



Wintersemester 2007/08

**Einführung in die Informatik für
Naturwissenschaftler und Ingenieure
(alias Einführung in die Programmierung)
(Vorlesung)**

Prof. Dr. Günter Rudolph

Fakultät für Informatik

Lehrstuhl für Algorithm Engineering





Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Behandlung von **Ausnahmen** (engl. *exceptions*) im „normalen“ Programmablauf:

- Fehler, die zur Programmlaufzeit entdeckt werden (z.B. Datei existiert nicht)
- können meist nicht an dieser Stelle im Programm behandelt werden
- sie können vielleicht auf höherer Programmebene „besser verstanden“ werden
- sie können vielleicht an übergeordneter Stelle „geheilt“ werden

Konzept:

Entdeckt eine Funktion einen Fehler, den sie nicht selbst lokal behandeln kann

- ⇒ dann wirft (engl. *throw*) sie eine Ausnahme mit der Hoffnung, dass ihr direkter oder indirekter Aufrufer den Fehler beheben kann
- ⇒ aufrufende Funktionen, die den Fehler behandeln können, können ihre Bereitschaft anzeigen, die Ausnahme zu fangen (engl. *catch*)



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Vergleich mit anderen Ansätzen zur Fehlerbehandlung:

1. Programm beenden.

Durch `exit()`, `abort()` ⇒ lästig!

z.B. Versuch, schreibgeschützte Datei zu beschreiben → Programmabbruch!

z.B. unzulässig in Bibliotheken, die nicht abstürzen dürfen!

2. Wert zurückliefern, der » **Fehler** « darstellt.

Nicht immer möglich! Z.B. wenn `int` zurückgegeben wird, ist jeder Wert gültig!

Wenn möglich, dann unbequem: teste auf **Fehler** bei jedem Aufruf!

⇒ Aufblähung des Programmcodes; Test wird leicht vergessen ...

3. Gültigen Wert zurückliefern, aber Programm in ungültigen Zustand hinterlassen.

z.B. in C-Standardbibliothek: Fkt. setzt globale Variable `errno` im Fehlerfall!

Test auf `errno`-Wert wird leicht vergessen ⇒ gefährliche Inkonsistenzen

⇒ Programm in ungültigem Zustand ⇒ Folgefehler verdecken Fehlerursprung

4. Funktion aufrufen, die für Fehlerfall bereitgestellt wurde.





Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Realisierung in C++

Drei Schlüsselwörter (plus Systemroutinen): `try`, `throw`, `catch`

```
try {  
    // Code, der Ausnahme vom Typ  
    // AusnahmeTyp auslösen kann  
}  
  
catch (AusnahmeTyp ausnahme) {  
    // behandle Ausnahme!  
}
```

Wird irgendwo in diesem Block eine Ausnahme vom Typ „AusnahmeTyp“ ausgelöst, so wird Block **sofort** verlassen!

Die Ausnahme vom Typ „AusnahmeTyp“ wird hier gefangen und behandelt.

Auf `ausnahme` kann im `catch`-Block zugegriffen werden!

```
throw AusnahmeTyp();
```

Erzeugt Ausnahme vom Typ „AusnahmeTyp“



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Beispiel

```
#include <iostream>
using namespace std;

int Division(int a, int b) {
    if (b == 0) throw "Division durch Null";
    return a/b;
}

int main()
    try {
        cout << Division(10,3) << endl;
        cout << Division(12,0) << endl;
        cout << Division(14,5) << endl;
    }
    catch (char* msg) {
        cerr << msg << endl;
        return 1;
    }
    return 0;
}
```

Ausgabe:

3
Division durch Null



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Ausnahmen fangen

```
void Funktion() {  
    try {  
        throw E();  
    }  
    catch(H) {  
        // Wann kommen wir hierhin?  
    }  
}
```

E: *exception*

H: *handler* für Typ H

1. H ist vom selben Typ wie E
2. H ist eindeutige öffentliche Basisklasse von E
3. H und E sind Zeigertypen; (1) oder (2) gilt für Typen, auf die sie zeigen
4. H ist Referenz; (1) oder (2) gilt für Typ, auf den H verweist



