

Prof. Dr. Andreas Butz | Prof. Dr. Ing. Axel Hoppe

Dipl.-Medieninf. Dominikus Baur  
Dipl.-Medieninf. Sebastian Boring

## Übung: Computergrafik 1

Einführung in C/C++:

Header- u. Source Files, Präprozessor, Compiler, Linker, Standard I/O



### Termin und Ort:

- 4 Wöchentliche Übungstermine:
  - Freitags, 12:15 – 13:45 und 14:15 – 15:45
  - Montags, 12:15 – 13:45 und 14:15 – 15:45
- Programmierberatung: Montags, 16:00 – 18:00
- Ort: Theresienstr. 39, Raum B 134

### Ablauf des Übung

- Es wird wöchentliche Übungsblätter geben
  - Freitag 12:00 – Neues Aufgabenblatt.
  - Freitag 12:00 – Abgabe der Aufgaben.
- **Alle** Aufgaben müssen als **ein** \*.zip File von **einem** Mitglied der Gruppe unter Angabe **aller anderen Mitglieder** erfolgen.
- Zum Ende des Semesters wird es eine Klausur geben.



- Erlernen von grundlegenden Konzepten der 2D- und 3D-Programmierung:
  - Transformationen
  - Licht und Texturen
  - Interaktion
  - Einfache Bildfilter
  - Komplexe (= Sequenz von) Bildfiltern
- Erwerb von Kenntnissen in C/C++, OpenGL und QT:
  - Grundlage der C/C++ Programmierung
  - Grundlegende 3D-Programmierung mit OpenGL
  - Grundlagen der GUI-Programmierung mit QT
- Verständnis der Mathematik für 2D- und 3D-Grafik:
  - Transformations- und Projektionsmatrizen (meist 3D)
  - Bildtransformationen (meist 2D)



- Jede Aufgabe eines Übungsblattes erhält mind. 50% der Punkte
- Insgesamt müssen mind. 50% der Blätter bearbeitet sein
- Abgaben müssen
  - Pünktlich (vor Freitag, 12 Uhr **s.t.**)
  - Korrekt (kompilieren mit einem Klick)
  - Lauffähig
  - Und nicht abgeschrieben sein!
- **Nur** wenn **alle** Kriterien erfüllt sind, gehen die erworbenen Punkte als Bonuspunkte in die Klausur ein.
- Punkte sind Gruppenpunkte, d.h. jeder Teilnehmer einer Gruppe erhält die gleiche Anzahl Punkte.
- **Aber:** Da die Gruppen während des Semesters variieren können, werden die Bonuspunkt-Kriterien individuell behandelt.



- Zur Bearbeitung der Aufgaben stehen die Rechner des CIP-Pools in der Amalienstrasse zur Verfügung.
- C++, OpenGL und QT sind plattformunabhängig -> Achten sie darauf, dass ihre Abgaben das ebenfalls sind.
- Zum Entwickeln unter Linux empfehlen wir die GNU GCC Compiler-Suite
- Zum Entwickeln unter Windows empfehlen wir MS Visual Studio
  - Alle Studenten des IFI können VS 2008 kostenlos über MSDNAA <http://www.rz.ifi.lmu.de/Dienste/MSDNAA> beziehen (ebenso MS Windows XP und Vista).
- Zur Abgabe ihrer Aufgaben sollen Sourcen und Projekt-Files eingecheckt werden.
  - \*.cpp, \*.h, \*.sln, \*.vcproj, makefiles sind im \*.zip enthalten.
  - \*.exe, \*.o, \*.ncb, \*.suo, \*.obj, etc. **nicht!**



## Aufbau eines C++ Programms



- Jedes (lauffähige) C++ Programm benötigt einen Einstiegspunkt.
- Das ist die reservierte Methode `int main()`
  - `int main()`
  - `int main(int argc, char** argv)`
- Die `main` Methode ist statisch d.h. sie kommt pro Prozess nur *einmal* vor.
- Die `main` Methode wird als erstes ausgeführt, wenn ein Programm gestartet wird.
- Wenn die `main` Methode beendet wird, wird auch das Programm beendet.
- Aufruf ohne Instanz einer Klasse möglich *aber* kein Zugriff auf die Member einer Instanzen.



### Ein einfaches Beispielprogramm:

```
#include <iostream>

int main(int argc, char** argv)
{
    std::cout << "CG 1" << std::endl;
    return 0;
}
```

- Kompilieren z.B. durch `gcc 3dp.cpp -o 3dp` oder `Strg+F5`
- Ausgabe bei Programmausführung: `CG 1`
- Rückgabewert `0` bedeutet, dass das Programm ohne Fehler beendet wurde
- Rückgabewerte ungleich `0` zeigen an, mit **welchem** Fehler das Programm beendet wurde (werden vom Programmierer festgelegt).



