Abschnitt 15: Robuste Programme durch Ausnahmebehandlung

Überblick

Robuste Programme durch Ausnahmebehandlung

- Eine *Ausnahme* ist ein Ereignis, das zu einem Laufzeitfehler führt.
- Ausnahmen können dabei unterschiedliche Ursachen haben:
  1. Programmierfehler, z.B. der Zugriff auf ein Array außerhalb der definierten Grenzen.
  2. Anwenderfehler, z.B. die Angabe eines falschen Dateinamens, was z.B. dazu führt, dass eine Datei, die geöffnet werden soll, nicht gefunden wird.
- In den älteren Programmiersprachen führen Ausnahmen meist zum Absturz des Programms, d.h. das Programm wird einfach beendet.
- Neuere Programmiersprachen wie Java erlauben die systematische Behandlung von Ausnahmen und ermöglichen dadurch robustere Programme.

Ausnahmen und deren Behandlung

- Eine Ausnahme kann also durch ein Programm zur Laufzeit verursacht werden. In Java spricht man von einer *Exception*.
- Beim *Auslösen* einer Exception spricht man in Java auch von *Werfen* oder *Throwing*.
- Das *Behandeln* einer Ausnahme, also eine explizite Reaktion auf das Eintreten einer Exception, wird im Java-Sprachgebrauch auch als *Catching* bezeichnet.

Das Grundprinzip von Exceptions in Java

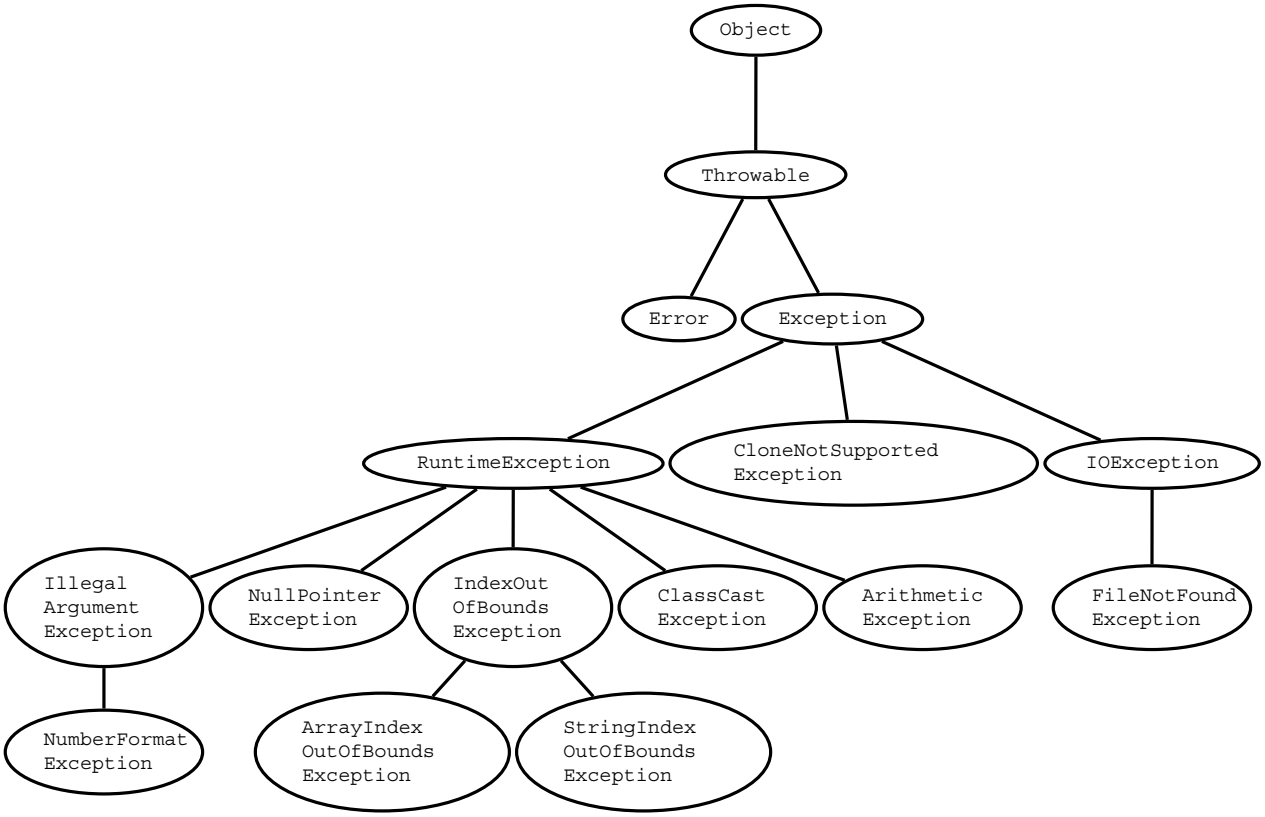
- Ein Laufzeitfehler oder eine vom Programmierer gewollte Bedingung löst eine Exception aus (Throwing).
- Diese kann entweder von dem Programmteil, in dem sie ausgelöst wurde, behandelt werden (Catching), oder sie kann weitergegeben werden (an andere Programmteile).
- Die Regel, dass alle Exceptions entweder behandelt oder weitergegeben werden müssen, bezeichnet man auch als *catch-or-throw-Regel*.
- Wird die Exception weitergegeben, so hat der Empfänger der Ausnahme erneut die Möglichkeit, sie entweder zu behandeln oder selbst weiterzugeben.
- Wird die Exception von keinem Programmteil behandelt, so führt sie zum Abbruch des Programms und zur Ausgabe einer Fehlermeldung.

