

Programmieren I und II

Unit 12

Concurrent Programming (Multithread)

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

Disclaimer

Zur rechtlichen Lage an Hochschulen:

Dieses Handout und seine Inhalte sind durch den Autor selbst erstellt. Aus Gründen der Praktikabilität für Studierende lehnen sich die Inhalte stellenweise im Rahmen des Zitatrechts an Lehrwerken an.

Diese Lehrwerke sind explizit angegeben.

Abbildungen sind selber erstellt, als Zitate kenntlich gemacht oder unterliegen einer Lizenz die nicht die explizite Nennung vorsieht. Sollten Abbildungen in Einzelfällen aus Gründen der Praktikabilität nicht explizit als Zitate kenntlichgemacht sein, so ergibt sich die Herkunft immer aus ihrem Kontext: „Zum Nachlesen ...“.

Creative Commons:

Und damit andere mit diesen Inhalten vernünftig arbeiten können, wird dieses Handout unter einer Creative Commons Attribution-ShareAlike Lizenz (CC BY-SA 4.0) bereitgestellt.

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>





Prof. Dr. rer. nat.
Nane Kratzke

*Praktische Informatik und
betriebliche Informationssysteme*

- Raum: 17-0.10
- Tel.: 0451 300 5549
- Email: nane.kratzke@th-luebeck.de



@NaneKratzke

Updates der Handouts auch über Twitter #prog_inf und #prog_itd

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

3

Units

| | | | |
|--|--|--|--|
| 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 Concurrent Programmng |

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

4

Abgedeckte Ziele dieser UNIT



| | | | |
|---|--|--|---|
| 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 Algorithmusbegriffs, 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 Multithread Programmierung sowie funktionale Programmierung |



Am Beispiel der Sprache JAVA

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

5

Kleines Quiz





Apple MacBook Air

1.3 GHz Dual Core Intel i5



Apple MacPro

Intel Xeon E5 8-Core 3 GHz

| | | | |
|---|-----|---------------------------|-------|
| Anzahl Kerne? | 2 | Anzahl Kerne? | 8 |
| Anzahl simultane Threads? | 4 | Anzahl simultane Threads? | 16 |
| Wie viel Prozent nutzen sie mit der Programmierung die sie bislang kennen gelernt haben? | 25% | | 6.25% |

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

6

Zum Nachlesen ...



Kapitel 18

Parallele Programmierung mit Threads

18.2 Threads in Java

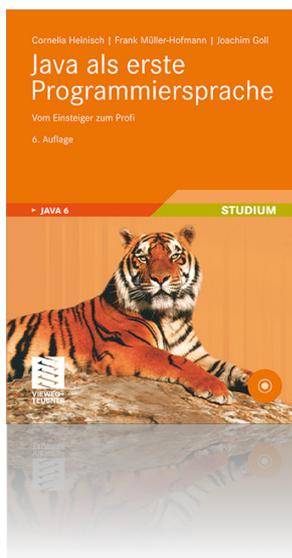
18.3 Wissenswertes über Threads

18.4 Thread-Synchronisation und Kommunikation

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

7

Noch mehr zum Nachlesen ...



Kapitel 19

Threads

19.2 Zustände und Zustandsübergänge von Threads

19.3 Programmierung von Threads

19.4 Scheduling von Threads

19.5 Zugriff auf gemeinsame Ressourcen

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

8

Themen dieser Unit



| Nebenläufigkeit | Thread Safeness | Verklemmungen |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Prozesse und Threads• Threads in Java• Zustände von Threads• Effekte | <ul style="list-style-type: none">• Leser/Schreiber Problem• Erzeuger/Verbraucher Problem• Thread-sichere Objekte | <ul style="list-style-type: none">• Philosophenproblem• Entstehung von Verklemmungen• Vermeidung von Verklemmungen |

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

9

Bisher: Sequentielle Verarbeitung (Single Thread)



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**).

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

kt sei ein Objekt der Klasse Konto.

