads erhalten die Gelegenheit zur Ausführung.
- `public static void sleep(int msec) throws InterruptedException;` legt den aktuellen Thread für msec Millisekunden schlafen, indem der Thread in den Zustand `sleeping` wechselt.

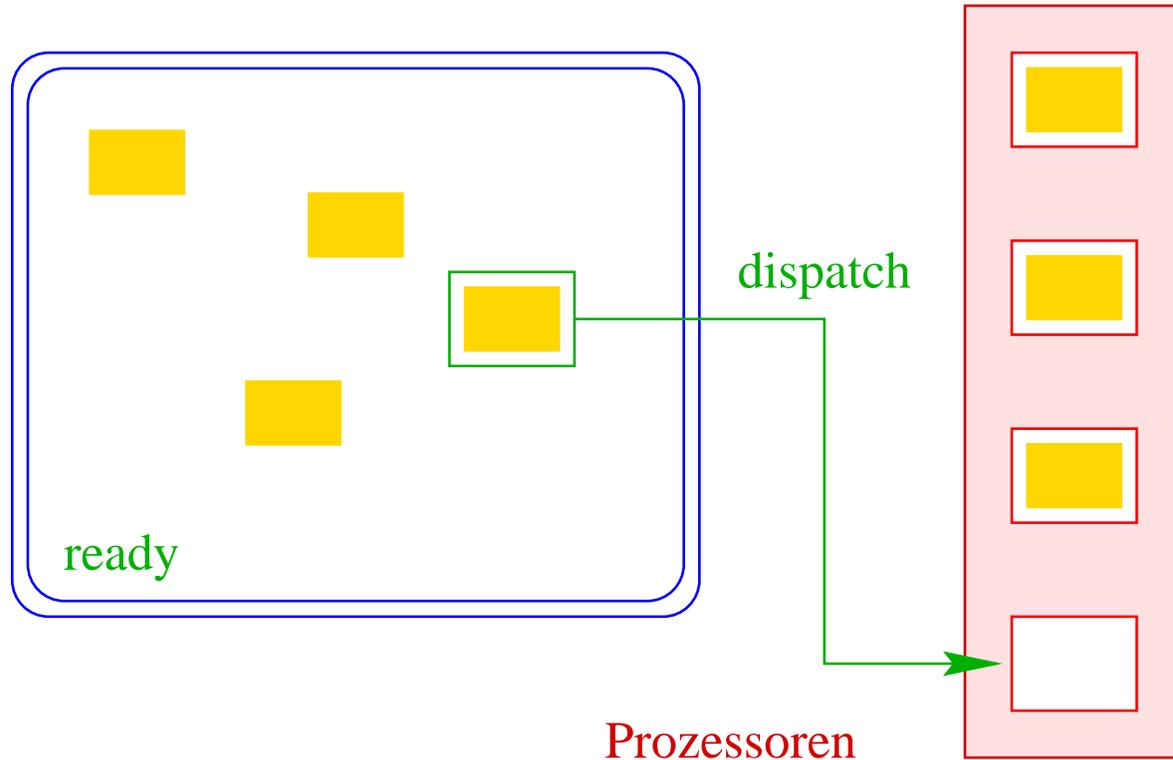


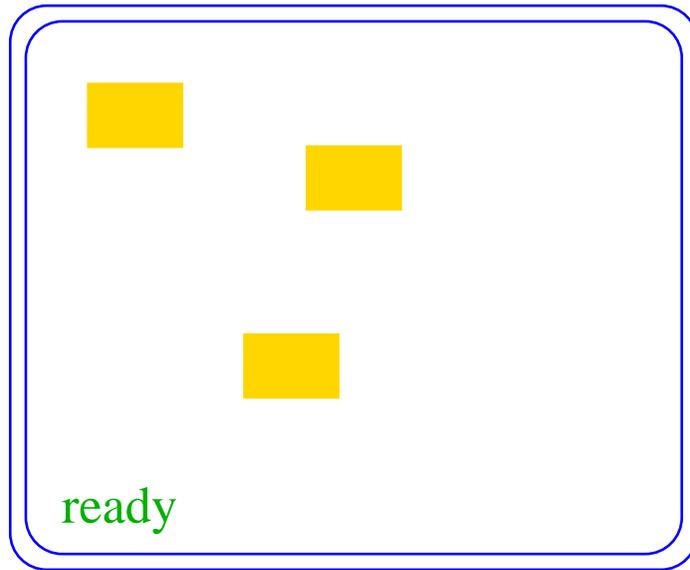
Prozessoren



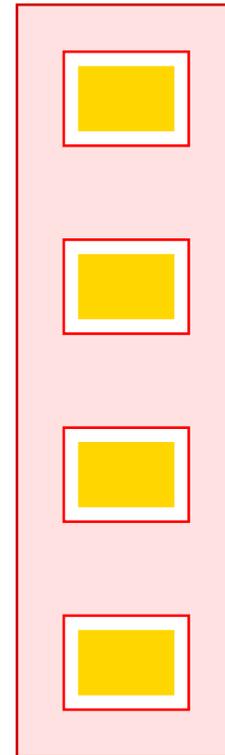
Prozessoren

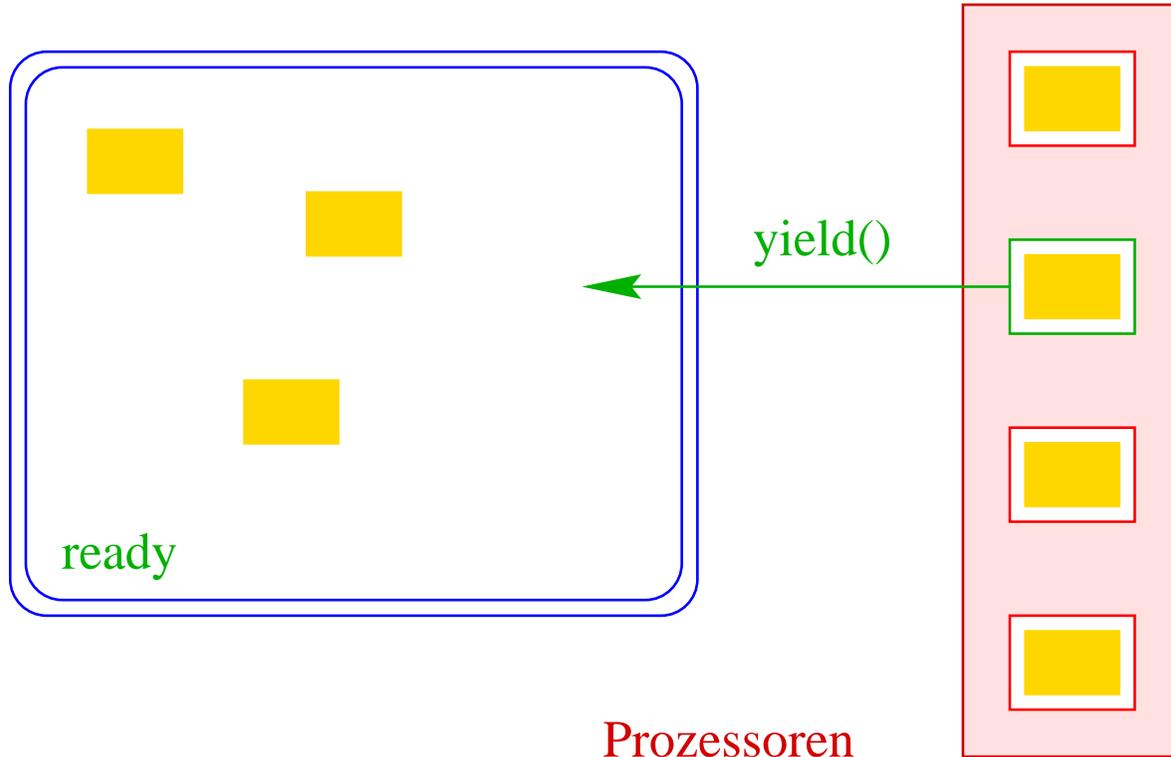


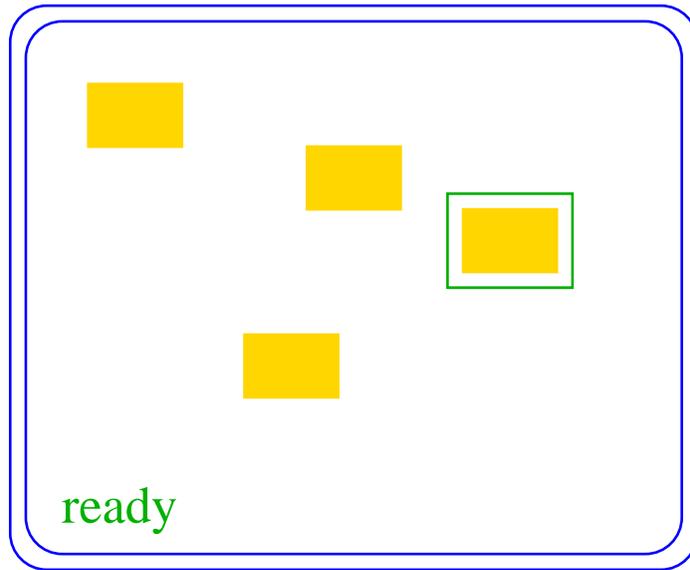




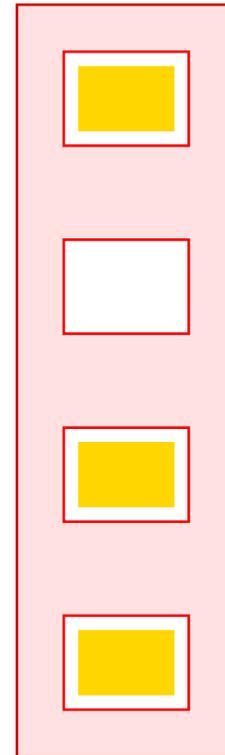
Prozessoren

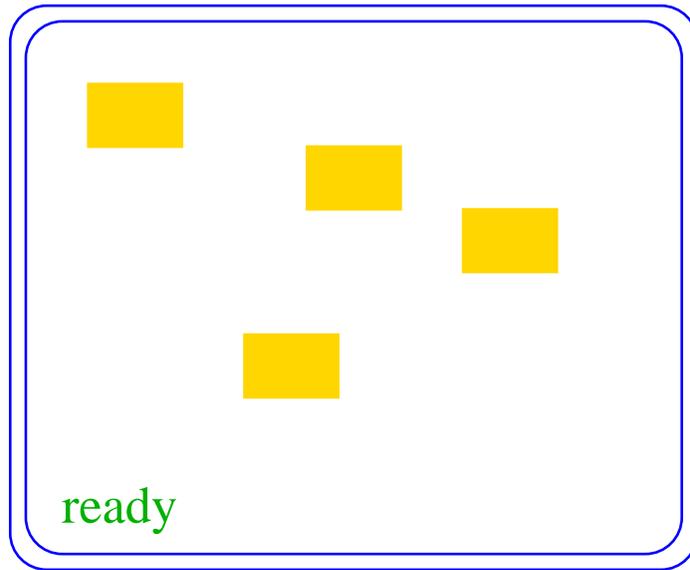




