

C.1 Überblick

- C++ im Vergleich zu C und Java
- Objekte und Klassen in C++
- Konstruktoren und Destruktoren
- Vererbung
- Ausnahmebehandlung (Exceptions)
- Überladung von Operatoren
- Templates
- Hier nicht betrachtet: Standard Templates Library (STL)

1 Geschichte von C++

C.1 Überblick

- 1980: Dennis Ritchie erweitert C zu *C mit Klassen*
- 1983: Bjarne Stroustrup führt C++ V1.0 ein
- 1986: Bjarne Stroustrup veröffentlicht *The C++ Programming Language* (1st Edition)
- 1989: ANSI verabschiedet Standard C mit Elementen von C++
- 1989: ANSI-Komitee X3J16 beginnt mit Standardisierung von C++ (V2.0)
- 1991: *The Annotated C++ Reference Manual* definiert C++ V3.0, inklusive *Templates* und *Exceptions*
- 1993: C++ V3.1 führt *Namespaces* und *Run-Time Type Identification* ein
- 1997: ISO WG21 und ANSI X3J16 übernehmen C++ und die *Standard Template Library (STL)* als Standard ISO/IEC FDIS 14882

2 Was ist C++?

- Eine Obermenge von C
- Ein "besseres" C
 - ◆ Strenge Typprüfung
 - ◆ Prototypen
 - ◆ Überladen von Funktionen und Operatoren
- Erweiterung von C um objektorientierte Konzepte
 - ◆ Objekte
 - ◆ Klassen
 - ◆ Vererbung
 - ◆ Polymorphismus
- *Aber:* C++ erzwingt keine objektorientierten Programmwurf!
(anders als Java...)

3 Literatur

C.1 Überblick

- Bjarne Stroustrup: *The C++ Programming Language*. 3rd Edition, Addison-Wesley, Reading MA, 1997.
- *ANSI C++ Public Comment Draft*, December 1996.
- Scott Meyers: *Effective C++*, 2nd Edition, Addison-Wesley, Reading MA, 1997.
- Scott Meyers: *More Effective C++*, Addison-Wesley, Reading MA, 1995.
- Harvey M. Deitel, Paul J. Deitel. *C++ - How to program*. 2nd Edition, Prentice-Hall, 1998.

- Ein- und Ausgabe über Ströme
- Inlining
- Scope-Operator
- Namensräume
- Speicherverwaltung
- Überladen von Funktionen
- Referenzvariablen
- Default-Parameter
- Konstanten

1 Ein- und Ausgabe

- Eingabe und Ausgabe zu Strömen (*Streams*) via *Operatoren*
 - ◆ `cin` Eingabestrom (global)
 - ◆ `cout`, `cerr`, `clog` Ausgabeströme (global)
 - ◆ `>>` Eingabe-Operator
 - ◆ `<<` Ausgabe-Operator

- Beispiel:

```
#include <iostream>

void main() {
    int test; // i/o test variable
    cin >> test;
    cout << "test=" << test << "\n";
}
```

2 Inlining

- Reserviertes Schlüsselwort `inline`:

```
inline return_type function_name( parameter_list ) {
    function_body
}
```

- ◆ Compiler versucht Funktionsaufruf zu optimieren
- ◆ Anstelle eines Funktionsaufrufs wird die komplette Funktion beim Aufrufer eingefügt ➔ Schnellere Aufrufe, aber größere Programme
- ◆ Weitere Optimierungen möglich (z.B. bei Aufrufen mit konstanten Parametern)
- ◆ Nicht möglich bei rekursiven Funktionen
- ◆ Implementierung der Funktion muss in der Header-Datei stehen (.H or .hh)!!!

- Unterschiede zu Präprozessor-Makros (`#define`):

- ◆ Makros werden als normaler Text expandiert
 - ➔ Keine Typ-Prüfung, oft mysteriöse Syntaxfehler
- ◆ Makros können rekursiv expandiert werden

3 Scope-Operator

- Neuer Operator `::`
- Vor allem benutzt mit Klassen und Namensräumen
- Hier: Zugriff auf versteckte Variable mit anderem Scope
- Beispiel:

```
#include <iostream>

int test = 4711; // globale Variable

void main() {
    int test = 1234; // lokale Variable

    cout << "Die globale Variable ist " << ::test << "\n";
    cout << "Die lokale Variable ist " << test << "\n";
}
```

4 Namensräume

C.2 Grundlagen

■ Neues Schlüsselwort **namespace**:

```
namespace namespace_name {  
    declarations/definitions  
}
```

- ◆ Öffnet einen neuen Namensraum für Bezeichner
- ◆ Kann geschachtelt verwendet werden
- ◆ Zugriff über den Scope-Operator **::**
- ◆ Ähnlich **package** in Java, aber kein Bezug zur Datei-Organisation

■ Beispiel:

```
namespace Date {  
    struct Time {  
        int year;  
        ...  
    };  
}
```

4 Namensräume (2)

C.2 Grundlagen

■ Import von Bezeichner anderer Namensräume via **using**:

```
using namespace_name::identifer;
```

- ◆ Wie **"import package.identifer;"** in Java

■ Import von kompletten Namensräumen:

```
using namespace namespace_name;
```

- ◆ Wie **"import package.*;"** in Java

■ Beispiel:

```
namespace Date {  
    struct Time { ...  
    };  
}  
  
namespace MyApp {  
    using Date::Time;  
    Time today;  
}
```

5 Speicherverwaltung

C.2 Grundlagen

■ Zwei Operatoren in C++:

- ◆ Speicherreservierung mit **new**

```
type *pointer_to_type;  
pointer_to_type = new type;
```

- Falls Reservierung fehlschlägt, wird eine **std::bad_alloc** Expetion geworfen (oder ein **NULL**-Zeiger zurückgegeben)
- vgl. C: Kein expliziter Cast auf Typ notwendig

