ProgCPP_ZF FS18

N. Kaelin

29. August 2018

Gemäss den Folien von Prof. R. Bonderer.

Inhaltsverzeichnis

Teil I

Einführung

1 Charakteristiken von C++

- C++ erlaubt sowohl prozedurale, objektorientierte als auch generische Programmierung

---

Achtung: Nicht jedes C++-Programm ist objektorientiert!

- C++ ist sehr mächtig
- C++ ist eine Obermenge von C
- Syntaktisch ist C++ sehr ähnlich oder identisch zu C
- C++ ist sicherer als C

2 Entstehung von C++

- C Ritchie 1971, typisiert
- ANSI C seit 1983
- C++ Stroustrup 1986, Klassen und OO
- Final Standard ISO/ANSI ab 1990

  ISO/IEC 14882:2003 Programming Languages - C++, aka C++03

  ISO/IEC 14882:2011 Programming Languages - C++, aka C++11

  ISO/IEC 14882:2014 Programming Languages - C++, aka C++14

3 Welches C++?

- **Im Modul ProgCPP setzen wir den Standard 14882:2003, d.h. C++03 ein**
- Wieso nicht C++11 oder C++14?
  - Der neue Standard hat einige interessante Erneuerungen zu bieten, die C++ noch näher an C# kommen lassen
  - Durch diese neuen Features wird die Sprache leider nicht einfacher sondern umfangreicher und komplizierter
  - Der Nutzen von einzelnen Neuerungen ist m.E. fraglich
  - Bei Embedded Systems wird heute noch mehrheitlich C verwendet. Diejenigen, die C++ einsetzen, nehmen C++03
  - Ich bin gespannt, ob und wann C++11 im Embedded-Bereich den Durchbruch schafft

4 C++-Unterstützung von Texas Instruments (TI)

- TI als Repräsentant für einen Anbieter von Embedded-Entwicklungsumgebungen
- The TI compilers for all devices support
  C++98 (ISO/IEC 14882:1998)
  C++03 (this is a bug fix update to C++98)
- The TI compiler does not support
  C++ TR1
  C++11 (ISO/IEC 14882:2011)
- Noch neuere Versionen erst recht nicht

5 Hello World!

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

int main(void)
{
  cout << "Hello World!" << endl;
  return 0;
}
```

6 C++-Compiler (noch nicht Eclipse)

Statt **gcc** (für C-Programme) muss **g++** (für C++-Programme) oder clang++ verwendet werden:

g++ -o hello hello.cpp
clang++ -o hello hello.cpp

7 Lexikalische Elemente von C++

- C++ ist hier völlig identisch zu C
  - Bezeichner
  - Schlüsselwörter (werden ergänzt durch zusätzliche)
  - Literale
  - Operatoren (werden ergänzt durch zusätzliche)
  - Kommentare
- Codierstil beachten (Ellemtel-Richtlinien)

8 Styleguide: Bezeichner (~Namen)

- Variablen, Konstanten und Objekte
  - mit Kleinbuchstaben beginnen
  - erster Buchstaben von zusammengesetzten Wörtern ist gross (mixed case)
  - keine Underscores
    Beispiele: counter, maxSpeed

- Funktionen
  - mit Kleinbuchstaben beginnen
  - erster Buchstaben von zusammengesetzten Wörtern ist gross (mixed case)
  - Namen beschreiben Tätigkeiten
  - keine Underscores
    Beispiele: getCount(), init(), setMaxSpeed()

- Klassen, Strukturen, Enums
  - mit Grossbuchstaben beginnen
  - erster Buchstaben von zusammengesetzten Wörtern ist gross (mixed case)
  - keine Underscores
    Beispiele: MotorController, Queue, Color

9 Typkonzept

9.1 Datentypen

- In C++ gibt es die gleichen Basisdatentypen (plain old data types, POD types) wie in C
- Zusätzlich: es gibt einen Typ für boole'sche Werte: **bool**
- Der Typ **bool** hat die beiden Werte **true** und **false**

9.2 #define

- In C oft noch geduldet, in C++ verpönt
- *#define* bewirkt eine reine Textersetzung durch den Präprozessor, umgeht dadurch Syntax- und Typenprüfung
- Für die Definition von symbolischen Konstanten soll statt *#define* das Schlüsselwort **const** oder **enum**

verwendet werden

schlecht:
```
#define PI 3.14159
#define VERSUCHE_MAX 4
```

gut:
```
const double pi = 3.14159;
const int versucheMax = 4;
enum{versucheMax = 4};    //noch besser als const int
```

10 Ausdrücke und Operatoren

- C++ ist hier völlig identisch zu C
- Es gibt noch ein paar zusätzliche Operatoren in C++ (z.B. für type casting)

11 Anweisungen

- Die Syntax der Blockanweisung ist identisch zu C
- Die Syntax der Steuerstrukturen ist identisch zu C
  - Sequenz
  - Iteration (for, while, do ... while)
  - Selektion (if, if ... else, switch)
- Sprunganweisungen sind auch identisch zu C
  - break
  - continue
  - return
  - goto → nicht verwenden!!!

12 Streams

12.1 Streamkonzept

- Ein Stream repräsentiert einen sequentiellen Datenstrom
- Die Operatoren auf dem Stream sind « und »
  Für vordefinierte Datentypen sind diese Operatoren schon definiert, für eigene selbstdefinierte Klassen können diese Operatoren überladen werden (*siehe 53.5*)
- C++ stellt 4 Standardströme zur Verfügung
  - cin: Standard-Eingabestrom, normalerweise die Tastatur
  - cout: Standard-Ausgabestrom, normalerweise der Bildschirm
  - cerr: Standard-Fehlerausgabestrom, normalerweise der Bildschirm
  - clog: mit *cerr* gekoppelt
- Alle diese Ströme können auch mit einer Datei verbunden werden

12.2 Einsatz von Streams

- In C werden printf() und scanf() mit stdin, stdout, stderr verwendet.
- printf() und scanf() könnten in C++ immer noch verwendet werden. Dies soll jedoch im Normalfall vermieden werden.
- C++ bietet analog die Streams cin, cout, cerr an.
- Der Zugriff auf cin und cout ist einfacher und komfortabler als die Verwendung von printf() und scanf().
- cin und cout müssen immer ganz links in einer Befehlszeile stehen. Die Daten kommen von cin (Tastatur, Operator ») und gehen zu cout (Konsole, Operator «).

12.3 Ausgabe: Klasse ostream

- Methoden für die Ausgabe von vordefinierten Datentypen, z.B.:
  ostream& operator ‹‹(int n);
  ostream& operator ‹‹(double d);
  ostream& operator ‹‹(char c);
- Weitere Klassen können diesen Operator überschreiben, z.B.:
  ostream& operator ‹‹(std::string str);
- Nutzung mit cout (vordefiniertes Objekt der Klasse ostream):
  int i = 45;

cout ‹‹“Hallo “‹‹i ‹‹endl;

12.4 Eingabe: Klasse istream

- Methoden für die Eingabe von vordefinierten Datentypen, z.B.:
  istream& operator ››(int& n);
  istream& operator ››(double& d);
  istream& operator ››(char& c);
- Weitere Klassen können diesen Operator überschreiben z.B.:
  istream& operator ››(std::string& str);
- Nutzung mit cin (vordefiniertes Objekt der Klasse istream):
  double d;
  string str;
  cin ››d ››str;

12.5 Formatierte Ein- und Ausgabe

ios, eine Basisklasse von iostream, stellt verschiedene Möglichkeiten (Format Flags) vor, um die Ein- und Ausgabe zu beeinflussen.
Beispiel:
cout « showbase« hex« 27; // Ausgabe: 0x1b

12.5.1 Format-Flags um Überblick (unvollständig)

Flag	Wirkung
boolalpha	bool-Werte werden textuell ausgegeben
dec	Ausgabe erfolgt dezimal
fixed	Gleitkommazahlen im Fixpunktformat
hex	Ausgabe erfolgt hexadezimal
internal	Ausgabe innerhalb Feld
left	linksbündig
oct	Ausgabe erfolgt oktal
right	rechtsbündig
scientific	Gleitkommazahl wissenschaftlich (Mantisse und Exponent)
showbase	Zahlenbasis wird angezeigt
showpoint	Dezimalpunkt wird immer ausgegeben
showpos	Vorzeichen bei positiven Zahlen anzeigen
skipws	Führende Whitespaces nicht anzeigen
unitbuf	Leert Buffer des Outputstreams nach Schreiben
uppercase	Alle Kleinbuchstaben in Grossbuchstaben wandeln

Teil II
Funktionen

13 Grundlegendes

13.1 Synonyme für Funktionen

- Unterprogramm
- Subroutine
- Prozedur (Funktion ohne Rückgabewert)
- Methode (in der Objektorientierten Programmierung)

13.2 Funktionen (Vergleich zu C)

- Alles was in C möglich ist, gibt es auch in C++
- Einige Punkte sind in C++ zusätzlich eingeführt worden:
  - Operatorfunktion (Spezialität von C++, folgt später)
  - inline-Funktion
  - Vorbelegung von Parametern (default-Argumente)
  - Überladen von Funktionen (overloading)

13.3 Aufgabe einer Funktion

- Gleichartige, funktional zusammengehörende Programmteile unter einem eigenen Namen zusammenfassen. Der Programmteil kann mit diesem Namen aufgerufen werden.
- Einige Funktionen (im speziellen mathematische) sollen parametrisiert werden können, z.B. die Cosinusfunktion macht nur Sinn, wenn sie mit unterschiedlichen Argumenten aufgerufen werden kann.
- Divide et impera (divide and conquer, teile und herrsche):
  Ein grosses Problem ist einfacher zu lösen, wenn es in mehrere einfachere Teilprobleme aufgeteilt wird.

13.4 Definition von Funktionen

- Funktionskopf
  - legt die Aufrufschnittstelle (Signatur) der Funktion fest
  - besteht aus:
    - Rückgabetyp
    - Funktionsname (fast beliebig wählbar)
    - Parameterliste
- Funktionsrumpf
  - Lokale Vereinbarungen und Anweisungen innerhalb eines Blocks

13.5 Deklaration von Funktionen (Funktionsprototypen)

```
void init(int* alpha);  // Funktionsprototyp
```

13.6 Kosten einer Funktion

- Der Code einer Funktion ist nur einmal im Speicher vorhanden.
  - Vorteil: spart Speicher
- Der Aufruf einer Funktion bewirkt eine zeitliche Einbusse im Vergleich zu einer direkten Befehlsausführung.
  - Nachteil: Zeitverlust, Overhead

14 C-Makro

14.1 C-Makro mit #define

- C-Makros bewirken eine reine Textersetzung ohne jegliche Typenprüfung
- Bei Nebeneffekten (welche zwar vermieden werden sollten) verhalten sich Makros oft nicht wie beabsichtigt

Achtung: C-Makros lösen zwar das Problem mit dem Overhead, sind aber sehr unsicher. Bitte nicht einsetzen!

14.2 Beispiel mit C-Makro: Maximum zweier int-Werte

```
#define MAX(a,b)  ((a)>(b) ? (a) : (b))

int z1 = 4;
int z2 = 6;
int m = MAX(z1,z2);
 wird expandiert zu: m = ((z1)>(z2) ? (z1) : (z2)); // m=6, z1=4, z2=6
m = MAX(++z1,++z2);
 erwartet wird: m=7, z1=5, z2=7
```

14.2.1 Was passiert wirklich?

```
m = MAX(++z1,++z2);
 wird expandiert zu:
 m = ((++z1)>(++z2) ? (++z1) : (++z2));m = ((5)>(7) ? (++z1) : (8));
// z2 wird zweimal inkrementiert!
// m=8, z1=5 ,z2=8
 erwartet wird:
m=7, z1=5, z2=7
```

15 inline-Funktionen

15.1 Grundlegendes

- Lösen das Overhead-Problem
  - Code wird direkt eingefügt, kein Funktionsaufruf
- Typenprüfung findet statt
- Einsetzen wenn der Codeumfang der Funktion sehr klein ist und die Funktion häufig aufgerufen wird (z.B. in Schleifen)
- Achtung: Rekursive Funktionen und Funktionen, auf die mit einem Funktionspointer gezeigt wird, werden nicht inlined.

15.2 Beispiel mit inline-Code: Maximum zweier int-Werte

```
inline int max(int a, int b)
{
  return a > b ? a : b;
}

int main()
{
  int z1 = 4;
  int z2 = 6;
  int m = max(z1, z2);
  // m=6, z1=4, z2=6
  m = max(++z1, ++z2);
  // m=7, z1=5, z2=7
}
```

16 Grundsätze für Optimierungen

1. Optimize: don't do it
2. If you have to do it: do it later

17 default-Argumente

17.1 Vorbelegte Parameter (default-Argumente)

```
void prtDate(int day=1, int month=3, int year=2009);
```

- Parametern können im Funktionsprototypen (bitte nur dort!) Defaultwerte zugewiesen werden.
- Beim Funktionsaufruf können (aber müssen nicht) die Parameter mit default-Werten weggelassen werden

---

Achtung: Hinter (rechts von) einem default-Argument darf kein nicht vorbelegter Parameter mehr folgen, d.h. wenn bei einem Parameter ein default definiert wird, dann müssen bei allen weiteren Parametern dieser Funktion ebenfalls defaults definiert werden.

- Grund: Die Parameterübergabe erfolgt in C++ von links nach rechts.

17.1.1 Beispiel: default-Argumente

```
void prtDate(int day=1, int month=3, int year=2009);
```

nicht erlaubt sind z.B. diese Deklarationen:

```
void prtDate2(int day=7, int month, int year=2009);
void prtDate3(int day, int month=3, int year);
```

erlaubt sind z.B. die folgenden Aufrufe:

```
prtDate();            // 1-3-2009
prtDate(23);          // 23-3-2009
prtDate(15,6);        // 15-6-2009
prtDate(24,7,2012);   // 24-7-2012
```

17.2 Nutzen von default-Argumenten

- Wenn in einer bereits existierenden Funktion neue Argumente aufgenommen werden müssen, dann:
  - Neue Argumente hinten als default-Argumente anfügen.
  - Die bereits bestehenden alten Aufrufe (mit weniger Argumenten) können unverändert beibehalten werden.
  - Die Implementation der Funktion muss angepasst werden.
- Sehr nützlich z.B. bei Konstruktoren in der objektorientierten Programmierung.

18 Overloading

18.1 Überladen von Funktionen (overloading)

- Zweck:
  Eine Funktion sollte allenfalls mit unterschiedlichen Parametern aufgerufen werden können:
  void print(char ch);
  void print(int i);
  void print(double d);
- Alternative (in C) wäre:
  void printChar(char ch);
  void printInt(int i);

void printDouble(double d);
→ Ist umständlicher und unverständlicher

18.2 Overloading in C++

- Die Identifikation einer Funktion erfolgt über die Signatur, nicht nur über den Namen
  - Die Signatur besteht aus:
    Name der Funktion **plus** die Parameterliste (Reihenfolge, Anzahl, Typ)
    (Der Returntyp wird nicht berücksichtigt)
- Der Name der Funktion ist identisch
- Die Implementation muss für jede überladene Funktion separat erfolgen

---

Hinweis: Overloading sollte zurückhaltend eingesetzt werden. Wenn möglich sind default-Argumente vorzuziehen.

18.2.1 Deklaration von überladenen Funktionen: Regeln

- Entsprechen Rückgabetyp und Parameterliste der zweiten Deklaration denen der ersten, so wird die zweite als gültige Re-Deklaration der ersten aufgefasst.
- Unterscheiden sich die beiden Deklarationen nur bezüglich ihrer Rückgabetypen, so behandelt der Compiler die zweite Deklaration als fehlerhafte Re-Deklaration der ersten.
  → Der Rückgabetyp von Funktionen kann nicht als Unterscheidungskriterium verwendet werden.
- Nur wenn beide Deklarationen sich in Anzahl oder Typ ihrer Parameter unterscheiden, werden sie als zwei verschiedene Deklarationen mit demselben Funktionsnamen betrachtet (überladene Funktionen).

18.2.2 Funktionen sollen nur dann überladen werden, wenn ...

- **die Funktionen eine vergleichbare Operation bezeichnen, die jeweils mit anderen Parametertypen ausgeführt wird**
- **dieselbe Wirkung nicht durch default-Parameter erreicht werden kann**

19 default-Parameter vs. Overloading

Variante mit Overloading:
3 unterschiedliche Funktionen belegen Speicher
3 unterschiedliche Funktionen müssen gewartet werden

```
void print(int i);
void print(int i, int width);
void print(int i, char fillchar, int width);
```

Variante mit default-Parametern:
Eine einzige Funktion belegt Speicher
Nur eine Funktion muss gewartet werden

```
void print(int i, int width=0, char fillchar=0);
```

Achtung: Keinesfalls default-Parameter in überladenen Funktionen verwenden!

Teil III

Pointer und Referenzen

20 Höhere und strukturierte Datentypen

20.1 Höhere Datentypen

- Pointer
- Referenzen
- Vektoren

20.2 Strukturierte Datentypen

- Strukturen
- Klassen

21 Pointer

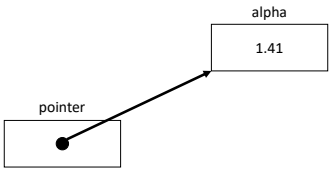
- Ein Pointer ist eine Variable, welche die Adresse einer im Speicher befindlichen Variablen oder Funktion aufnehmen kann
- Man sagt, der Pointer zeige (to point) auf diese Speicherzelle
- Pointer in C++ sind zu 99.99% identisch zu Pointern in C

21.1 Adresse

- Die Nummer einer Speicherzelle wird als **Adresse** bezeichnet
- Bei einem byteweise adressierbaren Speicher (ist üblich) liegt an jeder Adresse genau 1 Byte

21.2 Standarddarstellung von Pointern

```
float alpha;
float* pointer;
alpha = 1.41f;
pointer = &alpha;
```



21.3 Pointer und Datentyp

- Pointer in C++ sind typisiert, sie zeigen auf eine Variable des definierten Typs (→ der Speicherbereich, auf den ein bestimmter Pointer zeigt, wird entsprechend des definierten Pointer-Typs interpretiert)
- Der Speicherbedarf einer Pointervariablen ist **unabhängig (!)** vom Pointer-Typ. Er ist so gross, dass die maximale Adresse Platz findet (z.B. 32 Bit für 2^{32} Adressen)

21.4 Definition einer Pointervariablen

Typname Datentyp des Pointers

* Kennzeichnung des Pointers

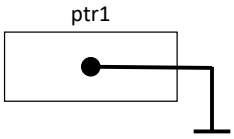
```
Typname* pointerName;
int* ptr1;    // ptr1: Pointer auf int
double* ptr2; // ptr2: Pointer auf double
```

21.4.1 Initialisierung mit Null-Pointer

Mit dem Null-Pointer wird angezeigt, dass der Pointer auf **kein** Objekt zeigt. Dem Pointer wird ein definierter Nullwert zugewiesen.

Hinweis: Der Pointer zeigt nicht auf die Adresse 0!