## Namespaces



- C++ Programme sind oft modular zusammen gesetzt.
- Klassen-/Funktionsnamen können also im Konflikt zu einander stehen
  - Code kommt von vielen verschiedenen Quellen
- Um Konflikte zu vermeiden gibt es sogenannte `Namespaces`
- Im Beispielprogramm haben Sie dieses Konstrukt kennen gelernt:  

```
std::cout << "foo" << std::endl;
```
- `cout` ist eine Funktion des Namespace `std`.
- Normalerweise müssen Funktionen immer mit ihrem Namespace-Präfix aufgerufen werden.
- Außer es wird eine `using` Direktive verwendet.

```
using namespace std;  
...  
cout << "Blah blah blah!" << endl;
```



- Um Konflikte mit Funktionen im globalen Namensraum (ohne Präfix) zu vermeiden sollten eigene Programme immer einen eigenen Namespace definieren.

```
namespace A {  
    typedef ... String; // definiert Datentyp A::String  
    void foo (String); // definiert A::foo(String)  
}
```

- Das Schlüsselwort `namespace` ordnet die darin befindlichen Symbole dem angegebenen Gültigkeitsbereich zu
- `A::String s1;` ist also unterschiedlich von `B::String s2;`



- C++ hat keine geschlossene API wie Java (es gibt aber einen ANSI Standard)
- Viele elementare Datentypen und Algorithmen sind in der STL implementiert (Vektoren, Listen, Iteratoren, Sortieralgorithmen, ...)
- Ausführliche Beschreibungen finden Sie im Web und in [N. Josuttis] oder [B.Stroustrup]



```
#include <iostream>
#include <string>

int main() {
    std::string t;
    std::string s = "Was ist die Lösung";
    std::cout << s << std::endl;
    std::cin >> t;
    if (t.compare("per aspera ad astra") == 0) {
        std::cout << "Richtig!" << std::endl;
    }
    return 0;
}
```



## Kontrollstrukturen



### Drei Schleifen (analog zu Java):

- `for` ([start]; [bedingung]; [ende]) {...}
- `while` ([bedingung]) {...}
- `do` {...} `while` ([bedingung]);

### Beispiele:

- `for` (`int` i=0; i<5; i++) {...}
- `while` (i < 5) {...}
- `do` {...} `while` (i < 5);



### Ein-/Ausgabe



## Unformatierte Ausgabe:

- Ausgabestrom: `std::cout`
- Format muss nicht angegeben werden, da sich dies aus dem Datentyp ergibt (ähnlich der Variante `println()` in Java)
- Nicht auf Standardtypen beschränkt
- Alle Teil-Zeichenketten werden mit dem Operator `<<` getrennt

## Beispiel:

```
int i = 7;  
std::cout << "\#: " << i << std::endl;
```



## Formatierte Ausgabe:

- Funktion `printf()`
- Argumente: Eine Zeichenkette plus ALLE vorkommenden Variablen

## Beispiel:

```
printf("int: %d, float %f \n", 7, 4.2);
```

## Weitere Erläuterungen:

<http://www.cplusplus.com/ref/cstdio/printf.html>



## Eingaben:

- Eingabestrom: `cin`
- Kein `endl` erforderlich
- `fflush(stdin)` leert den Eingabestrom

## Beispiel:

```
int i;  
cin >> i;           // Einlesen eines int  
fflush(stdin);
```



## C++ vs. Java



## Klassen und Objekte

- **Klasse** ist die Definition eines Objektes – also eine prototypische Beschreibung.
- **Objekte** sind Instanzen von Klassen und existieren nur zur Laufzeit eines Programms – verschiedene Instanzen einer Klasse können unterschiedliche Konfigurationen haben.
- **Objekte** kapseln Daten (Membervariablen) und bieten Funktionen (Memberfunktionen) zum ändern/abfragen dieser Daten und damit dem Status des Objektes an.



## Dynamischer vs. Statischer Kontext

- Statische Variablen gibt es nur einmal pro Klasse und Prozess
  - Änderungen statischer Variablen wirken sich auf alle Instanzen aus
  - Bsp.: Zähler für aktuell erzeugte Instanzen.
- Dynamische Variablen sind Membervariablen und können sich von Instanz zu Instanz unterscheiden.
- Statische Funktionen können ohne Instanz (aus statischem Kontext) aufgerufen werden dürfen aber nicht auf Member von Instanzen zugreifen.
- Um auf Member zuzugreifen muss erst eine Instanz erzeugt werden.



