Robuste Programme durch Ausnahmebehandlung

Martin Wirsing

in Zusammenarbeit mit
Michael Barth, Philipp Meier und Gefei Zhang

12/04

Ziele

- Lernen robuste Programme zu schreiben
- Ausnahmen als Objekte verstehen lernen
- Bedeutung von Ausnahmen erkennen in der Signatur und im Rumpf einer Methode
- Lernen Ausnahmebehandlung durchzuführen

Robuste Programme

Definition: Ein Programm heißt ***robust***, wenn es für jede Eingabe eine wohldefinierte Ausgabe produziert.

Die Berechnung der Summe zweier ganzer Zahlen durch

```
int x = SimpleInput.readInt();
int y = SimpleInput.readInt();
while (x != 0)
      {     y = y + 1;
            x = x-1;
      }
```

terminiert nicht für x<0. Was tun?

Robuste Programme

Robust, aber undurchsichtig

- **Einführung von von zusätzlicher Fallunterscheidung und Fehlermeldung**

```
      int x = SimpleInput.readInt();
      if (x<0)System.out.println(„Falscher Eingabewert“);
      else
      {     int y = SimpleInput.readInt();
            while (x > 0)...
```

meldet Fehler durch Seiteneffekt.

Robuste Programme

- **Besser: Kontrolliertes Auslösen von Ausnahmen:**

```
int x = SimpleInput.readInt();
if (!x>=0)throw new IllegalArgumentException(
            "Negativer Eingabewert");
int y = SimpleInput.readInt();
while (x != 0)...
```

löst bei negativem x eine Ausnahme **aus („abrupte“ Terminierung!)**: :

```
   Exception in thread „main“
java.lang.IllegalArgumentExceptionError: Negativer Eingabewert
```


Fehlerarten

Ein Programm kann aus vielerlei Gründen fehlerhaft sein. Man unterscheidet u.a.:

- **Entwurfsfehler**: Der Entwurf entspricht nicht den Anforderungen.
- **Programmierfehler**: Das Programm erfüllt nicht die Spezifikation.

Fehlerarten

Programmierfehler können auch unterschiedlicher Art sein:

- **Syntaxfehler**: Die kontextfreie Syntax des Programms ist nicht korrekt.

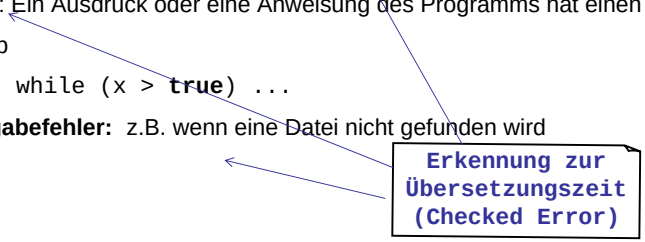
  Beispiel: `whill (x > = 0) ...`

  verbessere `while (x >= 0) ...`

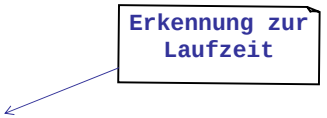
- **Typfehler**: Ein Ausdruck oder eine Anweisung des Programms hat einen falschen Typ

  Beispiel: `while (x > true) ...`

- **Ein/Ausgabefehler:** z.B. wenn eine Datei nicht gefunden wird



Fehlerarten



- **Laufzeitfehler:** Ein Fehler, der während der Ausführung eines korrekt übersetzten Programms auftritt, wie z.B. Division durch Null, fehlende Datei oder Netzwerkfehler.

Bemerkung: Syntaxfehler und Typfehler werden zur Übersetzungszeit erkannt. Laufzeitfehler werden in Java durch das Laufzeitsystem dem Benutzer gemeldet. Üblicherweise terminiert ein Java-Programm „unnormal“ beim Auftreten eines Laufzeitfehlers an, was zur Robustheit von Java-Programmen beiträgt.