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

10

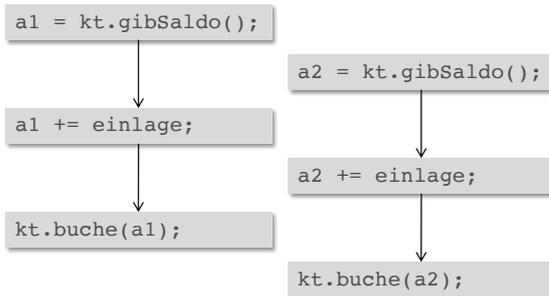
Nun: Nebenläufige Verarbeitung (Multi Thread)



In der realen Welt geschehen viele Abläufe gleichzeitig. Z.B. können durch 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 über Datenabhängigkeiten von einander abhängig sind (shared memory).



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

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

11

Erforderlich: Synchronisation



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

```
kt.pruefeUndSperr();
```

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

```
kt.entsperr();
```

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.

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

12

Wirkungsweise einer Synchronisation



[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.

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme 13

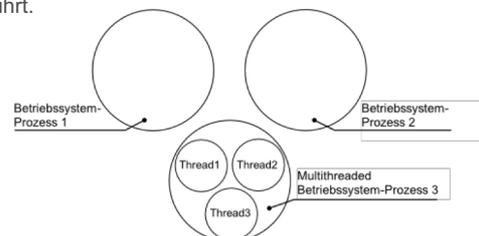
Threads



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!

Prof. Dr. rer. nat. Nane Kratzke
Praktische Informatik und betriebliche Informationssysteme 14

Threads in Java



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



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

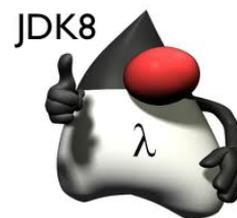


Variante 3:

Lambdafunktion

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

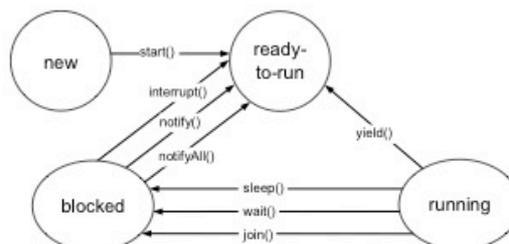
Dank Lambdas können Threads mit Java 8 kürzer und pragmatischer ausgedrückt werden.



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

17

Zustandsübergänge von Threads

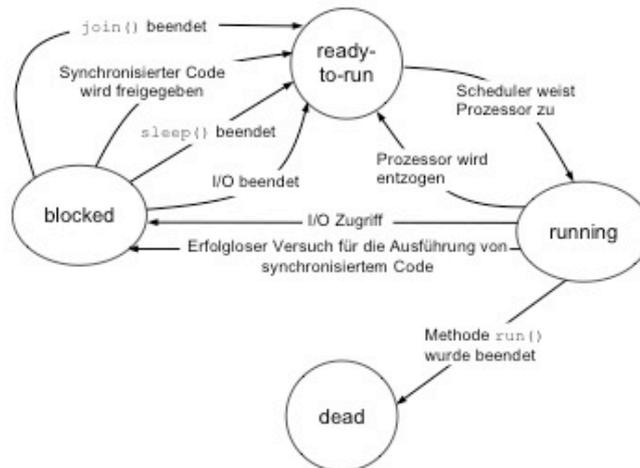


- start()** Startet einen Thread (Ausführung seiner run()-Methode)
- sleep(long m)** Entzieht einem Thread für m Millisekunden den Prozessor (Thread legt sich „schlafen“).
- yield()** Thread gibt freiwillig Prozessor ab. Fortsetzung nach Entscheidung Scheduler.
- join()** Thread gibt Prozessor ab, um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

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

18

Durch den Scheduler erzeugte Zustandsübergänge



Quelle: Java als erste Programmiersprache

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

19

Beispiel: Berechnung von Fibonacci Folgen beschleunigen



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)

Zeitangaben natürlich abhängig vom System auf dem das Programm läuft!

