

4.5 Exceptions

- In der Abarbeitung eines Methodenaufrufs kann die Methode immer potentiell auf Probleme stoßen, mit denen sie selbst nicht umzugehen weiß.
- *Exceptions* geben einer Methode die Möglichkeit,
 - ◊ den Methodenaufruf in einem solchen Fall umgehend, aber dennoch kontrolliert zu beenden
 - ◊ und das Problem damit an die aufrufende Methode zu delegieren.
- *Idee dahinter*: Vielleicht weiß ja die aufrufende Methode besser mit dem Problem umzugehen.
→ Soll die sich eben damit herumschlagen.

Beispiel: Einfacher Taschenrechner

- Betrachte ein Programm zur Auswertung beliebig komplexer mathematischer Ausdrücke mit den vier Grundrechenarten und verschiedenen Arten von Klammern.

Beispiel: $3 + 2 * (6-4) / (7-5)$

- Eine interaktive Methode `readExpression` in diesem Programm sei dafür zuständig, einen solchen Ausdruck von der Tastatur einzulesen und den Wert des Ausdrucks auf dem Bildschirm zu präsentieren.
- Die Methode `readExpression` ruft dann zweckmäßigerweise eine andere, separate Methode `parseExpression` auf, die
 - ◇ diesen Ausdruck (z.B. als `String`-Objekt) als Parameter erhält,
 - ◇ den Wert des darin gespeicherten Ausdrucks berechnet und
 - ◇ das Ergebnis an `readExpression` zwecks Präsentation auf dem Bildschirm zurückreicht.

Fehlerbehandlung

- Der eingegebene mathematische **Ausdruck** kann auch **fehlerhaft** sein.
 - ◇ Öffnende und schließende Klammern passen im eingegebenen Ausdruck vielleicht nicht zusammen.
 - ◇ An irgendeiner Stelle wird in einem kleinen Teilausdruck des Gesamtausdrucks durch Null geteilt.
 - ◇ usw.
- Bei der Berechnung des Wertes des Ausdrucks in `parseExpression` fallen solche Fehler automatisch auf.
- Es ist also zweckmäßig, wenn die Suche nach solchen Fehlern nicht von `readExpression`, sondern quasi nebenher von `parseExpression` erledigt wird.

Nur:

- ◇ Was soll `parseExpression` mit einem gefundenen Fehler machen?
- ◇ Verschiedene Aufrufe könnten verschiedene Fehlerbehandlungen erfordern

Fehlerbehandlung

- Die Methode `parseExpression` ist ja eigentlich nur ein "blinder Rechenknecht" und im Grunde für die Behandlung von Benutzerfehlern inkompetent.
- Kompetent dafür ist eher die benutzerorientierte Methode `readExpression`.
- Zum Beispiel könnte `readExpression` dem Benutzer
 - ◊ eine informative Fehlermeldung (genaue Fehlerstelle, Art des Fehlers) geben,
 - ◊ ein Fenster zur unmittelbaren Nachkorrektur des Ausdrucks aufmachen oder sogar
 - ◊ konkrete Vorschläge zur Korrektur machen.
- Welche dieser Optionen in einem konkreten Anwendungskontext sinnvoll wäre, kann nur `readExpression`, nicht aber `parseExpression` wissen.

Fehlerbehandlung

- Die Methode `parseExpression` berechnet den Ausdruck und achtet dabei nebenher auf Fehler.
- Im Fehlerfalle stellt sie ihre weitere Arbeit ein und reicht eine Fehlerdiagnostik (genaue Fehlerstelle, Art des Fehlers o. ä.) zurück an `readExpression`.
- Die Methode `readExpression` behandelt nun den Fehler bspw. auf eine der auf der letzten Folie angedeuteten Arten.
- Erhält `readExpression` durch Korrekturen des Benutzers einen neuen, korrigierten Ausdruck, könnte `parseExpression` zum Beispiel damit erneut aufgerufen werden.
 - Bis der Benutzer es fertig bringt, den gewünschten Ausdruck korrekt hinzuschreiben (oder entnervt aufgibt).