Beispiel für Laufzeitfehler: Division durch 0

Beispiel: Die Klasse `Exc0`

```
/**
        Diese Klasse illustriert das Ausloesen einer Ausnahme.
        Bei der Division durch 0 wird eine ArithmeticException ausgeloest
*/
public class Exc0
{        /**
                    Die Methode main loest wegen der Division durch 0 eine
                    ArithmeticException aus:
         */
   public static void main(String args[])
   {    int d = 0;
        int a = 42/d;

        System.out.println(„d= „+d);
        System.out.println(„a= „+a);
   }
}
```

Division durch 0 löst arith. Ausnahme aus: Abrupte Terminierung

wird nicht ausgeführt wg abrupter Terminierung

Aufrufkeller enthält nur Exc0.main

Java-Ausgabe:

```
> java Exc0
Exception in thread „main“ java.lang.ArithmeticException: / by zero
       at Exc0.main(Exc0.java:19)
```

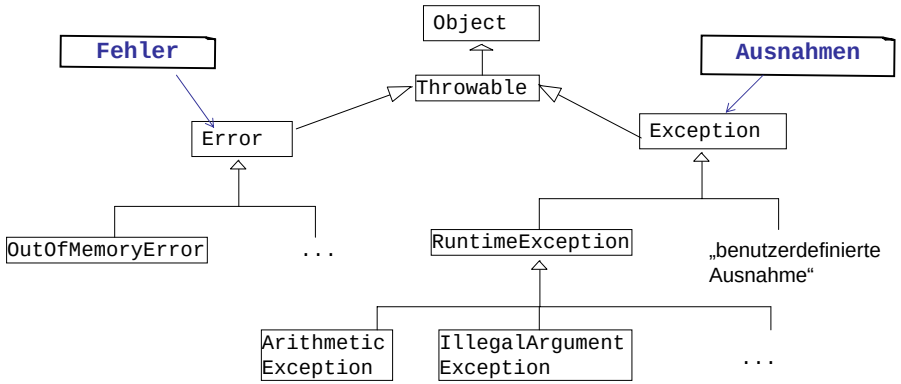

Ausnahmen und Fehler sind Objekte im Java

In Java sind auch (Laufzeit-)Fehler *Objekte*. Man unterscheidet zwischen

- Fehlern (Instanzen der Klasse `Error`) — schwerwiegend nicht abfangen
- Ausnahmen (Instanzen der Klasse `Exception`) — abfangen, durch Ausnahmebehandlung von Programmierer definierbar

Bemerkung: Ausnahmen können vom Programmierer im Programm durch Ausnahmebehandlung abgefangen werden (und sind vom Programmierer definierbar), Fehler deuten auf schwerwiegende Probleme hin und sollten nie behandelt werden. Ausnahmeobjekte werden vom Java-Laufzeitsystem automatisch erzeugt, wenn eine Fehlersituation auftritt.

Vererbungshierarchie der Fehlerklassen



`OutOfMemoryError` gibt an, daß der Speicher voll ist.
`ArithmeticException` gibt einen arithmetischen Fehler an, wie Division durch Null .

Throwable

`Throwable` ist die Standardklasse für Ausnahmen (Laufzeitfehler).

Konstruktoren: `Throwable()`, `Throwable(String message)` konstruieren Fehlerobjekte, eventuell mit einer speziellen Nachricht.

Ein Fehlerobjekt enthält:

- einen Schnappschuß des Aufrufkellers zum Zeitpunkt der Erzeugung des Objekts
- Ausnahmen (Instanzen der Klasse `Exception`)

weitere Methoden:

- `String getMessage()`: gibt die Fehlermeldung zurück
- `void printStackTrace()`: gibt den momentanen Stand des Aufrufkellers aus