Überblick

Ausnahmen in Java

- In Java sind Exceptions als normale Klassen realisiert, die instanziiert werden können. Insbesondere kann man auch eigene Exceptions definieren.
- Für die wichtigsten Exceptions gibt es bereits vordefinierte Klassen (im Package `java.lang`, d.h. sie sind ohne **`import`**-Anweisung implizit eingebunden und verwendbar).
- Oberklasse aller Exceptions ist die Klasse `Throwable`, die keine explizite Oberklasse besitzt und damit implizit von `Object` abgeleitet ist.
- Die Klasse `Throwable` stellt wichtige Konstruktoren und Methoden zum Exception-Handling bereit.

Wichtige Ausnahmen in ihrer Vererbungshierarchie



`Exception` VS. `RuntimeException`

- Java unterscheidet zwei Arten von Exceptions:
  1. "Allgemeine" Exceptions (Unterklassen von `Exception`, aber nicht von `RuntimeException`) modellieren Fehler, die im Routine-Betrieb des Programms entstehen können, z.B. auf Grund falsch eingegebener Daten. Diese Exceptions müssen *immer* behandelt oder weitergegeben werden.
  2. "Spezielle" Laufzeit-Ausnahmen (Unterklassen von `RuntimeException`) modellieren dagegen Fehler, die nicht im Routine-Betrieb des Programmes auftreten sollten, und daher auf Programmierfehler hindeuten, z.B. der Zugriff auf ein Array außerhalb der definierten Grenzen. Diese Exceptions müssen *nicht* behandelt oder explizit weitergegeben werden, bilden also eine Ausnahme zur catch-or-throw-Regel.
- Definiert man eigene Exception-Klassen, sollte man dies im Blick haben, auch wenn beide Arten von Exceptions nicht immer klar zu trennen sind.

Die Klasse `Error`

- Zusätzlich unterscheidet Java noch "schwere" Exceptions (oder: Fehler).
- Schwere Fehler modellieren hauptsächlich Probleme, die in der virtuellen Maschine ausgelöst wurden.
- Beispiel: `OutOfMemoryError` tritt auf, wenn die JVM ein neues Objekt allozieren soll, aber keinen Speicher mehr zur Verfügung hat.
- Fehler der Klasse `Error` oder deren Unterklassen müssen ebenfalls nicht behandelt oder weitergegeben werden.
- Es wird empfohlen, dies auch tatsächlich nicht zu tun.