- ◆ Speicherfreigabe mit **delete**

```
delete pointer_to_type;
```

- Programmierer verantwortlich für die Freigabe
- Auf Zeiger kann auch nach Freigabe noch zugegriffen werden
- Häufige Quelle für Programmierfehler
- **delete** für einen **NULL**-Zeiger ist erlaubt

■ vgl C: Speicherverwaltung mit **malloc** und **free**

5 Speicherverwaltung (2)

C.2 Grundlagen

■ Beispiel:

```
int *x=0;        // okay  
delete x;        // okay  
x = new int;     // okay  
delete x;        // okay  
delete x;        // falsch
```

■ Spezielle Syntax für Arrays:

```
int *ap = new int[7];  
delete[] ap; // nicht: delete ap !!!
```

- Niemals **malloc** / **free** mit **new** / **delete** mischen!
➔ Achtung: Z.B. **strdup** macht implizit ein **malloc**
- Keine *Garbage Collection* in C++

6 Überladen von Funktionen

C.2 Grundlagen

- Selber Funktionsname für unterschiedliche Implementierungen
 - ◆ Funktioniert für reine C-Funktionen und für C++ Methoden
- Überladene Funktionen werden unterschieden durch:
 - ◆ Anzahl der Parameter
 - ◆ Typ der Parameter
 - ◆ Reihenfolge der Parametertypen
 - ◆ *Nicht*: Rückgabe-Typ (Rückgabe-Wert kann ignoriert werden)

■ Beispiel:

```
void Print();           // okay
void Print(int, char*); // okay
int Print(float);       // okay
int Print();            // fehler, nicht unterscheidbar
```

7 Referenzvariablen (2)

C.2 Grundlagen

- Referenzparameter
 - ◆ Ermöglichen implizite *call-by-reference*-Semantik
 - ◆ Keine Zeiger notwendig
 - ◆ Aufrufer verwendet normale Aufrufsyntax
 - ◆ Nachteil: Syntax des Aufrufs zeigt nicht die Semantik

■ Beispiel:

```
#include <iostream>

void increment(int& x) {
    x++;
}

void main() {
    int x = 5;
    increment( x );
    cout << "x=" << x << "\n";    // x==6
}
```

7 Referenzvariablen

C.2 Grundlagen

■ Adress-Operator & in Variablendeklaration

```
type &reference_variable = variable_of_type;
```

■ Referenzvariablen

- ◆ Keine eigenständigen Variablen
- ◆ Proxy oder Alias für eine andere Variable
- ◆ Muss bei Deklaration initialisiert werden (mit einem *lvalue* - etwas, was auf der linken Seite einer Zuweisung sein kann)

■ Beispiel:

```
int x = 5;      // Variable
int &rx = x;    // Referenz auf x
x = 6;          // x==6 und rx==6
```

- Operationen auf Referenzvariablen verändern die referenzierte Variable
- Ähnlich zu Zeigern mit impliziter Dereferenzierung

7 Referenzvariablen (3)

C.2 Grundlagen

- Rückgabe von Referenzen ebenfalls möglich
- Funktion liefert eine Variable (*lvalue*), nicht einen Wert

```
int global = 0;          // globale Variable
int& func() {
    return global;       // Rückgabe: Referenz auf global
}

int main() {
    int x;
    x = func() + 1;      // x = global + 1;
    func() = x;          // global = x;
}
```

■ Rückgabe von Referenzen auf lokale Variablen verboten

```
int& func() {
    int x = 0;
    int& rx = x;
    return rx;           // nicht erlaubt!
}
```

8 Default-Parameter

C.2 Grundlagen

- Funktionsparameter können einen *Defaultwert* besitzen
- Wird verwendet, wenn der Parameter im Aufruf fehlt
 - ➔ Nur am Ende der Parameterliste erlaubt

- Beispiel:

```
void print(char* string, int nl = 1);

print( "Test", 0 );
print( "Test" ); // äquivalent zu print( "Test", 1 )
print();        // falsch, Parameter char* fehlt
```

- Achtung: Überladen und Defaultparameter können Mehrdeutigkeit verursachen

```
void print(char* string);
void print(char* string, int nl = 1);
print( "Test" ); // welche Funktion ist gemeint??????????
```

9 Konstanten

C.2 Grundlagen

- Reserviertes Wort **const** ändert Deklaration
 - ◆ **const**-Variablen sind nur lesbar (**final** in Java)
 - ◆ Initialisierung erfolgt bei Deklaration

- Beispiele:

```
const int k = 42;
char* const s1 = "Test1";
const char* s2 = "Test2";
const char* const s3 = "Test3";

k = 4;           // Fehler: k ist const
s1 = "New test"; // Fehler: Zeiger ist const
*s1 = 'P';       // okay, Zeichen von s1 sind nicht const
s2 = "New test"; // okay, Zeiger selbst ist nicht const
*s2 = 'P';       // Fehler: Zeichen von s2 sind const
```

- Vorzuziehen gegenüber **#define**, weil vom Compiler verwaltet
 - ◆ Definition von lokalen Konstanten; typgebunden
 - ◆ Zeiger auf Konstanten möglich (wie Zeiger auf Variablen)

C.3 Objekte und Klassen in C++

C.3 Objekte und Klassen in C++

- Erweiterung von **struct**
- Klassen
- Sichtbarkeit
- Erzeugung von Objekten
- Zugriff auf Objekte
- Objekt-Methoden

1 Erweiterung von struct

C.3 Objekte und Klassen in C++

- Neues Konzept für **struct**
 - ◆ Jede **struct** definiert einen Typ
 - ◆ Lokale Funktionen in **struct**

- Beispiel:

```
struct Person
{
    char*   name;
    int     age;

    void    setName( char* );
    void    setAge( int );
};
```

- Nachteil: uneingeschränkter Zugriff auf alle Teile von aussen

2 Klassen

- Klassendeklaration in C++ mit Schlüsselwort **class**:

```
class Klassenname {  
    Deklaration von Variablen und Funktionen  
};
```

◆ Enthält Deklaration von Daten und Methoden (in C++ *members* genannt)

