Vorlesung

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Programmieren I und II

Unit 12

Parallele Programmierung (Multithread)

(unter Nutzung von Vorlesungsunterlagen von Prof. Dr. Uwe Krohn)

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Prof. Dr. rer. nat.
Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme

- **Raum: 17-0.10**
- **Tel.:** 0451 300 5549
- **Email: kratzke@fh-luebeck.de**

@NaneKratzke
Updates der Handouts auch über Twitter #prog_inf und #prog_itd

Units

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Unit 1 Einleitung und Grundbegriffe	**Unit 2** Grundelemente imperativer Programme	**Unit 3** Selbstdefinierbare Datentypen und Collections	**Unit 4** Einfache I/O Programmierung
Unit 5 Rekursive Programmierung und rekursive Datenstrukturen	**Unit 6** Einführung in die objektorientierte Programmierung und UML	**Unit 7** Konzepte objektorientierter Programmiersprachen	**Unit 8** Testen (objektorientierter) Programme
Unit 9 Generische Datentypen	**Unit 10** Objektorientierter Entwurf und objektorientierte Designprinzipien	**Unit 11** Graphical User Interfaces	**Unit 12** Parallele Programmierung

Abgedeckte Ziele dieser UNIT

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Kennen existierender Programmierparadigmen und Laufzeitmodelle	Sicheres Anwenden grundlegender programmiersprachlicher Konzepte (Datentypen, Variable, Operatoren, Ausdrücke, Kontrollstrukturen)	Fähigkeit zur problemorientierten Definition und Nutzung von Routinen und Referenztypen (insbesondere Liste, Stack, Mapping)	Verstehen des Unterschieds zwischen Werte- und Referenzsemantik
Kennen und Anwenden des Prinzips der rekursiven Programmierung und rekursiver Datenstrukturen	Kennen des Algorithmus-begriffs, Implementieren einfacher Algorithmen	Kennen objektorientierter Konzepte Datenkapselung, Polymorphie und Vererbung	Sicheres Anwenden programmiersprachlicher Konzepte der Objektorientierung (Klassen und Objekte, Schnittstellen und Generics, Streams, GUI und MVC)
Kennen von UML Klassendiagrammen, sicheres Übersetzen von UML Klassendiagrammen in Java (und von Java in UML)	Kennen der Grenzen des Testens von Software und erste Erfahrungen im Testen (objektorientierter) Software	Sammeln erster Erfahrungen in der Anwendung objektorientierter Entwurfsprinzipien	Sammeln von Erfahrungen mit weiteren Programmiermodellen und -paradigmen, insbesondere Mulithread Programmierung sowie funktionale Programmierung

Am Beispiel der Sprache JAVA

Kleines Quiz

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Apple MacBook Air

1.3 GHz Dual Core Intel i5

Anzahl Kerne? 2

Anzahl simultane Threads? 4

Wieviel Prozent nutzen sie mit der Programmierung die sie bislang kennen gelernt haben? 25%

Apple MacPro

Intel Xeon E5 8-Core 3 GHz

Anzahl Kerne? 8

Anzahl simultane Threads 16

6.25%

Zum Nachlesen ...

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Kapitel 18

Parallele Programmierung mit Threads

18.2 Threads in Java

18.3 Wissenswertes über Threads

18.4 Thread-Synchronisation und Kommunikation

Noch mehr zum Nachlesen …

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Kapitel 19

Threads

19.2 Zustände und Zustandsübergange von Threads

19.3 Programmierung von Threads

19.4 Scheduling von Threads

19.5 Zugriff auf gemeinsame Ressourcen

Themen dieser Unit

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

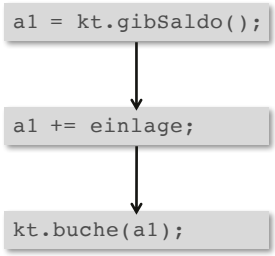
Nebenläufigkeit	Thread Safeness	Verklemmungen
• Prozesse und Threads • Threads in Java • Zustände von Threads • Effekte	• Leser/Schreiber Problem • Erzeuger/Verbraucher Problem • Thread-sichere Objekte	• Philosophen-problem • Entstehung von Verklemmungen • Vermeidung von Verklemmungen

Bisher: Sequentielle Verarbeitung (Single Thread)

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Bisher haben wir (bzw. das imperative Programmiermodell) immer stillschweigend angenommen, dass eine gegebene Folge von Anweisungen Schritt für Schritt abgearbeitet.

Eine derartige Folge von sequentiell ausgeführten Anweisungen nennt man auch **Kontrollfluss** oder **Ablaufpfad** (engl. **control flow** / **thread**).



`kt` sei ein Objekt der Klasse `Konto`.

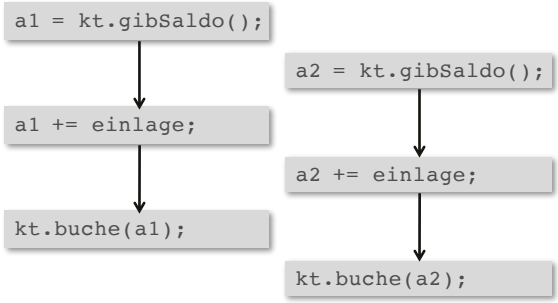
Nun: Nebenläufige Verarbeitung (Multi Thread)

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

In der realen Welt geschehen viele Abläufe gleichzeitig. Z.B. können mehrere Bankangestellte Buchungen auf Konten gleichzeitig vorgenommen werden.

Dies wird in der Informatik als **Nebenläufigkeit** (engl. **concurrency**) bezeichnet.

Nebenläufigkeit ist immer dann problematisch, wenn Ablaufpfade von einander abhängig sind.



Das Ergebnis der ersten Buchung wird durch das der zweiten überschrieben und geht dadurch verloren.

Erforderlich: Synchronisation

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Lösung des Problems mit Hilfe eines Sperr- oder Synchronisationsmechanismus (hier nur Pseudocode).

```
kt.pruefeUndSperre();
```

↓

```
a1 = kt.gibSaldo();
a1 += einlage;
kt.buche(a1);
```

↓

```
kt.entsperre();
```

Beim Start des Ablaufpfades wird das Objekt `kt` für weitere Ablaufpfade gesperrt.

Kritischer Abschnitt (wird nur durch maximal einen Thread zur Zeit ausgeführt)

Nach Abschluss der Operation (die durch mehr als eine Anweisung besteht) wird das Objekt `kt` wieder für weitere Ablaufpfade freigegeben.

*Eine solche unteilbare Anweisungsfolge wird auch als **Transaktion** bezeichnet.*

Wirkungsweise einer Synchronisation

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

[1] Vor Zugriff auf das Objekt, wird geprüft ob dieses gesperrt ist. Wenn nein, wird Objekt gesperrt und die Transaktion kann beginnen.

```
kt.pruefeUndSperre();
```

↓

```
a1 = kt.gibSaldo();
a1 += einlage;
kt.buche(a1);
```

↓

```
kt.entsperre();
```

[3] Nach der Transaktion wird das Objekt für weitere Threads freigegeben.

[2] Nun ist das Objekt gesperrt. Es wird auf die Freigabe gewartet.

```
kt.pruefeUndSperre();
```

↓

```
a2 = kt.gibSaldo();
a2 += einlage;
kt.buche(a2);
```

↓

```
kt.entsperre();
```

[4] (Der erste) wartende Thread wird benachrichtigt.

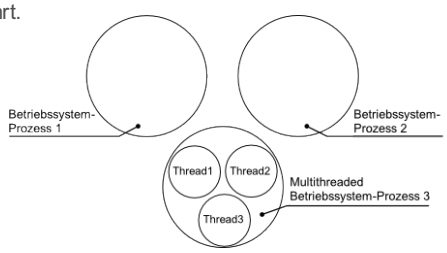
Threads

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Threads sind sogenannte leichtgewichtige Prozesse. Threads haben gemeinsam Zugriff auf den Speicherbereich eines Betriebssystem-Prozesses.

