

Objektorientierte Programmierung in C++

Parameter	Kursinformationen
Veranstaltung:	Softwareprojekt Robotik
Semester	Wintersemester 2023/24
Hochschule:	Technische Universität Freiberg
Inhalte:	Konstruktoren und Operatoren
Link auf GitHub:	https://github.com/TUBAF-lfl-LiaScript/VL_SoftwareprojektRobotik/blob/master/01_OOPinC++.md
Autoren	Sebastian Zug & Georg Jäger



Zielstellung der heutigen Veranstaltung

- Klassen/Strukturen
- Rule of Five
- Operatoren

Von Strukturen und Klassen

Klassen (`class`) und Strukturen (`struct`) unterscheiden sich unter C++ nur in einem Punkt. Während bei erstgenannten immer das Zugriffsattribut `private` als Default-Wert angenommen wird, ist dies für `struct`s `public`. Die folgenden Beispiele nutzen structs um C++ spezifische Eigenschaften darzustellen, können aber direkt auf Klassen übertragen werden.

Eine Struktur ist ein Datentyp, der mehrere Variablen gleichen oder verschiedenen Typs zu einem neuen Datentyp zusammenfasst. Die Deklaration erfolgt mit dem Schlüsselwort `struct`.

ApplicationOfStructs.cpp

```
1  #include <iostream>
2
3  struct Student{
4      std::string name;
5      int alter;
6      std::string ort;
7  }; // <- Dieses Semikolon wird gern vergessen :-)
8
9  int main()
10 {
11     Student bernhard = {"Cotta", 25, "Zillbach"};
12     std::cout << bernhard.ort << " " << bernhard.alter << std::endl;
13     //Student alexander = { .name = "Humboldt" , .alter = 22 , .ort =
14         "Berlin" };
15     //std::cout << alexander.ort << " " << alexander.alter << std::endl;
16     return EXIT_SUCCESS;
17 }
```

Elementinitialisierung:

Umsetzung	Beispiel
vollständige Liste in absteigender Folge (uniforme Initialisierung)	<code>Student Bernhard {"Cotta", 25, "Zillbach"};</code>
unvollständige Liste (die fehlenden Werte werden durch Standard Defaultwerte ersetzt)	<code>Student Bernhard {"Cotta", 25};</code>
vollständig leere Liste, die zum Setzen von Defaultwerten führt	<code>Student Bernhard {};</code>
Aggregierende Initialisierung (C++20)	<code>Student alexander = { .ort = "unknown"};</code>

C++11 führte die uniformen Initialisierungssyntax ein. In C++20 wird dieser Mechanismus um die die *Designated Initialisers*, die Sie aus C kennen erweitert. Sie ermöglicht es Entwicklern oder Programmierern, Datenelemente einer Struktur oder eines Arrays in beliebiger Reihenfolge zu initialisieren, was eine lesbarere und flexiblere Art der Initialisierung von Datenelementen darstellt.

Konstruktoren

Im Grunde können wir unsere drei Datenfelder im vorangegangenen Beispiel mit der uniformen Initialisierungssyntax oder dem Designated Initializer in unterschiedlichen Kombinationen initialisieren:

```
{name, alter, ort}
{name, alter}
{name}
{}
```

Was passiert aber bei dem Aufruf `Student alexander {"Humboldt", 23};`? Der Compiler generiert uns implizit/automatisch passende Konstruktor(en), wenn Sie gar keinen eigenen Konstruktor generiert haben. Diese werden daher auch *Implicit Constructors* genannt.

Welche Varianten sind für die Erzeugung einer Instanz denkbar, sprich wie kann ich individuelle Mechanismen für die Intialisierung eines Objektes definieren?