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

20

Beispiel: Berechnung von Fibonacci Folgen beschleunigen



Der Ansatz

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

wird also zu erheblichen Laufzeiten führen.

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

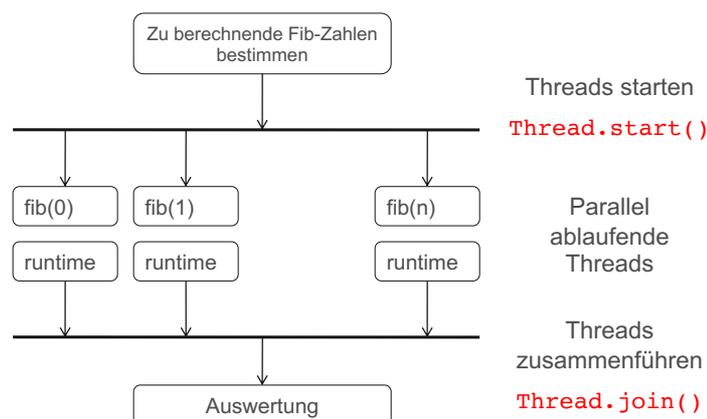
Mittels Threads kann man die $n=45$ Berechnungen aber in einer Zeitspanne durchführen, die **in etwa** so lang ist, wie die Berechnung der größten zu bestimmenden Fibonacci Zahl.

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

Parallelisierung mittels Threads



UML Aktivitätsdiagramm



FibonacciThread



```
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;
    }
}
```

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

23

FibonacciThreads starten



```
// 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));
```

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

24

Auswertung (Fibonacci bis 45)



```
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)?

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

25

Auswertung (Fibonacci bis 25)



```
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.

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

26

Wann wird ein Prozess beendet?



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();
```

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

27

Themen dieser Unit



Nebenläufigkeit

- Prozesse und Threads
- Threads in Java
- Zustände von Threads
- Effekte

Thread Safeness

- Leser/Schreiber Problem
- Erzeuger/Verbraucher Problem
- Thread-sichere Objekte

Verklemmungen

- Philosophen-problem
- Entstehung von Verklemmungen
- Vermeidung von Verklemmungen

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

28

Das Leser/Schreiber Problem



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.

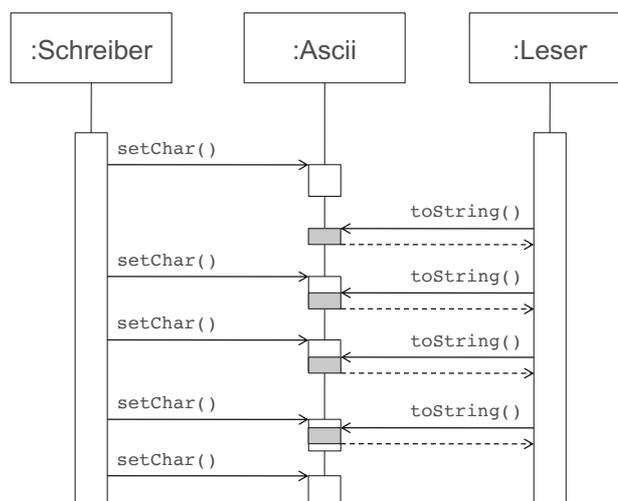
Dabei auftretende Probleme wollen wir nun beleuchten. Wir schaffen uns hierzu eine Klasse `Ascii`, die für einen gegebenen Character seine Ascii Nummer zurückgibt.