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Weiterwerfen

```
void Funktion() {  
    try {  
        // Code, der evtl. E() wirft  
    }  
    catch(E e) {  
        if (e.kann_komplett_behandelt_werden) {  
            // behandle Ausnahme ...  
            return;  
        }  
        else {  
            // rette, was zu retten ist ...  
            throw; ←  
        }  
    }  
}
```

die Original-
ausnahme wird
weitergeworfen



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Übersetzen und Weiterwerfen

```
void Funktion() {  
    try {  
        // Code, der evtl. E() wirft  
    }  
    catch(E e) {  
        if (e.kann_komplett_behandelt_werden) {  
            // behandle Ausnahme ...  
            return;  
        }  
        else {  
            // rette, was zu retten ist ...  
            throw new Ausnahme(e);  
        }  
    }  
}
```

Übersetzung der Ausnahme in eine andere:

- Zusatzinformation
- Neuinterpretation
- Spezialisierung: einige Fälle schon behandelt oder ausgeschlossen

eine andere Ausnahme wird ausgelöst



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Ausnahmehierarchie: Beispiel

```
class MathError {};  
class Overflow : public MathError {};  
class Underflow : public MathError {};  
class DivisionByZero : public MathError {};
```

```
void Funktion() {  
    try {  
        // u.a. numerische Berechnungen  
    }  
    catch (Overflow) {  
        // behandle Overflow und alles davon Abgeleitete  
    }  
    catch (MathError) {  
        // behandle jeden MathError, der kein Overflow ist  
    }  
}
```

*Reihenfolge
wichtig!*



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Bsp: Reihenfolge von Exception Handlern und der „Allesfänger“

```
void Funktion() {
    try {
        // u.a. numerische Berechnungen
    }
    catch (Overflow) { /* ... */ }
    catch (Underflow) { /* ... */ }
    catch (DivideByZero) { /* ... */ }
    catch (MathError) {
        // behandle jeden anderen MathError (evtl. später eingeführt)
    }
    catch (...) {
        // behandle alle anderen Ausnahmen (irgendwie)
    }
}
```

Reihenfolge der
catch-Handler
entgegengesetzt zur
Klassenhierarchie

Achtung: Die 3 Pünktchen ... im Argument von `catch` sind C++ Syntax!



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Was geschieht beim Werfen / Fangen?

Wird Ausnahme geworfen, dann:

1. Die `catch`-Handler des „am engsten umschließenden“ `try`-Blockes werden der Reihe nach überprüft, ob Ausnahmetyp irgendwo passt.
2. Passt ein Ausnahmetyp auf einen der Handler, dann wird er verwendet.
3. Passt kein Ausnahmetyp auf einen der Handler, dann wird die Aufrufkette aufwärts gegangen.
4. Existiert auf dieser Ebene ein `try`-Block, dann → 1.
5. Existiert kein `try`-Block, dann wird die Aufrufkette aufwärts gegangen. → 4.

Falls Ende der Aufrufkette erreicht, dann wurde Ausnahme nicht gefangen!

→ Es wird die Systemfunktion `terminate()` aufgerufen.
Keine Rückkehr zu `main()`!



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Ausnahmen im Konstruktor

... wird immer wieder diskutiert!

⇒ Alternative:

keine Ausnahme im Konstruktor,
„gefährliche“ Operationen mit mögl.
Ausnahme in einer `init()`-Funktion

⇒ Problematisch:

wurde `init()` schon aufgerufen?
2 x `init()`? Methodenaufruf ohne `init()`?

```
class A {  
protected:  
    int a;  
  
public:  
    A(int aa) {  
        if (aa < 0) throw "< 0";  
        a = aa;  
    }  
};
```

Was passiert denn eigentlich?

Wenn Ausnahme im Konstruktor geworfen wird, dann werden Destruktoren für alle Konstruktoren aufgerufen, die erfolgreich beendet wurden.

Da Objekt erst „lebt“, wenn Konstruktor beendet,
wird zugehöriger Destruktor bei Ausnahme nicht aufgerufen!



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

```
class Base {
public:
    Base() { cout << "Base in Erzeugung" << endl; }
    ~Base() { cout << "Base stirbt" << endl; }
};

class Member {
public:
    Member() { cout << "Member in Erzeugung" << endl; }
    ~Member() { cout << "Member stirbt" << endl; }
};

class Derived : public Base {
private:
    Member member;
public:
    Derived() { cout << "Derived in Erzeugung" << endl;
                cout << "Throwing ..." << endl; throw "boom!"; }
    ~Derived() { cout << "Derived stirbt" << endl; }
};
```



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Ausnahmen im Konstruktor

```
int main() {  
    try {  
        Derived d;  
    }  
    catch (char *s) {  
        cout << "gefangen: " << s << endl;  
    }  
}
```

Ausgabe:

```
Base in Erzeugung  
Member in Erzeugung  
Derived in Erzeugung  
Throwing ...  
Member stirbt  
Base stirbt  
gefangen: boom!
```

← Destruktor von
Derived wird nicht
aufgerufen!