```
int* ptr = 0; // nicht NULL verwenden!
```



21.4.2 Der Adressoperator & (Referenzierung)

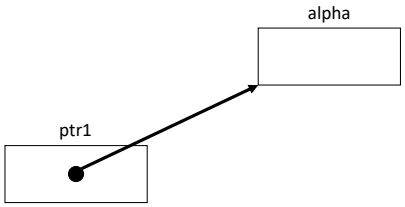
Ist x eine Variable vom Typ Typname, so liefert der Ausdruck &x einen Pointer auf die Variable x, d.h. er liefert die Adresse der Variablen x.

```
int wert;
int* ptr;      // Pointer ptr auf Typ int
      // zeigt auf eine nicht definierte Adresse

ptr = &wert;     // ptr zeigt nun auf Variable wert
      // -> ptr enthaelt Adresse der Variablen wert
```

21.4.3 Kopieren von Adressen

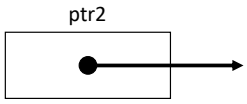
1.

```
float alpha;
float* ptr1 = &alpha;
```



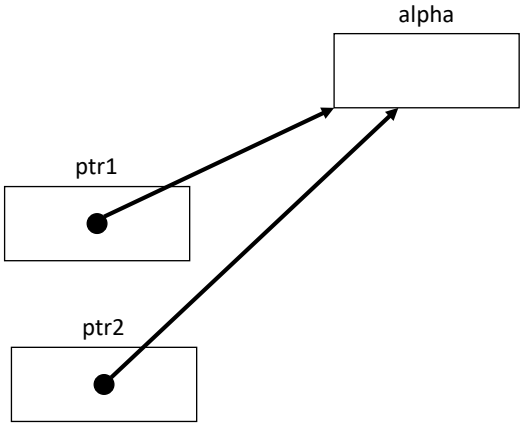
2.

```
float* ptr2;
```



3.

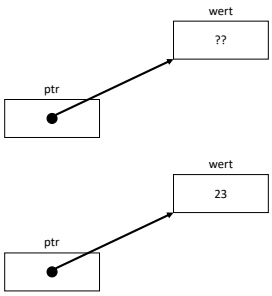
```
ptr2 = ptr1;
```



21.4.4 Der Inhaltsoperator * (Dereferenzierung)

Ist *ptr* ein Pointer vom Typ Typname, so liefert der Ausdruck **ptr* den Inhalt der Speicherzelle, auf welche *ptr* zeigt.

```
int wert;      // Variable vom Typ int
int* ptr;      // Pointer ptr auf Typ int
    // zeigt auf eine nicht definierte Adresse
ptr = &wert;   // ptr zeigt nun auf Variable wert
    // -> ptr enthaelt die Adresse der Variablen wert
*ptr = 23;     // Aequivalent: wert = 23;
```



21.4.5 const bei Pointern: Vorsicht

1. Variante: konstanter String

```
char str[] = "Ein String";
const char* text = str:
```

Dies bedeutet nicht, dass der Pointer text konstant ist, sondern dass *text* auf einen konstanten String zeigt.
Von rechts nach links lesen:
"text ist ein Pointer auf eine char-Konstante"

erlaubt:

```
char ch = text[1];     // ==  'i'
text = "Ein anderer String";
```

nicht erlaubt:

```
text[1] = 's';
```

2. Variante: konstanter Pointer

```
char str[]  = "Ein String";
char* const text = strL;
```

Hier ist nun der Pointer text konstant. Die Position von const ist sehr relevant!
Von rechts nach links lesen:
"text ist ein konstanter Pointer auf ein char"

erlaubt:

```
char ch = text[1];     // ==  'i'
```

nicht erlaubt:

```
text[1] = 's';
text = "Ein anderer String";
```

3. Variante: konstanter Pointer, konstanter String

```
char str[] = "Ein String";
const char* const text = str;
```

Hier ist nun der Pointer text konstant und der Text, wohin er zeigt.
Von rechts nach links lesen:
"text ist ein konstanter Pointer auf eine char-Konstante"

erlaubt:

```
char ch = text[1];     // ==  'i'
```

nicht erlaubt:

```
text[1] = 's';
text = "Ein anderer String";
```

const bei Pointern in Funktionsköpfen

```
void foo (const int* ptr)
{
  *ptr = 14;     // nicht erlaubt
}
```

ptr ist ein Pointer auf eine int-Konstante.

21.4.6 void-Pointer

- void-Pointer sind Objekte, die eine gültige Adresse darstellen
- einem void-Pointer kann jeder Pointer zugewiesen werden
- ein void-Pointer kann ohne Typecast nur anderen void-Pointern zugewiesen werden **(anders als in C)**
- ein void-Pointer kann nicht dereferenziert werden

Hinweis: In C++ sollten void-Pointer kaum noch angewendet werden!

---

void-Pointer: Beispiele

erlaubt:

```
int a;
int* pi = &a;
void* pv = pi;
pd = static_cast<double*>pv;
```

nicht erlaubt:

```
double* pd = pv
```

21.4.7 Pointer auf Funktionen

- Jede Funktion befindet sich an einer definierten Adresse im Codespeicher
- Diese Adresse kann ebenfalls ermittelt werden
- Interessant wäre, dynamisch zur Laufzeit in Abhängigkeit des Programmablaufs eine unterschiedliche Funktion über einen Funktionspointer aufzurufen

Hinweis: In C++ gibt es für viele Situationen bessere Alternativen zu Funktionspointern (Polymorphismus, *siehe 49.3*)!

21.4.8 Interruptvektortabelle: Tabelle von Funktionspointern

Pointer auf ISR n
...
...
Pointer auf ISR 2
Pointer auf ISR 1

ISR = Interrupt Service Routine

21.4.9 Umsetzung von Funktionspointern in C/C++

Der Name der Funktion kann als Adresse auf den ersten Befehl der Funktion verwendet werden (analog Array).

21.4.10 Beispiel für Funktionspointer

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

int foo(char ch)
{
  int i;              // muss hier definiert werden
  for(i=1;i<=10;i++)
    cout << ch << " ";
  cout << endl;
  return i;
}

int main()
{
  int (*p) (char);  // Deklaration des Funktionspointers
  char c;
  int ret;
  cout << "Buchstabe eingeben: ";
  cin >> c;
  p = foo;     // ermittle Adresse von foo()
  ret = p(c); // Aufruf foo() ueber Funktionspointer
  return 0;
}
```

22 Referenzen

- Eine Referenz ist ein Alternativname (Alias) für ein Objekt.
- Referenzen ähneln Pointern, sind aber nicht dasselbe. Bei einem Pointer wird immer eine Adresse ermittelt, d.h. dieses Datenobjekt muss sich im adressierbaren Bereich befinden. Eine Referenz kann aber auch auf ein Register verweisen.
- Grundsätzlich sind Referenzen effizienter als Pointer.
- Syntaktisch sind Referenzen einfacher als Pointer, da ein expliziter Referenzierungs- und Dereferenzierungsoperator entfällt.
- Referenzen sind für den Programmierer sicherer anzuwenden als Pointer.
- In gewissen Fällen braucht es Pointer. Wenn nicht, dann sollen Referenzen bevorzugt werden.

22.1 Syntax

```
int x = 24;
int& r1 = x;  // Definition der Referenz r1

x = 55;    // x == 55, r1 == 55 (dasselbe Objekt)
r1 = 7;    // x == 7, r1 == 7 (dasselbe Objekt)
r1++;      // x == 8, r1 == 8 (dasselbe Objekt)
```

Hinweis: Referenzen können nach der Definition nicht "umgehängt" werden, d.h. eine Referenz kann und muss nur bei der Definition initialisiert werden und kann nicht später auf etwas anders "zeigen".

22.2 Einsatz

- In folgenden zwei Fällen einsetzen:
  - Bei Parameterübergabe (*call by reference*) anstatt Pointer
  - Als Returntyp (bei Referenz-Rückgabetyp anstatt Pointertyp)
- **Generell:** Objekte einer Klasse und Strukturvariablen sollen immer *by reference* übergeben werden (niemals *by value*)
- Sonst: zurückhaltend einsetzen

23 Pointer und Referenzen auf lokale Variablen

Achtung: Sie dürfen niemals einen Pointer oder eine Referenz auf eine lokale Variable oder ein lokales Objekt mittels return zurückgeben!

Grund: Nach Beendigung der Funktion sind die lokalen Variablen ungültig.

24 Zeiger und Referenzen als Parameter und Rückgabewerte

24.1 Call by Value vs. Call by Reference

- Parameter, die *by value* übergeben werden (Wertparameter) werden kopiert, in der Funktion wird mit Kopien gearbeitet.
- Bei Referenzparametern (*call by reference*) wird nur eine Referenz (Alias) des Originals übergeben.
- Nur Parameter, welche *by reference* übergeben werden, können in der Funktion (bleibend) verändert werden.

24.1.1 3 Beispiele

Call by value

```
void swap(int a, int b)
{
int tmp = a;
a = b;
b = tmp;
}

int main()
{
int x = 4;
int y = 3;
swap(x, y);
return 0;
}
```

Beim Aufruf von *swap()* werden nur Kopien vertauscht.

Call by reference mit Referenzen

```
void swap(int& a, int& b)
{
int tmp = a;
a = b;
b = tmp;
}

int main()
{
int x = 4;
int y = 3;
swap(x, y);
return 0;
}
```

Ok.

Call by reference mit Pointer

```
void swp(int* a, int* b)
{
int tmp = *a;
*a = *b;
*b = tmp;
}

int main()
{
int x = 4;
int y = 3;
swap(&x, &y);
return 0;
}
```

Ok, jedoch mühsame Syntax und evtl. ineffizient.

24.2 Call by reference: wann einsetzen?

1. wenn Parameter in der Funktion verändert werden sollen
2. wenn "grosse"Parameter übergeben werden sollen (*struct*, *class*)
   wenn verhindert werden soll, dass der Parameter verändert wird, so kann dieser mit *const* deklariert werden

```
int foo(const BigType& b);
```

Achtung: Parameterübergabe und Rückgabe von Objekten by value ist ein Hauptgrund für langsame C++-Programme!

24.3 Merke

- Variablen einer Struktur und Variablen einer Klasse (Objekte) müssen immer by reference übergeben werden, niemals by value.
- Read-only Parameter werden zusätzlich mit const spezifiziert.

Teil IV

Arrays, Dynamische Speicherverwaltung

25 Arrays

25.1 Der Array (Feld, Vektor)

Ein Array bietet eine kompakte Zusammenfassung von mehreren Variablen des gleichen Typs.

```
int data[10];    // ein Array von 10 int-Werten
int data[1000]; // ein Array von 1000 int-Werten
double zahl[5]; // ein Array von 5 double-Werten
```

25.1.1 Zugriff auf ein Arrayelement

Hinweis: Der Zugriff auf ein Element eines Arrays erfolgt über den Array-Index. Ist ein Array mit n Elementen definiert, so ist darauf zu achten, dass in C++ (wie in C) der Index mit 0 beginnt und mit n-1 endet.

```
int alpha[5];    // Array 'alpha' mit 5 int-Elementen
alpha[0] = 14;  // 1. Element (Index 0) = 14
alpha[4] = 3;    // letztes Element (Index 4)
```

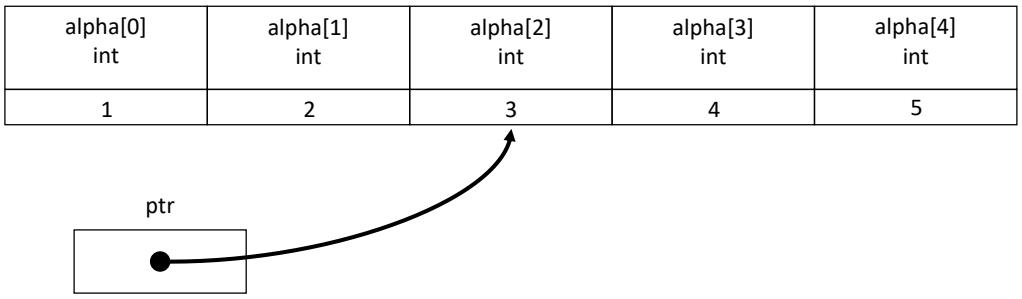
Achtung: Bereichsüberschreitung (geht in C++!)

```
alpha[5] = 4; // Bereichsueberschreitung
```

25.2 Arrays und Pointer

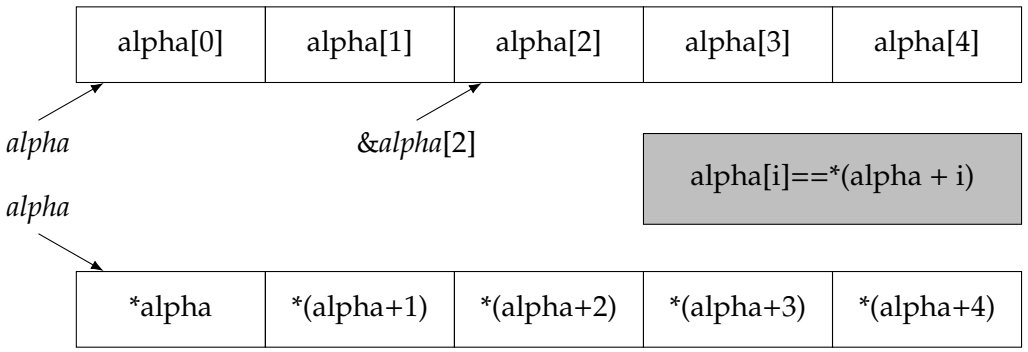
25.2.1 Pro Memoria: Eindimensionales Array (Vektor)

```
int alpha[5];
int* ptr;
ptr = &alpha[2];
*ptr = 3452;
```



25.3 Äquivalenz von Array- und Pointernotation

Der Name des Arrays kann als konstante Adresse des ersten Elementes (Index 0) des Arrays betrachtet werden.



25.4 Vergleichen von Arrays

Hinweis: In C++ gibt es keinen Operator ==, der zwei Arrays miteinander vergleicht!

- Array-Vergleiche müssen explizit, Element um Element durchgeführt werden.
- oder: der Inhalt der beiden Speicherbereiche wird mit Hilfe der Funktion *memcmp()* byteweise verglichen.

(**Beispiel mit ==:** Seien arr1 und arr2 zwei Arrays
Der Vergleich *arr1 == arr2* prüft, ob die Anfangsadressen der beiden Arrays identisch sind (wird kaum der Fall sein), nicht aber, ob deren Inhalte identisch sind.)

25.5 Der Arrayname ist ein nicht modifizierbarer L-Wert

- Der Arrayname ist die konstante Adresse des ersten Elementes des Arrays und kann nicht verändert werden.
- Auf den Arraynamen können nur die beiden Operatoren *sizeof* und & angewandt werden.
- Der Arrayname (z.B. *arr*), als auch der Adressoperator angewandt auf den Arraynamen (&*arr*) ergeben einen konstanten Pointer auf das erste Element des Arrays, der Typ ist jedoch verschieden.
- Einem Arraynamen kann kein Wert zugewiesen werden (einer Pointervariablen schon).

25.6 Automatische Initialisierung

- Globale Arrays werden automatisch mit 0 initialisiert
  - globale Arrays sollten aber nur ausnahmsweise verwendet werden
- Lokale Arrays werden nicht automatisch initialisiert
  - der Inhalt eines lokalen Arrays ist bei der Definition undefiniert

25.7 Explizite Initialisierung

- Bei der Definition eines Arrays kann ein Array explizit ("manuell") initialisiert werden.
- Der Definition folgt ein Zuweisungsoperator und eine Liste von Initialisierungswerten.
- Die Liste ist mit geschweiften Klammern begrenzt.
- Als Werte können nur Konstanten oder Ausdrücke mit Konstanten angegeben werden, **Variablen sind nicht möglich**.
- Die Werte werden mit Kommata getrennt.
- Nach der Initialisierung können die Elemente nur noch einzeln geändert werden.