Überblick

Die `try-catch`-Anweisung

- Das Behandeln von Exceptions erfolgt mit der **`try-catch`**-Anweisung:

```
try
{
  <Anweisung>
  ...
}
catch (<ExceptionTyp> e)
{
  <Anweisung>
  ...
}
```

Die `try-catch`-Anweisung

- Der **`try`**-Block enthält eine oder mehrere Anweisungen, bei deren Ausführung eine Exception vom Typ `ExceptionTyp` auftreten kann (dabei wird dann ein Objekt vom Typ `ExceptionTyp` erzeugt).
- Tritt bei einer der Anweisungen eine entsprechende Exception auf, wird die normale Programmausführung unterbrochen.
- Der Programmablauf fährt mit der ersten Anweisung im **`catch`**-Block fort.
- Im **`catch`**-Block kann Code untergebracht werden, der eine angemessene Reaktion auf die Exception realisiert.
- Nach einer **`try-catch`**-Anweisung wird mit der ersten Anweisung nach dem **`catch`**-Block normal fortgefahren. Dies geschieht entweder wenn das Ende des **`try`**-Blocks erreicht wurde (und dabei keine Exception aufgetreten ist) oder wenn das Ende des **`catch`**-Blocks nach einer Exception erreicht wurde.

Beispiel: Behandlung von Ausnahmen

- Im folgenden Beispiel soll der String `"40"` aus verschiedenen Zahlensystemen in ein **`int`** konvertiert und dann als Dezimalzahl ausgegeben werden.
- Dazu verwenden wir die statische Methode `Integer.parseInt(String, int)`, die einen String `s` und ein **`int`** `i` (Basis des Zahlensystems) als Parameter erwartet.

Beispiel: keine Ausnahme-Behandlung

```
public class KeineBehandlung
{
    public static void main(String[] args)
    {
        int i = 0;

        for(int base=10; base >=2; --base)
        {
            i = Integer.parseInt("40", base);
            System.out.println("40 zur Basis "+base+" = "+i);
        }
    }
}
```


Beispiel: keine Ausnahme-Behandlung

Bei Ausführung stürzt das Programm mit folgender Ausgabe ab:

```
40 zur Basis 10 = 40
40 zur Basis 9 = 36
40 zur Basis 8 = 32
40 zur Basis 7 = 28
40 zur Basis 6 = 24
40 zur Basis 5 = 20
Exception in thread "main" java.lang.NumberFormatException:
For input string: "40"
    at java.lang.NumberFormatException.forInputString
(NumberFormatException.java:48)
    at java.lang.Integer.parseInt(Integer.java:447)
    at de.lmu.ifi.dbs.info2.ss07.skript.exceptions.KeineBehandlung.main
(KeineBehandlung.java:21)
```

Beispiel: Ausnahme-Behandlung mit `try-catch`

```
public class MitBehandlung
{
    public static void main(String[] args)
    {
        int i = 0;
        int base = 0;

        try
        {
            for(base=10; base >=2; --base)
            {
                i = Integer.parseInt("40", base);
                System.out.println("40 zur Basis "+base+" = "+i);
            }
        }
        catch (NumberFormatException e)
        {
            System.out.println("40 ist keine Zahl zur Basis "+base);
        }
    }
}
```


Beispiel: Ausnahme-Behandlung mit `try-catch`

Zwar ist 40 immer noch keine Zahl zur Basis 4, aber das Programm fängt diesen Fehler nun ab und gibt eine geeignete Fehlermeldung aus:

```
40 zur Basis 10 = 40
40 zur Basis 9 = 36
40 zur Basis 8 = 32
40 zur Basis 7 = 28
40 zur Basis 6 = 24
40 zur Basis 5 = 20
40 ist keine Zahl zur Basis 4
```

Der `catch`-Block

- Im Kopf der **`catch`**-Klausel wird die Art des abzufangenen Fehlers definiert (in unserem Beispiel `NumberFormatException`).
- Das Objekt `e` vom Typ `NumberFormatException`, das im **`try`**-Block erzeugt wurde, wird dem **`catch`**-Block übergeben.
- Da alle Exception-Klassen von der Klasse `Throwable` abgeleitet sind, ist `e` auch vom Typ `Throwable` und erbt alle Methoden aus dieser Vaterklasse.

