Kapitel 11

Fehler und Ausnahmen

Ziele

- Fehlerquellen in Programmen und bei der Programmausführung verstehen
- Das Java-Konzept der Ausnahmen als Objekte kennenlernen
- Ausnahmen auslösen können
- Ausnahmen behandeln können

Fehlerhafte Programme

Ein Programm kann aus vielen Gründen unerwünschtes Verhalten zeigen.

- Logische Fehler beim Entwurf, d.h. bei der Modellierung des Problems: Entwurf entspricht nicht den Anforderungen.
- Fehler bei der Umsetzung des Entwurfs in ein Programm.
  - Programm entspricht nicht dem Entwurf (logischer Programmierfehler),
  - Algorithmen falsch implementiert (logischer Programmierfehler),
  - Programm bricht ab wegen vermeidbarem Laufzeitfehler; z.B. Division durch 0, falscher Arrayzugriff, …
- Ungenügender Umgang mit außergewöhnlichen Situationen, die nicht vermieden werden können.
  - Fehlerhafte Benutzereingaben, z.B. Datum 31.11.2010
  - Fehlerhafter Dateizugriff, Abbruch der Netzwerkverbindung, …

Robuste Programme

- Wir beschäftigen uns hier nicht damit, wie man logische Fehler in einem Programm finden kann.
- Wir konzentrieren uns hier auf das Erkennen, Vermeiden und Behandeln von Ausnahmesituationen, die zu Laufzeitfehlern führen können.
- Unser Ziel ist es robuste Programme zu schreiben.

Definition:

Ein Programm heißt ***robust***, falls es auch beim Auftreten von Fehlern sinnvoll reagiert.

Ausnahmesituationen erkennen (1)

Beispiel: Berechnung der Fakultät.

```
class MyClass {

   public static int fact(int n) {
        if (n == 0) return 1;
        else return n * fact(n-1);
   }
}
```

```
class Test {
   public static void main(String args[])  {
      int m = …;
      int k = MyClass.fact(m);
      System.out.println("Fakultät von " + m
+  " ist " + k);
   }
}
```

- Es kann zu Nichtterminierung kommen.
- Diese Ausnahmesituation wird in der Methode `fact` **nicht** erkannt.

Ausnahmesituationen erkennen (2)

Beispiel: Berechnung der Fakultät.

```
class MyClass {

   public static int fact_1(int n) {
        if (n < 0) return -1;
        else if (n == 0) return 1;
        else return n * fact(n-1);
   }
}
```

```
class Test {
   public static void main(String args[])  {
      int m = …;
      int k = MyClass.fact_1(m);
      System.out.println("Fakultät von " + m
+  " ist " + k);
   }
}
```

Eine Ausnahmesituation wird in der Methode `fact_1` zwar erkannt, aber nicht adäquat an den Aufrufer gemeldet.

Ausnahme auslösen

Beispiel: Berechnung der Fakultät.

```
class MyClass {

   public static int fact_2(int n) {
        if (n < 0) throw new
IllegalArgumentException("Eingabe
darf nicht kleiner als 0 sein.");
        if (n == 0) return 1;
        else return n * fact(n-1);
   }
}
```

```
class Test {
   public static void main(String args[])  {
      int m = …;
      int k = MyClass.fact_2(m);
      System.out.println("Fakultät von " + m
+  " ist " + k);
   }
}
```

- Eine Ausnahmesituation wird in der Methode `fact_2` erkannt und es wird eine Ausnahme ausgelöst („geworfen“).
- Die Ausnahme enthält eine individuelle Information, die die Fehlersituation beschreibt.
- Wird eine Ausnahme ausgelöst, dann werden die Methode und das Programm abgebrochen und die Fehlermeldung wird auf der Konsole gemeldet.
- Alternativ kann die Ausnahme auch **behandelt** werden (vgl. später).