Fehlerbehandlung in Java

- Bei der Programmierung von `readExpression` und `parseExpression` ist in den Quelltexten beider Methoden "vereinbart" worden, dass
 - ◊ `parseExpression` in gewissen Fällen **eine *Exception* wirft**,
 - ◊ die dann von `readExpression` **gefangen werden muss**.
- Wenn `parseExpression` auf einen Fehler im mathematischen Ausdruck stößt, dann
 - ◊ **wirft** `parseExpression` **eine Exception**,
 - ◊ was zugleich bedeutet, dass die Abarbeitung von `readExpression` sofort (und ohne Rückgabewert) beendet wird.
- Die aufrufende Methode `parseExpression` soll darauf mit einer (wie auch immer gearteten) Fehlerbehandlung reagieren.

Syntaktische Umsetzung

```
public double parseExpression ( String ausdrück )  
    throws Exception ←
```

hier wird vereinbart, daß
parseExpression
eine Exception vom Typ
Exception werfen kann

```
{  
    double wertDesAusdrucks;  
    ...
```

```
if ( divisor == 0 )
```

```
{  
    Exception exception  
        = new Exception( "Fehler im Ausdruck!" );
```

Hier wird das Exception-
Objekt definiert..

```
    throw exception; ←
```

... das hier geworfen
wird, d.h. der Fehler
wird an die aufrufende
Methode gemeldet.

```
}
```

```
...
```

```
return wertDesAusdrucks;
```

```
}
```

return und throw

- Solange kein Fehler auftritt, wird in der Variablen `wertDesAusdrucks` nach und nach der mathematische Wert des Strings `ausdruck` zusammengebastelt.
- Falls in diesem ganzen Arbeitsgang **kein Fehler** aufgetreten ist, wird das Endergebnis dann mit **return** ausgegeben.
- Falls doch **ein Fehler** entdeckt wird, wird die Abarbeitung von `parseExpression` durch das **throw**-Konstrukt sofort beendet.
- Im Beispiel auf der vorletzten Folie wurde nur eine einzige Stelle exemplarisch gezeigt, an der ein möglicher Fehler abgetestet wird: ob der zweite Operand (der *Divisor*) einer Division gleich Null ist.
- Falls eine Division durch Null auftritt, wird durch `throw` ein neu kreierte Objekt des Typs `Exception` als Exception geworfen.

return und throw

- In gewisser Weise ist `throw` daher so etwas wie eine Variation von `return`:
 - ◊ Der Methodenaufruf wird beendet,
 - ◊ und es wird ein Objekt an die aufrufende Methode zurückgereicht.
- Allerdings hat `throw` für die aufrufende Methode `readExpression` völlig andere syntaktische und semantische Konsequenzen als `return`.
 - Dazu mehr auf den nächsten Folien.
- Kleiner weiterer Unterschied:
 - ◊ Nicht jedes `return` muss ein Objekt zurückliefern.
 - `return` liefert genau dann ein Objekt zurück, wenn die Methode nicht `void` ist.
 - ◊ Durch `throw` muss hingegen grundsätzlich immer eine Exception geworfen werden.

Beispiel (Fs.)

```
public void readExpression ( ... )
{
    String ausdruck;
    double wertDesAusdrucks;
    ...

    try {
        wertDesAusdrucks = parseExpression( ausdruck );
        System.out.println ( wertDesAusdrucks );
    }

    catch ( Exception exc ) {
        System.out.println ( exc.getMessage() );
    }

    ...
}
```

try gibt an, das hier ein Block von Anweisungen folgt, der möglicherweise zu einer Exception führt.

normale Ausführung, d.h. parseExpression wird ohne Fehler beendet

catch fängt eine Exception auf (das erzeugte Objekt wird im Argument übergeben) und führt im darauffolgenden Block die Fehlerbehandlung durch.

try

- Eine Exception, die von einer aufgerufenen Methode wie `parseExpression` geworfen wird, muss von einer sie aufrufenden Methode wie `readExpression` mit einem solchen `try-catch`-Konstrukt behandelt ("gefangen") werden.
- Der Aufruf der potentiell werfenden Methode muss im `try`-Block stehen.
- Wenn durch `parseExpression` *keine* Exception geworfen wird, dann
 - ◊ wird der `try`-Block normal zu Ende abgearbeitet (also `wertDesAusdrucks`) ausgegeben,
 - ◊ der `catch`-Block wird übersprungen,
 - ◊ d.h. nach Beendigung des `try`-Blocks wird mit der nächsten Anweisung, die regulär nach dem `catch`-Block folgt, fortgefahren.

catch

- Nicht nur der Aufruf von `parseExpression`, auch der ganze `try`-Block wird sofort beendet.
 - Die Ausgabe des Werts von `wertDesAusdrucks` findet nicht statt (würde ohnehin keinen sinnvollen Wert ausgeben).
- Statt dessen wird die Abarbeitung des `catch`-Blocks begonnen.
 - Der `catch`-Block ist für die Anweisungen zur Fehlerbehandlung da.
- Der `catch`-Block besitzt einen Kopf, in dem der Programmierer von `readExpression` für das geworfene `Exception`-Objekt (genauer: dem Verweis darauf) einen Identifier als Namen vergibt.
 - Im Beispiel hat der Programmierer von `readExpression` also den Namen `exc` gewählt.
- Nach Abarbeitung des `catch`-Blocks geht es normal mit der nachfolgenden Anweisung weiter.

