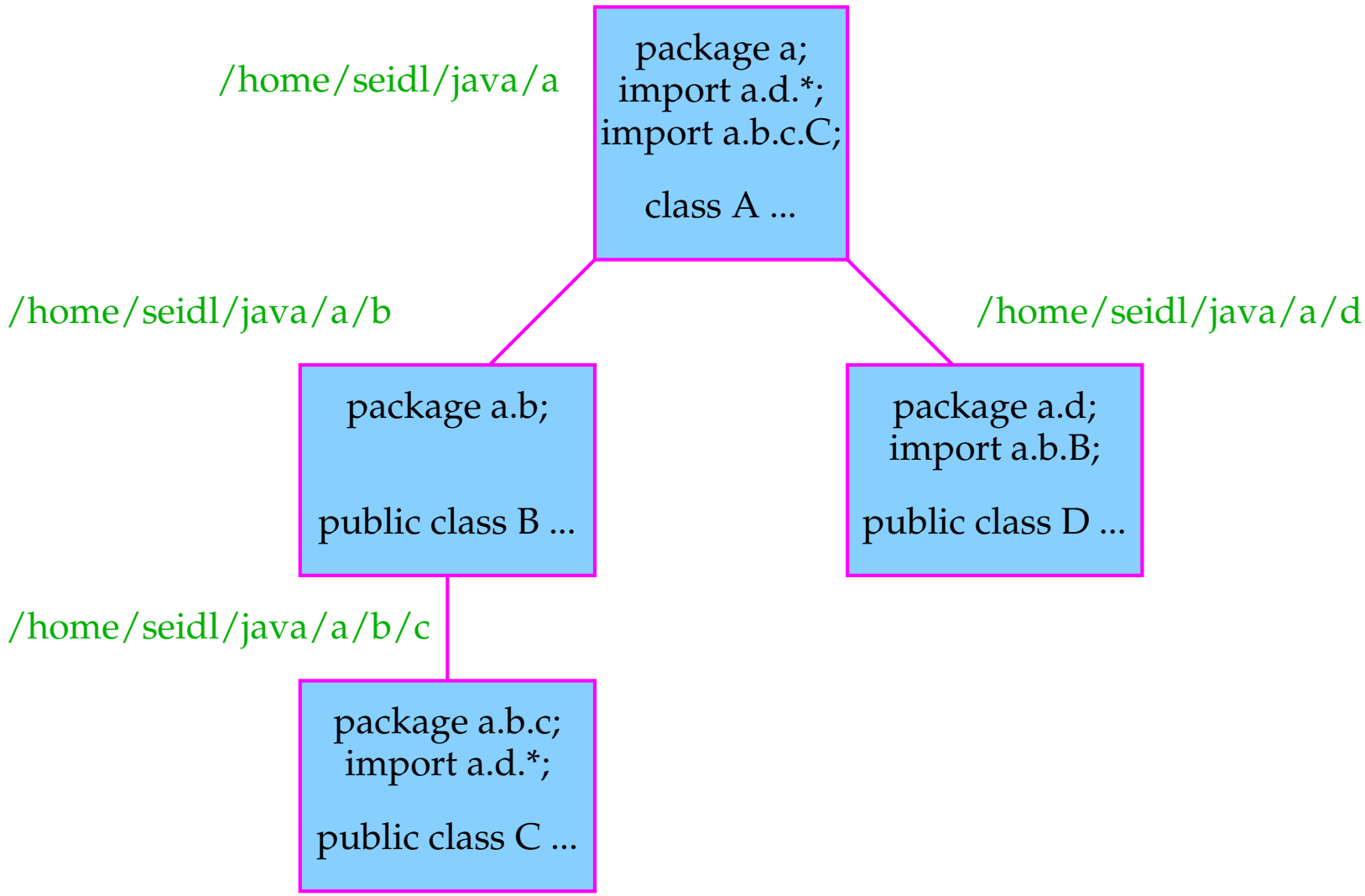
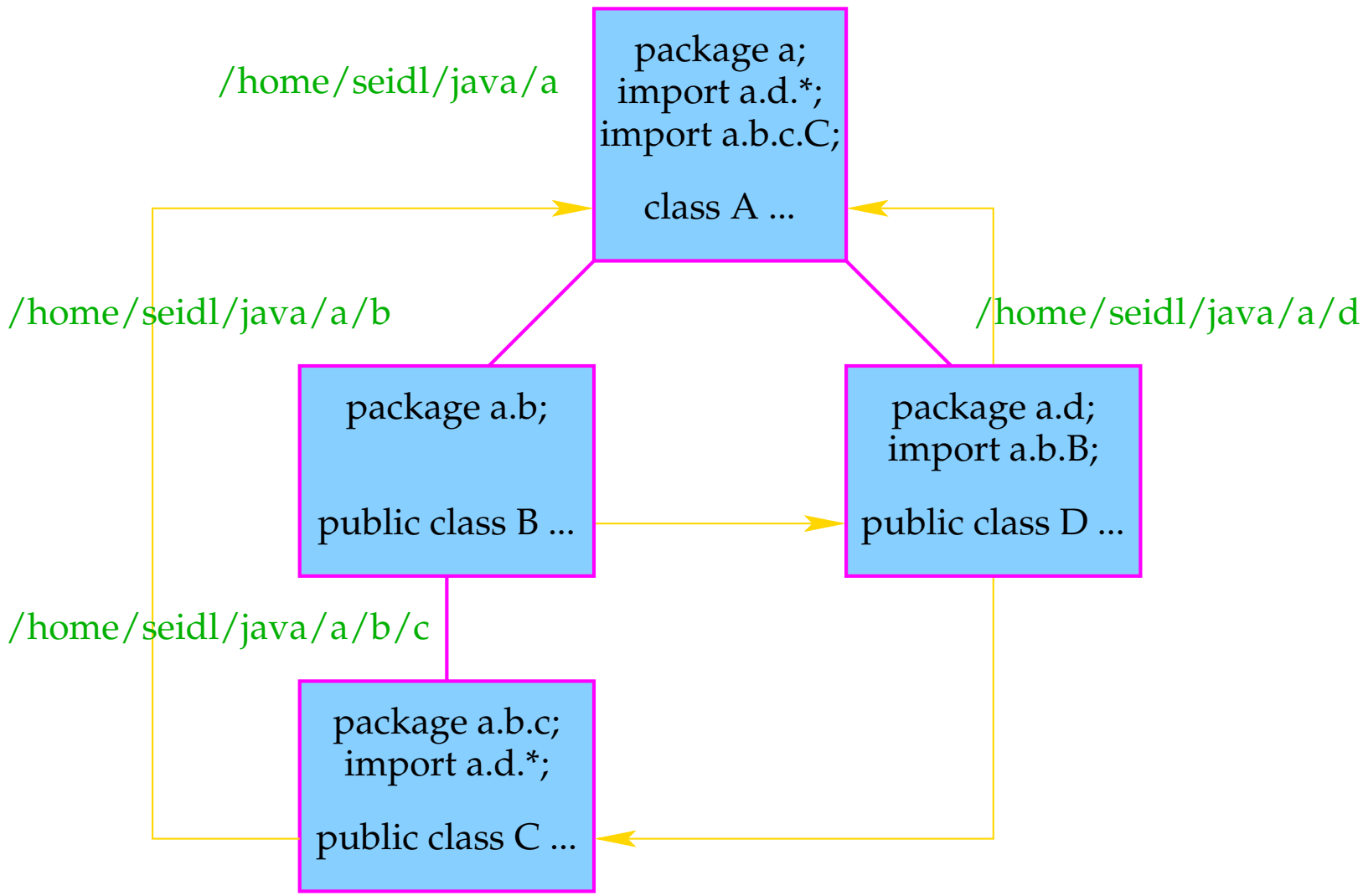
```
package a.b;
public class B { }
class Ghost { }

package a.b.c;
import a.d.*;
public class C { }
```

```
package a.d;
import a.b.B;
public class D {
   private B b = null;
}
```


/home/seidl/java/a
package a;
import a.d.*;
import a.b.c.C;
class A ...
/home/seidl/java/a/b
package a.b;
public class B ...
/home/seidl/java/a/d
package a.d;
import a.b.B;
public class D ...
/home/seidl/java/a/b/c
package a.b.c;
import a.d.*;
public class C ...


/home/seidl/java/a
package a;
import a.d.*;
import a.b.c.C;
class A ...
/home/seidl/java/a/b
/home/seidl/java/a/d
package a.b;
public class B ...
package a.d;
import a.b.B;
public class D ...
/home/seidl/java/a/b/c
package a.b.c;
import a.d.*;
public class C ...