Vermeiden von Ausnahmen

Beispiel: Berechnung der Fakultät.

```
class MyClass {

   public static int fact_2(int n) {
        if (n < 0) throw new
IllegalArgumentException("Eingabe
darf nicht kleiner als 0 sein.");
        if (n == 0) return 1;
        else return n * fact(n-1);
   }
}
```

```
class Test {
   public static void main(String args[])  {
      int m = …;
      if (m >= 0) {
         int k = MyClass.fact_2(m);
         System.out.println("Fakultät von " +
m +  " ist " + k);
      }
   }
}
```

- Die Ausnahmesituation wird hier vermieden, indem die `main`-Methode vor dem Aufruf der Methode `fact_2` testet, ob das Argument größer gleich 0 ist.
- Es kann (diesbezüglich) keine Ausnahme mehr ausgelöst werden.
- Die Methode `fact_2` beinhaltet jedoch weiterhin eine Ausnahmeerkennung mit Ausnahmeauslösung, da sie nicht sicher ist, ob sie korrekt aufgerufen wird („defensive“ Programmierung).

Fehler- und Ausnahmenklassen in Java

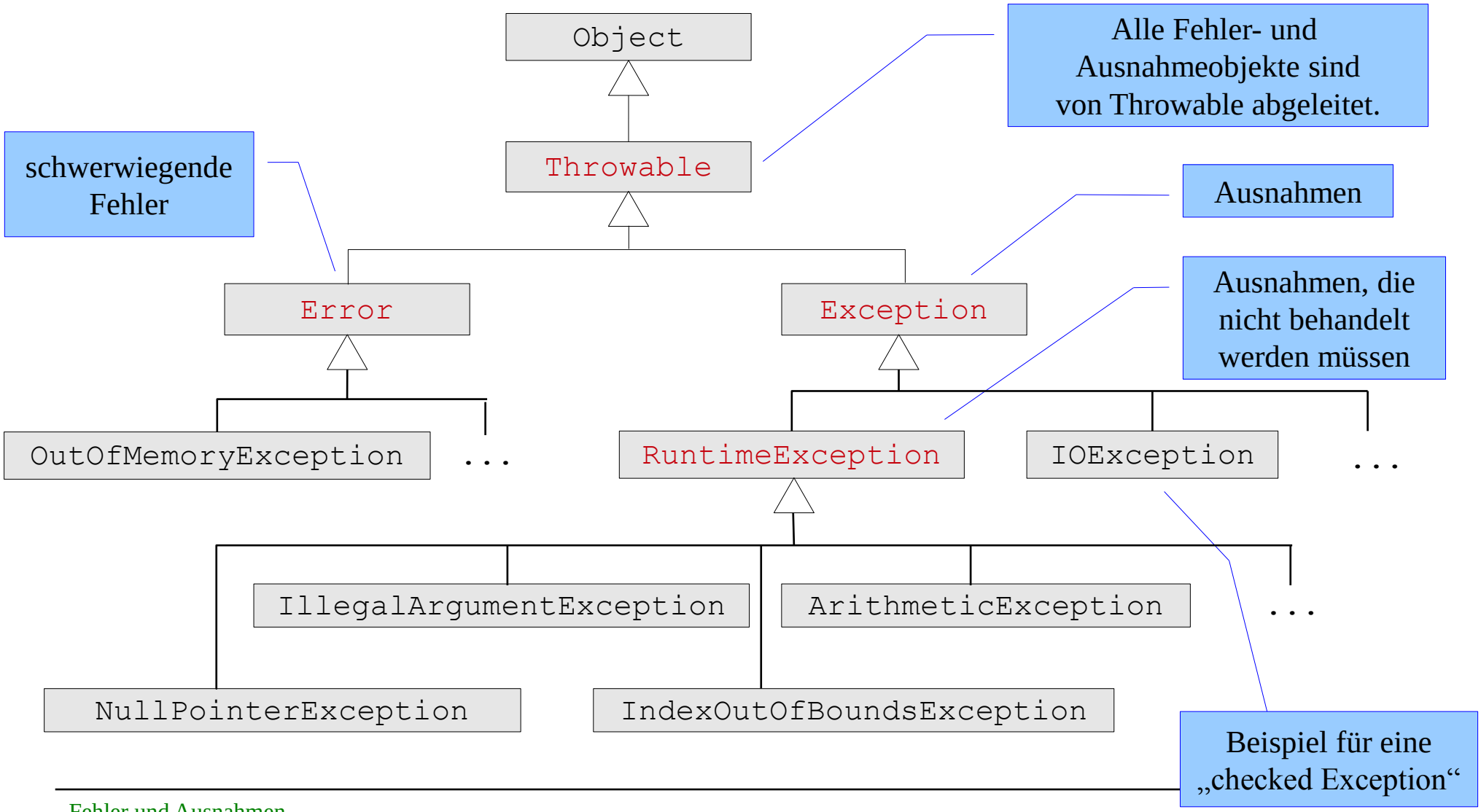
In Java unterscheidet man zwischen Fehlern und Ausnahmen, die beide durch **Objekte** repräsentiert werden.