Ein Betriebssystem-Prozess kann mehrere Threads haben (mindestens einen).

Wenn ein Rechner mehrere Prozessoren hat, können Threads tatsächlich gleichzeitig ausgeführt werden, ansonsten werden sie in irgendeiner nicht vorhersagbaren Reihenfolge ausgeführt.



Bei Multithread Programmierung bietet es sich an, keine impliziten Annahmen über die Ausführungs-/Startreihenfolge von Threads zu machen!

!!! Achtung !!! Der Mensch ist nicht gut darin parallel zu denken!

Threads in Java

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Threads werden in Java durch Objekte der Klasse **`Thread`** repräsentiert.

Die Klasse `Thread` implementiert das Interface **`Runnable`**, das die Methode **`run()`** vereinbart.

```
public interface Runnable {

  public void run();

}
```

Die Methode `run()` enthält die im Thread auszuführenden Anweisungen.

Erzeugen und Starten von Threads in Java

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Variante 1:

Erweitern der Klasse `Thread`

```
// Erweitern durch anonyme Klasse
// (klassisch mittels extends geht auch)
Thread t = new Thread() {
  public void run() {
    System.out.println("New Thread");
  }
};

t.start();
```

Variante 2:

Implementieren von `Runnable`

```
// Neue Klasse die Runnable implementiert
// und den auszuführenden Code kapselt
class ParallelCode implements Runnable {
  public void run() {
    System.out.println("Runnable code");
  }
}

Thread t = new Thread(new ParallelCode());
t.start();
```

Ein Thread wird gestoppt, wenn die Methode **`run()`** *fertig abgearbeitet wurde.*

Erzeugen und Starten von Threads in Java

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Variante 3:

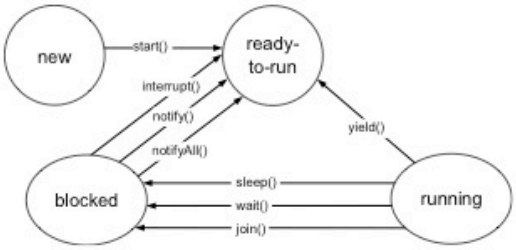
Lambdafunktion

```
// Lambdafunktion
Thread t = new Thread(e -> {  System.out.println("Lambda Thread") });
t.start();
```

Ein Thread wird gestoppt, wenn die Methode **`run()`** *fertig abgearbeitet wurde.*

Zustandsübergänge von Threads

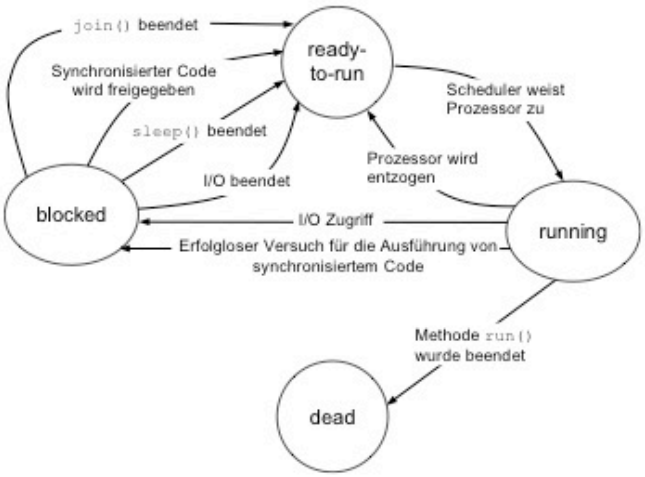
FACH HOCHSCHULE LÜBECK
y of Applied Sciences



`start()`	Startet einen Thread (Ausführung seiner run()-Methode)
`sleep(long m)`	Entzieht einem Thread für m Millisekunden den Prozessor (Thread legt sich „schlafen“).
`yield()`	Thread gibt freiwillig Prozessor ab. Fortsetzung nach Entscheidung Scheduler.
`join()`	Thread gibt Prozessor ab, um auf Beendigung eines anderen Threads zu warten. Wird dann nach Entscheidung Scheduler fortgesetzt.
`interrupt()`	Überführt einen blockierten Thread in einen ausführbaren Thread.

Durch den Scheduler erzeugte Zustandsübergänge

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences



Beispiel: Berechnung von Fibonacci Folgen beschleunigen

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Es soll nun die Fibonacci Folge von 1 bis n (z.B. 45) berechnet werden, und zwar mit folgender rekursiven Methode.

```
long fib(int n) {
   if (n == 0) { return 0; }
   if (n == 1) { return 1; }
   return fib(n-1) + fib(n-2);
}
```

Die rekursive Berechnung der Fibonacci Folge ist recht zeitaufwändig. So können zwar die Fibonacci Zahlen bis ca. 15 in kaum messbarer Zeit (Java VM Zeitauflösung) berechnet werden. Größere Zahlen dauern aber schon deutlich länger:

- fib(20) = 6765 (benötigt ca. 2 ms)
- fib(30) = 832040 (benötigt ca. 12 ms)
- fib(40) = 102334155 (benötigt aber bereits 2316 ms) und
- fib(45) = 1134903170 (benötigt sogar schon 11626 ms)

Beispiel: Berechnung von Fibonacci Folgen beschleunigen

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Der Ansatz

```
for (int i = 0; i <= 45; i++) {
  System.out.println("fib(" + i + ") = " + fib(i));
}
```

wird also zu erheblichen Laufzeiten führen.

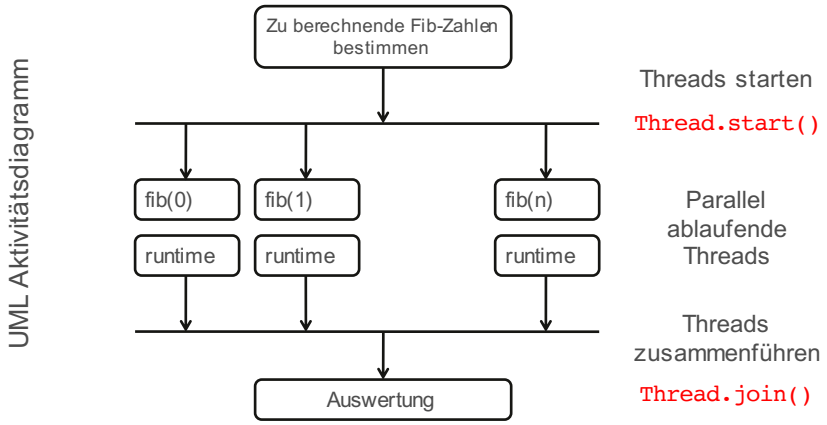
$$runtime_{seq} = \sum_{i=1}^{n} runtime(fib(i))$$

Mittels Threads kann man die $n=45$ Berechnungen aber in einer Zeitspanne durchführen, die **in etwa** so lang ist, wie die Berechnung der größten zu bestimmenden Fibonacci Zahl.

$$runtime_{parallel} \approx \max_{i=1}^{n}(runtime(fib(i))$$

Parallelisierung mittels Threads

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences



FibonacciThread

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

```
class FibonacciThread extends Thread {
  private byte n;
  private long fibn;
  private long procTime;

  public FibonacciThread(byte n) { this.n = n; }

  private long fib(int n) {
    if (n == 0) { return 0; }
    if (n == 1) { return 1; }
    return fib(n-1) + fib(n-2);
  }

  public void run() {
    long start = System.currentTimeMillis();
    this.fibn = fib(this.n);
    long end = System.currentTimeMillis();
    this.procTime = end - start;
  }

  public byte getN() {
    return this.n;
  }

  public long getFibN() {
    return this.fibn;
  }

  public long getProcTime() {
    return this.procTime; }
  }
}
```