Bemerkungen zur Syntax

- Nach `try` bzw. `catch` müssen geschweifte Klammern kommen, auch wenn nur eine einzelne Anweisung folgt.

Frage:

- Das `try-catch`-Konstrukt wurde eigentlich ja nur angewandt, um die Exception von `parseExpression` abzufangen.
- Wieso steht dann die Schreibausgabe von `wertDesAusdrucks` ebenfalls im `try`-Block?

Antwort:

- Diese Schreibausgabe macht nur Sinn, wenn keine Exception geworfen wurde.
- Sie sollte daher an einer Stelle stehen, die nach Wurf einer Exception nicht erreicht wird.

Klasse `Exception`

→ Genauer ist damit die Klasse `java.lang.Exception` gemeint.

- Ein Objekt der Klasse `Exception` besitzt eine `String`-Variable als **Datenkomponente**.
- Das `Exception`-Objekt dient damit praktisch als **Bote**, der diesen `String` als Botschaft **von der aufgerufenen zur aufrufenden Methode** trägt.
- In der Methode `parseExpression` wird die Botschaft dem Boten schon bei seiner Erzeugung mitgegeben:

```
new Exception( "Fehler im Ausdruck!" )
```

- Die Klasse `Exception` hat eine Methode `getMessage`, die diese Botschaft zurückliefert.
- Mit dieser Methode ist dann in `parseExpression` auf die Botschaft von `exc` zugegriffen worden.

Unterklassen von `Exception`

- Wie immer, kann man von der Basisklasse `Exception` auch andere Klassen ableiten.
- Ein Objekt einer solchen abgeleiteten Klasse kann also wie üblich anstelle eines Objekts der Basisklasse (z.B. nach `throw`) verwendet werden.
- Jede dieser Klassen
 - ◊ ist für spezifische Anwendungsfälle konzipiert und
 - ◊ enthält in der Regel weitere Möglichkeiten, Botschaften in spezifischerer Form als nur durch eine einfache Zeichenkette zu kodieren.

Mögliche Lösung im Beispiel

- Definiere eine eigene Klasse `FehlerInAusdruckException` als Erweiterung von `Exception`.
- Als Datenkomponenten werden zum Beispiel eingerichtet:
 - ◇ Eine Zahl zur Lokalisierung des genauen Fehlerpunktes als Index in der Zeichenkette.
 - ◇ Eine weitere Zahl als Fehlerdiagnostik (z.B. 0=fehlende schließende Klammer, 1=schließende Klammer zuviel, 2=...).
- Mit einer solchen von `parseExpression` mittels `Exception` empfangenen Botschaft kann `readExpression` recht informative Fehlermeldungen an den Benutzer ausgeben.
- Falls nicht nur ein, sondern alle Fehler im Ausdruck zugleich zurückgeliefert werden sollen, bieten sich bspw. zwei Arrays von solchen Zahlen als Botschaft an.

Beispiel

```
public class FehlerInAusdruckException extends Exception {  
    private int fehlerStelle;  
    private int fehlerArt;
```

Interne Datenkomponenten

```
    public FehlerInAusdruckException( int fehlerStelle,  
                                     int fehlerArt ) {  
        this.fehlerStelle = fehlerStelle;  
        this.fehlerArt = fehlerArt;  
    }  
}
```

Konstruktor für die Exception

```
    public String getMessage () {  
        String fehlerBeschreibung;  
        if ( fehlerArt == 0 )  
            fehlerBeschreibung = "Schliessende Klammer fehlt";  
        else if ( fehlerArt == 1 )  
            fehlerBeschreibung = "Schliessende Klammer zuviel";  
        else ...  
  
        return fehlerBeschreibung + " an Index "  
            + fehlerStelle + "!";  
    }  
}
```