- Beispiel:

```
class Person  
{  
    char*   name;  
    int     age;  
  
    void    setName( char* );  
    void    setAge( int );  
};
```

3 Sichtbarkeit (2)

- Beispiel:

```
class Person {  
private:  
    char*   name;           // private member variables  
    int     age;  
public:  
    void    setName( char* ); // public member functions  
    void    setAge( int );  
};
```

3 Sichtbarkeit

- Unterschiedliche Sichtbarkeit für Teile eines Objekts:

- ◆ **private**: Zugriff nur innerhalb der Klasse
- ◆ **public**: Zugriff von überall
- ◆ **protected**: wie **private**, aber abgeleitete Klassen haben Zugriff

- Teile können in beliebiger Reihenfolge deklariert werden (und auch wiederholt werden)

- Der **public**-Teil stellt die Schnittstelle für andere Objekte dar

- Standard-Sichtbarkeit ist **private** !

4 Objekterzeugung

- Syntax ist indentisch zur Deklaration einer Variablen

- *Statische* Erzeugung:

```
Person peter;  
Person john;
```

- ◆ Objekt wird gelöscht, wenn der Scope des Bezeichners verlassen wird

- *Dynamische* Erzeugung:

```
Person* peter;  
peter = new Person; // Objekt wird erzeugt
```

- ◆ Objekt muss explizit gelöscht werden

```
delete peter; // Objekt wird gelöscht
```

5 Zugriff auf Objekte

- Zugriff von ausserhalb des Objekts
 - ◆ Private-Variablen und -Funktionen sind nicht zugänglich
 - ◆ Public-Variablen und -Funktionen sind zugänglich
- Zugriffsoperator
 - ◆ Wie bei `struct` mit dem Punkt-Operator `.`
 - ◆ Bei Zeigern auf Objekte: Pfeil-Operator `->`

■ Beispiel:

```
Person peter;
Person* john = new Person;

peter.setName( "Peter Smith" ); // okay, public
cout << peter.name;           // falsch, private
john->setAge( 35 );             // okay, public
cout << john->age;             // falsch, private
delete john;
```

7 Objektmethoden (2)

■ Beispiel:

◆ Header (Person.h)

```
#ifndef PERSON_H
#define PERSON_H
class Person {
private:
    char*   name;
    int     age;
public:
    void    setName( char* n ) {                // inline
        name = n;
    }
    void    setAge( int i );
};
#endif
```

◆ Implementation (Person.cpp)

```
#include "Person.h"

void Person::setAge( int i ) {
    age = i;
}
```

6 Objekt-Methoden

- Definition *innerhalb* der Klassen-Deklaration:
 - ◆ Implementierung folgt direkt auf die Deklaration (wie in Java)
 - ◆ Funktion wird automatisch `inline`
 - ◆ Normalerweise in Header-Dateien verwendet (`.h`, `.H` or `.hh`)
- Definition *ausserhalb* der Klassen-Deklaration:
 - ◆ Innerhalb der Klasse lediglich Deklaration des Funktionsprototypen
 - ◆ Zur Definition muss zunächst der Klassenname genannt werden, gefolgt vom Funktionsname, abgetrennt durch den Scope-Operator `::`
 - ◆ Normalerweise in Implementierungsdateien (`.c`, `.cc`, or `.cpp`)

8 Konstante Objekte

- Mit "const" deklarierte Variable
 - ◆ Initialisierung bei Deklaration
 - ◆ Können danach nicht mehr verändert werden
 - ◆ Nützlich für Methodenparameter

■ Dummes Beispiel:

```
const Person nobody;
```

- Nur Operationen, die das Objekt nicht verändern, dürfen aufgerufen werden
- Wie weiß der Compiler das?
 - ◆ Er weiß es nicht!
 - ◆ Er braucht einen Hinweis vom Programmierer!

8 Konstante Objekte (2)

C.3 Objekte und Klassen in C++

- Methoden können mit **const** deklariert werden
- **const**-Methoden verändern das Objekt, an dem sie aufgerufen werden, nicht
- Beispiel:

```
class Person {  
  
    private:  
        char*   name;  
        int     age;  
  
    public:  
        int getAge() const {  
            return age;  
        }  
};
```

C.4 Konstruktoren und Destruktoren

C.4 Konstruktoren und Destruktoren

- Konstruktoren
- Destruktoren
- Member-Objekte
- Kopier-Konstruktor
- Objekt-Arrays

1 Konstruktoren

C.4 Konstruktoren und Destruktoren

- Wie in Java
- Definiert als Methode der Klasse
- Name der Methode ist identisch zum Namen der Klasse
- *Kein* Rückgabewert (nicht einmal **void**)
- Mehrere Konstruktoren durch Überladen
- Deklaration normalerweise im **public**-Teil der Klasse
- Zweck: Automatische Initialisierung des neuen Objekts nach Erzeugung
 - ➔ Konstruktor muss Objekt in einen konsistenten Zustand bringen
- Compiler erzeugt einen minimalen Default-Konstruktor (ohne Argumente), falls keiner in der Klasse deklariert wurde

1 Konstruktoren (2)

C.4 Konstruktoren und Destruktoren

- Aufgerufen bei:
 - ◆ Erzeugung eines Objekts über den Operator **new**
 - ◆ Erzeugung eines statischen Objekts
- Minimaler Default-Konstruktor (vom Compiler erzeugt):

```
Person::Person() {}
```

- Standard-Konstruktor (ersetzt minimalen Konstruktor):

```
Person::Person() {  
    name = NULL;  
    age = 0;  
}
```


1 Konstruktoren (3)

■ Andere Konstruktoren:

```
Person::Person( char *n, int i = 0 ) {
    name = n;
    age = i;
}
```

- ◆ Default-Werte sind möglich

2 Destruktoren (2)

■ Aufgerufen bei:

- ◆ Löschen eines Objekts über den Operator `delete`
- ◆ Verlassen des Scopes eines statischen Objekts

