

0. Einführung & Motivation

Ansatz: "C++ für Java-Kenner"

- Konzentration auf semantische Unterschiede 'gleichartiger' Konzepte
- Erörterung der C++ -spezifischen Konzepte (Overloading, Templates)

Anspruch auf Vollständigkeit

Sprache laut Standard **ISO/IEC 14882 von 2011**
incl. Standardbibliothek (STL and more)

Schwerpunkt auf Diskussion von Konzepten anhand von Beispielen



0. Einführung & Motivation

Warum noch eine OO-Sprache?

- die zudem
 - syntaktisch sehr ähnlich zu Java ist
 - älter ist als Java ...
 - 'gefährlicher' ist als Java ...

Weil C++ eine Sprache ist

- die
 - syntaktisch sehr ähnlich zu Java ist
 - älter ist als Java ...
 - 'gefährlicher' ist als Java ...

-- und potenziell effizienteren Code ermöglicht

<http://www.research.att.com/~bs/applications.html>

0. Einführung & Motivation

Java

- zahlreiche Sicherheitsvorkehrungen
kosten Zeit & Raum
- virtual machine
- architekturneutral



C++

- keinerlei Sicherheitsvorkehrungen
Reserven für Zeit & Raum
- native code
- architekturabhängig



Ein erster Blick: Hello World

Java

Hello.java

```
class Hello {  
    public static void main(String s[]) {  
        if (s.length < 1) return;  
        Hello h = new Hello(", " + s[0]);  
        h.speak();  
    }  
    String what;  
    void speak() {  
        System.out.println("Hello" + what);  
    }  
    Hello(String s) {  
        this.what = s;  
    }  
    protected void finalize() {  
        System.out.println("bye, bye");  
    }  
}
```

Ein erster Blick: Hello World

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

class Hello {
public: static void main(int c, char* v[]) {
        if (c < 2) return;
        Hello h = Hello(", "+std::string(v[1]));
        h.speak();
    }

private: std::string what;
        virtual void speak() {
            std::cout << "Hello" + what << std::endl;
        }
        Hello(std::string s) {
            this->what = s;
        }
        ~Hello() {
            std::cout << "bye, bye" << std::endl;
        }
}; // !!!!!!!!!!!!!
```

C++
h.cc

Java-Style

Ein erster Blick: Hello World

C++
h.cc

Java-Style

```
// ... continued  
  
int main(int argc, char* argv[])  
{  
    Hello::main(argc, argv);  
}
```

Ein erster Blick: Hello World

C++
h0.cc

C - Style

```
#include <cstdio>

int main(int argc, char* argv[])
{
    if (argc > 1)
        std::printf("Hello, %s\n", argv[1]);
}
```

Ein erster Blick: Hello World

- ☞ in C++ kann man offenbar Java-like (OO) programmieren, muss es aber nicht:
 - C++ ist eine sog. multi-paradigm-Sprache

- ☞ Abweichungen in syntaktischen Feinheiten

- ☞ semantische Unterschiede

```
Java:           Hello h = new Hello(....);           // reference !
                h.speak();
C++:            Hello h = Hello(....);             // value !
                h.speak();
```

Ein erster Blick: Hello World

- ☞ In C++ muss **jeder** verwendete Bezeichner zuvor (oder in der gleichen Klasse) deklariert werden!
(auch Bezeichner aus der Standard-Bibliothek)

```
#include <string> .... std::string
```

statt  /usr/include/g++/string

```
String (--->java.lang.String)
```

Ein erster Blick: Hello World

- ☞ In C++ gibt es globale Funktions- (Variablen- und Typ-) Deklarationen
- ☞ Es gibt geschachtelte Gültigkeitsbereiche (Klassen und namespaces) aber ohne implizite Abbildung auf eine hierarchische Verzeichnisstruktur
- ☞ Ein Compilerlauf behandelt **GENAU EINE** Quelldatei pro Aufruf! (.... **make** !)
- ☞ Dies entspricht dem klassischen Paradigma der Übersetzung von C-Programmen: ermöglicht Migration, Portierbarkeit, Unix-Konformität

Ein erster Blick: Hello World

- ☞ In C++ gibt es Zeiger, Felder sind de facto Zeiger - keine Objekte, **this** ist ein Zeiger !
- ☞ Konvention des Programmaufrufs ist etwas anders
- ☞ Virtualität ist explizit zu spezifizieren
- ☞ Es gibt sog. **Destruktoren**
- ☞ Syntax von Zugriffsrechten ist etwas anders

Der zweite Blick: Effizienz

Problem 1: integer - Arithmetik

$$3^{10^n}$$

(modulo int-overflow)

Problem 2: double - Arithmetik

$$e \sim \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$$

$$[n = 10e8, 10e9, 10e10]$$

Der zweite Blick: Effizienz

```
class i {  
    public static void main(String []s)  
    {  
        int i=1;  
  
        for(int n=1; n<=100000000; ++n)  
            i*=3;  
        System.out.println( i );  
    }  
}
```

Java

Der zweite Blick: Effizienz

```
#include <iostream>

class i {
public:
static void main()
    {
        int i=1;

        for(int n=1; n<=100000000; ++n)
            i*=3;
        std::cout << i << std::endl;
    }
};

int main() {
    i::main();
    return 0;
}
```

C++

Der zweite Blick: Effizienz

```
class d {  
    public static void main(String []s)  
    {  
        double e=1;  
  
        for(int n=1; n<=100000000; ++n)  
            e*=1.00000001;  
        System.out.println( e );  
    }  
}
```

Java

Der zweite Blick: Effizienz

```
#include <iostream>

class d {
public:
static void main()
    {
        double e=1;

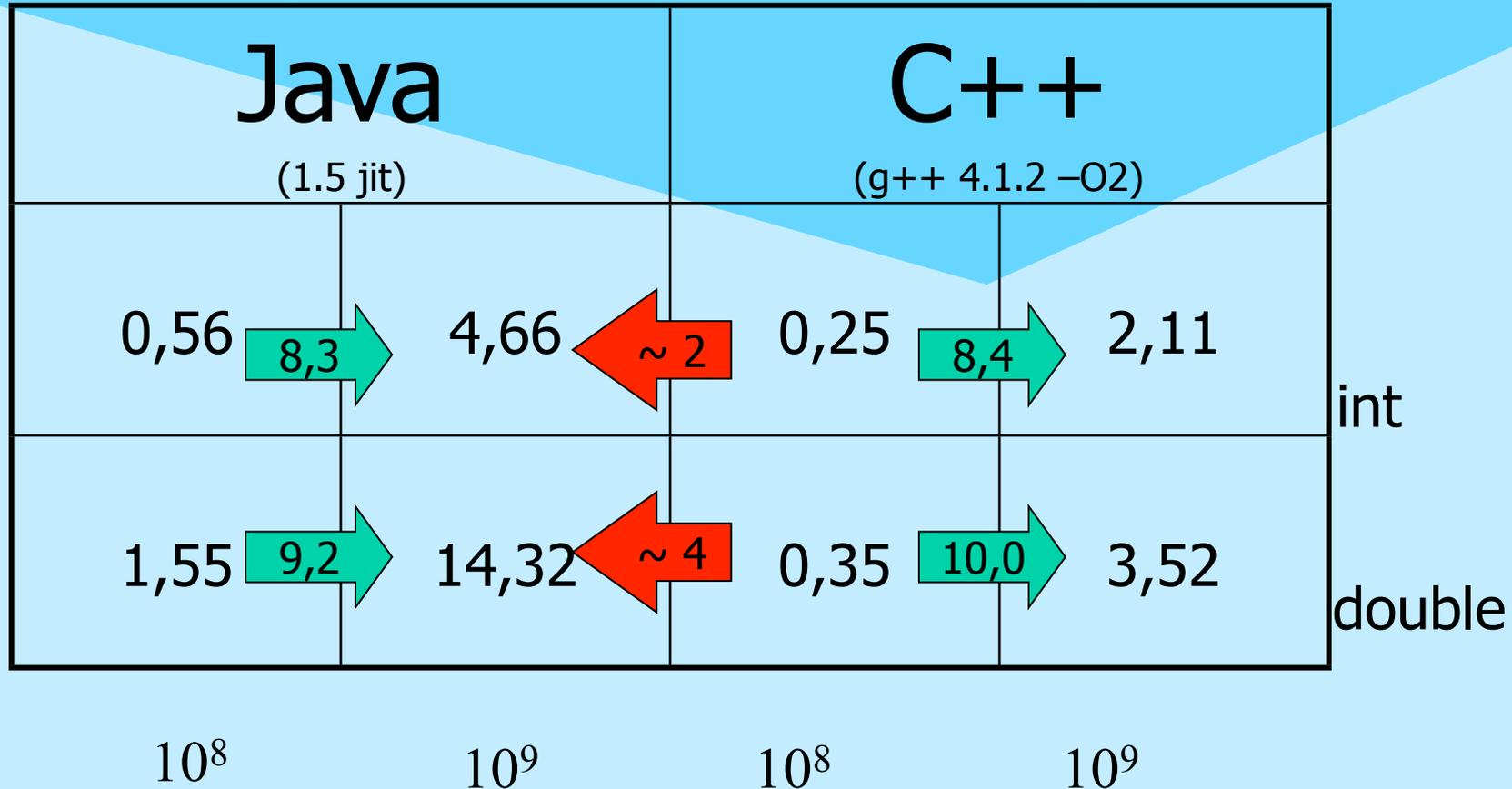
        for(int n=1; n<=100000000; ++n)
            e*=1.00000001;
        std::cout << e << std::endl;
    }
};

int main() {
    d::main();
    return 0; // not needed but good style
}
```

C++

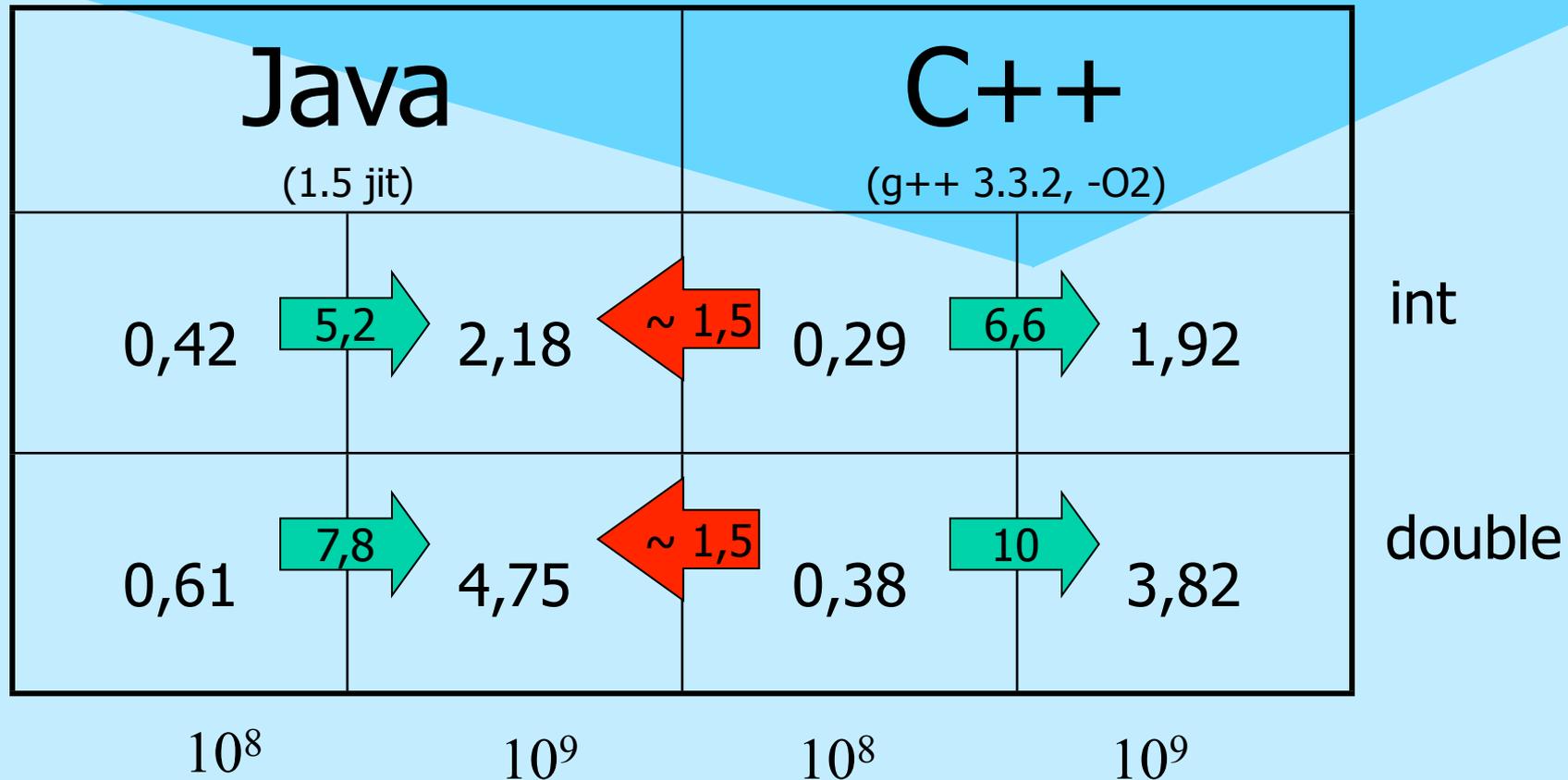
Der zweite Blick: Effizienz

Laufzeiten (Debian Linux, Pentium4 2 GHz)



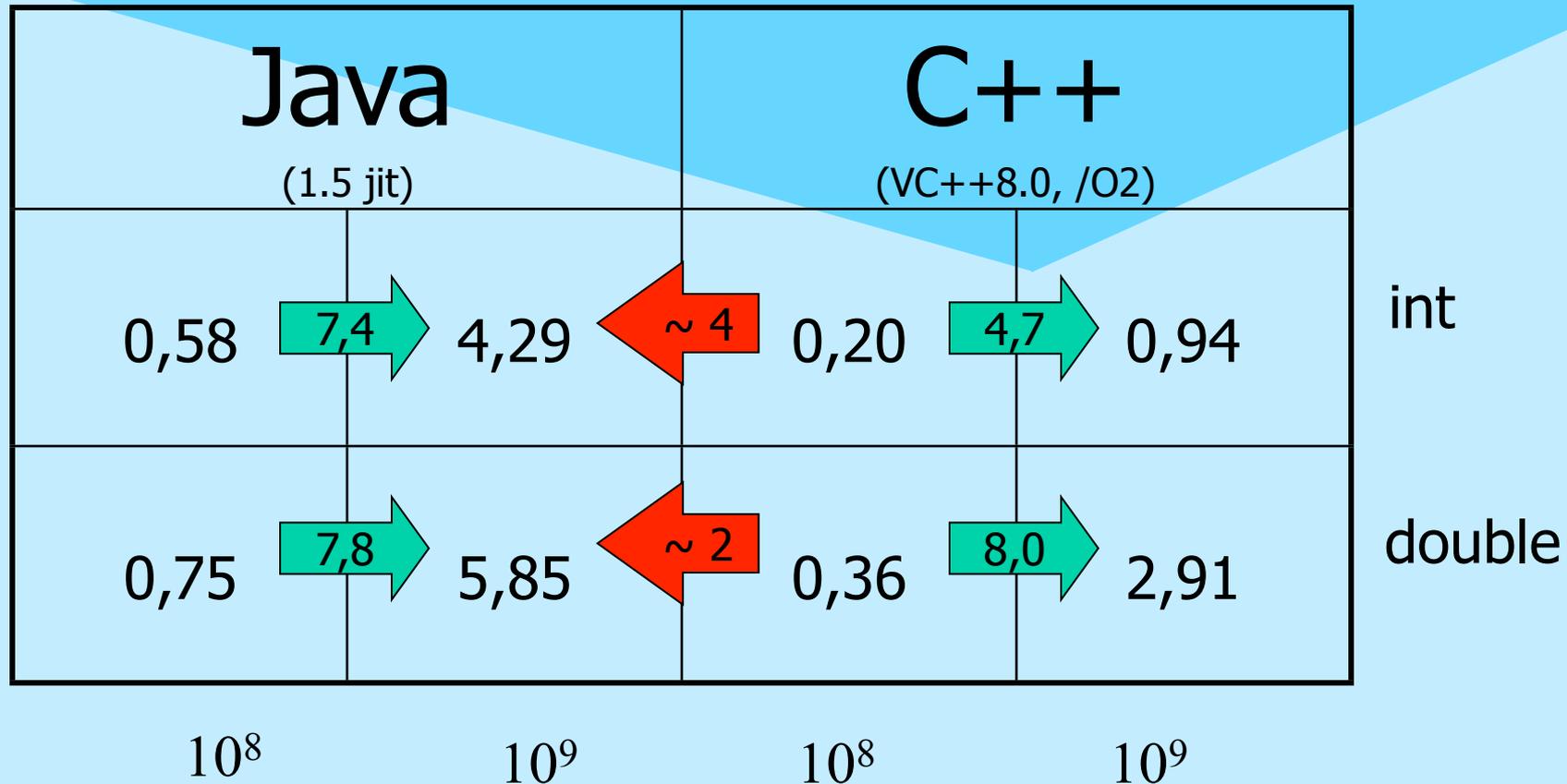
Der zweite Blick: Effizienz

Laufzeiten (Solaris 5.8, UltraSparc [8x]1050 MHz)



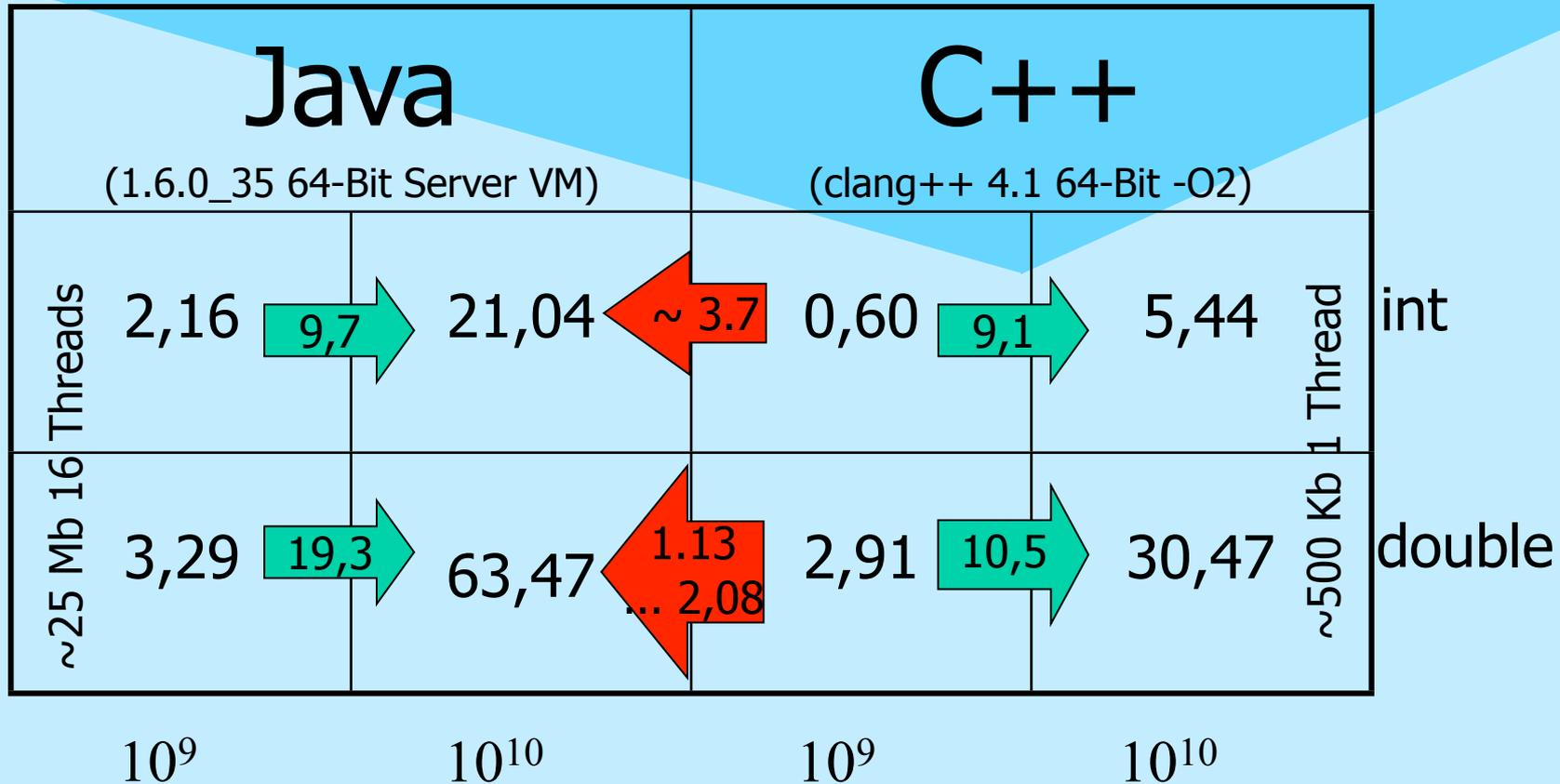
Der zweite Blick: Effizienz

Laufzeiten (Win XP, Pentium M 1,8 GHz)



Der zweite Blick: Effizienz (up to date :-)

Laufzeiten (Mac OS X 10.8.2, 1.86 GHz Intel Core 2 Duo)



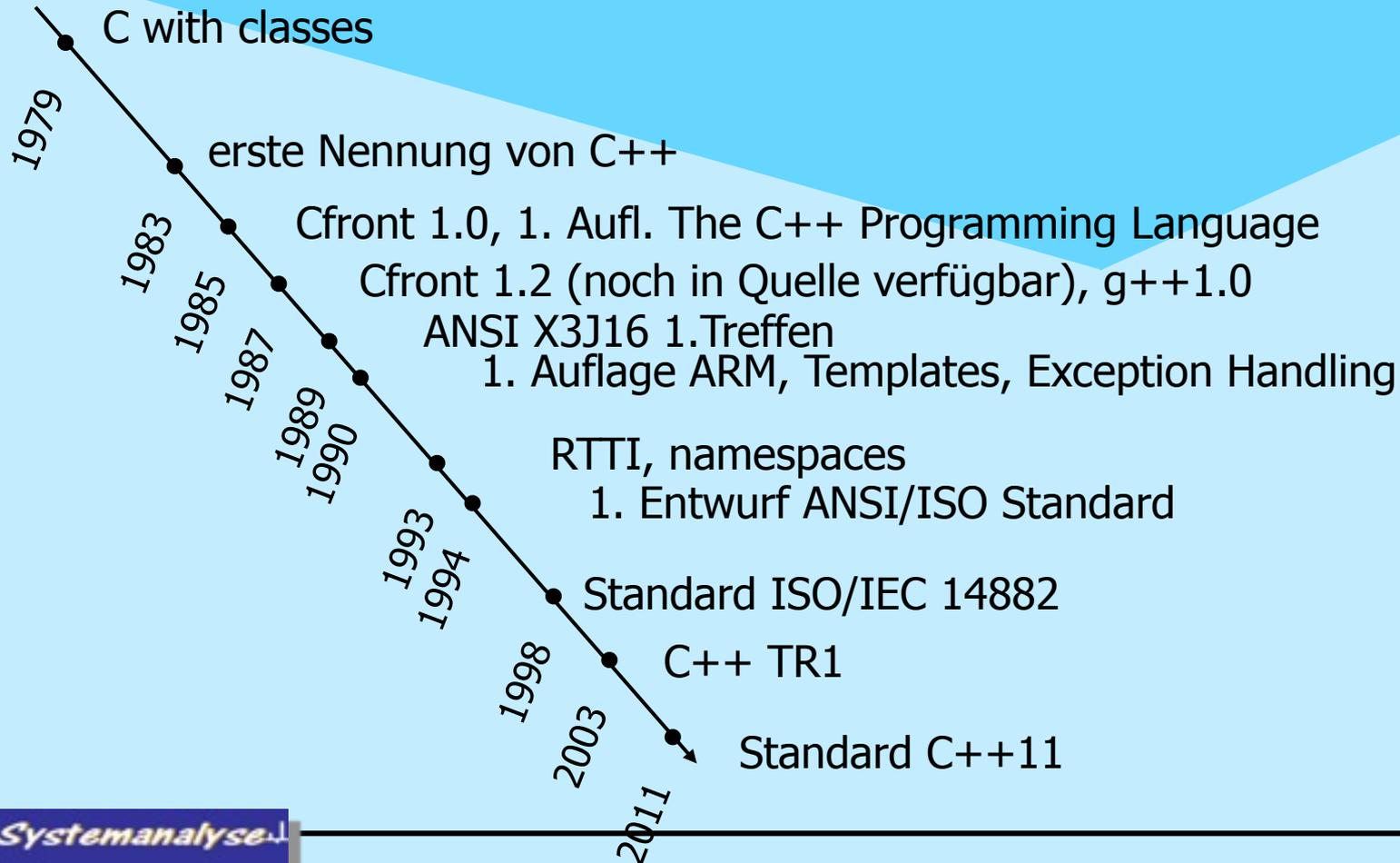
C++ Historie

- Bjarne Stroustrup Ph.D. Arbeit 1978/79 an der Universität Cambridge: „Alternative Organisationsmöglichkeiten der Systemsoftware in verteilten Systemen“
- erste Implementation in Simula auf IBM360 (Simula67, NCC Oslo)
- Stroustrup: „Die Entwicklung des Simulators war das reinste Vergnügen, da Simula nahezu ideal für diesen Zweck erschien. Besonders beeindruckt wurde ich durch die Art, in der die Konzepte der Sprache mich beim Überdenken der Probleme meiner Anwendung unterstützten. Das Konzept der Klassen gestattete mir, die Konzepte meiner Anwendung direkt einzelnen Sprachkonstrukten zuzuordnen. So erhielt ich Programmcode, der in seiner Lesbarkeit allen Programmen anderer Sprachen überlegen war, die ich bisher gesehen hatte.“
- Simula - Compiler damals mit extrem schlechten Laufzeiteigenschaften

C++ Historie

- S.: „Um das Projekt nicht gänzlich abzubrechen - und Cambridge ohne Ph.D. zu verlassen -, schrieb ich den Simulator ein zweites Mal in BCPL Die Erfahrungen, die ich während des Entwickelns und der Fehlersuche in BCPL sammelte, waren grauenerregend.“
- erste Ideen zu C++ im Kontext von Untersuchungen Lastverteilung in UNIX-Netzen bei den Bell Labs Murray Hill, New Jersey: Stroustrup: „Ende 1979 hatte ich einen lauffähigen Präprozessor mit dem Namen Cpre geschrieben, der C um Simula-ähnliche Klassen erweiterte.“ -> C with classes

C++ Historie



Java vs. C++: Different by Design

Java

- starke Anlehnung an C++
- Deployment Schema: Interpretation
- OO ist (nahezu) zwingend
- primäres Kriterium: Komfort
 - diverse (und zumeist nicht abschaltbare) implizite Overheads zu Lasten der Effizienz
 - Prüfung von Feldgrenzen
 - Reflection
 - Garbage Collection
 - Objects by Reference Semantik

Java vs. C++: Different by Design

C++

- starke Anlehnung an C
- Deployment Schema: Compilation
- OO ist möglich, nicht zwingend
- primäres Kriterium: Effizienz

keinerlei impliziter Overhead zu Lasten der Effizienz

- keine Prüfung von Feldgrenzen
- (fast) kein Laufzeitabbild von Klassen
- keine automatische Speicherverwaltung
- Objects by Value Semantik

Objects by Reference

Java:

- Variablen vom Klassentyp sind **IMMER** Referenzen

```
X x; // implizit == null !!
```

```
x = new X();
```

```
X y = x; // ein Objekt mit zwei Referenzen!!!
```

- Objekte werden **IMMER** dynamisch (auf dem Heap) erzeugt

Objects by Reference

```
class A {  
    private int i;  
    public void foo() {  
        i++;  
    }  
    public void out() {  
        System.out.print(i);  
    }  
    public A() {  
        i=0;  
    }  
    public static void bar(A a){  
        a.foo();  
    }  
}
```

```
public static void  
main(String s[]) {  
    A a1 = new A();  
    A a2 = a1;  
  
    a1.foo();  
    a2.foo();  
  
    a1.out();  
    a2.out();  
  
    bar(a2);  
  
    a1.out();  
    a2.out();  
}
```

```
$ javac A.java  
$ java A  
????
```

Objects by Reference

```
class A {  
    private int i;  
    public void foo() {  
        i++;  
    }  
    public void out() {  
        System.out.print(i);  
    }  
    public A() {  
        i=0;  
    }  
    public static void bar(A a){  
        a.foo();  
    }  
}
```

```
public static void  
main(String s[]) {  
    A a1 = new A();  
    A a2 = a1;  
  
    a1.foo();  
    a2.foo();  
  
    a1.out();  
    a2.out();  
  
    bar(a2);  
  
    a1.out();  
    a2.out();  
}
```

```
$ javac A.java  
$ java A  
2233$
```

Objects by Value

C++:

- Variablen vom Klassentyp sind (**primär**) Werte

`X x; // ein Objekt !`

`X y = x; // ein weiteres Objekt als Kopie des ersten!!!`

- Objekte können global, (Stack-) lokal und dynamisch erzeugt werden
- Es gibt auch Objektreferenzen und -Zeiger

Objects by Value

```
#include <iostream>
```

```
class A {  
    int i;  
public:  
    void foo() {  
        i++;  
    }  
    void out() {  
        std::cout << i;  
    }  
    A() {  
        i=0;  
    }  
    static void bar(A a) {  
        a.foo();  
    }  
};
```

```
int main()  
{  
    A a1=A();  
    A a2=a1;  
  
    a1.foo();  
    a2.foo();  
  
    a1.out();  
    a2.out();  
  
    A::bar(a2);  
  
    a1.out();  
    a2.out();  
}
```

```
$ g++ -o a a.cc  
$ a  
????
```

Objects by Value

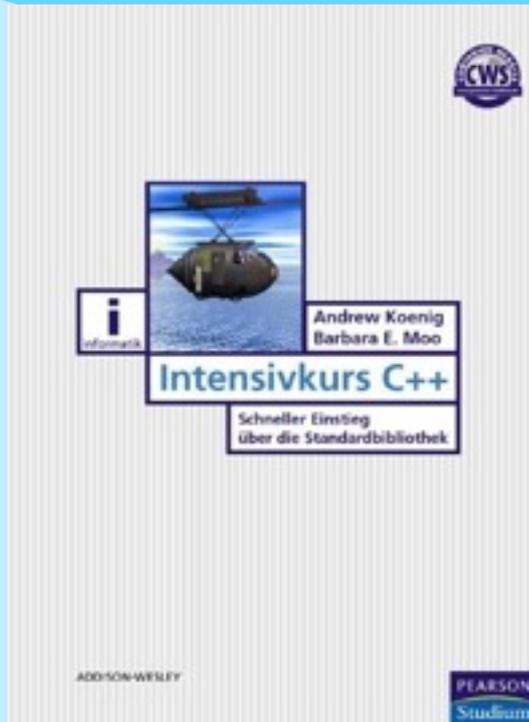
```
#include <iostream>
```

```
class A {  
    int i;  
public:  
    void foo() {  
        i++;  
    }  
    void out() {  
        std::cout << i;  
    }  
    A() {  
        i=0;  
    }  
    static void bar(A a) {  
        a.foo();  
    }  
};
```

```
int main()  
{  
    A a1=A();  
    A a2=a1;  
  
    a1.foo();  
    a2.foo();  
  
    a1.out();  
    a2.out();  
  