1. Erzeugung auf der Basis eines Parametersets mit individuellem Konstruktor

```
int alter = 21;
Student erstsemester(alter);
```

2. Erzeugung auf der Basis einer existierenden Instanz, die als Parameter übergeben wird (*Copy Constructor*)

```
Student erstsemester_template();
Student erstsemester(erstsemester_template);
```

3. Erzeugung auf der Basis einer existierenden Instanz, per Verschiebung (*Move Constructor*)

```
Student erstsemester_template();
...
Student erstsemester (std::move(erstsemester_template));
```

Nicht-Default Basiskonstruktoren

Constructor.cpp

```
1  #include <iostream>
2
3  struct Student{
4      std::string name;
5      int alter;
6      std::string ort;
7
8      Student(); // Default Constructor
9      void printCertificate();
10 };
11
12 void Student::printCertificate(){
13     std::cout << "Student " << this->name << " " << this->alter << "
14         the exam!\n";
15 }
16 Student::Student() : name {"Cotta"}, alter {18}, ort {"Freiberg"}
17 { } // keine Funktionalität
18
19 int main()
20 {
21     Student erstsemester {};
22     erstsemester.printCertificate();
23 }
```

Delegierende Konstruktoren rufen einen weiteren Konstruktor für die teilweise Initialisierung auf. Damit lassen sich Codeduplikationen, die sich aus der Kombination aller Parameter ergeben, minimieren.

```
Student(std::string n, int a, std::string o): name{n}, alter{a}, ort{o} { }
Student(std::string n) : Student (n, 18, "Freiberg") {};
Student(int a, std::string o): Student ("unknown", a, o) {};
```

Einer Ihrer Kommilitonen kommt auf die Idee einer `init()` Methode, die die Initialisierung übernehmen soll. Was halten Sie von dieser Idee?

Copy-Konstruktoren (Assignment Operator)

Copy-Konstruktoren gehen einen anderen Weg und aggregieren die Informationen unmittelbar aus einer bestehenden Instanz.

Welche Schritte sind im folgenden Beispiel notwendig, um einen Studenten aus der Bachelorliste in die Masterliste zu transferieren? Logischerweise sollte der Student dann nur noch in der Masterliste enthalten sein! Intuitiv würde dies bedeuten:

1. Erzeugen einer neuen Instanz von `Student` und initialisieren mit einer Kopie des existierenden Studenten
2. Löschen des Studenten in der Bachelorliste

Auf diesem Weg bestehen zwischen 1 und 2 letztendlich zwei Kopien des Studenten, was für aufwändigere Datentypen (Bilder, Messungen) zu vermeiden ist!

CopyConstructor.cpp

```
1 #include <iostream>
2 #include <list>
3 #include <iterator>
4
5 struct Student{
6     std::string name;
7     int alter;
8     std::string ort;
9
10     Student(std::string n, int a, std::string o);
11
12     Student(const Student&);           // Copy Constructor
13     //Student& operator=(const Student&); // Copy Alignment
14 };
15
16 Student::Student(std::string n, int a, std::string o): name{n}, alter
17     ort{o} {}
18 // Copy-Constructor
19 Student::Student(const Student& other){
20     std::cout << "Copy constructor executed!\n";
21     this->name = other.name;
22     this->alter = other.alter;
23     this->ort = other.ort;
24 }
25
26 void showlist(std::list <Student> g)
27 {
28     for(auto it = g.begin(); it != g.end(); ++it)
29         std::cout << it->name << "\n";
30     std::cout << '\n';
31 }
32
33 int main()
34 {
35     Student max {"Maier", 19, "Dresden"};
36     Student gustav {"Zeuner", 27, "Chemnitz"};
37     Student x = gustav;           // initialization by copy
38     Student y(max);             // Also initialization by copy
39     //y = gustav;               // assignment by copy assign
40     //std::cout << y.ort;
41     //std::list <Student> bachelor, master;
42     //bachelor.push_back(max);
43     //master.push_back(gustav);
44     //showlist(bachelor);
```

```

45 //showlist(master);
46 }

```

.....