FibonacciThreads starten

FACH HOCHSCHULE LÜBECK

```
// Zu berechnende Fibonaccizahlen bestimmen
List<FibonacciThread> threads = new ArrayList<FibonacciThread>();
for (byte i = 0; i <= 45; i++) { threads.add(new FibonacciThread(i)); }

long start = System.currentTimeMillis();
for (FibonacciThread t : threads) { t.start(); }    // Threads starten
for (FibonacciThread t : threads) { t.join(); }     // Threads zusammenführen
long runtime = System.currentTimeMillis() - start;

// Auswertung
long total = 0; long max = 0;
for (FibonacciThread t : threads) {
  byte n = t.getN(); long fibn = t.getFibN(); long proc = t.getProcTime();
  System.out.println("fib(" + n + ") = " + fibn + " (berechnet in " + proc + " ms)");
  max = proc > max ? proc : max;
  total += proc;
}

System.out.println("Gemessene Laufzeit: " + runtime + " ms");
System.out.println("Längste Laufzeit: " + max + " ms");
System.out.println("Addierte Laufzeit: " + total + " ms");
System.out.println("Speedup von: " + ((double)total / runtime));
```


Auswertung (Fibonacci bis 45)

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

```
fib(0) = 0 (berechnet in 0 ms)
fib(1) = 1 (berechnet in 0 ms)
fib(2) = 1 (berechnet in 0 ms)
fib(3) = 2 (berechnet in 0 ms)
...
fib(20) = 6765 (berechnet in 5 ms)
...
fib(30) = 832040 (berechnet in 9 ms)
...
fib(43) = 433494437 (berechnet in 5303 ms)
fib(44) = 701408733 (berechnet in 7311 ms)
fib(45) = 1134903170 (berechnet in 9883 ms)

Gemessene Laufzeit: 10067 ms
Längste Laufzeit: 9883 ms
Addierte Laufzeit: 35206 ms
Speedup von: 3.4971689679149
```

Die sequentielle Laufzeit hätte ca. 35 sec gedauert (addierte Laufzeit).

Tatsächlich wurde etwa 10 sec gerechnet (gemessene Laufzeit).

Die längste Berechnung für eine Fibonacci Zahl betrug ca. 9.8 sec (längste Laufzeit).

Parallelisierung hat das Programm somit etwa 3.5 mal schneller gemacht als die rein sequentielle Berechnung (Speedup).

Ist Multithreading immer eine gute Idee?

Was passiert, wenn wir einfachere Probleme parallelisieren (z.B. nur die Fibonacci Folge bis 25 berechnen)?

Auswertung (Fibonacci bis 25)

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

```
fib(0) = 0 (berechnet in 0 ms)
fib(1) = 1 (berechnet in 0 ms)
fib(2) = 1 (berechnet in 0 ms)
fib(3) = 2 (berechnet in 0 ms)
...
fib(25) = 6765 (berechnet in 1 ms)

Gemessene Laufzeit: 18 ms
Längste Laufzeit: 4 ms
Addierte Laufzeit: 16 ms
Speedup von: 0.888888
```

Wir erhalten einen Speedup von < 1.

Wann wird ein Prozess beendet?

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Ein Java Programm wird beendet, sobald der letzte noch laufende Thread beendet wurde.

In Java kann man aber spezielle Threads (Dämon-Threads) deklarieren, die die Fähigkeit haben „ewig“ zu laufen und, dennoch die Terminierung eines Programms nicht verhindern.

In diesen **Dämon-Threads** laufen normalerweise Hintergrundaufgaben ab, die Service Leistung für Vordergrund Threads anbieten.

Der Java Garbage Collector oder die Java Swing GUI laufen bspw. in solcher Art Thread.

Es muss also eigentlich genauer heißen:

Ein Java Programm wird also beendet, sobald der letzte noch laufende Nichtdämon-Thread beendet wurde.

```
Thread t = new Thread() {
  public void run() {
    while (true) {
      System.out.println(
        „Ich bin ein Dämon!“ +
        „Ich laufe bis zum Ende.“
      );
    }
  }
};
t.setDaemon(true);
t.start();
```

Themen dieser Unit

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Nebenläufigkeit	Thread Safeness	Verklemmungen
• Prozesse und Threads • Threads in Java • Zustände von Threads • Effekte	• Leser/Schreiber Problem • Erzeuger/Verbraucher Problem • Thread-sichere Objekte	• Philosophen-problem • Entstehung von Verklemmungen • Vermeidung von Verklemmungen

Das Leser/Schreiber Problem

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Wenn in einem Programm mehrere Threads eingesetzt werden, muss stets bedacht werden, dass diese **gleichzeitig** Zugriff auf denselben Speicherbereich haben.

Beim Zugriff auf Variablen, Datenfelder sind wir bislang jedoch immer implizit davon ausgegangen, dass nur ein Thread gleichzeitig auf den Hauptspeicher zugreift. Diese Annahme muss fallengelassen werden, wenn multithreaded programmiert wird.

Ein typisches Problem dabei ist, dass sogenannte Leser/Schreiber Problem.

Zwei (oder mehrere) Threads greifen gleichzeitig lesend und schreibend auf denselben Speicherbereich zu.

Dabei auftretende Probleme wollen wir nun beleuchten. Wir schaffen uns hierzu eine Klasse `Ascii`, die für einen gegeben Character seine Ascii Nummer zurückgibt.

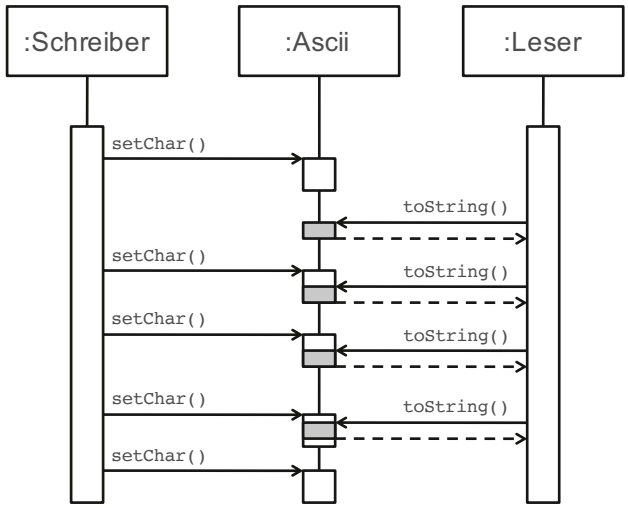
```
class Ascii {
  protected char x = 'A';
  protected int value = (int) x;

  public void setChar(char x) {
    this.x = x;
    this.value = (int) x;
  }

  public String toString() {
    return "(" + x + " == " + value + ")";
  }
}
```

Das Leser/Schreiber Problem

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences



Schreiber und Leser

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

```
class Schreiber extends Thread {
  Ascii asc;

  public Schreiber(Ascii f) {
    this.asc = f;
  }

  public void run() {
    while (true) {
      int z = (int)(Math.random() * 6);
      asc.setChar((char)('A' + z));
    }
  }
}
```

```
class Leser extends Thread {
  Ascii asc;

  public Leser(Ascii f) {
    this.asc = f;
  }

  public void run() {
    for (int i = 1; i <= 25; i++) {
      System.out.print(asc + " ");
      try { Thread.sleep(10); }
      catch (InterruptedException e) { }
      if (i % 5 == 0 {
        System.out.println();
      }
    }
  }
}
```

Resultat

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

```
Ascii     a = new Ascii();
Schreiber s = new Schreiber(a);  s.setDaemon(true);
Leser     l = new Leser(a);

s.start();
l.start();
```