    A::bar(a2);  
  
    a1.out();  
    a2.out();  
}
```

```
$ g++ -o a a.cc  
$ a  
1111$
```

BTW: C++ Literaturempfehlungen **beginners level**

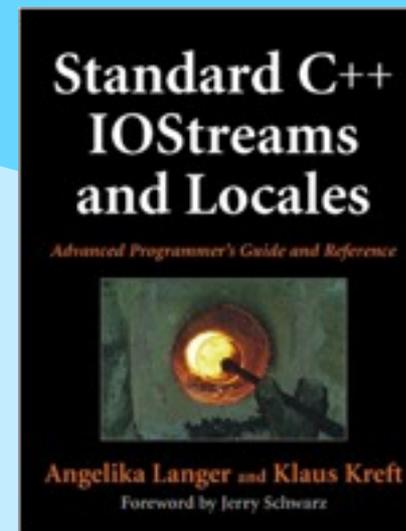
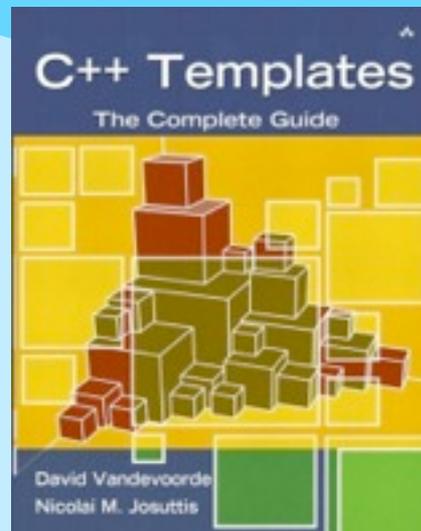
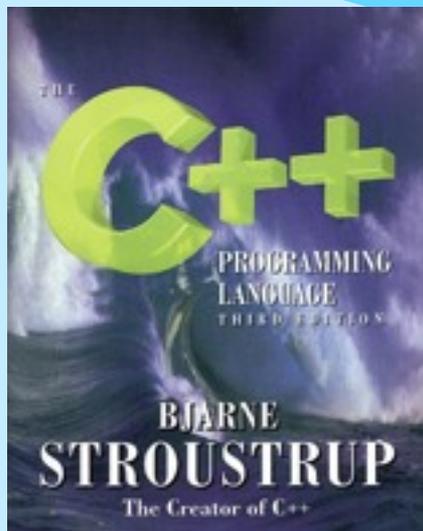


Kaufen: „Bafög-Ausgabe“ 19,95 €



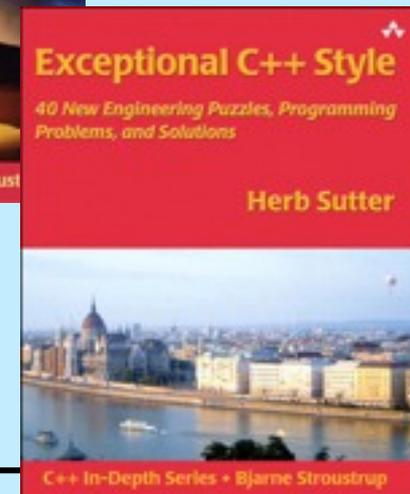
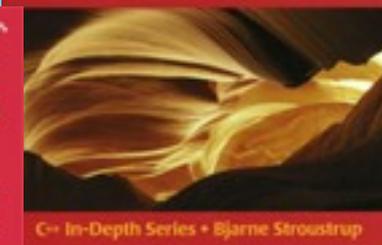
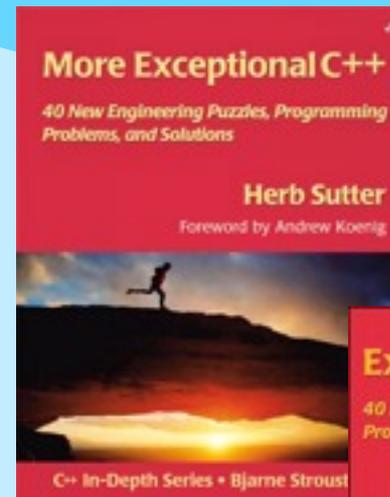
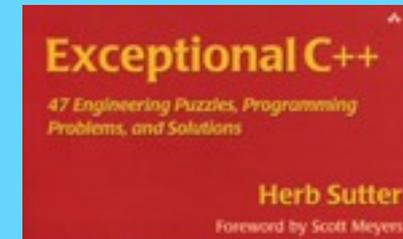
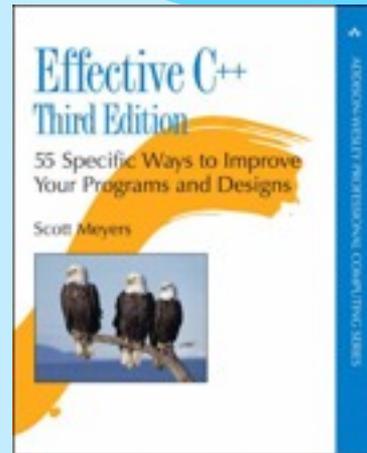
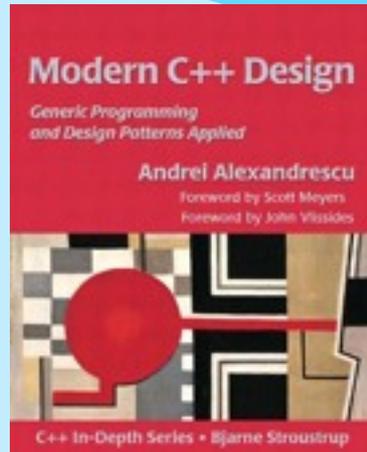
Ausleihen: im Handel leider vergriffen ☹

BTW: C++ Literaturempfehlungen **expert level**



1. Elementares C++

BTW: C++ Literaturempfehlungen **guru level**



1. Elementares C++

1.1. Lexik

- Kommentare wie Java

```
// this line  
/* no  
   nesting  
   allowed */
```

- kein spezielles doc-Kommentarformat, aber von einigen tools unterstützt (z.b. doxygen)
- free format: whitespaces (space, newline, comment) beliebig zur Trennung von Token: `int a; <----> inta;`

1. Elementares C++

1.1. Lexik

Schlüsselwörter:

`alignof asm auto bool break case catch char char16_t
char32_t class const constexpr const_cast continue
decltype default delete do double dynamic_cast else
enum explicit export extern false float for friend
goto if inline int long mutable namespace new noexcept
nullptr operator private protected public register
reinterpret_cast return short signed sizeof static
static_assert static_cast struct switch template this
thread_local throw true try typedef typeid typename
union unsigned using virtual void volatile wchar_t while`

(C: 32) (Δ C++98: 31) (Δ C++11: 9)

1. Elementares C++

1.1. Lexik

Operatoren:

`+ - * / % < <= > >= == != && || !` wie üblich (Java)
`<< >> & ^ | ~` bitweise left-, right-Shift, and, xor, or, Komplement
`= *= /= %= += -= <<= >>= &= ^= |=` `x?=y <--> x = x ? y`
`++ --` als Prefix und Postfix

`sizeof(Typname)` oder

`sizeof(Expression) oder`

`sizeof Expression`

Größe in Bytes

`,` Kommaoperator: Gruppierung von Ausdrücken, der letzte Teilausdruck legt den Wert des Gesamtausdrucks fest!

ACHTUNG: `foo(1,2,3)` vs. `foo((1,2,3))`

1. Elementares C++

1.1. Lexik

Bezeichner: wie in Java (incl. `_` als Buchstabe)
Groß-/Kleinschreibung wird unterschieden

übliche Konventionen:

sog. Macros durchgängig groß:	<code>#define A_MACRO</code>
nutzerdef. Typnamen beginnen groß:	<code>MyType</code>
Variablen durchweg klein:	<code>MyType myvar;</code>

1. Elementares C++

1.2. Datentypen

build-in Typen:

```
char, int, short (int), long (int), (un) (signed) (long )  
int, void, float, double, bool (!)
```

- **ACHTUNG:** long ist kein eigener Typ, sondern Kürzel für long int
- **ACHTUNG:** es gibt **KEINE** Vorgaben zur Größe von Variablen dieser Typen: $1 == \text{sizeof}(\text{char}) \leq \text{sizeof}(\text{short}) \leq \text{sizeof}(\text{int}) \leq \text{sizeof}(\text{long})$
 $\text{sizeof}(\text{float}) \leq \text{sizeof}(\text{double})$
- literale Werte dieser Typen nach den »üblichen« Regeln:

'A'	'\n'	'\\'	'\000'	'\0x12'
123	-45	0123	0x123	0XCDEF
12U	23u	123L	0l	0x12345L
1.234	.5f	45.	1.1e12	-2.3E-5
true	false			

1. Elementares C++

1.2. Datentypen

Enumerations: Aufzählungstypen == benannte Werte

```
enum Season {spring, sommer, fall, winter}; //unscoped
enum class Direction {left, right, up, down}; //scoped
Season now = spring; ... if (now == winter) ...
Direction where = Direction::up;
```

Felder: mehrere Objekte (Variablen) direkt hintereinander im Speicher,
ein Feld ist selbst KEIN Objekt, --> KEIN Längenattribut

```
int f [n];
```

f zeigt auf den Beginn eines Feldes von n int's, n muss eine vom Compiler
erreichbare Konstante sein !

1. Elementares C++

neu in C++11: Typdeduktion

```
auto x = 7;
```

x ist von Typ int wegen des Typs des Literals.

```
auto x = expression;
```

x ist vom Typ des Resultats von expression.

(erlangt erst im Zusammenhang mit Templates seine volle Bedeutung)

1. Elementares C++

neu in C++11: Typdeduktion

```
template<class T> void printall(const vector<T>& v) {  
    for (auto p = begin(v); p!=end(v); ++p) cout << *p << "\n";  
}
```

statt C++98:

```
template<class T> void printall(const vector<T>& v) {  
    for (typename vector<T>::const_iterator p = v.begin(); p!=v.end(); ++p)  
        cout << *p << "\n";  
}
```

```
template<class T,class U> void f(const vector<T>& vt, const vector<U>& vu){  
    // ...  
    auto tmp = vt[i]*vu[i]; // whatever T*U yields  
    // ...  
}
```

1. Elementares C++

C - **enums** mit Problemen:

- konvertierbar nach int
- exportieren ihre Aufzählungsbezeichner in den umgebenden Bereich (name clashes)
- schwach typisiert (z.B. keine forward Deklaration möglich)

enum classes ("strong enums") sind stark typisiert und 'scoped':

```
enum Alert { green, yellow, election, red }; // traditional enum
enum class Color { red, blue }; // scoped and strongly typed enum
    // no export of enumerator names into enclosing scope
    // no implicit conversion to int
enum class TrafficLight { red, yellow, green };

Alert a = 7; // error (as ever in C++)
Color c = 7; // error: no int->Color conversion
int a2 = red; // ok: Alert->int conversion
int a3 = Alert::red; // error in C++98; ok in C++0x
int a4 = blue; // error: blue not in scope
int a5 = Color::blue; // error: not Color->int conversion
Color a6 = Color::blue; // ok
```

1. Elementares C++

Typ der Repräsentation kann spezifiziert werden

```
enum class Color : char { red, blue }; // compact representation enum class
```

```
TrafficLight { red, yellow, green };  
    // by default, the underlying type is int
```

```
enum E { E1 = 1, E2 = 2, Ebig = 0xFFFFFFFF0U };  
// how big is an E?  
// (whatever the old rules say;  
// i.e. "implementation defined")
```

```
enum EE : unsigned long { EE1 = 1, EE2 = 2, EEbig = 0xFFFFFFFF0U };  
// now we can be specific
```

forward Deklaration möglich

```
enum class Color_code : char; // (forward) declaration  
void foobar(Color_code* p); // use of forward declaration
```

1. Elementares C++

1.2. Datentypen (Felder)

```
int p[];
```

nur in Argumentlisten von Funktionen:

int-Feld unbekannter == beliebiger Länge, Größeninformation ist separat bereitzustellen

```
double m[3][4];
```

12 doubles hintereinander !

Typedefs: Synonyme für (u.U.) komplexe Typkonstrukte

```
typedef double v4[4];
```

```
v4 m[3]; // entspricht obigem Feld
```

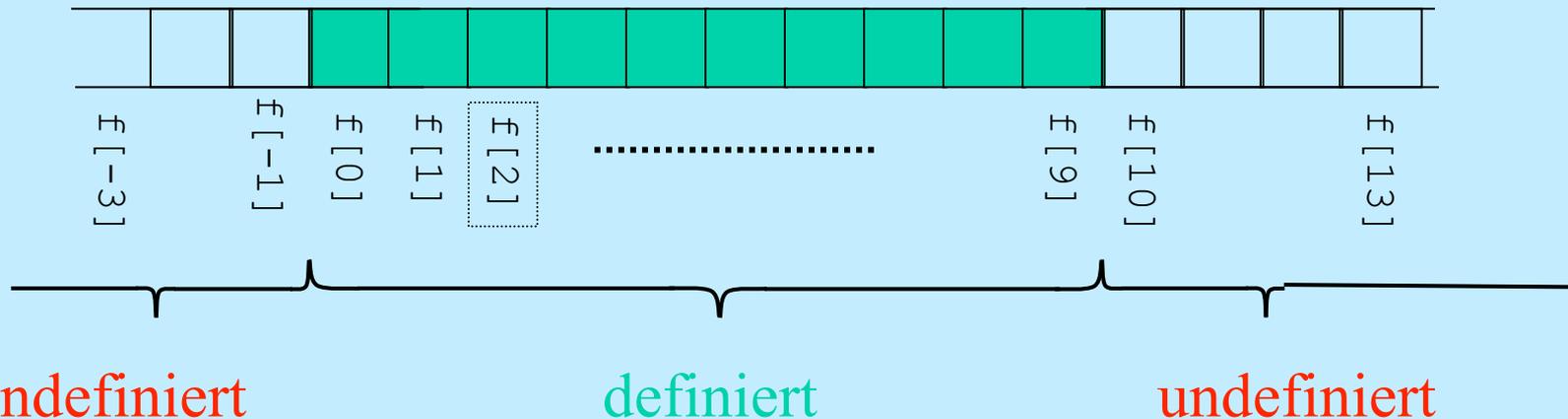
1. Elementares C++

1.2. Datentypen (Felder)

es gibt keine Prüfung auf Einhaltung der Feldgrenzen bei Zugriffen:

```
T f [10];
```

f



1. Elementares C++

1.2. Datentypen

Zeiger: Indirektion per Speicheradresse!

```
int* pi; // ein u.U. NICHT initialisierter Zeiger
```

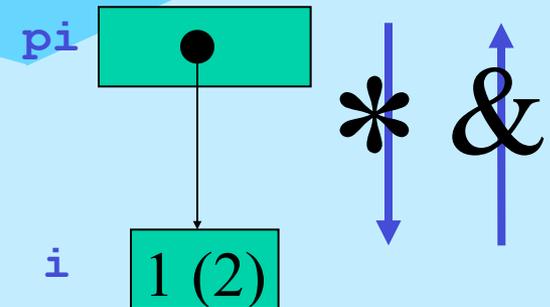
```
int i=1;  
pi = & i; // Adressoperator !
```

Zeiger sind vollständig typisiert:

```
double x;  
// ERROR: pi = & x;
```

Umkehroperation zu & ist die sog. Dereferenzierung:

```
*pi = 2;
```



1. Elementares C++

1.2. Datentypen (Zeiger)

```
int* pi = new int; // ein neues anonymes int auf dem Heap
                // pi ist (bislang) der einzig Zugang
                // no more C: int* pi = malloc(sizeof(int));
int* ap = pi; // 2 Verweise, 1 Objekt !
```

```
pi = 0; // ausgezeichnete Zeigerwert <==> KEIN Objekt
```

```
ap = 0; // letzte Referenz weg: KEINE garbage collection
        // sondern ein memory leak
```

daher zuvor:

```
delete ap; // kein leak !
          // no more C: free(pi);
```

1. Elementares C++

1.2. Datentypen (Zeiger)

ACHTUNG: nach `delete zeiger;` ist u.U. in `zeiger` immer noch die gleiche Adresse enthalten, jeder Zugriff darüber ist jedoch undefiniert !

Empfehlung: `delete pi; pi=0;`

auch Felder können dynamisch erzeugt werden:

```
int* pf = new int [100]; // pf zeigt auf erstes von 100 int's
```

Zeiger auf Felder sind mit `delete []` zu deallokieren:

```
delete [] pf; pf=0;
```

1. Elementares C++

1.2. Datentypen (Zeiger)

Zeiger auf Klassentypen (~ Java-Objektsemantik)

```
class X {  
public:  
    X() {std::cout<<"hi\n";}  
    ~X() {std::cout<<"bye\n";}  
};
```

auch: `new X();` möglich aber
nicht zu empfehlen !

```
void foo() { X* px = new X; } // hi & leak  
void bar() { X* px = new X; delete px; } // hi & bye
```

In jeder (nicht static) Memberfunktion ist `this` ein Zeiger auf das Objekt, an dem der Aufruf der Funktion erfolgte (anders als in Java !)

1. Elementares C++

1.2. Datentypen (Zeiger)

Java - **new** vs. C++ - **new**

```
class X {}  
  
class Main {  
    public static void main(String s[]) {  
        // X x = new X; nicht ohne leere Parameterliste  
        X x = new X();  
        // int i = new int; new nur für Klassen erlaubt  
        // int i = new int(); auch so nicht  
        int i[] = new int[10]; // Felder sind Objekte  
    }  
}
```

1. Elementares C++

1.2. Datentypen (Zeiger)

Java - **new** vs. C++ - **new**

```
class X {};  
  
int main() {  
    X *x1 = new X;           // besser so  
    X *x2 = new X();        // als so  
    int *i1 = new int;      // di  
    int *i2 = new int();    // to  
    // int i[] = new int[10]; so nicht:  
    // Feldvariablen sind Konstanten & die Größe  
    // von i ist unbestimmt  
    int *i = new int[10]; // ein Zeiger kann  
    // eins oder viele referenzieren !  
}
```

1. Elementares C++

nullptr

```
void foo(int) {std::cout<<"foo(int) \n";}  
void foo(int*) {std::cout<<"foo(int*) \n";}  
...  
foo(0);  
foo(NULL);  
foo(nullptr);  
  
int* pi = nullptr;  
  
if (pi == nullptr) pi = new int;
```

1. Elementares C++

Warum besser keine Klammern bei parameterlosen Konstruktorrufen ?

```
T* pt = new T(); // ok
```

```
T t = T(); // ok, aber redundant
```

```
T t (); // auch ok, aber kein Objekt vom Typ T !
```

?

```
void foo(); // Funktionsdeklaration !!!
```

```
T t (); // dito
```

```
T t;
```

1. Elementares C++

1.2. Datentypen (Zeiger)

Felder sind konstante Zeiger:

```
T someTs [30];  
T* pt = someTs;  
T* qt = &someTs[0];
```

```
using std::cout;...  
cout<<1["]<<2["]<<endl;  
Korrektes C++ ?  
wenn ja, was wird ausgegeben ?
```

`pt[i]` ist nur eine abkürzende Notation von `*(pt+i)`

Die Zeigerarithmetik erfolgt modulo `sizeof(T)`

`pt` ist ein Zeiger auf's erste `T` im Feld

`pt+1` ist ein Zeiger auf's zweite `T` im Feld ...

1. Elementares C++

1.2. Datentypen

Zeichenketten:

Zeichenkettenliterals wie »üblich«

"eine Zeichenkette\nmit Doppelapostroph \" und Backslash \\"

werden als 0-terminierte `char`-Felder realisiert !

```
char* hello = "Hello, World";
```

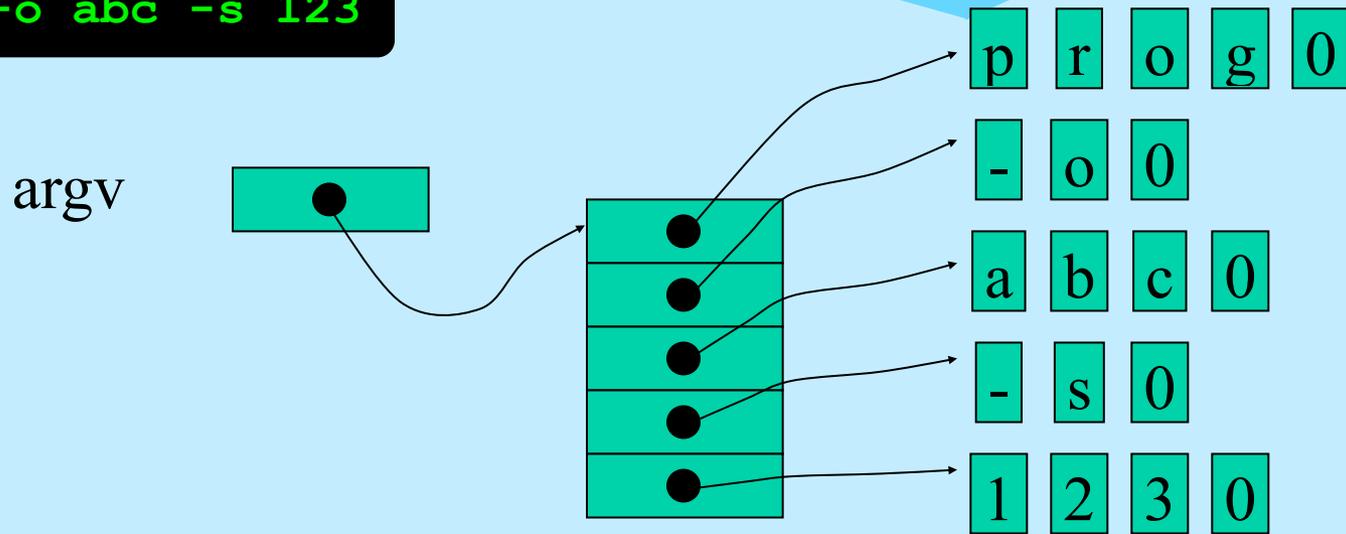


1. Elementares C++

1.2. Datentypen (Zeichenketten)

```
int main (int argc, char* argv[]) // bzw.  
int main (int argc, char** argv)
```

```
$ prog -o abc -s 123
```



1. Elementares C++

1.2. Datentypen (Zeichenketten)

Damit ist bereits der Umgang mit Zeichenketten implizit mit allen Problemen der Zeiger belastet (und zusätzlich mit allen buffer overflow Problemen bei Operationen auf Zeichenfeldern)

Außerdem sind die möglichen Operationen auf `char[]` C-legacy (<cstring>) und primitiv, z.B. `strcpy` == Kopieren von Zeichenketten

etwa:

```
void strcpy (const char* source, char* dest)
{ while (*dest++=*source++); }
```

1. Elementares C++

1.2. Datentypen (std::string)

AUSWEG: Datentyp `std::string` (<string>)

- eine Standardklasse zur Verarbeitung von Strings
- etwa auf dem Niveau von `java.lang.String` mit der
- Möglichkeit der Initialisierung aus C-Strings

```
std::string vorname = "bjarne";
```

- und einer Vielzahl von Operationen (a la Java):

```
std::string nachname = "Stroustrup";
```

1. Elementares C++

1.2. Datentypen (std::string)

```
std::string name; // noch leer !  
  
vorname[0]='B'; // unchecked !  
vorname.at(0) = 'B'; // checked  
name = vorname + " " + nachname;  
if (name != "")  
    std::cout << name << std::endl;  
int l = name.length(); // ohne 0-Byte !  
  
"hallo" + ", World\n"; // ERROR  
string("hallo") + ", World\n"; // OK  
  
const char* cstring = name.c_str();
```

... Vergleich, Suche, I/O ... ↪ <http://www.dinkumware.com>

1. Elementares C++

1.2. Datentypen

Referenztypen:

Eine Neuerung gegenüber C, Aliasnamen für Objekte mit Referenzsemantik ähnlich zur primären Objektsemantik von Java, aber

- für alle Typen (incl. build-in Typen)
- es gibt KEINE 'Nullreferenz'

in Anlehnung an die Syntax von Zeigervereinbarungen

```
int i=42;  
// int& ri;  
// ERROR: Referenzen MÜSSEN initialisiert werden  
int& ri = i; // i alias ri
```

1. Elementares C++

1.2. Datentypen

Konstantentypen:

Ein Typ **T** wird durch den Präfix **const** zu einem Konstantentyp, Objekte solcher Typen sind unveränderlich (per statischer Kontrolle durch den Compiler)

für Argumente von Funktionen bedeutet dies, dass die Funktion

1. die (nachprüfbare) Zusicherung gibt, dieses Argument NICHT zu verändern
2. beim Aufruf für das Argument auch konstante Objekte benutzt werden dürfen (was für non-const nicht erlaubt ist, weil ja die Funktion keine Zusicherung gegeben hat und daher ...)

```
const double pi=3.1415926; double someMathFkt(double);  
const double x = someMathFkt(pi); // call by value !
```

1. Elementares C++

1.2. Datentypen (Konstantentypen)

Konstante Objekte müssen initialisiert werden (weil eine spätere Zuweisung nicht erlaubt ist)

konstante Objekte können auch über Zeiger nicht verändert werden, weil die Adresse einer `const T` Variablen vom Typ `const T*` ist

```
double* dp = &pi; // ERROR  
*dp = 33.3;
```

```
const double* cdp = &pi;  
*cdp = 33.3; // ERROR
```

1. Elementares C++

1.2. Datentypen (Konstantentypen)

bei Zeigern ist wohl zu unterscheiden zwischen der constness des Zeigers selbst

```
int * const constant_pointer = &someint;
```

und der constness des referenzierten Objektes (Feldes)

```
const int * pointer_to_constant;
```

```
const int * const constant_pointer_to_constant = ...;
```

1. Elementares C++

1.2. Datentypen (Konstantentypen)

Referenzen (selbst) sind implizit const, es gibt jedoch Referenzen auf Konstantentypen

Wichtigste Anwendung: call by reference in-parameter

```
T t;  
void foo(T& pt)  
{  
    pt.change();  
}  
foo(t); // call by reference: t itself changes  
const T ct;  
foo(ct); // ERROR
```

1. Elementares C++

1.2. Datentypen (Konstantentypen)

```
void foo(const T& pct)
{
    // pct.change(); ERROR
    pct.read_only();
}

const T ct;
foo(ct); // OK

class X{ public: void foo() const; void bar(); };
X x; const X cx; x.foo(); x.bar();
cx.foo(); /* OK */ cx.bar() // ERROR !
```

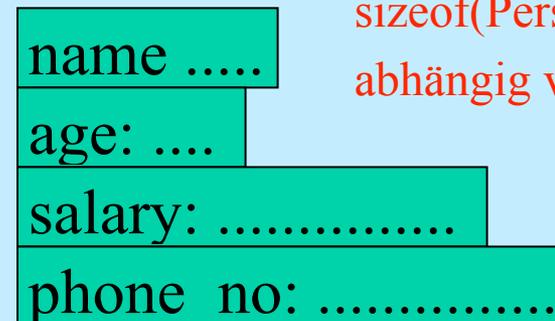
1. Elementares C++

1.2. Datentypen

Strukturtypen (a la C):

heterogene Wertekombinationen unter einem Typnamen

```
struct Person {  
    std::string name;  
    int age;  
    double salary;  
    long phone_no;  
} p;
```



sizeof(Person)

abhängig vom *alignment* !

1. Elementares C++

1.2. Datentypen (Strukturtypen)

```
p.name = "Willibald Wusel";
```

Kombination mit Zeigern (dynamische Strukturobjekte)

```
Person* aNewPerson = new Person;  
aNewPerson->age = 32;  
// short hand for:  
(* aNewPerson).age = 32;
```

Kombination mit Referenzen

```
void raise_salary (Person &p, int percentage) {  
    p.salary *= 1 + percentage/100.0; // ? why .0 ?  
}  
raise_salary (p, 3);
```

1. Elementares C++

1.2. Datentypen (Strukturtypen)

Strukturen sind in C++ de facto Klassen ohne Memberfunktionen und öffentlichem Zugriff auf alle Memberdaten!

```
struct Person {  
    std::string name;  
    int age;  
    double salary;  
    long phone_no;  
};
```



```
class Person {  
public:  
    std::string name;  
    int age;  
    double salary;  
    long phone_no;  
};
```

1. Elementares C++

1.2. Datentypen (Strukturtypen - Unions)

Es gibt noch die C-Variante, bei der alle Bestandteile eines solchen zusammengesetzten Typs an der gleichen Adresse (am Objektanfang) beginnen - > sog. Unions (spielen in C++ eine untergeordnete Rolle !)

```
union HACK {
    double d; // double precision ieee
    struct {
        unsigned :1,
        e:11;
    } s;
};
int NaN(double x) {
    HACK h; h.d = x; return h.s.e == 0x7ff;
}
```

1. Elementares C++

1.3. Ausdrücke

ähnlich zu Java:

- Literale und Variablen `1.234` `"Huhh..."` `i`
- Anwendung von Operatoren auf Operanden
`x+1` `std::cout<<4` `x=y` `foo(3,bar(7),&a)` `p->name[0]`

ABER:

- Reihenfolge der Berechnung **undefiniert** (bis auf `&&` und `||`) !
- jeder Ausdruck liefert einen Wert (ggf. den leeren Wert bei Funktionen mit Rückgabtyp `void`), ein nicht-leerer Wert kann, muss aber nicht weiterverwendet werden (wie in Java)
- ein Ausdruck wird durch nachfolgendes Semikolon zu einer Anweisung !

```
f(3); // Ergebnis wird ignoriert
int k=f(4); // Ergebnis wird weiterverwendet
```

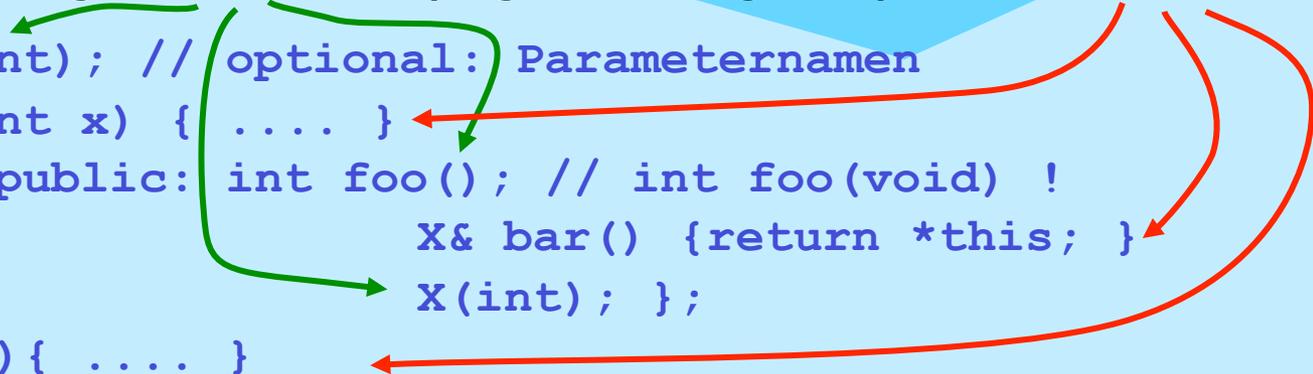
```
int main() { 42; } // KORREKTES C++ ???
```

1. Elementares C++

1.4. Funktionen

- Memberfunktionen von Klassen oder außerhalb von Klassen (global, bzw. namespace-lokal)
- Unterscheidung in Deklaration (Angabe der Signatur) und Definition !