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:

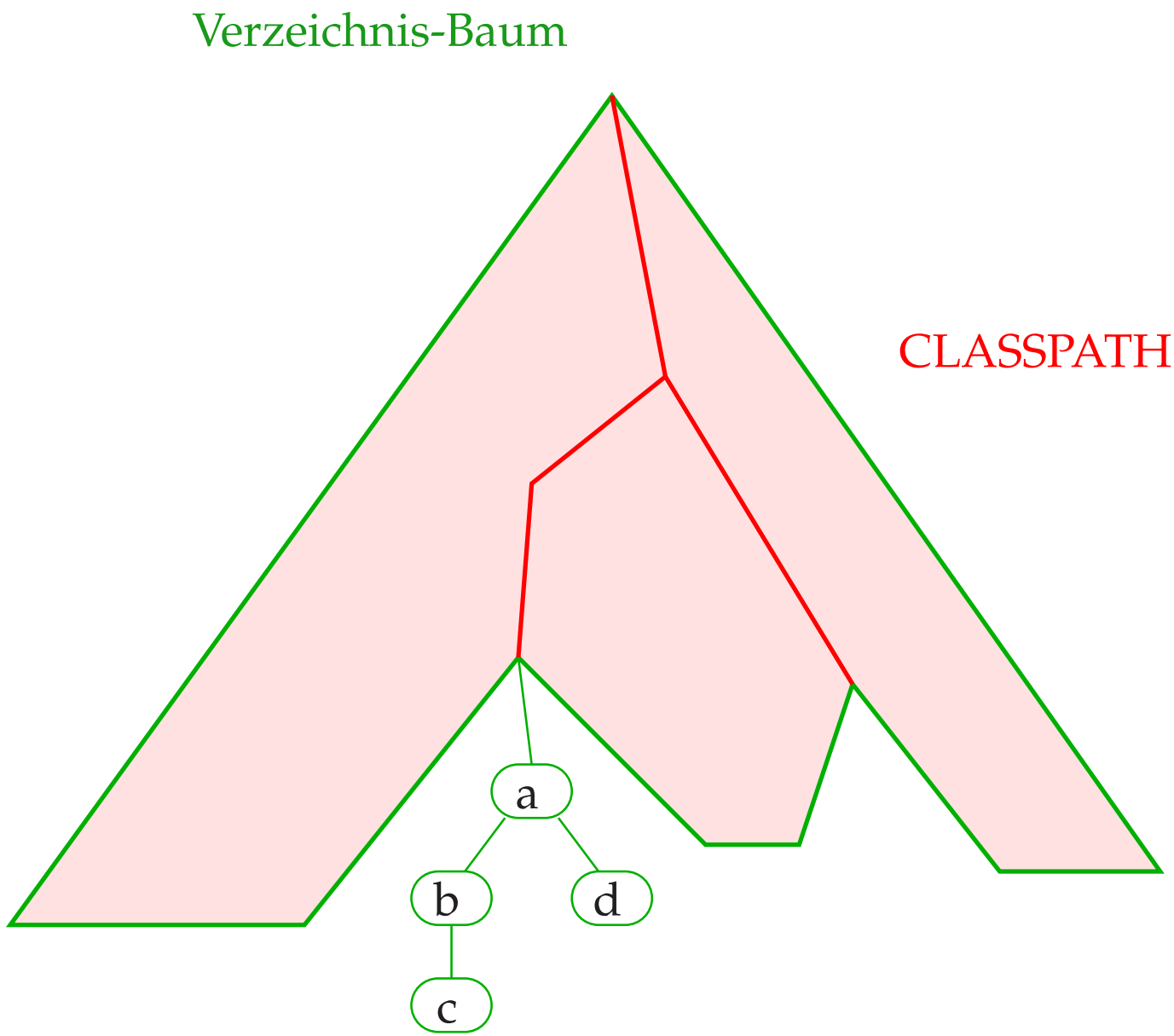
```
> java a.A
a.b.c.C@67bb4c68  a.d.D@69df4c68
```

Der Grund:

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

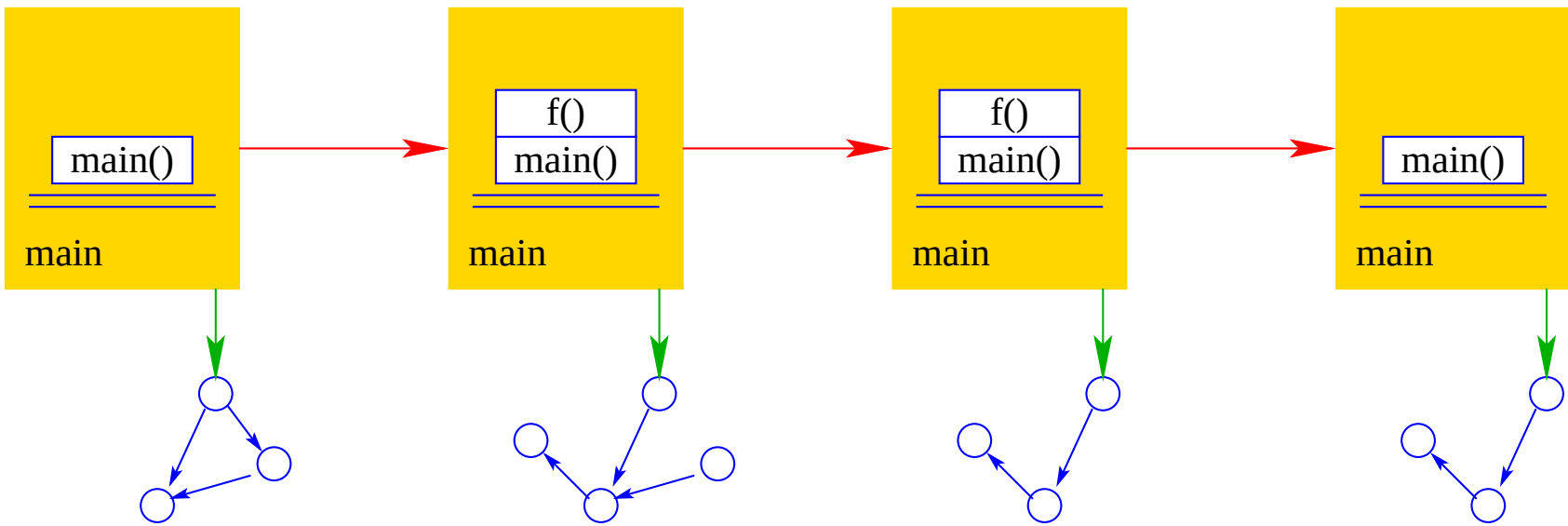
  ```
  setenv CLASSPATH ~/java:.
  ```

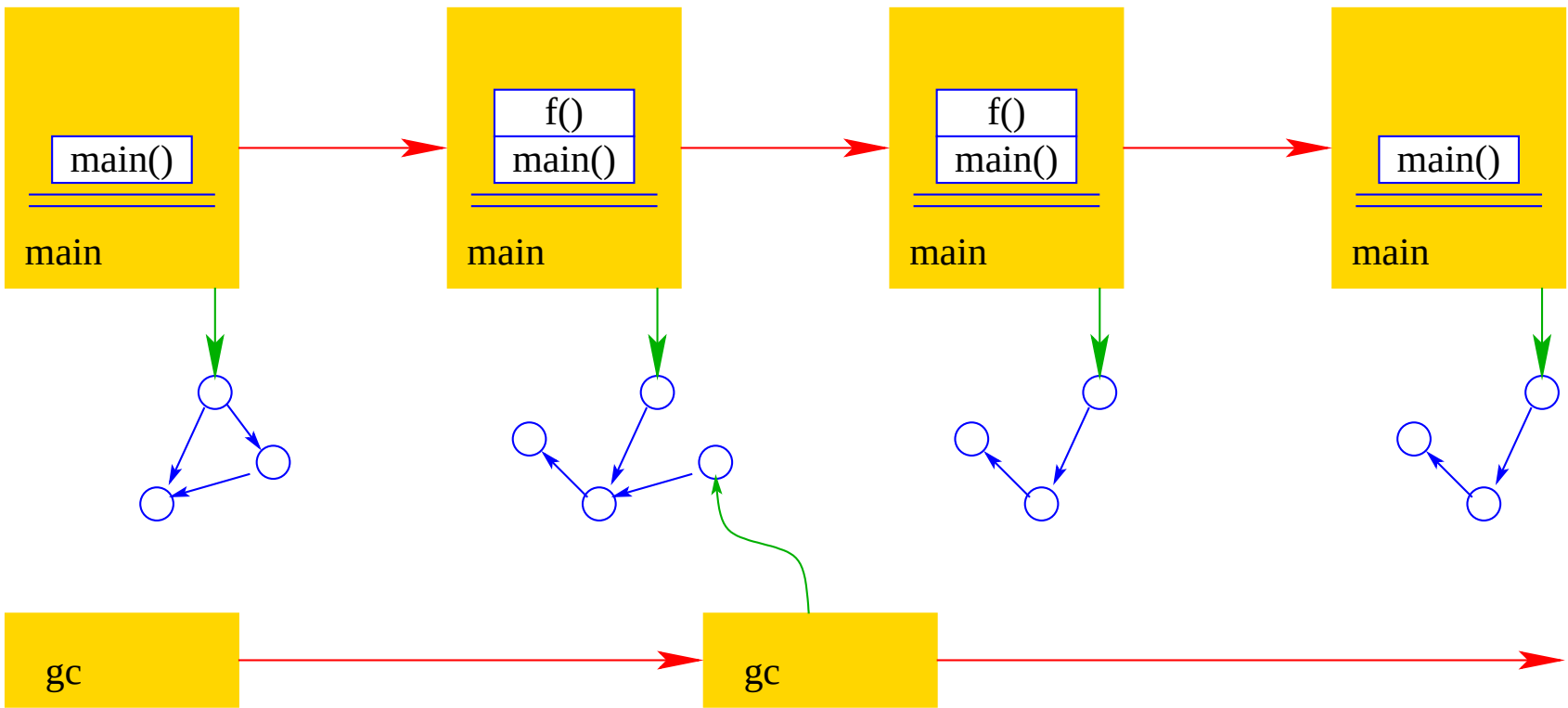
- Diese Variable enthält die Start-Verzeichnisse, in denen bei einem Aufruf nach Klassen oder Paketen gesucht wird.
- Bei einem Aufruf `> java A` durchsucht das Laufzeit-System sämtliche in `CLASSPATH` angegebenen Verzeichnisse nach einer Datei `A.class` und führt diese aus (– sofern sie vorhanden ist).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