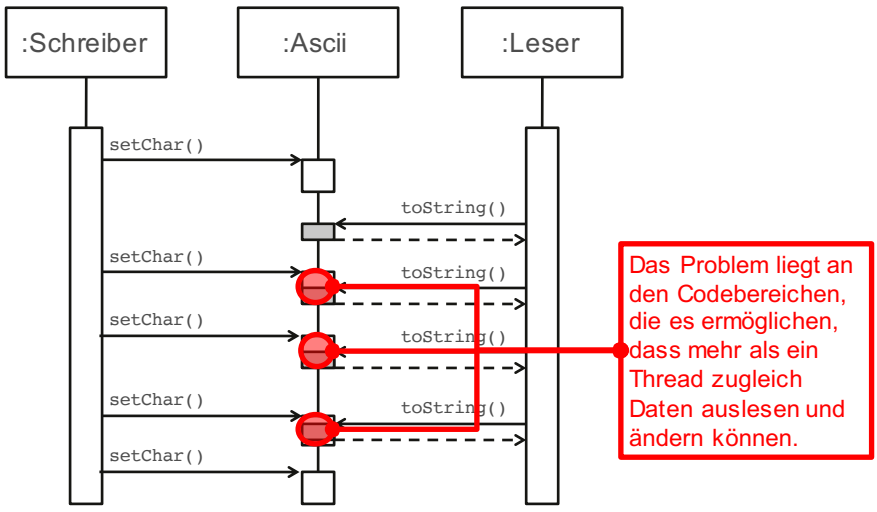
Ergebnisse eines exemplarischen Testlaufs

```
(A == 65) (C == 65) (F == 69) (E == 69) (F == 69)
(A == 68) (C == 67) (F == 70) (C == 70) (F == 67)
(D == 70) (F == 67) (D == 67) (B == 66) (D == 68)
(D == 67) (E == 69) (E == 66) (C == 67) (A == 66)
(B == 70) (E == 67) (E == 70) (C == 69) (E == 69)
```

Rot markierte Ausgaben sind falsch (mehr als 50%) !!!

Race Conditions (I)

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences



Race Conditions (II)

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

In die Methoden `setChar()` und `toString()` können Threads zeitgleich vollkommen unsynchroniziert eintreten.

An der Methode `setChar()` sieht man aber bspw. das zwei Anweisungen ausgeführt werden (Anweisungen in Java selber müssen ferner nicht atomar sein).

So könnte es bspw. vorkommen, dass nachdem die Anweisung `this.x = x;` in `setChar()` ausgeführt wurde, der Leser-Thread die `toString()` Methode ausführt. Dann bekommt er nur die Hälfte des Outputs der `setChar()` Methode mit.

So ergeben sich die gezeigten Inkonsistenzen (obwohl der Code grundsätzlich korrekt ist).

```
class Ascii {
  protected char x = 'A';
  protected int value = (int) x;

  public void setChar(char x) {
    this.x = x;
    this.value = (int) x;
  }

  public String toString() {
    return "(" + x + " == " + value + ")";
  }
}
```

Solcher Art Code, ist daher nicht **threadsicher** (engl. **thread-safe**) programmiert.

Code, der berücksichtigt, dass mehr als ein Thread ihn ausführt und sicherstellt, das Inkonsistenzen aufgrund von Race Conditions nicht auftreten, nennt man hingegen thread-safe programmiert.

Race Conditions (III)

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Um diesen Effekt zu vermeiden, können Methoden in Java mit dem Schlüsselwort `synchronized` gekennzeichnet werden.

Für eine synchronizierte Methode stellt die Java VM sicher, dass zu einem Zeitpunkt nur ein Thread Code des zugehörigen Objekts ausführt.

```
class Ascii {
  protected char x = 'A';
  protected int value = (int) x;

  public synchronized void setChar(char x) {
    this.x = x;
    this.value = (int) x;
  }

  public synchronized String toString() {
    return "(" + x + " == " + value + ")";
  }
}
```

Objektübergreifende Synchronisierung (I)

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Das synchronized Schlüsselwort kann auch anders eingesetzt werden, indem es auf Objekten eingesetzt wird. Damit lassen sich dann objektübergreifende Synchronisierungen realisieren, sogar von Objekten, die aus nicht thread-safe programmierten Klassen instantiiert wurden.

```
class TSSchreiber extends Thread {
  NTSAscii asc;

  public TSSchreiber(NTSAscii  f) {
    this.asc = f;
  }

  public void run() {
    while (true) {
      int z = (int)(Math.random()  * 6);
      synchronized (asc) {
        asc.setChar((char)('A'  + z));
      }
    }
  }
}
```

```
class TSLeser extends Thread {
  NTSAscii asc;

  public TSLeser(NTSAscii  f) { this.asc = f; }

  public void run() {
    for (int i = 1; i <= 25; i++) {
      synchronized (asc) {
        System.out.print(asc  + " ");
      }
      try { Thread.sleep(10); }
      catch (InterruptedException  e) { }
      if (i % 5 == 0) {
        System.out.println();
      }
    }
  }
}
```


Objektübergreifende Synchronisierung (II)

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Das synchronized Schlüsselwort auf Methoden ist eigentlich nur eine Kurznotation für:

```
class TSAscii {
  protected char x = 'A';
  protected int value = (int) x;

  public synchronized void setChar(char x) {
    this.x = x;
    this.value = (int) x;
  }


  public synchronized String toString() {
    return "(" + x + " == " + value + ")";
  }
}
```

```
class TSAscii {
  protected char x = 'A';
  protected int value = (int) x;

  public void setChar(char x) {
    synchronized (this) {
      this.x = x;
      this.value = (int) x;
    }
  }

  public String toString() {
    synchronized (this) {
      return "(" + x + " == " + value + ")";
    }
  }
}
```

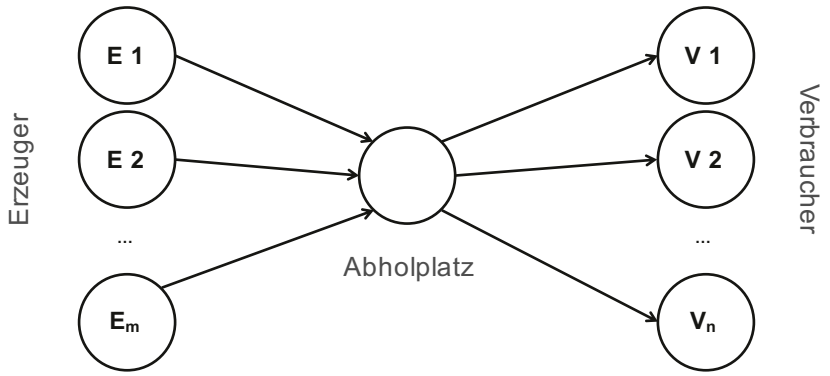
Das Erzeuger/Verbraucher Problem

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Wenden wir uns nun einem weiteren Problem der parallelen Programmierung zu.

Es soll nun mehrere Erzeuger und mehrerer Verbraucher geben. Erzeuger erzeugen Waren und legen diese auf einem Abholplatz ab. Der Abholplatz hat aus Gründen der Einfachheit nur eine Ablage (einelementige Warteschlange). Verbraucher holen diese Waren von diesem Abholplatz ab.

Wenn der Abholplatz belegt ist, sollen Erzeuger keine weiteren Waren mehr produzieren und ablegen. Wenn der Abholplatz leer ist, sollen Verbraucher warten, bis der



Erzeuger/Verbraucher Problem

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Hier die Singlethreaded Implementierung des Abholplatzes und der Ware.

```
class Abholplatz {
  protected Ware ware;

  public Ware get() {
    Ware ret = this.ware;
    this.ware = null;
    System.out.println("Ware " + ret + " abgeholt.");
    return ret;
  }

  public void put(Ware w) {
    this.ware = w;
    System.out.println("Ware " + w + " abgelegt.");
  }
}
```

```
class Ware {
  private String name;

  public Ware(String n) {
    this.name = n;
  }

  public String toString() {
    return this.name;
  }
}
```

Erzeuger Thread

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

```
class Erzeuger extends Thread {
  String name;
  Abholplatz platz;
  int anzahl;

  public Erzeuger(String name, Abholplatz p, int n)
{
    this.name = name;
    this.platz = p;
    this.anzahl = n;
  }

  public void run() {
    for (int i = 1; i <= this.anzahl; i++) {
      Ware w = new Ware(this.name + " Produkt " +
i);
      platz.put(w);
    }
  }
}
```

Ein `Erzeuger` Thread erzeugt n Waren und legt diese auf dem Abholplatz ab.