■ Minimaler Default-Destruktor (erzeugt vom Compiler):

```
Person::~Person() {}
```

2 Destruktoren

- Ähnlich zu `finalize` in Java
- Deklariert als Klassenmethode
- Methodenname ist der Klassenname mit `~` davor
- *Kein* Rückgabetyt (nicht einmal `void`)
- Nur *eine* Destruktor möglich
- Destruktoren haben *keine* Parameter
- Deklaration normalerweise im `public`-Teil der Klasse
- Zweck: Aufräumen vor dem Löschen des Objekts
- Compiler erzeugt Default-Destruktor (tut nichts), falls in der Klasse keiner deklariert

3 Member-Objekte

■ Objekte anderer Klassen als Mitglieder innerhalb einer Klasse

```
class Workplace {
    Person worker;
    ...
};
```

- Zugriff ganz normal mit den Operatoren `.` und `->`
- Probleme bei der Initialisierung:
 - ◆ Werden die Konstruktoren der Member-Objekte aufgerufen?
 - ◆ Wenn ja, wann werden diese aufgerufen?
 - ◆ Welche Konstruktoren werden aufgerufen?
 - ◆ Welche Parameterwerte werden verwendet?
- Ähnliches Problem beim Löschen von Objekten:
 - ◆ Wann werden die Destruktoren der Member-Objekte aufgerufen?
 - ◆ Kein Problem: Nur ein Destruktor, keine Parameter

3 Member-Objekte (2)

- Definition einer Initialisierungsliste im Konstruktor:

```
class_name::class_name( parameter_list )
    : member1( parameters ), member2( parameters ), ...
{ ... }
```

- Beispiel:

```
class Person {
public:
    Person( char* );
    ...
};

class Workplace {
    Person worker;
    ...
};

Workplace::Workplace( char* name )
    : worker( name )
{ ... }
```

5 Arrays von Objekten

- Statische Arrays

- ◆ Ohne Initialisierung

➔ Für alle Elemente wird der Standard-Konstruktor aufgerufen

```
Person test[4]; // ruft 4x Person::Person() auf
```

- ◆ Mit Initialisierung

➔ Initialisierungsausdrücke werden für die ersten Elemente verwendet, ggf. wird für den Rest der Standard-Konstruktor aufgerufen

```
Person test[4] =
{ "Peter", Person("John") };
// test[0] und test[1]: Person::Person( char* )
// test[2] und test[3]: Person::Person()
```

4 Kopier-Konstruktor

- Wann wird der Kopier-Konstruktor verwendet?

- ◆ Objekt ist ein Parameter bei einem Funktionsaufruf (als *call-by-value*)
- ◆ Objekt ist ein Rückgabewert einer Funktion
- ◆ Initialisierung eines Objekts mit einem existierenden Objekt

```
Person peter( john );
```

- Beispiel:

```
Person::Person( const Person& p ) {
    name = p.name;
    age = p.age;
}
```

- Wichtig: Referenz-Operator & verwenden

- Default-Kopier-Konstruktor (vom Compiler erzeugt) kopiert bit für bit

5 Arrays von Objekten (2)

- Dynamisch erzeugte Arrays

- ◆ Der Default-Konstruktor wird immer aufgerufen

```
Person *table;
table = new Person[4]; // 4 times Person::Person()
```

- Zugriff wie gewohnt über den Operator []

```
Person table[4];

table[0].setName( "Peter" );
```

- Zerstören von Arrays

- ◆ Für alle Elemente wird der Destruktor aufgerufen
- ◆ Dynamisch allokierte Arrays müssen über `delete[]` gelöscht werden

C.5 Vererbung

- Einfache Vererbung
- Scope-Operator
- Modifikation der Sichtbarkeit
- Konstruktoren und Destruktoren
- Type-Casting
- Virtuelle Methoden
- Polymorphismus
- Virtuelle Destruktoren
- Abstrakte Basisklassen
- Mehrfachvererbung

1 Vererbung

- Ähnlich wie in Java
- Zweck: Verwendung existierender Implementierungen (Klassen)
- Neue Klasse *erbt* Eigenschaften einer existierenden Klasse
- Notation:
 - ◆ Klasse, die erbt: Unterklasse (SubClass)
 - ◆ Klasse, von der geerbt wird: Oberklasse oder Basisklasse (SuperClass oder BaseClass)
- In C++: *Ableitung* neuer Klassen von existierenden
- Ableitung/Vererbung ist eine "ist-ein"-Beziehung
- Eine Basisklasse: Einfache Vererbung; sonst: Mehrfachvererbung

1 Vererbung (2)

- Syntax:

```
class subClass :
[modifier] superClass1, [modifier] superClass2, ... {
    Deklaration von neuen Member-Variablen und
    neuer oder überschriebener Member-Funktionen (Methoden)
```

- Nicht vererbt werden:
 - ◆ Konstruktoren
 - ◆ Destruktor
 - ◆ Zuweisungs-Operator

1 Vererbung (3)

- Generell: Alles was nicht überschrieben wird, wird geerbt

```
class Person { ...
public:
    void print();
    void setName( char* );
};
```

```
class Employee : public Person { ...
public:
    void print();
    void setSalary( float );
};
```

verhält sich wie

```
Class Employee : public Person { ...
public:
    void print();           // from Employee
    void setName( char* );  // from Person
    void setSalary( float ); // from Employee
};
```

2 Scope-Operator

C.5 Vererbung

- Oft wird Zugriff auf überschriebene Methode der Basisklasse benötigt

- Scope-Operator ::

```
class_name::method( ... )
```

- Kein **super** wie in Java!