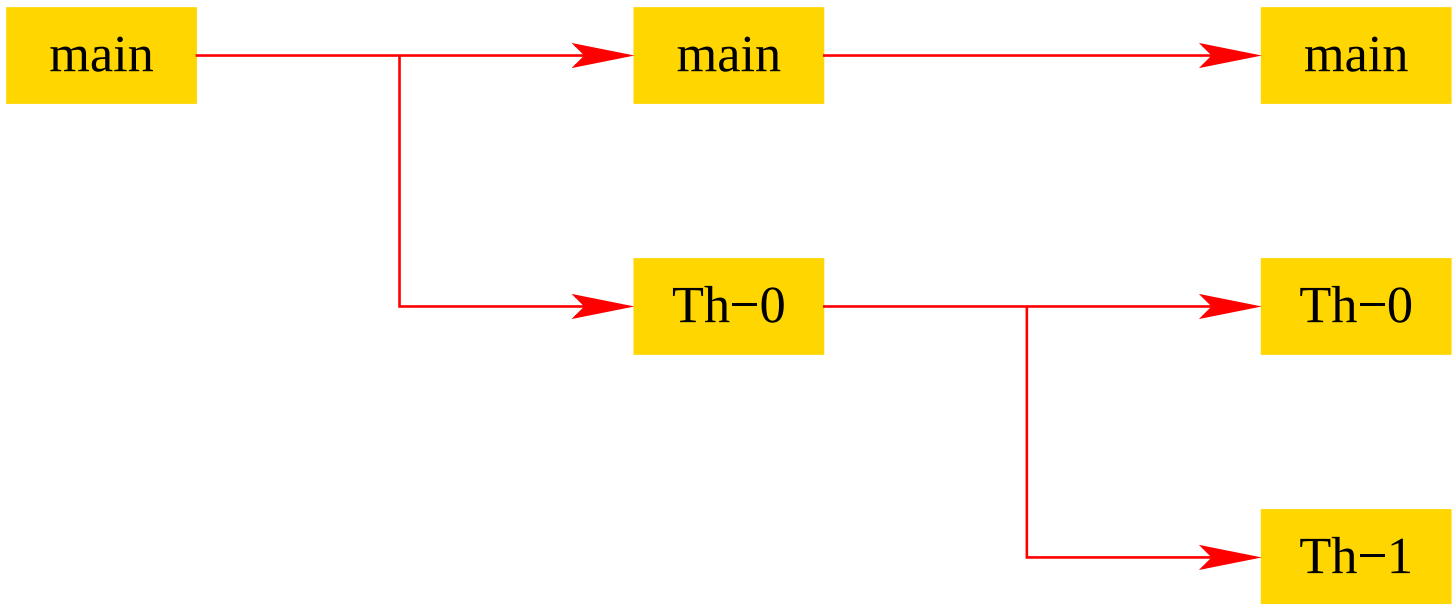
19 Threads

- 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.


main()
main
f()
main()
main
f()
main()
main
main()
main


main()
main
f()
main()
main
f()
main()
main
main()
main
gc
gc

- 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.