25.7.1 Beispiel

```
int alpha[3] = {1, 2*5, 3};
```

ist "äquivalent" zu:

```
int alpha [3];
alpha[0] = 1;
alpha[1] = 2*5;
alpha[2] = 3;
```

25.7.2 Goodies für die explizite Initialisierung

- Werden bei der Initialisierung weniger Werte angegeben als der Array Elemente hat, so werden die restlichen Elemente mit 0 belegt:

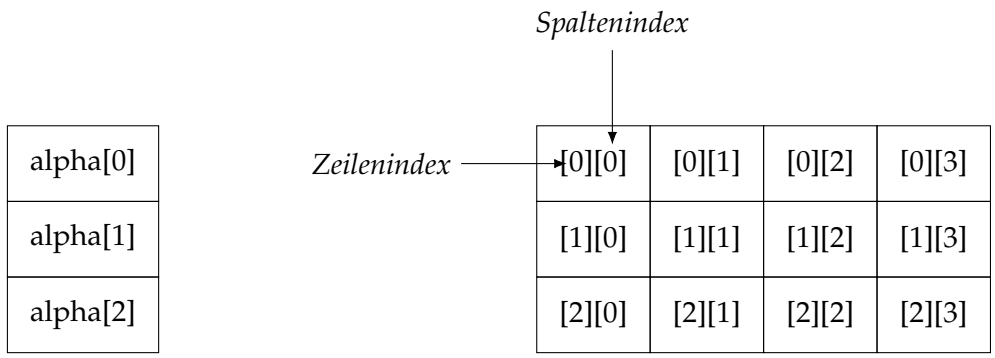
```
int alpha[200] = {3, 105, 17};
// alpha[3] bis alpha[199] werden gleich 0 gesetzt
```

- wird bei der Definition keine Array-Grösse angegeben, so zählt der Compiler die Anzahl Elemente automatisch (offenes Array ohne Längenangabe):

```
int alpha[] = {1, 2, 3, 4};
```

25.8 Mehrdimensionale Arrays

```
int alpha[3][4];
```



Matrix
Kann betrachtet werden als Vektor *alpha[0]* bis *alpha[2]*, wobei jedes Vektorelement wiederum einen Vektor mit 4 Elementen enthält.

25.8.1 Initialisierung eines mehrdimensionalen Arrays

```
int alpha[3][4] = {
  {1, 3, 5, 7},
  {2, 4, 6, 8},
  {3, 5, 7, 9}
  };
// aequivalent dazu ist die folgende Definition:
int alpha[3][4] = {1, 3, 5, 7, 2, 4, 6, 8, 3, 5, 7, 9};
```

1	3	5	7
2	4	6	8
3	5	7	9

Das erste Element kann offen sein, das zweite muss angegeben werden (z.B. int alpha[][4] = ...).

26 Übergabe von Arrays und Zeichenketten

- Bei der Übergabe eines Arrays an eine Funktion wird als Argument der Arrayname übergeben. (i.e. Pointer auf erstes Element des Arrays)
- Der formale Parameter für die Übergabe eines eindimensionalen Arrays kann ein offenes Array sein oder ein Pointer auf den Komponententyp des Arrays.
- Zeichenketten sind char-Arrays und werden deshalb gemäss der oben erwähnten Punkte gehandhabt.

26.1 Beispiel: Array (Vektor) als Parameter

```
enum {groesse = 3};

void init(int* alpha, int size);      // int* alpha == Pointer auf Arrayelement
void ausgabe(int alpha[], int size);  // int alpha[] == offener Array

int main()
{
  int arr[groesse];
  init(arr, sizeof(arr)/sizeof(arr[0]));     // Argument ist Name des Arrays
  ausgabe(arr, sizeof(arr)/sizeof(arr[0])); // Argument ist Name des Arrays
  return 0;
}
```

26.2 Übergabe einer Matrix mittels offenem Array

```
void printMat(const double* const mat[],   // Matrix
  int m,                                   // Anzahl Zeilen
  int n);                                  // Anzahl Spalten
```

- Der Aufruf erfolgt mit

```
printMat(matA, rows, cols); // bevorzugt
```

oder

```
printMat(&matA[0], rows, cols);
```

oder

```
printMat(&(&matA[0])[0], rows, cols);
```

- matA ist vom Typ double**
  matA[0] ist vom Typ double*
  matA[0][0] ist vom Typ double

26.3 Zeichenketten (Strings)

Strings sind char-Arrays, abgeschlossen mit dem Zeichen '\0', bzw. 0 (alles analog C).

27 Dynamische Speicherverwaltung

27.1 Dynamische Speicherverwaltung

- Speicher kann zur Laufzeit (dynamisch) vom System angefordert werden
  - Operator: *new* (in C: Funktion malloc())
- Dynamisch allozierter Speicher muss wieder explizit freigegeben werden
  - Operator: *delete* (in C: Funktion free())
- Dynamischer Speicher wird nicht auf dem Stack angelegt, sondern auf dem **Heap**
- Auf dynamischen Speicher kann **nur über Pointer** zugegriffen werden

---

Achtung: Zugriff auf dynamischen Speicher nie verlieren!

27.2 Syntax

```
int* pint = new int;     // Speicher fuer int alloziert
char* pCh1 = new char;   // Speicher fuer char alloziert
char* pCh2 = new char;   // Speicher fuer char alloziert

*pInt = 23;
std::cin >> *pCh1;
pCh2 = pCh1;

delete pInt;  // Speicher wieder freigeben
delete pCh1;
delete pCh2;
```

pCh2 = pCh1
Weil nun auch pCh2 auf die Speicherstelle von pCh1 zeigt, geht der Zugriff auf die Speicherstelle, auf die pCh2 gezeigt hat, verloren. (Memory Leak!)

delete pCh2
Ergibt Fehler, bereits über pCh1 freigegeben.

27.3 Vorsichtsmassnahmen

- der delete-Operator kann auch auf den Nullpointer angewendet werden. Es passiert dadurch (definiert) nichts.
- Die Anwendung des delete-Operators auf einen bereits freigegebenen Speicherbereich kann Probleme verursachen.
- Oft wird deshalb ein Pointer nach der delete-Operation auf 0 gesetzt (defensiver Programmierstil).

```
delete pInt;  // Speicher wieder freigeben
delete pInt;  // Speicher ist bereits freigegeben
pInt = 0;
delete pInt;  // ist problemlos
```

27.4 Memory Leak, Garbage Collection

- Dynamisch allozierter Speicher, welcher nicht freigegeben wurde oder auf welchen der Zugriff verloren ging, belegt weiterhin Platz im Speicher.
- Der faktisch nutzbare Speicher wird somit immer kleiner. Es ist, als ob der Speicher ein Leck hätte. Dieses Fehlverhalten wird deshalb als **Memory Leak** bezeichnet.
- In einigen Programmiersprachen (z.B. Java) gibt es einen **Garbage Collector** (Abfalleimer), welcher nicht mehr benötigten Speicher automatisch freigibt.

Achtung: C++ besitzt keinen Garbage Collector. Der C++-Programmierer ist verantwortlich, dass allozierter Speicher wieder freigegeben wird.

27.5 Dynamische Allozierung von Arrays

- In C++ kann Speicher für einen Array auch erst zur Laufzeit (dynamisch) vom System angefordert (alloziert) werden.
  - Operator: *new[]*
- Der Zugriff auf den Array erfolgt wie bei einem statischen Array.
- Dynamisch allozierte Arrays müssen wieder explizit freigegeben werden.
  - Operator: *delete[]*
  - ***delete[]*, nicht nur *delete!***

```
int* pInt = new int[100]; // statt einer Konstanten kann auch Variable verwendet
   werden (Normalfall)
delete pInt;    // Fehler: nur pInt[0] wird freigegeben
delete[] pInt;  // korrekter Befehl
```

27.6 Dynamische Allozierung von Matrizen

- Oft wird eine m x n - Matrix als ein eindimensionaler Array der Grösse (m*n) implementiert. Der Zugriff geht dann jedoch nur noch über Pointer:

```
*(matrix+2*n+3) = 23.44;
```

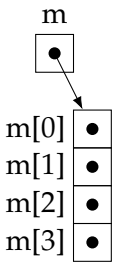
- Mit der im folgenden gezeigten Variante kann auf ein Matrixelement über die Arrayindizes zugegriffen werden:

```
matrix[2][3] = 23.44;
```

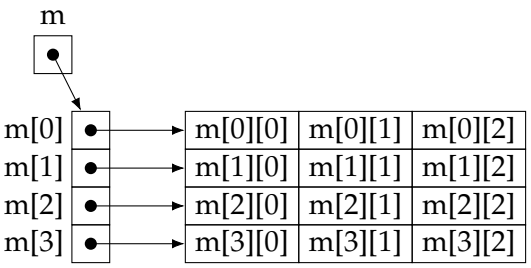
27.6.1 Dynamische Matrix mit 4 Zeilen und 3 Spalten

```
double** m = 0;
```


```
m = new double*[4]; // Array mit 4 Elementen vom Typ double* (Pointer auf double)
```




```
for (int i=0; i<4; ++i)
  m[i] = new double[3]; // Jedes m[i] ist Pointer auf Array mit 3 Elementen vom
      Typ double
                        // m[i] selbst ist vom Typ double*
```

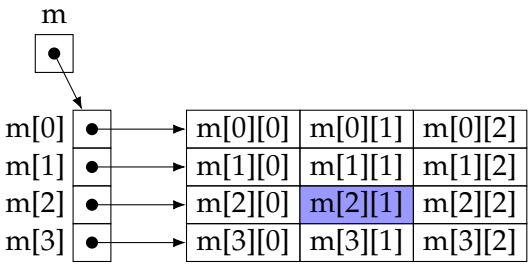


Für die Konstanten 3 und 4 könnten auch Variablen verwendet werden (im Gegensatz zu einer statisch definierten Matrix).

27.6.2 Zugriff auf dynamisch erzeugte Matrix

Der Zugriff erfolgt einfach ueber die Arrayindizes.

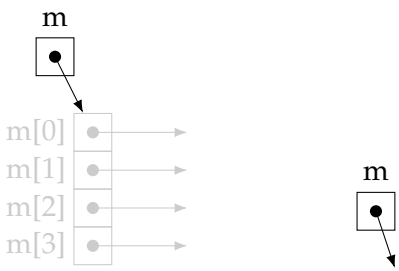
```
m[2][1] = 34.675;
```



27.6.3 Dynamische Matrix freigeben

```
for(int i=0; i<4; ++i)
  delete[] m[i] // Zuerst jede Zeile freigeben
```


```
delete[] m; // Nun noch den Array mit den double* freigeben
```



Achtung: m zeigt immer noch auf die alte Adresse, an welcher sich aber keine gültigen Daten mehr befinden. (Allenfalls m wieder auf 0 setzen)

27.7 Effizienz der Matriximplementationen

- Nur mit dieser gezeigten Variante kann auf ein Matrixelement über die Arrayindizes zugegriffen werden:
- Der Nachteil dieser Variante ist, dass es pro Zeile einen zusätzlichen Pointer braucht. Die einzelnen Zeilen liegen u.U. nicht auf aufeinanderfolgenden Speicherstellen.
- Wenn eine m x n - Matrix als ein eindimensionaler Array der Grösse (m*n) implementiert wird, erspart man sich die Zeilenpointer, der Zugriff ist jedoch langsamer und mühsamer. Die einzelnen Elemente der Matrix liegen auf aufeinanderfolgenden Speicherstellen.

Teil V

Scope, Deklarationen, Type Casts

28 Strukturen in C++

- Grundsätzlich sind Strukturen in C++ identisch zu Strukturen in C
- In C++ haben Strukturen noch zusätzliche Möglichkeiten (folgt im Zusammenhang mit Klassen)
- Die Definition und Nutzung von Strukturen ist in C++ einfacher, *typedef* braucht es nicht

```
struct Point
{
  double x;
  double y;
};

Point p1;
```

29 Gültigkeitsbereiche, Namensräume und Sichtbarkeit

29.1 Gültigkeitsbereiche von Namen (Scope)

- Prinzipiell identisch wie in C.
- Der Compiler arbeitet immer Dateiweise.
- Namen in einer anderen Datei sind dem Compiler nicht bekannt.
- (Globale) Variablen, welche in einer anderen Datei definiert werden, können mit Hilfe des *extern*-Statements bekannt gemacht werden.
- Durch das *extern*-Statement wird kein Speicherplatz reserviert.

```
extern int Foo_globalVariable;
```

- Funktionsprototypen und Definitionen, die von anderen Modulen genutzt werden können (Schnittstellen), werden in einer Headerdatei definiert
- Durch *#include* der Headerdatei wird der Header geladen und die Namen bekannt gemacht

29.2 Gültigkeitsbereiche in C++

- Lokaler Gültigkeitsbereich (local scope)
  Alle in einem Block deklarierten Bezeichner gelten von ihrer Deklaration an bis zum Ende des aktuellen Blocks.
- Gültigkeitsbereich Funktionsprototyp, Funktion
  Alle in einem Funktionskopf deklarierten Bezeichner (Parameter) gelten in der gesamten Funktion.
- Gültigkeitsbereich Namensraum (*namespace*)
  Alle im Namensraum deklarierten Bezeichner gelten von ihrer Deklaration an bis zum Ende des Namensraums.
- Gültigkeitsbereich Klasse
  Alle in einer Klasse deklarierten Bezeichner gelten von ihrer Deklaration an in der gesamten Klasse.

29.3 Gültigkeit (Scope) von Variablen

- Eine Variable ist an einer bestimmten Stelle gültig, wenn ihr Name an dieser Stelle dem Compiler durch eine Vereinbarung bekannt ist.
- Gültige Variablen können für den Programmierer unsichtbar sein, wenn sie durch eine andere Variable desselben Namens verdeckt werden.

29.4 Lebensdauer von Variablen

- Die Lebensdauer ist die Zeitspanne, in der das Laufzeitsystem des Compilers der Variablen einen Platz im Speicher zur Verfügung stellt.
- Mit anderen Worten, während ihrer Lebensdauer besitzt eine Variable einen Speicherplatz.
- Globale Variablen leben solange wie das Programm.
- Lokale Variablen werden beim Aufruf des Blocks angelegt und beim Verlassen des Blocks wieder (automatisch!) ungültig.

29.5 Sichtbarkeit von Variablen

- Variablen von inneren Blöcken sind nach aussen nicht sichtbar.
- Globale Variablen und Variablen in äusseren Blöcken sind in inneren Blöcken sichtbar.
- Werden lokale Variablen mit demselben Namen wie eine globale Variable oder wie eine Variable in einem umfassenden (äusseren) Block definiert, so ist innerhalb des Blockes nur die lokale Variable sichtbar. Die globale Variable bzw. die Variable in dem umfassenden Block wird durch die Namensgleichheit verdeckt.

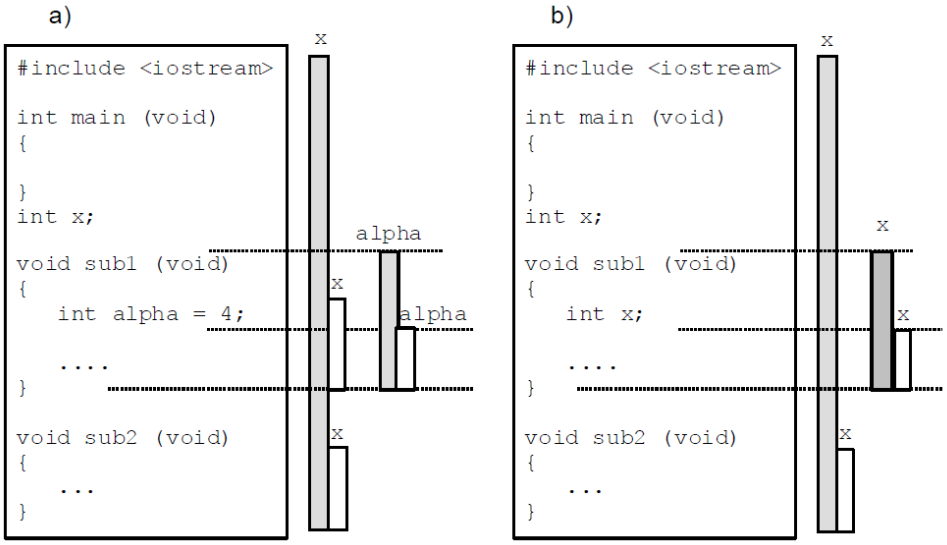
29.6 Schlussfolgerung (naheliegend aber falsch)

- Alle Variablen global definieren, dann muss ich mir keine Sorgen um die Sichtbarkeit machen.