Implementierung von getMessage zur Fehlerausgabe

Exceptions weiterreichen

- Bisher wurde ein `try-catch`-Konstrukt für die von `parseExpression` potentiell geworfenen Exceptions eingerichtet.
- Alternativ könnte `readExpression` aber auch
 - ◊ diese Exceptions nicht selbst abfangen und bearbeiten,
 - ◊ sondern durch ein eigenes `throws` im Methodenkopf an die nächsthöhere Methode weiterreichen.
- Wenn nun `parseExpression` eine Exception wirft, dann wird nicht nur die Bearbeitung von `parseExpression` sofort abgebrochen, sondern auch die von `readExpression`
- und die Exception wird an die Methode, die `readExpression` aufgerufen hat, weitergereicht

Beispiel

```
public void readExpression ( ... )
    throws Exception
{
    String ausdruck;
    double wertDesAusdrucks;
    ...

    wertDesAusdrucks = parseExpression (ausdruck);
    System.out.println ( wertDesAusdrucks );
    ...
}
```

readExpression **muß**
mit throws Exception
deklariert werden...

...da parseExpression **eine**
Exception wirft, und diese
nicht mit einem try-catch-
Konstrukt aufgefangen wird.

Exceptions müssen irgendwo gefangen werden

- Interpreter wie `appletviewer` erwarten, dass die Signatur der Startmethode exakt so ist wie erwartet.
- Insbesondere wird eigentlich immer eine leere `throws`-Liste erwartet.

Konsequenz:

- Exceptions können *nicht* beliebig lange mit `throws` in der Aufrufhierarchie weiter hochgereicht werden.
- Spätestens die Startmethode, die vom Interpreter aufgerufen wird (also z.B. `paint`) muss die Exception fangen.
- Reicht diese Methode Exceptions statt dessen mittels `throws` weiter, entspricht die Signatur nicht mehr der Erwartung des Interpreters.
- Der Compiler steigt sofort mit einer entsprechenden Fehlermeldung aus

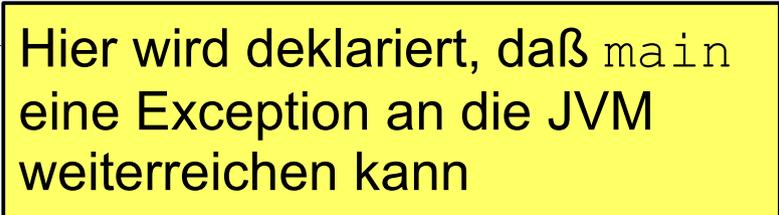
Ausnahme: `main`

- Die Einstiegsmethode `main` für die JVM kann auch mit einer `throws`-Liste deklariert werden
 - In diesem Fall werden Exceptions von der `main`-Methode an den Interpreter weitergereicht und der produziert eine Fehlermeldung

- Eine weitere Ausnahme stellen `RuntimeExceptions` dar
 - kommen später

Ungefangene Exceptions

```
public class testExceptions {  
    public static void test () throws Exception {  
        Exception e = new Exception("Fehler!");  
        throw e;  
    }  
  
    public static void main (String[] args)  
        throws Exception {  
        test();  
    }  
}
```



- Ungefangene Exception wird beim Interpretieren gemeldet:

```
$ java testExceptions  
java.lang.Exception: Fehler!  
    at testExceptions.test(testExceptions.java:4)  
    at testExceptions.main(testExceptions.java:9)  
Exception in thread "main"
```

Ungefangene Exceptions

```
public class testExceptions {  
  
    public static void test () throws Exception {  
        Exception e = new Exception("Fehler!");  
        throw e;  
    }  
  
    public static void main (String[] args) {  
        test();  
    }  
}
```

Aufruf einer Methode, die eine Exception wirft, ohne daß die Exception gefangen oder weitergegeben wird

- Fehler wird bereits beim Compilieren erkannt:

```
$ javac testExceptions.java  
testExceptions.java:8: unreported exception  
java.lang.Exception; must be caught or declared to be thrown  
    test();  
    ^  
1 error
```

Mehrere Exceptions

- Der Java-Compiler verlangt, daß jede Methode, die mit `throws` deklariert wird, nur verwendet werden kann
 - in `try`-Block eines `try-catch` Konstrukts
 - in einer Methode, die eine Exception derselben Klasse (oder einer Überklasse) wirft
- Eine Methode kann daher auch mehrere Exceptions werfen!
 - auch Exceptions verschiedener Typen
 - Diese verschiedenen Typen werden in einer einzigen `throws`-Klausel (durch Kommas voneinander getrennt) aufgelistet.