```
void foo(int); // optional: Parameternamen
void foo(int x) { .... }
class X { public: int foo(); // int foo(void) !
           X& bar() {return *this; }
           X(int); };
X::X(int i){ .... }
```



- jede Definition ist auch eine Deklaration
- Jede Funktion muss deklariert sein, bevor sie verwendet wird; Deklaration einer Memberfunktionen wirkt ab Klassenbeginn

1. Elementares C++

1.4. Funktionen

- mehrfache Deklarationen sind erlaubt
- für jede Funktion muss es (**GENAU**) eine Definition geben, ansonsten linker error [the one definition rule ODR]
- Deklarationen in ***.h** - Files, Definitionen in ***.cpp** - Files:

```
// foo.h:  
int foo(int,int);
```

```
// foo.cpp  
#include "foo.h"  
int foo(int a, int b)  
{return a+b;}
```

```
// prog.cpp:  
#include "foo.h"  
int main() { foo(123,456); }
```

1. Elementares C++

1.4. Funktionen

Es gibt (anders als in Java) keine vollständige Analyse des Kontrollflusses:

Java

```
class flow {  
    int foo(int i){  
        if (i<0) return 42;  
        if (i>=0) return 24;  
    } // ERROR: Missing return statement  
}
```

C++

```
int foo(int i){  
    if (i<0) return 42;  
    if (i>=0) return 24;  
} // OK !
```

**ABER: Verlassen
einer (non-void) Funktion
ohne Rückgabewert:
undefined behaviour**

1. Elementares C++

1.4. Funktionen

- können **static** sein:
 1. Memberfunktionen: Klassenmethoden wie in Java (kein **this**)
 2. globale Funktionen: file scope

- können **static** (lokale) Daten enthalten:

```
int foo() { static int i=2; return i*=i; }  
int main() {  
  for (int i=0; i<3; ++i) std::cout<<foo(); // 416256  
}
```

ACHTUNG: `std::cout<<foo()<<foo()<<foo();` ???

1. Elementares C++

1.4. Funktionen

- können **inline** sein: kein Aufruf, sondern (Seiteneffekt-freie und typgerechte) Substitution auf Quelltextebene:

```
inline int square(int i){return i*i;}  
int main() { std::cout << square(4); }
```

inline substitution



```
int main() { std::cout << 4*4; } // u.U. sogar 16
```

- Ziel: Effizienz, auch wenn call overhead > 'Nutzeffekt' der Funktion
- Memberfunktionen, die im Klassenkörper definiert werden, sind implizit **inline** ! (gute Kandidaten, weil meist kurz)



Tony Hoare: **"Premature optimization is the root of all evil ! "**
siehe auch

www.ddj.com (search for: inline redux) und www.gotw.ca/gotw/033.htm

1. Elementares C++

1.4. Funktionen

- können default arguments haben: ein Endstück der Argumentliste einer Deklaration mit Wertevorgaben

```
int atoi (const char* string, int base = 10);  
// ascii to int on radix base  
atoi ("110"); // --> atoi("110", 10) --> 110  
atoi ("110", 2); // --> atoi("110", 2) --> 6
```

Vorsicht Falle 1: `void foo(char*=0);`



`void foo(char* =0);`

1. Elementares C++

1.4. Funktionen

Vorsicht Falle 2:

```
int f(int);  
int f(int, int=0);  
f (1); // mehrdeutig: f(1) oder f(1,0)
```

- variable Argumentlisten a la `printf` in C++: ... ellipsis

```
extern "C" int printf (const char* fmt, ...);
```

`extern "C"` ist eine sog. linkage Direktive: hier kein name mangling

1. Elementares C++

1.4. Funktionen

- können überladen werden: gleicher Name, unterscheidbare Signatur (Rückgabebetyp spielt KEINE Rolle!)

name mangling

```

class X{ public:
    X();                __1X
    X(int);            __1Xi
    int foo();         foo__1X
    int foo() const;  foo__C1X
    int foo(const X&); foo__1XRC1X
};
int foo(int);         foo__Fi
double foo(double);  foo__Fd
void foo(char*, int); foo__Fpci
int printf(const char*, ...); printf__FPCce
  
```

```

$ g++ -c foo.cc
$ nm foo.o
00000000 W __1X
00000000 W __1Xi
....
$ nm foo.o | c++filt
00000000 W X::X(void)
00000000 W X::X(int)
....
  
```

1. Elementares C++

1.5. Strukturierte Anweisungen

(fast) wie in Java:

`while, do, for, if, switch, break, continue, return`

Deklaration in Blöcken sind Anweisungen: Deklaration von Objekten am Ort des Geschehens (wie in Java)

```
void foo()  
{  
    int i=0;  
    bar(i); ....  
    int j=3;  
    bar(j); ....  
}
```

Vorsicht Falle:

```
if (x=1) ....
```

1. Elementares C++

1.5. Strukturierte Anweisungen

echtes Lokalitätsprinzip lokaler Blöcke in C++ (nicht in Java):

```
class varscope {
    static void bar(int i){}
    void foo() {
        for (int i=0; i<10; ++i)
            bar(i);
        for (int i=0; i<10; ++i)
            bar(i);
        int i=123;
        bar(i);
        {
            int i=234;
// varscope.java:12: Variable 'i' is already defined in this method.
            bar(i);
        }
    }
}
```

1. Elementares C++

1.5. Strukturierte Anweisungen

echtes Lokalitätsprinzip lokaler Blöcke in C++ (nicht in Java):

```
int i = 666;
static void bar(int i){}
void foo(){
    for (int i=0; i<10; ++i)
        bar(i);
    for (int i=0; i<10; ++i)
        bar(i);
    int i=123;
    bar(i);
    {
        int i=234; // hides all outer i's
        bar(i);
        bar(::i); // global i
    } // i==123 !
}
```

Objekte definieren wenn sie
gebraucht werden;
sie vernichten (lassen),
sobald sie nicht mehr
gebraucht werden !

1. Elementares C++

Wo und wie lange leben Objekte ?

	globale Objekte	lokale Objekte	dynamische Objekte
entstehen durch ...	globale Objektvereinbarung: <code>T o;</code>	blocklokale Objektvereinbarung: <code>{ .. T o; .. }</code>	durch expliziten Aufruf von new: <code>T*op=new T[N];</code>
Objekte sind initialisiert	<i>builtin</i> -Typen: ja, auf 0 Klassentypen: durch Aufruf eines Konstruktors (*)	<i>builtin</i> -Typen: nein ! Klassentypen: durch Aufruf eines Konstruktors (*)	<i>builtin</i> -Typen: nein ! Klassentypen: durch Aufruf eines Konstruktors (*)
werden vernichtet ...	automatisch nach (!) Programmende	automatisch beim Verlassen des Blockes Sonderfall: temporaries (**)	durch expliziten Aufruf von delete: <code>delete [] pi;</code>
residieren im ...	globalen Datenbereich (bereits vom Compiler geplant und vor Programmstart	Stack (dehnt sich dynamisch und sequentiell aus)	Heap (dehnt sich dynamisch und nicht sequentiell aus)

(* u.U. ohne nutzerspezifische Initialisierung (s. default ctor)

(** am nächsten sequence point (typischerweise ;)

1. Elementares C++

1.5. Strukturierte Anweisungen

Switch-Anweisung (C++): `switch (expression) statement`

statement i.allg. strukturiert mittels case: / default: aber mit mehr Freiheiten als in Java

Beispiel: Duff's Device

(Tom Duff 1983)

```
void send
(register short *to,
register short *from,
register count)
{ do *to = *from++; while(--count>0); }

// to: some device register
```

```
void send (register short *to, register short *from,
          register count) {
  register n = (count+7)/8;
  switch (count%8){
    case 0: do{ *to = *from++;
    case 7: *to = *from++;
    case 6: *to = *from++;
    case 5: *to = *from++;
    case 4: *to = *from++;
    case 3: *to = *from++;
    case 2: *to = *from++;
    case 1: *to = *from++;
  } while(--n > 0);
```

1. Elementares C++

1.5. Strukturierte Anweisungen

Switch-Anweisung (C++):

Initialisierungen dürfen nicht 'übersprungen' werden:

```
switch (i) {  
    int v1 = 2; // ERROR: jump past initialized variable  
case 1:  
    int v2 = 3;  
    // ....  
case 2:  
    if (v2 == 7) // ERROR: jump past initialized variable  
    // ....  
}
```

1. Elementares C++

1.5. Un : -) Strukturierte Anweisung

goto - **the don't use statement**

```
loop:          goto skip:
// ....      // ....
goto loop;    skip: //....
```

Initialisierungen dürfen auch nicht 'übersprungen' werden:

1. Elementares C++

1.5. Strukturierte Anweisungen

Exception Handling : syntaktisch wie in Java (kein `finally`)

```
try {  
    // things that may throw or not  
}  
catch ( Exception1 e ) {  
    // handle e  
}  
catch ( Exception2 e ) {  
    // handle e  
} .....
```

bei Auftreten einer Ausnahme wird der `try`-Block verlassen und zu einem passenden (ggf. übergeordneten) `catch`-Block verzweigt, **zuvor werden alle Destruktoren lokaler Objekte gerufen, die erfolgreich konstruiert wurden !**

1. Elementares C++

1.5. Strukturierte Anweisungen: Exception Handling

```
#include <iostream>

using std::cout; using std::endl;

class X { public:
    X(int i=0) {cout<<"X("<<i<<") \n";}
    ~X() {cout<<"~X() \n";}
};

void foo(int i) {
    try { X local;
        if (i==1) throw "oops";
        else if (i==2) throw 42;
    }
    catch (const char* why) {
        cout<<why<<endl;
    }
}
```

1. Elementares C++

1.5. Strukturierte Anweisungen: Exception Handling

```
//... cont.  
int main() {  
    try {  
        X x1(1);  
        foo(1);  
        X x2(2);  
        foo(2);  
    }  
    catch (int r) {  
        cout<<"exception: code "<<r<<endl;  
    }  
    catch (...) {  
        cout<<"something thrown: don't know what\n";  
    }  
}
```

```
X(1)  
X(0)  
~X()  
oops  
X(2)  
X(0)  
~X()  
~X()  
~X()  
exception: code 42
```

1. Elementares C++

1.5. Strukturierte Anweisungen: Exception Handling

- Exceptions sind Objekte beliebigen Typs
- stack unwinding ruft ggf. Destruktoren
- in einem `catch`-Block kann eine Exception mittels `throw`; 're-thrown' werden

```
....      catch (...) {  
                void handleAll(); // proto  
                handleAll();  
....      }  
....
```

```
void handleAll() {  
    try { throw; }  
    catch (double x) { cout << x << endl; } // z.B.  
}
```

1. Elementares C++

1.5. Strukturierte Anweisungen: Exception Handling

- wird eine Exception nirgends 'gefangen', so endet das Programm durch aufruf von `std::terminate()` (* (dies ruft wiederum `std::abort()`)
- mittels `std::set_terminate()` kann man dieses Verhalten ändern:

Prototyp `void (*set_terminate(void (*term_handler)())) ();`
?????

oder leichter nachvollziehbar:

```
typedef void (*TH) ();  
TH set_terminate(TH);
```

(* es ist implementation-defined,
ob dabei stack-unwinding stattfindet !!!

1. Elementares C++

1.5. Strukturierte Anweisungen: Exception Handling

- `std::terminate()` wird auch gerufen, wenn während der Behandlung einer Ausnahme eine weitere Ausnahme auftritt
- Funktionen können mit sog. exception specifications ausgestattet sein, (entspricht den throws-Klauseln von Java aber)

Java: `void foo(); // lässt keine Exceptions 'raus'`

C++: `void foo(); // lässt beliebige Exceptions 'raus'`

`void foo () throw (dies, das, nochwasanderes);`

Java: vollständige Flussanalyse zur Compile-Zeit

C++: keinerlei Flussanalyse, aber Überwachung zur Laufzeit

- tritt eine Exception auf, die nicht spezifiziert wurde, wird `std::unexpected()` (dies ruft wiederum `std::terminate()`) gerufen

1. Elementares C++

1.5. Strukturierte Anweisungen: Exception Handling

- mittels `std::set_unexpected()` kann man dieses Verhalten ändern
- Aber: Herb Sutter (Exceptional C++, Item 13) und auch Boost (Exception-specification rationale):

Never write an exception specification !

- Destruktoren sollten **NIEMALS** Ausnahmen erzeugen:

```
X::~~X() throw ();
```

WARUM



1. Elementares C++

1.5. Strukturierte Anweisungen: Exception Handling

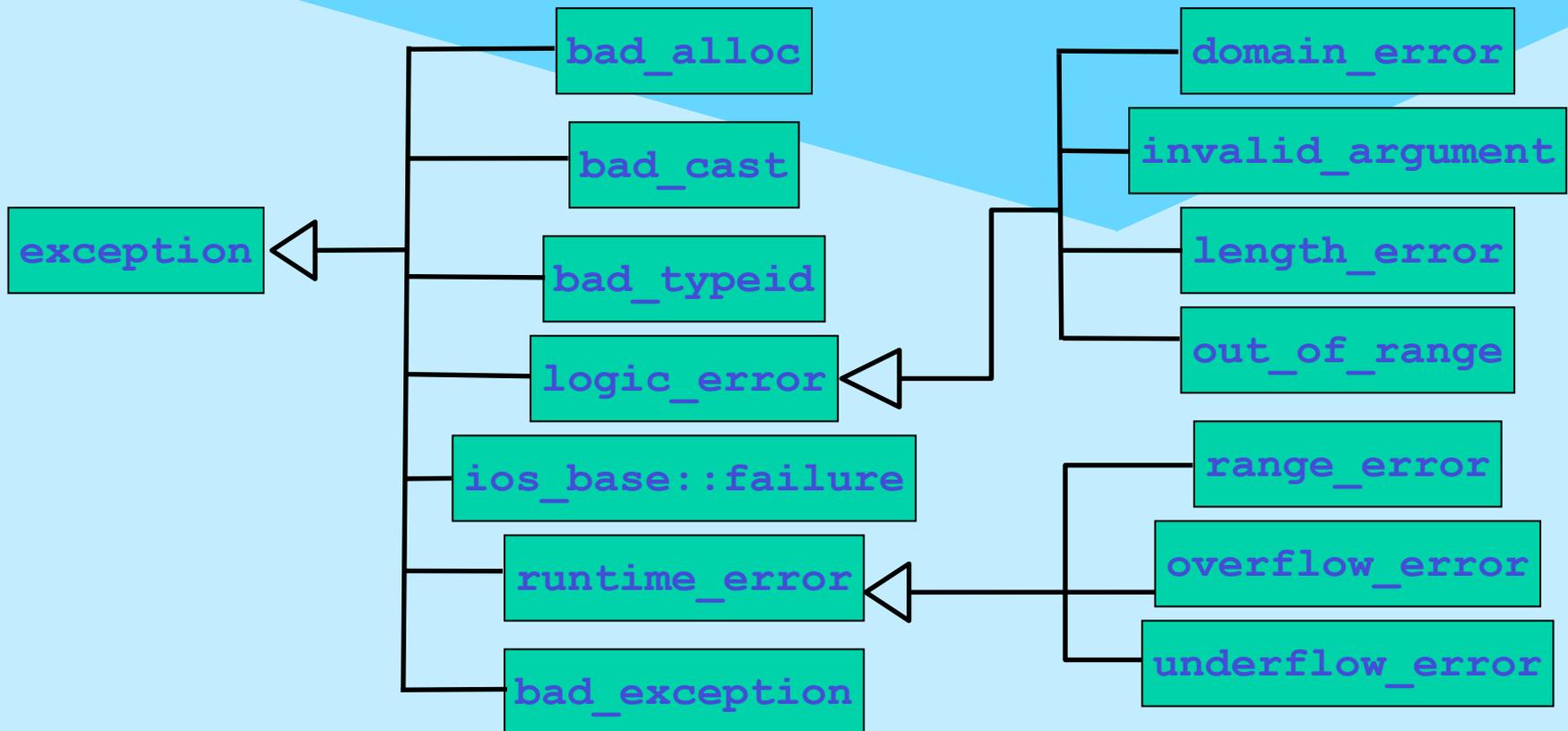
- es gibt die Möglichkeit eine ganze Funktion als **try**-Block zu implementieren:

```
int foo(int i)
try {
    may_throw(i); return 0;
}
catch (int ex) {
    return -1;
}
```

- Es gibt eine Reihe vordefinierter Ausnahmen

1. Elementares C++

1.5. Strukturierte Anweisungen: Exception Handling



2. Klassen in C++

Um das Klassenkonzept ranken sich alle wichtigen (oo) Konzepte:

- abstrakte Datentypen (Daten & Operationen)
- Zugriffsschutz
- nutzerdefinierte Operatoren
- Vererbung, Polymorphie & Virtualität
- generische Typen (Templates)

2. Klassen in C++ [back -->](#)

```
// Stack.h
#ifndef STACK_H
#define STACK_H
class Stack {
protected:
    int *data;
    int top, max;
public:
    Stack(int = 100);
    Stack(const Stack&);
    ~Stack();
    void push (int);
    int pop();
    int full() const;
    int empty() const;
};
#endif
```

prevents multiple inclusion !

ein neuer Typ !

Memberdaten

Memberfunktionen

Konstruktoren (u.u. viele)

Destruktor (einer !)

const Memberfunktion: Zusage, das
Objekt nicht zu verändern

Zugriffsmodi



2. Klassen in C++

```
// Stack.cc
#include "Stack.h"
#include <cstdlib>

Stack::Stack(int dim): max(dim), top(0), data(new int[dim]) { }
Stack::Stack(const Stack & other) // Copy-Konstruktor
: max(other.max), top(other.top), data(new int[other.max]) {
    for (int i=0; i<top; ++i)
        data[i]=other.data[i];
}
Stack::~~Stack() {
    delete [] data; // Feld statt einzelnem Objekt !
}
void Stack::push (int i) {
    if (!full()) data[top++]=i;
    else std::exit(-1);
} // if (!this->full()) this->data[this->top++]=i;
```

initializer list



NICHT: max

Scope resolution

2. Klassen in C++

```
int Stack::pop () {  
    if (!empty()) return data[--top];  
    else std::exit(-1);  
}  
int Stack::full() const { return top == max; }  
int Stack::empty() const { return top == 0; }
```

- alternativ Memberfunktionen im Klassenkörper: dann implizit inline
- oder außerhalb des Klassenkörpers mit expliziter inline-Spezifikation (im Headerfile !)

```
// Nutzung:  
#include "Stack.h"  
void foo() {  
    Stack s1 (1000); s1.push(123);  
    Stack *sp = new Stack; sp->push(321);  
    delete sp; // ansonsten memory leak !  
}
```

2. Klassen in C++

- Wann immer Objekte entstehen, läuft automatisch ein (passender) **Konstruktor** !
 - Wann immer Objekte verschwinden, läuft automatisch der **Destruktor** !
 - Klassen ohne nutzerdefinierten Konstruktor/Destruktor besitzen implizit
 - den sog. *default constructor* `X () {}`
 - den sog. *default copy-constructor* `X (const X&) { ... }` und
 - den sog. *default destruktur* `~X() {}`
- memberweise Kopie !

- sobald nutzerdefinierte Konstruktor-Varianten vorliegen, gibt es nur noch den impliziten Copy-Konstruktor (wenn dieser nicht auch explizit definiert wird)

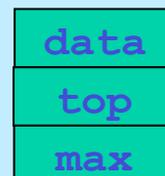
2. Klassen in C++

- Jedes Objekt enthält seine eigene Realisierung der Memberdaten (**NICHT** der Memberfunktionen!)
- Die Identität eines Objektes ist mit seiner Adresse verbunden !

```
bool Any::same (Any& other) {  
    return this == &other;  
}
```

?

Beispiel: Jedes **Stack**-Objekt hat das folgende Layout unabhängig davon, wie es entstanden ist !



kein overhead durch
Meta-Daten !

2. Klassen in C++

- es sind auch sog. unvollständige Klassendeklarationen erlaubt, von einer solchen Klasse können jedoch bis zu ihrer vollständigen Deklaration lediglich Zeiger & Referenzen benutzt werden:

```
class B;  
class A {B * my_B; ....}; // oder ... class B* my_B;  
class B {A * my_A; ....};
```

- strukturell identische Klassen mit verschiedenen Namen bilden verschiedene Typen (es gibt jedoch die Möglichkeit, nutzerdefiniert Kompatibilität herbeizuführen s.u.):

```
class X { public: int i; } x0;  
class Y { public: int i; } y0;  
X x1 = y0; Y y1 = x0; // beides falsch !!!  
x0 = y0; y0 = x;     // beides falsch !!!
```

2. Klassen in C++

- Konstruktorparameter sind beim Anlegen von Objekten (geeignet) anzugeben, d.h es muss einen entsprechenden Konstruktor geben

```
// direct initialization:  
X x0;           // needs X::X();  
X x1(1);       // needs X::X(int);  
X x2 = X(2,0); // needs X::X(int,int);  
X *pb = new X (5,true); // needs X::X(int, bool);  
X x3(1, "zwei", '3'); // needs X::X(int,[const] char*,char);  
  
// copy initialization:  
X x3 = 3;      // X tmp(3); X x3(tmp); ggf. elision
```

2. Klassen in C++

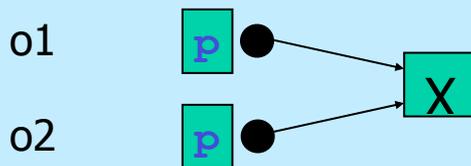
Copy-Konstruktoren

`X::X(const X&); // kanonische Form !`

shallow copy

(default copy ctor)

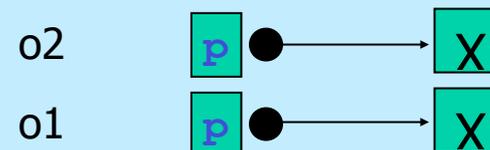
```
class SC {
    X* p;
public:
    SC(): p(new X) {}
};
SC o1;
SC o2=o1;
```



deep copy

(nutzerdefinierter copy ctor)

```
class DC {
    X* p;
public:
    DC(): p(new X) {}
    DC(const DC& src)
        : p(new X) {...copy X } ;
};
DC o1;
DC o2=o1;
```



2. Klassen in C++

- Konstruktoren können auch mit einem function try block implementiert werden, auch wenn ein passender handler vorliegt, wird die Ausnahme immer re-thrown !!!

```
struct Y {  
    X* p;  
    Y(int i) try : p(new X)  
    { if (i) throw "huhh"; }  
    catch(...)  
    { /* delete p; NOT ALLOWED !!! */  
      /* throw "huhh"; implicitly */  
    }  
    ~Y() { delete p; }  
};
```

15.3 (10): Referring to any non-static member or base class of an object in the handler for a function-try-block of a constructor or destructor for that object results in undefined behavior.

2. Klassen in C++

<http://www.gotw.ca/gotw/066.htm>

```
{  
    Parrot parrot;  
}
```

In the above code, when does the object's lifetime begin? When does it end? Outside the object's lifetime, what is the status of the object? Finally, what would it mean if the constructor threw an exception? Take a moment to think about these questions before reading on.

Q: When does an object's lifetime begin?

A: When its constructor completes successfully and returns normally. That is, control reaches the end of the constructor body or an earlier return statement.

Q: When does an object's lifetime end?

A: When its destructor begins. That is, control reaches the beginning of the destructor body.

Q: What is the state of the object after its lifetime has ended?

A: As a well-known software guru ☺ once put it, speaking about a similar code fragment and anthropomorphically referring to the local object as a "he":

He's not pining! He's passed on! This parrot is no more! He has ceased to be! He's expired and gone to meet his maker! He's a stiff! Bereft of life, he rests in peace! If you hadn't nailed him to the perch he'd be pushing up the daisies! His metabolic processes are now history! He's off the twig! He's kicked the bucket, he's shuffled off his mortal coil, run down the curtain and joined the bleedin' choir invisible! THIS IS AN EX-PARROT! - Dr. M. Python, BMath, MSc, PhD (CompSci)



Referring to any non-static member or base class of an object in the handler for a function-try-block of a constructor or destructor for that object results in undefined behavior.

Leider wird dies von vielen Compilern dennoch erlaubt ☹ : g++, VisualStudio2005/2008

2. Klassen in C++

Initialisierung vs. Zuweisung:

= im Kontext einer Objektdeklaration: **Initialisierung**

```
X x = something; // initialize
```

= nicht im Kontext einer Objektdeklaration: **Zuweisung**

```
x = something; // assign !
```

```
class X {  
    const int c;  
public:  
    X(int i): c(i) {} // ok, aber  
    // X(int i) {c=i;} // falsch  
};
```



Prefer initialization !

2. Klassen in C++

Initialisierung vs. Zuweisung:

```
#include <iostream>

class A {
public:
    A(int i){ std::cout<<"A("<<i<<")\n"; }
};

class B {
    A myA;
public:
    B (int i) { std::cout<<"B("<<i<<")\n"; }
};

int main() { A a(1); B b(2); } // valid C++ ?????
```

2. Klassen in C++

Initialisierung vs. Zuweisung:

```
#include <iostream>

class A {
public:
    A(int i){ std::cout<<"A("<<i<<"\n"; }
};

class B {
    A myA;
public:
    B (int i) { std::cout<<"B("<<i<<"\n"; }
};

int main() { A a(1); B b(2); }
```



Prefer initialization !

Error init.cpp 11: Cannot find default constructor to initialize member 'B::myA' in function B::B(int)



2. Klassen in C++

Initialisierung vs. Zuweisung:

```
#include <iostream>
```

```
class A {  
public:  
    A(int i){ std::cout<<"A("<<i<<" )\n"; }  
};
```

```
class B {  
    A myA;  
public:  
    B (int i) { myA = i; std::cout<<"B("<<i<<" )\n"; }  
};
```

```
int main() { A a(1); B b(2); }
```



Prefer initialization !

Error init.cpp 11: Cannot find default constructor to initialize member 'B::myA' in function B::B(int)



2. Klassen in C++

Initialisierung vs. Zuweisung:

```
#include <iostream>
```

```
class A {  
public:
```

```
    A(int i = 0 ) { std::cout << "A("<<i<<")\n"; }
```

```
};
```

```
class B {  
    A myA;
```

```
public:
```

```
    B (int i) { myA = i; std::cout << "B("<<i<<")\n"; }
```

```
};
```

```
int main() { A a(1); B b(2); }
```



Prefer initialization !

```
$ init  
A(1)  
A(0) ?  
A(2)  
B(2)
```

2. Klassen in C++

Initialisierung vs. Zuweisung:

```
#include <iostream>
```

```
class A {  
public:  
    A(int i) { std::cout << "A("<i><<i<<"\n"; }  
};
```

```
class B {  
    A myA;  
public:  
    B (int i) : myA(i) { std::cout << "B("<i><<i<<"\n"; }  
};
```

```
int main() { A a(1); B b(2); }
```



Prefer initialization !

```
$ init  
A(1)  
A(2)  
B(2)
```

2. Klassen in C++



C++ idiom: *Resource Acquisition Is Initialization* (*)

```
void doDB() { // from Steven C. Dewhurst: C++ Gotchas (gotcha #67)
    lockDB();
    // do stuff with database ... but could throw !?
    unlockDB();
}
```

```
void doDB() {
    lockDB();
    try { // do stuff with database ...
    }
    catch ( ... ) { unlockDB(); throw; } // ugly
    unlockDB();
}
```

(of an object !*

2. Klassen in C++



C++ idiom: *Resource Acquisition Is Initialization*

```
// better:  
class DBLock {  
    public:  
        DBLock() { lockDB(); }  
        ~DBLock() { unlockDB(); }  
};
```

```
void doDB() {  
    DBLock lock;  
    // do stuff with database ...  
}
```

Fallen:

```
// NOT: DBLock lock();  
// NOT: DBLock();
```

2. Klassen in C++

C++ idiom: *Resource Acquisition Is Initialization*

```
struct X {
    X() { cout<<"X()\n"; }
    ~X() { cout<<"~X()\n"; }
};

struct Xpointer { // a (not very) smart pointer
    X* pointer;
    Xpointer(X* p): pointer(p) {}
    ~Xpointer() {delete pointer;}
};

struct Y {
    Xpointer p;
    Y(int i) try : p(new X)
    { if (i) throw "huhh"; }
    catch(...)
    { cout<< "caught local\n"; }
    ~Y() {}
};

int main() try {
    cout<<"sizeof(Y)="<<sizeof(Y)<<endl;
    Y y0(0);
    Y y1(1);
}
catch(...) { cout<<"caught final\n"; }
```

 `#include <iostream>`
`using std::whatever;`

```
sizeof(Y)=4
X()
X()
~X()
caught local
~X()
caught final
```

2. Klassen in C++

C++ idiom: Resource Acquisition Is Initialization

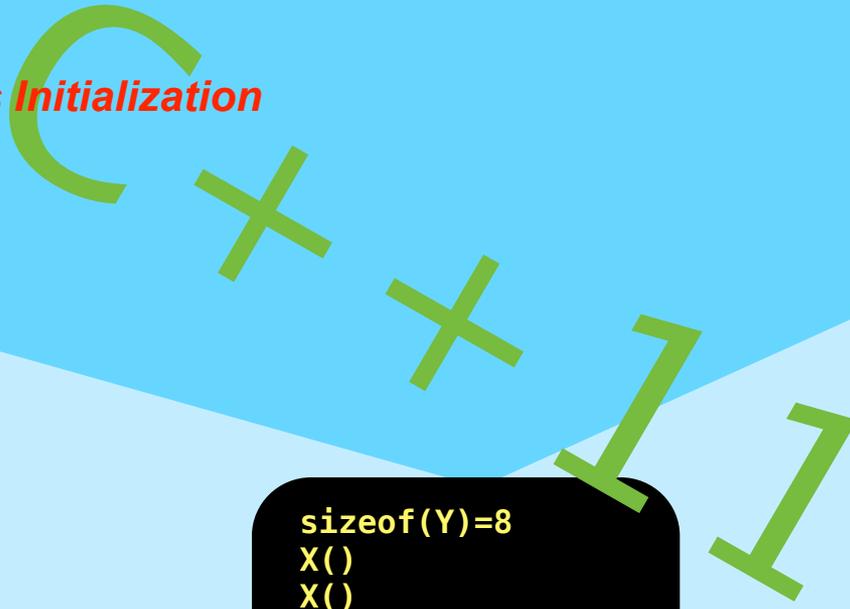
```
#include <iostream>
#include <memory>

struct X {
    X() { std::cout<<"X()\n"; }
    ~X() { std::cout<<"~X()\n"; }
};

struct Y {
    std::unique_ptr<X> p;
    Y(int i) try : p(new X)
    { if (i) throw "huhh"; }
    catch(...)
    { std::cout<< "caught local\n";}

    ~Y() {}
};

int main()
try {
    std::cout<<"sizeof(Y)="<<sizeof(Y)<<std::endl;
    Y y0(0);
    Y y1(1);
}
catch(...) { std::cout<<"caught final\n"; }
```



```
sizeof(Y)=8
X()
X()
~X()
caught local
~X()
caught final
```

2. Klassen in C++



```
#include <iostream>  
using std::whatever;
```



C++ idiom: *Resource Acquisition Is Initialization*



```
class Trace { // C++ Gotchas, dito #67  
public:  
    Trace (const char* msg): m_(msg) {cout << "Entering " << m_ << endl;}  
    ~Trace() {cout << "Exiting " << m_ << endl;}  
private:  
    const char* m_;  
};  
Trace a("global");  
void foo(int i) {  
    Trace b("foo");  
    while (i--) { Trace l("loop"); /* ... */ }  
    Trace c("after loop");  
}  
int main() { foo(2); }
```

```
$ t  
Entering global  
Entering foo  
Entering loop  
Exiting loop  
Entering loop  
Exiting loop  
Entering after loop  
Exiting after loop  
Exiting foo  
Exiting global
```

2. Klassen in C++



```
#include <iostream>
#include <ctime>
using std::whatever;
```



C++ idiom: *Resource Acquisition Is Initialization*



```
class Timer {
    long start, stop;
    void report()
        {cout<<(stop-start)/1000000.0<<"s"<<endl;}
public:
    Timer():start(clock()){}
    ~Timer(){ stop=clock(); report();}
};
```

2. Klassen in C++

- Klassen können auch sogenannte static Member enthalten, diese werden nur einmal pro Klasse angelegt !
- **static** Memberfunktionen dürfen (implizit) nur auf static Memberdaten zugreifen, (sie haben keinen **this**-Zeiger!)
- **static** Memberdaten sind nicht Teil des Objekt-Layouts
- **static** Memberdaten sind (einmalig) zu initialisieren !

2. Klassen in C++



```
class A {
    static int count;
public:
    static int c(){ return count; }
    static const double A_specific_const; // NOT HERE = 123.456;
    A() {count++;}
    A(const A&) {count++; /* and copy */} // Kopien mitzählen !
    ~A(){count--;}
} a1, a2, a3;
int A::count = 0; // hier erst definiert !
const double A::A_specific_const = 123.456; // dito
int main() {
    double x = A::A_specific_const; // class access
    // A::A_specific_const = 1.23; // Fehler: const !
    cout << "Es gibt jetzt "<< a1.c()<<" A-Objekte\n";
    // a1.count ist private, auch a2.c() oder a3.c() oder A::c() möglich
}
```

```
$ s
Es gibt jetzt 3 A-Objekte
```

2. Klassen in C++

- neben den traditionellen C-Zeigern gibt es in C++ auch spezielle Zeigertypen für Zeiger auf Member(-daten und -funktionen)