→ Stimmt schon, aber:

- Weil die Variablen in demselben Namensraum sind, müsste ich die Variablennamen im gesamten Projekt abstimmen.
  → ist nicht praktikabel
- Globale Variablen haben gewichtige Nachteile: Wer hat den Variablenwert wo wie geändert?
  → schwer nachzuvollziehen

29.7 Lebensdauer (grau) und Sichtbarkeit (weiss)



29.8 Codierstil

- Variablen so lokal wie möglich definieren, d.h. im innersten möglichen Block (Tipp: nur am Anfang eines Blocks)
- Globale Variablen wenn immer möglich vermeiden. Sie müssen speziell gekennzeichnet werden. Sie sollen (in C) mit einem Prefix (Modulkürzel) gefolgt von einem underscore character (_) beginnen. Dadurch werden die Namen eindeutig.
  Beispiel:
  Die globale Variable counter im Modul Foo muss wie folgt definiert werden:

```
int Foo_counter;
```

- Globale Variablen am Anfang der Datei definieren, d.h. auf jeden Fall vor der ersten Funktion.

Hinweis: Besser (in C++): Namespace definieren

---

30 Namensräume (Namespaces)

Namen, die zu verschiedenen Namensräumen gehören, dürfen auch innerhalb desselben Gültigkeitsbereichs gleich sein. In C gibt es die folgenden Namensräume (gilt auch für C++):

- Marken
- Namen von Strukturen, Unions und enums
- Jede Struktur und Union für ihre Feldnamen
- Bezeichner von Variablen, Funktionen, typedef-Namen, enum-Konstanten

In C++ können zusätzlich explizit definierte Namensräume verwendet werden.

Hinweis: Dadurch können (und sollen unbedingt!) die in C üblichen Modulkürzel vermieden werden.

30.1 Explizite Namensräume in C++

- Nebst den vordefinierten (impliziten) Namensräumen des vorherigen Abschnitts können in C++ explizit eigene Namensräume (namespaces) definiert werden.
- Bezeichner müssen nur innerhalb ihres Namensraums eindeutig sein.
- Für jedes Modul in C (mit Modulkürzel) soll in C++ ein Namensraum definiert werden.

30.2 C++-Mechanismen für Namespaces

- Deklaration von Namespaces
- Namespace-Alias
  Einem bestehenden Namespace einen anderen Namen zuweisen (eher selten)

```
namespace fbssLib = financial_branch_and_system_service_library;
```

- *using*-Deklaration
- *using*-Direktive

30.3 Deklaration von Namespaces

- Alle in einem Namespace deklarierten Bezeichner werden diesem Namespace zugeordnet.
- Auf die Bezeichner des Namespaces kann mit dem Scope-Operator *::* zugegriffen werden
- Syntax:
  Hinter dem Schlüsselwort *namespace* folgt der Name des Namespaces gefolgt von einem Block.
- Innerhalb einer Datei kann mehr als ein Namespace deklariert werden (eher unüblich) und ein Namespace kann in mehreren Dateien deklariert sein (häufig, d.h. die Elemente eines Namespaces werden in mehreren Dateien implementiert).

```
namespace myLib1
{
  int i;
  void foo();
}

namespace myLib2
{
  int i;
  void foo();
  int go();
}

...
{
  myLib1::foo();
  myLib2::i = 17;
}
```

30.4 *using*-Deklaration

- Eine *using*-Deklaration "importiert" Namen aus einem Namensraum und macht ihn ohne explizite Namensraumangabe verwendbar.
- Sie kann lokal in einem Block oder global ausserhalb eines Blocks verwendet werden.
- Deklariert nur einzelne Namen.

```
int main()
{
  using myLib1::foo;   // lok. Synonym
  foo();     // ruft myLiby::foo() auf
}
```

30.5 *using*-Direktive

Eine *using*-Direktive macht alle Namen aus einem Namensraum ohne explizite Namensraumangabe verwendbar.

```
usting namespace myLib1;

int main()
{
  foo();     // ruft myLib1::foo() auf
}
```

30.6 *using namespace* kann zu Konflikten führen

Wenn bei mehreren *using namespace*-Deklarationen und/oder -Direktiven die Namen (ohne Namespace-Angabe) nicht eindeutig sind, müssen die Namen voll qualifiziert verwendet werden (mit Namespace-Angabe).

```
using namespace myLib1;
using namespace myLib2;

...
{
  foo();  //nicht eindeutig -> Fehler
  myLib2::foo();
}
```

30.7 Namenlose Namespaces

Ein namenloser Namespace wird wie ein spezieller Namensraum mit einem systemweit eindeutigen Namen behandelt.

```
namespace
{

}
```

Hinweis: Es ist guter Programmierstil, den Gültigkeitsbereich aller nur intern verwendeten Funktionen und Daten mit Hilfe von namenlosen Namespaces auf den Bereich einzugrenzen, in dem die Objekte verwendet werden. (In C hat man dafür die Funktionen mit static gekennzeichnet.)

30.8 Zugriff auf globale Variable mit Scope-Operator

```
int zahl = 11;       // globale Var.

int main()
{
  int zahl = 22;     // lokale Var.
  zahl = zahl + 4;   // lokale Var.
  ::zahl = 23;       // Zugriff auf globale Var.
}
```

31 Speicherklassen

31.1 Speicherklassen in C++

- *auto*
  Ist default, wenn nichts geschrieben wird. Eine mit *auto* deklarierte Variable wird nach Beendigung des Scopes automatisch entfernt.
  Achtung: hat ab C++11 eine andere Bedeutung!!
- *register*
  Ist das selbe wie *auto* mit zusätzlichem Hinweis an Compiler: wenn es geht, in ein Register legen (sehr zurückhaltend einsetzen, besser gar nicht).
- *static*
- *extern*
- *mutable*
  (später im Zusammenhang von Klassen)

31.1.1 Speicherklasse *static*: Variablen

- *static*-Variablen sind im Datenbereich, nicht auf dem Stack.
- Sie werden automatisch auf 0 initialisiert, wenn nichts anderes steht.
- Gültigkeitsbereich ist der Block, in dem die Variable definiert ist.
- *static*-Variablen, welche ausserhalb einer Funktion definiert sind (globale Variablen), sind nur in der Datei gültig, in der sie definiert werden.
- static-Variablen sind nur einmal vorhanden (auch in multi-threading-Umgebungen), d.h. ihr Wert wird erhalten, auch wenn die Funktion beendet ist. Beim nächsten Aufruf der Funktion geht es mit dem alten Wert weiter. → Nur einsetzen, wenn man das will!

31.1.2 Speicherklasse *static*: Funktionen

- static-Funktionen sind nur in der Datei, in welcher sie definiert sind, sichtbar.
- Alle Funktionen, welche nicht aussen (für andere Units) sichtbar sein sollen, sollten deshalb **in C** als static definiert werden. → In C++ können dafür namenlose Namespaces verwendet werden (bevorzugt)

31.1.3 Speicherklasse *extern*: Externe Variablen

- Eine externe Variable kann nur in einer einzigen Datei definiert werden (ohne Speicherklasse *extern*).
- In den anderen Dateien wird sie mit *extern* deklariert (bekannt gemacht).
- Eine manuelle Initialisierung ist nur bei der Definition möglich.
- Globale Variablen, welche nicht manuell initialisiert werden, werden automatisch mit 0 initialisiert.
- *extern*-Deklarationen werden üblicherweise in einer Headerdatei deklariert.

31.2 Typqualifikationen

- *const*
  const-Objekte können nicht verändert werden (read-only).
- *volatile*
  Der Compiler wird angewiesen, keine Optimierungen die Variable betreffend vorzunehmen.
- *volatile* wird oft bei Embedded Systems angewandt, wenn z.B. ”hinter” einer Variable ein Register liegt.
- *const* und *volatile* können auch kombiniert werden, z.B. bei read-only-Hardwareregistern.

31.3 Funktionsattribute

- *inline*
  (siehe Kap.15)
- *virtual*
  (siehe Kap.49.1)
- *explicit*
  (siehe Kap.41.6.5)

32 Typdefinitionen

32.1 *typedef* zur Vereinbarung eigener Datentypen

- analog C
- In C++ kann aber z.B. bei *structs* das *typedef* weggelassen werden.
- Stil: eigene Typen werden mit einem Grossbuchstaben begonnen

In C:

```
typedef struct {int x;
    int y;} Point;
```

In C++:

```
struct Point {int x;
int y;
};
```

```
struct Point {
  int x;
  int y;
};

struct Line {
  Point p1;
  Point p2;
};

int main(void)
{
  line myLine = {12, -34,    // p1
      783, 12};      // p2

  std::cout << "Startpunkt:␣(" << myLine.p1.x << ",␣" << myLine.p1.y << ")\n";
  std::cout << "Endpunkt:␣(" << myLine.p2.x << ",␣" << myLine.p2.y << "\n";
  return 0;
}
```

32.2 Gewährleistung von Portabilität

- Oft muss z.B. in ein Register ein 16 Bit breiter Wert geschrieben werden. Welcher Typ ist nun 16 Bit breit?
- Das ist implementationsabhängig (vielleicht *unsigned short*, *unsigned int*, ...)
- Um die Portabilität (Umschrieben auf ein anderes System) zu vereinfachen, wird ein 16 Bit breiter Datentyp (Word) definiert und dann ausschliesslich verwendet (in *stddef.h* sind diese Typen üblicherweise bereits definiert). Auf einem anderen System ist dann nur noch dieser *typedef* zu ändern.

```
typedef unsigned short uint16_t;
```

32.3 Wie setzt der Compiler ein *typedef* um?

- Ein *typedef* ist mehr oder weniger eine reine Textersetzung.

```
typedef struct {int x;
    int y;} Point;
```

- Überall im Code, wo nun das Wort Point gefunden wird, ersetzt der Compiler dieses in einem ersten Durchgang mit dem folgenden Text:

```
typedef struct {int x;
    int y;}
```

33 Type-Cast (Typumwandlungen)

33.1 Typumwandlungen im Allgemeinen

Unsafe conversion: Wenn bei der Typumwandlung signifikante Stellen verloren gehen können (typischerweise bei einer Umwandlung von einem "grösseren" in einen "kleineren" Typ, z.B. von *double* nach *int*). Bei *int* ist sowohl die Genauigkeit kleiner als auch die maximal darstellbare Zahl.

Safe conversion: Wenn bei der Typumwandlung keine signifikanten Stellen verloren gehen können (typischerweise bei einer Umwandlung von einem "kleineren" in einen "grösseren" Typ, z.B. von *int* nach *double*.

33.2 Implizite Typumwandlung

- Die implizite (automatische) Typumwandlung wird auch als Standard-Typumwandlung bezeichnet.
- Sie erfolgt analog zur Programmiersprache C (siehe dort).

33.3 Explizite Typumwandlung

- Nebst den impliziten (automatischen) Typumwandlungen kann in C++ mit Hilfe von 6 verschiedenen *cast*-Operatoren eine explizite Typumwandlung bewirkt werden.
- Bei der expliziten Typumwandlung gibt der Programmierer explizit an, was er will.

Achtung: Bei der expliziten Typumwandlung übernimmt der Programmierer die Verantwortung, dass die Umwandlung keine Probleme ergibt. (z.B. Umwandlung von grosser Zahl in kleineren Typ)

33.3.1 Explizite Typumwandlung #1: C-Stil

- Stroustrup: "The C and C++ cast is a sledgehammer..."
- Syntax für C-Stil (einzige Variante in C):
  (Zieltyp)expression

```
int a = (int)4.6; // a == 4
```

33.3.2 Explizite Typumwandlung #2: Funktionsstil

- Syntax für Funktionsstil:
  Zieltyp(expression)

```
int a = int(4.6); // a == 4
```

33.3.3 Typumwandlung mit C-Stil und Funktionsstil

Typumwandlung ist...

- einfache Reinterpretation der bitweisen Darstellung des Ausdrucks
- einfache arithmetische Grössenanpassung
- ein *const*- oder *volatile*-Attribut zu einem Ausdruck hinzufügen oder entfernen
- andere (eventuell implementierungsabhängige) Umwandlung

Achtung: Aus dem Sourcecode geht nicht hervor, welche der aufgeführten Typumwandlungen der Programmierer wollte.
Diese beiden Casts sollten in C++ nicht verwendet werden!

33.3.4 Explizite Typumwandlung #3: *const_cast*

Anwendung:
Ausschliesslich die (vorübergehende) Entfernung des const-Qualifikators, d.h. die Umwandlung eines Ausdrucks vom Typ T mit den optionalen Qualifikatoren *const* und *volatile* in einen Ausdruck desselben Typs ohne den Qualifikator *const*
Syntax:

```
const_cast<Zieltyp>expression

const char* findSubString(const char* str, const char* subStr)
{
  return strstr(const_cast<char*<str,
      const_cast<char*>subStr);
}
```

Die Funktion strstr() akzeptiert nur Parameter vom Typ *char** (ohne *const*).

33.3.5 Explizite Typumwandlung #4: *static_cast*

Anwendung:
Umwandlung von Objekten einer Klasse auf Objekte einer Basisklasse oder die Umwandlung mittels einer Umwandlungsfunktion.
Wenn schon Typecast, dann ist *static_cast* **die häufigste**.

33.3.6 Explizite Typumwandlung #5: *dynamic_cast*

Anwendung:
Umwandlung von polymorphen Objekten im Zusammenhang mit dem Typensystem von C++ eingesetzt (Stichwort RTTI = Runtime Type Information System, siehe Kap.52.1).

33.3.7 Explizite Typumwandlung #6: *reinterpret_cast*

Anwendung:
reinterpret_cast ist eine neue Interpretation der zugrunde liegenden Bitkette.
Syntax:

```
reinterpret_cast<Zieltyp>expression

char* p = new char[20];
...
int* pi = reinterpret_cast<int*>p;
```

Teil VI
Module und Datenkapseln

34 Modul (Unit)

Motivation:

- **Arbeitsteilung**
  Grosse Programme werden von mehreren Personen entwickelt. Praktikabel ist, wenn nur eine Person an einer bestimmten Datei arbeitet.
- **Effizienz**
  Eine Übersetzungseinheit (Datei) muss bei jeder Änderung neu übersetzt werden (je grösser die Datei, desto langsamer die Übersetzung).
- **Strukturierung**
  Ein grosses Programm in mehrere vernünftige Teile (Baugruppen, Units) aufteilen (divide and conquer).

34.1 Nomenklatur: Modul vs. Unit

- Ein Programmbaustein wird traditionell mit Modul (der oder das Modul) bezeichnet.
- Der Test eines Moduls heisst folglich Modultest.
- Das Vorgehen, welches Module generiert, heisst Modularisierung.
- Heute üblicher wird Modul mit Unit, der Test mit Unittest bezeichnet, das Vorgehen heisst weiterhin Modularisierung.
- Prinzipiell spreche ich künftig meist von Unit und Unittest.

34.2 Ziele der Modularisierung

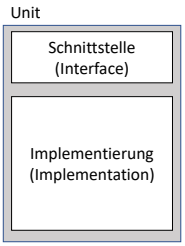
- Klare, möglichst schlanke Schnittstellen definieren.
- Units so bilden, dass Zusammengehörendes in einer Unit isoliert wird (Kohäsion soll hoch sein).
- Schnittstellen zwischen den Units sollen klein sein (Kopplung soll klein sein).
- Abhängigkeiten unter den Units sollen eine Hierarchie bilden, zirkuläre (gegenseitige) Abhängigkeiten müssen vermieden werden.

34.3 Eigenschaften einer Unit

- realisiert eine in sich abgeschlossene Aufgabe
- kommuniziert über ihre Schnittstelle mit der Umgebung
- kann ohne Kenntnisse ihres inneren Verhaltens in ein Gesamtsystem integriert werden
- ihre Korrektheit kann ohne Kenntnis ihrer Einbettung in einem Gesamtsystem nachgewiesen werden (mittels Unittest)

34.4 Unitkonzept

- Interface definiert die Schnittstelle, d.h. die Deklarationen wie Funktionsprototypen, etc. (Schaufenster).
- Implementation: In diesem Teil sind die Unterprogramme definiert, d.h. auscodiert (Werkstatt).
- Das Interface wird in einer Headerdatei (*.h) beschrieben, die Implementation liegt in einer *.cpp-Datei.



34.5 Geheimnisprinpzip (Information Hiding)

- In der Schnittstelle (Headerdatei) wird alles beschrieben, was ein Nutzer dieser Unit wissen muss.
- Der innere Aufbau der Unit (*.cpp) muss (darf) dem Nutzer der Unit nicht bekannt sein, er benötigt diese Informationen auch gar nicht.
- Der Nutzer der Unit darf keine Annahmen bezüglich des inneren Aufbaus der Unit treffen.
- Der Entwickler der Unit darf den inneren Aufbau der Unit ändern, solange dadurch die Schnittstelle nicht geändert werden muss.

34.5.1 Konzept der Datenkapsel

- Eine Unit besteht aus Funktionen und Daten.
- In der Schnittstelle wird definiert, was für den Nutzer zur Verfügung steht. Dies können Funktionen und Daten sein.
- Die Datenkapsel fordert nun zusätzlich, dass auf die Daten nicht direkt zugegriffen werden darf, sondern nur über Zugriffsfunktionen.