	Copy-Konstruktor	Zuweisungs-Operator
Idee	Der Kopierkonstruktor ist eine Form des überladenen Konstruktors.	Der Zuweisungsoperator ist einfach ein Operator, der Datenmitgliedern, Objekten einen Wert zuweist.
	Der Kopierkonstruktor initialisiert ein neues Objekt durch ein bereits vorhandenes Objekt derselben Klasse.	Er ordnet den Wert eines Objekts einem anderen Objekt zu, das bereits erstellt wurde.
Speicherverwaltung	Das alte Objekt, das erstellt wurde, und das neue Objekt, das aufgerufen wird, teilen sich verschiedene Speicherplätze.	Das erste Objekt und das zweite Objekt, dem der Wert des ersten Objekts zugewiesen wird, teilen sich denselben Speicherplatz.

Der Verschiebungskonstruktor löst dieses Problem.

```

Student::Student(Student&& other) noexcept {
    this->name = std::move(other.name);
    this->alter = other.alter;
    this->ort = std::move(other.ort);
}

```

Während das '&' eine Variable als Referenz deklariert, legt **&&** eine 'rvalue-Referenz' an. D.h. eine Referenz auf ein Objekt, dessen Lebensdauer *am Ende ist*. (Mehr dazu später...)

Destruktoren

Destructor.cpp

```
1  #include <iostream>
2
3  struct Student{
4      std::string name;
5      int alter;
6      std::string ort;
7
8      Student(std::string n, int a, std::string o);
9      ~Student();
10 };
11
12 Student::Student(std::string n, int a, std::string o): name{n}, alter
    ort{o} {}
13
14 Student::~~Student(){
15     std::cout << "Destructing object of type 'Student' with name = '" <
        ->name << "'\n";
16 }
17
18 int main()
19 {
20     // Objekt im Stack
21     Student max {"Maier", 19, "Dresden"};
22     // Objekt im Heap
23     Student *gustav = new Student("Zeuner", 20, "Freiberg");
24     delete gustav;
25     std::cout << "End...\n";
26     return 0;
27 }
```

.....

Destruktoren werden aufgerufen, wenn eines der folgenden Ereignisse eintritt:

- Das Programm verlässt den Gültigkeitsbereich (*Scope*, d.h. einen Bereich der mit {...} umschlossen ist) eines lokalen Objektes.
- Ein Objekt, das `new`-erzeugt wurde, wird mithilfe von `delete` explizit aufgehoben (Speicherung auf dem Heap)
- Ein Programm endet und es sind globale oder statische Objekte vorhanden.
- Der Destruktor wird unter Verwendung des vollqualifizierten Namens der Funktion explizit aufgerufen.

Einen Destruktor explizit aufzurufen, ist selten notwendig (oder gar eine gute Idee!).

Merke: Ein Destruktor darf keine Exception auslösen!

Operatoren

Mit dem Überladen von Operatoren +, -, *, \/, = kann deren Bedeutung für selbstdefinierter Klassen (fast) mit einer neuen Bedeutung versehen werden. Diese Bedeutung wird durch spezielle Funktionen bzw. Methoden festgelegt.

Im folgenden Beispiel wird der Vergleichsoperator `==` überladen. Dabei sehen wir den Abgleich des Namens und des Alters als ausreichend an.