```
class X { public: int p1,p2,p3; };  
void foo() {  
    X x; X* pp=&x;      // ein C-Zeiger auf ein X  
    int X::*xp=&X::p2; // xp ist ein Zeiger auf ein int in X  
    // xp = &x.p2;  
    // error: bad assignment type: int X::* = int *  
    int *p;  
    // p = &X::p2;  
    // error: bad assignment type: int * = int X::*  
    p = &(x.*xp); // ok, ohne Klammern falsch: (&x).*xp  
    pp->*xp = 1; } // .* und ->* sind neue Operatoren
```

2. Klassen in C++

```
class Y {
public:
    void f1() {std::cout<<"Y::f1()\n";}
    void f2() {std::cout<<"Y::f2()\n";}
    static void f3() {cout<<"static Y::f3()\n";}
    typedef void (Y::*Action)();
    void repeat(Action=&Y::f1, int=1); //... (void(Y::*)(), int)
};

void Y::repeat (Action a, int count) {
    while (count--) (this->*a)();
}

int main() {
    Y y; Y* pp=&y;
    void (Y::*yfp)();
    // Zeiger auf Memberfkt. in Y mit Signatur void->void
}
```

2. Klassen in C++

```
yfp=&Y::f1; // nicht yfp =Y::f1 !(trotz vc++6.0, bcc32, icc)
// yfp();
// object missing in call through pointer to memberfunction
(y.*yfp)(); // Y::f1()
yfp=&Y::f2;
(pp->*yfp)(); // Y::f2()
// yfp=&Y::f3;
// bad assignment type: void (Y::*)() = void (*)()static
// aber:
void (*fp)()=&Y::f3;
fp(); // besser (*fp)();
y.repeat(yfp, 2);
}
```

```
$ mp
Y::f1()
Y::f2()
static Y::f3()
Y::f2()
Y::f2()
```

2. Klassen in C++

Vererbung: Grundprinzip von OO

- Übernahme von Eigenschaften aus einer Klasse
- Erweiterung / Modifikation

Beispiel: ein Stack mit Buchführung

```
class CountedStack : public Stack // IST EIN STACK
{
    int min, max, n, sum; // zusätzliche Attribute
public:
    CountedStack(int dim = 100);
    void push (int i); // redefined !
    int minimum(); // neu
    int maximum(); // neu
    double mean(); // neu
    double actual_mean();// neu
    // pop, empty, full aus der Basisklasse !
};
```

2. Klassen in C++ [back -->](#)

```
CountedStack::CountedStack(int dim) : Stack(dim), n(0), sum(0) {}

void CountedStack::push(int i) {
    sum+=i;
    if (!n++) { min = max = i; }
    else { min = (i<min) ? i : min; max = (i>max) ? i : max; }
    Stack::push(i); // use base functionality NOT push(i)
}

double CountedStack::actual_mean() {
    if (top) { int s=0;
        for (int i=0; i<top; i++) s += data[i];
        return double(s)/top; // direct access to base members
    } else std::exit(-4);
}
```

2. Klassen in C++

Ist ein (nutzerdefinierter) Copy-Konstruktor erforderlich ?

Nein, weil der implizite Copy-K. die Copy-K.en aller Basisklassen ruft und für die Erweiterung `CountedStack` shallow copy ausreichend ist:

```
// implizit bereitgestellt:  
CountedStack::CountedStack(const CountedStack& other)  
:  
    Stack(other) { /* real copy */ }
```

Der (nutzerdefinierte) `Stack`-Copy-K. erwartet allerdings eine `const Stack& ????`

2. Klassen in C++

- Jedes **CountedStack** - Objekt **IST EIN** **Stack**-Objekt

```
CountedStack cs; ... cs.pop();  
void foo (Stack&); ... foo (cs);
```

- von der Ableitung zur Basisklasse ist implizit eine Projektion definiert

```
void bar (Stack); ... bar(cs); // slicing
```



- nur bei **public** Vererbung gilt die **IST EIN** Relation

2. Klassen in C++

non-**public** Vererbung

```
class Deriv1 : private Base { .... };
```

Deriv1 IST nirgends EIN **Base** == die Vererbung ist ein (nicht erkennbares) Implementationsdetail

```
class Deriv2 : protected Base { .... };
```

Deriv2 IST nur in Ableitungen von **Deriv2** EIN **Base** == die Vererbung ist nur Ableitungen **Deriv2** von bekannt

das Layout von Objekten abgeleiteter Klassen wird von der Art der Vererbung **NICHT** beeinflusst !

2. Klassen in C++

Zugriffsrechte in C++

`class A`

benutzbar
in A

`class B : public A`

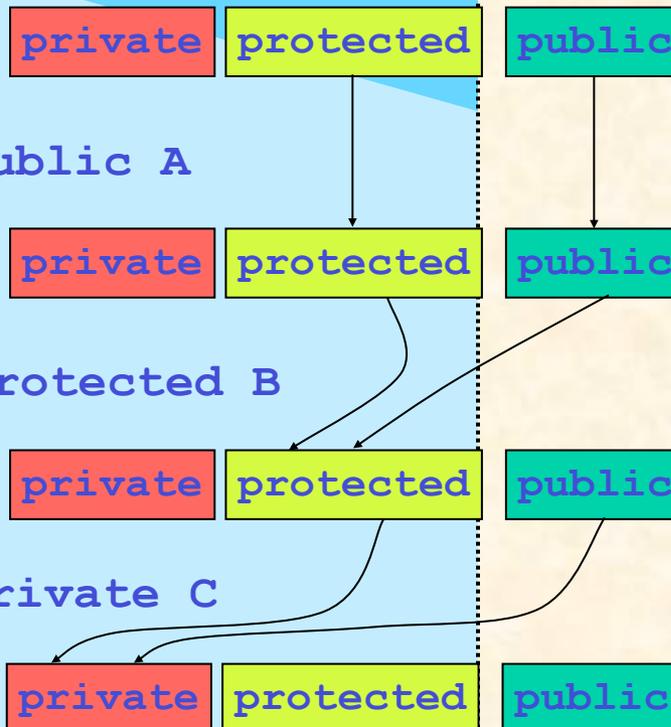
benutzbar
in B

`class C : protected B`

benutzbar
in C

`class D : private C`

benutzbar
in C



benutzbar
von
außen

2. Klassen in C++

`struct` ist implizit `public`, `class` ist implizit `private`

Deprecated:

`struct` erbt implizit `public`, `class` erbt implizit `private`

Beim lookup von Funktionsnamen erfolgt
overload resolution **VOR** access check !

```
class X {
    foo(int);
public:
    foo(int, int = 0);
};

int main() { X x;
             x.foo(1); //call of overloaded `foo(int)' is ambiguous
}
```

2. Klassen in C++

Warum besteht bei **private**-Vererbung die IST EIN - Relation nicht ?

```
class A {
public:
    int i;
};

class B : private A {
    ....
};

B b;
b.i = 1; // ERROR: `class B' has no member named `i'
// Wenn ein B ein A wäre:
A* pa = &b;
pa->i = 1; // sollte aber gerade geschützt werden !
// ergo, b ist kein A
A* pa = &b; // ERROR: `A' is an inaccessible base of `B'
```

2. Klassen in C++

Friends

oftmals ist die Entscheidung zwischen Alles (`public`) oder Nichts (`private`) zu restriktiv --> Möglichkeit, speziellen Klassen/Funktionen Zugriff einzuräumen, indem diese als `friend` deklariert werden

```
class B { public: void f(class A*); };  
class A {  
    int secret;  
public:  
    friend void trusted_function(A& a) // globale funktion !!!  
    {... a.secret .... }           // inline !!!  
    friend B::f(A*);  
};  
void B::f(A* pa) { .... pa->secret .... }
```

2. Klassen in C++

Friends

`friend`-Funktionen sind **keine** Memberfunktionen der Klasse, die die `friend`-Rechte einräumt

macht man eine ganze Klasse zum `friend`, werden alle Memberfunktionen dieser zu `friends`

Vorsicht bei unterschiedlichen Kontexten für `inline`- und „outline“-Funktionen

```
typedef char* T;
class S {
    typedef int T;
    friend void f1(T) { .... } // void f1(int);
    friend void f2(T);          // void f2(int);
};
void f2(T) { .... } // void f2(char*); also kein friend !
```

2. Klassen in C++

Friends

`friend`-Funktionen sind **keine** Memberfunktionen der Klasse, die die `friend`-Rechte einräumt

macht man eine ganze Klasse zum `friend`, werden alle Memberfunktionen dieser zu `friends`

Vorsicht bei unterschiedlichen Kontexten für `inline`- und „outline“-Funktionen

```
typedef char* T;
class S {
    typedef int T;
    friend void f1(T) { .... } // void f1(int);
    friend void f2(T);        // void f2(int);
};
void f2(T) { .... } // void f2(char*); also kein friend !
```

2. Klassen in C++

Friends

Die `friend`-Relation ist **nicht** symmetrisch, **nicht** transitiv & **nicht** vererbbar

```
class ReallySecure {
    friend class TrustedUser;
    ....
};
class TrustedUser {
    // can access all secrets
};
```

```
class Spy: public TrustedUser {
    // if friend relation would be inherited: aha !
};
```

Die Position einer `friend`-Deklaration in einem Klassenkörper (`private/protected/public`) ist ohne Bedeutung, dennoch sollte man `friend`-Deklarationen in einem `public` Abschnitt unterbringen (Schnittstelle der Klasse!)

2. Klassen in C++

// intermezzo: what's wrong with this code ?

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

```
class A{
public:
```

```
    const std::string& txt;
    A(const char *);
```

```
};
```

```
A::A(const char* chr) : txt(chr) {}
```

```
int main(){
```

```
    const char * foo = "foo";
```

```
    A test(foo);
```

```
    std::cout << test.txt << std::endl; // doesn't print "foo"
```

```
}
```

```
$ /opt/intel/compiler70/ia32/bin/icc -o z z.cpp
$ z
$ /opt/intel/compiler70/ia32/bin/icc -o z z.cpp -Wall
z.cpp(9): remark #383: value copied to temporary,
reference to temporary used
A::A(const char* chr) : txt(chr) {}
                        ^
```

2. Klassen in C++

Häufig verwendete Muster (unter Ausnutzung von Zugriffsrechten)

Unikate - Objekte, die man nicht kopieren kann:

```
class U { // wie Unikat
    U(const U&); // ohne Definition
    U& operator=(const U&); // dito
public:
    ...
};

U u1; // ein Unikat
U u2; // noch eines
U u3 (u1); // ERROR U::U(const U&) ' is private within this context
void foo(U);
void bar () { foo(u1); } // ERROR dito
```

2. Klassen in C++

Häufig verwendete Muster (unter Ausnutzung von Zugriffsrechten)

Singletons - Objekte, die es nur einmal gibt

```
class S { // wie Singleton, mit lazy creation
    S( some parameters ) { .... }
    S(const S&);           // inhibit copy
    S& operator=(const S&); // inhibit assign
    static S *it_;

public:
    static S& instance() {
        if (! it_) it_ = new S( parms );
        return *it_;
    }
}; // in S.h
S* S::it_ = 0; // in S.cpp, so nötig obwohl privat !
```

`S::instance();` // gibt stets eine Referenz auf dasselbe Objekt

// Attn.: NOT thread safe

<http://www.devarticles.com/c/a/Cplusplus/C-plus-in-Theory-Why-the-Double-Check-Lock-Pattern-Isnt-100-ThreadSafe/>

2. Klassen in C++

Häufig verwendete Muster (unter Ausnutzung von Zugriffsrechten)

Factory - Objekte, die andere Objekte am Fließband produzieren

```
class P { // ... wie Produkt
    // alles privat
public:
    friend class P_Factory;
};
```

```
class P_Factory { // sinnvollerweise zugleich singleton
public:
    P* generate () { .... return new P; }
};
....
P_factory::instance().generate();
```

2. Klassen in C++

Häufig verwendete Muster (unter Ausnutzung von Zugriffsrechten)

'No' - Objekte, die es (an sich) nicht gibt

```
class No { // keine Objekte sind erzeugbar
protected:
    No::No() { .... }
public: ...
};
```

```
No n; // ERROR NO::No() not accessible
```

Besseres Sprachfeature, um dies auszudrücken sind abstract base classes
- Klassen die sich nur für Vererbung, nicht für Objekterzeugung eignen (s.u.)

2. Klassen in C++

Zeiger und Referenzen können **polymorph** sein (Objekte **NICHT**) !

```
Stack* sp = new CountedStack;  
Stack& sr = *sp;  
Stack s = *sp; // slicing
```

beim Aufruf (nicht-virtueller) Memberfunktionen entscheidet die statische Qualifikation (Eintrittspunkt zur wird zur Compile-Zeit ermittelt --> early binding)

```
sp->push (42); // Stack::push ! ??? --> Stack.h  
sr .push (42); // Stack::push ! ???  
// obwohl es ein eigenes CountedStack::push gibt und  
// in beiden Fällen CountedStack-Objekte vorliegen
```

2. Klassen in C++

Memberfunktionen können jedoch (in der Basisklasse) als virtuell deklariert werden

dann entscheidet die dynamische Qualifikation (Eintrittspunkt wird zur Laufzeit ermittelt --> late binding)

```
class Stack' {...  
public: virtual void push(int); ...};
```

```
Stack* sp = new CountedStack;  
Stack& sr = *sp;  
sp->push (42); // CountedStack::push !!!  
sr .push (42); // CountedStack::push !!!
```

2. Klassen in C++

Um die Entscheidung in die Laufzeit vertagen zu können, muss eine Typinformation im Objekt hinterlegt werden

Ziel für C++: Mechanismus mit hoher Zeit- und Platzeffizienz

Realisierung (nicht normativ aber de facto Standard):

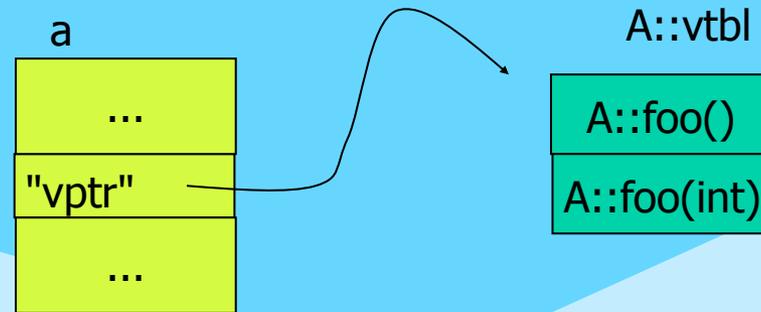
- ein (verborgener) Zeiger (**vptr**) pro Objekt +
- eine Adress-Substitution beim Aufruf virtueller Funktionen

damit ist *late binding* (geringfügig) teurer -- wie immer gilt das Prinzip **»Aufpreis nur auf Anfrage«**

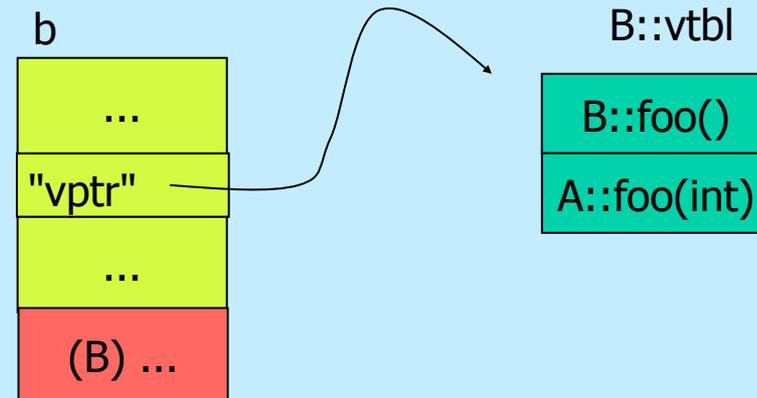
2. Klassen in C++

Beispiel

```
struct A {  
    void bar();  
    virtual void foo();  
    virtual void foo(int);  
} a;
```



```
struct B : public A {  
    void bar();  
    virtual void foo();  
} b;
```



2. Klassen in C++

Beispiel (Fortsetzung)

```
A ao;  
A *ap = new A;  
B bo;  
B *bp = new B;  
A *app = new B;
```

```
ao.foo();           // A::foo (&ao); NOT LATE!  
ap->foo();          // (ap->vp[0])(ap); LATE BINDING  
bo.foo();           // B::foo (&bo); NOT LATE!  
bp->foo();          // (bp->vp[0])(bp); LATE BINDING  
app->foo();         // (app->vp[0])(app); LATE BINDING  
app->foo(1);        // (app->vp[1])(app); LATE BINDING  
bp->foo(1);     // Warning W8022 ab.cpp 14: 'B::foo()' hides virtual function 'A::foo(int)'  
                  // Error E2227 ab.cpp 30: Extra parameter in call to B::foo() in function main()
```

2. Klassen in C++

Wie gelangt der richtige `vptr` in ein Objekt, der die korrekte dynamische Typinformation widerspiegelt ?

Durch eine initiale Operation bei der die Typzugehörigkeit des Objektes bekannt ist: **Konstruktoren** 'wissen, was sie gerade konstruieren'

```
A::A() // impliziter default-ctor
{ » this -> vptr = &A::vtbl; « }
B::B() : A() // impliziter default-ctor
{ » this -> vptr = &B::vtbl; « }
```

2. Klassen in C++

nicht jeder Aufruf einer virtuellen Funktion wird spät gebunden:

- Aufruf an einer Objektvariablen (s.o. `ao.foo();`)
- Aufruf mit scope resolution: `--> CountedStack::push`
- Aufruf in einem Konstruktor/Destruktor !

`inline virtual void foo();`

erlaubt, aber `inline` xor `virtual` pro Aufruf

`static virtual void foo();` nicht erlaubt

Die »Planung« von austauschbarer Funktionalität muss in einer Basisklasse erfolgen, unterhalb dieser Basis ist die Funktionalität nicht verfügbar

2. Klassen in C++

Eine Redefinition einer virtuellen Funktion liegt nur vor, wenn die Signatur exakt mit dem ursprünglichen Prototyp übereinstimmt

Ausnahme: kovariante Ergebnistypen

```
class X {
public:
    virtual X* clone () { return new X(*this); }
};
class Y: public X {
public:
    virtual Y* clone () { return new Y(*this); }
};
int main()
{
    X x, *px=x.clone();
    Y y, *py=y.clone();
}
```

2. Klassen in C++

`virtual <returntyp> fkt` und `<returntyp> virtual fkt` sind synonym (bevorzugt 1. Variante)

»einmal virtuell, immer virtuell« (sofern die gleiche Funktion vorliegt), erneute `virtual` Deklaration in Ableitungen eigentlich redundant, aber empfohlen

Vorsicht: virtuelle Funktionen können u.U. »überdeckt« werden



```
#define O(X) std::cout<<#X<<std::endl;

struct A {
    virtual void foo() { O( A::foo() ); }
};

struct B : public A {
    void foo (int=0)    { O( B::foo(int) ); } // non virtual
};

struct C : public B {
    void foo()    { O( C::foo() ); }    };
```

2. Klassen in C++

```
int main()
{
    C c;
    B* p = &c;

    c.foo();
    p->foo();
}
```

```
C:\tmp>bcc32 hide.cpp
...
Warning W8022 hide.cpp
15:
'B::foo(int)' hides
virtual
function 'A::foo()'
...
C:\tmp>hide
C::foo()
B::foo(int)
```



g++ (auch 4.x) warnt nicht [nicht mal bei -Wall]

2. Klassen in C++

Konstruktoren können nicht virtuell sein (**warum nicht?**)

Destruktoren können virtuell sein (und sollten dies auch sein, wenn in der Klasse ansonsten mindestens eine andere virtuelle Methode vorkommt)

```
class X {
public:
    ...
    ~X();
};
X* px = new Y;    delete px; // undefined behaviour (meist nur X::~~X())
```

class Y: public X {

```
public:
    ...
    ~Y();
};
```

```
class X {
public:
    ...
    virtual ~X();
};
X* px = new Y;    delete px; // ruft Y::~~Y() !!!
```

class Y: public X {

```
public:
    ...
    /*virtual*/ ~Y();
};
```

2. Klassen in C++

Überladung wird auch bei abgeleiteten Klassen lokal zu einer Klasse berechnet (ausgehend vom Bezugspunkt !):

```
★  
#define O(X) std::cout<<#X<<std::endl;  
  
struct X {  
    void foo(int) {O(X::foo(int));}  
    void foo(char) {O(X::foo(char));}  
};  
  
struct Y : public X {  
    void foo(int) {O(Y::foo(int));}  
    void foo(double) {O(Y::foo(double));}  
};
```

2. Klassen in C++

Überladung wird auch bei abgeleiteten Klassen lokal zu einer Klasse berechnet (ausgehend vom Bezugspunkt !):

```
int main () {  
    X x;  
    x.foo(1);  
    x.foo('1');  
    // x.foo(1.0); Ambiguity between 'X::foo(int)' and 'X::foo(char)  
    Y y;  
    y.foo(1);  
    y.foo('1');  
    y.foo(1.0);  
}
```

```
C:\tmp>lookup  
X::foo(int)  
X::foo(char)  
Y::foo(int)  
Y::foo(int)  
Y::foo(double)
```

2. Klassen in C++

```
class X1 {  
public:  
    f(int);  
};  
// chain of derivations Xn : Xn-1 without f  
class X9 : public X8 {  
public:  
    void f(double);  
};  
void g(X9* p) { p->f(2); } // X9::f or X1::f ? X9::f !
```

ARM: Unless the programmer has an unusually deep understanding of the program, the assumption will be that `p->f(2)` calls `X9::f` - and not `X1::f` declared deep in the base class. Under the C++ rules, this is indeed the case. Had the rules allowed `X1::f` to be chosen as a better match, unintentional overloading of unrelated functions would be a distinct possibility.

2. Klassen in C++

Wenn aber doch `x1::f` gemeint ist?

```
class X1 {
public:
    f(int);
};
// chain of derivations Xn : Xn-1 without f
class X9 : public X8 {
public:
    void f(double);
    void f(int i) { X1::f(i); } // inline !
};
void g(X9* p) { p->f(2); } // X1::f
```

2. Klassen in C++

Java dagegen betrachtet bei Überladung alle Funktionen aus der gesamten Vererbungslinie !

```
class X {  
    void O(String s){System.out.println(s);}  
    public void foo(int i) {O("X::foo(int)");}  
    public void foo(char c){O("X::foo(char)");}  
};  
  
class Y extends X {  
    public void foo(int i){O("Y::foo(int)");}  
    public void foo(double d){O("Y::foo(double)");}  
};
```

2. Klassen in C++

```
public class lookup {
    public static void
    main (String s [])
    {
        X x = new X();
        x.foo(1);
        x.foo('1');
        // x.foo(1.0); cannot find symbol foo(double)
        Y y = new Y();
        y.foo(1);
        y.foo('1'); // bis 1.4 Fehler:
                    // Reference to foo is ambiguous
        y.foo(1.0);
    }
}
```

```
C:\tmp>java lookup
X::foo(int)
X::foo(char)
Y::foo(int)
X::foo(char)
Y::foo(double)
```

2. Klassen in C++

Ziel: maximales Code-Sharing -- Weg: gemeinsame (aber ggf. in Ableitungen variierende) Funktionalität in Basisklassen festlegen

Problem: die so entstehenden Basisklassen sind oft so rudimentär, dass Objekterzeugung nicht sinnvoll und Implementation einiger Memberfunktionen (noch nicht) möglich ist:

abstract base class (ABC) **pure virtual function**

Beispiel:

```
struct AbstractShape {  
    virtual void draw() = 0;  
    virtual void erase()= 0;  
};  
// no objects allowed:  
// AbstractShape aShape; ERROR  
AbstractShape *any; // ok  
any = new Circle (Point(0,0), 100);
```

```
struct Circle : // real Shape  
public AbstractShape {  
    virtual void draw() {...}  
    virtual void erase() {...}  
};
```

2. Klassen in C++



```
class abstractBase { public:
    virtual void pure() = 0;
    void notPure() { pure(); }
    abstractBase() { notPure(); }
    virtual ~abstractBase() { notPure(); }
};

class concrete: public abstractBase { public:
    void pure() {}
    concrete() {}
};

int main() {
    cout<<"buggy:"<<endl;
    concrete c;

    /*
    g++: pure virtual method called
    terminate called without an active exception
    Abort
    */
}
```

Scott Meyers, Effective C++ :
Item 9: "Never call virtual functions during construction or destruction."

2. Klassen in C++

Im Kontext von Klassen können Operatoren mit nutzerdefinierter Semantik implementiert werden:

```
//Complex.h:           $\exists$   std::complex<T>
#include <iosfwd>
class Complex {
    double re, im;
public:
    Complex(double r = 0.0, double i = 0.0) : re(r), im(i) {}
    friend Complex operator+(const Complex&, const Complex&);
    friend Complex operator*(const Complex&, const Complex&);
    friend bool operator==(const Complex&, const Complex&);
    friend bool operator!=(const Complex&, const Complex&);
    Complex& operator+=(const Complex&); // Member !
    Complex operator-(); // Member !
    friend std::ostream& operator<<(std::ostream&, const Complex&);
    friend std::istream& operator>>(std::istream&, Complex&);
    ....};
```

2. Klassen in C++

```
//complex.cpp: Auswahl
Complex operator+(const Complex& c1, const Complex& c2) {
    return Complex(c1.re+c2.re, c1.im+c2.im);
}
bool operator==(const Complex& c1, const Complex& c2) {
    return (c1.re==c2.re && c1.im==c2.im);
}
Complex& Complex::operator+=(const Complex& c) {
    re += c.re; im += c.im;
    return *this;
}
Complex Complex::operator-() {
    return Complex(-re, -im);
}
std::ostream& operator<< (std::ostream& o, const Complex &c) {
    return o << c.re << "+i*" << c.im;
}
```

2. Klassen in C++

```
//usecomplex.cpp:
```



```
int main() {  
    Complex z1 (3, 4);  
    Complex z2 (5, 6);  
    Complex z3;  
    cout << "z1=" << z1 << endl << "z2=" << z2 << endl;  
    cout << "z1+z2=" << z1+z2 <<endl;  
    cout << "gimme a Complex: ";  
    cin >> z3;  
    cout << "z3=" << z3 << endl;  
}
```

2. Klassen in C++

Die Semantik von Operatoren kann nutzerdefiniert überladen werden, **nicht dagegen** deren Signatur, Priorität und Assoziativität

Es ist nicht möglich, neue Operatoren einzuführen (** %\$@#)

Überladbar sind die folgenden Operatoren:

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

nicht überladbar sind dagegen . .* .-> :: ?:

Die vordefinierte Semantik von Operatoren für built in -Typen bleibt erhalten

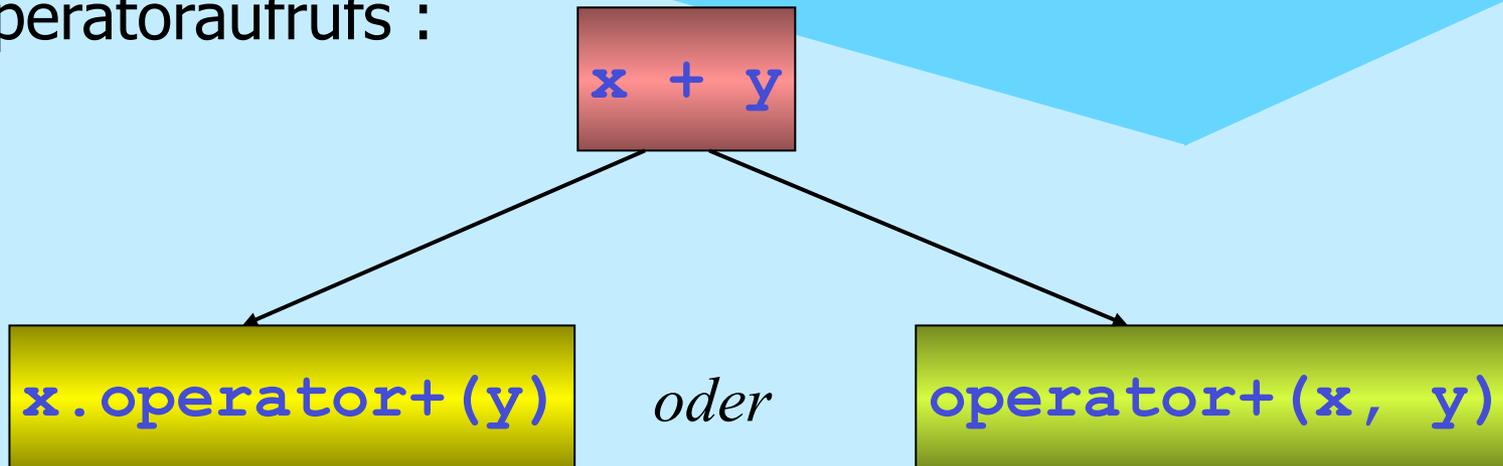
```
// falsch:  
// int operator+ (int i, int j) {return i - j;}
```

durch die Forderung:

Ein Operator kann nur dann überladen werden, wenn in seiner Deklaration mindestens ein Parameter von einem Klassentyp (ggf. auch const / &) ist (dies kann auch das implizite `this`-Argument einer Memberfunktion sein) !

Member oder Friend (globale Funktion) ?

generell gibt es zwei Möglichkeiten der Auflösung eines Operatoraufrufs :



**x muss von einem Klassentyp sein
(nur) y wird u.U. Typumwandlungen
unterzogen**

**x oder y muss von einem Klassentyp sein
x und y werden u.U. Typumwandlungen
unterzogen**

Operatoren können **NICHT** static sein !

2. Klassen in C++

Syntax

unäre Operatoren

binäre Operatoren

Member

```
class X { public:
    T operator @ ();
};
```

```
@x; // Ergebnis: T
// (x).operator @ ();
```

```
class X { public:
    T1 operator @ (T2);
};
```

```
x @ y; // Ergebnis: T1
// (x).operator @ (y);
```

Friend

```
class X { public:
    friend T operator @
        ([const]X[&]);
};
```

```
@x; // Ergebnis: T
// operator @ (x);
```

```
class X { public:
    friend T1 operator @
        ([const]X[&], T2);
    friend T1 operator *
        (T2, [const]X[&]);
};
```

```
x @ y; // Ergebnis: T1
// operator @ (x, y);
y * x; // Ergebnis: T1
// operator * (y, x);
```

```
X x; T2 y;
```

2. Klassen in C++

Operator	empfohlene Variante
alle einstelligen	Member
= () [] ->	müssen Member sein !
alle der Form @=	Member
alle anderen zweistelligen	Friend

Sonderfälle

```

T X::operator [] (IndexT);           X x; IndexT i; T t;
t = x[i]; // (x).op[](i)

T X::operator () (T1, T2, ...Tn); T1 t1; ... Tn tn;
t = x(t1,t2,...tn); // (x).op()(t1,t2, ...tn) funktionale Objekte
X& X::operator++ (); ++x;
X X::operator++ (int); x++; ☺ syntaktischer Hack
T X::operator->(void);
x->selector // (x).operator->()->selector

```

2. Klassen in C++

kanonischer Zuweisungsoperator copy assignment

```
X& X::operator= (const X&);           X x1, x2;
```

wird implizit bereitgestellt* (mit shallow assignment Semantik), kann neu definiert werden, dann ist die komplette Semantik von "Zuweisung" nutzerdefiniert zu implementieren, incl. Zuweisung von enthaltenen Objekten bzw. Basisklassenbestandteilen

```
class A { public: /* copy assignment implicit or explicit */ };  
class B : public A {public: B& operator= (const B&); };  
B& B::operator=(const B& src) { // assign B member  
    // how to assign the A-part ???  
    A::operator= (src); // oder  
    A* thisA = this;  
    *thisA = src;  
    return *this;  
}
```

* nicht, wenn die Klasse konstante Member oder Referenzen enthält, oder Basis==Operator(en) nicht aufrufbar ist !

2. Klassen in C++

wenn ein nutzedefinierter Copy-Konstruktor vorliegt, ist zumeist auch der Zuweisungsoperator nutzerdefiniert zu implementieren