34.5.2 Beispiel für Datenzugriff bei Datenkapsel

```
// interne Daten
int counter;

// Schnittstelle (Interface)
void setCounter(int c)
{
  counter = c;
}

int getCounter(void)
{
  return counter;
}
```

34.5.3 Beispiel für Unit Rechteck (ohne Datenkapsel)

```
// interne Daten
double a;
double b;
double area;

// Schnittstelle (Interface)

// direkter Zugriff auf a, b, area
// area muss bei jeder Aenderung von a
// und b (durch Client!) berechnet
   werden
```

Achtung: Sehr gefährlich! (kann kaum sichergestellt werden)

34.5.4 Beispiel für Unit Rechteck: Verbesserung #1

```
// interne Daten
double a;
double b;
double area;

// Schnittstelle (Interface)
// kein direkter Zugriff mehr auf a, b,
   area
// Funktionen setA(), setB(), getA(),
   getB(), getArea()
void setA(double newA)
{
  a = newA;
  area = a * b;
}

double getArea(void)
{
  return area;
}
```

Hinweis: Evtl. gefährlich (Berechnung von area könnte vergessen werden). Und: die Multiplikation wird bei jeder Änderung durchgeführt (unnötig).

34.5.5 Beispiel für Unit Rechteck: Verbesserung #2

```
// interne Daten
double a;
double b;

// Schnittstelle (Interface)
// Funktionen setA(), setB(), getA(),
   getB(), getArea()
void setA(double newA)
{
  a = newA;
}

double getArea(void)
{
  return a * b;
}
```

Hinweis: Dank Datenkapsel darf das Attribut area entfernt werden. Die Schnittstelle ändert sich dadurch nicht.

34.6 Unit-Schnittstelle definieren (in Headerdatei): *include-Guard*

```
#ifndef FOO_H_
#define FOO_H_

// Deklarationen

#endif /* FOO_H_ */
```

Hinweis: *include*-Guard: verhindert das mehrfache *include* derselben Datei.

34.7 Deklarationsreihenfolge in der Headerdatei (*.h)

Achtung: kein *using namespace* ... in Headerdateien!

1. Dateikommentar
2. #*include* der verwendeten System-Header (*iostream*, etc.)
   #*include* <...>
3. #*include* der projektbezogenen Header (#*include* "...")
4. Konstantendefinitionen
5. *typedefs* und Definitionen von Strukturen
6. Allenfalls extern-Deklarationen von globalen Variablen
7. Funktionsprototypen, inkl. Kommentare der Schnittstelle, bzw. Klassendeklarationen

Hinweis: Punkte 2-7 sind innerhalb des inlcude-Guards.

34.8 Reihenfolge in der Implementierungsdatei (*.cpp)

1. Dateikommentar
2. #*include* der verwendeten System-Header (*iostream*, etc.)
3. #*include* der projektbezogenen Header
4. allenfalls globale Variablen und statische Variablen
5. Präprozessor-Direktiven
6. Funktionsprototypen von lokalen, internen Funktionen
7. Definition von Funktionen und Klassen (Kommentare aus Headerdatei nicht wiederholen!)

34.9 #*include*-Konzept

- Mit den #*includes* wird oft ein Riesenchaos veranstaltet
- Der "Einfachheit halber" werden ab und zu einfach alle oder fast alle Headerdateien inkludiert
- Das muss unbedingt verhindert werden

Regel: In jeder Datei (*.h, *.cpp, *.c) werden genau die Headerdateien inkludiert, welche diese Datei selbst benötigt!

34.10 Unit compilieren

g++ -c foo.cpp

- Dadurch entsteht noch kein ausführbares Programm, sondern nur die Datei *foo.o*, der Objectcode.
- Dies muss mit allen *.*cpp*-Dateien gemacht werden.

34.11 Units linken

g++ -o foo foo.o goo.o hoo.o

- Alle Objectdateien müssen gelinkt werden.
- Dadurch werden allenfalls noch offene Verbindungen (Links) zu aufgerufenen Funktionen aufgelöst.

34.12 Buildprozess

- Der Buildprozess beinhaltet alle Schritte, um ein ausführbares Programm zu erhalten, bzw. aufzubauen (englisch to build).
  g++ -c foo.cpp
  g++ -c goo.cpp
  g++ -c hoo.cpp
  g++ -o foo foo.o goo.o hoo.o

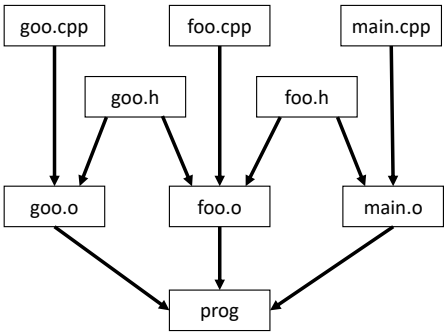
Hinweis: Es wäre mühsam, wenn diese Befehle jedesmal neu eingetippt werden müssten. Deshalb wird in der Praxis oft ein Buildtool eingesetzt, z.B. make.

34.13 Make-Tool

34.13.1 *make*-File

- In einem *make*-File können Abhängigkeiten definiert werden.
- Wenn eine Datei geändert wurde, dann werden alle Operationen ausgeführt mit den Dateien, welche von dieser geänderten Datei abhängen.
- Der Befehl (g++) wird z.B. nur dann ausgeführt, wenn sich an den Dateien, zu denen eine Abhängigkeit besteht, etwas geändert hat.

34.13.2 Abhängigkeiten zwischen Dateien



34.13.3 Beispiel: makefile

```
# makefile
cc=g++
CFLAGS= -c -Wall
LFLAGS= -Wall
OBJ=foo.o goo.o main.o
EXE=prog

${EXE}:  ${OBJ}
         ${cc} ${LFLAGS} -o ${@} ${OBJ}

foo.o:   foo.h goo.h foo.cpp
         ${cc} ${CFLAGS} -o ${@} foo.cpp

goo.o:   goo.h goo.cpp
         ${cc} ${CFLAGS} -0 ${@} goo.cpp

main.o:  foo.h main.cpp
         ${cc} ${CFLAGS} -o ${@} main.cpp

clean:
         rm -f ${OBJ} ${EXE}
```

Targets: Diese können mit make angesprungen werden, z.b. make foo.o
Wenn make ohne Parameter aufgerufen wird, dann wird das erste Target angesprungen.

Abhänigkeitsliste, d.h. von diesen Dateien ist das Target abhängig

Befehl, der ausgeführt werden muss, falls etwas geändert hat.
Wichtig: Erstes Zeichen muss ein TAB sein.

Teil VII
Eclipse IDE

35 Eclipse

- Integrated Development Environment (IDE, Integrierte Entwicklungsumgebung)
- Open-Source Software (OSS)
- Offene, erweiterbare Architektur basierend auf Plug-Ins
- Implementiert in Java
- Auf verschiedenen Plattformen lauffähig (multi-platform)
- Für unterschiedliche Programmiersprachen (multi-language)

35.1 Workspace

- Der Workspace enthält vom Benutzer definierte Daten (Projekte und Ressourcen wie Ordner und Files).
- Er enthält alle User-Metadaten (Code, Scripts, Database objects, Konfigurationsdaten).
- Ein Benutzer arbeitet zu einer bestimmten Zeit genau in einem einzigen Workspace.

35.2 Ressourcen (Resources)

- Oberbegriff für
  - Projekte
  - Ordner
  - Files
- Üblicherweise in einer hierarchischen Struktur betrachtet.
- Können editiert werden.

35.3 Project

- Ein logisches Speicherkonzept für die Speicherung von Programmen.
- Gehört einem Workspace an.
- Ist implementiert als Verzeichnis in einem Workspace.

35.4 Debugger

35.4.1 Testen und Debugging

- Testen und Debugging sind zwei unterschiedliche Prozesse.
- Das Ziel eines Tests ist, Fehler zu finden.
- Das Ziel des Debuggings ist, diese Fehler zu lokalisieren und zu korrigieren.

35.4.2 Funktionen eines Debuggers

- Betrachten von Variablenwerten
- Unterbrechung des Programmablaufs mit Breakpoints
- Schrittweise Ausführung von Programmen (Step into, Step out)

35.4.3 Assertions (Zusicherungen)

```
#include <cassert>
assert(i>0);

// in C:
#include <assert.h>
assert(i>0);
```

- Zweck: Überprüfung von logischen Annahmen während der Entwicklungsphase, speziell für die Überprüfung von Anfangs- und Endbedingungen in einer Funktion.
- Das Programm bricht mit einer Fehlermeldung ab, falls das Argument den booleschen Wert false besitzt. Im Beispiel oben: Abbruch, falls i <= 0.
- Zu beachten:
  - assert() ist wirkungslos, wenn ohne Debugschalter compiliert wird. Dies ist in der (Release-)Version der Fall, die ausgeliefert wird.
  - Bei den assert()-Anweisungen darf deshalb kein Nebeneffekt programmiert werden, da dieser in der ausgelieferten Version fehlen würde.
  - Beispiel:
    assert(openFile(filename) == ok);
    Wenn ohne Debugschalter compiliert wird, würde das File nicht mehr geöffnet!

Teil VIII
Klassen

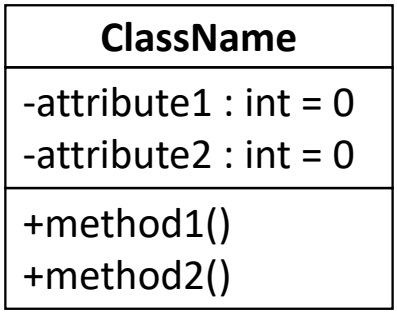
36 Objektorientierte Programmierung

36.1 Prozedurale vs. Objektorientierte Sicht

Die Objektorientierte Sicht ist meist die intuitivere Sicht der Realität als die prozedurale, da physisch existierende Objekte direkt als Objekte in einem objektorientierten Design modelliert werden können.

37 Unified Modeling Language (UML)

www.uml.org



- UML ist...
  - **kein** Softwareprozess-Modell
  - **kein** Lebenszyklusmodell
  - **keine** Programmiersprache
  - nicht ohne Redundanz
    - es gibt oft mehrere Möglichkeiten, etwas zu modellieren
  - **kein** Softwaretool
- UML ist eine graphische Modellierungssprache
- Ziel der UML
  - fortlaufendes (objektorientiertes) Modellierungskonzept für alle Software-Entwicklungsphasen
- UML ist heute der de facto Standard für die Softwaremodellierung
- UML ist (programmier-)sprachenunabhängig
- UML unterstützt den gesamten Entwicklungsprozess
- UML integriert (fast) alle früheren Modellierungstechniken
  - Datenmodellierung
  - Prozessmodellierung
  - Zustands- und Verhaltensmodellierung
  - Steuerfluss-Modellierung

37.1 UML-Notation der Klasse

- Eine Klasse ist der Bauplan für Objekte.
- Eine Klasse besteht aus Daten (Attribute) und den Funktionen (Methoden) auf diesen Daten.
- Sichtbarkeit:
  +: public
  -: private
  #: protected

37.2 Klassenbegriff

- Eine Klasse ist eine Struktur (eine Struktur besteht nur aus Daten), die mit den Funktionen, welche auf diesen Daten arbeiten, erweitert wurde.
- Eine Klasse ist also eine Struktur, welche die Daten und die Funktionen auf diesen Daten in ein syntaktisches Konstrukt packt.
- **Die Klasse ist die Umsetzung der Datenkapsel.**
- Eine Klassendeklaration ist eine Typendefinition. Die "Variablenëiner Klasse werden als ”Objekte” bezeichnet.

37.3 Klasse definieren und Objekte anlegen: Syntax

Der Name der Klasse kann fast beliebig gewählt werden.
Konvention: mit Grossbuchstaben beginnen

```
class Classname // Deklaration der Klasse
{
  ...
};

Classname obj1;             // Objekt definieren
Classname obj2;             // Objekt definieren
Classname* objPtr;          // Objekt-Pointer definieren
Classname& objRef = obj1; // Objekt-Referenz definieren
```

38 Zugriffsschutz bei Klassen

- Innerhalb der Klasse hat jede Methode der Klasse auf die Elemente Zugriff. (innerhalb der Klasse sind die Methoden und Attribute der Klasse "lokale Globale")
- Von ausserhalb der Klasse gibt es grundsätzlich keinen Zugriff auf Klassenelemente (default, d.h. wenn nichts steht)
- Alles, was von aussen zugreifbar sein soll, muss explizit mit *public:* gekennzeichnet werden.
- Obwohl nicht unbedingt notwendig, werden die nach aussen nicht sichtbaren Elemente üblicherweise dennoch explizit mit *private:* gekennzeichnet.

38.1 Zugriffsschutz mit *public*, *protected* und *private*

public: Elemente können innerhalb und ausserhalb der Klasse angesprochen werden.

- fast alle Methoden sind *public*
- Attribute sollen **nie** *public* sein!

protected: Elemente können von innerhalb der Klasse und von abgeleiteten Klassen angesprochen werden.

- nur sparsam einsetzen

private: Elemente können nur innerhalb der Klasse angesprochen werden.

- grundsätzlich für alle Attribute und für einzelne (lokale) Methoden

38.1.1 Üblicher Aufbau einer Klassenschnittstelle

```
class Classname // Klassendeklaration
{
  public:
    ...
  protected:
    ...
  private:
    ...
};
```

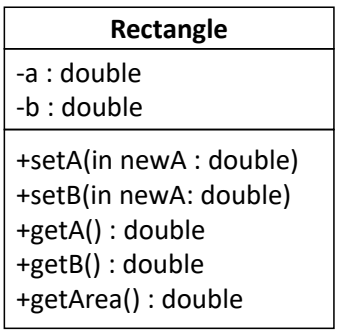
Achtung: Strichpunkt nicht vergessen!

38.2 Information Hiding

- Klassen exportieren generell ausschliesslich Methoden.
  Alle Daten sind im Innern (*private*-Abschnitt) verborgen, der Zugriff erfolgt über die so genannten Elementfunktionen.
- Jede Klasse besteht damit aus zwei Dateien, der Schnittstellendatei (.h) und der Implementierungsdatei (.cpp).

39 Beispiel einer Klasse: Rechteck (Rectangle)

- Welche Attribute besitzt ein Rechteck?
  - Länge a
  - Breite b
- Welche Funktionen (Methoden) sollen möglich sein?
  - a und b setzen
  - a und b abfragen
  - Flächeninhalt abfragen



39.1 Klassendeklaration

```
class Rectangle
{
  public:
    void setA(double newA);
    void setB(double newB);
    double getA() const;
    double getB() const;
    double getArea() const;
  private:
    double a;
    double b;
};
```

39.2 Klassendefinition direkt

```
class Rectangle
{
  public:
    void setA(double newA) {a = newA;}
    void setB(double newB) {b = newB;}
    double getA() const {return a;}
    double getB() const {return b;}
    double getArea() const {return a*b;}
  private:
    double a;
    double b;
};
```

Hinweis: Ist ok bei sehr kurzen Methoden. Verletzt Information Hiding, Methoden sind jedoch **implizit inline**.

39.3 Klassendefinition

```
#include "rectangle.h"
void Rectangle::setA(double newA)
{
  a = newA;
}

void Rectangle::setB(double newB)
{
  b = newB;
}

double Rectangle::getA() const
{
  return a;
}

double Rectangle::getB() const
{
  return b;
}

double Rectangle::getArea() const
{
  return a*b;
}
```

39.4 Klassenschnittstelle

Die Schnittstelle einer Klasse sollte minimal und vollständig sein. Vollständig in dem Sinne, dass Benutzer der Klasse alle sinnvollen Aktionen ausführen können. Minimal wiederum bedeutet, dass das Klassen-Interface so klein wie möglich sein sollte.

40 Elementfunktionen

- Sind Funktionen, die in der Schnittstelle der Klasse spezifiziert sind.
- Elementfunktionen haben vollen Zugriff auf alle Klassenelemente (auch auf solche, die mit *private* gekennzeichnet sind).
- Auf Elementfunktionen kann nur unter Bezugnahme auf ein Objekt der Klasse, bzw. mit dem Scope-Operator (*::*) zugegriffen werden.
- Elementfunktionen sollen prinzipiell in der Implementierungsdatei (*.cpp*) implementiert werden. Dem Funktionsnamen muss dabei der Klassenname gefolgt von *::* vorgestellt werden.

40.1 Klassifizierung von Elementfunktionen

- Konstruktoren/Destruktoren
  - Konstruktor: erzeugen eines Objekts
  - Destruktor: vernichten, freigeben eines Objekts
- Modifikatoren
  - ändern den Zustand eines Objekts (Attribute ändern)
- Selektoren
  - greifen nur lesend auf ein Objekt zu (immer const definieren!)
  - Beispiel:

```
bool Stack::isEmpty() const;
```

- Iteratoren
  - Erlauben, auf Elemente eines Objekts in einer definierten Reihenfolge zuzugreifen

40.2 *inline*-Elementfunktionen

- Elementfunktionen, die innerhalb der Deklaration der Klassenschnittstelle (im *.h*-File) implementiert sind, werden als (implizite) *inline*-Funktionen behandelt.
  - Implizite *inline*-Funktionen verletzen das Information Hiding Prinzip und sollten deshalb vermieden werden!
- Elementfunktionen können in der Klassenimplementation explizit mit dem Schlüsselwort *inline* gekennzeichnet werden.
- Jedoch: die impliziten *inline*-Funktionen sind die Funktionen, die garantiert immer *inline* verwendet werden (mit einigen wenigen Ausnahmen).