- Fehler sind Instanzen der Klasse `Error`
- Ausnahmen sind Instanzen der Klasse `Exception`

Fehler deuten auf schwerwiegende Probleme der Umgebung hin und können nicht sinnvoll behandelt werden, z.B. `OutOfMemoryException`.

Ausnahmen können vom Programmierer im Programm durch Ausnahmebehandlung abgefangen werden.

Vererbungshierarchie der Fehlerklassen



Die Klasse `Error` und ihre direkten Subklassen

java.lang

Class Error

java.lang.Object
  └ java.lang.Throwable
    └ java.lang.Error

All Implemented Interfaces:

Serializable

Direct Known Subclasses:

AnnotationFormatError, AssertionError, AWTError, CoderMalfunctionError, FactoryConfigurationError, FactoryConfigurationError, IOError, LinkageError, ServiceConfigurationError, ThreadDeath, TransformerFactoryConfigurationError, VirtualMachineError

---

```
public class Error
extends Throwable
```

An `Error` is a subclass of `Throwable` that indicates serious problems that a reasonable application should not try to catch. Most such errors are abnormal conditions. The `ThreadDeath` error, though a "normal" condition, is also a subclass of `Error` because most applications should not try to catch it.

A method is not required to declare in its `throws` clause any subclasses of `Error` that might be thrown during the execution of the method but not caught, since these errors are abnormal conditions that should never occur.

Die Klasse `Exception` und ihre direkten Subklassen

java.lang

Class Exception

java.lang.Object
  └ java.lang.Throwable
    └ java.lang.Exception

All Implemented Interfaces:

Serializable

Direct Known Subclasses:

AclNotFoundException, ActivationException, AlreadyBoundException, ApplicationException, AWTException, BackingStoreException, BadAttributeValueExpException, BadBinaryOpValueExpException, BadLocationException, BadStringOperationException, BrokenBarrierException, CertificateException, ClassNotFoundException, CloneNotSupportedException, DataFormatException, DatatypeConfigurationException, DestroyFailedException, ExecutionException, ExpandVetoException, FontFormatException, GeneralSecurityException, GSSException, IllegalAccessException, IllegalClassFormatException, InstantiationException, InterruptedException, IntrospectionException, InvalidApplicationException, InvalidMidiDataException, InvalidPreferencesFormatException, InvalidTargetObjectTypeException, InvocationTargetException, IOException, JAXBException, JMException, KeySelectorException, LastOwnerException, LineUnavailableException, MarshalException, MidiUnavailableException, MimeTypeParseException, MimeTypeParseException, NamingException, NoninvertibleTransformException, NoSuchFieldException, NoSuchMethodException, NotBoundException, NotOwnerException, ParseException, ParserConfigurationException, PrinterException, PrintException, PrivilegedActionException, PropertyVetoException, RefreshFailedException, RemarshalException, RuntimeException, SAXException, ScriptException, ServerNotActiveException, SOAPException, SQLException, TimeoutException, TooManyListenersException, TransformerException, TransformException, UnmodifiableClassException, UnsupportedAudioFileException, UnsupportedCallbackException, UnsupportedFlavorException, UnsupportedLookAndFeelException, URIReferenceException, URISyntaxException, UserException, XAException, XMLParseException, XMLSignatureException, XMLStreamException, XPathException