```
Stack& Stack::operator= (const Stack& src)
{
    if (&src==this) return *this; // self assignment
    top = src.top;
    max = src.max;
    // NOT: data = src.data; as the implicit one does
    // leak in this->data, data sharing afterwards
    delete[] data;
    data = new int[max];
    for (int i=0; i<top; ++i) data[i]=src.data[i];
    return *this;
}
```

2. Klassen in C++

Copy-Konstruktor und Copy-Assignment-Operator sind semantisch verwandt: meist gemeinsam bereitzustellen!

Kanonische und exception safe Implementation:

GotW #59 (Sutter: mxC++ Item 22)

What is the canonical form of strongly exception safe copy assignment?

2. Klassen in C++

What are the three common levels of exception safety? Briefly explain each one and why it is important.

The canonical Abrahams^(*) Guarantees are as follows.

1. **Basic Guarantee:** If an exception is thrown, **no resources are leaked**, and **objects remain in a destructible and usable -- but not necessarily predictable -- state**. This is the weakest usable level of exception safety, and is appropriate where client code can cope with failed operations that have already made changes to objects' state.
2. **Strong Guarantee:** If an exception is thrown, **program state remains unchanged**. This level always implies global commit-or-rollback semantics, including that no references or iterators into a container be invalidated if an operation fails. In addition, certain functions must provide an even stricter guarantee in order to make the above exception safety levels possible:
3. **Nothrow Guarantee:** The function **will not emit an exception under any circumstances**. It turns out that it is sometimes impossible to implement the strong or even the basic guarantee unless certain functions are guaranteed not to throw (e.g., destructors, deallocation functions).

(* http://www.boost.org/more/generic_exception_safety.html)

2. Klassen in C++

Exception safe copy assignement → two steps:

First, provide a nonthrowing Swap() function that swaps the guts (state) of two objects:

```
void T::Swap( T& other ) // throw()
{ /* ...swap the guts of *this and other... */ }
```

Second, implement operator=() using the "create a temporary and swap" idiom:

```
T& T::operator=( const T& other ) {
    T temp( other ); // do all the work off to the side
    Swap( temp );   // then "commit" the work using
                    // nonthrowing operations only

    return *this;
}
```

2. Klassen in C++

Beispiel Stack: stack.h

```
class Stack {
    int max, top;
    int *data;
    void swap(Stack&); // throw ();

protected:
    int* get_data() const {return data;}
    int  get_top() const  {return top;}
    int  get_max() const  {return max;}
public:
    explicit Stack(int dim=100);
    Stack(const Stack&);
    Stack& operator=(const Stack&);

    virtual ~Stack();
    virtual void push (int i);
    int pop();
    int full() const;
    int empty() const;
};
```

2. Klassen in C++

Beispiel Stack: stack.cc

```
//...
Stack::Stack(int dim): max(dim), top(0), data(new int[dim]) { }

Stack::Stack(const Stack& o):max(o.max),top(o.top),data(new int[o.max]) {
    for (int i=0; i<top; ++i) data[i] = o.data[i];
}

#include <algorithm>
void Stack::swap(Stack& other) {           // never fails:
    std::swap(max, other.max);            // swapping
    std::swap(top, other.top);            // buildin types
    std::swap(data, other.data);         // always succeeds
}

Stack& Stack::operator=(const Stack& src) {
    Stack temp (src); // in case of failure: no change to this
    swap(temp);      // succeeds always
    return *this;
}
//...
```

2. Klassen in C++

const reicht zur Unterscheidung von überladenen Funktionen (auch Operatoren) aus

typisches Idiom:

```
class Vector { int* data; int dim;
    void check(int i) const // WHY const?
    {if (i<0 || i>=dim) throw std::out_of_range("Vector");}
public:
    Vector(int d, int val=0): dim(d), data(new int[d])
    {for (int i=0; i<dim; ++i) data[i]=val;}
    Vector(const Vector&); // deep copy
    Vector& operator=(const Vector&); // deep assign
    int operator[] (int i) const { check(i); return data[i]; }
    int& operator[] (int i)      { check(i); return data[i]; }
};
const Vector cv(20, 3); int i = cv[11]; // NOT cv[11] = 3;
Vector v(20, 4); int j = v[13]; v[13] = 7;
```

2. Klassen in C++

Nutzerdefinierte Ein- und Ausgabe

```
class SomeClass { ...  
  
friend std::ostream& operator<<  
    (std::ostream&, [const] SomeClass [&]);  
  
friend std::istream& operator>>  
    (std::istream&, SomeClass &c)  
  
};  
SomeClass o;  
cout<<o<<endl;    // op<< ( op<< ( cout, o ), endl );  
cin>>o;           // op>> ( cin, o );
```

- warum friend ?
- warum i/o-stream Referenzen?
- warum SomeClass Referenzen?

2. Klassen in C++

Überladung von `new` und `delete`

1. Replacement der impliziten globalen Operatoren

sämtliche Anforderungen und Freigaben von dynamischem Speicher nutzt dann diese: tiefer Eingriff in Laufzeitsystem, nichts für den Gelegenheitsprogrammierer

```
// Definition einer der impliziten Operationen
void* operator new(std::size_t) throw(std::bad_alloc);
void* operator new[](std::size_t) throw(std::bad_alloc);
void operator delete(void*) throw();
void operator delete[](void*) throw();
void* operator new(std::size_t, const std::nothrow_t&) throw();
void* operator new[](std::size_t, const std::nothrow_t&) throw();
void operator delete(void*, const std::nothrow_t&) throw();
void operator delete[](void* , const std::nothrow_t&) throw();
```

2. Klassen in C++

1. Replacement der impliziten globalen Operatoren

```
T* t = new T;           // ::operator new(sizeof(T)); !  
delete t;              // ::operator delete(t);  
t = new T[n];          // ::operator new[](sizeof(T)*n); !  
delete[] t;            // ::operator delete[](t);
```

```
T* t = new (std::nothrow) T; // returns 0 if it fails  
delete(std::nothrow) t;  
t = new (std::nothrow) T[n]; // returns 0 if it fails  
delete[] (std::nothrow) t;
```

! throws `std::bad_alloc` if it fails

2. Klassen in C++

2. Neudefinition von globalen Operatoren

```
void* operator new/new[] (std::size_t, weitereParameter);  
void operator delete/delete[] (void*, weitereParameter);
```

außer den sog. placement-Operationen, die nicht displaceable sind:

These functions are reserved, a C++ program may not define functions that displace the versions in the Standard C++ library.

```
void* operator new/new[] (std::size_t, void*);  
void operator delete/delete[] (void*, void*);  
...  
char place[sizeof(Something)];  
Something* p = new (place) Something();  
delete (place) p;
```

2. Klassen in C++

2. Neudefinition von globalen Operatoren

```
// Beispiel: allocation trace
void* operator new (std::size_t s, const char* info = 0) {
    if (info)
        printf("%s\n", info); // NOT cout<<info<<endl;
    void* p = calloc(s, 1); // zero-initialized
    if (!p) { ...some rescue action ... }
    return p;
}

void operator delete (void* p, const char* info = 0) {
    if (info)
        printf("%s\n", info);
    if (p) free(p);
}
```

2. Klassen in C++

3. Klassenlokale Operatoren `new` und `delete`

nur für dynamische Objekte dieses Typs, Vorteil: alle sind gleich groß
--> Pool Allocators

```
class X {  
public:  
    void* operator new (std::size_t); // bzw. Varianten  
    void operator delete (void* p); // bzw. Varianten  
};  
  
X* px = new X; // X::operator new(sizeof(X));  
delete px; // X::operator delete(px);
```

2. Klassen in C++

Typumwandlungen

Konstruktoren (die mit einem Argument aufrufbar sind) fungieren als Typumwandler (von 1. Argumenttyp in den Klassentyp)

```
class X {
public:
    X(int, double = 0);           // int ---> X
    X(char*, int = 1, int = 2);  // char* ---> X
};
void f(X);
X g() { return 0; }
class Y {
public: Y(X); };                // X ----> Y
```

2. Klassen in C++

Typumwandlungen

```
int main()
{
    X x1 = 1;           // 1 --> X
    X x2 = "ein X";    // "ein X" --> X
    f(2);              // 2 --> X
    x2 = g();          // 0 --> X
    Y y = 0; // ERROR: Cannot convert 'int' to 'Y'
}
```

Es kommt **maximal EINE** nutzerdefinierte Typumwandlung zum Einsatz !

2. Klassen in C++

Typumwandlungen

Falls automatische Umwandlung per Konstruktor unerwünscht ist, kann man solche als explicit spezifizieren:

```
class X {  
public:  
    explicit X(int, double = 0);  
    ...  
};  
  
...  
f(2);           // ERROR: keine implizite Umwandlung 2 --> X  
f(X(2));       // OK
```

2. Klassen in C++

Typumwandlungen

Ziel der Umwandlung durch Konstruktoren ist immer ein Klassentyp

Es gibt noch eine zweite Kategorie von nutzerdefinierten Umwandlungsoperationen, bei denen die Quelle der Umwandlung immer ein Klassentyp ist: Conversion Operators

```
class Bruch { int z, n;  
public:  
    Bruch (int zaehler = 0, int nenner = 1)  
        : z(zaehler), n(nenner) {}  
    operator double() { return double(z)/n; }  
    ...  
};  
Bruch halb(1,2); std::sqrt(halb); ....
```

kein Rückgabetypp ! **keine** Argumente !

2. Klassen in C++

Typumwandlungen durch Conversion Operators sind normalerweise mit Informationsverlust verbunden :-)

Umwandlung per Konstruktion und Konversion sind gleichberechtigt, jede Mehrdeutigkeit ist ein statischer Fehler!

```
class B { public: operator int(); };  
class C { public: C(B); };  
C operator+ (C c1, C c2) {return c1; } // mal kein friend !  
  
C foo (B b1, B b2) { return b1+b2; }  
// Ambiguity between 'operator +(C,C)' and 'B::operator int()' in function foo(B,B)
```

2. Klassen in C++

Ziel einer Konversion kann ein beliebiger Typ sein (z.B. auch ein Zeigertyp)



```
struct X {  
    virtual operator const char*() { return "X"; }  
};  
struct Y : public X {  
    virtual operator const char*() { return "Y"; };  
};  
int main() {  
    X* p = new Y;  
    cout << p << endl;  
    cout << *p << endl;  
}
```

```
C:\tmp>conv2  
007B33E0  
Y
```

Konversionen sind nicht 'abschaltbar' (wie explicit ctors) ggf. Memberfunktionen `toType()` bevorzugen !

2. Klassen in C++

sogar eine Konversion nach `void*` kann u.U. sinnvoll sein

```
// bcc32: ios.h (ähnlich in anderen Impl.)
inline basic_iosT::operator void*() const {
    return fail() ? (void*)0 : (void*)1;
}

// basic_iosT ist Basiklasse von ostream, ofstream

ofstream output ("file.txt");
// wenn die Dateien nicht zum Schreiben eröffnet
// werden konnte, ist das intern in einem Status
// vermerkt, den fail() abfragt:
if (output.fail()) ... // ODER: VIEL KOMPAKTER
if (!output) ...
```

2. Klassen in C++

sämtliche Typumwandlungen (Konstruktion und Konversion) werden bei Bedarf implizit (außer bei explicit ctors) veranlasst, aber auch bei expliziten Cast-Operationen

```
T1 t1;  
T2 t2 = (T2) t1; // oder auch  
T2 t2 = T2 (t1); // falls T2 ein Typname (kein Typkonstrukt) ist
```

Casts sind syntaktisch eher unauffällig, werden in unterschiedlichsten Absichten (und z.T. mit nicht erkennbarem Risiko!) eingesetzt

```
X = 2 / double(3); // OK  
class B: public A {....};  
A *pa = new B; B* pb = (B*)pa; // OK  
cout << (void*)pa; // OK  
int *pi = new int; int i = int(pi); // ???  
const X x; X* px = (X*)&x; // ???  
class X{}; class Y{};  
X *px = new X; Y* py = (Y*)px; // ???
```

2. Klassen in C++

Um die Semantik besser ausdrücken zu können (und dem Compiler mehr Prüfmöglichkeiten zu geben) bietet C++ vier spezielle Cast-Operatoren

```
T1 t1;  
T2 t2 = const_cast<T2> (t1);  
T2 t2 = static_cast<T2> (t1);  
T2 t2 = reinterpret_cast<T2> (t1);  
T2 t2 = dynamic_cast<T2> (t1);
```

const_cast<T>

» die Konstantheit eines Objektes ignorieren «

verletzt eigentlich die "Spielregeln": alle schreibenden Zugriffe nach Brechung der constness haben undefined behaviour

2. Klassen in C++

aber manchmal aus praktischen Gründen unumgänglich

```
// use std::string instead of [const] char*
```



```
string s ("simsalabim");
```

```
// but:
```

```
extern "C" void someOldCfunction (char*);
```

```
...
```

```
someOldCfunction(s.c_str()); // ERROR: const ignored
```

```
someOldCfunction(const_cast<char*>(s.c_str())); // OK
```

2. Klassen in C++

für einige häufige Anwendungsszenarien bietet C++ eine bessere Variante: `mutable`

```
class X {
    int copies;
public:
    X() : copies(0) {}
    // Copy-Ctor: one of
    X(X& other) { other.copies++; }
    // kann keine Kopien von Konstanten machen
    // or:
    X(const X& other) { other.copies++; }
    int cc() const {return copies;}
};
```

`const_cast<X&>(other).copies++;`

^ Cannot modify a const object



2. Klassen in C++

```
class X {  
    mutable int copies;  
public:  
    X(): copies(0) {}  
    X(const X& other) { other.copies++; }  
    // kann Kopien von Konstanten machen und dabei  
    // dennoch other.copies ändern !  
    int cc() const {return copies;}  
};
```

mutable immer benutzen, wenn Objekte logisch konstant, aber in (Implementations-) Details veränderlich sein sollen (z.B. Objekte mit lazy evaluation gewisser Eigenschaften)

2. Klassen in C++

static_cast<T>

» den Compiler überreden, verwandte Typen verträglich zu verwenden «
das Ergebnis kann ohne erneute Umwandlung verwendet werden

```
class X { ... };  
class Y : public X {};  
  
// eine Y& ist auch immer eine X&  
Y o;  
X& x1 = o; // implizite Anpassung der Typen  
X& x2 = static_cast<X&> (o); // dasselbe  
  
// manchmal ist eine X& auch eine Y&  
Y& y1 = static_cast<Y&> (x1); // ok, weil x1 ein Y ref.  
// aber eben nicht immer:  
X& x3 = *new X; Y& y2 = static_cast<Y&> (x3); // Crash ahead
```

2. Klassen in C++

reinterpret_cast<T>

» den Compiler überreden, nicht verwandte Typen verträglich zu verwenden «

das Ergebnis kann nur nach erneuter Rückumwandlung verwendet werden
die unveränderte Bitbelegung wird anders interpretiert; zumeist nicht portabel

```
int *pi = &someint;  
void *v = reinterpret_cast<void*>(pi);  
// don't use v, but:  
int *p = reinterpret_cast<int*>(v);  
*p = 337; // OK: sets someint
```

2. Klassen in C++

dynamic_cast<T>

» zur Laufzeit verwandte Typen verträglich und sicher verwenden «

```
class X { virtual void foo(); };  
class Y : public X {};
```

```
// manchmal ist eine X& auch eine Y&  
Y& y1 = dynamic_cast<Y&> (x1); //ok, weil x1 ein Y ref.  
// aber eben nicht immer:  
X& x3 = *new X;  
Y& y2 = dynamic_cast<Y&> (x3); // NO Crash ahead  
// exception std::bad_cast !!!
```

2. Klassen in C++

dynamic_cast<T>

Implementation setzt offenbar Auswertung von Laufzeittypinformationen (RTTI - run time type identification) voraus

Funktioniert für Zeiger und Referenzen polymorpher Typen (es muss virtuelle Funktionen in der Basisklasse geben!)

Ein downcast (von einem Zeiger/einer Referenz auf eine Basisklasse auf einen Zeiger/eine Referenz einer Ableitung) gelingt, wenn das referenzierte Objekt vom Typ der Ableitung oder einer Ableitung dieser ist.

Bei Zeigern liefert `dynamic_cast` den Wert 0, bei Referenzen wird die Ausnahme `std::bad_cast` geworfen, wenn die dynamische Typ nicht ausreicht

2. Klassen in C++

dynamic_cast<T>

```
class A {
public:  virtual void needed () {}
};
class B: public A {public: int i;};
class C: public B {public: int j;};
int main() {
    A *pa = new B;
    B *pb = dynamic_cast<B*>(pa);
    if (pb) pb->i = 12345; // ok, es ist ein B
    C *pc = dynamic_cast<C*>(pb);
    if (pc) pc->j = 54321; // wird nicht ausgefuehrt
    pa = new C;
    pb = dynamic_cast<B*>(pa);
    if (pb) pb->i = 12345; // ok, es ist ein B
}
```

2. Klassen in C++

Darüber hinaus kann man die Typidentität direkt abfragen:

dazu existiert der Operator `typeid` (wie `sizeof` vom Compiler umgesetzt und nicht überladbar), der eine (vergleichbare) Struktur des Typs `type_info` liefert, der Vergleich von `type_info` gelingt, wenn exakt der gleiche Typ vorliegt

auf `type_info` ist wiederum die Funktion `name()` definiert, die einen Klarnamen der Klasse (nicht notwendig identisch mit dem Klassennamen) erzeugt

`#include <typeinfo>` ist erforderlich

Die beteiligten Typen müssen wiederum polymorph sein, d.h. mindestens eine virtuelle Funktion in der gemeinsamen Basis besitzen

2. Klassen in C++

```
#include <typeinfo>
#include <iostream>
using namespace std;

class A { virtual void any () {} };
class B: public A { };
class C: public A { };
void check (A* p) {
    if (typeid(*p)==typeid(A))
        { cout << "es ist ein A\n"; return; }
    if (typeid(*p)==typeid(B))
        { cout << "es ist ein B\n"; return; }
    cout << "weder A noch B\n";
}
const char* get_name(A* p) {
    return typeid(*p).name();
}
```

2. Klassen in C++

```
int main()
{
    A *p;
    p = new A;
    check (p);
    cout << get_name(p) << endl;
    p = new B;
    check (p);
    cout << get_name(p) << endl;
    p = new C;
    check (p);
    cout << get_name(p) << endl;
}
```

```
C:\tmp>rtti
es ist ein A
A
es ist ein B
B
weder A noch B
C
```

2. Klassen in C++



dynamic_cast<T> ist manchmal nicht zu vermeiden

```
class B {
    // no functionality 'foo'
};
class D: public B {
    virtual void foo();
};
void register (B*);
B* next();
...
register(new D);
...
B* n = next();

// how to call foo ?
dynamic_cast<D*>(n)->foo();
```



RTTI nur in Ausnahmefällen explizit benutzen

statt spaghetti code

```
Shape * s;  
if (typeid(*s)== typeid("Circle"))  
    ((Circle*)s)->Circle::draw();  
else  
if (typeid(*s)== typeid("Rectangle"))  
    ((Rectangle*)s)-> Rectangle::draw();  
else ...
```

benutze

```
Shape * s;  
s->draw(); // late bound virtual
```

Mehrfachvererbung (multiple inheritance)

eine Klasse kann mehrere Basisklassen haben -->
'freie' Kombination von Konzepten:

```
class Combined:           public Concept1,  
                           public Concept2,  
                           private Concept3  
{ ... };
```

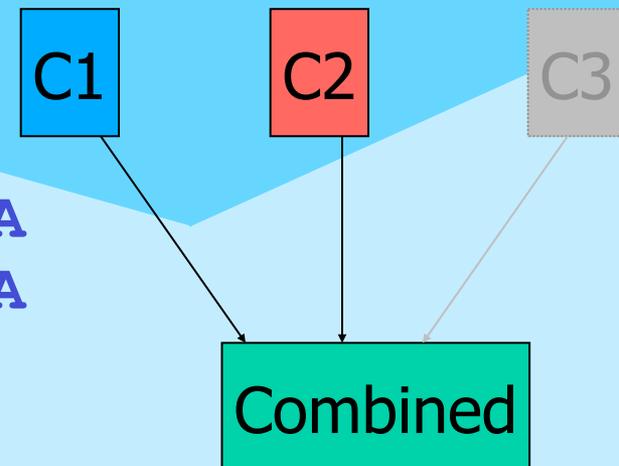
jedes **Combined**-Objekt IST EIN **Concept1** und
IST EIN **Concept2** (**Concept3**-Abstammung ist ein
Implementationsdetail)

2. Klassen in C++

Mehrfachvererbung (multiple inheritance) Polymorphie bleibt erhalten:

```
Combined obj;  
Combined * cm = &obj;  
Concept1 * c1 = cm; // IS A  
Concept2 * c2 = cm; // IS A  
// NOT c2=c1=cm;
```

```
// it's the same Object:  
if (c1 == cm) // yes !  
if (c2 == cm) // yes !  
if (c1 == c2) // ERROR: uncomparable
```



2. Klassen in C++

Mehrfachvererbung (multiple inheritance)

Layout muss linearisiert werden:

```
Combined obj;  
Combined * cm = &obj;  
Concept1 * c1 = cm; // IS A  
Concept2 * c2 = cm; // IS A
```



```
// but the (numeric) adresses may differ:  
if(reinterpret_cast<void*>c1==reinterpret_cast<void*>cm)  
    // yes or no!  
if(reinterpret_cast<void*>c2==reinterpret_cast<void*>cm)  
    // yes or no!
```

2. Klassen in C++

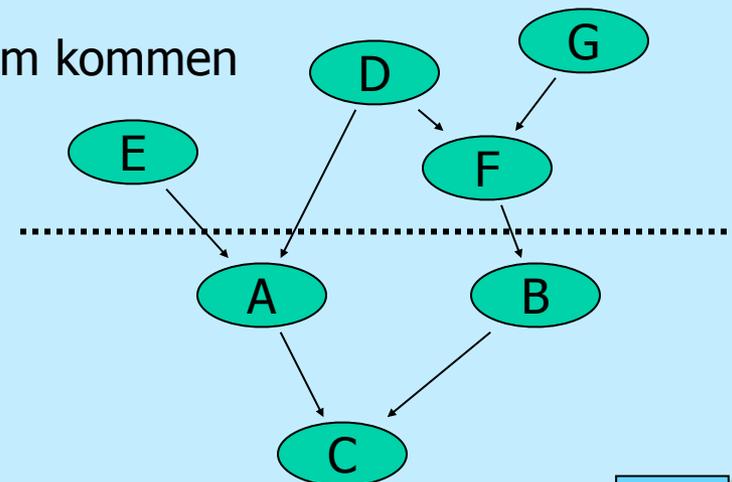
Mehrfachvererbung (multiple inheritance)

eine Klasse kann eine andere nicht direkt mehrfach erben

```
struct A { int i; };
class B: public A, public A { // NOT ALLOWED
    void foo(){ i = 0; /* which i ? A::i ? which A ? */ }
};
```

ansonsten kann es durchaus zu Maschen im Baum kommen

```
class A: public D, public E {...};
class F: public D, public G {...};
class B: public F {...};
-----
class C: public A, public B {...};
```

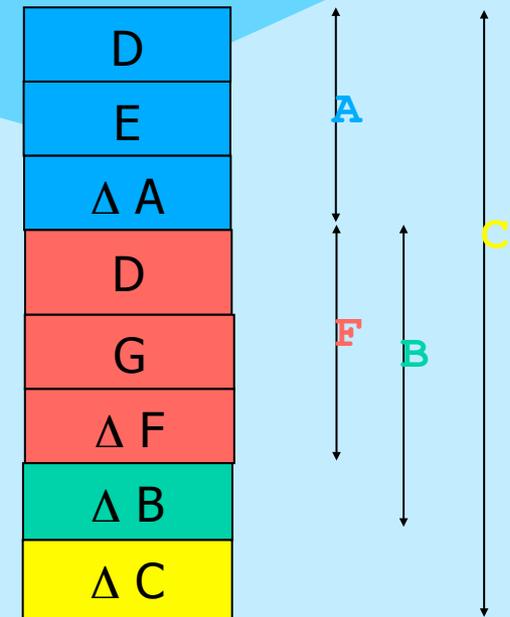


2. Klassen in C++

Mehrfachvererbung (multiple inheritance)

ob dabei der mehrfach eingerbte Basisklassenanteil dupliziert oder unifiziert im resultierenden Objekt erscheint ist steuerbar:

```
class A: public D, public E {...};  
class F: public D, public G {...};  
class B: public F {...};  
class C: public A, public B {...};
```

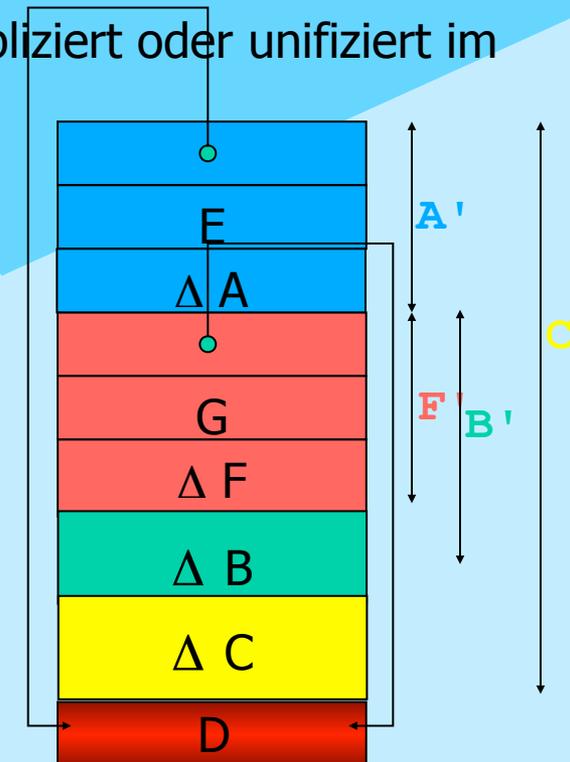
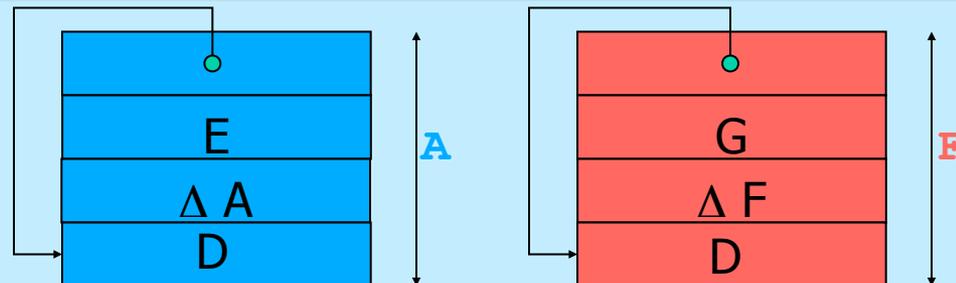


2. Klassen in C++

Mehrfachvererbung (multiple inheritance)

ob dabei der mehrfach eingerbte Basisklassenanteil dupliziert oder unifiziert im resultierenden Objekt erscheint ist steuerbar:

```
class A: virtual public D,
        public E {...};
class F: virtual public D,
        public G {...};
class B: public F {...};
class C: public A, public B {...};
```



2. Klassen in C++

Mehrfachvererbung (multiple inheritance)

für beide Szenarien gibt es sinnvolle Anwendungen:

```
// class Listable { /* Listeneigenschaften */ };  
class A: public Listable { ... };  
// A's können in einer Liste erfasst werden  
class B: public Listable { ... };  
// B's können in einer Liste erfasst werden  
class C: public A, public B { ... };  
// C's können in zwei separaten Listen (als A und als B)  
// erfasst werden  
-----  
class Person {...};  
class Angestellter: public virtual Person {...};  
class Student: public virtual Person {...};  
class Werkstudent: public Angestellter, public Student  
{...}; // ein und dieselbe Person !!!
```

non virtual

virtual

2. Klassen in C++

Mehrfachvererbung (multiple inheritance)

Durch die freie Kombination kann es leicht zu Mehrdeutigkeiten kommen

Falls diese nicht auflösbar sind, liegt ein statischer Fehler vor (s.o. `B: A,A`)

Aber auch:

```
class A {public: int i;};          class B: public A{};
```

```
class C: public A, public B {}; // ERROR  
// i ... which i ? A::i ? which A::i ?
```

Mehrdeutigkeiten, die durch scope resolution auflösbar sind, sind erlaubt

```
struct A { int i; };   struct B { int i; };  
class C: public A, public B {  
    i=1; // ERROR  
    A::i=1; // OK  
    B::i=1; // OK  
};
```

2. Klassen in C++

Mehrfachvererbung (multiple inheritance)

Selbst bei virtuellen Basisklassen kann es auf Grund der Maschenbildung sein, dass ein Name eines Members auf mehreren "Wegen" auflösbar ist und zu verschiedenen Members führt, Eindeutigkeit liegt dann vor, wenn es (genau) einen kürzesten Weg gibt »Dominanzregel« (ansonsten muss ebenfalls qualifiziert werden)



```
class A { public: void f(){cout<<"A::f()\n";} };
class B: public virtual A {
    public: void f(){cout<<"B::f()\n";}
};
class C: public virtual A {
    public: void f(){cout<<"C::f()\n";}
};
class D: public B, public C {};
int main() {    D d;
                // d.f(); ERROR: ambiguous access of 'f'
                d.A::f(); // ok
                B *pb = &d; pb->f(); // ok
                C *pc = &d; pc->f(); // ok
            }
```

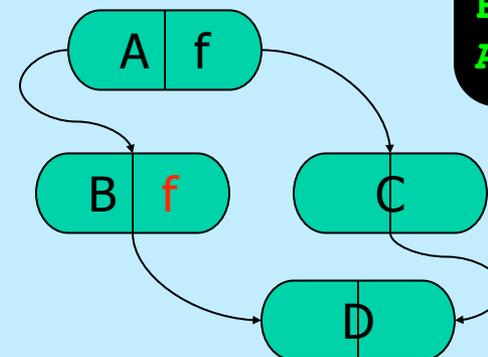
2. Klassen in C++

Mehrfachvererbung (multiple inheritance)

Selbst bei virtuellen Basisklassen kann es auf Grund der Maschenbildung sein, dass ein Name eines Members auf mehreren "Wegen" auflösbar ist und zu verschiedenen Members führt, Eindeutigkeit liegt dann vor, wenn es (genau) einen kürzesten Weg gibt »Dominanzregel« (ansonsten muss ebenfalls qualifiziert werden)



```
class A { public: void f(){cout<<"A::f()\n";} };
class B: public virtual A {
    public: void f(){cout<<"B::f()\n";}
};
class C: public virtual A {};
class D: public B, public C {};
int main() {
    D d;
    d.f();
    d.A::f();
    B *pb = &d; pb->f();
    C *pc = &d; pc->f();
}
```



```
B::f()
A::f()
B::f()
A::f()
```

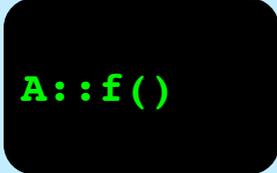
2. Klassen in C++

Mehrfachvererbung (multiple inheritance)

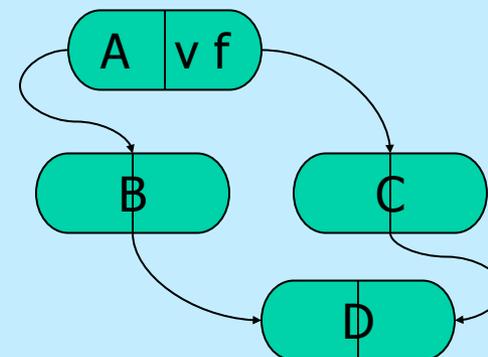
Mehrfachvererbung und virtuelle Funktionen sind miteinander kombinierbar, im Falle von virtuellen Basisklassen stehen u.U. ebenfalls mehrere Wege der Auflösung zur Verfügung: falls keine dominante Implementation existiert, muss in der am weitesten abgeleiteten Klasse eine Redefinition erfolgen



```
class A {  
    public: virtual void f(){cout<<"A::f()\n";}  
};  
class B: public virtual A { };  
class C: public virtual A { };  
class D: public B, public C { };  
main() {  
    D d;  
    C *pc = &d;  
    pc->f();  
}
```



A::f()

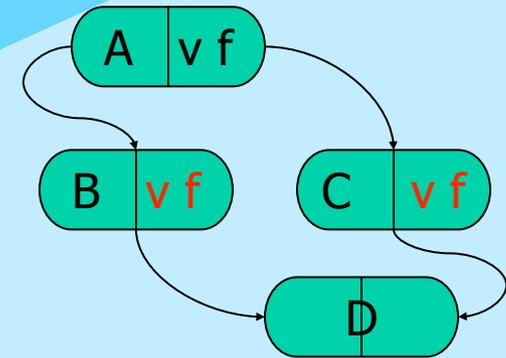


2. Klassen in C++

Mehrfachvererbung (multiple inheritance)