Allgemeine Operatoren

Comparison.cpp

```
1 #include <iostream>
2 #include <vector>
3 #include <algorithm>
4
5 struct Student{
6     std::string name;
7     int alter;
8     std::string ort;
9
10    Student(const Student&);
11    Student(std::string n);
12    Student(std::string n, int a, std::string o);
13
14    bool operator==(const Student&);
15 };
16
17 Student::Student(std::string n): name{n}, alter{18}, ort{"Freiberg"}{
18
19 Student::Student(std::string n, int a, std::string o): name{n}, alter
    ort{o} {
20 }
21
22 Student::Student(const Student& other){
23     this->name = other.name;
24     this->alter = other.alter;
25     this->ort = other.ort;
26 }
27
28 bool Student::operator==(const Student& other){
29     if ((this->name == other.name) && (this->alter == other.alter)){
30         return true;
31     }else{
32         return false;
33     }
34 }
35
36 int main()
37 {
38     Student gustav {"Zeuner", 27, "Chemnitz"};
39     Student alexander {"Humboldt", 22, "Berlin"};
40     Student bernhard {"Cotta", 18, "Zillbach"};
41     Student gustav2(gustav);
42     if (gustav == gustav2){
43         std::cout << "Identische Studenten \n";
44     }else{
45         std::cout << "Ungleiche Identitäten \n";
46     }
47     std::vector<Student> studentList {gustav, alexander, bernhard, gust
```

```

48     for (auto &i: studentList)
49         std::cout << i.name << ", ";
50     std::cout << std::endl;
51
52     //std::sort(studentList.begin(), studentList.end());
53     //for (auto &i: studentList)
54         //    std::cout << i.name << ", ";
55     //std::cout << std::endl;
56
57 }

```

.....

Analysieren Sie die Hinweise zur Sortiermethode in der Standard-Bibliothek

<https://en.cppreference.com/w/cpp/algorithm/sort>

Wie kann die entsprechende Sortierfunktion übergeben werden? Wann kann darauf verzichtet werden?

Mit der Operatorüberladung von `<` haben wir ein Sortierkriterium abgebildet. Wie würden Sie vorgehen, wenn sich Ihr Auftraggeber hier eine größere Flexibilität wünscht und ein Set von Metriken bereit gehalten werden soll?

Zuweisungsoperatoren

Zuweisungsoperatoren können in zwei Konfigurationen realisiert werden.

- Kopierend ... die auf der rechten Seite stehende Instanz bleibt erhalten, so dass nach der Operation zwei Objekte bestehen (*Copy Assignment*)
- Verschiebend ... die auf der rechten Seite stehende Instanz wird kopiert, so dass nur die linke Instanz weiter besteht (*Move Assignment*)

Die Unterscheidung der Mechanismen erfolgt anhand der Signaturen der Operatorüberladungen:

```

// copy assignment
myClass& operator=(const myClass& other)
{
    if(this != &other) {
        return *this = myClass(other);    // Aufruf des Copy Constructors
    }
}

// move assignment
myClass& operator=(myClass&& other) noexcept
{
    if(this != &other) { //1. Überprüfung der Zuweisung auf sich selbst
        // ...          2. Freigeben von bisherigen Ressourcen
        // ...          3. elementweises Übertragen
    }
    return *this;    // 4. Rückgabe des neuen Objektes
}

```

Im Beispiel hat einer Ihrer Kommilitonen das Copy-Assignment implementiert. Die Lösung generiert aber eine unerwartete Ausgabe. Welchem Irrtum ist der Kandidat erlegen?

Assignment.cpp

```
1 #include <iostream>
2
3 struct Student{
4     std::string name;
5     int alter;
6     std::string ort;
7
8     Student(const Student&);
9     Student(std::string n);
10    Student(std::string n, int a, std::string o);
11    Student& operator=(const Student&);
12 };
13
14 Student::Student(std::string n): name{n}, alter{18}, ort{"Freiberg"}{
15
16 Student::Student(std::string n, int a, std::string o): name{n}, alter
17     ort{o} {
18     std::cout << "Non-default constructor executed!\n";
19 }
20 // Copy-Constructor
21 Student::Student(const Student& other){
22     std::cout << "Copy constructor executed!\n";
23     this->name = other.name;
24     this->alter = other.alter;
25     this->ort = other.ort;
26 }
27
28 // Copy Assignment
29 Student& Student::operator=(const Student& other){
30     std::cout << "Copy assignment executed!\n";
31     if(&other != this){
32         this->name = other.name;
33         this->alter = other.alter;
34         this->ort = other.ort;
35     }
36     return *this;
37 }
38
39 int main()
40 {
41     Student gustav {"Zeuner", 27, "Chemnitz"};
42     Student gustav2(gustav);
43     Student gustav3 = gustav;
44     gustav.alter = 29; // Hiermit wird geprüft ob eine unabhä
45     Kopien // von gustav entstanden sind.
46     std::cout << gustav2.name << " " << gustav2.alter << "\n";
```

```
47     std::cout << gustav3.name << " " << gustav3.alter << "\n";
48 }
```