Es kann mehrere Erzeuger Threads geben.

Verbraucher Thread

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

```
class Verbraucher extends Thread {
  String name;
  Abholplatz platz;
  int anzahl;

  public Verbraucher(String name, Abholplatz p, int n) {
    this.name = name;
    this.platz = p;
    this.anzahl = n;
  }

  public void run() {
    for (int i = 1; i <= this.anzahl; i++) {
      Ware w = platz.get();
    }
  }
}
```

Ein `Verbraucher` Thread konsumiert n Waren und holt diese vom Abholplatz ab.

Es kann mehrere Verbraucher Threads geben.

Zusammenspiel von Erzeuger und Verbraucher

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

```
Abholplatz  p = new Abholplatz();

Erzeuger    e1 = new Erzeuger("Erzeuger 1", p, 5); e1.start();
Erzeuger    e2 = new Erzeuger("Erzeuger 2", p, 5); e2.start();
Erzeuger    e3 = new Erzeuger("Erzeuger 3", p, 10); e3.start();

Verbraucher v1 = new Verbraucher("Verbraucher 1", p, 10); v1.start();
Verbraucher v2 = new Verbraucher("Verbraucher 2", p, 10); v2.start();
```

In diesem Beispiel werden drei Erzeuger `e1`, `e2` und `e3`, die 5, 5 und 10 Waren erzeugen gestartet.

Den Verbrauch übernehmen zwei Verbraucher `v1` und `v2`, die jeweils 10 Waren konsumieren.

Alle Verbraucher und Erzeuger sind über einen Abholplatz `p` verbunden.

Zusammenspiel von Erzeuger und Verbraucher

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Werden diese Threads gestartet, ergibt sich z.B. folgende Ausgabe!

```
Ware Erzeuger 1 Produkt 1 abgelegt.
Ware Erzeuger 1 Produkt 2 abgelegt.
Ware Erzeuger 1 Produkt 3 abgelegt.
...
Ware null abgeholt.
Ware null abgeholt.
Ware null abgeholt.
```

Waren werden auf Waren abgelegt!

Nicht existente Waren werden abgeholt!

Vollkommenes Chaos!

Synchronisierter `Abholplatz`

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

```
class Abholplatz {
  protected Ware ware;

  public synchronized Ware get() {
    Ware ret = this.ware;
    this.ware = null;
    System.out.println("Ware " + ret + " abgeholt.");
    return ret;
  }

  public synchronized void put(Ware w) {
    this.ware = w;
    System.out.println("Ware " + w + " abgelegt.");
  }
}
```

Auch der Einsatz von `synchronized` alleine löst das Problem nicht.

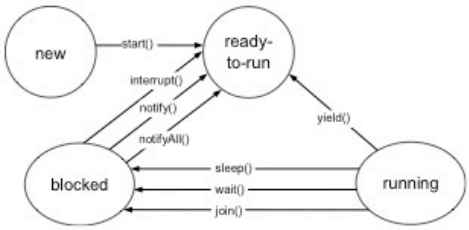
Dies Ausgabe bleibt im wesentlichen erhalten.

Der `Abholplatz` ist also nicht im mindesten thread-safe!

Das ist auch kein Wunder, denn die Threads kommunizieren in keinster Weise miteinander.

Methoden zur Thread Kommunikation

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences



Jedes Objekt bietet in Java hierzu zwei wesentliche Methoden an, damit sich Threads gegenseitig benachrichtigen können und bis zur Benachrichtigung „schlafen“ (d.h. keine Prozessorressourcen beanspruchen):

- **`void wait() throws InterruptedException`** veranlasst den Thread, der gerade ausgeführt wird, mit seiner weiteren Ausführung zu warten, bis ein anderer Thread die `notifyAll()` Methode auf dem Objekt ausführt. Der Thread gibt dazu die Objekt-Sperre ab und muss sie nach dem Wartevorgang wieder erwerben.
- **`void notifyAll()`** reaktiviert alle Threads, die sich im Wartezustand bezüglich des Objekts befinden.

Synchronisierter und kommunizierender Abholplatz

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

```
class Abholplatz {
  protected Ware ware;

  public synchronized Ware get() {
    while (ware == null) { wait(); }
    Ware ret = this.ware;
    this.ware = null;
    System.out.println("Ware " + ret + " abgeholt.");
    notifyAll();
    return ret;
  }

  public synchronized void put(Ware w) {
    while (this.ware != null) { wait(); }
    this.ware = w;
    System.out.println("Ware " + w + " abgelegt.");
    notifyAll();
  }
}
```

- Warte solange bis Abholplatz belegt ist.
- Benachrichtige alle wartenden Threads (dass Abholplatz wieder frei ist).
- Warte solange bis Abholplatz frei ist.
- Benachrichtige alle wartenden Threads (dass Abholplatz nun belegt ist).

Sicherheit paralleler Programme

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Ein nebenläufiges Programm gilt als sicher (thread safe), wenn keine fehlerhaften Zustände in einem Programm eintreten (vgl. auch Unit 8).

Ein objektorientiertes paralleles Programm ist thread safe, wenn alle Objekte innerhalb des Programms sicher sind.

Ein Objekt ist **thread safe**, wenn es

- **unveränderlich** ist oder
- **korrekt synchronisiert** ist oder
- **korrekt gekapselt** ist.

Unveränderliche Objekte

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Ein Objekt ist unveränderlich, wenn es niemals seinen Status ändert.

Ist ein Objekt veränderlich, so darf man nur die statuslosen Methoden des Objekts nebenläufig verwenden.

Eine statuslose Methode ist eine Methode, die kein Datenfeld ihres Objekts verändert.

```
class ImmutablePerson {
  protected String vorname;
  Protected String nachname;

  public ImmutablePerson(String vn, String nn)
{
    this.vorname = vn;
    this.nachname = nn;
  }

  public String getVorname() {
    return this.vorname;
  }

  public String getNachname() {
    return this.nachname;
  }

  public String toString() {
    return getVorname() + " " + getNachname();
  }
}
```


Korrekt synchronisierte Objekte

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Ein korrekt synchronisiertes Objekt ist ein Objekt, dessen statusbehafteten Methoden synchronisiert sind (und ggf. das Erzeuger/Verbraucher Problem behandeln).

Ein Objekt dessen statusbehafteten Methoden alle synchronisiert sind, heißt **vollständig synchronisiert**.

```
class MutablePerson extends ImmutablePerson {

  public MutablePerson(String vn, String nn) {
    super(vn, nn);
  }

  public synchronized void setName(String vn, String nn) {
    this.vorname = vn;
    this.nachname = nn;
  }

}
```

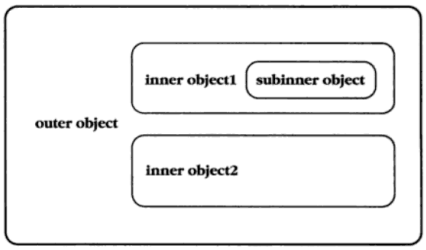
Korrekt gekapseltes Objekt

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Statt der Synchronisation, die dynamisch den Zugriff auf Objekte begrenzt, kann auch der Zugriff auf Objekte durch Kapselung (containment) strukturell begrenzt werden. Objekte werden hierbei logisch gekapselt.

Folgende Regeln sind dabei einzuhalten:

- Das äußere Objekt muss alle inneren Objekte innerhalb seines eigenen Konstruktors erzeugen.
- Das äußere Objekt darf keine Referenzen des inneren Objekts an andere Objekte weitergeben.
- Das äußere Objekt muss vollständig synchronisiert oder in ein anderes vollständig synchronisiertes Objekt eingebettet sein.