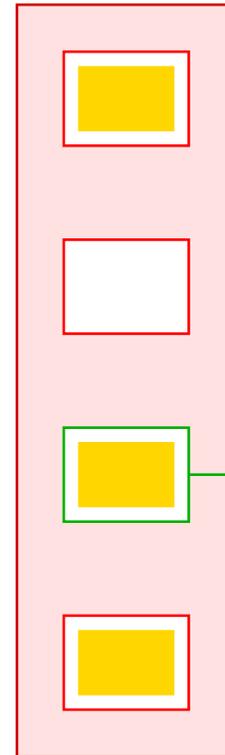


Prozessoren



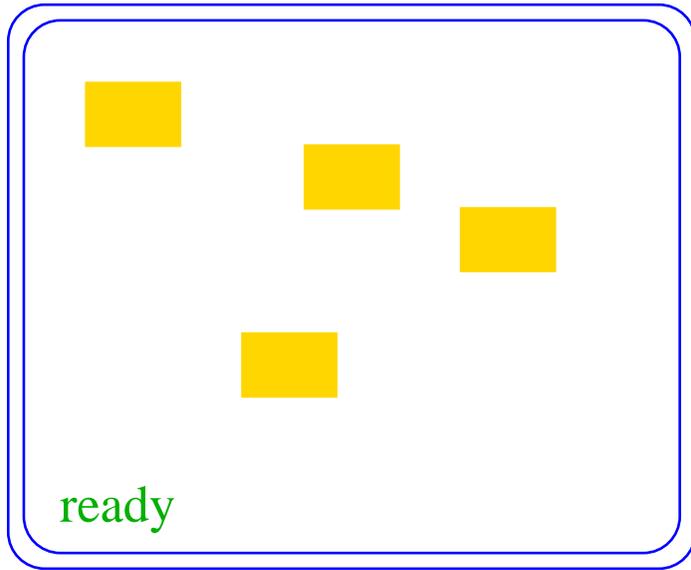


Prozessoren

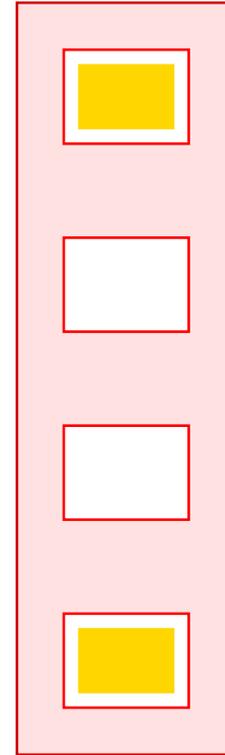


complete





Prozessoren



21.1 Monitore

- Damit Threads sinnvoll miteinander kooperieren können, müssen sie miteinander Daten austauschen.
- Zugriff mehrerer Threads auf eine gemeinsame Variable ist problematisch, weil nicht feststeht, in welcher Reihenfolge die Threads auf die Variable zugreifen.
- Ein Hilfsmittel, um geordnete Zugriffe zu garantieren, sind **Monitore**.

... ein Beispiel:

```

public class Inc implements Runnable {
    private static int x = 0;
    private static void pause(int t) {
        try {
            Thread.sleep((int) (Math.random()*t*1000));
        } catch (InterruptedException e) {
            System.err.println(e.toString());
        }
    }
    public void run() {
        String s = Thread.currentThread().getName();
        pause(3); int y = x;
        System.out.println(s+ " read "+y);
        pause(4); x = y+1;
        System.out.println(s+ " wrote "+(y+1));
    }
}

```

```

...
public static void main(String[] args) {
    (new Thread(new Inc())).start();
    pause(2);
    (new Thread(new Inc())).start();
    pause(2);
    (new Thread(new Inc())).start();
}
} // end of class Inc

```

- `public static Thread currentThread();` liefert (eine Referenz auf) das ausführende Thread-Objekt.
- `public final String getName();` liefert den Namen des Thread-Objekts.
- Das Programm legt für drei Objekte der Klasse `Inc` Threads an.
- Die Methode `run()` inkrementiert die Klassen-Variable `x`.

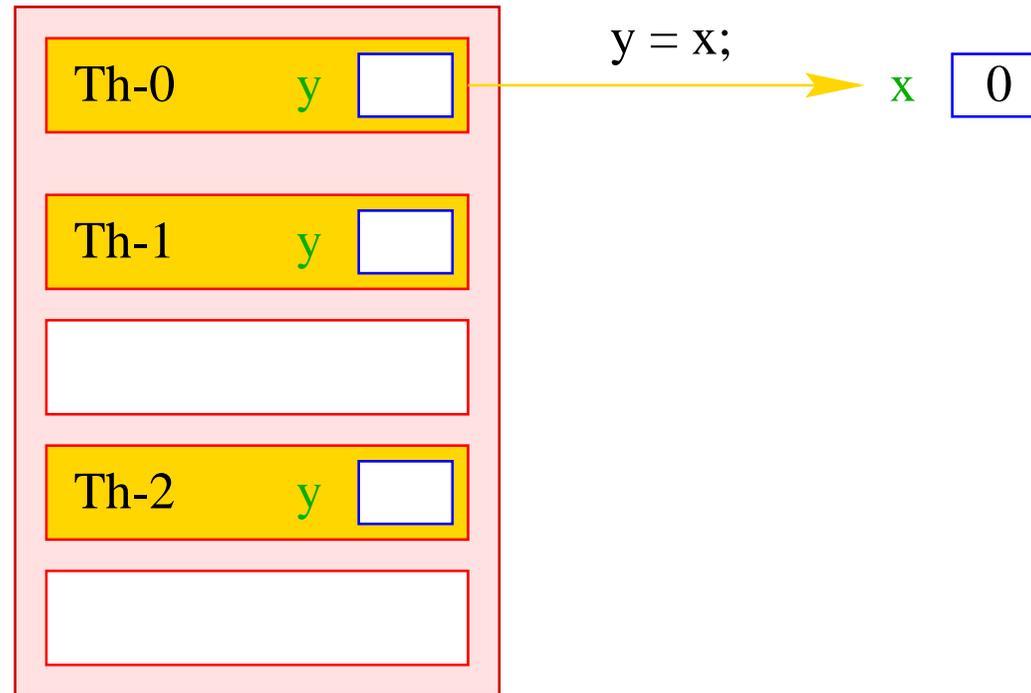
Die Ausführung liefert z.B.:

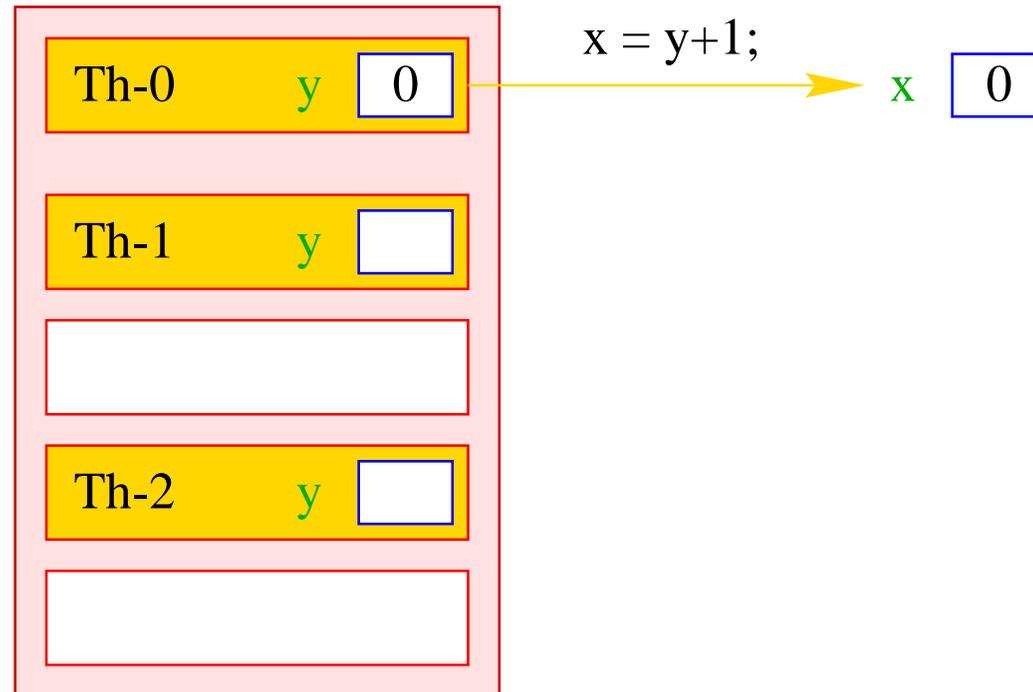
```
> java Inc  
Thread-0 read 0  
Thread-0 wrote 1  
Thread-1 read 1  
Thread-2 read 1  
Thread-1 wrote 2  
Thread-2 wrote 2
```