Merke: Ein Gleichheitszeichen in einer Variablendeklaration ist niemals eine Zuweisung, sondern nur eine andere Schreibweise der Initialisierung! (vgl. Zeile 41 im vorangegangenen Codebeispiel)

Rule of Five

Der Compiler generiert automatisch für Sie:

- einen Standardkonstruktor (wenn Sie gar keinen Konstruktor selbst angelegt haben)
- einen Destruktor
- einen Kopierkonstruktor
- einen Kopierzuweisungsoperator
- den Verschiebekonstruktor (seit C++11)
- den Verschiebeoperator (seit C++11)

Die generierten Versionen haben dabei eine in der Sprachnorm festgelegte Bedeutung: Es werden alle nicht-statischen Datenelemente in der Reihenfolge ihrer Deklaration kopiert (Konstruktoren bzw. Zuweisungen) bzw. in umgekehrter Reihenfolge freigegeben (Destruktor).

Super! Alles gelöst! Warum müssen wir also darüber nachdenken?

Falls eine Klasse jedoch eine andere Semantik hat, z. B. weil sie eine Ressource als Datenelement enthält, die nicht auf diese Weise kopiert oder abgeräumt werden kann, kann jede der genannten Konstruktoren/Destruktoren/Operatoren durch eine eigene Definition ersetzt werden. In den meisten Fällen erfordern solche Klassen dann, dass alle Konstruktoren/Destruktoren/Operatoren eigene, benutzerdefinierte Implementierungen haben.

Beispiel:

```
class Datei
{
public:
    Datei(const char* dateiname)
        : file(fopen(dateiname, "rb"))
        { /* Fehlerbehandlung usw. */ }

    // Rule of Three (bis C++11):
    Datei(const Datei&) = delete; // Kein Kopieren!
    ~Datei() { fclose(file); }
    void operator=(const Datei&) = delete; // Kein Kopieren!
```

```

... void operator=(const Example& &other) = delete; // kein Kopieren.
...
// weitere Elementfunktionen
// ...

private:
    FILE* file;
};

```

Seit C++11 ist es zudem möglich, das Erzeugen der compilergenerierten Version nicht nur explizit zu unterdrücken, sondern auch explizit zu erzwingen (=default). Damit wird dem Compiler (und auch dem menschlichen Leser) mitgeteilt, das in diesem Fall die compilergenerierte Version genau das gewünschte Verhalten bietet, so dass man es nicht manuell implementieren muss:

```

class Example
{
    Example(const Example&) = default; // erzwinge compilergenerierte Version
    void operator=(const Example&) = delete; // verhindere compilergenerierte
    Version
};

```

Rule of Three/Five: Die Dreierregel (vor C++11) bzw. Fünferregel (ab C++11) bezeichnet eine Empfehlung, die besagt, dass in einer Klasse, die eine der folgenden drei bzw. fünf Elementfunktionen definiert, auch die jeweils anderen beiden bzw. vier definiert werden sollten

Codestruktur

Header files, `includes`, `pragma once` ... am Beispiel

Wiederholung - Gültigkeitsbereich von Variablen

Wie lange ist meine Variable, die ich deklariert und initialisiert habe, verfügbar?