- Beispiel:

```
class Employee : public Person { ...
public:
    void print() {
        // print();    // Nein! => Endlosschleife!
        Person::print();
        cout << "Salary:" << salary << "\n";
    }
};
...
Employee a;
a.print();
a.Person::print();
```

3 Modifikation der Sichtbarkeit

C.5 Vererbung

- Spezifikation, wie Elemente der Basisklasse in der abgeleiteten Klasse sichtbar sein sollen

- **public**-Schlüsselwort bei Vererbung:

- ◆ **public** bleibt **public**
- ◆ **protected** bleibt **protected**
- ◆ **private** nicht zugreifbar in abgeleiteter Klasse

- **protected** / **private** -Schlüsselwort bei Vererbung:

- ◆ **public** wird zu **protected** / **private**
- ◆ **protected** wird zu **protected** / **private**
- ◆ **private** nicht zugreifbar in abgeleiteter Klasse

3 Modifikation der Sichtbarkeit (2)

C.5 Vererbung

- Normalerweise wird nur **public**-Vererbung verwendet

- **protected** und **private** ändern die Schnittstelle

➔ **abgeleitete Klasse ist kein Untertyp der Oberklasse mehr!**

- Default ist **private** !

4 Konstruktoren

C.5 Vererbung

- Initialisierung der Elemente der Basisklasse durch Konstruktoren der Basisklasse

- Konstruktor der abgeleiteten Klasse ruft Konstruktoren der Basisklassen via *Initialisierungsliste* auf

```
class_name::class_name( parameter_list )
    : superclass1( parameters ), superclass2( parameters ), ...
```

- Konstruktoren der Basisklassen werden vor dem Konstruktor der abgeleiteten Klasse ausgeführt

- Beispiel:

```
Employee::Employee( char* n, int a, float s )
    : Person( n, a ), salary( s )
{
    ...
}
```

5 Destruktoren

C.5 Vererbung

- Löschen von Elementen der Basisklasse muss im Destruktor der Basisklasse erfolgen
- Destruktor der Basisklasse wird *automatisch* aufgerufen *nach* dem Destruktor der abgeleiteten Klasse (andere Reihenfolge als beim Konstruktor)
- Beispiel:

```
Employee::~~Employee()  
{  
    Destroy only new members in employee  
}
```

6 Zeiger auf Objekte

C.5 Vererbung

- Zeiger auf ein Objekt einer abgeleiteten Klasse kann einem Zeiger auf eine Basisklasse zugewiesen werden
 - ◆ Unterklasse ist eine Erweiterung der der Basisklasse, und daher auch ein Untertyp
- Anders herum funktioniert es nicht
 - ◆ Explizites *type casting* notwendig
- Allgemeine Regel:
Speziellere Typen können einem allgemeineren Typ zugewiesen werden
- Zeiger haben einen *statischen* und einen *dynamischen* Typ:
 - ◆ statisch: Klasse von der Zeigerdeklaration
 - ◆ dynamic: Klasse des Objekts, auf den der Zeiger zeigt)
- Statischer Typ legt die zugängliche Schnittstelle fest (Mitglieder und Methoden)

7 Type-Casting

C.5 Vererbung

- C-Stil:

```
Class Person { ... };  
Class Employee : public Person { ... };  
...  
Employee* e = new Employee;      // okay  
Person* p = new Person;          // okay  
Person* pe = e;                  // okay  
Employee* e1 = p;                // Compiler-Fehlermeldung  
Employee* e2 = pe;               // Compiler-Fehlermeldung  
Employee* e3 = (Employee*) pe;   // okay  
Employee* e4 = (Employee*) p;    // nicht erkennbarer Fehler
```

- ◆ Compiler überprüft den dynamischen Typ nicht
- ◆ Vor ANSI-C++ gab es keine Typinformation zur Laufzeit (Run-Time Type Information, RTTI)
- ◆ Vermeiden !!!

7 Type-Casting (2)

C.5 Vererbung

- In ANSI-C++ gibt es `static_cast` oder `reinterpret_cast` (low-level type casting)

```
type variable = static_cast<type>( parameter );  
type variable = reinterpret_cast<type>( parameter );
```

- Dynamische Casts:

```
type variable = dynamic_cast<type>( parameter );
```

- ◆ Verwendet Run-Time Type Information, um zu überprüfen, ob der Cast möglich ist
- ◆ Entspricht dem Casting in Java
- ◆ Liefert NULL zurück falls nicht möglich, keine Exception geworfen !!!

7 Type casting (2)

■ Beispiel:

```
class Person { ... };
class Employee : public Person { ... };
...
Employee* e = new Employee;
Person* p = new Person;
Person* pe = e;
Employee* e3 = dynamic_cast<Employee*>( pe ); // okay
Employee* e4 = dynamic_cast<Employee*>( p ); // liefert NULL
```

■ Zusätzlich `const_cast`, um Konstantheit wegzucasten

8 Virtuelle Methoden

■ Bis jetzt:

- ◆ Interface-Semantik wird durch Typ eines Zeigers festgelegt (statischer Typ), nicht durch Typ eines Objekts, auf das der Zeiger zeigt (dynamischer Typ)
- ◆ Zugriff auf alle Elemente einer abgeleiteten Klasse nur nach einem Casting des Zeigers

■ Ziel ist *polymorphism*: Ausführung einer geeigneten Methode der Unterklasse, ohne diese explizit zu kennen (*Bei Java immer so!*)

■ Lösung: *Virtuelle Methoden*

- ➔ Objekt definiert die Semantik, nicht der Zeiger

■ Syntax mit Schlüsselwort `virtual` in der Basisklasse:

```
class class_name {
    virtual return_type method_name( parameter_list )
    { ... }
};
```

9 Polymorphism

■ Beispiel:

```
class Person { ...
public:
    virtual void print();
};
class Employee : public Person { ...
public:
    void print();
};
...
Person* p = new Person;
Person* pe = new Employee;
p->print(); // Person::print()
pe->print(); // Employee::print()
```

■ Aufgerufene Methode wird zur Laufzeit bestimmt

■ Aufgerufenes Objekt hat einen definierten Typ, daher ist die aufzurufende Methode eindeutig

■ Compiler erzeugt *vtables* (Sprungtabellen für virtuelle Methoden)

- ◆ Jedes Objekt enthält Zeiger auf *vtable* der Klasse; Speicherverbrauch!