Beispiel: Schnappschuß des Aufrufkellers beim Auslösen einer Ausnahme

Beispiel: Die Klasse `Exc1`

```
/**     Bei der Division durch 0 wird eine ArithmeticException ausgeloest.
        Anders als bei Exc0 wird die Ausnahme in der Methode subroutine
        ausgeloest, die in main aufgerufen wird.
*/
public class Exc1
{   public static void subroutine()
    {   int d = 0;
        int a = 42/d;

        System.out.println(„d =„ + d);
        System.out.println(„a =„ + a);
    }
    public static void main(String args{]))
    {   Excl.subroutine();        // Optionale zusaetzliche Angabe von Exc1
    }

}
```

Division durch 0 löst arith. Ausnahme aus: Abrupte Terminierung

wird nicht ausgeführt wg abrupter Terminierung

Java-Ausgabe:

```
> java Exc1
Exception in thread „main“ java.lang.ArithmeticException: / by zero
       * at Exc1.subroutine(Exc1.java:19)
         at Exc1.main(Exc1.java:31)
```

Aufrufkeller

Benutzerdefinierte Ausnahmeklassen

Ausnahmeklassen sind *Subklassen von Exception* und werden wie normale Klassen mit Attributen und Konstruktoren deklariert.

Bemerkung: Meist benötigt man nur die Methoden von `Throwable`, die es erlauben, den Aufrufkeller auszugeben und die Ausnahmenachricht zu lesen.

Beispiel

```
public class NegativeValueException extends Exception
{       String text;
        int value;

        public NegativeValueException(String text, int value)
        {       this.text = text;
                this.value = value;
        }
        public String toString()
        {       return "NegativeValueException[" + text + value + "]
-- Standardrueckgabe = ";
        }
}
```


Kontrolliertes Auslösen von Ausnahmesituationen

- **Beispiel:**

```
...
int x = SimpleInput.readInt();
if (!x>=0)throw new NegativeValueException(
            “Negativer Eingabewert“, x);

int y = SimpleInput.readInt();
while (x != 0)...
```

throw löst Ausnahme aus, wenn x<0

wird nach Ausführung von throw nicht mehr ausgeführt

Kontrolliertes Auslösen von Ausnahmesituationen

- Mittels der **„throw“**-Anweisung kann man eine kontrollierte Ausnahme auslösen:

  Syntax: **„throw“** *Expression*;

- Der Ausdruck muß eine Instanz einer Subklasse von `Throwable` (d.h. eine Ausnahme oder ein Fehlerobjekt) bezeichnen.
- Die Ausführung einer **„`throw`“**-Anweisung stoppt den Kontrollfluß des Programms und löst die von Expression definierte Ausnahme aus.
- Die nächste Anweisung des Programms wird nicht mehr ausgeführt.

Kontrolliertes Auslösen von Ausnahmesituationen

In Java sind kontrolliert ausgelöste Ausnahmen genauso wichtig wie normale Ergebniswerte.

Deshalb wird ihr Typ im Kopf einer Methode angegeben (mit Ausnahme von Subklassen von `Error` und `RuntimeException`). Dies geschieht mittels „**`throws`**“.

Der Kopf einer Methode erhält folgende Form:

```
<returntype> m (<params>) throws <Exceptionlist>
```

! Die Typen der „**`throw`**“-Anweisungen des Rumpfs **müssen** im Kopf der Methode angegeben werden.

Kontrolliertes Auslösen von Ausnahmesituationen

Beispiel: Summe

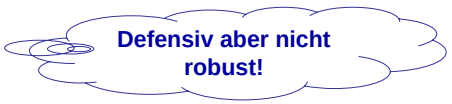
```
int sum(int x, int y) throws NegativeValueException
{   if (x<0)throw new NegativeValueException(
                    “Negativer Eingabewert fuer x = “, x);
    while (x != 0)
    {  y = y + 1;
       x = x-1;
    }
    return y;
}
```


Defensive und Robuste Programme

Definition: Man spricht von **defensiver Programmierung,** wenn eine Operation für alle Elemente des Definitionsbereichs normal, d.h. nicht abrupt, terminiert und für alle anderen Eingaben eine Ausnahme auslöst.