C++ definiert dafür 5 Gültigkeitsbereiche einer Variable, die einem jederzeit bewusst sein sollten, um "Irritationen" zu vermeiden:

- Globalen Gültigkeitsbereich - eine Variable oder ein Objekt wird außerhalb von jeder Klasse, Funktion oder Namespace deklariert. C++ ordnet diese automatisch einem globalen Namespace zu.

globalVariables.cpp

```
1 #include <iostream>
2
3 int i = 8; // i has global scope, outside all blocks
4 int j = 5;
5
6 int main( int argc, char *argv[] ) {
7     int i = 4; // das lokale i verdeckt das globale
8     std::cout << "Block scope der Variable : " << i << "\n";
9     std::cout << "Global scope der Variable i : " << ::i << "\n";
10    std::cout << "Global scope der Variable j : " << j << "\n";
11 }
```

- Namespace-Gültigkeitsbereiche - modularisiert Projekte, in die einzelnen Bestandteile individuell gekapselt werden. Variablen, die innerhalb eines Namespaces "global" angelegt wurden sind nur in diesem sichtbar. Ein Namespace kann in mehreren Blöcken in verschiedene Dateien definiert werden.

namespaces.cpp

```
1 #include <iostream>
2
3 int global = 10;
4
5 namespace myFunction{
6     int global = 5;
7
8     void doubleGlobal(){
9         global += global;
10    }
11 }
12
13 int main( int argc, char *argv[] ) {
14     std::cout << "Block scope der Variable global : " << global
15     << "\n";
16     std::cout << "Variable global im namespace myFunction : " << myFun
17     << "::global << "\n";
18 }
```

- Lokaler Gültigkeitsbereich - Variablen oder Objekte, die innerhalb eines Anweisungsblock oder einem Lambda-Ausdrucks deklariert werden, haben lokale Gültigkeit. Alle Formen von `{ // Anweisungen }` definieren dabei einen eigenen Block (oder *scope*).

localVariables.cpp

```
1 #include <iostream>
2
3 void myFunction(){
4     int i = 10;
5     std::cout << "Variable i im eingebetteten scope : " << i << "\n";
6 }
7
8 int main( int argc, char *argv[] ) {
9     int i = 0;
10    std::cout << "Variable i im aktuellen scope : " << i << "\n";
11    {
12        int i = 5;
13        std::cout << "Variable i im Scope der Funktion : " << i << "\n";
14    }
15    std::cout << "Variable i im aktuellen scope : " << i << "\n";
16    myFunction();
17 }
```

- Anweisungsbereichs - Anweisungsblöcke erweitern das Konzept des Anweisungsbereiches um die Parameter der Anweisung.

localVariables.cpp

```
1 #include <iostream>
2
3 int main( int argc, char *argv[] ) {
4     for (auto i = 0; i<10; i++){
5         int j = 5;
6         result += i;
7     }
8     std::cout << "Das Ergebnis für " << i << " Schleifen lautet " << res
9     "\n";
10 }
```

- Klassengültigkeitsbereich - Membervariablen oder Funktionen, die im im Definitionsbereich der Klasse liegen, können nur über die entsprechenden Instanzen oder ggf. als statische Klasselemente über den Klassennamen adressiert werden. Weiter gesteuert wird dieser Zugriff über öffentliche, private, und geschützt Schlüsselwörter.

classMember.cpp

```
1 #include <iostream>
2 #include <string>
3
4 struct Student{
5     std::string name;
6 };
7
8 int main()
9 {
10     Student erstsemester {"Gustav"};
11     std::cout << "Membervariable 'name' of 'erstsemester' has value '"
12         erstsemester.name << "'\n";
13 }
```

.....

Aufgabe der Woche

1. Implementieren Sie die Move Assignment Operation in Beispiel Assignment.cpp
2. Implementieren Sie eine Klasse, die Lese-/Schreiboperationen für Sie realisiert. Warum ist es gerade hier notwendig die Rule-of-Five Idee zu berücksichtigen?