Wichtige Methoden der Klasse `Throwable`

- Die Klasse `Throwable` definiert wichtige Methoden, die bei der Behandlung von Exceptions sehr hilfreich sind, z.B.
  - Die Methode `getMessage` liefert einen Fehlertext.
  - Die Methode `printStackTrace` druckt einen Auszug aus dem aktuellen Laufzeit-Keller.
- Wird eine Laufzeit-Exception nicht behandelt, ruft die JRE automatisch die Methode `printStackTrace` auf, bevor es das Programm beendet.

Fortfahren nach Fehlern

- Die Reaktion auf eine Exception muss nicht zwangsweise darin bestehen, das Programm zu beenden.
- Stattdessen kann versucht werden, den Fehler zu beheben oder zu umgehen um dann mit dem Programm fortzufahren.
- Im obigen Programm führt die Behandlung der Exception zum Programmende, da nach dem **`catch`**-Block keine Anweisungen mehr stehen.
- Soll nach jedem Fehler die Konvertierung mit der nächsten Basis fortgesetzt werden, muss die **`try-catch`**-Anweisung in die **`for`**-Schleife platziert werden.
- Ob es sinnvoller ist, nach einem Fehler abzubrechen oder fortzufahren, hängt von der Art des Fehlers ab.

Beispiel: Fortfahren nach Fehlern

```
public class NachFehlerFortsetzen
{
    public static void main(String[] args)
    {
        int i = 0;

        for(int base=10; base >=2; --base)
        {
            try
            {
                i = Integer.parseInt("40", base);
                System.out.println("40 zur Basis "+base+" = "+i);
            }
            catch (NumberFormatException e)
            {
                System.out.println("40 ist keine Zahl zur Basis "+base);
            }
        }
    }
}
```

Beispiel: Fortfahren nach Fehlern

Die Ausführung des Programms ergibt nun folgende Ausgabe:

```
40 zur Basis 10 = 40
40 zur Basis 9 = 36
40 zur Basis 8 = 32
40 zur Basis 7 = 28
40 zur Basis 6 = 24
40 zur Basis 5 = 20
40 ist keine Zahl zur Basis 4
40 ist keine Zahl zur Basis 3
40 ist keine Zahl zur Basis 2
```


Mehrere `catch`-Klauseln

- Innerhalb eines **`try`**-Blocks können natürlich auch mehrere Exceptions (unterschiedlichen Typs) auftreten.
- Daher ist es möglich, zu einem **`try`**-Block mehrere **`catch`**-Klauseln bzw. -Blöcke anzugeben.
- Jede **`catch`**-Klausel fängt den Fehler ab, die zum Typ des angegebenen Fehlerobjekts zuweisungskompatibel ist, d.h. alle Fehler der angegebenen Exception-Klasse und all ihrer Unterklassen.
- Die einzelnen **`catch`**-Klauseln werden in der Reihenfolge ihres Auftretens abgearbeitet.

Die `finally`-Klausel

- Die **`try-catch`**-Anweisung enthält einen optionalen Bestandteil, den wir noch nicht erläutert haben: die sogenannte **`finally`**-Klausel.
- Im Block der **`finally`**-Klausel kann Code plaziert werden, der immer dann ausgeführt wird, wenn die zugehörige **`try`**-Klausel betreten wurde.
- Dieser Code in der **`finally`**-Klausel wird grundsätzlich ausgeführt, *unabhängig* davon, welches Ereignis dazu führte, dass die **`try`**-Klausel verlassen wurde.
- Die **`finally`**-Klausel ist der ideale Ort für Aufräumarbeiten wie z.B. Dateien zu speichern/schließen, Ressourcen freizugeben, etc.