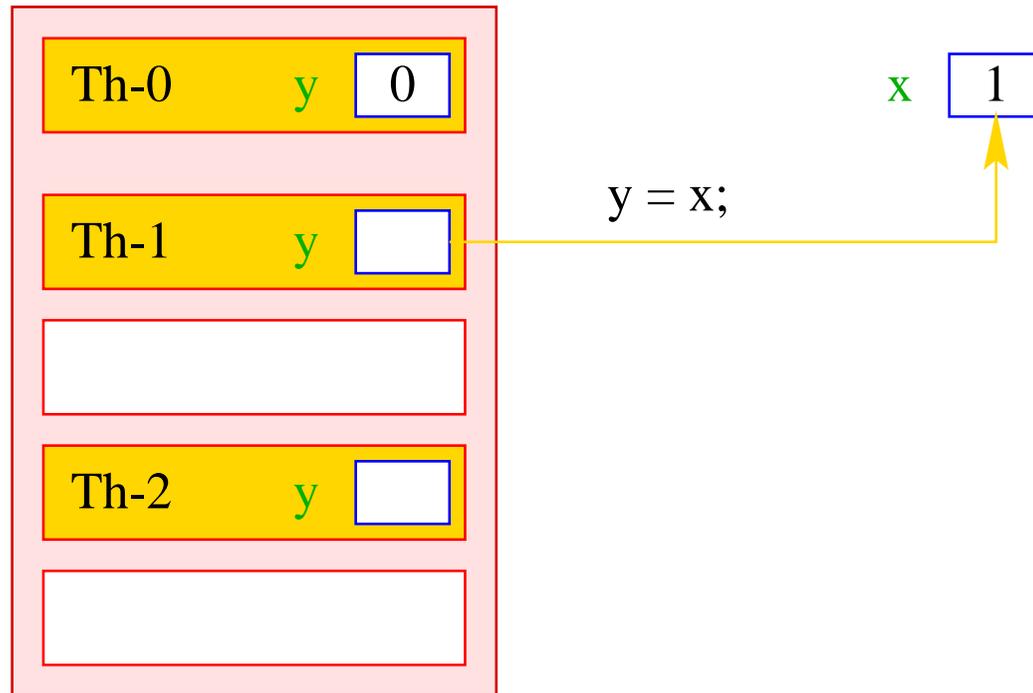
Der Grund:

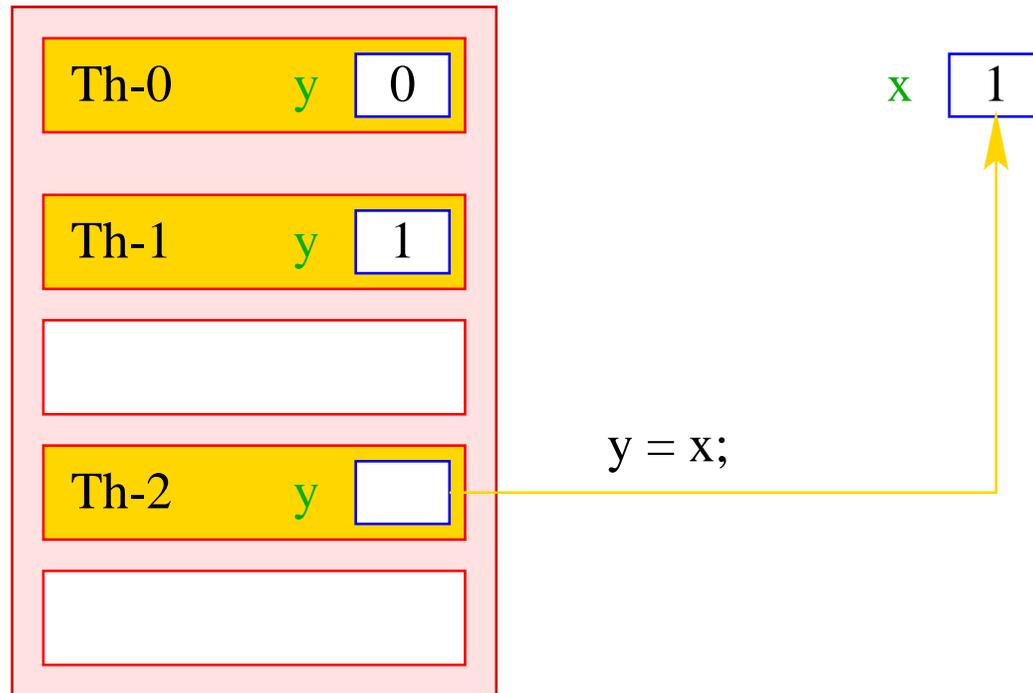
Th-0	y	<input type="text"/>
Th-1	y	<input type="text"/>
<input type="text"/>		
Th-2	y	<input type="text"/>
<input type="text"/>		

