C Programmierung in C++

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++

- 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-Kommittee 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 Programmentwurf!
  (anders als Java...)

3 Literatur

- 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.

C.2 Grundlagen

- 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

- 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)

- Import von Bezeichner anderer Namensräume via **`using`**:

```
using namespace_name::identifier;
```

  - 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

- 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)

- 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

- 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

- 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 (2)

- 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 (3)

- 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

- 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, Paramter char* fehlt
```

- Achtung: Überladen und Defaultparamter können Mehrdeutigkeit verursachen

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


C.3 Objekte und Klassen in C++

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

9 Konstanten

- 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)

1 Erweiterung von struct

- 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

- 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`** !

3 Sichtbarkeit (2)

- Beispiel:

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


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;
```


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`**)

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 );
};
#endif
```

  - Implementation (**`Person.cpp`**)

```
#include "Person.h"

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


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)

- 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

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

1 Konstruktoren

- 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 Initialisierg 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)

- 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

- Ähnlich zu **`finalize`** in Java
- Deklariert als Klassenmethode
- Methodenname ist der Klassenname mit **~** davor
- *Kein* Rückgabetyp (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

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() {}
```


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 )
{ ... }
```


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

- 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()
```


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

- 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 (2)

- Normalerweise wird nur **`public`**–Vererbung verwendet
- **`protected`** und **`private`** ändern die Schnittstelle
  - ➨ abgeleitete Klasse ist kein Untertyp der Oberklasse mehr!
- Default ist **`private`** !

3 Modifikation der Sichtbarkeit

- 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

4 Konstruktoren

- 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 Konstruktur der abgeleiteten Klasse ausgeführt
- Beispiel:

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

5 Destruktoren

- 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

- 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-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 keineTypinformation zur Laufzeit (Run-Time Type Information, RTTI)
  - ◆ Vermeiden !!!

7 Type-Casting (2)

- 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 weden
- Wird bei allen Unterklassen geerbt, auch wenn die Namen der Destuktoren 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 ) { }
};
```

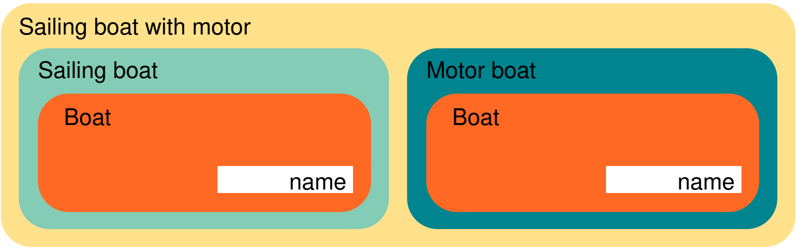
- Wenn ein Objekt einer abgeleiteten Klasse vernichtet wird, werden alle Destruktoren der Basisklassen aufgerufen

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

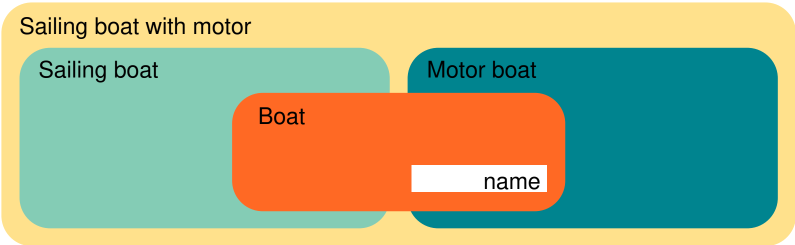
12 Mehrfache Vererbung (3)

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



12 Mehrfache Vererbung (4)

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



- Syntax für *virtuelle Vererbung*:

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


12 Mehrfache Vererbung (5)

- 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

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

1 Syntax

- 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

- 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

- 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++

- 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 Exeptions erzeugen

C.7 Weitere Besonderheiten

- Der this-Zeiger
- Statische Member-Variablen

1 Der this-Zeiger

- **`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

- Normalerweise hat jedes Objekt seine eigene Menge an Variablen
- Ausnahme: Member-Variablen, die als **`static`** deklariert sind
- Elemente, die als **`static`** deklariert werden, exisieren 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

2 Statische Member-Variablen (2)

- 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

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.image );
        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

- 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-Paramter zur Unterscheidung von der Prefix-Version
  - ◆ Cast operator

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

    - ➤ Zieltyp ist zugleich Operatorname und Rückgabetyp

C.9 Templates

- Funktionstemplates
- Klassentemplates

6 Allokations-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[]**

1 Funktionstemplates

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

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

- 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);
```

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

- 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 (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 (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)

- 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;
}
```


3 Template Beispiel

- 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;
```


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 Klassentamplates