10 Virtuelle Destruktoren

■ Dynamisch allokierte Objekte können einem Zeiger der Oberklasse zugewiesen werden

■ Problem: Falls Objekt gelöscht wird, wird nur der Destruktor der Oberklasse aufgerufen, wegen des statischen Types des Zeigers

- ➔ Objekte werden nicht richtig gelöscht

■ Lösung: *Virtueller Destruktor*:

```
Klasse Klasse_name {
    virtual Klasse_name::~~Klasse_name()
    { ... }
};
```

■ `virtual` muss in der Basisklasse angegeben werden

■ Wird bei allen Unterklassen geerbt, auch wenn die Namen der Destruktoren unterschiedlich sind

11 Abstrakte Klassen

- Abstrakte Klassen:
 - ◆ Nicht alle deklarierten Methoden werden auch implementiert
 - ◆ Es kann keine Instanzen/Objekte dieser Klasse geben
 - ◆ Unterklassen können nur dann Instanzen haben, wenn alle deklarierten Methoden implementiert werden
- Abstrakte Klassen können verwendet werden
 - ◆ Als Basisklassen ohne Instanzen (`class` mit `abstract`-Methoden in Java)
 - ◆ Zur Definition eines Typs/einer Schnittstelle (`interface` in Java)
- Syntax für nicht implementierte Methoden (*rein virtuell*):


```
class class_name {
    virtual return_type method_name( parameter_list ) = 0;
};
```
- Zeiger auf abstrakte Klassen möglich, müssen aber mit Objekten einer nicht abstrakten Unterklasse initialisiert werden

12 Mehrfache Vererbung

- Unterklasse hat *mehrfache* Basisklassen (in Java nicht erlaubt)
- Unterklasse enthält implizit *jede* Basisklasse
- Konstruktor der abgeleiteten Klassen kann Konstruktoren von allen Basisklassen in der Initialisierungsliste aufrufen

```
class Base1 { ...
public:
    Base1( int, char* );
};

class Base2 { ...
public:
    Base2( int, float );
};

class Derived : public Base1, public Base2 { ...
public:
    Derived( char *s, int i ) :
        Base1( i, s ), Base2( i, 4.2 ) { }
};
```

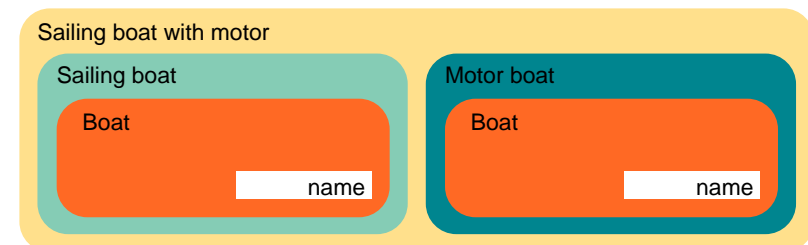
- Wenn ein Objekt einer abgeleiteten Klasse vernichtet wird, werden alle Destruktoren der Basisklassen aufgerufen

12 Mehrfache Vererbung (2)

- Problem: *Mehrdeutigkeiten* durch Namenskollisionen
- Zwei oder mehr Basisklassen haben gleiches Element:
 - ◆ Member-Variable mit gleichen Namen
 - ◆ Methoden mit gleichen Namen und gleichen Parametern
- Zuerst automatische Auflösung von Mehrdeutigkeiten, dann Zugriffskontrolle (Sichtbarkeit)
 - ➔ Es nützt nichts, eine Element als `private` zu deklarieren!
- Explizite Auflösung von Namenskollisionen bei Variablen
 - ◆ Angabe des Namens der Basisklasse vor dem Variablennamen mit dem Scope-Operator `::`
- Mögliche Lösung für Methoden:
 - ◆ Methode überschreiben und die gewünschte Methode einer Basisklasse mit dem Scope-Operator auswählen `::` auswählen

12 Mehrfache Vererbung (3)

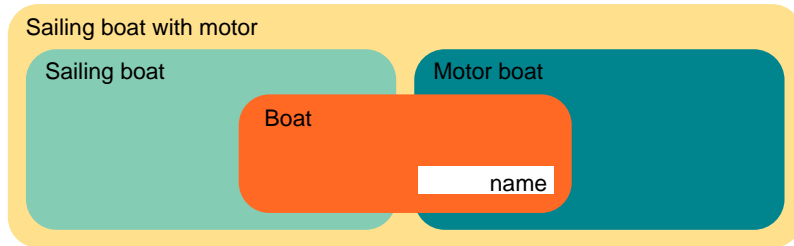
- Basisklasse enthält Gemeinsamkeiten aller Unterklassen (Generalisierung)
- Problem mit Mehrfachvererbung: Gemeinsame Basisklasse wird mehrfach eingebunden
- Beispiel:



12 Mehrfache Vererbung (4)

C.5 Vererbung

- Lösung: Implementierung mit einer *virtuellen* Basisklasse
- Beispiel:



- Syntax für *virtuelle* Vererbung:

```
class subClass : virtual public superClass {
    Declaration of member variables und functions
};
```

12 Mehrfache Vererbung (5)

C.5 Vererbung

- Beispiel:

```
Class Boat {
protected: char* name;
public:    Boat( char* n ) : name( n ) { }
};

Class SailingBoat : virtual public Boat {
protected: Sail mySail;
public:    SailingBoat( char* n ) : Boat( n ) { }
};

Class MotorBoat : virtual public Boat {
protected: Motor myMotor;
public:    MotorBoat( char* n ) : Boat( n ) { }
};

Class SailingBoatWithMotor
: public SailingBoat, public MotorBoat {
public:    SailingBoatWithMotor( char* n )
        : Boat( n ), SailingBoat( n ), MotorBoat( n )
        { }
};
```

C.6 Exceptions

C.6 Exceptions

- Syntax
- Funktionsweise von Exceptions
- Beispiel: Ressourcen-Allocation
- Unterschiede zu Java
- Exceptions in ANSI C++