Beispiel: Die `finally`-Klausel

```
public class NachFehlerFortsetzenPlusFinally
{
    public static void main(String[] args)
    {
        int i = 0;

        for(int base=10; base >=2; --base)
        {
            try
            {
                i = Integer.parseInt("40", base);
                System.out.println("40 zur Basis "+base+" = "+i);
            }
            catch (NumberFormatException e)
            {
                System.out.println("40 ist keine Zahl zur Basis "+base);
            }
            finally
            {
                System.out.println("Ein bloedes Beispiel!");
            }
        }
    }
}
```

Beispiel: Fortfahren nach Fehlern

Die Ausführung des Programms ergibt nun folgende Ausgabe:

```
40 zur Basis 10 = 40
Ein bloedes Beispiel.
40 zur Basis 9 = 36
Ein bloedes Beispiel.
40 zur Basis 8 = 32
Ein bloedes Beispiel.
40 zur Basis 7 = 28
Ein bloedes Beispiel.
40 zur Basis 6 = 24
Ein bloedes Beispiel.
40 zur Basis 5 = 20
Ein bloedes Beispiel.
40 ist keine Zahl zur Basis 4
Ein bloedes Beispiel.
40 ist keine Zahl zur Basis 3
Ein bloedes Beispiel.
40 ist keine Zahl zur Basis 2
Ein bloedes Beispiel.
```


Überblick

Die `throws`-Klausel

- Anstelle einer **`try-catch`**-Anweisung können Exceptions auch weitergegeben werden.
- In diesem Fall muss die Methode, in der die Exception auftreten kann, gekennzeichnet werden.
- Dazu wird am Ende des Methodenkopfes das Schlüsselwort **`throws`** mit einer Liste aller Ausnahmen, die auftreten können, angehängt.
- Beispiel:

```
public static double kehrWert(int i) throws ArithmeticException
{
  return 1.0/i;
}
```

- Im Sinne der catch-or-throw-Regel müssen also alle Exceptions (Ausnahme: Unterklassen von `RuntimeException`) entweder behandelt oder weitergegeben werden.

Weitergabe von Ausnahmen

- Die **`throws`**-Klausel macht dem Compiler und auch allen Aufrufenden alle potentiellen Exceptions, die von der entsprechenden Methode verursacht werden können, bekannt.
- Dadurch kann sowohl der Compiler als auch der Aufrufende sicherstellen, dass bei jedem Aufruf dieser Methode wiederum die catch-or-throw-Regel eingehalten wird.

Behandlung und Weitergabe von Ausnahmen

Wie funktioniert die Behandlung/Weitergabe von Exceptions?

- Tritt eine Exception auf, wird zunächst nach einem umgebenden **`try-catch`**-Block gesucht, der den Fehler behandelt.
- Ist kein solcher **`try-catch`**-Block vorhanden, wird die Suche sukzessive in allen umgebenden Blöcken wiederholt.
- Ist dies auch erfolglos, wird der Fehler an den Aufrufer der Methode weitergegeben, wo wiederum blockweise weitergesucht wird.
- Enthalten alle aufrufenden Methoden inklusive der `main`-Methode keinen Code, um den Fehler zu behandeln, bricht das Programm mit einer Fehlermeldung ab.

Auslösen von Ausnahmen

- Ein wichtiger Aspekt bei der Weiterleitung von Exceptions ist, dass man auch Ausnahmen explizit auslösen kann.
- Exceptions werden mit der Anweisung
  `throw` `<ExceptionObject>;`
  ausgelöst.
- Objekte von Ausnahme-Typen können wie alle anderen Objekte erzeugt und verwendet werden, also z.B. auch Variablen (des entsprechenden Typs) zugewiesen werden.

Auslösen von Ausnahmen

- Die Behandlung einer ausgelösten Exception folgt den vorher skizzierten Regeln.
- Gemäß der catch-or-throw-Regel müssen diese Exceptions also entweder behandelt (mit einer **`try-catch`**-Anweisung) oder weitergeleitet (mit einer **`throws`**-Klausel) werden.

Auslösen von Ausnahmen: Beispiel

```
public static boolean istPrim(int n) throws IllegalArgumentException
{
  if(n<=0)
  {
    throw new IllegalArgumentException("Parameter > 0 erwartet. Gefunden: "+n);
  }
  if(n==1)
  {
    return false;
  }
  for(int i=2; i<=n/2; ++i)
  {
    if(n % i == 0)
    {
      return false;
    }
  }
  return true;
}
```