Die Klasse `RuntimeException` und ihre direkten Subklassen

java.lang

Class RuntimeException

java.lang.Object
  └ java.lang.Throwable
    └ java.lang.Exception
      └ java.lang.RuntimeException

All Implemented Interfaces:

Serializable

Direct Known Subclasses:

AnnotationTypeMismatchException, ArithmeticException, ArrayStoreException, BufferOverflowException, BufferUnderflowException, CannotRedoException, CannotUndoException, ClassCastException, CMMException, ConcurrentModificationException, DataBindingException, DOMException, EmptyStackException, EnumConstantNotPresentException, EventException, IllegalArgumentException, IllegalMonitorStateException, IllegalPathStateException, IllegalStateException, ImagingOpException, IncompleteAnnotationException, IndexOutOfBoundsException, JMRuntimeException, LSException, MalformedParameterizedTypeException, MirroredTypeException, MirroredTypesException, MissingResourceException, NegativeArraySizeException, NoSuchElementException, NoSuchMechanismException, NullPointerException, ProfileDataException, ProviderException, RasterFormatException, RejectedExecutionException, SecurityException, SystemException, TypeConstraintException, TypeNotPresentException, UndeclaredThrowableException, UnknownAnnotationValueException, UnknownElementException, UnknownTypeException, UnmodifiableSetException, UnsupportedOperationException, WebServiceException

Die Klasse `Throwable`

- Ausnahme- und Fehler-Objekte enthalten Informationen über Ursprung und Ursache des Fehlers.
- Die Klasse `Throwable`, von der alle Fehlerklassen abgeleitet sind, verwaltet solche Informationen, z.B.:
  - eine **Nachricht** zur Beschreibung des aufgetretenen Fehlers
  - einen **Schnappschuss** des Aufrufstacks zum Zeitpunkt der Erzeugung des Objekts
- Nützliche Methoden in Throwable:
  - `String getMessage()`: gibt die Fehlermeldung zurück
  - `void printStackTrace()`: gibt den Aufrufstack des Fehlers aus

Auslösung einer RuntimeException und Ausgabe des Aufrufstacks

```
public class Div0 {
  /** Die Methode m loest wegen der Division durch 0
   * eine ArithmeticException aus:   */
  public static void m() {
    int d = 0;
    int a = 42 / d;
    System.out.println("d= " + d);
    System.out.println("a= " + a);
   }
  public static void main(String args[]) {
    this.m();
  }
}
```

Java-Ausgabe mit Aufrufstack:

```
Exception in thread "main" java.lang.ArithmeticException: / by zero
at Div0.m(Div0.java:6)
at Div0.main(Div0.java:11)
```

Der Aufrufstack enthält die Folge der Methodenaufrufe, die zum Fehler geführt haben.

Kontrolliertes Auslösen von Ausnahmen

- Mittels der **`throw`**-Anweisung kann man eine Ausnahme auslösen.
- **Syntax**:

```
throw exp;
```

- Der Ausdruck `exp` muss eine Instanz einer von `Throwable` abgeleiteten Klasse (d.h. eine Ausnahme oder ein Fehlerobjekt) bezeichnen.
- **Beispiel**:

```
throw new IllegalArgumentException("…");
```

- Die Ausführung einer **`throw`**-Anweisung stoppt den Kontrollfluss der Methode und löst die von `exp` definierte Ausnahme aus. Die nachfolgenden Anweisungen im Rumpf der Methode werden nicht mehr ausgeführt (wie bei `return`).
- Es kommt zu einem Abbruch des Programms, wenn die Ausnahme nicht in einer übergeordneten Methode abgefangen und behandelt wird.