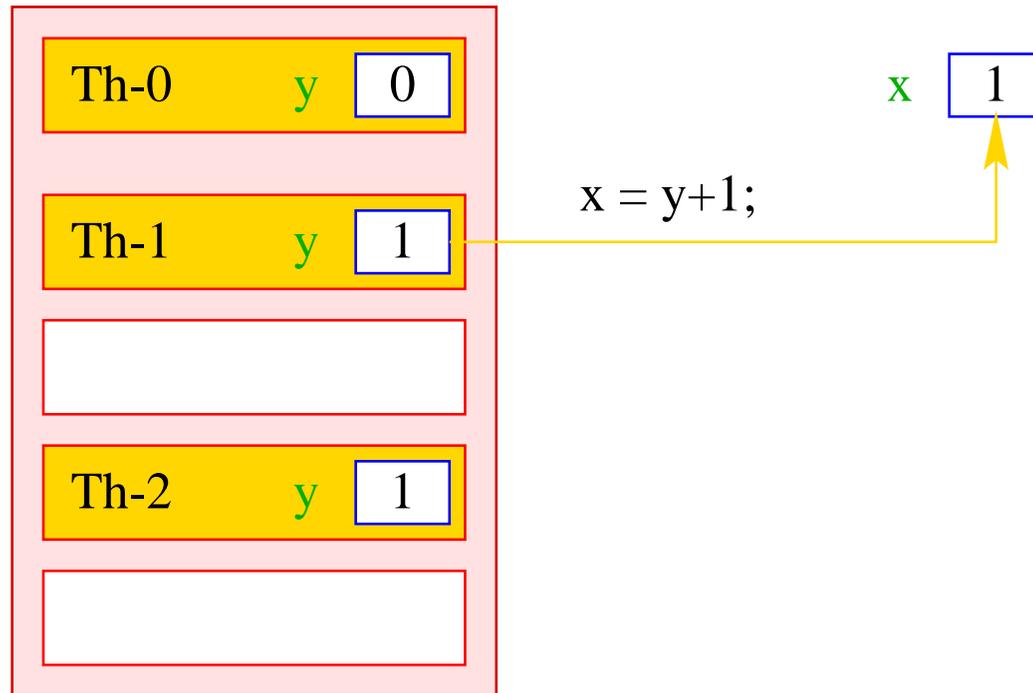
x

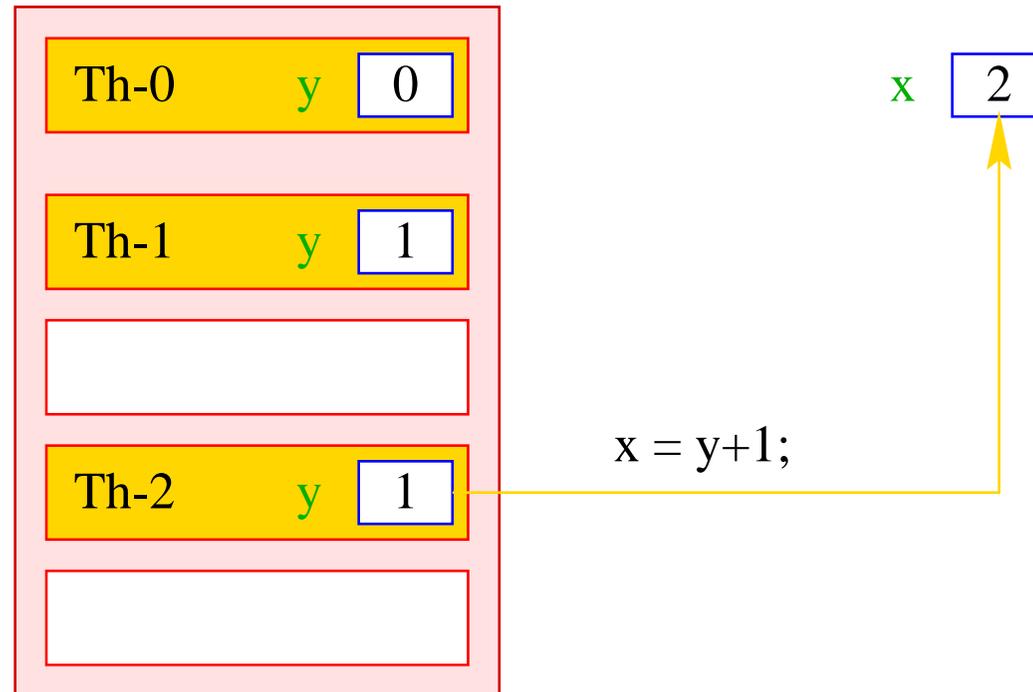












Th-0	y	0
Th-1	y	1
Th-2	y	1

x 2