main
main
main
Th−0
Th−0
Th−1

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` muss die abstrakte 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 ...
```

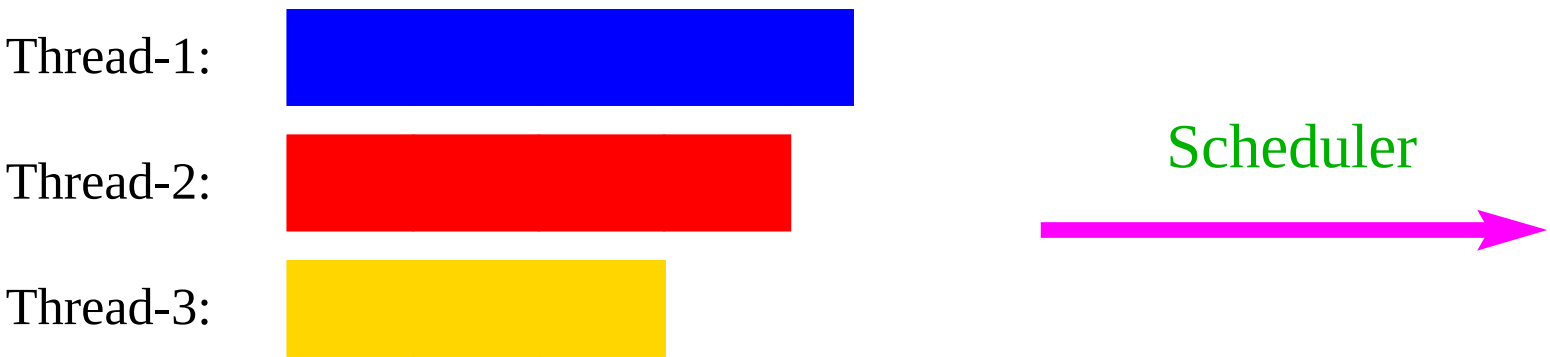
... oder:

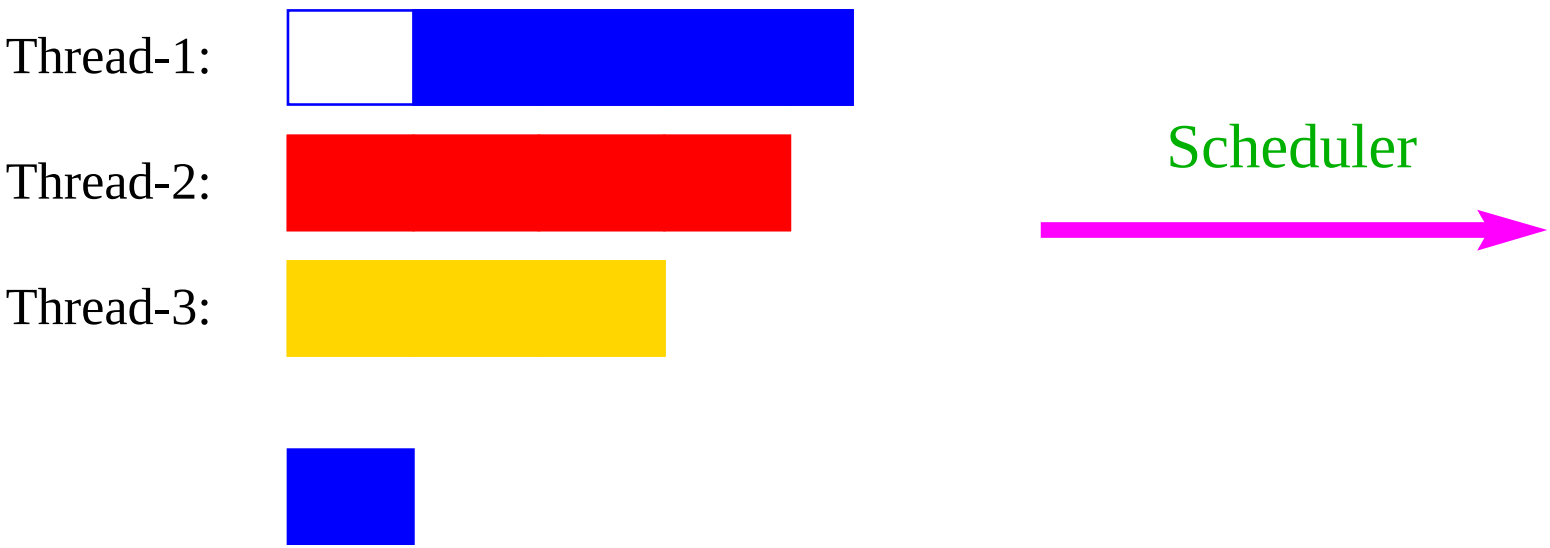
```
I'm running ...
Thread has been started ...
```

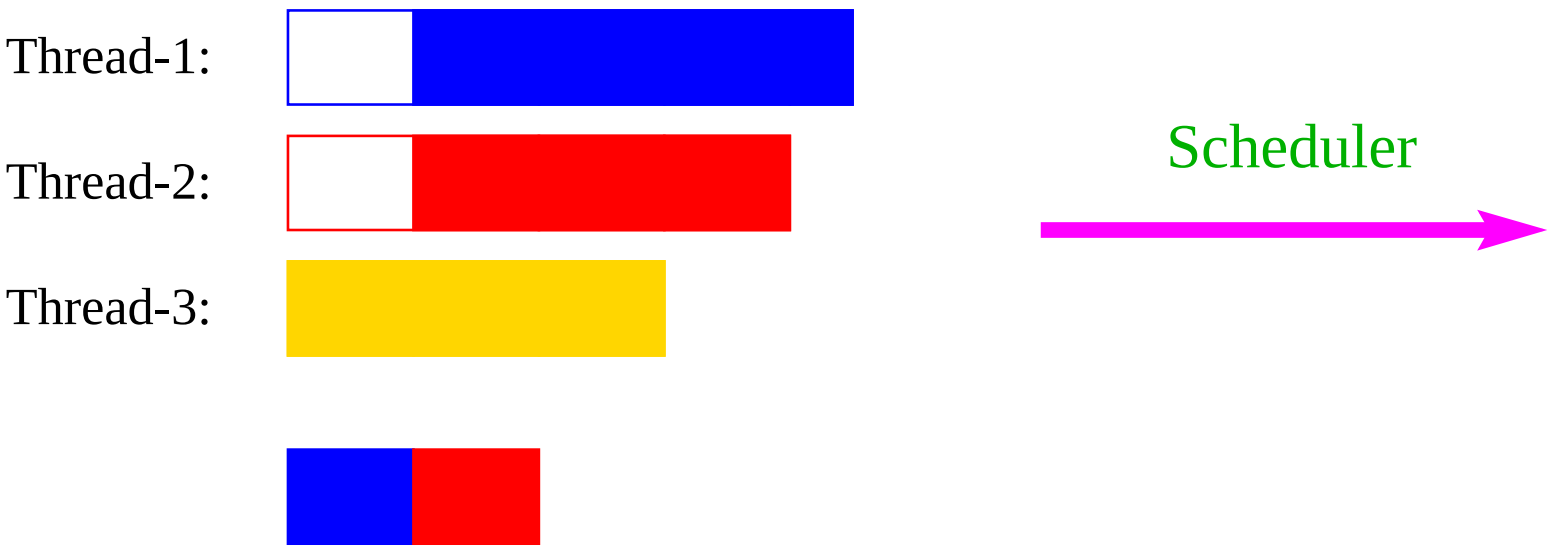
- Ein Thread kann nur eine Operation ausführen, wenn ihm ein Prozessor (CPU) zur Ausführung zugeteilt worden ist.
- Im Allgemeinen gibt es mehr Threads als CPUs.
- Der Scheduler verwaltet die verfügbaren CPUs und teilt sie den Threads zu.
- Bei verschiedenen Programm-Läufen kann diese Zuteilung verschieden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