Geprüfte Ausnahmen (Checked Exceptions)

- Geprüfte Ausnahmen sind in Java alle Instanzen der Klasse `Exception`, die nicht Objekte der Klasse `RuntimeException` sind.
- Gibt es in einem Methodenrumpf eine **`throw`**-Anweisung mit einer geprüften Ausnahme, dann **muss** das im Methodenkopf mit **`throws`** explizit deklariert werden.
- Geprüfte Ausnahmen **müssen** vom Aufrufer der Methode entweder behandelt werden oder wieder im Methodenkopf deklariert werden.
- Beispiele:

```
import java.io.IOException;
  …
  public void m() throws IOException {
    if (…) {
     throw new IOException();
    }
  }
  public void n() throws IOException {
    this.m();
  }
```

Man muss deklarieren, dass in dieser Methode die Ausnahme `IOException` auftreten kann.

Da die `IOException`, die beim Aufruf von `m()` auftreten kann, hier nicht behandelt wird, muss die Methode selbst wieder eine `throws`-Klausel deklarieren

Ungeprüfte Ausnahmen (Unchecked Exceptions)

- Ungeprüfte Ausnahmen sind genau die Instanzen von `RuntimeException`.
- Beispiele: `ArithmeticException, NullPointerException, …`
- Ungeprüfte Ausnahmen müssen nicht im Methodenkopf explizit deklariert werden (sie können es aber).
- Ungeprüfte Ausnahmen müssen nicht behandelt werden (sie können es aber).

Benutzerdefinierte Ausnahmeklassen

Mittels Vererbung kann man eigene Ausnahmeklassen definieren.

Beispiel:

- Klassen `BankKonto` und `SparKonto`. Es soll nicht möglich sein, ein `SparKonto` zu überziehen.
- Wir definieren dazu eine (checked) Exception, die beim Versuch das `SparKonto` zu überziehen, geworfen werden soll:

```
public class KontoUngedecktException extends Exception {
  private double abhebung;
  public KontoUngedecktException(String msg, double abhebung) {
    super(msg); // Konstruktor von Exception nimmt Nachricht
    this.abhebung = abhebung;
  }
  public double getAbhebung() {
    return abhebung;
  }
}
```

Auslösen einer benutzerdefinierten Ausnahme

```
public class BankKonto {
   …
   public void abheben(double x) throws KontoUngedecktException {
      kontoStand = kontoStand - x;
   }
}

public class SparKonto extends BankKonto {
   …
   public void abheben(double x) throws KontoUngedecktException {
      if (getKontoStand() < x) {
         throw new KontoUngedecktException("Sparkonten dürfen nicht überzogen werden.", x);
      }
      super.abheben(x);
   }
}
```

Behandlung von Ausnahmen

Ausnahmebehandlung geschieht in Java mit Hilfe der **try**-Anweisung. Damit können Ausnahmen **abgefangen** werden.

```
try {
   // Block fuer „normalen“ Code
} catch (Exception1 e) {
   // Ausnahmebehandlung fuer Ausnahmen vom Typ Exception1
} catch (Exception2 e) {
   // Ausnahmebehandlung fuer Ausnahmen vom Typ Exception2
}
```

- Zunächst wird der **try**-Block normal ausgeführt.
- Tritt im **try**-Block *keine* Ausnahmesituation auf, so werden die beiden Blöcke zur Ausnahmebehandlung ignoriert.
- Tritt im **try**-Block eine Ausnahmesituation auf, so wird die Berechnung dieses Blocks abgebrochen.
  - Ist die Ausnahme vom Typ `Exception1` oder `Exception2`, so wird der Block nach dem jeweiligen **catch** ausgeführt.
  - Ansonsten ist die Ausnahme unbehandelt.

Behandlung von Ausnahmen: Beispiel Konto

```
public static void main(String[] args) {

   SparKonto konto = new SparKonto(5, 1); // 5 Euro, 1% Zinsen

   String einleseBetrag = JOptionPane.showInputDialog("Betrag zum Abheben?");
   double betrag = Double.parseDouble(einleseBetrag);

   try {
       konto.abheben(betrag);
   } catch (KontoUngedecktException e) {
       System.out.println(e.getMessage());
       System.out.println("Der Abhebungsbetrag " + e.getAbhebung() + " war zu hoch. ");
   }
}
```

Behandlung von Ausnahmen: finally

Manchmal möchte man nach der Ausführungs eines **try**-Blocks bestimmte Anweisungen ausführen, egal ob eine Ausnahme aufgetreten ist.