## C++ spezifische Konzepte

- Schlüsselwort `virtual` – nur virtuelle Funktionen können nach Vererbung überschrieben werden.
- Schlüsselwort `abstract` – nicht alle (virtuellen) Funktionen sind implementiert -> keine Instanzierung möglich.
- Mehrfachvererbung ist in C++ möglich, in Java jedoch nicht.
- Definition/Deklaration und Implementierung von Variablen/Klassen + Methoden wird in C++ üblicherweise getrennt (muss aber nicht) -> Header und Source-Files



## Die Header Datei

- Enthält Definitionen und Deklarationen -> eigentliche Implementierung erfolgt dann in der Source (.cpp) Datei.
- Außerdem enthält der Header Präprozessoranweisungen, z.B. `#include` um externe Klassen einzubinden.

1. Klassendeklaration	<code>class MyClass {...};</code>
2. Typdefinition	<code>struct Position { int x, y };</code>
3. Aufzählungen	<code>enum Ampel { rot, gelb, grün };</code>
4. Funktionsdeklaration	<code>int rechteckFlaeche (int width, int height);</code>
5. Konstantendefinition	<code>const float pi = 3.141593;</code>
6. Datendeklaration	<code>int a = null;</code>
7. Präprozessoranweisungen	<code>#include &lt;iostream&gt; #include "myheader.h" #define VERSION12 #ifdef VERSION12</code>



myClass.h

```
class MyClass : MyParentClass
{ // die Klasse MyClass erbt von MyParentClass
  public:
    MyClass(); //standard Konstruktor
    MyClass(std::string text); //zweiter Konstruktor
    virtual ~MyClass; //Destruktor

    virtual int func()=0; //eine rein virtuelle(=abstrakte) Funktion
    static double func(); //eine statische Funktion
    static int m_someNumber; //eine statische Membervariable

  protected:
    virtual int func(); //eine virtuelle Funktion

  private:
    void fu(); //eine Funktion
    std::string m_someString; //eine Membervariable
};
```



myClass.cpp

```
#include "myClass.h"

MyClass::m_someNumber = 5;

MyClass::MyClass() { //Standardkonstruktor
  m_someString= "EineIntialisierungvomText";
}
MyClass::MyClass(std::string text) //zweiter Konstruktor
  m_someString = text;
}

MyClass::~MyClass() { } //Destruktor

void MyClass::fu() { } //eine Funktion
int MyClass::fun() { return 4; } //eine virtuelle Funktion
double MyClass::func() { return 2; } //eine statische Funktion
```



## Zeiger (Pointer) und Referenzen

- Pointer sind Verweise auf Daten im Speicher -> Pointer zeigt auf die Speicherstelle.

```
int x = 42; //ein Integer
int* p_x; // (NULL) Pointer auf ein Integer
```

- Zur Verwaltung von Pointern dienen die Operatoren & und \* .
  - & liefert die Adresse von einem Datum also den Pointer.
  - \* dereferenziert einen Zeiger, d.h. die tatsächlichen Daten.

```
p_x = &x; //p_x zeigt auf x
```



## Zeiger (Pointer) und Referenzen

- Pointer sind Verweise auf Daten im Speicher -> Pointer zeigt auf die Speicherstelle.

```
int x = 42; //ein Integer
int* p_x; // (NULL) Pointer auf ein Integer
```

- Zur Verwaltung von Pointern dienen die Operatoren & und \* .
  - & liefert die Adresse von einem Datum also den Pointer.
  - \* dereferenziert einen Zeiger, d.h. die tatsächlichen Daten.

```
*p_x = 7; //welche Variable ist jetzt 7?
```



```
std::cout << *p_x << std::endl; //das, worauf p_x zeigt, ausgeben
```



C++ ist formatfrei, deswegen gibt es unterschiedliche

### Notationen für Pointer:

```
int *xp;  
int * xp;  
int*xp;  
int* xp;    // alle Notationen sind äquivalent
```

### Vorsicht bei Verwendung der letzten Notation:

```
int* p1, p2;    // Erzeugt?  
int *p1, p2;
```



### Arrays (Felder):

- Anlegen eines Arrays: `int werte[10];`
- Zugriff auf Feldelemente mit `[]` Operator

### Beispiel:

```
// ein Byte Array (10MByte) um den Wert 5 erhöhen  
char* array = new char[10000000];  
for (int i=0; i < 10000000; i++) {  
    array[i] += 5;  
}  
delete[] array;
```



## Arrays (Felder):

- **Bisher:** Anlegen eines Arrays: `int werte[10];`
- **Aber:** Anlegen nicht ohne Weiteres dynamisch möglich!