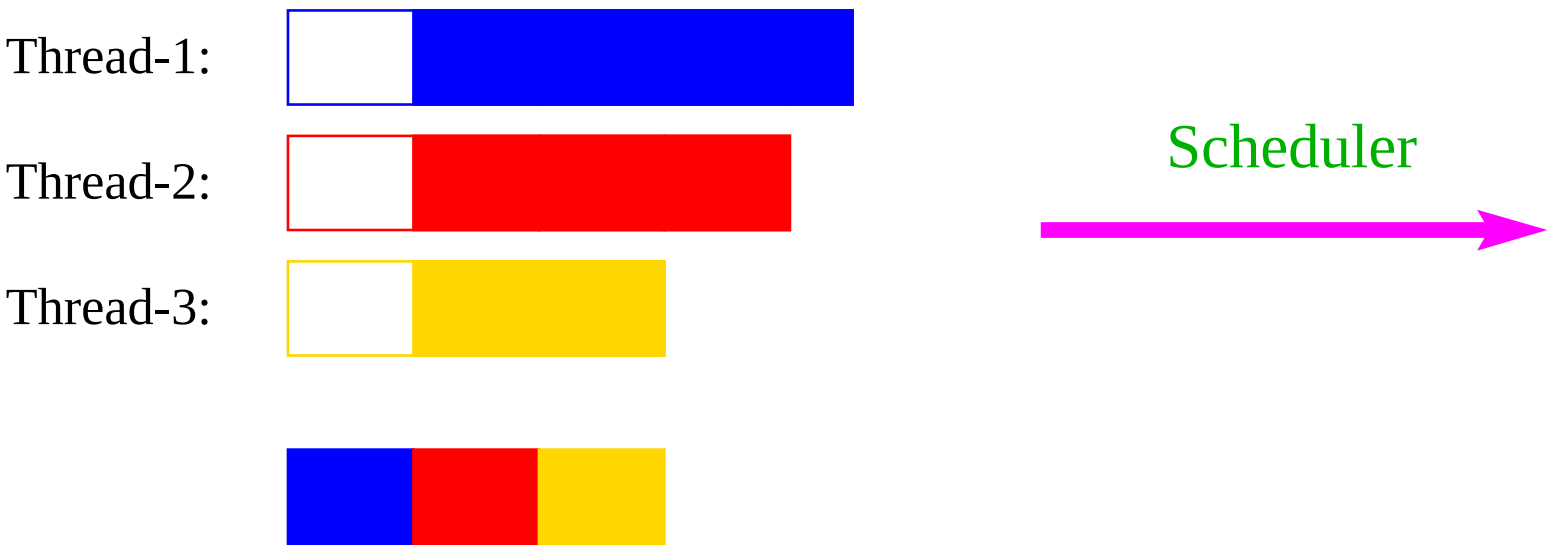
1. Zeitscheiben-Verfahren:

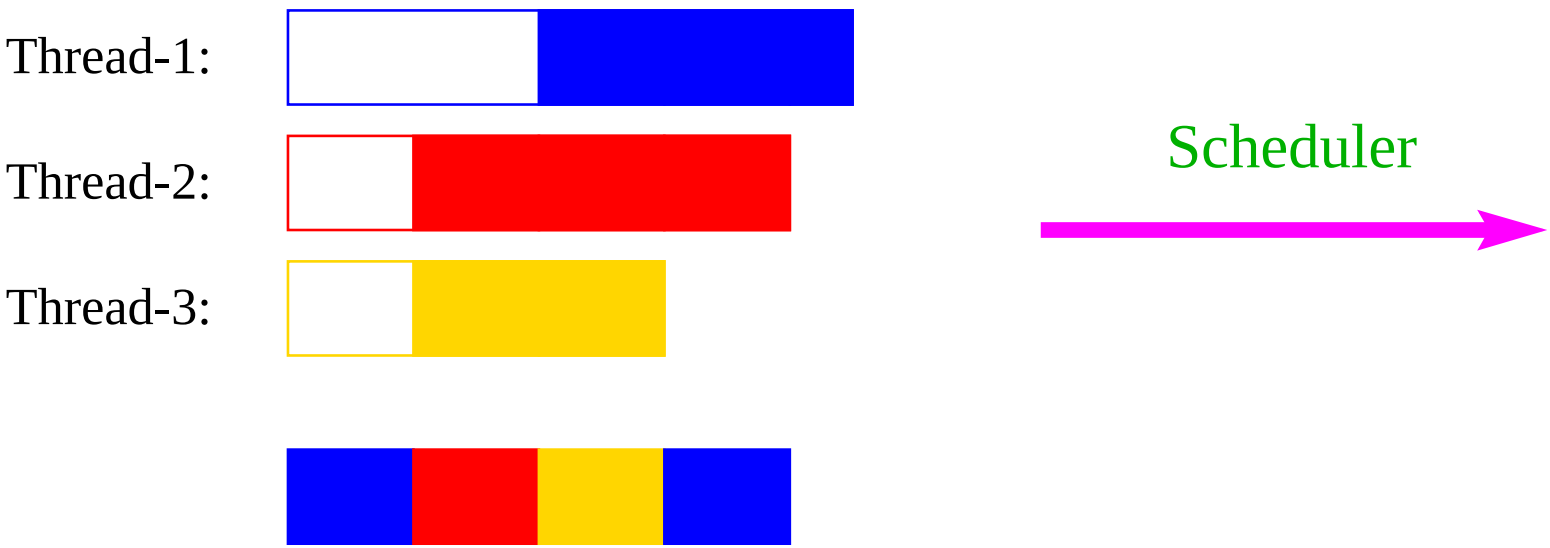
- Ein Thread erhält eine CPU nur für eine bestimmte Zeitspanne (Time Slice), in der er rechnen darf.
- Danach wird er unterbrochen. Dann darf ein anderer.

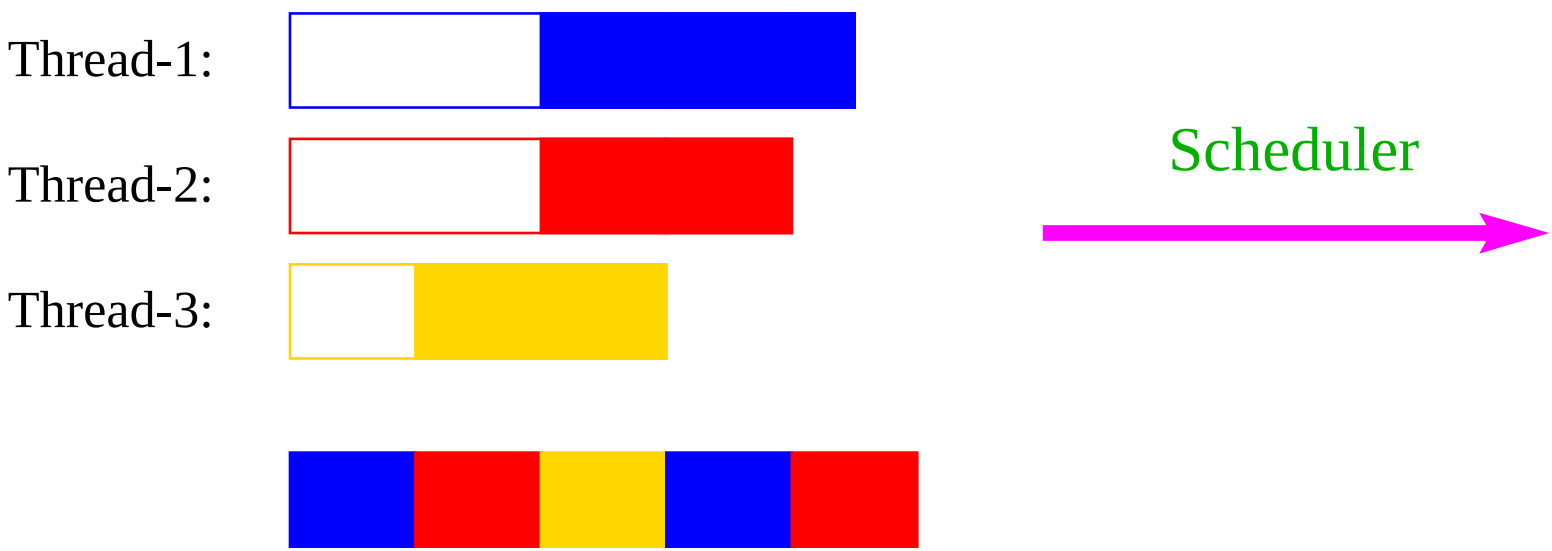

Thread-1:
Thread-2:
Thread-3:
Scheduler

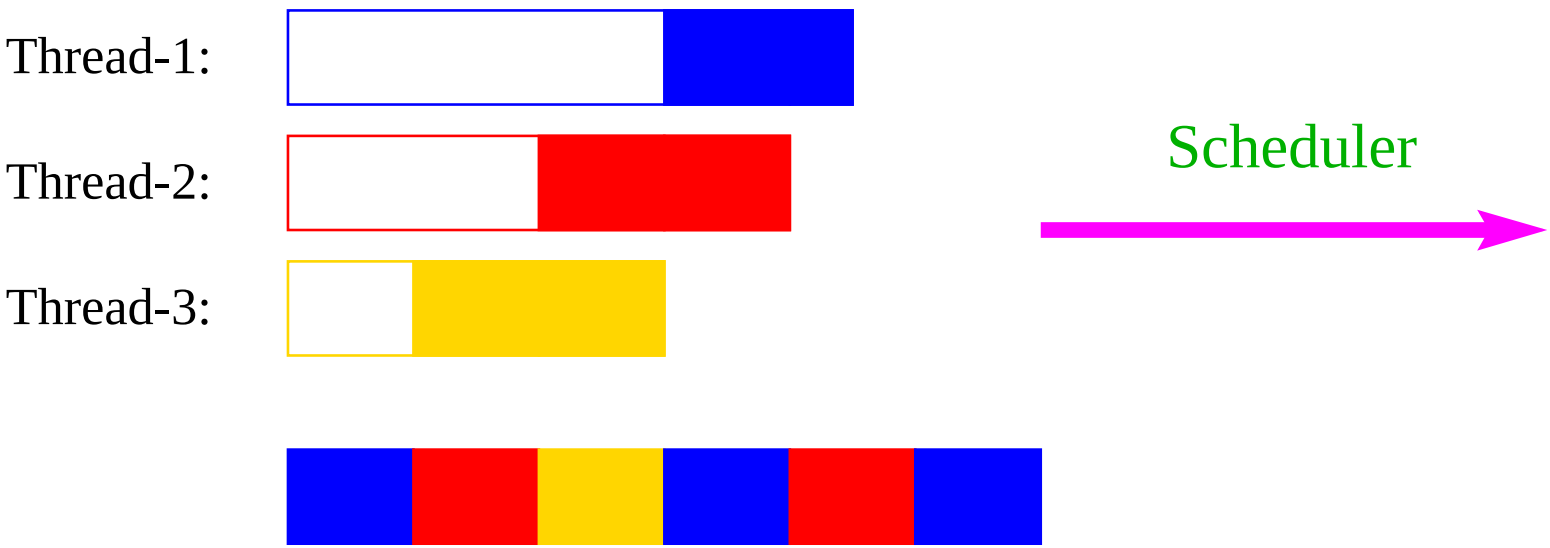

Thread-1:
Thread-2:
Thread-3:
Scheduler

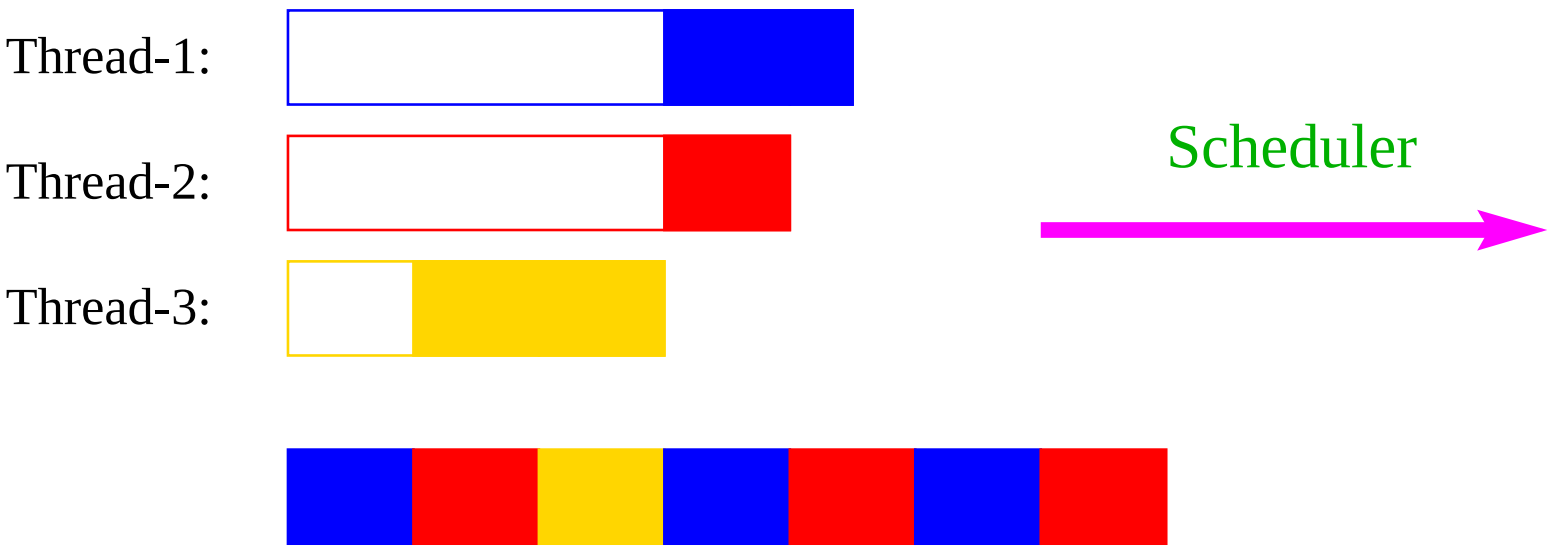

Thread-1:
Thread-2:
Thread-3:
Scheduler

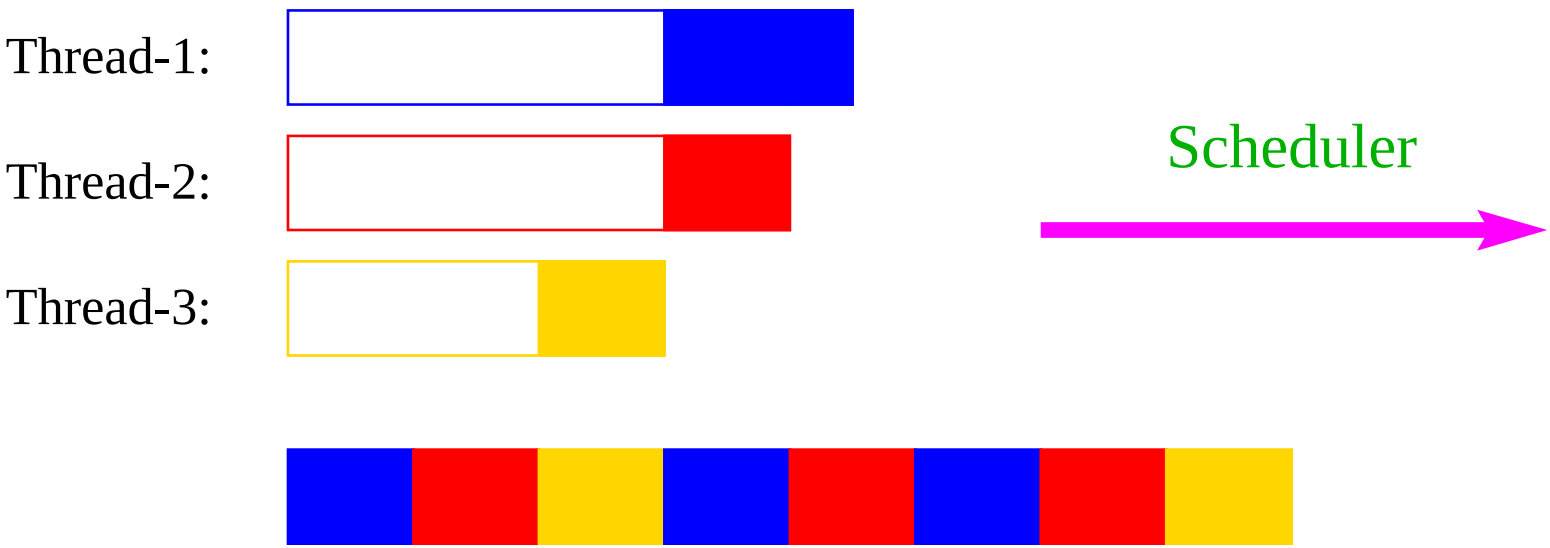

Thread-1:
Thread-2:
Thread-3:
Scheduler

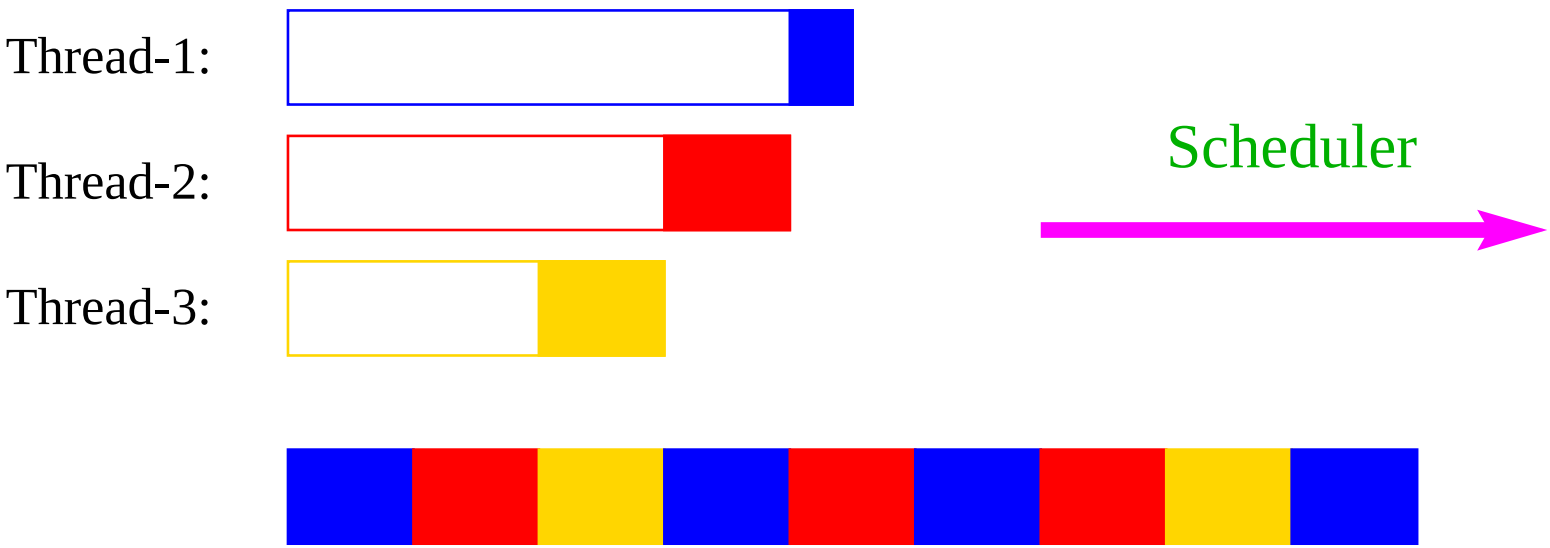