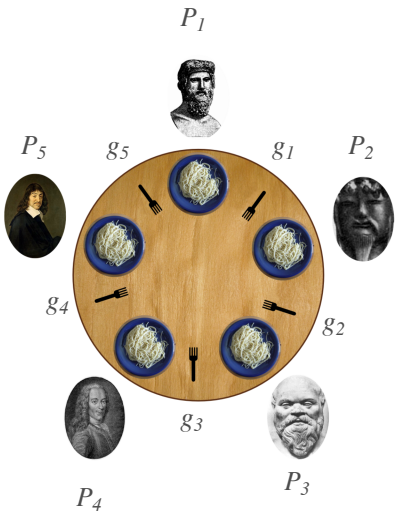
Themen dieser Unit

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Nebenläufigkeit	Thread Safeness	Verklemmungen
• Prozesse und Threads • Threads in Java • Zustände von Threads • Effekte	• Leser/Schreiber Problem • Erzeuger/Verbraucher Problem • Thread-sichere Objekte	• Philosophen-problem • Entstehung von Verklemmungen • Vermeidung von Verklemmungen

Das Philosophenproblem und die Entstehung von Deadlocks

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences



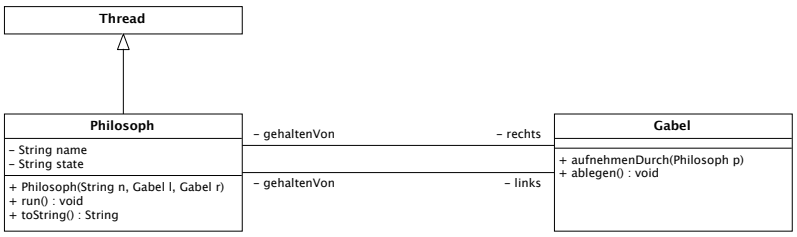
Fünf Philosophen sitzen an einem runden Tisch und jeder hat einen Teller mit Spaghetti vor sich. Zum Essen von Spaghetti benötigt jeder Philosoph zwei Gabeln. Allerdings sind nur fünf Gabeln vorhanden, die nun zwischen den Tellern liegen. Die Philosophen können also nicht gleichzeitig speisen.

Die Philosophen sitzen am Tisch und denken über philosophische Probleme nach. Wenn einer hungrig wird, greift er zuerst die Gabel links von seinem Teller, dann die auf der rechten Seite und beginnt zu essen. Wenn er satt ist, legt er die Gabeln wieder zurück und beginnt wieder zu denken. Sollte eine Gabel nicht an ihrem Platz liegen, wenn der Philosoph sie aufnehmen möchte, so wartet er, bis die Gabel wieder verfügbar ist.

Wenn sich alle fünf Philosophen gleichzeitig entschließen, zu essen, ergreifen also alle gleichzeitig ihre linke Gabel und nehmen damit dem jeweils links von ihnen sitzenden Kollegen seine rechte Gabel weg. Nun warten alle fünf darauf, dass die rechte Gabel wieder auftaucht. Das passiert aber nicht, da keiner der fünf seine linke Gabel zurücklegt. Die Philosophen verhungern.

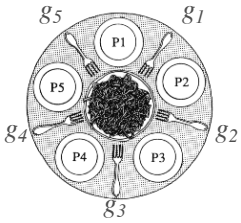
Objektorientierte Formulierung des Philosophenproblems

FACH HOCHSCHULE LÜBECK




```
Gabel g1 = new Gabel();
Gabel g2 = new Gabel();
Gabel g3 = new Gabel();
Gabel g4 = new Gabel();
Gabel g5 = new Gabel();

Philosoph p1 = new Philosoph("P1", g1, g5);
Philosoph p2 = new Philosoph("P2", g2, g1);
Philosoph p3 = new Philosoph("P3", g3, g2);
Philosoph p4 = new Philosoph("P4", g4, g3);
Philosoph p5 = new Philosoph("P5", g5, g4);
```



Implementierung der Philosophen

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

```
class Philosoph extends Thread {
  [...]
  public void run() {
    while (true) {
      this.state = "denkt";
      Thread.sleep((int)(Math.random()  * DENKZEIT));

      this.state = "wartet auf linke Gabel";
      this.links.aufnehmenDurch(this);
      this.state = "wartet auf rechte Gabel";
      this.rechts.aufnehmenDurch(this);

      this.state = "isst";
      Thread.sleep((int)(Math.random()  * ESSZEIT));

      this.state = "legt linke Gabel ab";
      this.links.ablegen();
      this.state = "legt rechte Gabel ab";
      this.rechts.ablegen();
    }
  }
  [...]
}
```

Hinweis: Datenfelder, Konstruktor und Exception Handling aus Gründen der Anschaulichkeit weggelassen.

Implementierung der Gabeln (konkurrierend genutzte Ressource)

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

```
class Gabel {

  private Philosoph  gehaltenVon;

  public synchronized  void aufnehmenDurch(Philosoph  p) {
    while (this.gehaltenVon  != null) { wait(); }
    this.gehaltenVon  = p;
    notifyAll();
  }

  public synchronized  void ablegen()  {
    this.gehaltenVon  = null;
    notifyAll();
  }
}
```

Hinweis: Exception Handling aus Gründen der Anschaulichkeit weggelassen.

Ausführen des Philosophenproblems ...

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

```
Gabel g1 = new Gabel(); Gabel g2 = new Gabel();
Gabel g3 = new Gabel(); Gabel g4 = new Gabel();
Gabel g5 = new Gabel();

Philosoph p1 = new Philosoph("P1", g1, g5);
Philosoph p2 = new Philosoph("P2", g2, g1);
Philosoph p3 = new Philosoph("P3", g3, g2);
Philosoph p4 = new Philosoph("P4", g4, g3);
Philosoph p5 = new Philosoph("P5", g5, g4);

while (true) { // Jede Sekunde den Philosophenzustand ausgeben
  Thread.sleep(1000);
  System.out.println(p1); System.out.println(p2);
  System.out.println(p3); System.out.println(p4);
  System.out.println(p5);
  System.out.println();
}
```

Hinweis: Exception Handling aus Gründen der Anschaulichkeit weggelassen.

... führt irgendwann zu dieser Ausgabe

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

```
[...]

P1 wartet auf rechte Gabel.
P2 denkt.
P3 isst.
P4 denkt.
P5 isst.

P1 denkt.
P2 denkt.
P3 isst.
P4 wartet auf rechte Gabel.
P5 denkt.

P1 wartet auf rechte Gabel.
P2 wartet auf rechte Gabel.
P3 wartet auf rechte Gabel.
P4 wartet auf rechte Gabel.
P5 wartet auf rechte Gabel.
[...]
P1 wartet auf rechte Gabel.
P2 wartet auf rechte Gabel.
P3 wartet auf rechte Gabel.
P4 wartet auf rechte Gabel.
P5 wartet auf rechte Gabel.
```

Der Zustand eines Deadlocks kann folgendermaßen definiert werden: Eine Menge von Prozessen oder Threads befindet sich in einem Deadlock, wenn jeder dieser Prozesse/Threads auf ein Ereignis wartet, das nur ein anderer Prozess/Thread aus dieser Menge verursachen kann.

Dieser Zustand wird ewig bestehen bleiben. Alle Philosophen warten aufeinander (und werden verhungern).

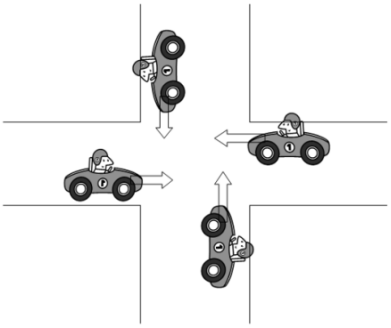
Dies nennt man einen Deadlock!

