

15. C++ vertieft (IV): Ausnahmen (Exceptions)

Was kann schon schiefgehen?

- Öffnen einer Datei zum Lesen oder Schreiben

```
std::ifstream input("myfile.txt");
```

- Parsing

```
int value = std::stoi("12-8");
```

- Speicherallokation

```
std::vector<double> data(ManyMillions);
```

- Invalide Daten

```
int a = b/x; // what if x is zero?
```

Möglichkeiten der Fehlerbehandlung

- Keine (inakzeptabel)
- Globale Fehlervariable (Flags)
- Funktionen, die Fehlercodes zurückgeben
- Objekte, die Fehlercodes speichern
- Ausnahmen

Globale Fehlervariablen

- Typisch für älteren C-Code
- Nebenläufigkeit ist ein Problem
- Fehlerbehandlung nach Belieben. Erfordert grosse Disziplin, sehr gute Dokumentation und übersäht den Code mit scheinbar unzusammenhängenden Checks.

Rückgabe von Fehlercodes

- Jeder Aufruf einer Funktion wird mit Ergebnis quittiert.
- Typisch für grosse APIs (OS Level). Dort oft mit globalen Fehlercodes kombiniert.¹⁶
- Der Aufrufer kann den Rückgabewert einer Funktion prüfen, um die korrekte Ausführung zu überwachen.

¹⁶Globaler error code thread-safety durch thread local storage.

Rückgabe von Fehlercodes

Beispiel

```
#include <errno.h>
...

pf = fopen ("notexisting.txt", "r+");
if (pf == NULL) {
    fprintf(stderr, "Error opening file: %s\n", strerror( errno ));
}
else { // ...
    fclose (pf);
}
```

Fehlerstatus im Objekt

- Fehlerzustand eines Objektes intern im Objekt gespeichert.

Beispiel

```
int i;  
std::cin >> i;  
if (std::cin.good()){// success, continue  
    ...  
}
```

Exceptions

- Exceptions unterbrechen den normalen Kontrollfluss
- Exceptions können geworfen (throw) und gefangen (catch) werden
- Exceptions können über Funktionengrenzen hinweg agieren.

Beispiel: Exception werfen

```
class MyException{};

void f(int i){
    if (i==0) throw MyException();
    f(i-1);
}

int main()
{
    f(4);
    return 0;
}
```

Beispiel: Exception werfen

```
class MyException{}
```

```
void f(int i){  
    if (i==0) throw MyException();  
    f(i-1);  
}
```

```
int main()  
{  
    f(4);  
    return 0;  
}
```

terminate called after throwing an instance of 'MyException'
Aborted

Beispiel: Exception fangen

```
class MyException{};

void f(int i){
    if (i==0) throw MyException();
    f(i-1);
}

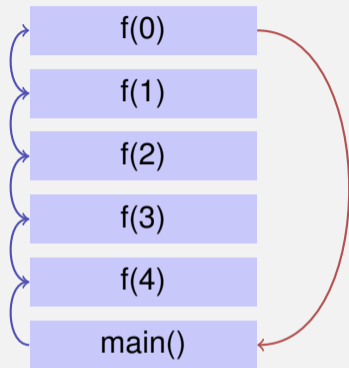
int main(){
    try{
        f(4);
    }
    catch (MyException e){
        std::cout << "exception caught\n";
    }
}
```

Beispiel: Exception fangen

```
class MyException{};

void f(int i){
    if (i==0) throw MyException();
    f(i-1);
}

int main(){
    try{
        f(4);
    }
    catch (MyException e){
        std::cout << "exception caught\n";
    }
}
```



exception caught

Resources werden geschlossen

```
class MyException{};
struct SomeResource{
    ~SomeResource(){std::cout << "closed resource\n";}
};
void f(int i){
    if (i==0) throw MyException();
    SomeResource x;
    f(i-1);
}
int main(){
    try{f(5);}
    catch (MyException e){
        std::cout << "exception caught\n";
    }
}
```

Resources werden geschlossen

```
class MyException{};
struct SomeResource{
    ~SomeResource(){std::cout << "closed resource\n";}
};
void f(int i){
    if (i==0) throw MyException();
    SomeResource x;
    f(i-1);
}
int main(){
    try{f(5);}
    catch (MyException e){
        std::cout << "exception caught\n";
    }
}
```

closed resource
closed resource
closed resource
closed resource
closed resource
exception caught

Wann Exceptions?