Beispiel: Summe

```
int sum(int x, int y) throws NegativeValueException
{   if (x<0)throw new NegativeValueException(
                    “Negativer Eingabewert fuer x = “, x);
    while (x != 0)
    {  y = y + 1;
       x = x-1;
    }
    return y;
}
```



Definition: Ein Programm heißt ***robust***, wenn es für jede Eingabe eine wohldefinierte Ausgabe produziert, d.h. wenn es für jede Eingabe normal terminiert.

Abfangen von Ausnahmen

Ausnahmebehandlung geschieht in Java mit Hilfe der „**`try`**“-Anweisung, die folgende Grundform hat:

```
try {
       // Block fuer „normalen“ Code
}
catch (Exception1 e) {
       // Ausnahmebehandlung fuer Ausnahmen vom Typ Exception1
}
catch (Exception2 e) {
       // Ausnahmebehandlung fuer Ausnahmen vom Typ Exception2
}
finally {
       // Code, der in jedem Fall nach normalem Ende und nach
       // Ausnahmebehandlung ausgefuehrt werden soll.
}
```

Programm terminiert NICHT „anormal“, sondern der Fehler wird abgefangen, das Programm arbeitet normal weiter

Informelle Semantik

- In **`try`** wird der normale Code ausgeführt.
- Tritt eine Ausnahmesituation auf, so wird eine Ausnahme ausgelöst („**`throw`**“), die je nach Typ von einem der beiden Ausnahmebehandler („Handler“) abgefangen („**`catch`**“) wird.
- Falls die Handler nicht den passenden Typ haben, wird im umfassenden Block nach einem Handler gesucht.
- Falls kein benutzerdefinierter Handler gefunden wird, wird eine Ausnahme ausgelöst, die zu **„**abrupter**“** Terminierung führt.
- Das „**`finally`**“-Konstrukt ist optional; darin stehender Code wird auf jeden Fall ausgeführt und zwar nach dem normalen Ende bzw. Nach Ende der Ausnahmebehandlung.
- Mindestens ein **`catch`**- oder **`finally`**-Block muß vorkommen.

Beispiel: Abfangen von Ausnahmen

Die Beispielklasse Exc2 zeigt, wie die Ausnahme bei Division durch 0 abgefangen werden kann. Das Programm arbeitet nach der **`try`**-Anwendung „normal“ weiter und gibt „Hurra!“ auf dem Bildschirm aus.

```
public class Exc2
{       public static void subroutine()
        {       try
                {       int d = 0;
                        int a = 42/d;
                }
                catch (ArithmeticException e)
                {       System.out.println(„division by zero“);
                }
                System.out.println(„Hurra!“);
        }
        public static void main(String args[])
        {
                Exc2.subroutine();
        }
}
```

Robustes Programm durch Ausnahme-behandlung!

Division durch 0 löst arith. Ausnahme aus

Nach Abfangen der arithm. Ausnahme durch `catch` arbeitet das Programm normal weiter, so als ob der Fehler nie vorgekommen wäre!!

Beispiel für die Wirkung von „`finally`“

Die Klasse Exc3 löst ähnlich wie `Exc1` eine `ArithmeticException` aus, führt aber den Block von „**`finally`**“ aus, d.h. „Hallo!“ wird am Bildschirm ausgegeben. Da das Programm aber abrupt terminiert, wird „Hurra!“ **nicht** gedruckt..

```
public class Exc3
{       public static void subroutine()
        {       try
                {       int d = 0;
                        int a = 42/d;
                }
                finally
                {       System.out.println(„Hallo!“);
                }
                System.out.println(„Hurra!“);
        }

        public static void main(String args[])
        {       Exc3.subroutine();
        }
}
```

Nicht robust: abrupte Terminierung!