40.3 *const* - Elementfunktionen

- Elementfunktionen, die den Zustand eines Objekts nicht ändern (Selektoren) sollen explizit mit dem Schlüsselwort *const* gekennzeichnet werden.
- Das Schlüsselwort *const* muss sowohl im Prototypen als auch in der Implementierung geschrieben werden.
- Beispiel:

```
bool Stack::isEmpty() const;
...
bool Stack::isEmpty() const
{
  return top == 0;
}
```

Um zu verhindern, dass *const*-Objekte über den "Umweg" von Elementfunktionen verändert werden, dürfen "normale" Elementfunktionen nicht auf *const*-Objekte angewandt werden.

```
class Stack
{
  public:
    int pop();
    bool isEmpty() const;
  private:
    ...
};
...
void fooReadOnly(const Stack& s)
{
  bool b = s.isEmpty(); // ok. s ist const, isEmpty() ist auch const
  int i = s.pop();      // Fehler. s ist const, pop() nicht!
}
```

Hinweis: Damit mit *const*-Objekten überhaupt etwas gemacht werden kann, müssen die Elementfunktionen, welche die Attribute nicht verändern, konsequent mit *const* gekennzeichnet werden.

40.4 *mutable*-Attribut

Ein Datenelement, das nie *const* werden soll (auch nicht bei *const*-Elementfunktionen), kann mit *mutable* gekennzeichnet werden.

```
class Stack
{
  public:
    int pop();
    int peek() const; // read-only, liest nur das oberste Element
    bool isEmpty() const;
  private:
    int elem[maxElems]; // Array fuer Speicherung des Stacks
    int top; // Arrayindex des naechsten freien Elements
    mutable bool error; // true: Fehler passiert
    // mutable: auch const-Methoden koennen dieses Attribut setzen
};

int Stack::peek() const
{
  error = top == 0; // auch in const-Methode setzbar
  if (!error)
    return elem[top-1];
  else
    return elem[top];
}
```

41 Konstruktoren/Destruktoren

41.1 *this*-Pointer

Der *this*-Pointer ist ein Pointer auf das eigene aktuelle Objekt, welches eine Elementfunktion (Methode) aufgerufen hat.

```
const AnyClass& AnyClass::aMethod(const AnyClass& obj)
{
  this->anyFoo(); // Aufruf einer Methode ueber this
      // 'this' ist hier unnoetig, da Methode implizit mit aktuellem
      // Objekt ausgefuehrt wird
  if(this == &obj)// testen, ob eigene Adresse gleich der Adresse von obj ist
    ...
  return *this; // eigenes Objekt zurueckgeben
}
```

41.2 *friend*-Elemente

- *friend* - Jede Klasse kann andere Klassen oder Funktionen "zum Freund" erklären. Dadurch werden die Zugriffsregeln durchbrochen.
- Jeder *friend* darf auf **alle** Elemente der Klasse zugreifen.

Achtung: *friends*, insbesondere *friend*-Klassen, können ein Anzeichen für schlechtes Design sein. Sie durchbrechen wichtige Prinzipien der objektorientierten Programmierung. **Die Verwendung von *friend* sollte daher weitgehend unterbleiben.** Für ausgewählte Anwendungen kann damit jedoch sehr elegant programmiert werden (siehe Kap.XI).

41.3 *static*-Klassenelemente

- Grundsätzlich besitzt jedes Objekt einer Klasse seine eigene private Instanz aller Attribute einer Klasse.
- Wenn ein Attribut mit *static* gekennzeichnet wird, dann teilen sich alle Objekte dieser Klasse eine eigene Instanz dieses Attributs, d.h. ein statisches Attribut ist nur einmal für alle Objekte einer Klasse im Speicher vorhanden.
- *static*-Elemente befinden sich ausserhalb eines Objektkontextes.
- *static*-Elemente können auch über den Klassennamen angesprochen werden (da sie sich im Kontext einer Klasse befinden).

```
class T
{
  ...
  static int nrOfObjects = 34;  // Initialisierung ist ab C++03
                                // in der Deklaration nicht mehr erlaubt!
  static int nrOfObjects;       // Korrekt
};

static int T::nrOfObjects;  // Die Initialisierung kann in der Definition (.cpp)
      // erfolgen. Das Schluesselwort static muss hier weggelassen werden.
int T::nrOfObjects = 34;    // Definition (ist notwendig)

T myT;
myT.nrOfObjects++;     // Zugriff ueber Objekt (falls public)
T::nrOfObjects++;      // Zugriff ueber Klasse (falls public)
```

41.4 Konstruktor (Constructor, Ctor)

Aufgaben:

- Die Neugründung einer Objekts einer Klasse.
- Das "saubere" initialisieren des Objekts, d.h. **alle** Attribute des Objekts müssen auf einen definierten Wert gesetzt werden.
- Der Konstruktor hat in C++ denselben Namen wie die Klasse, hat keinen Rückgabetyp (auch nicht *void*) und kann überladen werden.

```
Stack::Stack(); // (Default-)Konstruktor
```

41.4.1 Aufruf

- Der Konstruktor soll nie explizit aufgerufen werden.
- Der Konstruktor wird vom System automatisch (implizit) aufgerufen, wenn ein Objekt erzeugt wird.

```
Stack s;
```

- Wenn durch den *new*-Operator Speicher angefordert **und** erhalten wird, dann wird der Konstruktor vom System ebenfalls automatisch aufgerufen.

```
Stack* pS = new Stack;
```

41.5 Welcher Konstruktor wird wann aufgerufen?

- Ein Konstruktor wird ausschliesslich dann aufgerufen, wenn ein neues Objekt erzeugt wird.
- Wenn feststeht, dass ein Konstruktor benötigt wird, muss man sich noch überlegen, welcher der allenfalls überladenen Konstruktoren aufgerufen wird.

41.6 Default-Konstruktor

- Der Default-Konstruktor ist der Konstruktor ohne Parameter.
- Er wird immer aufgerufen, wenn bei der Objekterzeugung keine Parameter mitgegeben werden.
- Der Default-Konstruktor kann selbst definiert werden.
  - Das ist insbesondere dann notwendig, wenn innerhalb des Objekts Speicher dynamisch alloziert werden muss (bei der Objekterzeugung).
- Der Default-Konstruktor wird vom System automatisch erzeugt, wenn für eine Klasse kein Konstruktor explizit definiert ist.

41.6.1 Beispiel: Klasse TString (nach Lippman)

```
class TString
{
  public:
    TString(); // Default-Konstruktor
    int getLen() const;
  private:
    int len;
    char* str;
};
```

41.6.2 Implementation von TString::TString()

```
TString::TString()
{
  len = 0; // mit Anweisungen
  str = 0;
}

// mit Initialisierungsliste (besser)
TString::TString()
  : len(0), str(0)
{
}
```

Hinweis: Objektinitialisierungen werden wenn möglich über die Initialisierungsliste durchgeführt. (Effizienzgründe)

41.6.3 Überladen von Konstruktoren

- Der Default-Konstruktor wird implizit aufgerufen mit:

```
TString str;
```

- Ein TString-Objekt soll auch z.B: mit folgenden Anweisungen gegründet werden können:

```
TString str1 = "Hello";                    // implicit call
TString str2 = TString("Guten Morgen"); // explicit call
```

- Dazu bedarf es anderer (überladener) Konstruktoren.

41.6.4 Erweiterung der Klasse TString

```
class TString
{
  public:
    TString();  // Default-Konstruktor
    TString(const char* p);
    int getLen() const;
  private:
    int len;
    char* str;
};
```

Implementation:

```
TString::TString(const char* p)
{
  if(p==0)
  {
    len = 0;
    str = 0;
  }
  else
  {
    len = strlen(p);
    str = new char[len+1];
    memcpy(str, p, len+1);
  }
}
```

Hinweis: Hier geht Initialisierungsliste nicht.

41.6.5 Konstruktoren und Function Casts

- Konstruktoren mit nur einem Parameter können dazu verwendet werden, ein Objekt vom Typ T aus einem anderen Objekt zu erzeugen (Typumwandlung).
- Beispiel:
  TString soll so erweitert werden, dass dem Konstruktor eine ganze Zahl übergeben wird und dieser daraus den entsprechenden String erzeugt.

```
TString::TString(int number);
// explicit call:
TString str1 = TString(12345);  // erzeugt "12345"
```

- Die implicit calls (bei Ctors mit einem Parameter)

```
// implicit calls
TString str2 = 12345;      // erzeugt "12345"
str2 = 789;   // erzeugt temporaeres Objekt "789" und weist dieses str2 zu
```

  sind gelegentlich nicht erwünscht.
- Wenn der Konstruktor mit explicit gekennzeichnet wird, kann dieser Ctor nicht mehr implizit, sondern nur explizit aufgerufen werden.

```
explicit TString::TString(int number);

TString str1 = TString(12345);  // ok (explicit)
TString str2 = 12345;           // nicht erlaubt (implicit call)
str2 = 78;                      // nicht erlaubt (implicit call)
str1 = 567;                     // nicht erlaubt (implicit call)
```

41.6.6 Erweiterung der Klasse TString mit *explicit*-Ctor

```
class TString
{
  public:
    TString();     // Default-Konstruktor
    TString(const char* p);
    explicit TString(int number);
    int getLen() const;
  private:
    int len;
    char* str;
};
```

41.6.7 Copy-Konstruktor

- Der Copy-Konstruktor wird dazu verwendet, Objekte zu kopieren.
- Der Copy-Konstruktor erhält als Parameter immer eine konstante Referenz auf ein Objekt der Klasse. Für TString sieht er wie folgt aus:

```
TString(const TString& s);     // Copy-Konstruktor

// welche Konstruktoren werden aufgerufen?
TString str1("Hello World");  // normaler Konstruktor TString(const char* p)
TString str2 = str1;     // Copy-Konstr. (Initialisierung, nicht Zuweisung!)
TString str3(str1);      // Copy-Konstruktor
```

41.6.8 Copy-Konstruktor wird automatisch aufgerufen, wenn...

- ein Objekt erzeugt und mit einem anderen Objekt derselben Klasse initialisiert wird.
- ein Objekt als Wertparameter (*by value*) an eine Funktion übergeben wird (nicht aber bei Referenzierungsparametern → wichtig!).
- ein Objekt *by value* als Resultat einer Funktion zurückgegeben wird (nicht bei Referenzrückgaben).

Hinweis: Ein Copy-Ctor wird nur dann benutzt, wenn ein neues Objekt erzeugt wird, aber nicht bei Zuweisungen, also Änderungen von Objekten.
Bei Zuweisungen wird der vom System bereitgestellte Zuweisungsoperator benutzt, sofern kein eigener definiert wurde.

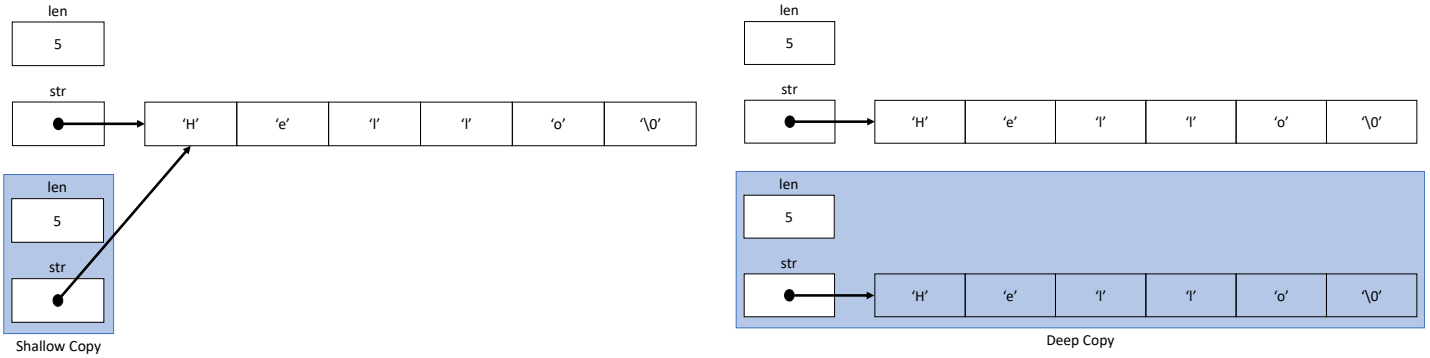
41.6.9 Erweiterung der Klasse TString mit Copy-Ctor

```
class TString
{
  public:
    TString();                    // Default-Konstruktor
    TString(const TString& s);    // Copy-Konstruktor
    TString(const char* p);
    explicit TString(int number);
    int getLen() const;
  private:
    int len;
    char* str;
};
```

41.6.10 *Shallow Copy* vs. *Deep Copy*

- Wenn für eine Klasse kein Copy-Konstruktor definiert wird, erzeugt das System einen Standard-Copy-Konstruktor.
- Dieser kopiert alle Datenelemente (memberwise assignment). Bei Pointern, welche auf den Heap zeigen, wird nur die Adresse kopiert, nicht aber der Speicher auf dem Heap. Man nennt das *shallow copy*. (*shallow*=flach).
- Bei einer *deep copy* werden auch die Speicherbereiche, auf welche Pointer zeigen, kopiert. Die *deep copy* muss in einem selbst definierten Copy-Konstruktor implementiert werden.

Hinweis: Wenn ein Objekt Speicher auf dem Heap alloziert, muss ein eigener Copy-Konstruktor definiert werden (in allen anderen Fällen meist nicht).



41.6.11 Copy-Konstruktor der Klasse TString

```
TString::TString(const TString& s)
  : len(s.len)
{
  if (s.str == 0)
  {
    str = 0;
  }
  else
  {
    str = new char[len+1];
    mamcpy(str, s.str, len+1);
  }
}
```

41.7 Destruktor (Destructor, Dtor)

Aufgaben:

- die vollständige "Zerstörung" eines nicht mehr benötigten Objekts.
- das "saubere" Entfernen eines Objekts.
- die häufigere Aufgabe ist die Freigabe von nicht mehr benötigtem Speicher auf dem Heap.
- sehr häufig (wenn kein Speicher auf dem Heap vorhanden ist) wird kein Destruktor definiert, da das System dann automatisch aufräumt.

41.7.1 Eigenschaften des Destruktors

- Destruktoren haben keine Argumente und keinen Rückgabetyp (sie können auch nicht überladen werden).
- Ihr Name besteht aus dem Klassennamen mit vorgestellter Tilde.
- Destruktoren werden automatisch aufgerufen, wenn der Gültigkeitsbereich des definierten Objekts ausläuft.
- Die Reihenfolge des Aufrufs der Destruktoren ist umgekehrt wie die der Konstruktoren (das zuletzt erzeugte Objekt wird zuerst aufgeräumt).

41.7.2 Erweiterung der Klasse TString mit Destruktor

```
class TString
{
  public:
    TString();     // Default-Konstruktor
    TString(const TString& s);
    TString(const char* p);
    explicit TString(int number);
    ~TString();    // Destruktor
    int getLen() const;
  private:
    int len;
    char* str;
};
```

41.7.3 Implementation des Destruktors

```
TString::~TString()
{
  delete[] str;
  // weil str ein Array auf dem Heap ist
}
```

41.7.4 Schnittstelle der Klasse TString

```
class TString
{
  public:
    TString();                  // Default-Konstruktor
    TString(const TString& s);  // Copy-Konstruktor
    TString(const char* p);
    TString(int l, char fillChar);
    explicit TString(int number);
    ~TString();                 // Destruktor
    int getLen() const;
  private:
    int len;
    char* str;
};
```

42 Handhabung von Klassen und Objekten

42.1 Automatisch generierte Elementfunktionen

- Die folgenden Elementfunktionen werden vom Compiler automatisch erstellt, falls sie im Programm benötigt und nicht vom Programmierer explizit deklariert werden:
  - Default-Konstruktor
  - Copy-Konstruktor
  - Destruktor
  - Zuweisungsoperator
  - Adressoperator
- Automatisch generierte Elementfunktionen können als *private* deklariert werden (implementieren ist nicht nötig!), um die Verbindung zu unterbinden.

42.2 Kanonische Form von Klassen

- Als kanonische Form einer Klasse bezeichnet man jene Form, die es erlaubt, eine Klasse wie einen ”normalen” Datentyp zu benutzen. → dies ist für alle Klassen anzustreben!
- Dazu müssen drei Bedingungen erfüllt sein:
  - Ein korrekter Default-Konstruktor, plus evtl. weitere Konstruktoren müssen vorhanden sein.
  - Wenn die Klasse dynamische Daten enthält, braucht es auch einen Zuweisungsoperator (siehe Kap.53.4.3) und einen Copy-Konstruktor.
  - Ein (virtueller) Destruktor garantiert die korrekte Zerstörung von Objekten.

42.3 Benutzerdefinierte Typumwandlungen: Problemstellung & Lösung

Problemstellung:

- Wenn zwei ganze Zahlen unterschiedlichen Typs (z.B. *int* und *short*) addiert werden, so ist der Additionsoperator vom System für folgende Varianten definiert:
  int + int
  int + short
  short + int
  short + short
- Dasselbe gilt auch für alle weiteren Operatoren. (In C++ können Operatoren auch selbst für eigene Klassen definiert werden (siehe Kap.XI).)
- Wenn nun eine neue Klasse *VeryLargeInt* eingeführt wird, so sind die Operatoren für diese Klasse noch nicht definiert. Nur schon für den Additionsoperator zwischen *VeryLargeInt* und *int* müssten folgende Varianten definiert werden:
  int + VeryLargeInt
  VeryLargeInt + int
  VeryLargeInt + VeryLargeInt
- Dasselbe gilt auch für alle weiteren Operatoren. Für die Grundoperatoren +, -, *, /, +=, -=, *=, /= müssten somit 24 Operatoren definiert werden.
- Weitere wären für *short*, *char*, *long* etc. nötig.