```
class A {  
    public: virtual void f() {cout<<"A::f()\n";}  
};  
class B: public virtual A {  
    public: void f() {cout<<"B::f()\n";}  
};  
class C: public virtual A {  
    public: void f() {cout<<"C::f()\n";}  
};  
class D: public B, public C { };  
// ERROR: no unique final overrider for f() in D
```

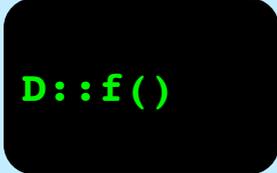


2. Klassen in C++

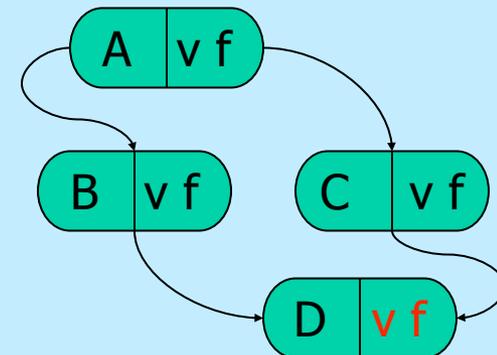
Mehrfachvererbung (multiple inheritance)



```
class A {  
    public: virtual void f() {cout<<"A::f() \n";}  
};  
class B: public virtual A {  
    public: void f() {cout<<"B::f() \n";}  
};  
class C: public virtual A {  
    public: void f() {cout<<"C::f() \n";}  
};  
class D: public B, public C {  
    public: void f() {cout<<"D::f() \n";}  
};  
... D d; C *pc = &d; pc->f(); ...
```



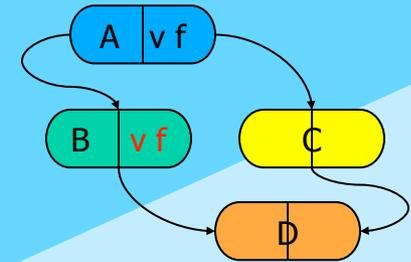
D::f()



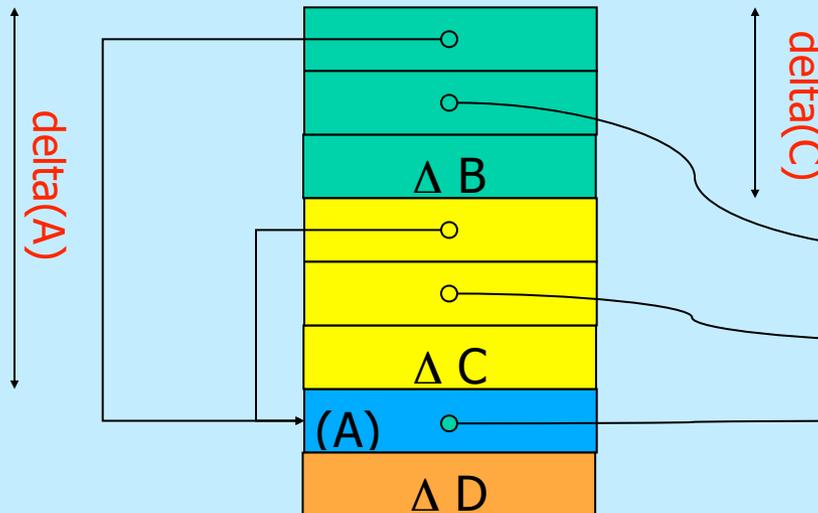
2. Klassen in C++

Mehrfachvererbung (multiple inheritance)

Implementation von virtuellen Funktionen wird 'slightly more complicated'



```
main() {
    D d;
    C *pc = &d;
    pc->f();
}
```



```
struct vtbl_entry {
    void (*fct)();
    int delta;
};
```

B::f	0
B::f	- delta(C)
B::f	- delta(A)

2. Klassen in C++

Mehrfachvererbung (multiple inheritance)

Implementation von virtuellen Funktionen wird
'slightly more complicated'

```
D d;  
A* pa = &d; B* pb = &d; C* pc = &d;  
pa->f();  
// VE* vt = &pa->vtbl[index(f)];  
// (*vt->fct)((B*)((void*)pa + vt->  
>delta));  
pb->f();  
// VE* vt = &pb->vtbl[index(f)];  
// (*vt->fct)((B*)((void*)pb + vt->  
>delta));  
pc->f();  
// VE* vt = &pc->vtbl[index(f)];  
// (*vt->fct)((B*)((void*)pc + vt->delta));
```

```
typedef struct vtbl_entry {  
    void (*fct)();  
    int delta;  
} VE;
```

2. Klassen in C++

Mehrfachvererbung (multiple inheritance)

Konstruktoren virtueller Basisklassen müssen in der am weitesten abgeleiteten Klasse direkt gerufen werden !

```
class A { public: A(int); };
class B: public virtual A {
    public: B(): A(1){ .... }
};
class C: public virtual A {
    public: C(): A(2){ .... }
};

class D: public B, public C {
// public: D() { .... } // ERROR: no matching function for call to `A::A ()'
    public: D(): A(3) { .... }
};
```

2. Klassen in C++

Mehrfachvererbung (multiple inheritance)

Potentielle Mehrdeutigkeiten werden unabhängig von Zugriffsrechten lokalisiert !

```
class A {  
    private: void m();  
};  
class B {  
    public: void m();  
};  
class C: public A, public B {  
    void f() {  
        // m(); // Fehler: Mehrdeutigkeit  
        A::m(); // Fehler: kein Zugriff  
        B::m(); // ok  
    }  
};
```

2. Klassen in C++

Mehrfachvererbung (multiple inheritance)

Wird eine virtuelle Basisklasse sowohl **private** als auch **public** vererbt, so dominiert **public** ! Bei nicht virtueller Vererbung gilt für jedes Auftreten einer Basisklasse das Zugriffsrecht entsprechend der direkten Vererbung

```
class B: private virtual A {};  
class C: public virtual A {};  
class D: public B, public C {  
    void f() { i++; /* erlaubt, da B: .... public A */ }  
};
```

```
class A { public: int i; };
```

```
-----  
class B: private A {};  
class C: public A {};  
class D: public B, public C {  
void f() {  
    // i++; // Fehler: Mehrdeutigkeit  
    C::i++; // ok  
    // B::i++; // Fehler: kein Zugriff  
};
```

Namespaces

Problem: Namenskollision im globalen Namensraum, Klassen sind zwar ein Hilfsmittel zur Entlastung des globalen Namensraumes, Klassennamen sind ihrerseits jedoch (zumeist) wiederum globale Bezeichner `string`, `String`, `XtString`, `QString`, `Matrix`

Lösung namespace: Deklaration wie Klassen, Verschachtelung erlaubt (aber keine Vererbung, Zugriffsrechte, ...)

```
namespace Humboldt_Universitaet {  
    class Fachbereich { //...  
    };  
    class Student;  
    void registriere(Fachbereich&, Student&);  
} // ; muss hier nicht stehen im Gegensatz zu class !
```

2. Klassen in C++

Namespaces dürfen beliebige Deklarationen und Definitionen enthalten (auch Namespaces), Klassen dürfen lokale Klassen enthalten aber keine Namespaces, Typen (Klassen) dürfen nach ihrer Verwendung nicht lokal neu definiert werden

```
namespace X {
    namespace Y {
        typedef int B;
        class A {
            B i;
// ERROR:           class B {};           // changes meaning of 'B' from
//                                     // 'typedef int X::Y::B'
            class C {};
        public:
            class D {};
        };
    }
}
// ERROR:           X::Y::A::C c; // 'X::Y::A::C' is not accessible
//                 X::Y::A::D d; // OK
```

2. Klassen in C++

namespace reopening erlaubt zusätzliche Deklarationen, fehlende Definitionen, logische Verteilung über separate Dateien (nicht für `namespace std` erlaubt)

```
namespace Humboldt_Universitaet { // ...
    void registriere (Fachbereich& f, Student& s)
    {
        // how this is done ...
    }
} // gehört zum gleichen namespace
```

Definitionen auch im umhüllenden namespace möglich

```
class Humboldt_Universitaet::Student {
    //...
};
```

2. Klassen in C++

Namen von äußeren namespaces sind wiederum globale Gebilde

--> spricht für lange (und damit) eindeutige Namen

praktische Verwendung

--> spricht für kurze Namen

Lösung: `namespace` Aliasnamen

```
namespace HU = Humboldt_Universitaet;  
// as I'll refer it further
```

2. Klassen in C++

Es gibt zwei Möglichkeiten der "Bereitstellung" von Elementen aus **namespaces**

1. Mit einer **using**- Deklaration wird ein Name aus einem Namensbereich direkt in den Geltungsbereich eingeführt, in dem die **using** - Deklaration erfolgt (als wäre es dort deklariert worden).

```
void doit() {  
    using HU::registriere;  
    registriere(Informatik, Markus_Mustermann);  
}
```

2. Klassen in C++

2. Durch eine **using**- Direktive können sämtliche Namen des angegebenen Namensbereichs für den Geltungsbereich zugreifbar gemacht werden, in dem die **using** - Direktive enthalten ist. Die **using** -Direktive wirkt sich dabei so aus, als seien alle Elemente außerhalb ihres Namensbereichs deklariert, und zwar an der Stelle, an der die Namensbereich-Definition tatsächlich steht.

```
using namespace Humboldt_Universität;  
Fachbereich Informatik;  
Student *Markus_Mustermann;
```

2. Klassen in C++

Achtung

`using namespace N;` und `using N::name` (\forall name in N)
sind nicht äquivalent:

```
namespace X {
    int i;
    double x;
}
int main() {
    int i = 1;
    X::i = 10;
    // using X::i;
    // redefinition !!
    using X::x;
    i = 42;
    return 0;
}
```

```
namespace X {
    int i;
    double x;
}
int main() {
    int i = 1;
    X::i = 10;
    using namespace X;
    i = 42;
    return 0;
}
```

2. Klassen in C++

Achtung

`using N::anEnumType;` stellt **nicht** die `enum`-Literale bereit

`using`-Direktiven sollten nie in unbekanntem Kontexten (d.h. in denen nicht klar ist, welche Symbole definiert sind) verwendet werden, weil sie dazu führen können, dass Mehrdeutigkeiten oder Verhaltensänderungen entstehen können (Overloading)

--> Vorsicht bei ihrer Verwendung, Benutzung in Header-Files ist **"untragbar schlechtes Design"** (Josuttis) !!

2. Klassen in C++

using-Deklarationen können auch benutzt werden, um Zugriff auf Basis-Member abweichend von den sonst geltenden Regeln zu erlauben:

```
class A {  
private:   int a1;  
protected: int a2;  
          void f(char){}  
public:   void f(int){}  
          int a3;  
};  
class B: private A {  
public:  
    using A::a2;  
    using A::f; // all f's  
};
```

```
int main() {  
    A a;  
    B b;  
    // erlaubt ist:  
    a.a3 = 3;  
    a.f(0);  
    b.a2 = 2;  
    b.f('A');  
    b.f(1);  
}
```

alles was sichtbar ist kann per **using** -Deklaration 'weitergereicht' werden
bei überladenen Funktion müssen alle Varianten zugreifbar sein, sonst liegt ein statischer Fehler vor

2. Klassen in C++

Anonyme Namensräume als Ersatz für (static) Objekte mit file scope.

```
namespace {  
    int counter = 0;  
    void inc();  
}  
  
int main() {inc();}
```

```
namespace { /*body*/ }  
    ==  
namespace uniqueForThisFile{}  
using namespace uniqueForThisFile;  
namespace uniqueForThisFile{/*body*/}
```

```
namespace{  
    void inc() { counter++;}  
}
```

2. Klassen in C++

Lookup **unqualifizierter** Namen: zunächst lokal (incl. **using**-Deklarationen) und sonst in allen sichtbaren Namespaces (gleichberechtigt)



```
namespace A {  
    void f() {cout<<"A::f() \n";}  
    void g() {cout<<"A::g() \n";}  
}  
  
namespace B {  
    void f(char*) {cout<<"B::f(char*) \n";}  
}  
  
namespace C {  
    using namespace A;  
    void f(int) {cout<<"C::f(int) \n";}  
}
```

Namensauflösung erfolgt **immer** in der Reihenfolge

1. lookup
2. overload resolution
3. access check

2. Klassen in C++

```
void f(double) {cout<<"::f(double)\n";}
```

```
int main()  
{  
    using namespace B;  
    using namespace C;  
  
    f(1);  
    f(1.0);  
    f();  
    g();  
    f("Hoho");  
}
```

```
C::f(int)  
::f(double)  
A::f()  
A::g()  
B::f(char*)
```

2. Klassen in C++

```
// wie zuvor

int main() {
    using B::f;
    using namespace C;

    // f(1);           // ERROR: passing `int' to argument
                      // 1 of `B::f(char *)' lacks a cast
    // f(1.0);        // ERROR: argument passing to `char *'
                      // from `double'

    // f();           // ERROR: too few arguments to
                      // function `void B::f(char *)'
    g();             // OK
    f("Hoho");     // OK
}

```

2. Klassen in C++

Lookup **qualifizierter** Namen: im jeweils benannten Scope beginnend rekursiv^(*) in weiteren bis der Name gefunden wird

^(*) wird bei der Bildung der transitiven Hülle dasselbe Objekt mehrmals gefunden, liegt **KEIN** Fehler vor

```
namespace A {  
    void f() {cout<<"A::f() \n";}  
    void g() {cout<<"A::g() \n";}  
}  
  
namespace B {  
    void f(char*) {cout<<"B::f(char*) \n";}  
}  
  
namespace C {  
    using namespace A;  
    void f(int) {cout<<"C::f(int) \n";}  
}
```

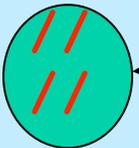
unverändert!

2. Klassen in C++

// wie zuvor

```
int main()
```

```
{
```



```
    using namespace B;  
    using namespace C;
```

ändert gar nichts!

```
    C::f(1);
```

```
    ::f(1.0);
```

```
    A::f();
```

```
    // C::f();           // ERROR: Too few parameters in  
                        // call to 'C::f(int)'
```

```
    C::g();
```

```
    B::f("Blah");
```

```
}
```

2. Klassen in C++

Lookup **unqualifizierter** Namen hat noch einen wichtigen Sonderfall:

Koenig-Lookup alias ADL (argument dependent lookup)



```
namespace N {  
    class T {  
    public:  
        void foo() { N::foo(*this); }  
        friend std::ostream& operator<<(std::ostream&, const T&);  
        friend void foo (const T&);  
    };  
}  
  
std::ostream& N::operator<<(std::ostream& o, const T&) {  
    return o<<"T-Object"<<std::endl;  
}  
  
void N::foo(const T& t) { std::cout << t; }
```

2. Klassen in C++

Koenig-Lookup alias ADL (argument dependent lookup)

aus allen Parametertypen eines Funktionsaufrufs wird (rekursiv) eine Menge sog. associated namespaces/classes ermittelt, in denen dann die gesuchte Funktion eindeutig gefunden werden muss

```
int main() {  
    N::T t;  
    t.foo();           // OK: scope durch t festgelegt!  
    foo(t);           // wäre ohne ADL fehlerhaft !  
                      // dank ADL ok:  
    N::foo(t);        // wäre ohne ADL noch akzeptabel  
    // nicht aber:  
    N::operator<<(std::cout, t); // anstelle von:  
    std::cout << t;   // nur mit ADL korrekt  
}
```

5x T-Object

3. Generische Programmierung in C++

Problem:

Vererbung erlaubt die Wiederverwendung von Programmcode, virtuelle Funktionen ermöglichen dabei den Austausch gewisser Funktionalität

Vererbung erlaubt **NICHT** die Wiederverwendung durch Parametrisierung von Klassen, z.B.

```
class Stack_of_int{...};    und  
class Stack_of_double{...};
```

NICHT (sinnvoll) realisierbar als:

```
class Stack { ... }; // abstract ??  
class Stack_of_int: public Stack { ... };  
class Stack_of_double: public Stack { ... };
```

3. Generische Programmierung in C++

Lösung:

C++ erlaubt die Definition von generischen Klassen:
solche, die von (noch nicht spezifizierten) **Typen** oder **Werten** abhängen !

```
// GenericStack.h :  
template <class T, int D> // variabel in T und D  
class Stack {  
protected:  
    T *data;  
    int top, max;  
public:  
    Stack(int dim = D): data(new T[dim]), top(0), max(dim) {}  
    ~Stack() { delete [] data; } // beide hier inline  
    void push (T i); // outline  
    T pop(); // outline  
};
```

3. Generische Programmierung in C++

Die Definition von Memberfunktionen außerhalb von generischen Klassen hängt damit selbst von diesen **Typen** oder **Werten** ab !

```
// GenericStack.cpp ???  
template <class T, int D>  
void Stack<T,D>::push (T i) {  
    data[top++]=i;  
}  
  
template <class T, int D>  
T Stack<T,D>::pop () {  
    return data[--top];  
}
```

3. Generische Programmierung in C++

eine Template-Klasse definiert ein allgemeines Muster für beliebig viele konkrete Klassen,

aus dem Template selbst lässt sich jedoch (i. allg.) kein Code generieren,

dies geschieht erst bei der sog. Instantiierung der Template-Klasse

```
#include "GenericStack.h"
Stack<int, 10> s1, s2;
Stack<double, 20> s3;
Stack<Stack<int, 10>, 10> ss;
void foo() {
    s1.push(1); s2.push(2);
    ss.push(s1); ss.push(s2);
    s3.push(3.7);
}
```

3. Generische Programmierung in C++

Daher muss bei der Instantiierung einer Template-Klasse der Quelltext aller (benutzten) (auch der nicht-inline) Funktionen zur Verfügung stehen:

übliche Verfahrensweise:

```
// GenericStack.h :  
template <class T, int D>  
class Stack { /* wie oben */ };  
#include "GenericStack.cpp"
```

3. Generische Programmierung in C++

die Instantiierung einer konkreten Klasse geschieht auf explizite Anforderung (erste Verwendung), eine solche kann jedoch weitere Instantiierungen nach sich ziehen

Instantiierung 'auf Vorrat' (ohne sofortige Verwendung) ist möglich:

```
template class Stack<int, 10>;  
template class Stack<double, 20>;  
template class Stack<Stack<int, 10>, 10>;
```

`<class XYZ>` bedeutet **nicht**, dass nur mit Klassentypen instantiiert werden darf, vielmehr kündigt `class` einen 'Meta-(Typ-)Parameter' an, alternativ kann hier auch das neue Schlüsselwort `typename` verwendet werden

3. Generische Programmierung in C++

Wozu dient das neue Schlüsselwort **typename** ?

```
template <typename T> class Beispiel { ...  
    T::X * x;  
    // ist nach C++-Grammatik mehrdeutig  
};
```

```
class T1 { public: static int X; };
```

Beispiel<T1>-Instantiierung: * ist Multiplikation

```
class T2 { public: typedef int X; };
```

Beispiel<T2>-Instantiierung: * ist Zeigertyp-Konstrukt

```
template <typename T> class Beispiel { ...  
    typename T::X * x; // X muss in T ein Typname sein  
}
```

3. Generische Programmierung in C++

Voreinstellungen für Template-Parameter sind möglich

```
template <class T = int, int D = 20>
class Stack {...};
Stack<> s; // Stack<int,20> !
```

ACHTUNG Lexikfalle:

```
template <typename T> class X { ... };
X<X<T>> xxt; // ERROR: operator >> ???
// demnächst erlaubt in C++0x :-)
X<X<T> > xxt; // OK
```

3. Generische Programmierung in C++

Individuelle Implementierungen für spezielle Template-Parameter sind möglich:

```
template <> // alle Parameter gebunden!  
class Stack<std::string, 100> {  
    // Stacks von strings kann man u.U.  
    // anders/spezieller/effizienter/cleverer  
    // implementieren  
    ... };  
template<>  
void Stack<std::string, 100>::push  
    (const std::string& s) { .... }
```

3. Generische Programmierung in C++

Individuelle (partielle) Implementationen für spezielle Template-Parameter sind möglich:

```
template <typename T1, typename T2>
class MyClass { // allgemeinste Form
.... };

template<typename T>
class MyClass<T, T> { // T1 und T2 sind gleich
.... };

template<typename T>
class MyClass<T, int> { // T2 ist int
.... };

template <typename T1, typename T2>
class MyClass<T1*, T2*> { // beide sind Zeigertypen
.... };
```

// ACHTUNG MyClass<int, int> nicht eindeutig!

3. Generische Programmierung in C++

Einzelne Memberfunktionen können eigene Template-Parameter (über die Klasse hinaus) besitzen: member templates

```
template <typename T>
class Stack {
    // Stack<S> und Stack<T> sollen zuweisbar
    // sein, wenn S und T zuweisbar sind
    template <typename T2>
    Stack<T>& operator=(const Stack<T2>&);
    .... };          // default op= bleibt erhalten !
template <typename T>
    template <typename T2>
        Stack<T>& Stack<T>::operator=(const Stack<T2>& o)
            { .... }
```

3. Generische Programmierung in C++

Template-Parameter können selbst wieder Template-Typen sein: template template parameters

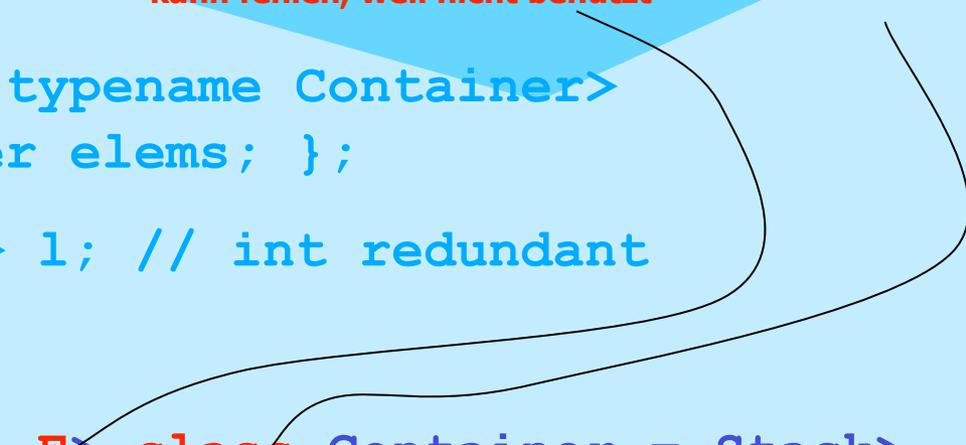
```
template <typename T>
class Stack { ... };

template <typename T, typename Container>
class LIFO { Container elems; };

LIFO<int, Stack<int> > l; // int redundant
//besser:
template <typename T,
        template <typename E> class Container = Stack>
class LIFO { Container<T> elems; }
LIFO<int> l1; LIFO<int, otherStack> l2;
```

kann fehlen, weil nicht benutzt

NICHT typename



3. Generische Programmierung in C++

Template-Code muss zunächst nur syntaktisch korrekt sein. Erst bei der Instantiierung wird semantisch Korrektheit geprüft.

Für Klassentemplates werden nur die Funktionen instantiiert, die auch benötigt werden, nur diese müssen fehlerfrei übersetzbar sein !

SFINAE: **S**ubstitution **f**ailure **i**s **n**ot **a**n **e**rror

generic programming eröffnet völlig neue Möglichkeiten

Beispiel: Zuweisbarkeit von Typen statisch entscheiden
Ist ein Typ T in einen Typ U konvertierbar ?

3. Generische Programmierung in C++

// s. Andrei Alexandrescu: Modern C++ Design

```
template <class T, class U>
class Conversion {
    typedef char Small;
    class Big {char dummy[2];}; // guaranteed bigger !
    static Small Test(U);      // not implemented !
    static Big   Test(...);    // not implemented !
    static T MakeT();          // not implemented !
public:
    enum {
        exists = sizeof(Test(MakeT())) == sizeof(Small),
        same = false };
};
```

3. Generische Programmierung in C++

```
int main() {  
    using namespace std;  
    cout  
        << Conversion<double, int>::exists << ' '  
        << Conversion<char, char*>::exists << ' '  
        << Conversion<size_t, vector<int> >::exists << ' ';  
}  
// double ---> int ?  
// Test(MakeT()) overloading zwischen int und ...  
// int passt besser: Test liefert ein Small  
// sizeof-Vergleich liefert true, exists ist 1
```

1 0 0

3. Generische Programmierung in C++

```
// even more is possible:
template <class T>
class Conversion<T,T> { // same Type
public:
    enum { exists = 1, same = 1 };
};

#define SUPERSUBCLASS(T,U) \
    (Conversion<const U*, const T*>::exists &&\
    !Conversion<const T*, const void*>::same)
// true if U inherits publicly from T
// or T and U are identically
```

3. Generische Programmierung in C++

Auch Funktionen können als Templates implementiert werden function templates

```
template <typename T>
const T& max (const T& a, const T& b) {
    return a > b ? a : b;
}
const int& max (const int& a, const int& b) {
    return a > b ? a : b;
}
```

'universell' überladene Funktion, Überladung wird bevorzugt in non-template Code aufgelöst (SFINAE bei template Code), wenn eine template-Funktion exakt passt, ansonsten Typumwandlungen nötig sind, wird die Schablone benutzt!

Funktionskörper muss für Compiler zugänglich sein
---> inlining en passant

3. Generische Programmierung in C++

Aufruf auch ohne explizite Instantiierung möglich (wenn vorliegende Parameter diese eindeutig machen):

```
max ( 3, 5 ); // non-template max
max<> ( 3, 5 ); // max<int>
max ('a', 23.45); // non-template max
max ( 3.1241, 5.0 ); // max<double>
    // better match als non-template max !
// max ( 7, "sieben" ); ERROR
max ( 7, 23L ); // non-template max
max<long> ( 7, 23L ); // ok
```

3. Generische Programmierung in C++

Spezialisierungen sind natürlich möglich (weitere explizite Überladung)

```
inline const char*  
max (const char* a, const char* b) {  
    return (std::strcmp(a,b) > 0 ? a : b;  
}
```

Der Template-Typ darf auch für lokale Variablen benutzt werden

```
template <typename T>  
void swap (T& a, T& b) {  
    T tmp(a); a = b; b = tmp;  
}
```

keine Default-Template Argumente, **keine** Template Template Argumente
und **keine** partielle Spezialisierung ist für Funktionstemplates erlaubt

3. Generische Programmierung in C++

Dadurch können auch Algorithmen generisch werden

```
// swap kann beliebige Objekte 'austauschen'  
// Benutzung z.B.:  
template <class T>  
void simple_sort (T* vec, int size) {  
    for (int m=0; m<size-1; m++)  
        for (int n=m+1; n<size; n++)  
            if (vec[m]>vec[n]) swap(vec[m], vec[n]);  
}  
int v [100]; ....  
simple_sort (v, 100);
```

3. Generische Programmierung in C++

der entstehende Programmcode muss semantisch korrekt sein:

```
class Y {};  
class X {  
    // operator > not defined  
public:  
    operator int () {return 1; }  
};
```

```
X x [20]; Y y [40];  
simple_sort (x, 20);  
simple_sort (y, 40);
```

```
/* swap.cc: In function `void simple_sort(T*, int)  
[with T = Y]':  
swap.cc:34: instantiated from here  
swap.cc:15: no match for `Y& > Y&' operator  
*/
```

3. Generische Programmierung in C++

Fehlerausschriften sind z.T. sehr kryptisch

```
.....  
tstring.cpp: In function `void __static_initialization_and_destruction_0(int,  
    int)`:  
tstring.cpp:12: no matching function for call to `std::basic_string<char,  
    std::char_traits<char>, std::allocator<char> >::basic_string(const  
char[23],  
    int, int, int)'  
/usr/local/lib/gcc-lib/sparc-sun-solaris2.8/3.1/include/g++/bits/  
basic_string.tcc:233: candidates  
    are: std::basic_string<_CharT, _Traits,  
    _Alloc>::basic_string(_Alloc::size_type, _CharT, const _Alloc& = _Alloc())  
    [with _CharT = char, _Traits = std::char_traits<char>, _Alloc =  
    std::allocator<char>]  
/usr/local/lib/gcc-lib/sparc-sun-solaris2.8/3.1/include/g++/bits/  
basic_string.tcc:226:  
    std::basic_string<_CharT, _Traits,  
    _Alloc>::basic_string(const _CharT*, const _Alloc& = _Alloc()) [with _CharT  
    = char, _Traits = std::char_traits<char>, _Alloc =  
    std::allocator<char>] .....
```

3. Generische Programmierung in C++

Für g++ gibt es einen sog. Decryptor (STLfilt)

```
pandora ahrens 54 ( ~/STLfilt/samples ) > ../gfilt tstring.cpp
BD Software STL Message Decryptor v2.31 for gcc (03/03/2003)
...
tstring.cpp: In function
  `void __static_initialization_and_destruction_0(int, int)':
tstring.cpp:12: No match for 'string(const char[23], int, int, int),
```

Für C++0X war eine Spracherweiterung um sog. Concepts vorgesehen, die gezieltere Prüfungen und Fehlerausgaben im Compiler erlaubt:

Concepts Extending C++ Templates For Generic Programming

„in letzter Minute“ rausgestrichen :-)

3. Generische Programmierung in C++

Weitere (syntaktische) Besonderheiten bei Templates:

- das Konstrukt `.template`

```
template <int N>
void printBits (const std::bitset<N>& bs) {
    // std::cout << bs.to_string < char,
                                char_traits<char>,
                                allocator<char> > ();

    std::cout << bs.template to_string < .... > ();
}
```

- Zero Initialization

```
template <typename T> void foo() {
    T x;    // OK: default ctor for classes
           // but uninitialized for build-in types

    T x = T(); // 0 (false) for built-in types
}
```

3. Generische Programmierung in C++

... and friends?

Beispiel: Ausgabeoperator für Stack<T>

```
template <class T> class Stack { //...  
  
friend std::ostream& operator<< (std::ostream &, const  
    Stack<T>&  
{ /* inline implementiert ... */ }  
  
};
```

Wie wenn nicht inline ?

3. Generische Programmierung in C++

... and friends?

```
template <class T> class Stack { //...  
  
friend std::ostream& operator<< (std::ostream &, const  
    Stack<T> &);  
  
// IST NUR DEKLARIERT, WIRD ALSO NICHT INSTANZIERT  
  
template<class S>  
friend std::ostream& operator<<  
    (std::ostream &, const Stack<S> &);  
// ZU GENERISCH: EINE GANZE FAMILIE VON Stack<S>  
// AUSGABEOPERATOREN (NICHT NUR T)  
};
```

Wie dann?

3. Generische Programmierung in C++

... and friends?

Die Funktion muss schon vor der Klasse als generisch deklariert werden!

```
template <class T>  
std::ostream& operator<< (std::ostream &, const Stack<T> &);
```

Dazu muss aber der Name der Klasse zuvor deklariert werden ☹

3. Generische Programmierung in C++

How to break this circle?

--- Vorabdeklaration der Template-Klasse:

```
template<class T> class Stack; // is generic !
template<class T>
std::ostream& operator<<
    (std::ostream& out, const Stack<T>& stack);

template<class T> class Stack {
friend std::ostream& operator<< <>
    (std::ostream&, const Stack<T>& );
    // final gebunden an T !!!
};
```

3. Generische Programmierung in C++

Weitere (semantische) Besonderheiten bei Templates:

two-phase lookup:

1. Die Phase in der die Schablone vom Compiler erstmalig inspiziert wird (Template-Parameter sind noch unbekannt): lookup von *non-dependent names* (und zwar nur hier), Basisklassen werden dabei **nicht** betrachtet – unqualifizierte Namen sind (zumeist) *dependent*!
2. Die erneute Inspektion am *point of instantiation* (POI) unter Kenntnis der Template-Parameter. lookup von *dependent names* (per :: nur hier), sonstige dependence in beiden Phasen, ADL wird nur in Phase 2 realisiert.

3. Generische Programmierung in C++

Weitere (semantische) Besonderheiten bei Templates:

- 2-phase lookup bringt u.U. unerwartete Effekte

```
template <typename T>
class Base {
public:
    void exit(int);
};
```

leider falsch implementiert in Visual C++ 2008

```
template <typename T>
class Derived : Base<T> {
public:
    void foo() { exit(0); // Base<T>::exit is NOT considered
                    Base<T>::exit(1); // OK, but static bound
                    this->exit(2); // allows for late binding
    }
};
```

3. Generische Programmierung in C++

Weitere (semantische) Besonderheiten bei Templates: **SFINAE**

```
struct Test {  
    typedef int Type;  
};  
  
template < typename T >  
void f(typename T::Type) {} // definition #1  
  
template < typename T >  
void f(T) {} // definition #2  
  
void foo() {  
    f<Test>(10); // call #1  
    f<int>(10); // call #2 without error thanks to SFINAE  
}
```

3. Generische Programmierung in C++

Achtung: bei Überladung von Template-Funktionen trifft die explizite Instanziierung keine Auswahl, sondern es werden alle Funktionen 'zugleich' instantiiert von denen die vorliegende Parametersituation eine Funktion eindeutig auswählen muss!