```
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 + ")";  
    }  
}
```

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

29

Das Leser/Schreiber Problem



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

30

Schreiber und Leser



```
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();
            }
        }
    }
}
```

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

31

Resultat



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

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

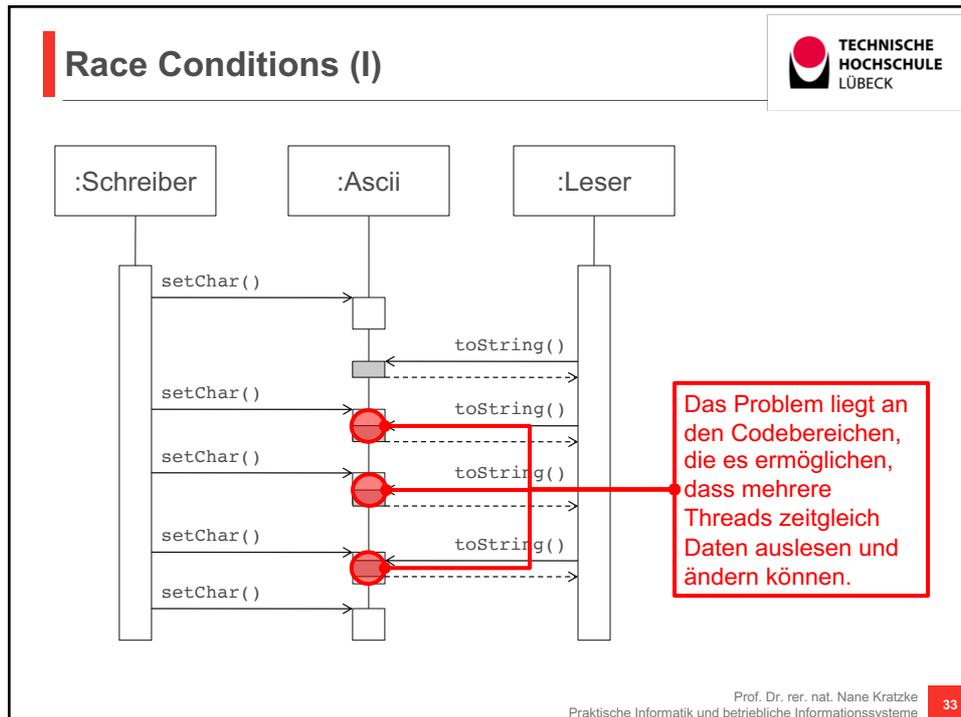
Ergebnisse
eines exem-
plarischen
Testlaufs

```
(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%) !!!

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

32



Race Conditions (II)

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

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

Code, der berücksichtigt, dass er von mehr als einem Thread zeitgleich ausgeführt werden kann und sicherstellt, das Inkonsistenzen aufgrund von Race Conditions nicht auftreten, nennt man thread-safe programmiert.

```

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 + ")";
    }
}
    
```

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

Race Conditions (III)



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

Für eine synchronisierte 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 + ")";  
    }  
}
```

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

35

Objektübergreifende Synchronisierung (I)



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 instanziiert 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();  
            }  
        }  
    }  
}
```

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

36

Objektübergreifende Synchronisierung (II)



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

```
class TAscii {
    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 TAscii {
    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 + ")";
        }
    }
}
```

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

37

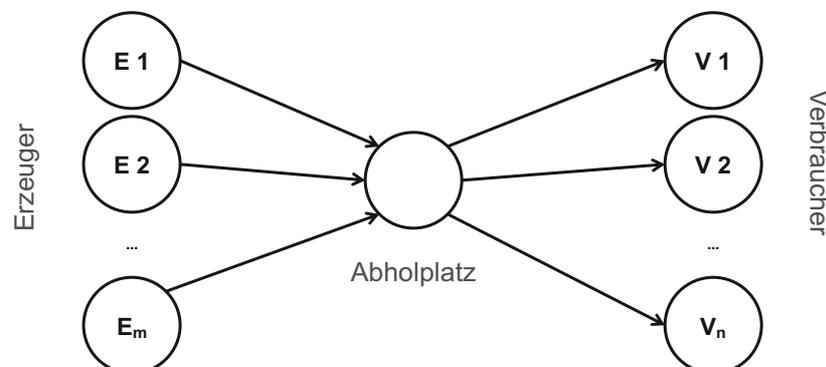
Das Erzeuger/Verbraucher Problem



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



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

38

Erzeuger/Verbraucher Problem



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;
    }
}
```

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

39

Erzeuger Thread



```
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.