- Beispiel: Schließen einer im **try**-Block geöffneten Datei.
- Das kann man mit einem **finally**-Block erreichen, der in jedem Fall nach dem **try**-Block und der Ausnahmebehandlung ausgeführt wird.

```
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.
}
```

Beispiel für `finally`

Ablauf in einem Geldautomaten:

```
public static void main(String[] args) {

   SparKonto konto = new SparKonto(5, 1); // 5 Euro, 1% Zinsen

   String einleseBetrag = JOptionPane.showInputDialog("Betrag zum Abheben?");
   double betrag = Double.parseDouble(einleseBetrag);

   try {
       konto.abheben(betrag);
   } catch (KontoUngedecktException e) {
       System.out.println(e.getMessage());
       System.out.println("Der Abhebungsbetrag " + e.getAbhebung() + " war zu hoch. ");
   } finally {
       System.out.println("Bitte entnehmen Sie ihre Karte.");
   }
```

Ausnahmebehandlung bei fehlerhafter GUI-Eingabe (1)

```
public class ExceptionTestFrame extends JFrame implements
ActionListener {

  private JButton testButton;
  private JTextArea ausgabeBereich;

  public ExceptionTestFrame() {
    ...
    this.testButton.addActionListener(this);
  }

  public void actionPerformed(ActionEvent e) {
    Object source = e.getSource();
    if (source == this.testButton) {
      this.test();
    }
  }
```

Ausnahmebehandlung bei fehlerhafter GUI-Eingabe (2)

```
private void test() {
  int wert = 0;
  boolean inputOk = false;
  while (!inputOk) {
    String einleseWert = JOptionPane.showInputDialog("Wert?");
    try {
      wert = Integer.parseInt(einleseWert);
      inputOk = true;
    } catch (NumberFormatException e) {
      this.ausgabeBereich.setText("Falsche Eingabe: Kein Integer!");
    }
  }//Ende while
  this.ausgabeBereich.setText("Eingabe war " + wert);
}//Ende Methode test
}//Ende Klasse ExceptionTestFrame
```

Beispiel: Lesen von der Standardeingabe (Konsole)

Eine robuste Methode zum Einlesen einer Zeile von der Konsole:

```
public static String readString() {

  BufferedReader in = new BufferedReader(
                              new InputStreamReader(System.in));

  while (true) {

    try {

      return in.readLine();

    } catch (IOException e) {
      System.out.println("Fehler beim Einlesen: " + e.getMessage());
      System.out.println("Versuchen Sie es nochmal!");
    }

  }
}
```

Klasse mit Operationen zur Verarbeitung von Textströmen

Datenstrom von Bytes von der Konsole

Konvertiert `byte`-Strom in `char`-Strom

Liest nächste Zeile aus Eingabestrom

Bei einem IO-Fehler in `in.readLine()` kommt die **`return`**-Anweisung nicht zur Ausführung. Es wird stattdessen dieser Block zur Fehlerbehandlung ausgeführt und dann wird mit der `while`-Schleife weitergemacht (d.h. die Eingabe wiederholt).

Zusammenfassung

- Ausnahmen werden in Java durch Objekte dargestellt.
- Methoden können Ausnahmen auslösen implizit durch einen Laufzeitfehler oder explizit mit **`throw`** und damit „abrupt“ terminieren.
- Ausnahmen können mit **`catch`** behandelt werden, so dass sie nicht zu einem Abbruch des Programms führen.
- Wir unterscheiden geprüfte und ungeprüfte Ausnahmen.
- Geprüfte Ausnahmen müssen abgefangen werden oder im Kopf der Methode wiederum deklariert werden.
- In jedem Fall ist es am Besten Ausnahmen zu vermeiden.
- Defensive Programme sehen auch für vermeidbare Ausmahmesituationen das Werfen von Ausnahmen vor (was dann hoffentlich nie nötig ist).