Lösung:

- Die einfachere Variante ist, wenn für jeden Typ eine Typumwandlung definiert wird.
- Somit braucht es pro Typ eine Umwandlungsfunktion, die Operatoren arbeiten anschliessend nur noch mit der Klasse *VeryLargeInt*.
  VeryLargeInt + VeryLargeInt
- Für die Grundoperatoren +, -, *, /, +=, -=, *=, /= müssten nur noch die 8 Operatoren definiert werden.
- Zusätzlich müsste noch die Typumwandlung von jedem Typ (*short*, *int*, etc.) in *VeryLargeInt* definiert werden.

42.4 Typumwandlung mit Konstruktor

Häufig werden Typumwandlungen mit Hilfe von Konstruktoren implementiert:

```
VeryLargeInt(int);
```

Achtung: Aufpassen bei Implicit Calls von Ctors. (siehe Kap.41.4.1)

Beispiel:

- In Embedded Systems müssen häufig Befehle als Bytestream über einen Kommunikationskanal übertragen werden. Die Befehle beinhalten meist eine Befehls-ID, eine bis mehrere Befehlsparameter, Längenangaben, etc. Das Befehlsformat ist eindeutig definiert.
- Der Befehl könnte in einer Klasse *Command* abgebildet werden.
- Die Interpretation des Bytestreams könnte als Typumwandlung in einem Konstrukor implementiert werden:

```
Command(const uint8_t* byteStream);
```

42.5 Unions (Varianten)

42.5.1 Eigenschaften einer Union

- ähnlich einer Struktur
- beinhaltet auch mehrere Felder unterschiedlichen Typs
- im Gegensatz zur Struktur ist aber nur ein einziges Feld jeweils aktiv (abhängig vom Typ)
- die Grösse einer Union ist **so gross wie das grösste Feld** in der Union
- Bei der Union sind dieselben Operationen wie bei einer Struktur definiert (siehe Kap.28)

42.5.2 Definition von Uniontypen und Unionvariablen

Verwenden des Schlüsselworts *union*
Allgemeine Form:

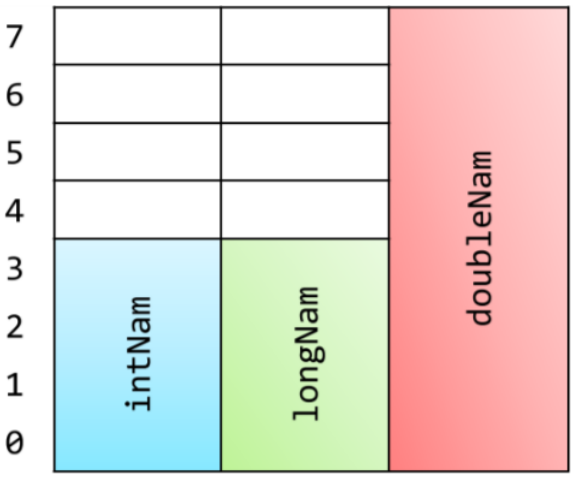
```
union UnionName
{
  public:
    ...
  private:
    FeldTyp1 feld1;
    FeldTyp2 feld2;
    FeldTyp3 feld3;
    ...
    FeldTypN feldN;
};
```

- UnionName kann frei gewählt werden
- *union UnionName* ist ein hier selbst definierter Typ, der weiter verwendet werden kann.
- Der Datentyp ist definiert durch den Inhalt der geschweiften Klammer.
- Der Feldtyp kann wiederum eine Union oder auch eine Struktur sein.

Achtung: Der Programmierer muss verfolgen, welcher Typ jeweils in der Union gespeichert ist. Der Datentyp, der entnommen wird, muss der sein, der zuletzt gespeichert wurde. **Sehr zurückhaltend einsetzen!**

42.5.3 Beispiel: Definition einer Union

```
union Vario
{
  private:
    int    intNam;
    long   longNam;
    double doubleNam;
};
```



42.6 Bitfelder

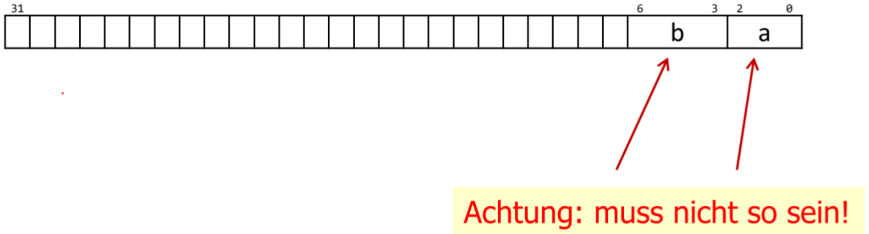
42.6.1 Eigenschaften von Bitfeldern

- Innerhalb eines *int* können einzelne Bitgruppen definiert und angesprochen werden.
- Sollte nicht eingesetzt werden, um damit Speicher zu sparen.
- Bei Embedded Systems ist der Einsatz unter Umständen sehr nützlich, wenn auf einzelne Register zugegriffen werden soll.

Achtung: Leider definiert der C++-Standard (und auch der C-Standard) nicht, ob die Bits von Links nach Rechts oder von Rechts nach Links aufgefüllt werden. Falls der Standard dies definieren würde, wären die Bitfelder ein sehr gutes Konstrukt.

42.6.2 Definition von Bitfeldern

```
struct FieldName
{
  unsigned int a: 3;  // definiert 3 Bits fuer a
  unsigned int b: 4;  // definiert die naechsten 4 Bits fue b
  ...
};
```



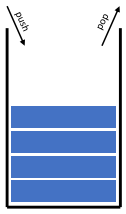
42.6.3 Bitfelder: Folgerungen

- Mit diesem Bitfeld-Mechanismus soll weder in C noch in C++ gearbeitet werden, wenn der Code portabel sein soll.
- Die bessere Alternative ist die Verwendung von Bitmasken-Operationen. Diese können in C++ bspw. in inline-Funktionen verpackt werden.

43 Beispielprojekt Stack

43.1 Stack

- Der Stack ist ein oft verwendetes Speicherkonstrukt für Daten.
- Bei einem Stack werden neue Elemente immer oben eingefügt.
- Elemente werden immer auch wieder oben weggenommen.
- Synonyme:
  - Stapel
  - LIFO (Last In First Out)
  - (Kellerspeicher)



43.1.1 Stack - Operationen

push()	ein neues Objekt einfügen
pop()	ein Objekt entfernen
isEmpty()	liefert true falls der Stack leer ist
isFull()	liefert true falls der Stack voll ist
init()	initialisiert einen leeren Stack

43.1.2 Demo: Codebeispiel für Stack (Stack_Datenkapsel)

listings/Stack_Datenkapsel/stack.h

```
// Datei: stack.h
// Schnittstellendefinition fuer Stack
// R. Bonderer, 24.03.2010
#ifndef STACK_H_
#define STACK_H_

namespace storage
{
void init();
// initialisiert den Stack, muss als erste Methode aufgerufen werden, bevor Stack
   benutzt werden kann

void push(int e);
// legt ein Element auf den Stack, falls der Stack noch nicht voll ist
// wasError() gibt Auskunft, ob push() erfolgreich war

int pop();
// nimmt ein Element vom Stack, falls der Stack nicht leer ist
// wasError() gibt Auskunft, ob pop() erfolgreich war

int peek();
// liest das oberste Element vom Stack, falls der Stack nicht leer ist
// wasError() gibt Auskunft, ob peek() erfolgreich war

bool isEmpty();
// return: true:  Stack ist leer
//         false: sonst

bool isFull();
// return: true:  Stack ist voll
//         false: sonst

bool wasError();
// return: true: Operation war fehlerhaft
//         false: sonst
} // namespace storage

#endif // STACK_H_
```

listings/Stack_Datenkapsel/stack.cpp

```
// Datei: stack.cpp
// implementiert Stackoperationen
// R. Bonderer, 24.03.2016

#include "stack.h"
namespace // nameless namespace fuer file-lokale Daten
{
enum {maxElems = 10};     // Anzahl Stackelemente
int elem[maxElems];       // Array fuer Speicherung des Stacks
int top;                  // Arrayindex des naechsten freien Elements
bool error;               // true: Fehler passiert; false: sonst
}

namespace storage
{
void init()
{
  top = 0;
  error = false;
}

void push(int e)
{
  error = isFull();
  if (!error)
  {
    elem[top] = e;
    ++top;
  }
}

int pop()
{
  error = isEmpty();
  if (!error)
  {
    --top;
  }
  return elem[top];  // ist auch ok im Fehlerfall
}

int peek()
{
  error = isEmpty();
  if (!error)
    return elem[top-1];
  else
    return elem[top];  // elem[top] ist immer ein gueltiges Element
}

bool isEmpty()
{
```

```
  return top == 0;
}

bool isFull()
{
  return top == maxElems;
}

bool wasError()
{
  return error;
}
} // namespace storage
```

43.1.3 Demo: Klasse Stack

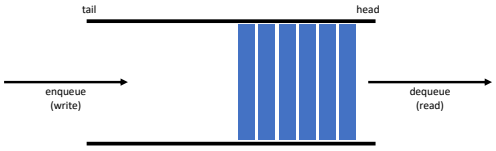
- Stack::init() durch ctor ersetzen
- Verhalten bei privatem Default Ctor
- Verhalten bei privatem Copy Ctor
  - Wenn der Copy Ctor privat deklariert wird (ohne ihn zu implementieren), dann verhindert der Compiler das Kopieren von Objekten dieser Klassen
  - Das kann in gewissen Fällen ein durchaus erwünschtes Verhalten sein

43.2 Queue

- Die Queue ist ein weiteres Speicherkonstrukt für Daten.
- Bei einer Queue werden neue Elemente immer am Ende (tail) eingefügt.
- Elemente werden immer am Anfang (head) weggenommen.
- Synonyme:
  - Warteschlange
  - FIFO (First In First Out)
  - Pipe
  - Buffer (engl.)
  - Puffer (dt.)

43.2.1 Queue - Operationen

enqueue() / write()	ein neues Objekt hinzufügen
dequeue() / read()	ein Objekt entfernen
isFull()	liefert true falls die Queue voll ist
isEmpty()	liefert true falls die Queue leer ist
init()	initialisiert eine leere Queue

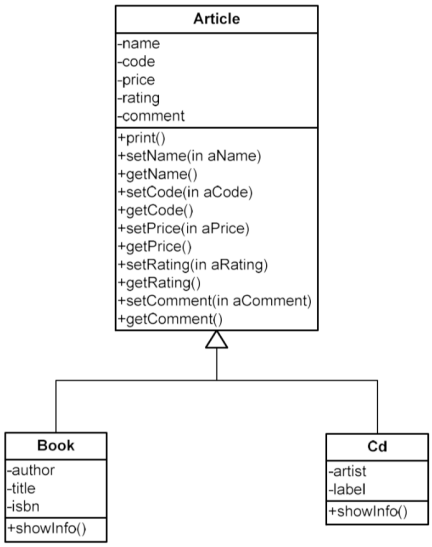


Teil IX
Vererbung

44 Motivation

Sie müssen einen Webshop entwickeln. Sie verkaufen Bücher und CDs.
Welche Eigenschaften und Methoden benötigen Sie, um ein Buch bzw. eine CD zu charakterisieren?

45 Artikel als Gemeinsamkeit von Buch und CD

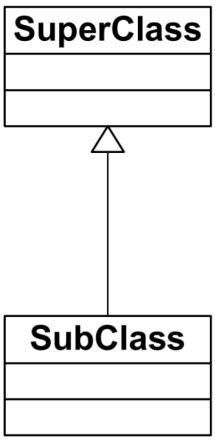


46 Grundkonzept

- Die Vererbung erlaubt, neue Klassen auf der Basis von bestehenden Klassen zu definieren. Dabei erbt (übernimmt) die neue (Unter-)Klasse alle Eigenschaften der bestehenden (Über-)Klasse.
- Man sagt auch, die Oberklasse sei eine Basisklasse, Superclass, Abstraktion oder Generalisierung (Verallgemeinerung).
- Die Unterklasse wird auch mit Subclass oder als Spezialisierung bezeichnet.

46.1 Einsatz der Vererbung

- Bestehende Klassen erweitern
  - zusätzliche Attribute erweitern
  - zusätzliche Elementfunktionen
- Bestehende Methode einer Basisklasse ändern (überschreiben)
- Das Finden von guten Basisklassen ist eine Hauptaufgabe in der Designphase.



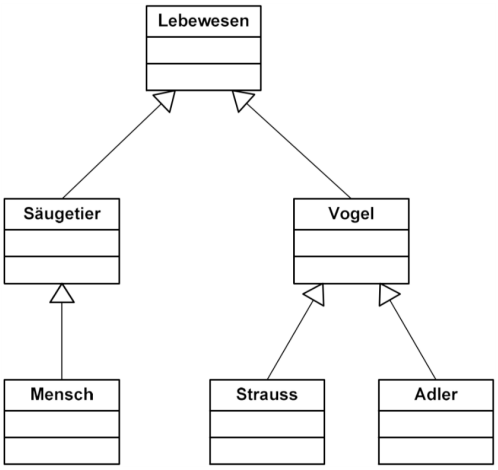
46.2 UML-Notation

- Generalisierung/Spezialisierung
- *SubClass* erbt sämtliche Eigenschaften von *SuperClass*
- ist-ein Beziehung (*SubClass* **ist eine** *SuperClass*)
- Pfeilspitze ist ein geschlossenes Dreieck

46.2.1 "ist ein"-Beziehung

"ist ein"-Beziehung ("is a"-relationship)
Beispiel: Baum **ist eine** Pflanze, Blume **ist eine** Pflanze.

46.3 Beispiel: Vererbungshierarchie Lebewesen



46.3.1 C++-Syntax

```
class SubClass : public SuperClass
{
  public:

  protected:

  private:

};
```

public ist Normalfall (private und protected sind auch möglich).

46.3.2 Zugriff auf Elemente der Basisklasse

Vererbung	Basis (Base)	Abgeleitet (Derived)
Public (Normalfall)	public, protected, private	public, protected, private
protected	public, protected, private	public, protected, private
private	public, protected, private	public, protected, private

46.4 Spezifikation von Basisklassen

- Grundsatz: Vererbung sollte immer *public* sein (zu 99,99%)
- Falls bei Vererbung *protected* oder *private* in Betracht gezogen wird, kann der Grund dafür eine falsche Verwendung der Vererbung sein
- Für ganz spezifische Anwendungen kann die Vererbung mit *protected* oder *private* sinnvoll sein

46.5 Einsatz von *protected* bei Klassenelementen

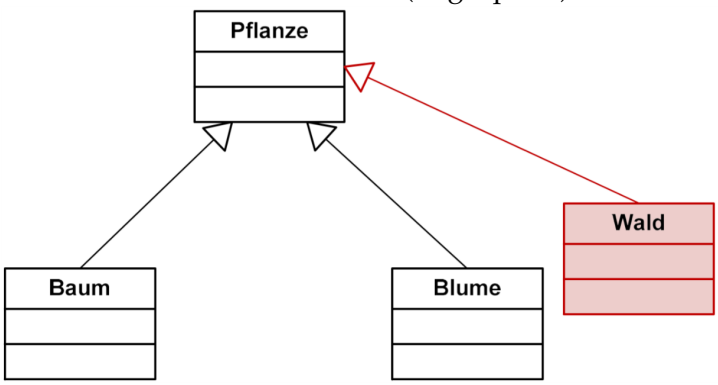
- Bei Datenelementen (Attributen) soll *protected* grundsätzlich nicht eingesetzt werden. Attribute sollen generell *private* sein.
- Bei Elementfunktionen kann es in Einzelfällen sinnvoll sein, diese als *protected* zu definieren. Dadurch wird der Zugriff gegenüber einer *public*-Sichtbarkeit auf die abgeleiteten Klassen beschränkt.

46.6 Objektgrösse bei der Vererbung

- Ein Objekt einer vererbten Klasse enthält alle Teile der Basisklasse(n) und zusätzlich noch die spezifischen eigenen Teile.
- Das Objekt ist somit mindestens so gross wie jenes der Basisklasse(n). (es gibt keine Vererbung "by reference")
- Wenn Vererbung schlecht eingesetzt wird (z.B. keine is-a-Beziehung), können unnötig grosse Objekte entstehen.
- Bei einer Aggregationsbeziehung kann durchaus eine Referenz (oder ein Pointer) auf ein anderes Objekt verwendet werden, d.h. Aggregation "by reference" ist möglich.

47 Schlechter (falscher) Einsatz von Vererbung

Zwischen Wald und Pflanze besteht nicht eine "ist-ein" Beziehung. Die richtige Beziehung wäre "hat-ein", da ein Wald mehrere Pflanzen hat (folgt später).