## Dynamische Speicherzuweisung:

- Zuweisung: `void* malloc(size_t size);`
  - Casten des Zeigers ist erlaubt, aber nicht nötig und zudem „Bad practice“!
- Speicherfreigabe: `void free(void* ptr);`
- `free` darf nur **einmal** auf jedem zuvor durch `malloc` (auch `calloc` oder `realloc`) **initialisierten** Zeiger aufgerufen werden!



```
// Zuweisung für ein Feld (Typ int) mit 10 Elementen
int *werte = malloc(10 * sizeof(int));
// Überprüfen ob der Speicher erfolgreich zugewiesen wurde
if (werte == NULL) {
    // Speicher konnte nicht zugewiesen werden
    // daher: Fehlerbehandlung!
    // free darf hier nicht aufgerufen werden
} else {
    // Speicher erfolgreich zugewiesen
    // Code zum bearbeiten des Zeigers
    ...
    // Bearbeitung des Feldes erledigt
    // -> Freigabe des Speichers
    free(werte);
    // Nun kann das Feld nicht mehr verwendet werden!
}
```



## Effizientes Programmieren mittels Zeigerarithmetik

```
char* array= new char[10000000];    // Zeigt auf erstes Element
char* endOfArray= array+10000000;  // Zeigt auf letztes+1 Element

for (char* i=array; i < endOfArray; i++) {
    (*i) += 5;    //Wert des Elements, auf das Zeiger i zeigt
}
delete[] array;
```

Diese Implementierung ist funktional identisch  
**ABER** deutlich schneller. Warum?



Auch die Geschwindigkeit von Methodenaufrufen kann durch den Einsatz von Pointern beeinträchtigt werden.

```
Eintrag suchFunktion(string s, Telefonbuch t) {
    //kopiert beim Aufruf das ganze Telefonbuch
    ...
    return e;
}
```

```
Eintrag suchFunktion(string& s, Telefonbuch& t) { // kopiert nur 4 Byte
    ...
    return e;
}
```

```
Eintrag& suchFunktion(string& s, Telefonbuch& t) {
    // wenn man den Eintrag ändert, ändert sich auch der im Telefonbuch!
    ...
    return e;
}
```



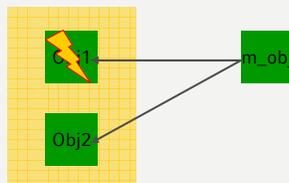
- Java verwaltet Speicher automatisch (Garbage Collection)
- In C++ muss man seinen Speicher (teilweise) selbst verwalten.
- Es gibt zwei Möglichkeiten Speicher anzufordern:

```
MyObject mo1; // Stack  
MyObject* mo2 = new MyObject(); // Heap
```

- **Stack:** Speicher wird freigegeben sobald die dazugehörige Variable ihre Gültigkeit verliert (z.B. lokale Variablen innerhalb einer Methode)
- **Heap:** Speicher wird erst freigegeben, wenn `delete` aufgerufen wird!



- `new/delete` ist die Fehlerquelle Nummer 1 für C++ Anfänger – warum?
  - Heap-Overflow weil sehr viele Objekte angelegt und nicht mehr gelöscht wurden.
  - Aufruf von `delete` auf Objekten die ihre Gültigkeit verloren haben.
- Zu jedem `new` gehört ein `delete`!
- Vorsicht mit Pointern
  - Pointer sollten immer initialisiert werden sonst ist `delete` ungültig.
  - Wenn für ein Objekt nur ein Pointer existiert darf dieser nicht umgebogen werden bevor `delete` aufgerufen wurde (Memory Leak)





## Nachtrag virtuelle Funktionen



- **Member Funktionen können als virtuell deklariert werden**
  - Virtuelle Funktionen können in abgeleiteten Klassen überschrieben werden
  - Keyword *virtual*
  - Normalerweise neue Funktionalität in abgeleiteter Klasse
- **Auch nicht virtuelle Funktionen können überschrieben werden**
  - Nicht virtuelle Methoden werden zur Compile-Zeit ausgewählt
  - Virtuelle Methoden werden zur Laufzeit ausgewählt