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Ausnahmen im Konstruktor

```
class C: public A {  
    // ...  
    B b;  
};
```

Achtung! Sonderfall:

Auch wenn Ausnahme im Konstruktor gefangen worden ist, so wird sie automatisch (ohne explizites `throw`) weiter geworfen!

```
C::C()  
try  
    : A( /* ... */), b( /* ... */)  
    {  
        // leer  
    }  
catch ( ... ) {  
    // Ausnahme von A oder B  
    // wurde gefangen  
}
```

← Initialisierungsliste auch überwacht!

der gesamte Konstruktor steht im `try`-Block

gelingt `A::A()`, aber `B::B()` wirft
⇒ `A::~~A()` wird aufgerufen

... man achte auf die ungewöhnliche Syntax!



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Ausnahmen im Destruktor

Verlässt eine Ausnahme einen Destruktor, wenn dieser als Folge einer Ausnahmebehandlung aufgerufen wurde, dann wird das als Fehler der Ausnahmebehandlung gewertet!

⇒ es wird die Funktion `std::terminate()` aufgerufen (Default: `abort()`)

Wird im Destruktor Code ausgeführt, der Ausnahmen auslösen könnte, dann muss der Destruktor geschützt werden:

```
C::~~C()
try {
    f(); // könnte Ausnahme werfen
}
catch (...) {
    // Fehlerbehandlung
}
```




Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Ein Blick zurück: ADT Stack

```
const int maxStackSize = 100;

class Stack {
protected:
    int a[maxStackSize];
    int size;
public:
    Stack();
    void Push(int value);
    void Pop();
    int Top();
};
```

hier: realisiert mit statischem Feld

entspricht

create: → *Stack*

mögliche Ausnahmen:

Push	→ Feld schon voll	⇒
Pop	→ Feld ist leer	⇒
Top	→ Feld ist leer	⇒

Ausnahmebehandlung bisher:

Fehlermeldung und Abbruch (exit)
Ignorieren
Fehlermeldung und Abbruch (exit)



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Ein Blick zurück: ADT Stack

```
Stack::Stack() : size(0) {
}

void Stack::Push(int value) {
    if (size == maxStackSize) throw "Stack voll";
    a[size++] = value;
}

void Stack::Pop() {
    if (size == 0) throw "Stack leer";
    size--;
}

int Stack::Top() {
    if (size == 0) throw "Stack leer";
    return a[size-1];
}
```



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Ein Blick zurück: ADT Stack

```
int main() {
    Stack s;
    try { s.Top(); }
    catch (char *msg) {
        cerr << "Ausnahme : " << msg << endl;
    }

    int i; ←
    try {
        for (i = 1; i < 200; i++) s.Push(i);
    }
    catch (char *msg) {
        cerr << "Ausnahme : " << msg << endl;
        cerr << "Iteration: " << i << endl; ←
        cerr << "Top()      : " << s.Top() << endl;
    }
}
```

Anmerkung:
Variable `i` wird außerhalb des `try`-Blockes definiert, damit man auf sie im `catch`-Block zugreifen kann.

Fortsetzung auf nächster Folie ...



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Ein Blick zurück: ADT Stack

(... Fortsetzung)

```
try {
    for (i = 1; i < 200; i++) s.Pop();
}
catch (char *msg) {
    cerr << "Ausnahme : " << msg << endl;
    cerr << "Iteration: " << i << endl;
}
return 0;
}
```

Ausgabe: Ausnahme : Stack leer
Ausnahme : Stack voll
Iteration: 101
Top() : 100
Ausnahme : Stack leer
Iteration: 101



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Noch besser: Verwendung von Fehlerklassen

```
class StackError {
public:
    virtual void Show() = 0;
};

class StackOverflow : public StackError {
public:
    void Show() { cerr << "Stack voll" << endl; }
};

class StackUnderflow : public StackError {
public:
    void Show() { cerr << "Stack leer" << endl; }
};
```

} abstrakte
Klasse

Vorteile:

1. Differenziertes Fangen und Behandeln durch verschiedene catch-Handler
2. Hinzufügen von Information möglich (auch Mehrsprachigkeit der Fehlermeldung)



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Noch besser: Verwendung von Fehlerklassen

```
Stack::Stack() : size(0) {
}

void Stack::Push(int value) {
    if (size == maxStackSize) throw new StackOverflow();
    a[size++] = value;
}

void Stack::Pop() {
    if (size == 0) throw new StackUnderflow();
    size--;
}

int Stack::Top() {
    if (size == 0) throw new StackUnderflow();
    return a[size-1];
}
```

Warum dynamische Objekte (via `new`)? Wg. dynamischer Bindung (`virtual`)!