Thread-1:
Thread-2:
Thread-3:
Scheduler

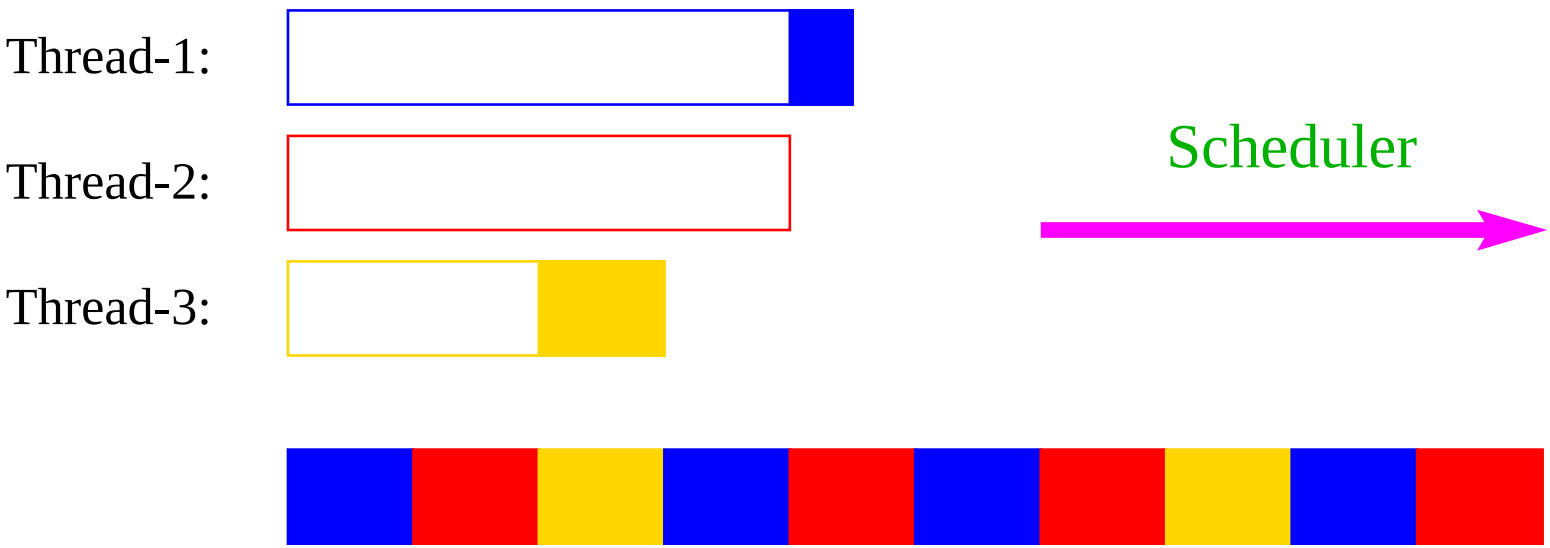

Thread-1:
Thread-2:
Thread-3:
Scheduler

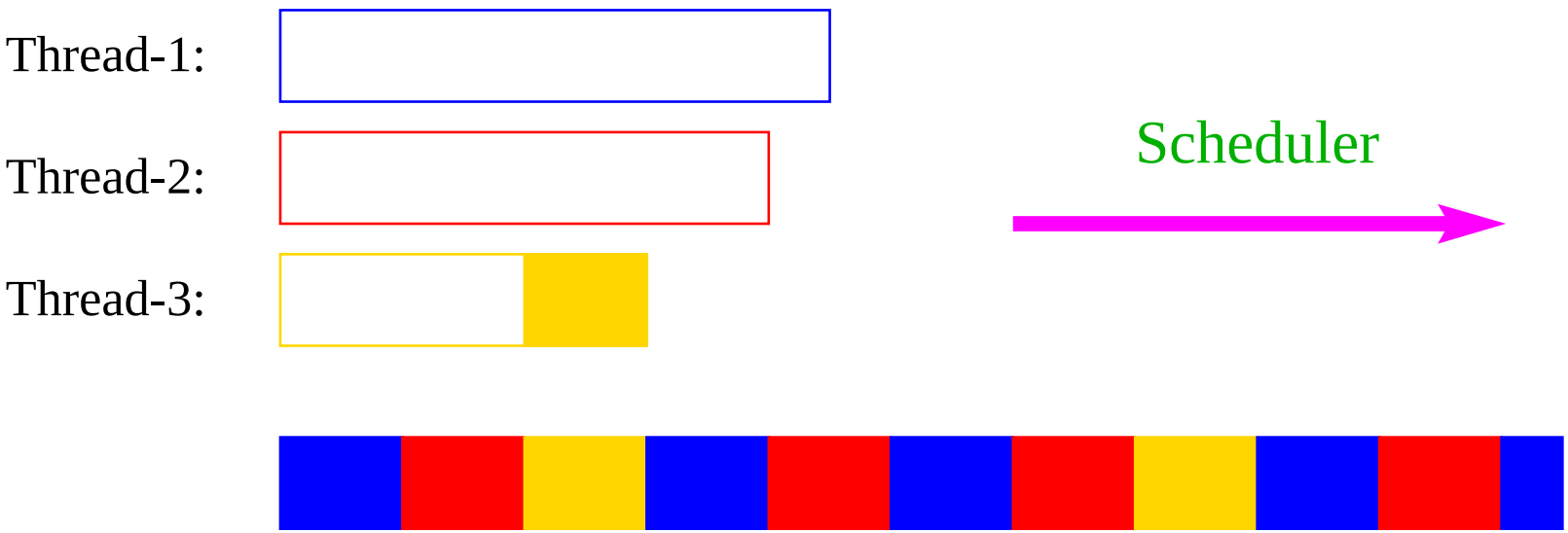

Thread-1:
Thread-2:
Thread-3:
Scheduler

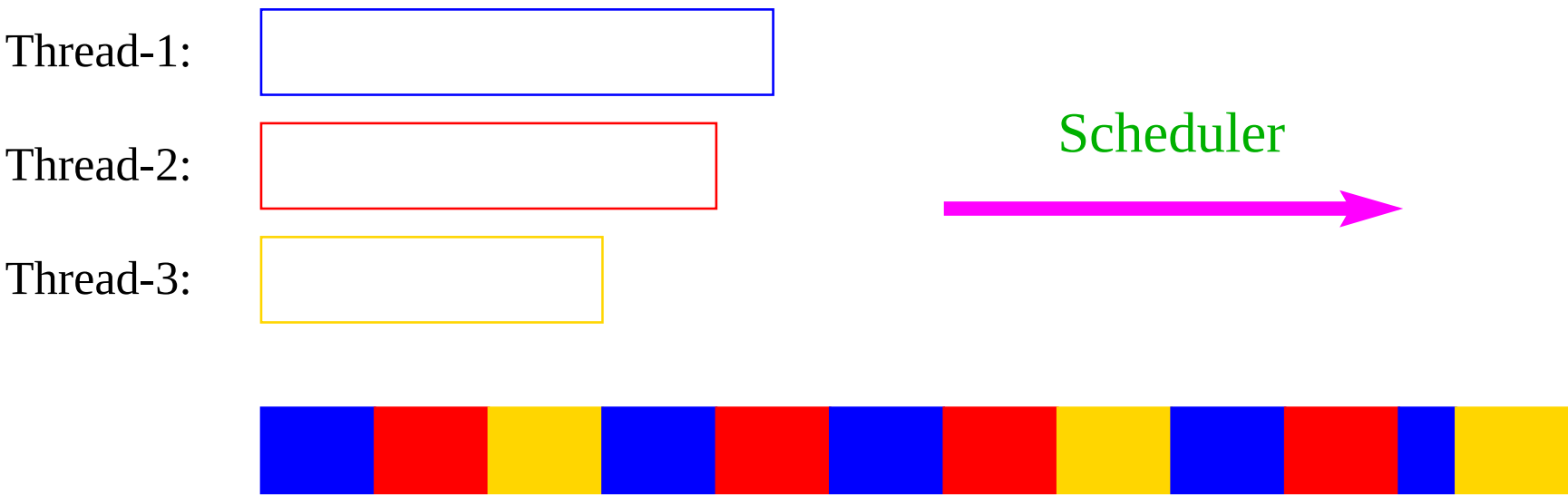

Thread-1:
Thread-2:
Thread-3:
Scheduler


Thread-1:
Thread-2:
Thread-3:
Scheduler


Thread-1:
Thread-2:
Thread-3:
Scheduler

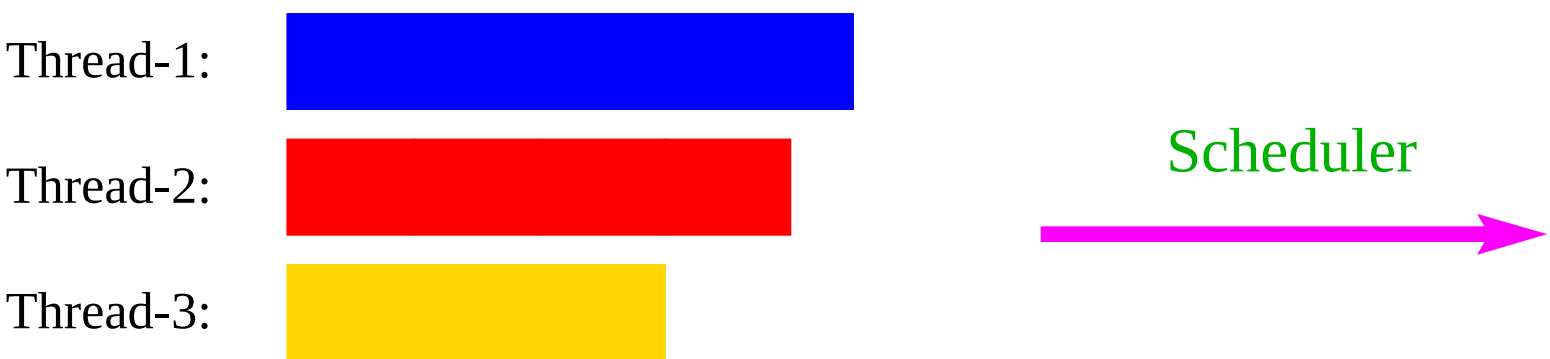

Thread-1:
Thread-2:
Thread-3:
Scheduler


Thread-1:
Thread-2:
Thread-3:
Scheduler


Thread-1:
Thread-2:
Thread-3:
Scheduler

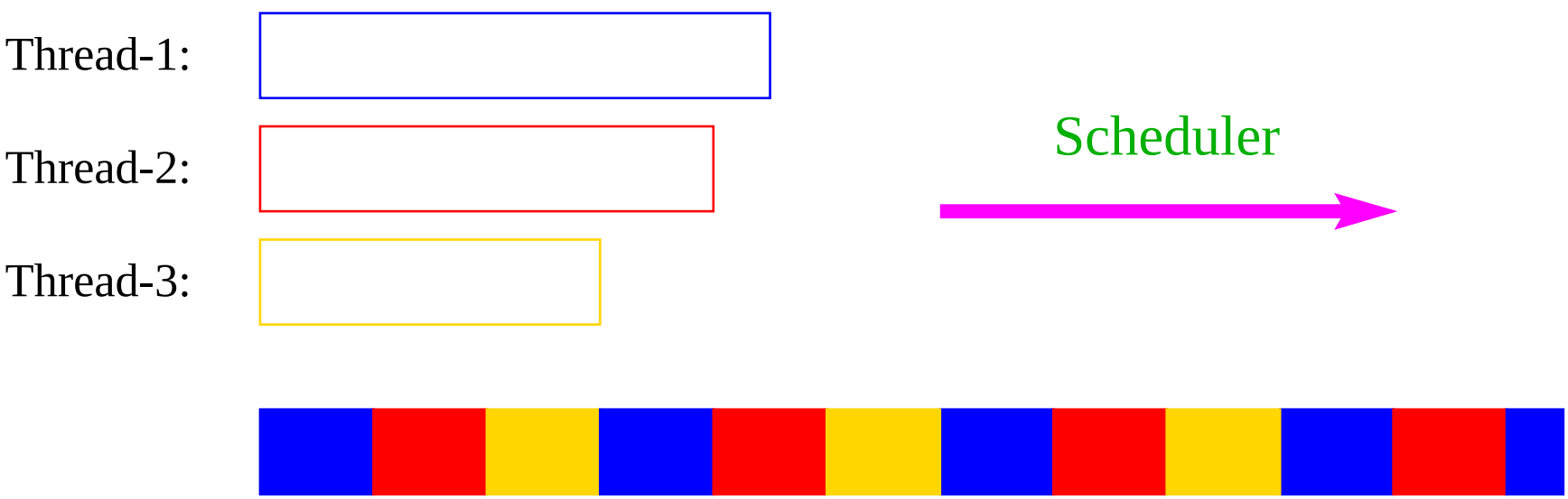
Achtung:

Eine andere Programm-Ausführung mag dagegen liefern:



Achtung:

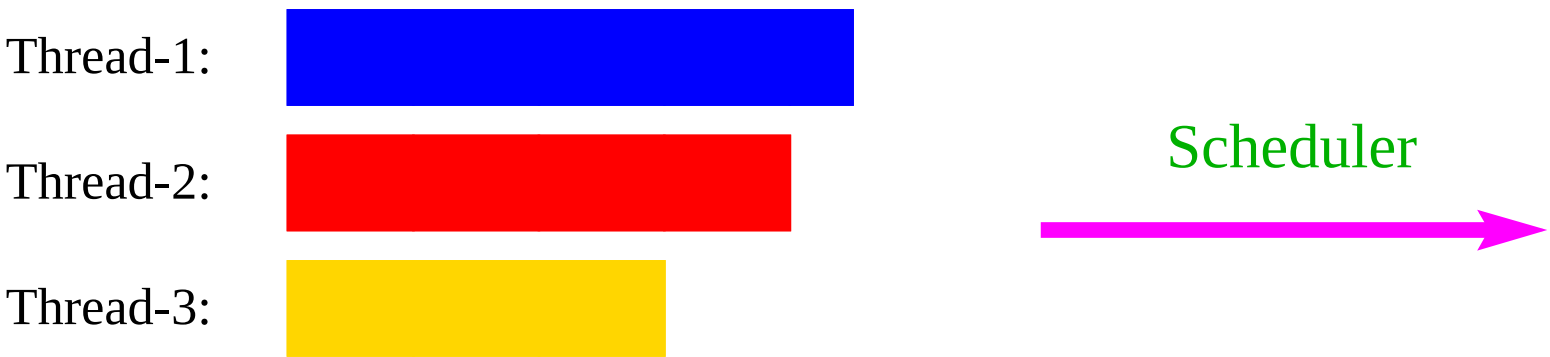
Eine andere Programm-Ausführung mag dagegen liefern:

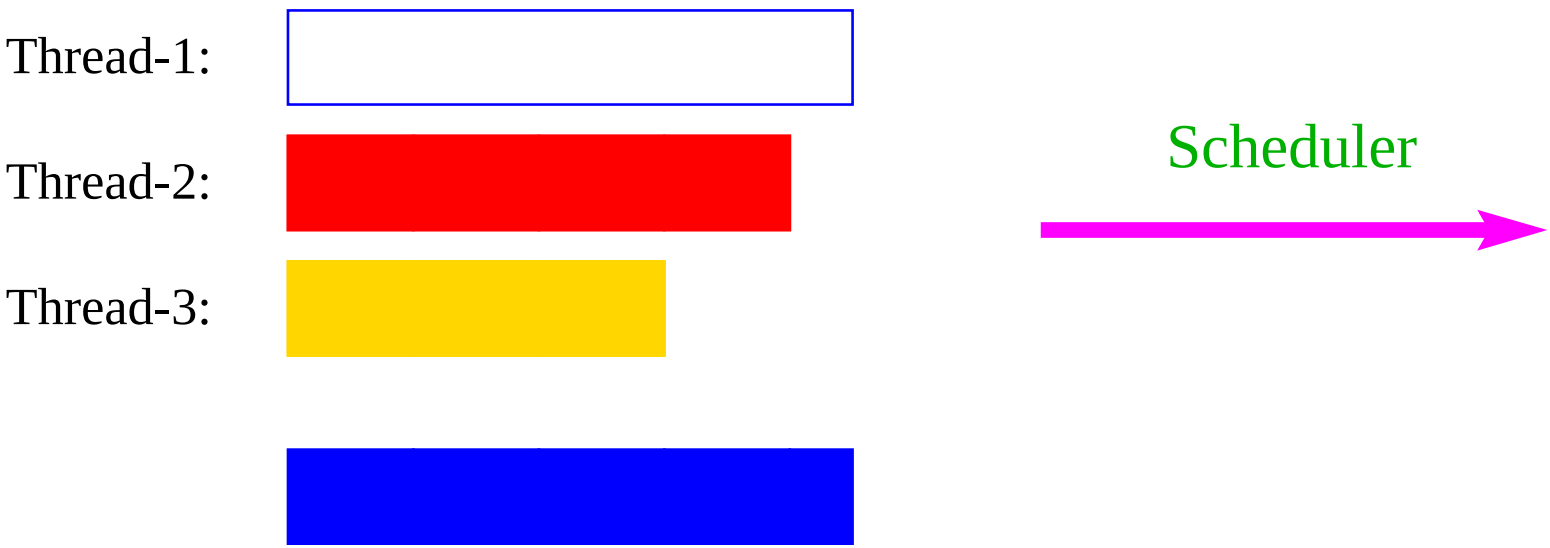


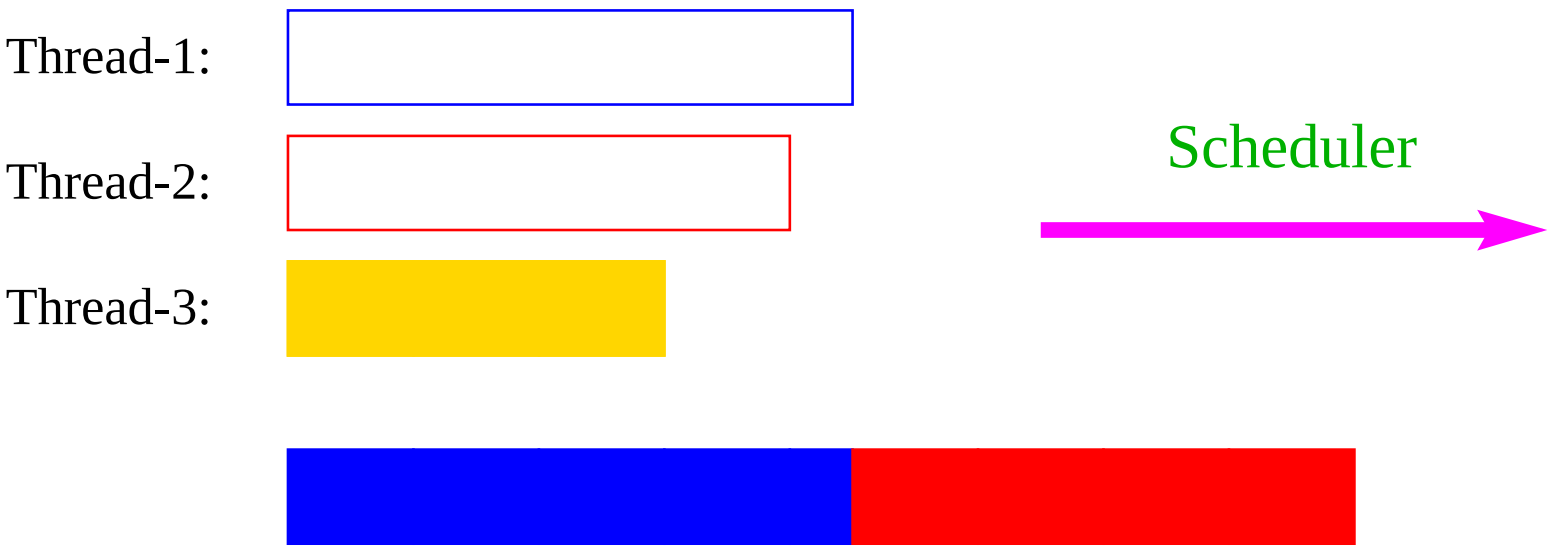
- Ein Zeitscheiben-Scheduler versucht, jeden Thread fair zu behandeln, d.h. ab und zu Rechenzeit zuzuordnen – egal, welche Threads sonst noch Rechenzeit beanspruchen.
- Kein Thread hat jedoch Anspruch auf einen bestimmten Time-Slice.
- Für den Programmierer sieht es so aus, als ob sämtliche Threads "echt"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

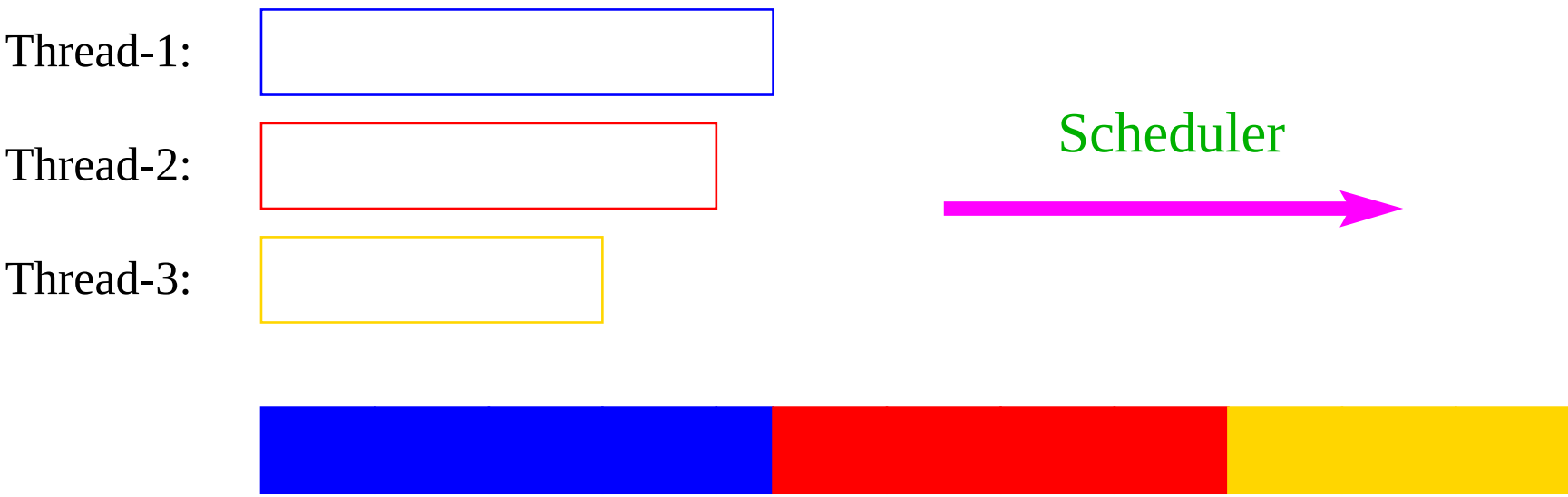
2. Naives Verfahren:

- 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 ...
```