```
template <typename T> int f(T)           { return 1; }
template <typename T> int f(T*)        { return 2; } // kein Spezialisierung !

template <typename T> struct C {
    static int f()                       { return 1; }
};
template<typename T> struct C<T*> {
    static int f()                       { return 2; }
};

int main() {
    std::cout << f ((int*)0) << std::endl;
    std::cout << f<int> ((int*)0) << std::endl;
    std::cout << f<int*>((int*)0) << std::endl;
    std::cout << C<int>::f() << std::endl;
    std::cout << C<int*>::f() << std::endl;
}
```



2
2
1
1
2

3. Generische Programmierung in C++

Der Prozess der Instanziierung ist 'Turing-mächtig'!

Beispiel: Fibonacci-Zahlen berechnen während der Übersetzung

```
#include <iostream>
template <int N>
class Fib {    long val;
public:      Fib():val( Fib<N-1>() + Fib<N-2>() )
{}          operator long () {return val;}
};
template<>
class Fib<0> {
public:      operator long () {return 1;}
};
```

3. Generische Programmierung in C++

```
template<>
class Fib<1> {
public:
    operator long () {return 1;}
};

int main() {
    std::cout << Fib<42>() << std::endl;
}

// alternativ auch
#include <iostream>
template <int x> int f() { return f<x-2>()+f<x-1>(); }
template <>int f<1>()    { return 1;}
template <>int f<0>()    { return 1;}
int main(){    std::cout<<f<12>()<<std::endl;}
```

3. Generische Programmierung in C++

Template Klassen Instantiierungen können auch durch Template Funktionen 'provoziert' werden

```
template <class T1, class T2>
struct pair { // so in std !
    T1 first;
    T2 second;
    pair() {}
    pair(const T1& a, const T2& b) : first(a), second(b)
    {}
};
```

3. Generische Programmierung in C++

```
template <class T1, class T2>
inline bool operator==
(const pair<T1, T2>& x, const pair<T1, T2>& y) {
    return x.first == y.first && x.second == y.second;
}
```

```
template <class T1, class T2>
inline bool operator<
(const pair<T1, T2>& x, const pair<T1, T2>& y) {
    return x.first < y.first ||
           (!(y.first < x.first) &&
            x.second < y.second);
}
```

```
template <class T1, class T2>
inline pair<T1, T2> make_pair(const T1& x, const T2& y) {
    return pair<T1, T2>(x, y);
}
```

3. Generische Programmierung in C++

Type Traits

Generischer Code kennt Typen nicht vorab, möchte u.U. dennoch generalisiert auf Eigenschaften von Typen zugreifen:

```
...
class T1 { // dito T2, T3: classes i have control of
public:
    static const char* someProperty;
};

const char* T1::someProperty = "class T1"; // dito T2, T3

template <class T>
useProperty(T t) { cout << t.someProperty <<endl; }

int main() {
    useProperty(T1());
    useProperty(T2());
    useProperty(T3());
}
```

3. Generische Programmierung in C++

Type Traits

„Wenn der Typ aber nun ein `int` ist, lieber Heinrich“ oder
„Wenn der Typ aber nun nicht meiner ist, lieber Heinrich“

Idee: Man stellt jedem Typ einen sog. Traits-Typ (trait == Merkmal, Wesenszug) zur Seite, der diese Eigenschaften bereithält:

```
// voilà:  
template <class Any>  
class Traits {  
public:  
    static const char* someProperty;  
};
```

3. Generische Programmierung in C++

Type Traits

... und spezialisiert diesen:

```
template <> class Traits<int> {  
public:  
    static const char* someProperty;  
};  
  
// ACHTUNG: NICHT template<> !  
const char* Traits<int>::someProperty = "int";  
  
class T4 { /* without someProperty */ }; // not under my control  
  
template <> class Traits<T4> {  
public:  
    static const char* someProperty;  
};  
  
// ACHTUNG: NICHT template<> !  
const char* Traits<T4>::someProperty = "class T4";
```

3. Generische Programmierung in C++

Type Traits

```
class T5 { // not under my control
public:  static const char* prop;
};

template <> class Traits<T5> {
public:  static const char* someProperty;
};

const char* Traits<T5>::someProperty = T5::prop; // mapping

template <class T>
void useProperty (T t) { Traits<T> tt; cout << tt.someProperty <<endl; }

const char* T5::prop = "class T5";
typedef int T6;

int main() {
    useProperty(T4());
    useProperty(T5());
    useProperty(T6());
}
```

3. Generische Programmierung in C++

Type Traits

```
// was ist nun mit T1,2,3 ? useProperty geht nicht mehr wie auf S. 272
// entweder:
template <> struct Traits<T1> {
    static const char* someProperty;
};
const char* Traits<T1>::someProperty=T1::someProperty;

template <> struct Traits<T2> {
    static const char* someProperty;
};
const char* Traits<T2>::someProperty=T2::someProperty;

template <> struct Traits<T3> {
    static const char* someProperty;
};
const char* Traits<T3>::someProperty=T3::someProperty;

// und useProperty von S. 275
```

3. Generische Programmierung in C++

Type Traits

```
// was ist nun mit T1,2,3 ? useProperty geht nicht mehr wie auf S. 272  
// oder:
```

```
template <>  
void useProperty<T1>(T1 t) { cout << t.someProperty <<endl; }
```

```
template <>  
void useProperty<T2>(T2 t) { cout << t.someProperty <<endl; }
```

```
template <>  
void useProperty<T3>(T3 t) { cout << t.someProperty <<endl; }
```

3. Generische Programmierung in C++

Die C++ Standardbibliothek basiert wesentlich auf generischem Code

- Ursprünglich als STL (standard template library) bei HP entworfen, bei SGI weiterentwickelt (<http://www.sgi.com/tech/stl/>)
- eine »unkonventionelle« C++ -Bibliothek, bestehend aus Headerfiles, die massiven Gebrauch von Templates machen (also keine fertig übersetzten Bibliotheken) !
- auf den ersten Blick im Widerspruch zu einer der Grundgedanken der objektorientierten Programmierung: Trennung von Datenstrukturen und Algorithmen
- stellt elementare Containerklassen für Listen, Vektoren, Mengen, Multimengen, Stacks, Assoziationen ... unter einem einheitlichen Blickwinkel bereit: über allen Typen sind sog. Iteratoren definiert, die sich verhalten, wie Zeiger in die entsprechenden Strukturen, kanonisch in Fortsetzung von C-Feldern und C-Zeigern)
- Zeiger selbst eignen sich auch als elementare Iteratoren

3. Generische Programmierung in C++

C++ -Standardbibliothek:

die folgenden 51 Standard C++ headers (einschließlich der 18 zusätzlichen Standard C headers) machen eine sog. hosted implementation of Standard C++ aus:

```
<algorithm>, <bitset>, <cassert>, <cctype>, <cerrno>, <cfloat>,
<ciso646>, <climits>, <locale>, <cmath>, <complex>, <csetjmp>,
<csignal>, <cstdarg>, <stddef>, <stdio>, <stdlib>,
<cstring>, <ctime>, <wchar>, <wctype>, <deque>, <exception>,
<fstream>, <functional>, <iomanip>, <ios>, <iosfwd>, <iostream>,
<istream>, <iterator>, <limits>, <list>, <locale>,
<map>, <memory>, <new>, <numeric>, <ostream>, <queue>, <set>,
<sstream>, <stack>, <stdexcept>, <streambuf>, <string>, <stringstream>,
<typeinfo>, <utility>, <valarray>, <vector>
```

3. Generische Programmierung in C++

Grundlegende Beobachtung: Algorithmen sind (oft) abstrakt, in dem Sinne, dass sie unabhängig sind von den elementaren Typen sind, auf denen sie operieren:

// Beispiel: Lineares Suchen

```
int* find (int* first, int* last, int value) {  
    while (first != last && *first != value) ++first;  
    return first;  
}
```

} // **warum nicht bool find(...)??**

das geht genauso mit double*, XYZ*, ... : Abstraktion vom elementaren Typ und Reduzierung auf Konzepte von Anfang, Ende, Vergleich ...

```
template <class InputIterator, class T>  
InputIterator find  
(InputIterator first, InputIterator last, const T& value) {  
    while (first != last && *first != value) ++first;  
    return first;  
}
```

3. Generische Programmierung in C++

Weitere Verallgemeinerungen sind oft möglich:

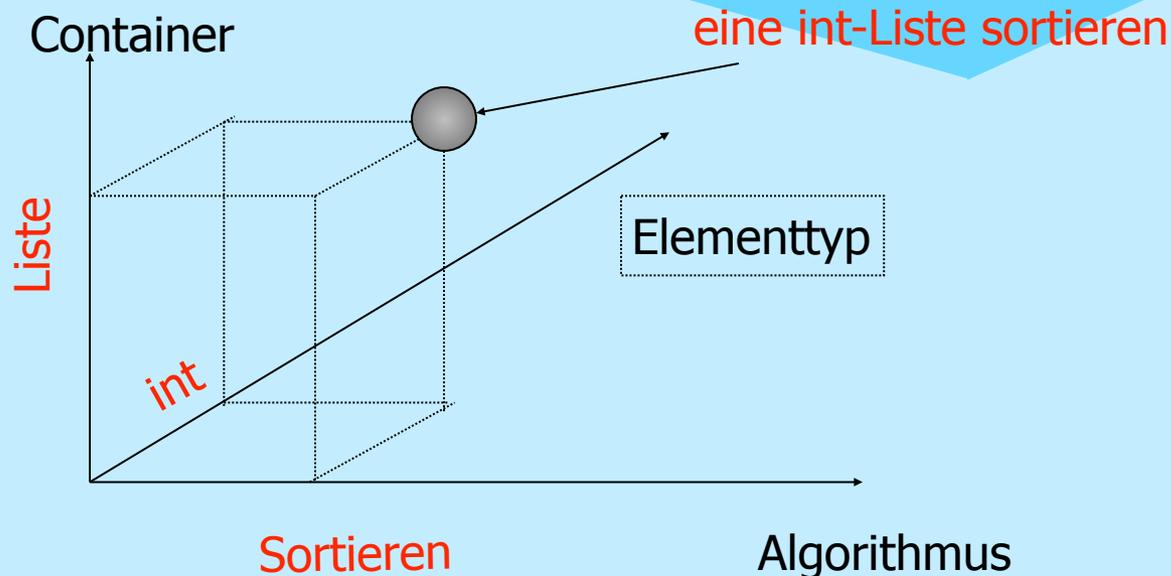
```
template <class InputIterator, class Predicate>
InputIterator find_if
(InputIterator first, InputIterator last, Predicate pred) {
    while (first != last && !pred(*first)) ++first;
    return first;
}
// pred ist Verallgemeinerung von ==(. , value)
// pred muss als Funktion aufrufbar sein
```

3. Generische Programmierung in C++

Ziel: "Algorithmus x angewendet auf Containertyp y des Basistyps z "

Traditioneller Ansatz:

m (Algorithmen) * n (Containertypen) * t (Basistypen)



3. Generische Programmierung in C++

- Templates in ihrer primären Anwendung:
 m (Algorithmen) * n (template<t> Container)
- Ansatz der STL: die Algorithmen agieren auf austauschbaren (aus Templates instantiierbaren) Zugriffsoperationen
 m (Algorithmen) + n (template<t> Container)
- Iteratoren entkoppeln die Containertypen von den Algorithmen, die auf ihnen operieren
- ein Iteratorwert verkörpert eine Position, kann mittels ++ weitergesetzt werden ACHTUNG: man benutze immer Prefix-In/Dekrement (keine temporäre Variable)
- Iteratoren können auf Un-/Gleichheit geprüft werden
- * liefert das referenzierte Element (wie bei Zeigern)
- (Input-)Iteratorobjekte können kopiert werden !

3. Generische Programmierung in C++

Per Container gibt es lokale Typvereinbarungen, die die jeweiligen Spezifika des Containers "kennen", nach außen sich jedoch gleich als abstrakte Konzepte verhalten:

```
namespace std {  
    template <class T> // (fast) so aus <vector>  
    class vector { public:  
        typedef T                               value_type;  
        typedef value_type*                       pointer;  
        typedef const value_type*                 const_pointer;  
        typedef value_type*                       iterator;  
        typedef const value_type*                 const_iterator;  
        typedef value_type&                       reference;  
        typedef const value_type&                 const_reference;  
        typedef size_t                             size_type;  
        typedef ptrdiff_t                         difference_type;  
        .....};  
} // end namespace std
```

3. Generische Programmierung in C++

Benutzung muss die konkreten Typen (der Elemente und des Containers!) **NICHT** kennen:

```
typedef vector<int> Ivec;  
Ivec v;  
// fill v ....  
// iterate:  
  
for (Ivec::iterator i = v.begin(); i != v.end(); ++i)  
    do_something_with( *i );  
  
...  
// ist 42 drin:  
Ivec::iterator where = find (v.begin(), v.end(), 42);  
if (where != v.end())        // ja !  
else                          // nein !
```

Anfang ! **Ende !**



3. Generische Programmierung in C++

Benutzung muss die konkreten Typen (der Elemente und des Containers!)
NICHT kennen:

```
typedef set<int> Iset;
Iset s;
// fill s ....
// iterate:

for (Iset::iterator i = s.begin(); i != s.end(); ++i)
    do_something_with( *i );

...
// ist 42 drin:
Iset::iterator where = find (s.begin(), s.end(), 42);
if (where != s.end())    // ja !
else                    // nein !
```

Anfang !

Ende !



3. Generische Programmierung in C++

Benutzung muss die konkreten Typen (der Elemente und des Containers!) **NICHT** kennen, auch C-Felder können (als triviale Container) mit ihren Iteratoren (Zeiger) verwendet werden

```
typedef int F[100];  
F f;  
// fill f ....  
// iterate:  
  
for (int* i = f; i != f+100; ++i)  
    do_something_with( *i );  
  
...  
// ist 42 drin:  
int* where = find (f, f+100, 42);  
if (where != f+100)        // ja !  
else                       // nein !
```

Anfang !

Ende !

3. Generische Programmierung in C++

Generische Algorithmen (`#include <algorithm>`)

von speziellen Containern durch Iteratoren entkoppelt!
standardisiert ist das Verhalten (ISO 14882/1998)

25.1.1 - For each [lib.alg.foreach]

```
template<class InputIterator, class Function>
```

```
    Function for_each(InputIterator first, InputIterator last, Function f);
```

- 1- Effects: Applies f to the result of dereferencing every iterator in the range [first, last), starting from first and proceeding to last - 1.
- 2- Returns: f.
- 3- Complexity: Applies f exactly last - first times.
- 4- Notes: If f returns a result, the result is ignored.

3. Generische Programmierung in C++

nicht die Implementation:

```
// bcc32:
template <class InputIterator, class Function>
Function for_each (InputIterator first, InputIterator last, Function f) {
    while (first != last) f(*first++);
    return f;
}

// g++ 3.2.2: siehe http://www.boost.org/libs/concept\_check/concept\_check.htm
template<typename _InputIter, typename _Function>
_Function for_each(_InputIter __first, _InputIter __last, _Function __f) {
    // concept requirements
    __glibcxx_function_requires(_InputIteratorConcept<_InputIter>)
    for ( ; __first != __last; ++__first)
        __f(*__first);
    return __f;
}

// vc++ 6.0: siehe http://www.dinkumware.com
template<class _II, class _Fn> inline
    _Fn for_each(_II _F, _II _L, _Fn _Op)
    {for ( ; _F != _L; ++_F)
        _Op(*_F);
    return (_Op); }
```

3. Generische Programmierung in C++

Nicht-Modifizierende Algorithmen (`#include <algorithm>`)

<code>for_each</code>	eine (lesende) Operation auf alle Elemente anwenden
<code>find</code>	erstes Auftreten eines Wertes ermitteln
<code>find_if</code>	erste Erfüllung eines Prädikates ermitteln
<code>search</code>	erstes Auftreten einer Teilfolge ermitteln, gleiche Werte / Prädikat ! overloaded
<code>find_end</code>	letztes Auftreten einer Teilfolge ermitteln, gleiche Werte
<code>find_end_if</code>	letztes Auftreten einer Teilfolge ermitteln, Prädikat
<code>find_first_of</code>	erstes Auftreten eines Elementes aus einem Bereich ermitteln, gleiche Werte
<code>find_first_of_if</code>	erstes Auftreten eines Elementes aus einem Bereich ermitteln, Prädikat
<code>adjacent_find</code>	erstes Auftreten benachbarter gleicher Elemente ermitteln, gleiche Werte / Prädikat ! overloaded
<code>min_element</code>	Position des kleinsten Elements ermitteln, < / binäres bool Prädikat
<code>max_element</code>	Position des größten Elements ermitteln, < / binäres bool Prädikat
<code>count</code>	Elemente zählen, gleich Vorgabewert
<code>count_if</code>	Elemente zählen, für die Prädikat erfüllt
<code>equal</code>	Vergleich Bereich gegen Bereichsanfang, gleiche Werte / Prädikat
<code>lexicographical_compare</code>	Vergleich zweier Bereiche, elementweise gleich / Prädikat
<code>mismatch</code>	Position der ersten Abweichung bei Vergleich Bereich gegen Bereichsanfang gleiche Werte / Prädikat (Ergebnis: Iteratorpaar!)

3. Generische Programmierung in C++

Modifizierende Algorithmen (---> nicht für [multi]set/map !) (`#include <algorithm>`)

`copy` einen Bereich an einen Bereichsanfang kopieren (Platz muss ausreichen!)
`copy_backward` einen Bereich vor ein Bereichsende kopieren (Platz muss ausreichen!)
`swap_ranges` Austausch Bereich gegen Bereichsanfang
`transform` eine lesende und schreibende Operation auf alle Elemente anwenden auch mit Bereich und Bereichsanfang, die binär verknüpft werden und Ergebnisse an einen weiteren Bereichsanfang geschrieben werden (Platz muss ausreichen!)

`fill` einen Bereich mit einem Wert füllen
`fill_n` ab Bereichsanfang n Elemente mit einem Wert füllen (Platz muss ausreichen!)
`generate` einen Bereich mit dem Ergebnis einer Operation füllen
`generate_n` ab Bereichsanfang n Elemente mit dem Erg. einer Operation füllen (Platz muss ausreichen!)
`replace` in einem Bereich alle Elemente mit altem Wert durch neuen Wert ersetzen
`replace_if` in einem Bereich alle Elemente für die eine Prädikat gilt durch neuen Wert ersetzen
`replace_copy` in einem Bereich alle Elemente mit altem Wert durch neuen Wert ersetzt an einen Bereichsanfang kopieren
`replace_copy_if` in einem Bereich alle Elemente für die eine Prädikat gilt durch neuen Wert ersetzt an einen Bereichsanfang kopieren

Systemanalyse

3. Generische Programmierung in C++

Löschende Algorithmen (`#include <algorithm>`)

**ACHTUNG: Größe und Ende des manipulierten Containers ändert sich NICHT!
Ergebnis ist immer das neue Ende des Containers!**

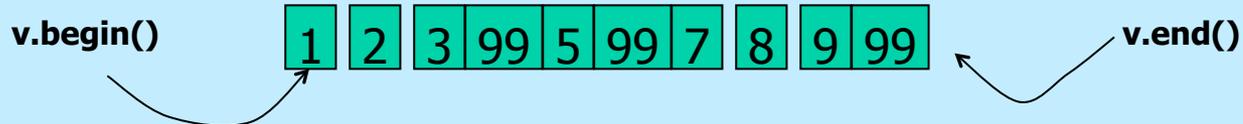
<code>remove</code>	in einem Bereich alle Elemente löschen, die gleich einem Wert sind
<code>remove_if</code>	in einem Bereich alle Elemente löschen, für die ein Prädikat gilt
<code>remove_copy</code>	aus einem Bereich alle Elemente die gleich einem Wert sind, gelöscht an einen Bereichsanfang kopieren
<code>remove_copy_if</code>	aus einem Bereich alle Elemente für die ein Prädikat gilt, gelöscht an einen Bereichsanfang kopieren
<code>unique</code>	in einem Bereich gleiche aufeinanderfolgende Elemente zu einem kollabieren UND in einem Bereich bzgl. einem Prädikat gleiche aufeinanderfolgende Elemente zu einem kollabieren
<code>unique_copy</code>	aus einem Bereich gleiche aufeinanderfolgende Elemente zu einem kollabiert an einen Bereichsanfang kopieren UND aus einem Bereich bzgl. einem Prädikat gleiche aufeinanderfolgende Elemente zu einem kollabiert an einen Bereichsanfang kopieren

3. Generische Programmierung in C++

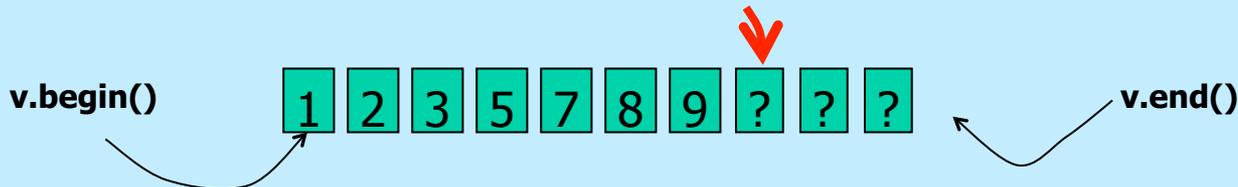
Löschende Algorithmen

ACHTUNG: Größe und Ende des manipulierten Containers ändert sich NICHT! Ergebnis ist immer das neue Ende des Containers!

Scott Meyers: Effective STL Item 32 (pp.139): "Follow `remove`-like Algorithms by `erase` if you really want to remove something."



```
vector<int>::iterator newEnd(remove(v.begin(), v.end(), 99));
```



```
v.erase(remove(v.begin(), v.end(), 99), v.end()); // !!!
```

3. Generische Programmierung in C++

Löschende Algorithmen

ACHTUNG: Auch wenn damit die logische Konsistenz wiederhergestellt ist, wird bei Vektoren kein Speicherplatz zurückgegeben!

Szenario: Sammle Kandidaten K in einem `vector<K> k` (~100.000) treffe Auswahl (die besten 10) entferne und lösche den Rest: der Vektor belegt immer noch 100.000 Elemente im Speicher :-)

Scott Meyers: Effective STL Item 17 (pp.77): "Use » the `swap` trick« to trim excess capacity."

```
vector<K> (k) .swap (k) ; // wie bitte ???
```

```
// {  
//     vector<K> tmp(k) ; // copy-ctor erzeugt so viele elemente wie nötig  
//     tmp.swap(k) ; // k ist der neue (reduzierte) Vektor, tmp wird freigegeben  
// }
```

3. Generische Programmierung in C++

Mutierende Algorithmen (`#include <algorithm>`)

<code>reverse</code>	in einem Bereich die Reihenfolge aller Elemente umkehren
<code>reverse_copy</code>	aus einem Bereich alle Elemente in umgekehrter Reihenfolge an einen Bereichsanfang kopieren
<code>rotate</code>	einen Bereich so rotieren, dass ein neuer Bereichsanfang zum ersten Element wird
<code>rotate_copy</code>	einen Bereich rotiert, an neuem Bereichsanfang an einen Bereichsanfang kopieren
<code>next_permutation</code>	in einem Bereich die nächste Permutation erzeugen, liefert false, wenn letzte (lexikogr. aufsteigende) erreicht ist, sonst true
<code>prev_permutation</code>	in einem Bereich die vorhergehende Permutation erzeugen, liefert false, wenn letzte (lexikogr. absteigende) erreicht ist, sonst true
<code>random_shuffle</code>	einen Bereich zufällig nach einem impliziten oder expliziten Zufallsgenerator 'verwürfeln'
<code>partition</code>	in einem Bereich alle Elemente, für die ein Prädikat gilt, nach vorn schieben, Ergebnis ist die erste Position, an der das Prädikat nicht gilt
<code>stable_partition</code>	in einem Bereich alle Elemente, für die ein Prädikat gilt, nach vorn schieben, Ergebnis ist die erste Position, an der das Prädikat nicht gilt, Teilmengen bleibt erhalten

Reihenfolgen in

3. Generische Programmierung in C++

Sortierende Algorithmen (`#include <algorithm>`)

<code>sort</code>	einen Bereich nach <code><</code> oder einer Relation sortieren
<code>stable_sort</code>	einen Bereich nach <code><</code> oder einer Relation sortieren, gleiche Elemente bleiben in relativer Position zueinander !
<code>partial_sort</code>	einen Bereich bis zu einer Position nach <code><</code> oder einer Relation sortieren
<code>partial_sort_copy</code>	aus einem Bereich bis zu einer Position nach <code><</code> oder einer Relation sortiert in einen anderen Bereich kopieren
<code>nth_element</code>	einen Bereich nach <code><</code> oder einer Relation um eine Position sortieren, so dass diese an der richtigen Stelle steht (links <code><=</code> , rechts <code>></code>)
<code>make_heap</code>	einen Bereich nach <code><</code> oder einer Relation in einen Heap umwandeln ($\forall i : h[i] > h[2*i+1]$ und $h[i] > h[2*i+2]$)
<code>push_heap</code> [f,l)	das letzte Element eines Bereichs [f, l) in einen Heap [f, l-1) zu einem Heap einbauen (make_heap, push_back, push_heap) (nach <code><</code> oder einer Relation)
<code>pop_heap</code>	das erste (nach <code><</code> oder einer Relation größte) Element mit dem letzten vertauschen und einen neuen Heap in [f, l-1) erzeugen
<code>sort_heap</code>	einen Heap nach <code><</code> oder einer Relation sortieren (Ergebnis ist bei <code><</code> kein Heap mehr) $O(N*\log(N))$

3. Generische Programmierung in C++

Algorithmen für sortierte Bereiche (`#include <algorithm>`)

<code>lower_bound</code>	in einem (nach <code><</code> oder einer Relation) sortierten Bereich die erste Position ermitteln, an der ein Wert sortiert nach <code><</code> oder einer Relation eingefügt werden kann
<code>upper_bound</code>	in einem (nach <code><</code> oder einer Relation) sortierten Bereich die letzte Position ermitteln an der ein Wert sortiert nach <code><</code> oder einer Relation eingefügt werden kann
<code>equal_range</code>	in einem nach <code><</code> oder einer Relation sortierten Bereich die erste und letzte Position für sortiertes Einfügen als <code>pair<FwdIter, FwdIter></code> ermitteln
<code>binary_search</code>	ist ein Wert in einem nach <code><</code> oder einer Relation sortierten Bereich enthalten ?
<code>includes</code>	ist ein nach <code><</code> oder einer Relation sortierter Bereich in einem anderen nach <code><</code> oder einer Relation sortierten Bereich enthalten ?

3. Generische Programmierung in C++

Algorithmen für sortierte Bereiche (`#include <algorithm>`)

- `merge` zwei nach `<` oder einer Relation sortierte Bereiche an einen Bereichsanfang sortiert mischen (Platz muss ausreichen!)
- `inplace_merge` zwei nach `<` oder einer Relation sortierte Teilbereiche die direkt hintereinander liegen werden sortiert gemischt (`f1, l1f2, l2`)
- `set_union` zwei nach `<` oder einer Relation sortierte Bereiche an einen Bereichsanfang sortiert mischen, Elemente, die in beiden vorkommen werden nur einmal erfasst
- `set_intersection` aus zwei nach `<` oder einer Relation sortierten Bereichen wird die Schnittmenge an einen Bereichsanfang übertragen
- `set_difference` aus zwei nach `<` oder einer Relation sortierten Bereichen wird die Differenzmenge (im ersten und nicht im zweiten) an einen Bereichsanfang übertragen
- `set_symmetric_difference` aus zwei nach `<` oder einer Relation sortierten Bereichen wird die Komplementärmenge (im ersten und nicht im zweiten oder umgekehrt) an einen Bereichsanfang übertragen

3. Generische Programmierung in C++

Numerische Algorithmen (`#include <numeric>`)

- `accumulate` bildet die Summe (bzw. Anwendung eines Operators) eines Initialwertes mit allen Elementen eines Bereichs
- `partial_sum` bildet die Summe (bzw. Anwendung eines Operators) aller Anfangsstücke eines Bereichs und kopiert diese ab einem Bereichsanfang
- `adjacent_difference` bildet die Differenzen (bzw. Anwendung eines Operators) jeweils benachbarter Elemente eines Bereichs und kopiert diese ab einem Bereichsanfang (erstes Element wird übernommen)
- `inner_product` bildet die Summe (bzw. Anwendung eines Operators) aus einem Initialwert und dem Skalarprodukt (bzw. Anwendung eines Operators) eines Bereichs und eines Bereichsanfangs weiteren

3. Generische Programmierung in C++

Folgende Containertypen existieren:

Typ	Header	Charakteristik	Iteratoren
<code>vector</code>	<code><vector></code>	dynamische Felder mit wahlfreiem Zugriff, erweiterbar am Ende	<code>RandomAccess</code>
<code>deque</code>	<code><deque></code>	dynamische Felder mit wahlfreiem Zugriff, erweiterbar am Anfang und am Ende	<code>RandomAccess</code>
<code>list</code>	<code><list></code>	doppelt verkettete Listen ohne wahlfreiem Zugriff, nicht sortiert	<code>Bidirectional</code>
<code>set</code>	<code><set></code>	Mengen mit impliziter Sortierung, keine Duplikate	<code>Bidirectional</code>
<code>multiset</code>	<code><set></code>	Mengen mit impliziter Sortierung, Duplikate erlaubt	<code>Bidirectional</code>
<code>map</code>	<code><map></code>	Mengen von Schlüssel/Wert- Paaren mit impliziter Sortierung nach dem Schlüssel, keine Duplikate	<code>Bidirectional</code>
<code>multimap</code>	<code><map></code>	Mengen von Schlüssel/Wert- Paaren mit impliziter Sortierung nach dem Schlüssel, Duplikate erlaubt	<code>Bidirectional</code>

3. Generische Programmierung in C++

gemeinsame (generische) Operationen aller Container-Klassen:

1. Erzeugung und Zerstörung

Ausdruck	Bedeutung
<code>Container<Typ> m</code>	erzeugt einen leeren Container ohne Elemente
<code>Container<Typ> m1 (m2)</code>	erzeugt einen Container als Kopie eines anderen (gleichen Typs)
<code>Container<Typ> m (f, l)</code>	erzeugt einen Container und initialisiert ihn mit Kopien der Elemente aus dem Bereich [f, l)
<code>m.~Container<Typ> ()</code>	löscht alle Elemente und gibt deren Speicherplatz frei

3. Generische Programmierung in C++

gemeinsame (generische) Operationen aller Container-Klassen:

2. Nichtverändernde Operationen

Ausdruck	Bedeutung
<code>m.size ()</code>	aktuelle Anzahl von Elementen
<code>m.empty ()</code>	leer? (entspricht <code>m.size()==0</code> ABER SCHNELLER!)
<code>m.max_size ()</code>	maximal mögliche Anzahl von Elementen
<code>m1 == m2</code>	Gleichheit (== auf alle Elemente angewendet)
<code>m1 != m2</code>	Ungleichheit (dito)

3. Generische Programmierung in C++

gemeinsame (generische) Operationen aller Container-Klassen:

3. Zuweisende Operationen

Ausdruck	Bedeutung
<code>m1 = m2</code> <code>m1.swap (m2)</code> <code>swap (m1, m2)</code>	Zuweisung Vertauschen aller Elemente !! immer schneller als <code>m1 = m2</code>

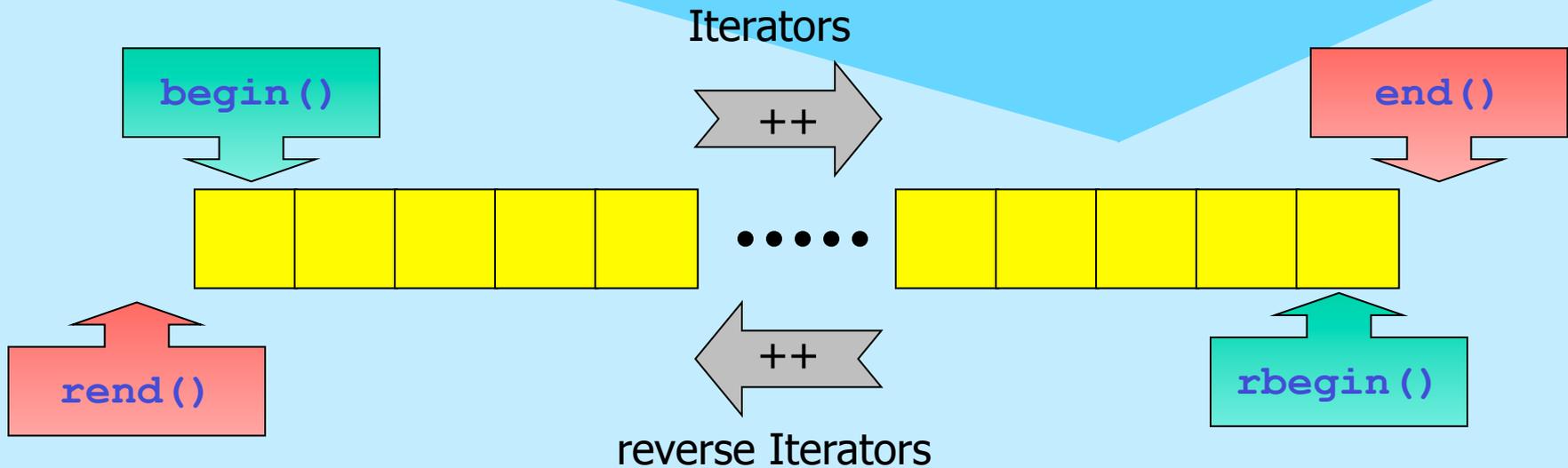
3. Generische Programmierung in C++

gemeinsame (generische) Operationen aller Container-Klassen:

4. Zugreifende Operationen

Ausdruck	Bedeutung
<code>m.begin ()</code>	Iterator auf das erste Element
<code>m.end ()</code>	Iterator hinter das letzte Element
<code>m.rbegin ()</code>	Iterator auf das letzte Element
<code>m.rend ()</code>	Iterator vor das erste Element

Abstrakte Iteratoren



alle Operationen liefern sog. `const iterators` für konstante Container
(über solche ist der Container nicht veränderbar)

3. Generische Programmierung in C++

gemeinsame (generische) Operationen aller Container-Klassen:

5. Einfügende/Löschende Operationen

Ausdruck	Bedeutung
<code>m.insert (pos, e)</code>	Kopie von e bei pos einfügen (Rückgabewert und Bedeutung von pos hängen von Containertyp ab)
<code>m.erase (pos)</code>	löscht Element an der Position pos
<code>m.erase (f, l)</code>	löscht alle Elemente aus dem Bereich [f, l)
<code>m.clear ()</code>	leert den Container

3. Generische Programmierung in C++

Wichtige Eigenschaften der Container

- die Effizienz aller Operationen ist optimiert, der Standard macht Vorgaben zu oberen Grenzen
- die verfügbaren Implementationen orientieren sich am state of the art in ihrer algorithmischen Umsetzung
- die generischen (container-unabhängigen) Algorithmen sind in `<algorithm>` definiert
- häufig gibt es für spezielle Container bessere Algorithmen als Memberfunktionen (z.B. `set<T>::find`)
- nicht alle Kombinationen von Algorithmen und Containern sind möglich (sinnvoll) (z.B. `sort` auf `set`: Mengen sind bereits sortiert, `sort` auf `list` ist nicht möglich)
- Alle Container arbeiten mit einer Wertesemantik, d.h. Elemente werden immer kopiert !

3. Generische Programmierung in C++

Member-Algorithmen sind besser als globale:

```
#include <set>
#include <iostream>
#include <algorithm>
#include "Timer.h"
using namespace std;
typedef set<int> Set;
```

```
main() {
    Set s; int probe = rand();
    {
        cout<<"Generating 1.000.000 nodes: "<<flush;
        Timer t;
        for(int i=0; i<500000; ++i) s.insert(rand());
        s.insert(probe);
        for(int i=1; i<500000; ++i) s.insert(rand());
        cout<<s.size()<<" Elemente in der Menge"<<endl;
    }
}
```

```
#include <ctime>
#include <iostream>
const double millis= 1000000.0;
class Timer { long t_;
    void report()
    { std::cout<<t_/millis<<"s"<<std::endl; }
public:
    Timer(): t_(clock()){}
    ~Timer() { t_=clock()-t_;report(); }
};
```

Timer.h

3. Generische Programmierung in C++

Member-Algorithmen sind besser als globale:

```
{
    cout<<"s.find(...): "<<flush;
    Timer t;
    for (int i=0; i<1000; ++i) s.find(probe); // member
}
{
    cout<<"find (...): "<<flush;
    Timer t;
    for (int i=0; i<1000; ++i)
        find(s.begin(), s.end(), probe); // generic
}
}
```

```
Generating 1.000.000 nodes:
999752 Elemente in der Menge
5.22s
s.find(...): 0s
find (...): 346.93s !!!
```

3. Generische Programmierung in C++

nicht alle Kombinationen von Algorithmen und Containern sind möglich:

```
★ // vector, algorithm, iostream
using namespace std;
typedef vector<int> V;

template <class CT>
void out(const CT& c) {
    for(typename CT::const_iterator i=c.begin(); i!=c.end(); ++i)
        std::cout<<*i<<' ';
    std::cout<<std::endl;
}

int main() {
    V v;
    for(int i=0; i<10; ++i) v.push_back(rand());
    out(v);
    sort(v.begin(), v.end());
    out(v);
}
```

3. Generische Programmierung in C++

nicht alle Kombinationen von Algorithmen und Containern sind möglich: **11.c**

```
★ // list, algorithm, iostream
using namespace std;
typedef list<int> L;

template <class CT>
void out(const CT& c) {
    for(typename CT::const_iterator i=c.begin(); i!=c.end(); ++i)
        std::cout<<*i<<' ';
    std::cout<<std::endl;
}

int main() {
    L l;
    for(int i=0; i<10; ++i) l.push_back(rand());
    out(l);
    sort(l.begin(), l.end()); // ??? list hat keine random access iteratoren!
    out(l);
}
```

l.sort(); // OK

3. Generische Programmierung in C++

nicht alle Kombinationen von Algorithmen und Containern sind möglich:

```
mio ahrens 72 ( c++/experimente ) > make ll
/usr/include/g++/stl_algo.h: In function `void sort<_List_iterator<int,int
&,int
*> >(_List_iterator<int,int &,int *>, _List_iterator<int,int &,int *>)' :
ll.cc:17:   instantiated from here
/usr/include/g++/stl_algo.h:1320: no match for `_List_iterator<int,int &,int
*>
& - _List_iterator<int,int &,int *> &'
.....
mio ahrens 73 ( c++/experimente ) > ~/STLfilt/gfilt ll.cc
BD Software STL Message Decryptor v2.31 for gcc (03/03/2003)
stl_algo.h: In function
`void sort<list<int>::iter>(list<int>::iter, list<int>::iter)' :
ll.cc:17:   instantiated from here
stl_algo.h:1320: no match for `list<int>::iter & - list<int>::iter &'
[STL Decryptor: Suppressed 14 more STL standard header messages]
```

3. Generische Programmierung in C++

Vektoren (`#include <vector>`)

- dynamische Arrays eines beliebigen Typs mit wahlfreiem Zugriff
- Abstraktion von C-Feldern, unsortiert
- alle Algorithmen sind anwendbar (RandomAccessIterator)
- sehr gutes Zeitverhalten beim Löschen und Einfügen am Ende
- ansonsten ist jedes Löschen/Einfügen mit dem Verschieben (Zuweisen) von Elementen verbunden ! (--> schlechtes Zeitverhalten)
- Vektoren wachsen dynamisch:

`size()` Anzahl der aktuell enthaltenen Elemente

`max_size()` Anzahl der maximal möglichen Elemente
(impl.abh.)

`capacity()` Anzahl der insgesamt (ohne) Reallokierung
aufnehmbaren Elemente

`reserve(size_type)` Freihalten von Platz

3. Generische Programmierung in C++

Vektoren (`#include <vector>`)

- beim Einfügen/Löschen werden u.U. Iteratoren ungültig, bei Reallokierung = Copykonstruktor + Destruktor am alten Platz / Element !!! werden alle Iteratoren ungültig

Ausdruck	Bedeutung
<code>vector<E> m (n)</code>	n E-Elemente per default-Konstruktor
<code>vector<Elem> m (n, e)</code>	n E-Elemente als Kopie von e
<code>m.capacity ()</code>	freier Platz ohne Reallokierung
<code>m.reserve (size_type)</code>	Platz freihalten

3. Generische Programmierung in C++

Ausdruck	Bedeutung
<code>m.assign (n, e)</code>	Zuweisung von n Elementen, die als Kopie von e erzeugt werden
<code>m.assign (f, l)</code>	Zuweisung von Kopien der Elemente aus dem Bereich [f, l)
<code>m.at (n)</code>	Element am Index n (mit Prüfung ob es existiert, ggf. <code>out_of_range</code> Exc. !)
<code>m[n]</code>	Element am Index n (ohne Prüfung ob es existiert !)
<code>f.front ()</code>	das erste Element (ohne Prüfung ob es existiert!)
<code>f.back ()</code>	das letzte Element (ohne Prüfung ob es existiert!)

3. Generische Programmierung in C++

Ausdruck	Bedeutung
<code>m.insert (pos, e)</code>	fügt Kopie von e an pos ein, liefert Position des neuen Elements
<code>m.insert (pos, f, l)</code>	bei pos Kopien von [f, l) einfügen Resultat void (member template !)
<code>m.push_back (e)</code>	Kopie von e hinten anhängen
<code>m.pop_back ()</code>	löscht letztes Element (gibt nichts zurück)
<code>m.resize (n)</code>	Größe auf n ändern und ggf. mit dc Elementen auffüllen
<code>m.resize (n, e)</code>	Größe auf n ändern und ggf. mit Kopien von e auffüllen

dc - default constructed

3. Generische Programmierung in C++

Deque "decks" [double ended queue] (`#include <deque>`)

- nach zwei Seiten dynamisches Array eines beliebigen Typs mit wahlfreiem Zugriff, unsortiert
- alle Algorithmen sind anwendbar (RandomAccessIterator)
- sehr gutes Zeitverhalten beim Löschen und Einfügen am Anfang und am Ende
- ansonsten ist jedes Löschen/Einfügen mit dem Verschieben (Zuweisen) von Elementen verbunden ! (--> schlechtes Zeitverhalten)
- Deques werden i.allg. in mehreren Speicherblöcken (anders als Vektoren) automatisch verwaltet:
 - es gibt keine Vorreservierung, implizite Reallokierung
 - **bei jedem Einfügen werden alle Verweise potentiell ungültig**
 - wahlfreier Zugriff ist zwar möglich aber langsamer als bei Vektoren

3. Generische Programmierung in C++

Ausdruck	Bedeutung
<code>wie vector</code>	Erzeugung ...
<code>keine weiteren</code>	Nicht verändernde Operationen ...
<code>wie vector</code>	Zuweisung ...
<code>wie vector auch at und []</code>	Zugriffe ...
<code>wie vector +</code>	Einfügen / Löschen ...
<code>m.push_front (e)</code>	Kopie von e vorn anhängen
<code>m.pop_front ()</code>	löscht erstes Element (gibt nichts zurück)

Listen (`#include <list>`)

- doppelt verkettete Liste eines beliebigen Typs ohne wahlfreien Zugriff (man muss sich "durchhangeln")
- unsortiert
- nicht alle Algorithmen sind anwendbar (BidirektionalIterator)
- gutes Zeitverhalten beim Löschen und Einfügen an beliebiger Stelle !
- Verweise auf Elemente bleiben dabei gültig !!

3. Generische Programmierung in C++

Ausdruck	Bedeutung
<code>wie deque</code>	Erzeugung ...
<code>keine weiteren <u>(nur diese)</u></code>	Nicht verändernde Operationen ...
<code>wie deque</code>	Zuweisung ...
<code>wie deque ohne at und []</code>	Zugriffe ...
<code>wie deque +</code>	Einfügen / Löschen ...
<code>m.remove (e)</code>	löscht alle! Elemente mit dem Wert e
<code>m.remove_if (op)</code>	löscht alle! Elemente für die op(e) gilt
<code>m.erase (pos)</code>	löscht Element bei pos und liefert Position des Folgeelementes
<code>m.erase (f, l)</code>	löscht Elemente der Bereichs [f,l) und liefert Position des Folgeelementes

3. Generische Programmierung in C++

Ausdruck	Bedeutung
<code>m.unique ()</code>	kollabiert Folgen von Elementen mit gleichem Wert
<code>m.unique (op)</code>	kollabiert Folgen von Elementen mit $op(e1) == op(e2)$
<code>m1.splice (pos, m2)</code>	verschiebt alle Elemente von m2 nach m1 vor die Position pos
<code>m1.splice (pos, m2, m2pos)</code>	verschiebt das Element von m2 an der Position m2pos nach m1 vor die Position pos (m1, m2 identisch ist erlaubt)
<code>m1.splice (pos, m2, m2f, m2l)</code>	verschiebt alle Elemente von m2 aus dem Bereich [m2f, m2l) nach m1 vor die Position pos (m1, m2 identisch ist)

3. Generische Programmierung in C++

Ausdruck	Bedeutung
<code>m.sort ()</code>	sortiert nach <
<code>m.sort (op)</code>	sortiert nach op
<code>m1.merge (m2)</code>	mischt sortiertes m2 in sortiertes m1 ein
<code>m1.merge (m2 ,op)</code>	mischt sortiertes m2 in sortiertes m1 ein, sortiert dabei nach op
<code>m.reverse ()</code>	kehrt die Reihenfolge der Elemente um

3. Generische Programmierung in C++

Mengen und - Multimengen (#include <set>)

- Mengencontainer mit automatischer Sortierung der Elemente
- `set` - jedes Element kommt höchstens einmal vor
- `multiset` - Elemente können mehrfach enthalten sein (Bags)
- wegen der automatischen Sortierung muss für den Elementtyp der Operator `<` definiert sein ! Dieser legt auch die Gleichheitsrelation fest: zwei Elemente `a` und `b` sind gleich, wenn weder `a<b` noch `b<a` gilt !
- man kann bei der Instantiierung von Mengentemplates auch ein anderes Ordnungskriterium angeben:

```
namespace std {  
    template < class T,  
              class Compare = less<T>,  
              class Allocator = allocator<T> >  
        class set; /* dito multiset */  
}
```

3. Generische Programmierung in C++

- `set <int, greater<int> >` absteigend_sortierte_Mengen
- `greater<T>` und `less<T>` sind sog. function objects (`operator()` ist definiert) `#include <functional>`

```
template <class Arg, class Result>
struct unary_function {
    typedef Arg    argument_type;
    typedef Result result_type;
};

template <class Arg1, class Arg2, class Result>
struct binary_function {
    typedef Arg1    first_argument_type;
    typedef Arg2    second_argument_type;
    typedef Result  result_type;
};
```

3. Generische Programmierung in C++

Funktoren

```

template <class T> struct greater : public
  binary_function<T,T,bool> {
  bool operator() (const T& x, const T& y) const
  { return x > y; }
};

```

Aufruf	Operation
<code>negate<T>() (p)</code>	$- p$
<code>plus<T>() (p1, p2)</code>	$p1 + p2$
<code>minus<T>() (p1, p2)</code>	$p1 - p2$
<code>multiplies<T>() (p1, p2)</code> [depricated] <code>times<T>()</code>	$p1 * p2$
<code>divides<T>() (p1, p2)</code>	$p1 / p2$
<code>modulus<T>() (p1, p2)</code>	$p1 \% p2$

3. Generische Programmierung in C++

Funktoren

Aufruf	Operation
<code>equal_to<T>() (p1, p2)</code>	<code>p1 == p2</code>
<code>not_equal_to<T>() (p1, p2)</code>	<code>p1 != p2</code>
<code>less<T>() (p1, p2)</code>	<code>p1 < p2</code>
<code>greater<T>() (p1, p2)</code>	<code>p1 > p2</code>
<code>less_equal<T>() (p1, p2)</code>	<code>p1 <= p2</code>
<code>greater_equal<T>() (p1, p2)</code>	<code>p1 >= p2</code>
<code>logical_not<T>() (p)</code>	<code>! p</code>
<code>logical_and<T>() (p1, p2)</code>	<code>p1 && p2</code>
<code>logical_or<T>() (p1, p2)</code>	<code>p1 p2</code>

3. Generische Programmierung in C++

Funktoradaptoren

Aufruf	Operation
<code>bind1st(op, wert)</code>	<code>op(wert, param)</code>
<code>bind2nd(op, wert)</code>	<code>op(param, wert)</code>
<code>not1(op)</code>	<code>!op(param)</code>
<code>not2(op)</code>	<code>!op(param1, param2)</code>

Beispiel: alle geraden Zahlen aus einer Liste entfernen

```
liste.remove_if (not1(bind2nd(modulus<int>(), 2)));
```

3. Generische Programmierung in C++

Mengen und - Multimengen (`#include <set>`)

- Implementierung typischerweise als balancierte Binärbäume (red-black-tree)
- sehr gutes Zeitverhalten beim Suchen, gutes beim Löschen und Einfügen an allen Stellen !
- die Sortierung hat zur Konsequenz, dass man Elemente nicht ändern kann, realisiert dadurch, dass alle Iteratoren Zugriffe auf `const`-Objekte bereitstellen (Wert ändern: alten Wert aufsuchen und löschen, neuen Wert einfügen)
- beim Einfügen einzelner Elemente unterscheiden sich `set` und `multiset` in ihren Rückgabewerten:

<code>multiset</code>	Position des neuen (eingefügten) Elements
<code>set</code>	gibt ein <code>pair<iterator, bool> p</code> zurück: <code>p.second</code> gibt an, ob wirklich eingefügt wurde, <code>p.first</code> ist die Position des eingefügten bzw. bereits vorhanden Elements

3. Generische Programmierung in C++

Ausdruck	Bedeutung
<code>m.count (e)</code>	Anzahl der Elemente mit Wert e <code>set</code> : 0..1; <code>multiset</code> 0..n
<code>m.find (e)</code>	liefert die Position des ersten Auftretens von e oder <code>end()</code>
<code>m.lower_bound (e)</code>	erste Position an der e eingefügt werden könnte (das erste Element $\geq e$)
<code>m.upper_bound (e)</code>	letzte Position an der e eingefügt werden könnte (das erste Element $> e$)
<code>m.equal_range (e)</code>	erste und letzte Position zum Einfügen gibt ein <code>pair<const_iterator,</code>

3. Generische Programmierung in C++

Ausdruck	Bedeutung
<code>m.insert (e)</code>	fügt Element ein und liefert Position des neuen Elements, bzw. ob es geklappt hat
<code>m.insert (pos,e)</code>	fügt Element ein und liefert Position des neuen Elements, bzw. ob es geklappt hat
<code>m.insert (f, l)</code>	Elemente von [f, l) einfügen (void)
<code>m.erase (e)</code>	löscht alle Auftreten von e, return Anzahl der entfernten Elemente
<code>m.erase (pos)</code>	löscht Element bei pos
<code>m.erase (f, l)</code>	löscht Bereich [f, l) liefert Position des Folgeelements

3. Generische Programmierung in C++

Maps und - Multimaps (`#include <map>`)

- Mengencontainer für Schlüssel/Wert- Paare mit automatischer Sortierung anhand der Schlüssel (dictionaries)

```
typedef pair<const Key, T> value_type; // in [multi]map
```

- `map` jeder Schlüsselwert kommt höchstens einmal vor
- `multimap` Schlüsselwerte können mehrfach enthalten sein
- wegen der automatischen Sortierung muss für den Schlüsseltyp der Operator `<` definiert sein ! dieser legt auch die Gleichheitsrelation fest: zwei Schlüssel a und b sind gleich, wenn weder `a<b` noch `b<a` gilt !

3. Generische Programmierung in C++

- die Sortierung hat zur Konsequenz, dass man Schlüssel nicht ändern kann, realisiert dadurch, dass alle Schlüssel `const`-Objekte sind, der Wert zu einem Schlüssel kann geändert werden !
- man kann bei der Instantiierung von `map`-Templates auch ein anderes Ordnungskriterium angeben

```
namespace std {  
    template <  
        class Key,  
        class T,  
        class Compare = less<Key>,  
        class Allocator = allocator<pair<const Key, T> >  
    >  
    class map; // dito multimap  
}
```

3. Generische Programmierung in C++

Ausdruck	Bedeutung
wie set (count ... equal_range)	e ist ein Schlüsselwert (Key)
wie set (insert ... erase)	e ist vom Typ <code>[multi]map<Key, T>::value_type</code>
<code>m[key]</code> (nur für map !)	liefert eine Referenz für den Wert des Elements zu key, fügt das Element dabei

- beim Einfügen einzelner Elemente unterscheiden sich `map` und `multimap` in ihren Rückgabewerten:

`multimap`

`map`

Position des neuen (eingefügten) Elements
gibt ein `pair<iterator, bool> p` zurück:
`p.second` gibt an, ob wirklich eingefügt

wurde,

`p.first` ist die Position des eingefügten bzw. bereits vorhandenen Elements

3. Generische Programmierung in C++

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

using namespace std ;

int main ( ) {
    string buf ;
    map < string , int > m ;
    while ( cin >> buf ) m [ buf ] ++ ;
    multimap < int , string > n ;
    for ( map < string , int > :: iterator p = m . begin ( ) ;
          p != m . end ( ) ; ++ p )
        n . insert ( multimap < int , string > :: value_type ( p -> second , p ->
            first ) ) ;
    for ( multimap < int , string > :: iterator p = n . begin ( ) ;
          p != n . end ( ) ; ++ p )
        cout << p -> first << "\t" << p -> second << endl ;
}
```

```
$ wc < wc.cpp
1      "\t"
1      <iostream>
...
6      string
10     (
10     )
10     p
11     ;
```

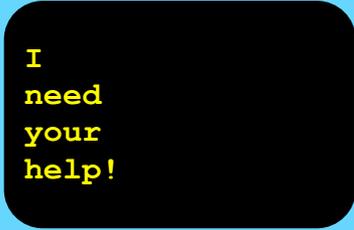
3. Generische Programmierung in C++

Input - & Output – Iteratoren

```
#include <string>
#include <iterator>
#include <algorithm>
#include <vector>
#include <iostream>
#include <sstream>
```

```
int main()
{
    std::istringstream s("I need your help!");

    std::vector<std::string> v( (std::istream_iterator<std::string>(s) ),
                               std::istream_iterator<std::string>());
    std::copy(v.begin(), v.end(),
              std::ostream_iterator<std::string>(std::cout, "\n"));
}
```



I
need
your
help!

Scott Meyers „Effective STL“ (Item 6:) Be alert for C++'s most vexing parse

3. Generische Programmierung in C++

	vector	deque	list	set	multiset	map	multimap
interne Datenstruktur	dynamisches Array	Menge von Arrays	doppelt verkettete Liste	Binärbaum	Binärbaum	Binärbaum	Binärbaum
Elemente-Art	Wert	Wert	Wert	Wert	Wert	Wertepaar	Wertepaar
Duplikate erlaubt	ja	ja	ja	nein	ja	nein (Schlüssel)	ja (Schlüssel)
wahlfreier Zugriff	ja	ja	nein	nein	nein	über Schlüssel	nein
Iterator-Kategorie	Random-Access	Random-Access	Bidirectional	Bidirectional (Wert konstant)	Bidirectional (Wert konstant)	Bidirectional (Schlüssel konstant)	Bidirectional (Schlüssel konstant)
Suchen/Finden von Elementen	langsam	langsam	sehr langsam	sehr schnell	sehr schnell	sehr schnell für Schlüssel	sehr schnell für Schlüssel
Einfügen/Löschen schnell	am Ende	am Anfang und am Ende	überall konstant	überall logarithmisch	überall logarithmisch	überall logarithmisch	überall logarithmisch
Verweise werden ungültig	bei Reallokierung	potenziell immer	nein	nein	nein	nein	nein
Speicher wird freigegeben	nie	manchmal	immer	immer	immer	immer	immer
Speicherreservierung möglich	ja	nein	-	-	-	-	-

3. Generische Programmierung in C++

Container-Adaptoren

neben den (primären) Containern gibt es einige sog. Container-Adaptoren, es handelt sich dabei um Anpassungen der Container für spezielle Anwendungen

Queues (`#include <queue>`)

FIFO-Warteschlangen (auch mittels `list` instantiierbar)

```
namespace std {  
    template < class T,  
              class Container = deque<T>  
    >  
    class queue;  
}
```

3. Generische Programmierung in C++

Priority Queues (`#include <queue>`)

Warteschlangen mit Prioritäten (auch mittels `deque` instantiierbar)

```
namespace std {  
    template < class T, class Container = vector<T>,  
              class Compare = less<typename  
Container::value_type>  
    >  
    class priority_queue;  
}
```

Stacks (`#include <stack>`)

Kellerspeicher (auch mittels `list` und `vector` instantiierbar)

```
namespace std {  
    template < class T, class Container = deque<T> >  
    class stack;
```

3. Generische Programmierung in C++

Strings (`#include <string>`) (vgl. z.B. Josuttis, Kapitel 10, S.357 ff.)

```
namespace std {  
    template < class charT,  
              class traits = char_traits<charT>  
              class allocator = allocator <charT> >  
    class basic_string;  
    // noch nicht auf Zeichentyp festgelegt  
    typedef basic_string<char>      string; // ASCII  
    typedef basic_string<wchar_t>  wstring; // Unicode  
}
```

mit Einführung von `string` wurde auch die `iostream`-Bibliothek erheblich überarbeitet, um mit strings zusammenarbeiten zu können, ohne dass sich die Nutzerschnittstelle wesentlich verändert hat, ggf. ist wichtig

```
typedef basic_ostream<char, char_traits<char> > ostream;
```

Numerische Klassen

Komplexe Zahlen (`#include <complex>`)

```
namespace std {  
    template<class T> class complex;  
    template<> class complex<float>;  
    template<> class complex<double>;  
    template<> class complex<long double>;  
}
```

komplexe Zahlen mit allem "drum und dran" (Arithmetik und transzendente Funktionen) für float, double, long double bereits vordefiniert !

3. Generische Programmierung in C++

Valarrays (`#include <valarray>`)

```
namespace std {  
    template<class T> class valarray;  
}
```

Vektoren und Matrizen für numerische Operationen mit gutem Zeitverhalten (keine temporären Zwischenergebnisse) und kompakter Notation (z.B. Ausführung von Operationen auf allen Elementen, Bildung von sog. Slices, ...)

Bitsets (`#include <bitset>`)

```
namespace std {  
    template< size_t bits > class bitset;  
}
```

Bitvektoren (konstanter Länge)

3. Generische Programmierung in C++

vector<bool> - kein Container von bool's

```
std::vector<bool> v;
```

```
bool *pb = & v[0]; // nicht übersetzbar ☹️
```

Scott Meyers „Effective STL“ (Item 18:) Avoid using vector<bool>.

Allokatoren (`#include <memory>`)

- Separation der Speicherverwaltung für dynamische Objekte (Listen- und Baum-Knoten etc.) von den abstrakten Containern: Container enthalten als Typparameter eine Klasse, die die Speicherverwaltung komplett übernimmt
- Standardmäßig stellt jede Implementation einen default allocator in der Klasse `std::allocator` bereit, dieser verwaltet geeignete Memory-Pools
- alternative Allokatoren (z.B. mit garbage collection, oder auf verschiedenen Speichermodellen ...) sind möglich und beeinflussen die eigentliche Funktionalität der Container in keiner Weise !!

3. Generische Programmierung in C++

auto_ptr (`#include <memory>`)

```
namespace std {
    template<class X> class auto_ptr {
        template <class Y> struct auto_ptr_ref {};
    public:
        typedef X element_type;
        explicit auto_ptr(X* p =0) throw();
        auto_ptr(auto_ptr&) throw();
        template<class Y> auto_ptr(auto_ptr<Y>&) throw();
        auto_ptr& operator=(auto_ptr&) throw();
        template<class Y>
            auto_ptr& operator=(auto_ptr<Y>&) throw();
        ~auto_ptr() throw();
    };
};
```

3. Generische Programmierung in C++

`auto_ptr` (`#include <memory>`)

```
// ...
X& operator*() const throw();
X* operator->() const throw();
X* get() const throw();
X* release() throw();
void reset(X* p =0) throw();

auto_ptr(auto_ptr_ref<X>) throw();
template<class Y> operator auto_ptr_ref<Y>() throw();
template<class Y> operator auto_ptr<Y>() throw();
};
}
```

3. Generische Programmierung in C++

auto_ptr (`#include <memory>`)

owning pointers - ein `auto_ptr` -Objekt kapselt einen Zeiger, bei Zuweisungen (Initialisierungen) von `auto_ptr` -Objekten wird die Zuständigkeit weitergereicht, im Quellobjekt wird 0 hinterlegt, `auto_ptr` ist daher **NICHT in Containern benutzbar !**

`std::tr1::shared_ptr/weak_ptr` z.B. [hier](#)

`auto_ptr` -Objekte verhalten sich selbst wie Zeiger (`operator->`)
damit lassen sich auch dynamisch erzeugte Objekte exception safe verwalten:

```
void foo() {
    X* p = new X;
    p->bar();
    // leak ???
    delete p;
}

void foo() {
    auto_ptr<X> p (new X);
    p->bar();
    // never leaks:
    // ~auto_ptr<X>() !!!
}
```

3. Generische Programmierung in C++

Erweiterungen (über den derzeit standardisierten Umfang hinaus)

in konkreten Implementationen meist nicht als solche ausgewiesen, sondern unterschiedslos mit den standardisierten Klassen/Funktionen realisiert !

maßgeblicher Vertreter (und guter Kandidat für 2nd revision des C++ - Standards) ist die SGI - STL, die folgende wichtige Zusätze implementiert (z.B. ab libg++2.8.1):

- neue Algorithmen: "Kleinigkeiten", die sich aber nicht allgemein und effizient mit den vorhandenen generischen Algorithmen realisieren lassen: `iota` (Bereich mit aufsteigenden Zahlen initialisieren) , `random_sample` (eine zufällige Stichprobe ohne Änderung des Originalcontainers [statt `random_shuffle`]), etc.
- ein verbesserter `sort`-Algorithmus (aka introsort) der sich auch bei nahezu vorsortierten Containern optimal [$O(n \log n)$] verhält

3. Generische Programmierung in C++

Erweiterungen (über den derzeit standardisierten Umfang hinaus)

- neue Container: die assoziativen Container `[multi]set`, `[multi]map` sind immer sortiert, dies ist nicht immer nötig (kostet aber overhead) bzw. manchmal sogar unerwünscht ---> TR1 `unordered_set`, `unordered_map`, `hash_multiset`, `hash_multimap` in der Benutzung wie zugehörige Container, aber effizienter
- nicht immer braucht man doppelt verkettete Listen ---> TR1 `slist`
- eine spezielle Stringklasse `rope` (Ropes are a scalable string implementation: they are designed for efficient operation that involve the string as a whole. Operations such as assignment, concatenation, and substring take time that is nearly independent of the length of the string. Unlike C strings, ropes are a reasonable representation for very long strings such as edit buffers or mail messages) – nicht in TR1
- thread safety - derzeitige Container sind nicht notwendig thread safe !!!