1 Syntax

C.6 Exceptions

- 3 Schlüsselwörter:
 - ◆ **try** versucht den folgenden Block auszuführen
 - ◆ **throw** erzeugt eine Exception und startet die Exception-Behandlung
 - ◆ **catch** fängt eine Exception eines **try**-Blocks auf und verarbeitet den folgenden Block

- Beispiel:

```
try {
    computation
    if error: throw exception_class( ... );
}
catch( exception_class variable ) {
    exception processing
}
```


2 Funktionsweise von Exceptions

C.6 Exceptions

- Lineare Verarbeitung der `catch`-Liste
- Gruppierung von Fehlertypen durch Vererbung
 - ◆ Auffangen einer Basisklasse fängt auch alle Unterklassen
- Exceptions werden nach oben weitergereicht, bis ein `catch`-Ausdruck mit passendem Typ gefunden wird
- Alle Destruktoren werden aufgerufen, wenn ein Block über eine Exception verlassen wird
- Falls es keinen passenden `catch`-Ausdruck gibt ➔ Programm wird abgerochen
- `catch(...)` fängt alle Exceptions

3 Unterschiede zu Java

C.6 Exceptions

- Kein `finally`
- Exceptions sind *nicht* Teil der Methodensignatur
 - ➔ Können überall geworfen werden
 - ➔ Compiler kann nicht überprüfen, ob alle erzeugten Exceptions irgendwo aufgefangen werden

4 Exceptions in ANSI C++

C.6 Exceptions

- Funktionen und Methoden *können* eine Exception-Liste angeben
- Schlüsselwort `throw` im Funktionsprototyp:

```
return_type method_name ( parameter_list ) throw ( exception_list ) {  
    Body of method
```
- Ähnlich zu `throws` in Java
- Exception-Liste ist eine Garantie für den Aufrufer
- `std::unexpected()` wird aufgerufen, falls eine Exception aus der Funktion herausgereicht wird, die nicht in der Liste enthalten ist
- Funktionen ohne Exception-Liste können immer noch beliebige Exceptions erzeugen

C.7 Weitere Besonderheiten

C.7 Weitere Besonderheiten

- Der `this`-Zeiger
- Statische Member-Variablen

1 Der this-Zeiger

C.7 Weitere Besonderheiten

- **this** zeigt auf das aufgerufene Objekt selbst
- Impliziter Parameter bei jedem Methodenaufruf
- Typ: `class_name * const this`
- Falls Methode `const` ist: `const class_name * const this`
- Beispiel:

```
class Person { ...
    char* name;
public:
    void print() { cout << this->name;    // = name
    void insertInto( List* l ) { l->insert(this) }
    void prettyPrint() {
        cout << "Data: ";
        this->print();          // = print()
    }
};
```

2 Statische Member-Variablen (2)

C.7 Weitere Besonderheiten

- Globale Initialisierung außerhalb der Klasse
 - Beispiel:
- ```
Class BankAccount {
 static float interestRate;
 ...
};
...
float BankAccount::interestRate = 0.5;
```
- Methoden, die nur auf **static**-Elemente zugreifen, können ebenfalls als **static** deklariert werden
  - **static**-Methoden können ohne Objekt aufgerufen werden
  - *Kein this*-Zeiger, *kein* Zugriff auf Instanzvariablen/-methoden der Klasse

## 2 Statische Member-Variablen

C.7 Weitere Besonderheiten

- Normalerweise hat jedes Objekt seine eigene Menge an Variablen
- Ausnahme: Member-Variablen, die als **static** deklariert sind
- Elemente, die als **static** deklariert werden, existieren genau einmal für jede Klasse, egal wie viele Objekte dieser Klasse es gibt
- Ermöglicht es, eine gemeinsame Variable für alle Instanzen einer Klasse zu verwenden
  - ➡ Klassenvariable
- Zugriffsrechte können wie bei Instanzvariablen festgelegt werden

## C.8 Operatoren

C.8 Operatoren

- Überladen von Operatoren
- Globale Operatoren
- Operatoren als Members
- Binäre Operatoren
- Unäre Operatoren
- Allokations-Operatoren

## 1 Überladen von Operator

- In C++ (anders als in Java) können Operatoren mit neuen Typen überladen werden
- Funktioniert wie das Überladen von Methoden

- Neues Schlüsselwort **operator**

```
return_type operator operator (parameter_list)
{ ... };
```

- Operatoren, die überladen werden können

```
+ - * / % ^ & | ~ !
= < > += -= *= /= %= ^= &=
|= << >> <<= >>= == != <= >= &&
|| ++ -- , -> *-> () [] new delete
```

- Operatoren, die nicht überladen werden können

```
. .* :: ?:
```

- Vorrang und Assoziativität von Operatoren lässt sich nicht ändern

## 2 Globale Operatoren

- Funktionieren wie (globale) Funktionen
- Haben immer das Objekt selbst als Parameter
- Können als "friend" von anderen Klassen deklariert werden  
=> Zugriff auch auf private Variablen

- Beispiel:

```
class Person { ...
 char* name;
 friend ostream& operator << (ostream&, Person);
};

ostream& operator << (ostream& os, Person& p) {
 os << p.name;
 return os;
}

...
Person p("Peter");
cout << p; // call as operator
operator << (cout, p); // call as function
```

## 3 Operatoren als Members

- Operator werden wie eine Klassenmethode behandelt;  
Zugriff auf alle Members, es gibt einen **this**-Zeiger
- Ein Parameter weniger als der gleiche globale Operator (Objekt via **this**)
- Beispiel:

```
class Complex {
 double real, imag;
public:
 Complex(double r=0, double i=0)
 : real(r), imag(i) { }
 Complex operator + (const Complex&) const;
};

Complex Complex::operator + (const Complex& c) const {
 Complex result(real+c.real, imag+c.imag);
 return result;
}

...
Complex c1, c2, c3;
c1 = c2 + c3; // normal call
c1 = c2.operator + (c3); // generated by the compiler
```