Verklemmungen / Deadlock

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Deadlocks/Verklemmungen können im allgemeinen nicht verhindert werden. Sie sind ein statistisches Phänomen, welches Auftritt wenn folgende vier Kriterien erfüllt sind:

- **No Preemption:** Die Betriebsmittel werden ausschließlich durch die Prozesse/Threads freigegeben **(Nur die Philosophen legen Gabeln ab)**.
- **Hold and Wait:** Die Prozesse/Threads fordern Betriebsmittel an, behalten aber zugleich den Zugriff auf andere **(Philosophen nehmen erst rechte, dann die linke Gabel auf)**.
- **Mutual Exclusion:** Der Zugriff auf die Betriebsmittel ist exklusiv **(Eine Gabel kann nur durch genau einen Philosophen gehalten werden)**.
- **Circular Wait:** Mindestens zwei Prozesse besitzen bezüglich der Betriebsmittel eine zirkuläre Abhängigkeit **(Philosophen sind über die zwischen ihnen liegenden Gabeln von einander abhängig)**.



Beispiel einer Verklemmung im Straßenverkehr (jeder muss auf den von rechts kommenden Verkehrsteilnehmer warten).

Verhinderung von Verklemmungen / Deadlocks

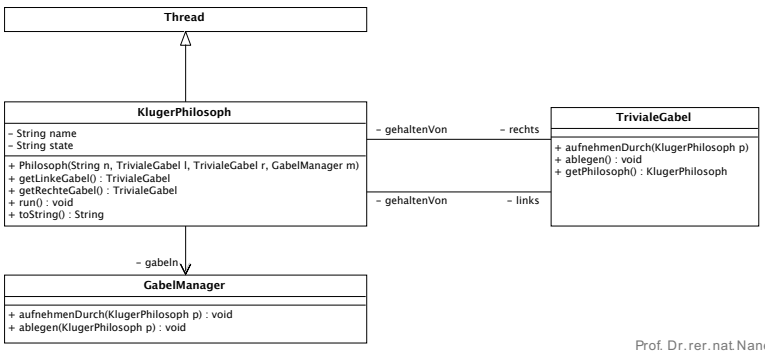
FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Deadlocks lassen sich verhindern, wenn die Synchronisierung bei einem Problem derart gestaltet werden kann, dass mindestens einer der vier Deadlock Kriterien nicht erfüllt ist.

In der Praxis gelingt dies häufig mittels der Vermeidung des „Hold and Wait", in dem für eine Operation erforderlichem Ressourcen alle auf einmal angefordert werden.

Wir wollen das Philosophenproblem nun derart umformulieren, dass ein Philosoph, wenn er essen möchte, beide Gabeln gleichzeitig aufnimmt (also ein Hold und Wait nicht eintreten kann).

Hierzu führen wir einen `GabelManager` ein, der die gleichzeitige Aufnahme der Gabeln sicherstellen soll.



Implementierung des Klugen Philosophen

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

```
class KlugerPhilosoph extends Thread {
  [...]
  public void run() {
    while (true) {
      this.state = "denkt";
      Thread.sleep((int)(Math.random() * DENKZEIT));

      this.state = "wartet auf Gabeln";
      this.gabeln.aufnehmen(this);

      this.state = "isst";
      Thread.sleep((int)(Math.random() * ESSZEIT));

      this.state = "legt Gabeln ab";
      this.gabeln.ablegen(this);
    }
  }
  [...]
}
```

Hinweis: Datenfelder, Konstruktor und Exception Handling aus Gründen der Anschaulichkeit weggelassen.

Dieser wendet sich an den Gabel Manager, um linke und rechte Gabel gleichzeitig zu erhalten und abzulegen.

So vermeidet der Philosoph das „Hold and Wait".

Implementierung des Gabel Managers

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

```
class GabelManager {

  public synchronized void aufnehmen(KlugerPhilosoph p) {
    while (p.getRechteGabel().getPhilosoph() != null &&
           p.getLinkeGabel().getPhilosoph() != null) { wait(); }
    p.getRechteGabel().aufnehmenDurch(p);
    p.getLinkeGabel().aufnehmenDurch(p);
    notifyAll();
  }

  public synchronized void ablegen(KlugerPhilosoph p) {
    p.getRechteGabel().ablegen();
    p.getLinkeGabel().ablegen();
    notifyAll();
  }

}
```

Hinweis: Exception Handling aus Gründen der Anschaulichkeit weggelassen.

Der Gabel Manager stellt sicher, dass ein Philosoph immer zwei Gabeln gleichzeitig erhält.

Möchte der Philosoph essen, sind aber nicht beide Gabeln verfügbar, wird der Philosoph wieder schlafen geschickt.

Implementierung der trivialen Gabeln (konkurrierend genutzte Ressource)

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

```
class TrivialeGabel  {

  private  KlugerPhilosoph  gehaltenVon;

  public void aufnehmenDurch(KlugerPhilosoph  p {
    this.gehaltenVon  = p;
  }

  public void ablegen() {
    this.gehaltenVon  = null;
  }

  public KlugerPhilosoph  getPhilosoph() {
    return this.gehaltenVon;
  }
}
```

Hinweis: Die Implementierung der Gabeln ist dann nicht komplizierter als im Single Threaded Fall.

The Downfall of Imperative Programming

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

„If programmers were electricians, parallel programmers would be bomb disposal experts. Both cut wires […]“

Bartosz Milewski, „The Downfall of Imperative Programming“

Quelle (letzter Zugriff am 22.12.2013):

https://www.fpcomplete.com/business/blog/the-downfall-of-imperative-programming/

Zusammenfassung

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

- **Nebenläufigkeit**
  - Thread vs. Prozess
  - Zustandsübergänge von Threads
  - (Grenzen der) Beschleunigung durch Parallelisierung

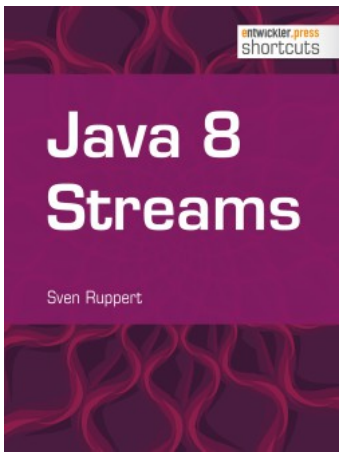
- **Thread Safeness**
  - Leser/Schreiber Problem (Synchronsierung)
  - Erzeuger/Verbraucher Problem (wait/notify)
  - Kriterien Thread-sicherer Objekte (Unveränderlichkeit oder korrekte Synchronisierung oder korrekte Kapselung)

- **Deadlocks/Verklemmungen**
  - Philosophenproblem
  - Kriterien zur Entstehung von Deadlocks (no preemption, hold and wait, mutual exclusion, circular wait)
  - Vermeidung von Verklemmungen (Ressourcen aufeinmal zuteilen vermeidet bspw. hold and wait)

Es geht aber auch einfacher …

Java 8

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences



sequential — *Ermöglicht Elemente eines Streams sequentiell zu verarbeiten* ***(default!)***

```
S sequential()
```

Returns an equivalent stream that is sequential. May return itself, either because the stream was already sequential, or because the underlying stream state was modified to be sequential.

This is an intermediate operation.

Returns:

a sequential stream

parallel — *Ermöglicht Elemente eines Streams* ***parallel*** *zu verarbeiten!*

```
S parallel()
```

Returns an equivalent stream that is parallel. May return itself, either because the stream was already parallel, or because the underlying stream state was modified to be parallel.

This is an intermediate operation.