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

40

Verbraucher Thread



```
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



```
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



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!

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

43

Synchronisierter Abholplatz



```
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.

Die Ausgabe bleibt im Wesentlichen erhalten.

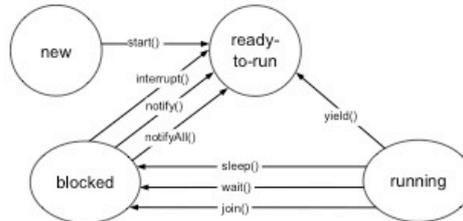
Der Abholplatz ist also nicht im mindesten **thread-safe!**

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

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

44

Methoden zur Thread Kommunikation



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

```

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



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.



Bildquelle: Pixabay

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

47

Unveränderliche Objekte



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();  
    }  
}
```

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

48

Korrekt synchronisierte Objekte



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;  
    }  
  
    public synchronized String toString() {  
        return this.vorname + " " + this.nachname;  
    }  
}
```

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

49

Themen dieser Unit



Nebenläufigkeit

- Prozesse und Threads
- Threads in Java
- Zustände von Threads
- Effekte

Thread Safeness

- Leser/Schreiber Problem
- Erzeuger/Verbraucher Problem
- Thread-sichere Objekte

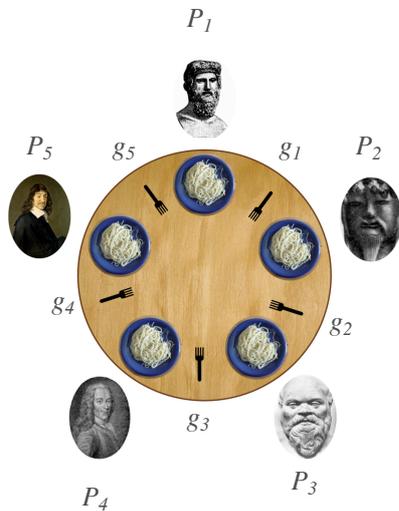
Verklemmungen

- Philosophenproblem
- Entstehung von Verklemmungen
- Vermeidung von Verklemmungen

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

51

Das Philosophenproblem und die Entstehung von Deadlocks



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.

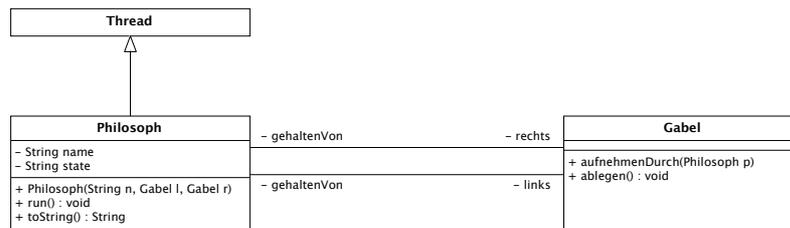
Wenn sich alle fünf Philosophen gleichzeitig entschließen, zu essen, ergreifen also alle gleichzeitig ihre linke Gabel und nehmen damit dem jeweils links von ihnen sitzenden Kollegen seine rechte Gabel weg. Nun warten alle fünf darauf, dass die rechte Gabel wieder auftaucht. Das passiert aber nicht,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

Quelle: Wikipedia

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

52

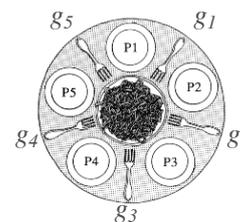
Objektorientierte Formulierung des Philosophenproblems



```

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);
    
```



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

53

Implementierung der Philosophen

```
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)

```
class Gabel {  
    private Philosoph gehaltenVon;  
  
    public synchronized void aufnehmenDurch(Philosoph p) {  
        while (this.gehaltenVon != null) f_wait();  
        this.gehaltenVon = p;  
        notifyAll();  
    }  
  
    public synchronized void ablegen() {  
        this.gehaltenVon = null;  
        notifyAll();  
    }  
}
```



Hinweis: Exception Handling aus Gründen der Anschaulichkeit weggelassen.

Ausführen des Philosophenproblems ...



