

Einführung in die Programmierung

Wintersemester 2020/21

Kapitel 12: Ausnahmebehandlung

M.Sc. Roman Kalkreuth

Lehrstuhl für Algorithm Engineering (LS11)

Fakultät für Informatik

Inhalt

- Ausnahmen: Konzept
- Ausnahmehierarchien
- Ausnahmen im Konstruktor / Destruktor
- Anwendungen
 - ADT Stack
 - Ex-Klausuraufgabe

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*)

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.

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“

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 (const char* msg) {
        cerr << msg << endl;
        return 1;
    }
    return 0;
}
```

Ausgabe:

3
Division durch Null

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

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

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 Ausnahme(e);  
        }  
    }  
}
```

Übersetzung der Ausnahme in eine andere:

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

← eine andere Ausnahme wird ausgelöst

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!

Beispiel: Reihenfolge von Exception-Handlern und der „Allesfänger“

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

Reihenfolge der
catch-Handler
entgegengesetzt zur
Klassenhierarchie

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

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 Aufrufkette aufwärts gegangen. → 4.

Falls **Ende der Aufrufkette** erreicht, dann wurde Ausnahme nicht gefangen.

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

Wie sollte man Werfen / Fangen?

Als **Wert**:

```
try { throw exception(); }  
catch (exception e) { /* ... */ }
```

Funktioniert Polymorphie Als **Zeiger**:

```
try { throw &exception(); }  
catch (exception *e) { /* ... */ }
```

Funktioniert Polymorphie Als **Zeiger mit dynamischem Speicher**:

```
try { throw new exception(); }  
catch (exception *e) { /* ... */ }
```

Funktioniert 

Polymorphie

ABER: Wer gibt Speicher frei?

Allokation kann auch fehlschlagen!

Wie sollte man Werfen / Fangen?

“Throw by value, catch by reference”

```
try { throw exception(); }  
catch (exception& e) { /* ... */ }
```

- **Werfen als Wert:** Speichermanagement durch Compiler / Laufzeitumgebung
- **Fangen als Referenz** erlaubt Polymorphie

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!

```
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; }
};
```


Ausnahmen im Konstruktor

```
int main() {  
    try {  
        Derived d;  
    }  
    catch (const 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!

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**) weitergeworfen!

```
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!

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
}
```

der gesamte Destruktor steht im `try`-Block

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)

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];  
}
```

Ein Blick zurück: ADT Stack

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

    int i; ←
    try {
        for (i = 1; i < 200; i++) s.push(i);
    }
    catch (const 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 ...

Ein Blick zurück: ADT Stack

(... Fortsetzung)

```
try {
    for (i = 1; i < 200; i++) s.pop();
}
catch (const 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

Noch besser: Verwendung von Fehlerklassen

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

}
abstrakte
Klasse

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

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

Vorteile:

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

Noch besser: Verwendung von Fehlerklassen

```
Stack::Stack() : size(0) {  
}  
  
void Stack::push(int value) {  
    if (size == maxStackSize) throw StackOverflow();  
    a[size++] = value;  
}  
  
void Stack::pop() {  
    if (size == 0) throw StackUnderflow();  
    size--;  
}  
  
int Stack::top() {  
    if (size == 0) throw StackUnderflow();  
    return a[size-1];  
}
```

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!

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!

Noch ein Beispiel (ehemalige 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;
}
```

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

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;  
}
```

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