Returns:

a parallel stream

http://docs.oracle.com/javase/8/docs/api/java/util/stream/Stream.html

An einem Beispiel
Paralleles Brute Force Passwortraten

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

Gegeben sei eine Passwortdatei, wie die folgende:

```
"User", "PIN"
"Bruce Springsteen", "tdQlGRnP0W8itoJqee1dCQ=="
"Anna Christiansen", "LdleDKEEjJbFjC7L82QQyQ=="
"Emilia Lonikt", "eoid7gAiN1B6w6bQCSVAbA=="
"Manfred Keys", "wtNC8zrJzDrGdY4AcvsDRg=="
"Nina Humboldt", "HSi5Ltq0uWM2+qG9qMJ6JQ=="
"Felix Keys", "RBwKH8+bOYZCDt7oN5P+Wg=="
"Laura Fugenstein", "DwhMOtm2+xnxFIpqImh6Ng=="
"Momme Abel", "JNM8JMLrqhXZYvFhMx5Qzg=="
"Leonie Struppi", "ibTOuJXH3ETtyooPjQ7fhQ=="
"Magda Müller", "s44WddJce20/W+/vwLAg8w=="
"Paul Wagner", "Vu0OT0KU8JevMSEfac3DVA=="
"Michaela Humboldt", "yD7s+1rYMXsFgTHBnHIkoA=="
"Leonie Maier", "Nt0vDRUquhFbn2lIIpk6sw=="
"Elias Abel", "4p77vKE8FduPzm4zxzRhIw=="
"Luis Jackson", "0SCGgnnfSui1YC/J/VcD6g=="
"Emma Jackson", "EaL2xgaqE6P36dZ7f/0KOg=="
"Emma Maier", "eXpjYXa48R6UUgDijdeoRw=="
...
```

User

userhash

```
String user = „Felix Keys“;
String pwd = ??? ; // Kennen wir nicht
String userhash = base64(md5(user+pwd));
```

Um bspw. „Felix Keys“ zu authentifizieren, wird das eingegebene Passwort mit der Nutzerkennung verknüpft, eine Hashsumme (Fingerabdruck) gebildet und in ein Base64 Encoding gewandelt.

Ist dieses Ergebnis gleich dem gespeicherten Userhash, so hat „Felix Keys“ das richtige Passwort eingegeben, andernfalls nicht.

So muss man kein Klartextpasswort speichern. kryptotaugliche Hashsummen haben zudem die Eigenschaft, dass man vom Hashwert nicht auf das (fehlende) Passwort zurückrechnen kann.

Mehr dazu im Wahlpflichtmodul „Kryptologie“.

Paralleles Brute Force Passwortraten
Hier: Bestimmen eines Userhashs

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

```
/**
 * Berechnet die Hashsumme einer Zeichenkette mittels des MD5 Verfahren.
 * Liefert den MD5 Hash Base64 encoded zurueck.
 * @param s String von dem die Hashsumme gebildet werden soll
 * @return base64(md5(s))
 */
private static String md5(String s) {
  MessageDigest md = MessageDigest.getInstance("MD5");
  return DatatypeConverter.printBase64Binary(md.digest(s.getBytes()));
}
```

Es sei dies die Methode, um aus einem beliebigen String einen Base64 kodierten MD5 Hashwert zu berechnen.

Um Exception Handling vereinfacht.

Paralleles Brute Force Passwortraten
Hier: Ratemethode

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

```
/**
 * Bestimmt das geheime Passwort eines Nutzers (mittels eines
 * Brute Force Ansatzes) wenn dessen Hashwert bekannt ist.
 * @param user Nutzer
 * @param hash Userhash (aus Nutzer und geheimen Passwort gebildet)
 * @return geheimes Passwort des Nutzers
 *         null, wenn Passwort nicht bestimmt werden konnte
 */
public static String guessPwd(String user, String hash) {
  char[] abc = "123456789abcdefghijklmnopqrstuvwxyz".toCharArray();
  for (char a : abc) {
    for (char b : abc) {
      for (char c : abc) {
        for (char d : abc) {
          String pwd = "" + a + b + c + d;
          if (hash.equals(md5(user + pwd))) { return pwd; }
        }
      }
    }
  }
  return null;
}
```

Es sei dies die Methode, um das geheime Passwort mittels Ausprobieren zu ermitteln, wenn User und Userhash bekannt sind.

Anzahl an Zeichen und zulässige Zeichen für Passwörter müssen bekannt sein.

Um Exception Handling vereinfacht.

Paralleles Brute Force Passwortraten
Hier: Streambasiertes Raten (sequentiell)

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

```
URL text = new URL("http://www.nkode.io/assets/programming/pins.csv");
BufferedReader reader = new BufferedReader(
  new InputStreamReader(text.openStream())
);

long start = System.currentTimeMillis();
Map<String, String> passwords = reader.lines()
  .skip(1)
  .map(l -> l.split(", +"))
  .map(a -> Arrays.asList(a[0].replace("\"", ""), a[1].replace("\"", "")))
  .collect(Collectors.toMap(
     a -> a.get(0),
     a -> guessPwd(a.get(0), a.get(1)) // jeder Aufruf zeitaufwaendig
  ));
long end = System.currentTimeMillis();

System.out.println("Processing time: " + (end - start) + " ms");
```

```
Processing time: 401756ms
```

Ein Brute-Force Passwortraten kann dann mittels Streams sequentiell implementiert werden.

Wie lässt sich dies jetzt parallelisieren?

```
"User", "PIN"
"Bruce Springsteen", "tdQlGRnP0W8iloJqee1dCQ=="
"Anna Christiansen", "LdleDKEEjJbFjC7L82QQyQ=="
"Emilia Loniki", "eoid7gAiN1B6w6bQCSWbA=="
"Manfred Keys", "wtNC8zrJzDrGdY4AcvsDRg=="
"Nina Humboldt", "HSi5Lta0UMZ+aG8qWD6JQ=="
"Felix Keys", "RBwKH8+bOYZCDt7aN5P+Wg=="
"Laura Fugenstein", "DwhWDtm2+xnxFIpqImh6Ng=="
"Mamme Abel", "JNBJMLrqhXZYvFHkSQzg=="
"Leonie Struppi", "ibTOuIXHBETtycoPjQ7fnQ=="
"Magda Miller", "s4MkdJce20/W+/vwLAg8w=="
"Paul Wagner", "Vu0OT8KU8JevMSEfac3DVA=="
"Michaela Humboldt", "yO7s+1rYMKsFgTHBrHIkoA=="
"Leonie Maier", "Nt0VRUquhFbnZ1IIpk6sw=="
"Elias Abel", "4p77vKE8FduPzmkzcRhIw=="
"Luis Jackson", "05CGgnnfSui1YC/JVcD6g=="
"Emma Jackson", "EaL2xgoqE6P36dZ7f/0KDg=="
"Emma Maier", "eXpjYXo48R6UUgDijdcoRw=="
...
```

Paralleles Brute Force Passwortraten
Hier: Streambasiertes Raten (parallel)

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

```
URL text = new URL("http://www.nkode.io/assets/programming/pins.csv");
BufferedReader reader = new BufferedReader(
  new InputStreamReader(text.openStream())
);

long start = System.currentTimeMillis();
Map<String, String> passwords = reader.lines().parallel()
  .skip(1)
  .map(l -> l.split(", +"))
  .map(a -> Arrays.asList(a[0].replace("\"", ""), a[1].replace("\"", "")))
  .collect(Collectors.toMap(
     a -> a.get(0),
     a -> guessPwd(a.get(0), a.get(1)) // jeder Aufruf zeitaufwaendig
  ));
long end = System.currentTimeMillis();

System.out.println("Processing time: " + (end - start) + " ms");
```

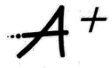
```
Processing time: 189563 ms
```

11 Buchstaben machen ihre Lösung etwa n-mal so schnell (auf einem n-Core Rechner)

Streams können Parallelisierung von Hause aus, man muss sie nur anschalten ;-)

D.h. fachliche Lösungen, die streambasiert (bzw. funktional) implementiert sind, sind meist sehr einfach parallelisierbar!

Zusammenfassung



FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

- **Parallelisierbarkeit mit Streams**
  - `serial()`
  - `parallel()`
- **Fachliche Lösung definieren**
  - Funktional denken! Dann gibt es Parallelisierbarkeit umsonst!
  - Auf Operatoren achten (`reduce` Operatoren müssen bspw. assoziativ sein)
  - `parallel()` dort dazu schalten, wo es sinnvoll ist (z.B. für berechnungsintensive oder I/O-lastige Aufgaben, berechnungsarme Aufgaben profitieren meist nicht von `parallel()`).