Beispiel

```
class MyException1 extends Exception { ... }  
class MyException2 extends Exception { ... }
```

...

```
void test ( int a, int b )  
    throws MyException1, MyException2  
{  
    if ( a < b )  
        throw new MyException1 (...);  
    else  
        throw new MyException2 (...);  
}
```

Beispiel: Aufruf

```
try { test(2,3); }
catch ( MyException1 exc ) ←
    { System.out.println ( "2 < 3" ); }
catch ( MyException2 exc ) ←
    { System.out.println ( "2 >= 3" ); }
```

Erläuterungen:

- Für jeden potentiell geworfenen **Exception-Typ** muss eine entsprechende `catch`-Klausel eingefügt werden.
- *Beachte:*
 - ◇ Es kommt dabei allein darauf an, welche **Exception-Typen** in der `throws`-Klausel deklariert sind.
 - ◇ Selbst wenn (wie im Beispiel oben) klar ist, dass ein bestimmter **Exception-Typ** nie geworfen werden kann, muss die zugehörige `catch`-Klausel vorhanden sein.

Beispiel: Alternativer Aufruf

```
try { test(2,3); }  
catch ( Exception exc ) {  
    System.out.println( "2 < 3 oder 2 >= 3" );  
}
```

MyException1 und MyException2 sind beides Unterklassen von Exception.

Erläuterungen:

- Es muss nicht unbedingt genau die Exception-Klasse gefangen werden, die geworfen wurde.
- Es kann auch eine beliebige Exception-Klasse gefangen werden, von der die geworfene Exception-Klasse direkt oder indirekt abgeleitet wurde.
- Wie das Beispiel oben zeigt, kann sich dadurch die Zahl der notwendigen catch-Klauseln durchaus verringern.
- Im Extremfall, wenn Typ Exception selbst gefangen wird, reicht (wie im Beispiel oben) auch eine einzige catch-Klausel.

Runtime Exceptions

- Exceptions von gewissen Typen **müssen nicht abgefangen oder weitergereicht werden**.
 - Technisch gesprochen `java.lang.RuntimeException` (abgeleitet von `Exception`) und alle direkt oder indirekt davon abgeleiteten Klassen.
- *Grund:*
 - ◇ Arithmetische Operationen, Arrayzugriffe usw. kommen in vielen Java-Quelltexten häufig vor.
 - ◇ Müssten diese Exceptions alle abgefangen werden, würde man die eigentliche Programmlogik hinter den vielen `trys` und `catchs` kaum noch finden.
 - ◇ Alle diese Exceptions in der Aufrufhierarchie weiter hochreichen wäre auch keine Lösung (wohin am Ende?).

Beispiel 1

```
int i = 1;  
int j = 0;  
System.out.println ( i/j );
```

Ergebnis:

- Beim Kompilieren mit `javac` gibt es wegen der Division durch Null keinen Fehler.
- Beim Lauf des Programms gibt es Absturz mit Fehlermeldung:
`java.lang.ArithmeticException: / by zero`
- Die Divisionsoperation wirft also wie eine Methode ebenfalls eine Exception.
- Der Compiler hat den Code aber augenscheinlich akzeptiert und übersetzt, obwohl die Exception weder gefangen noch weitergereicht wurde.

Beispiel 2

```
int[] A = new int [100];  
int i = 100;  
System.out.println ( A[i] );
```

Ergebnis:

- Praktisch identisch mit dem Ergebnis von der vorherigen Folie.
- Nur die Meldung beim Absturz lautet nun anders:

```
java.lang.ArrayIndexOutOfBoundsException: 100
```

Bemerkung:

- Die Zusatzinformation "100" in der Fehlermeldung oben
 - und die Zusatzinformation "/ by zero" auf der vorherigen Folie
- sind Beispiele dafür, dass in spezifischen Exception-Klassen weitere, spezifischere Zusatzinformationen enthalten sein können.

Runtime Exceptions

- Ausnahmsweise wurde hier deshalb einmal beim Entwurf von Java die Entscheidung contra Ablaufsicherheit getroffen.
- Nur durch diese Sicherheitslücke sind Programmabstürze in Java überhaupt möglich.
- Die Grundidee dabei ist, daß Runtime Exception meistens auf Programmier-Fehler sind, deren Behandlung innerhalb des Programms ohnehin nicht sinnvoll ist.