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Noch besser: Verwendung von Fehlerklassen

```
int main() {  
    Stack s;  
  
    try { s.Top(); }  
    catch (StackUnderflow *ex) { ex->Show(); } ← passt  
    catch (StackError *ex) { ex->Show(); }  
  
    try { for (int i = 1; i < 200; i++) s.Push(i); }  
    catch (StackOverflow *ex) { ex->Show(); } ← passt  
    catch (StackError *ex) { ex->Show(); }  
  
    try { for (int i = 1; i < 200; i++) s.Pop(); }  
    catch (StackOverflow *ex) { ex->Show(); } ← passt nicht!  
    catch (StackError *ex) { ex->Show(); } ← passt  
}
```

Ausgabe: Stack leer
Stack voll
Stack leer ← wegen dynamischer Bindung!



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Noch besser: Verwendung von Fehlerklassen

```
int main() {  
    Stack s;  
  
    try { s.Top(); }  
    catch (StackError *ex) { ex->Show(); }  
  
    try { for (int i = 1; i < 200; i++) s.Push(i); }  
    catch (StackError *ex) { ex->Show(); }  
  
    try { for (int i = 1; i < 200; i++) s.Pop(); }  
    catch (StackError *ex) { ex->Show(); }  
}
```

Warum nicht so?

Ausgabe: `Stack leer`
`Stack voll`
`Stack leer` } ✓

Aber: Keine differenzierte Fehlererkennung und –behandlung möglich durch verschiedene `catch`-Handler!



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Noch ein Beispiel (war Klausuraufgabe)

Funktion `ReadValue`

- liest Integer aus Datei und liefert ihn als Rückgabewert der Funktion
- gibt einen Fehlercode zurück per Referenz in der Parameterliste
- Fehlercode == 0 → alles OK
- Fehlercode == 1 → Datei nicht geöffnet
- Fehlercode == 2 → bereits alle Werte ausgelesen

```
int ReadValue(istream &s, int &errorCode) {
    int value = errorCode = 0;
    if (!s.is_open()) errorCode = 1;
    else if (s.eof()) errorCode = 2;
    else s >> value;
    return value;
}
```



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Hauptprogramm öffnet Datei, liest alle Werte aus, addiert sie und gibt Summe aus.
Muss Fehlercodes abfragen und geeignet reagieren.

```
int main() {
    ifstream file;
    int sum = 0, err = 0;
    file.open("data.txt");
    do {
        int v = ReadValue(file, err);
        if (!err) sum += v;
    } while (!err);
    if (err == 1) {
        cerr << "Datei unlesbar!" << endl;
        exit(1);
    }
    file.close();
    cout << "Summe = " << sum << endl;
    return 0;
}
```

Umständlich!



Aufgaben:

1. ReadValue mit Ausnahmen
2. main anpassen



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Version mit Ausnahmen

Fehlerklassen (minimalistisch)

```
class CannotOpenFile { };  
class EndOfFile { };  
  
int ReadValue(ifstream &s) {  
    if (!s.is_open()) throw CannotOpenFile();  
    if (s.eof()) throw EndOfFile();  
    int value;  
    s >> value;  
    return value;  
}
```



Kapitel 13: Ausnahmebehandlung

Version mit Ausnahmen

```
int main() {
    ifstream file("data.txt");
    int sum = 0;
    try {
        while (true) sum += ReadValue(file);
    }
    catch (CannotOpenFile) {
        cerr << "Datei unlesbar!" << endl;
        exit(1);
    }
    catch (EndOfFile) {
        file.close();
    }
    cout << "Summe = " << sum << endl;
    return 0;
}
```

keine
Fehlerabfragen
mehr in der
eigentlichen
Programmlogik

Fehler oder sonstige
Ausnahmen werden
gesondert behandelt