Division durch 0 löst arith. Ausnahme aus

„finally“ wird trotz abrupter Terminierung ausgeführt

wird nicht ausgeführt wg abrupter Terminierung

Beispiel für die Wirkung von „`catch`“ und „`finally`“

Die Klasse `Exc4` erweitert `Exc3` um ein Abfangen der Division durch 0. Deshalb wird sowohl „Hallo!“ als auch „Hurra!“ ausgegeben.

```
public class Exc4
{       public static void subroutine()
        {       try
                {       int d = 0;
                        int a = 42/d;
                }
                catch (ArithmeticException e)
                {       System.out.println(„division by zero“);
                }
                finally
                {       System.out.println(„Hallo!“);
                }
                System.out.println(„Hurra!“);
        }
        public static void main(String args[])
        {       subroutine();
        }
}
```

Robustes Programm!

Division durch 0 löst arith. Ausnahme aus

„catch“ fängt die Ausnahme ab

„finally“ wird außerdem ausgeführt

Robuste Summenmethode

Beispiel: Summe

```
int sum(int x, int y)
{   try
    {  if (x<0)throw new NegativeValueException(
                    "Negativer Eingabewert fuer x = ", x);
       while (x != 0)
       {     y = y + 1;
             x = x-1;
       }
       return y;
    }
    catch (NegativeValueException e)
    {  System.out.println(e.toString()); return 0;
    }
}
```

Kein „throws“, da die Ausnahme abgefangen wird

Robuste Summe terminiert normal: Der Fehler wird ausgegeben, dann arbeitet das umfassende Programm normal weiter.

Jeder Zweig von `try` braucht `return` Anweisung

SimpleInput ist robust

Beispiel: SimpleInput

```
import java.io.*;

class SimpleInput
{      ...
   static String readString()
   {   BufferedReader input =
        new BufferedReader(new InputStreamReader(System.in));
       try
       {      return input.readLine();
       }
       catch (IOException exception)
       {      System.out.println("Fehler in der Eingabe.");
           return "";
       }
   }
```

Klasse mit Operationen zum Verarbeiten von Textströmen

Konvertiert byte-Strom in char-Strom

Liest Datenstrom von bytes von Konsole

Liest nächste Textzeile aus Datenstrom

Abfangen von IO-Fehlern

Jeder Zweig von `try` braucht `return` Anweisung

Vordefinierte Ausnahmeklasse

SimpleInput

Fortsetzung

```
      ...
   static int readInt()
   {   String intString = readString();
       try
       {      return Integer.parseInt(intString);
       }
       catch (NumberFormatException exception)
       {      System.out.println("Keine Zahl " +
                              "-- Rückgabewert 0");
              return 0;
       }
   }
}
```

Liest String von Konsole

Konvertiert String in ganze Zahl

Vordefinierte Ausnahmeklasse

Abfangen von IO-Fehlern

Jeder Zweig von `try` braucht `return` Anweisung

Auslösen von Ausnahmesituationen

Bemerkung

Wenn man eine Methode aufruft, die einen Ausnahmetyp in der **`throws`**-Klausel (im Kopf) enthält, gibt es drei Möglichkeiten:

- Man fängt die Ausnahme mit **`catch`** ab und behandelt sie, um ein normales Ergebnis zu erhalten.
- Man fängt die Ausnahme mit **`catch`** ab und bildet sie auf eine Ausnahme (aus dem Kopf) der geeigneten Methode ab.
- Man deklariert die Ausnahme im Kopf der eigenen Methode.

Zusammenfassung

- Ausnahmen sind Objekte.
- Methoden können Ausnahmen auslösen und dann „abrupt“ terminieren.
- Ausnahmen können mit „**`catch`**“ behandelt werden, damit sie normal terminieren.
- Werden Ausnahmen nicht behandelt, müssen sie im Kopf der Methode erscheinen.
- Defensive Programme lösen für undefinierte Situationen Ausnahmen aus. Robuste Programme terminieren immer - und zwar mit einem wohldefinierten Ergebnis.