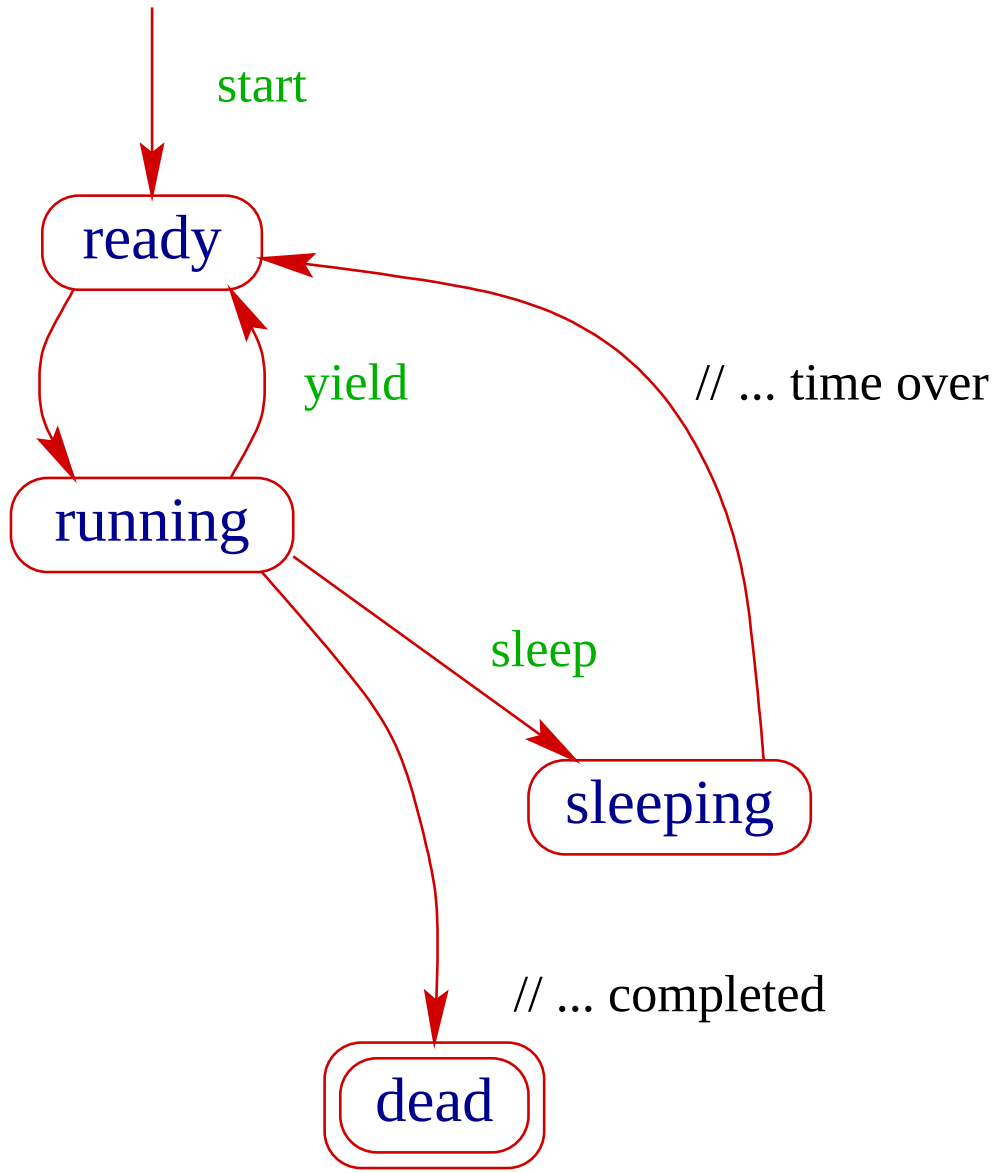
- Weil `main` nie fertig wird, erhalten die anderen Threads keine Chance, sie verhungern.
- Faires Scheduling mit einem Zeitscheiben-Verfahren würde z.B. liefern:

```
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 faires 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 beücksichtigt 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.