

Robuste Programme durch Ausnahmebehandlung

Prof. Dr. Christian Böhm

in Zusammenarbeit mit
Gefei Zhang

<http://www.dbs.ifi.lmu.de/Lehre/NFInfoSW/>

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)...
```



**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.

Beispiel Entwurfsfehler:

- **Anforderung:** ... Ein Kunde kann **mehrere** Bankkonten besitzen. ...
- **Fehlerhafter Entwurf:**



Fehlerarten

Programmierfehler können auch unterschiedlicher Art sein:

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

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

Erkennung zur
Übersetzungszeit
(Checked Error)

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

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

- **Ein/Ausgabefehler:** z.B. wenn eine Klassendatei nicht gefunden wird.
- **Logischer Fehler:** Das Programm erfüllt nicht die (Entwurfs-) Spezifikation.

Beispiel: Falsche Implementierung einer Sortierfunktion
oder von Multiplizitäten in einem Klassendiagramms.

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 („abrupte Terminierung“).

Beispiel für Laufzeitfehler: Division durch 0

Beispiel: Die Klasse `Exc0`

```
/**
 * Diese Klasse illustriert das Auslösen einer Ausnahme.
 * Bei der Division durch 0 wird eine ArithmeticException ausgelöst
 */
public class Exc0
{
    /**
     * Die Methode main löst 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`)

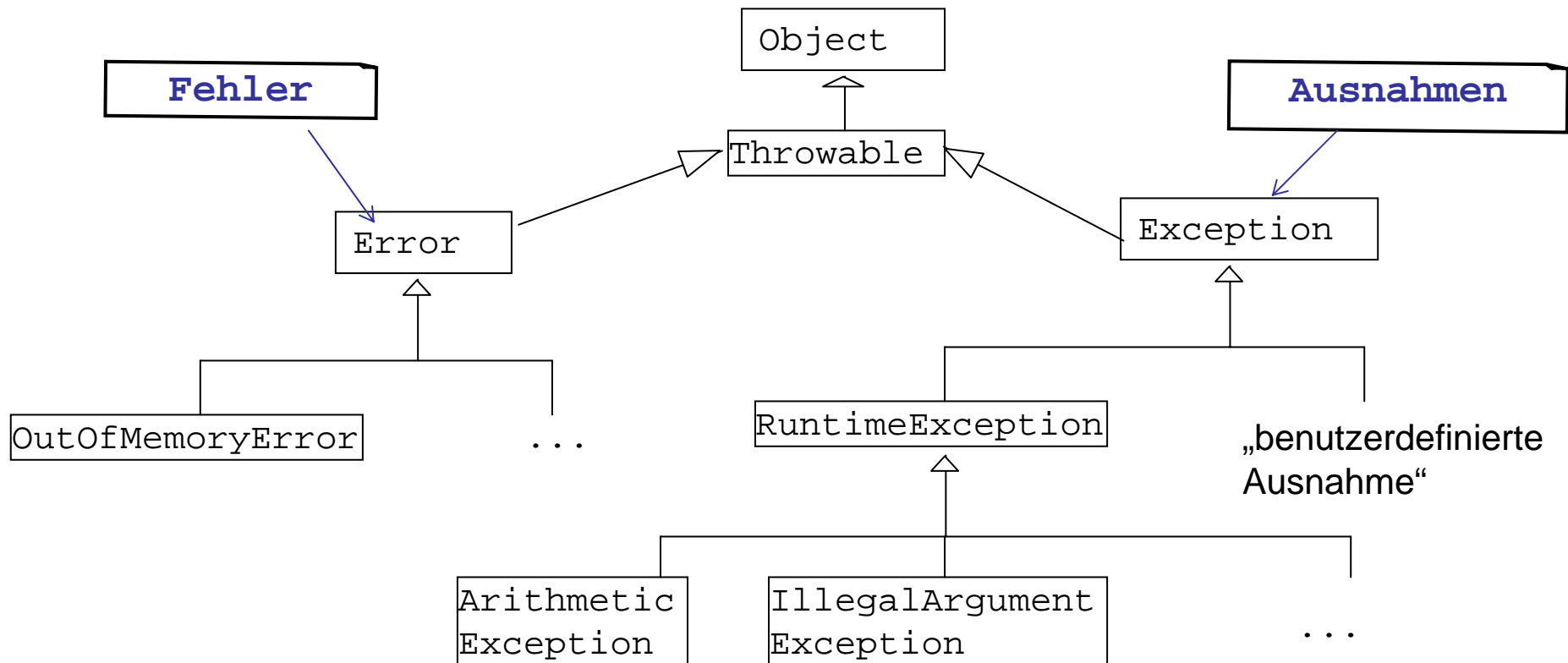
schwerwiegend
nicht abfangen

- 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 Excl

```
/**      Bei der Division durch 0 wird eine ArithmeticException ausgelöst.
        Anders als bei Exc0 wird die Ausnahme in der Methode subroutine
        ausgelöst, die in main aufgerufen wird.
 */
public class Excl
{   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 zusätzliche Angabe von Excl
    }
}
```

Division durch 0 löst
arith. Ausnahme aus:
Abrupte Terminierung

wird nicht ausgeführt wg
abrupter Terminierung

Java-Ausgabe:

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



**Defensiv aber nicht
robust!**

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();
    }
}
```

Division durch 0 löst
arith. Ausnahme aus

„catch“ fängt die
Ausnahme ab

„finally“ wird außerdem
ausgeführt

Robustes
Programm!

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

Abfan-
gen 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;
    }
}
}
```

Abfangen von IO-Fehlern

Liest String von Konsole

Konvertiert String in ganze Zahl

Vordefinierte Ausnahmeklasse

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.