## 4 Binäre Operatoren

- Als globaler Operator: Zwei Parameter
- Als Member: Ein Parameter
- Beispiele (Nur Member-Operatoren):

- ◆ Zugriffs-Operator

```
Class& Class::operator = (Class&)
```

- ◆ Index-Operator

```
element_type& Class::operator [] (index_type)
```

- ▶ Index-Typ normalerweise **int**

- ◆ Arithmetische Operatoren sowie deren Kombination mit Zuweisung

## 5 Unäre Operatoren

C.8 Operatoren

- Als globaler Operator: Ein Parameter
- Als Member: Keine Parameter
- Ausnahme: Postfix-Operatoren
- Beispiele (nur Member-Operatoren):

- ◆ Prefix increment operator

```
class& class::operator ++ ()
```

- ◆ Postfix increment operator

```
class& class::operator ++ (int)
```

- `int` nur eine Dummy-Parameter zur Unterscheidung von der Prefix-Version

- ◆ Cast operator

```
class::operator target_type ()
```

- Zieltyp ist zugleich Operatorname und Rückgabotyp

Übungen zu "Verteilte Systeme"  
© Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2003

CPP.fm 2003-04-30 09.48

C.77

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

## C.9 Templates

C.9 Templates

- Funktionstemplates
- Klassentemplates

Übungen zu "Verteilte Systeme"  
© Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2003

CPP.fm 2003-04-30 09.48

C.79

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

## 6 Allokations-Operatoren

C.8 Operatoren

- Eigene Strategien zur Speicherallokation
- Globale Operatoren für alle Klassen
- Operatoren für Allokation auf einer pro-Klassen-Basis
  - ◆ Vorrang vor globalen Operatoren
  - ◆ z.B. Speicherpool für kurzlebige Objekte

- Syntax

- ◆ Allokations-Operator

```
void* operator new (size_t)
```

- ◆ Deallokations-Operator

```
void operator delete (void *)
```

- ◆ Für Arrays: Operatoren `new[ ]` und `delete[ ]`

Übungen zu "Verteilte Systeme"  
© Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2003

CPP.fm 2003-04-30 09.48

C.78

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

## 1 Funktionstemplates

C.9 Templates

- Erzeugung generischer Funktionen, die beliebigen Datentyp als Parameter oder Rückgabewert haben können
- Ähnlichkeit zu Makro
- Syntax (kein Unterschied):

```
template <class_type class_name> funktion_deklaration
template <type ype_name> funktion_deklaration
```

- Beispiel

```
template <class GenericType>
GenericType max(GenericType a, GenericType b) {
 GenericType result;
 result = a>b?a:b;
 return result;
}

int a=3,b=5,c;
c = max<int>(a,b);
```

Übungen zu "Verteilte Systeme"  
© Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2003

CPP.fm 2003-04-30 09.48

C.80

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

## 1 Funktionstemplates (2)

- Compiler kann die Spezialisierung auch selbst bestimmen

```
c = max(a,b) // works in the previous example
```

- Auch mehrere Parameter möglich

```
template <class T, class U>
T max(T a, U b) {
 return (a<b)?a:b;
}

int i,j;
long l;
i = max(j,l);
```

## 2 Klassentemplates (2)

- Spezialisierung von Templates: einzelne Ausprägungen eines Templates können auch explizit erstellt werden

- Beispiel

```
template <class T>
class pair {...};

template <class T*> // Spezialisierung
class pair<T*>; // es können nur Zeiger verwendet werden

template <>
class pair<int>; // es können nur Integer verwendet werden

template <>
class pair<int>{
 ... // neue Implementierung
};
```

- Bei der Deklaration von Objekten und der Auflösung der Überladungen werden spezialisierte Versionen bevorzugt.

## 2 Klassentemplates

- Erzeugung generischer Klassen, die durch einen Typ parametrisiert sind

- Beispiel

```
template <class T>
class pair {
 T value1, value2;
public:
 pair (T first, T second) //Konstruktor
 {value1=first; value2=second;}
 T getmax ();
};

template <class T>
T pair<T>::getmax ()
{
 T retval;
 retval = value1>value2? value1 : value2;
 return retval;
}
```

## 2 Klassentemplates (3)

- Neben Typen können auch Konstanten als Parameter übergeben werden (z.B. zur Initialisierung)

```
template <class T, int N>
class array {
 T memblock [N];
public:
 setmember (int x, T value);
 T getmember (int x);
};

template <class T, int N>
array<T,N>::setmember (int x, T value) {
 memblock[x]=value;
}

template <class T, int N>
T array<T,N>::getmember (int x) {
 return memblock[x];
}
```

## 2 Klassentemplates (4)

C.9 Templates

### ■ Verwendung:

```
int main () {
 array <int,5> myints;
 array <float,5> myfloats;
 myints.setmember (0,100);
 myfloats.setmember (3.0,3.1416);
 cout << myints.getmember(0) << '\n';
 cout << myfloats.getmember(3) << '\n';
 return 0;
}
```

## C.10 Zusammenfassung

C.10 Zusammenfassung

- Grundlagen
  - ◆ Speicherverwaltung, Überladen von Funktionen, Referenzvariablen
- Objekte und Klassen
  - ◆ Objekterzeugung, konstante Objekte, Konstruktoren, Destruktoren
- Vererbung
  - ◆ virtuelle Methoden, Polymorphism, mehrfach Vererbung
- Ausnahmebehandlung
  - ◆ Unterschiede zu Java
- Operatoren
  - ◆ Überladen, globale vs. Operatoren als Members, Allokations-Operatoren
- Templates
  - ◆ Funktions-, und Klassentemplates

## 3 Template Beispiel

C.9 Templates

### ■ Fakultäts-Template

```
template <int X>
struct Faculty {
 static const int result = X * Faculty<X-1>::result;
};

template <>
struct Faculty<1> {
 static const int result = 1;
};

int fak = Faculty<10>::result;
```