```
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



```
[...]  
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.
```

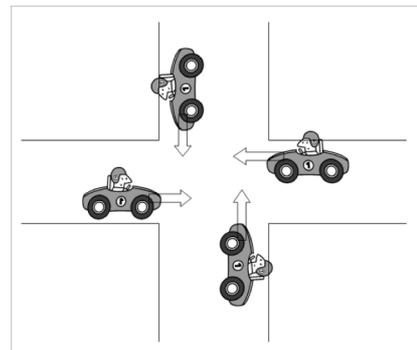
Der Zustand eines Deadlocks kann folgendermaßen
definiert werden: Eine Menge von Prozessen oder
Threads befindet sich in einem Deadlock, wenn jeder
dieser Prozesse/Threads auf ein Ereignis wartet, das nur
ein anderer Prozess/Thread aus dieser Menge
verursachen kann.

Dieser Zustand wird ewig bestehen
bleiben. Alle Philosophen warten
aufeinander (und werden verhungern).
Dies nennt man einen Deadlock!

Verklebungen / Deadlock

Deadlocks/Verklebungen 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**).



Bildquelle: Wikipedia

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

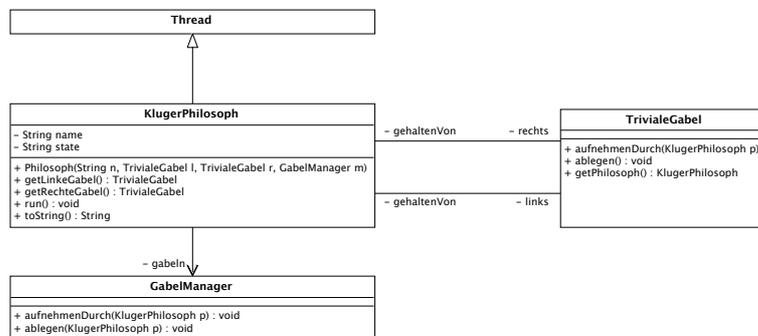
Verhinderung von Verklebungen / Deadlocks

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 erforderlichen 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



```
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);  
        }  
    }  
    [...]  
}
```



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“.

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

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

60

Implementierung des Gabel Managers



```
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();  
    }  
}
```



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.

Hinweis: Exception Handling aus Gründen der Anschaulichkeit weggelassen.

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

61

Implementierung der trivialen Gabeln (konkurrierend genutzte Ressource)



```
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.

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

62

The Downfall of Imperative Programming



„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 09.05.2016):

<https://www.fpcomplete.com/blog/2012/04/the-downfall-of-imperative-programming>

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

63

Zusammenfassung

A+



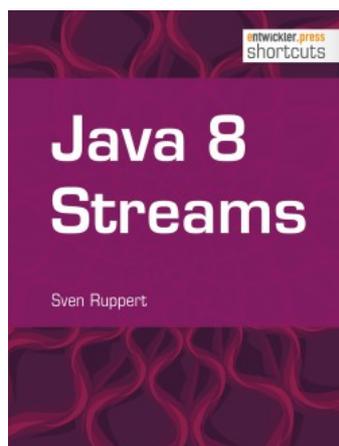
- **Nebenläufigkeit**
 - Thread vs. Prozess
 - Zustandsübergänge von Threads
 - (Grenzen der) Beschleunigung durch Parallelisierung
- **Thread Safeness**
 - Leser/Schreiber Problem (Synchronisierung)
 - Erzeuger/Verbraucher Problem (wait/notify)
 - Kriterien Thread-sicherer Objekte (Unveränderlichkeit 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 aufeinander zuteilen vermeidet bspw. hold and wait)



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

64

Es geht aber auch einfacher ...



| | |
|-----------------------------|---|
| sequential | <i>Ermöglicht Elemente eines Streams sequentiell zu verarbeiten (default!).</i> |
| <code>S sequential()</code> | |
| | 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 | <i>Ermöglicht Elemente eines Streams parallel zu verarbeiten!</i> |
| <code>S parallel()</code> | |
| | 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>

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

65

An einem Beispiel Paralleles Brute Force Passwortraten



Gegeben sei eine Passwortdatei, wie die folgende:

```
"User", "PIN"
"Bruce Springsteen", "tdQ1GRnD0w8tLoJqee1dCQ=="
"Anna Christiansen", "LdleKKEjJbFjC7L82QyQ=="
"Emilia Lonik", "eoid7gAiN1B6w6bQCSVAbA=="
"Manfred Keys", "wtNC8zrJzDrGdY4AcvsDRg=="
"Nina Humboldt", "HSi5Lta0uWM2+aG9aMJ6JQ=="
"Felix Keys", "RBwKH8+b0YZCDt7oN5P+Wg=="
"Laura Fugenstein", "DwhM0tm2+xxxFIPqImh6Ng=="
"Momme Abel", "JNM8JMLrghXZyVfHmX5Qzg=="
"Leonie Struppi", "ibTouJXH3ETtyooPjQ7fhQ=="
"Magda Müller", "s44WddJce20/W+/vwlAg8w=="
"Paul Wagner", "Vu00T0KU8JevMSEfac3DVA=="
"Michaela Humboldt", "yD7s+1rYMXsFgTHBnHIkoA=="
"Leonie Maier", "Nt0vDRUqhFbn2LIipk6sw=="
"Elias Abel", "4p77vKE8FduPzm4zxrRhIw=="
"Luis Jackson", "0SCGgnnfSui1YC/J/VcD6g=="
"Emma Jackson", "EaL2xgaqE6P36dZ7f/0K0g=="
"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



```
/**
 * 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



```
/**
 * 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)



```
URL text = new URL("http://www.nkcode.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 zeitaufwendig
    ));
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", "t2QUGpP0W81lo3qee1dCQ="
"Anna Christensen", "LdL6XEEJibFJCL8200Q="
"Emilia Lomkt", "eod7gkH1N8B6BQCSVAb="
"Manfred Keys", "wNc8zrJzDrGd14AcvsDR="
"Wina Humboldt", "HS15LtoBjW4z-r69q4D6JQ="
"Felix Keys", "R8wKH8-H0Y7ZDZ7o6SP4W="
"Laura Fugenstein", "DwH00m2-xoxoFipqInH6G="
"Maxime Abel", "jM83MLrqpXZYVfH45Zg="
"Leonie Struppi", "1bT0LQW8E7yooPJQ7FHQ="
"Magda Müller", "s44WdJce2B/W/vLAg8="
"Paul Wagner", "V80T0K8JevASEfac3DA="
"Michaela Humboldt", "y07s1rWMSfgTHBhKoa="
"Leonie Mriar", "Nt8vRUqHFnZLItpk6w="
"Elias Abel", "4p77KE8FdPzmAz2zRtlw="
"Luís Jackson", "8SCGmfSu11YCJ/Vd6g="
"Emma Jackson", "EaL2gqaEP96dZ7f/WK0g="
"Emma Mriar", "eApjYx48R6UgDjdeaR="
...
```

Paralleles Brute Force Passwortraten Hier: Streambasiertes Raten (parallel)



```
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 zeitaufwendig
    ));
long end = System.currentTimeMillis();

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

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!



Processing time: 189563 ms

11 Buchstaben parallelisieren ihre Lösung. Ohne über Deadlocks, Race Conditions, Producer/Consumer Probleme nachdenken zu müssen!

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

70

Zusammenfassung

A+



- **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()).



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

71