Robuste Programme durch Ausnahmebehandlung

Martin Wirsing

in Zusammenarbeit mit
Matthias Hölzl, Piotr Kosiuczenko, Dirk Pattinson

05/03

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

- **Einführung von Zusicherungen**

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

Nicht robust wg abrupter Terminierung

löst bei negativem x einen **Fehler aus („abrupte" Terminierung!)**:

```
Exception in thread „main" java.lang.AssertionError
```

- **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)...
```

Robust, aber undurchsichtig

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)...
```

Auch kein robustes Programm!

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

Erkennung zur Übersetzungszeit (Checked Error)

Fehlerarten

Erkennung zur Laufzeit

- **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); // nicht gedruckt
        System.out.println(„a= „+a); // wegen der vorherigen Ausnahme
   }
}
```

Aufrufkeller enthält nur Exc0.main

Java-Ausgabe:

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

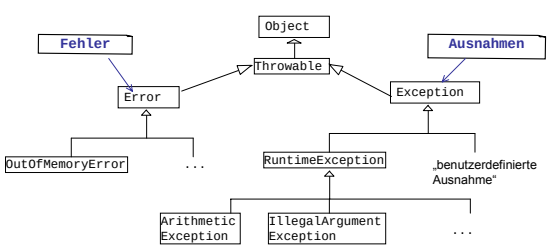

Ausnahmen und Fehler sind Objekte im Java

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
    }
}
```

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;
        public NegativeValueException(String text)
        {
                this.text = text;
        }                       }
        public String toString()
        {
                return „NegativeValueException[„ + text + „]“;
        }
}
```


Auslösen von Ausnahmesituationen

- **Beispiel:**

throw löst Ausnahme aus, wenn x<0

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

wird nach Ausführung von throw nicht mehr ausgeführt

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.

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.

Auslösen von Ausnahmesituationen

Beispiel: Summe

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

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 die wird eine Ausnahme ausgelöst, die zu „unnormaler“ 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 anormal 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();
        }
}
```


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();
        }
}
```


Auslösen von Ausnahmesituationen

Fortsetzung

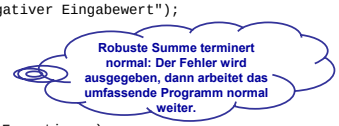
Beispiel Robuste Implementierung der Fakultät

```
        /**
                Diese Methode testet FacExc. Moegliche Ausnahmen werden in
                „try“-Anweisungen eingeschlossen
        */
        public static main(String[] args)
        {
           for(int i = -2; i < 5; i++ >
          {     try
                {
                   System.out.println(„fac(„ + i + “) = „ + fac(i));
                }
                catch (NegativeValueException e)
                {
                   System.out.println(e);
                }
           }
        }
}
```

Robuste Summenmethode

Beispiel: Summe

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



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.
- Robuste Programme terminieren immer - und zwar mit einem wohldefinierten Ergebnis.