## ▪ Häufigster Grund für virtuelle Klassen: Unterschiedliches Verhalten zur Laufzeit

- Eltern-Klasse *Window*
- Abgeleitete Klasse *Button*
- Virtuelle Methode *Create*
- Verwendete Methode wird zur Laufzeit ausgewählt
  - beide Instanzen werden einer Variablen vom Typ *Window* zugewiesen.



```
class Window // Base class
{
public:
    virtual void Create() // virtual function
    {
        cout << "Base class Window," << endl;
    }
};
```

```
class Button : public Window
{
public:
    void Create()
    {
        cout << "Derived class Button," << endl;
    }
};
```

```
void main()
{
    Window *x, *y;

    x = new Window();
    x->Create();

    y = new Button();
    y->Create();
}

Ausgabe:
Base class Window
Derived class Button
```



## Präprozessor, Compiler, Linker



## Compiler Collection

- Eine Sammlung von Programmen, die man zur Programmerstellung benötigt.
- **Präprozessor** – Textersetzung in Sourcefiles vor dem eigentlichen Kompilieren
- Übersetzer [**Compiler**] Übersetzt Programm(fragmente) von C++ in Binärcode (maschinenlesbar)
- Verknüpfer [**Linker**] setzt Binärcodefragmente zu lauffähigem Programm zusammen



- Anweisungen für den Präprozessor fangen mit # an
- #include "file.h" fügt die Header-Datei file.h ein
- #define FOO 1 ersetzt überall im Programmtext FOO mit 1

```
#ifndef BAR
    Code 1
#else
    Code 2
#endif
```

- Fügt im Programmtext Code 1 ein, falls BAR definiert wurde, ansonsten Code 2



- Schutz vor Mehrfach-Einbindung von Headern

```
#ifndef __MYCLASS_H__
#define __MYCLASS_H__

#include ...

class MyClass { ... };

#endif // __MYCLASS_H__
```

- Ersetzungsworte immer in Großbuchstaben
- Präprozessor-Einsatz ist unflexibel und sollte minimiert werden!



## Bibliotheken (\*.lib,\*.so,\*.dll) sind vorkompilierte Binärdateien ohne Einstiegspunkt:

- Zeitvorteil, da nicht immer alles neu kompiliert werden muss
- Wiederverwendbarkeit -> kein mehrfach erfinden des Rades nötig
- Platz- und Geschwindigkeitsvorteil, da häufig benötigter Code nur einmal auf der Platte gespeichert werden muss (und teilweise auch nur einmal im Speicher)



- Das eigentliche Erstellen von Programmen wird vom Linker erledigt
- Linker ersetzt symbolische Funktionen in Binärcode mit Adressen im Speicher.
- Außerdem werden eigene Programmfragmente und verwendete Bibliotheken zusammen gesetzt.
- Zwei Arten des Verknüpfens möglich:
  - Statisches Verknüpfen
  - Dynamisches Verknüpfen



### Statisches Verknüpfen:

- Einfachste Methode
- Erzeugt eine große Datei
- Bei Änderungen an der Bibliothek muss neu kompiliert werden

### Dynamisches Verknüpfen:

- Komplizierter Mechanismus der auf unterschiedlichen BS verschieden funktioniert.
- Kleinere, modulare Dateien
- Bibliotheken können von mehreren Programmen gleichzeitig benutzt werden
- Bei Änderungen an der Bibliothek muss nicht neu kompiliert werden



### Einbinden von fremden Bibliotheken

- Im eigenen Code den/die Header einbinden (für die Methoden-Deklarationen)
- Den Linker-Suchpfad so anpassen, dass Bibliotheken gefunden werden können (lib path)
- Den Compiler-Suchpfad so anpassen, dass Headerdateien gefunden werden können (include path)



## Tipps zur Fehlersuche:

- Meist wurde in den angegebenen Objektdateien ein Symbol (Funktion, Variable, Klasse, ...) nicht gefunden
  - Schreibfehler
  - Falscher oder fehlender Namensraum
  - Schlüsselwörter `virtual/static` vergessen
- Der Compiler prüft **nie** nach, ob eine deklarierte Funktion (im Header) implementiert wurde -> Laufzeitfehler
- Implementierte Methoden ohne Deklaration geben dagegen immer einen Fehler
- SegFaults sind das Äquivalent zur `NullPointerException` in Java



## Weiterführende Literatur

- Nicolai Josuttis, "Objektorientiertes Programmieren in C++", ISBN 3-8273-1771-1
- Bjarne Stroustrup, "The C++ Programming Language", ISBN-13: 978-0201700732
- <http://www.cplusplus.com/reference/stl/>
- <http://www.cplusplus.com/ref/cstdio/>