Exceptions werden für die *Behandlung von Fehlern* benutzt.

- Verwende `throw` nur, um einen Fehler zu signalisieren, welcher die Postcondition einer Funktion verletzt oder das Fortfahren des Codes unmöglich macht
- Verwende `catch` nur, wenn klar ist, wie man den Fehler behandeln kann (u.U. mit erneutem Werfen der Exception)
- Verwende `throw nicht` um einen Programmierfehler oder eine Verletzung von Invarianten anzuzeigen (benutze stattdessen `assert`)
- Verwende Exceptions *nicht* um den Kontrollfluss zu ändern. Throw ist *nicht* ein besseres return.

Warum Exceptions?

Das:

```
int ret = f();  
if (ret == 0) {  
    // ...  
} else {  
    // ...code that handles the error...  
}
```

sieht auf den ersten Blick vielleicht besser / einfacher aus als das:

```
try {  
    f();  
    // ...  
} catch (std::exception& e) {  
    // ...code that handles the error...  
}
```


Warum Exceptions?

Die Wahrheit ist, dass Einfachstbeispiele den Kern der Sache nicht immer treffen.

Return-Codes zur Fehlerbehandlung übersähen grössere Codestücke entweder mit Checks oder die Fehlerbehandlung bleibt auf der Strecke.

Darum Exceptions

Beispiel 1: Evaluation von Ausdrücken (Expression Parser, Vorlesung Informatik I), siehe

<http://codeboard.io/projects/46131>

Eingabe: `1 + (3 * 6 / (/ 7))`

Fehler tief in der Rekursionshierarchie. Wie kann ich eine vernünftige Fehlermeldung produzieren (und weiterfahren)? Müsste den Fehlercode über alle Rekursionsstufen zurückgeben. Das übersieht den Code mit checks.

Beispiel 2

Wertetyp mit Garantie: Werte im gegebenen Bereich.

```
template <typename T, T min, T max>
class Range{
public:
    Range(){}
    Range (const T& v) : value (v) {
        if (value < min) throw Underflow ();
        if (value > max) throw Overflow ();
    }
    operator const T& () const {return value;}
private:
    T value;
};
```

Fehlerbehandlung im Konstruktor!

Fehlertypen, hierarchisch

```
class RangeException {};  
class Overflow : public RangeException {};  
class Underflow : public RangeException {};  
class DivisionByZero: public RangeException {};  
class FormatError: public RangeException {};
```

Operatoren

```
template <typename T, T min, T max>
Range<T, min, max> operator/ (const Range<T, min, max>& a,
                             const Range<T, min, max>& b){
    if (b == 0) throw DivisionByZero();
    return T (a) * T(b);
}
```

```
template <typename T, T min, T max>
std::istream& operator >> (std::istream& is, Range<T, min, max>& a){
    T value;
    if (!(is >> value)) throw FormatError();
    a = value;
    return is;
}
```

Fehlerbehandlung im Operator!

Fehlerbehandlung (zentral)

```
Range<int, -10, 10> a, b, c;
try{
    std::cin >> a;
    std::cin >> b;
    std::cin >> c;
    a = a / b + 4 * (b - c);
    std::cout << a;
}
catch(FormatError& e){ std::cout << "Format error\n"; }
catch(Underflow& e){ std::cout << "Underflow\n"; }
catch(Overflow& e){ std::cout << "Overflow\n"; }
catch(DivisionByZero& e){ std::cout << "Divison By Zero\n"; }
```