48 Substitutionsprinzip

- Ein Objekt einer Oberklasse kann Objekte einer beliebigen Unterklasse aufnehmen.
- Ein Objekt einer Unterklasse kann keine Objekte der Oberklasse aufnehmen.

```
class SuperClass{};

class SubClass : public SuperClass {};

SuperClass super;
SubClass sub;
super = sub;   // ok
sub = super;   // geht nicht
```

Teil X
Polymorphismus

Auftrag: Stellen Sie bei allen Uhren die Zeit eine Stunde vor.

- Obwohl der Auftrag völlig klar ist, hat man Mühe ihn auszuführen, weil jede Uhr auf eine andere Art verstellt wird.
- Der Auftrag ist recht abstrakt, die Ausführung ist aber sehr konkret, sobald sie wissen, welche Uhr sie verstellen müssen

49 Static vs. Dynamic Binding

- Static Binding (early binding, statische Bindung)
  - bereits zur Compilezeit wird festgelegt, welcher (Elementfunktions-) Code ausgeführt wird (Normalfall)
- Dynamic Binding (late binding, dynamische Bindung)
  - erst zur Laufzeit wird in Abhängigkeit des Objekts festgelegt, welcher (Elementfunktions-) Code ausgeführt wird
  - Analogie: sobald sie wissen, welche Uhr sie verstellen müssen, können sie das konkrete Verfahren anwenden
  - das ist das Konzept des Polymorphismus

49.1 Dynamic Binding

- ist der mächtigste OO-Mechanismus (oft präziser mit run-time polymorphism bezeichnet)
- Elementfunktionen, die dynamisch gebunden werden, muss bei der Deklaration das Schlüsselwort *virtual* vorangestellt werden (zwingend!)
  - in der abgeleiteten Klasse soll (muss aber nicht) die Funktion auch mit *virtual* gekennzeichnet werden
- Polymorphismus wird häufig als ineffizient bezeichnet, oft jedoch zu unrecht (mehr darüber im Vertiefungsmodul Embedded Software Engineering)
- Regeln:
  - Eine Funktion soll dann als *virtual* deklariert werden, wenn sie in der abgeleiteten Klasse neu definiert (überschrieben) wird, sonst nicht! In diesem Fall muss auch der Destruktor *virtual* sein.
  - Der Destruktor muss auch dann *virtual* sein, wenn ein Objekt einer Unterklasse dynamisch erzeugt wird und einem Pointer auf die Basisklasse zugewiesen wird (Substitutionsprinzip).
- Achtung: nicht mit Funktionsüberladung (gleicher Name aber unterschiedliche Signatur) verwechseln!

49.2 Statischer vs. dynamischer Datentyp

```
class Article;
class Book : public Article {};
Article* pa;
pa = new Book;
```

- Der statische Datentyp bezeichnet den Datentyp bei der Deklaration → *pa* ist ein pointer auf Article
- Der dynamische Datentyp bezeichnet den effektiven Datentyp zur Laufzeit → *pa* ist ein Pointer auf Book

49.3 Aufruf von virtuellen Elementfunktionen

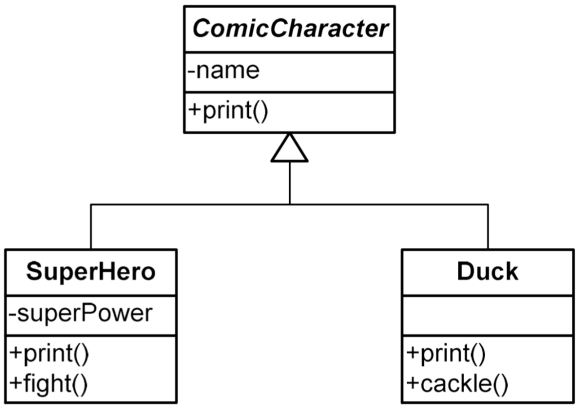
- Virtuelle Elementfunktionen können sowohl dynamisch (über Pointer oder Referenzen) als auch statisch aufgerufen werden.
- Bei statischen Aufrufen erfolgt die Auswahl der richtigen Funktion bereits bei der Übersetzung (d.h. ohne Overhead)
  - Dies ist dann der Fall, wenn das Objekt bereits zur Entwicklungszeit bekannt ist.
- Bei dynamischen Aufrufen erfolgt die Auswahl der richtigen Funktion zur Laufzeit aufgrund des tatsächlichen (dynamischen) Typs des Objekts. Dies ist mit einem Overhead verbunden.

49.3.1 Statischer Aufruf von virtuellen Elementfunktionen

```
Duck donald;
SuperHero luckyLuke;

donald.print();      // Duck::print()
luckyLuke.print();   // SuperHero::print()
```

49.3.2 Dynamischer Aufruf von virtuellen Elementfunktionen

```
void printCC1(const ComicCharacter& c)
{
  c.print();     // dynamische Aufloesung
}

void printCC2(const ComicCharacter* pc)
{
  pc->print();   // dynamische Aufloesung
}

Duck donald;
SuperHero luckyLuke;
printCC1(donald);      // Duck::print()
printCC2(&luckyLuke); // SuperHero::print()
```



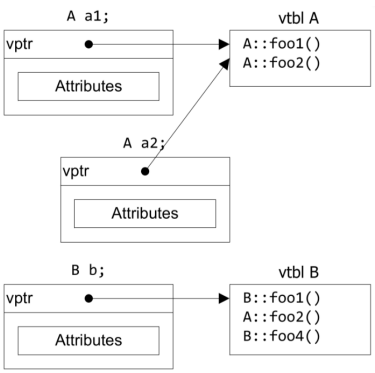
49.4 Polymorphe Klassen (Virtuelle Klassen)

- Eine Klasse, welche mindestens eine virtuelle Funktion deklariert, heisst virtuell (polymorph)
- Virtuelle Klassen bewirken einen Mehraufwand für den Compiler und sind darum langsamer in der Ausführung
- Funktionen sollten nur dann als virtuell deklariert werden, wenn sie in einer abgeleiteten Klasse überschrieben werden (sollen)
- Konstruktoren sind nie virtuell
- Destruktoren virtueller Klassen müssen immer als virtuell deklariert werden, sonst wird nur der Destruktor der Basisklasse aufgerufen
- Destruktoren müssen auch dann virtuell sein, wenn ein Heapobjekt über einen Pointer der Basisklasse freigegeben wird
- Nicht virtuelle Methoden dürfen nicht überschrieben werden

49.4.1 Repräsentation virtueller Objekte im Speicher

- In der Virtual Function Table (vtbl) vermerkt das System der Reihe nach die Adressen der für eine Klasse gültigen virtuellen Elementfunktionen
- Das System legt für jede polymorphe Klasse eine vtbl an
- Jedes Objekt einer polymorphen Klasse enthält einen Virtual Table Pointer (vptr), welcher auf die vtbl der entsprechenden Klasse zeigt

```
class A
{
public:
  virtual void foo1();
  virtual void foo2();
  void foo3();
};

class B : public A
{
public:
  virtual void foo1();
  virtual void foo4();
};
```



50 Abstrakte Klassen

- Für manche Situationen sind die Vererbungsmechanismen, die wir bisher kennen gelernt haben, nicht ausreichend.
- Ein Kreis ist z.B. ein Spezialfall einer Ellipse. Es ist aber nicht sinnvoll, ihn so zu programmieren, da er sonst Eigenschaften erbt, die nicht verwendet werden.
- Es wäre möglich, Kreis und Ellipse als zwei unabhängige Klassen zu programmieren. Dann müssten aber alle Eigenschaften, die diese gemeinsam haben, doppelt programmiert werden.
- Dies versucht die objektorientierte Programmierung zu vermeiden.
- Es ist besser, die Eigenschaften, die Kreise und Ellipsen gemein haben, in einer Basisklasse zu programmieren.
- Die Kreis- und Ellipsenklassen erben dann parallel von der gemeinsamen Basisklasse.
- **Die Basisklasse ist aber unvollständig, es handelt sich um eine abstrakte Klasse.**
- Es können keine Objekte von abstrakten Klassen gebildet werden.
- In C++ können rein virtuelle Funktionen (pure virtual functions) deklariert werden, die in der Basisklasse nicht von einer Definition begleitet werden.
- Klassen, die mindestens eine rein virtuelle Funktion deklarieren, sind abstrakte Klassen
- Ist eine Klasse erst einmal als abstrakt definiert, kann diese nur durch Vererbung vervollständigt und dadurch nutzbar gemacht werden.

50.1 Anwendungen von abstrakten Klassen (Beispiele)

- Definition von Schnittstellen (Interfaces)

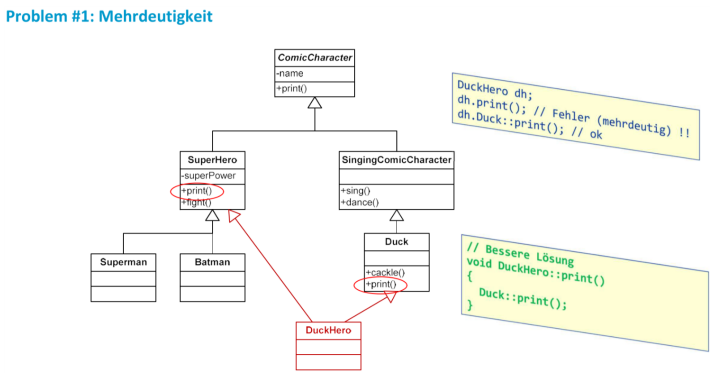
  Abstrakte Kommunikationsklasse SerialCom, USB, Ethernet, etc. können davon sein

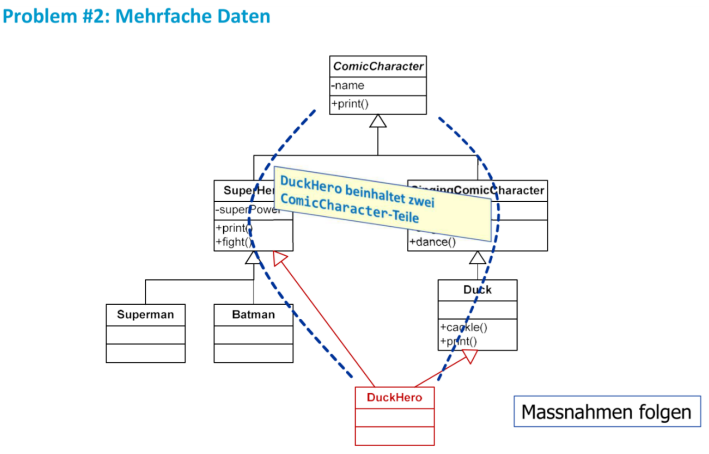
  Abstrakte Printerklasse Jeder Printertreiber erbt davon, bzw. implementiert dieses Interface. Die Hauptapplikation (z.B. Word) muss nicht geändert werden, wenn ein neuer Printertreiber implementiert wird.

- "Real nicht existierende Abstrahierungen"
  - ...von denen es keinen Sinn macht, ein Objekt zu erzeugen.
  - Geometrische Figur als Gemeinsamkeit von Kreis, Rechteck, etc.

51 Mehrfachvererbung (Multiple Inheritance, MI)

- Manchmal ist es sinnvoll, eine abgeleitete Klassen von mehreren verschiedenen Basisklassen erben zu lassen.
- Wir sprechen dann von Mehrfachvererbung.
- Bei der Mehrfachvererbung werden die Basisklassen durch Komma getrennt:
  class SingingWaiter : public Waiter, public Singer
- Bei den Konstruktoren (Chaining) müssen die Konstruktoren der Basisklassen in der Ordnung gelistet werden, in der sie aufgerufen werden sollen.





- Mehrfachvererbung ist ein sehr mächtiges Konzept, das (richtig eingesetzt) sehr nutzbringend sein kann. Bei schlechtem Einsatz der Mehrfachvererbung können enorme Probleme eingehandelt werden.

- Ein "guter" Einsatz der Mehrfachvererbung ist, wenn alle ausser höchstens einer Basisklasse ausschliesslich aus rein virtuellen Funktionen bestehen (Interfaces). Die neue Klasse implementiert dann die aufgelisteten Interfaces.
- Das ist die Art "Mehrfachvererbung", die auch in Java vorhanden ist: Vererbung gibt es nur einfach mit extends plus beliebige Implementationen von einem bis mehreren Interfaces mit implements.

51.1 Virtuelle Basisklassen

Um zu vermeiden, dass bei Mehrfachvererbung eine gemeinsame Basisklasse mehrfach im Speicher vorkommt, kann virtuell geerbt werden.

```
class SingingComicCharacter : virtual public ComicCharacter
{
  ...
};

class SuperHero : virtual public ComicCharacter
{
  ...
};
```

In der Klasse DuckHero muss als erstes der ComicCharacter-Konstruktor aufgerufen werden.

52 Laufzeit-Typinformationen (Run-Time Type Information, RTTI)

- Wie kann der (dynamische) Type eines polymorphen Objekts ermittelt werden?
- RTTI heisst der Mechanismus und **steht ausschliesslich für polymorphe Klassen zur Verfügung**
- Operator *dynamic_cast*
- Operator *typeid*
- Struktur *type_info*

Achtung: RTTI sollte nur äusserst zurückhaltend eingesetzt werden!

- Einsatz z.B. bei persistenten Objekten (um z.B. auch Klasseninformationen in einer rationalen Datenbank abzuspeichern)

52.1 Operator *dynamic_cast*

- Syntax: `dynamic_cast<SuperHero*>(p)`
- Versucht, den Zeiger *p* in einen Zeiger auf ein Objekt des Typs *SuperHero* umzuwandeln.
- Der dynamische Datentyp von *p* ist massgebend.
- Umwandlung wird dann durchgeführt, wenn *p* tatsächlich auf ein Objekt vom Typ *SuperHero*, bzw. auf eine davon abgeleitete Klasse zeigt.
  - Andernfalls ist das Resultat der Umwandlung der Nullpointer!

52.2 Operator *typeid*

- Ermitteln des dynamischen Datentyps eines polymorphen Objekts
- Ergibt eine Referenz auf ein Objekt des Typs *type_info*. Diese Klasse beinhaltet u.a. eine Methode *name()*, welche den Namen der Klasse zurückgibt.

- Beispiel:

```
cout << "p ist ein " << typeid(*p).name() << "Objekt";
```

Teil XI
Überladen von Operatoren (Operator overloading)

Überladen ist hier nicht im Sinne von ”zu viel laden” zu verstehen, sondern im Sinne von ”drüber laden”, ”zudecken”, ”neu definieren”.
Mit Operator overloading kann ein bestehender Operator neu definiert (überladen) werden.

53 Operator overloading in C++

- Spezialität von C++ (wurde auch in C# aufgenommen, nicht aber in Java)
- Operatoren (z.B. +, ==, etc.) können wie Funktionen überladen werden, z.B.
  - Der Operator + kann bei einer String-Klasse sehr praktisch sein, um zwei Strings aneinanderzufügen.
  - Der Operator + kann definiert werden, um zwei Matrizen oder zwei komplexe Zahlen zu addieren.
  - Der Operator « kann für eine neue Klasse definiert werden, um auch Objekte dieser Klasse auf *cout* schreiben zu können. Damit können neue Klassen nahtlos in das bestehende C++-System integriert werden.
- Operator overloading ist zwar nicht sehr objektorientiert aber enorm praktisch.

53.1 Überladbare (overloadable) Operatorfunktionen in C++

new	delete	new[]	delete[]	
+	-	*	/	%
^	&	|		!
=	<	>	+=	-=
*=	/=	%=	^ =	&=
|=	«	»	»=	«=
==	!=	<=	>=	&&
||	++	–	,	->*
->	()	[]		

53.2 Operatorfunktion

Die erwähnten Operatoren sind in C++ mit einer Operatorfunktion implementiert, d.h. im Hintergrund wird eigentlich eine Funkion aufgerufen.
Die Operatoren können sowohl in der üblichen Operatornotation als auch in der Funktionsnotation verwendet werden.
Beispiel: ein String zu einem bestehenden String addieren

Operatornotation (üblich): str3+= str2;

Funktionsnotation (unüblich): str3.operator +=(str2);

53.3 Randbedingungen zu Operator overloading

- Die Anzahl der Operanden (Argumente) muss gleich sein wie beim ursprünglichen Operator
- Die Priorität des überladenen Operators kann nicht ändern
- Neue Operatoren können nicht eingeführt werden
- Default-Argumente sind bei Operatoren nicht möglich
- nicht gefordert aber sinnvoll: die neue Operation sollte intuitiv dem bestehenden Operator zugeordnet werden können

53.4 Umsetzungsvarianten für Operator overloading

- Operator overloading als Elementfunktion
  - Zwingend für folgende Operatoren
    - Zuweisung =
    - Index []
    - Funktionsaufruf ()
    - Zeigeroperator ->
- Operator overloading als "normale"Funktion
  - Typischerweise für alle anderen

Unterschiedliche Implementationen

```
// Elementfunktion der Klasse TString
bool TString::operator <(const TString& s) const
{
  if (s.len == 0)
    return false;
  else
    return (strcmp(str, s.str) < 0);
}

// "normale Funktion"
bool operator <(const TString& s1, const TString& s2)
{
  if (s2.len == 0)
    return false;
  else
    return (strcmp(s1.str, s2.str) < 0);
}
```

Operator overloading als Elementfunktion

- Der neu definierte Operator wird als Elementfunktion implementiert. Damit ist auch der Zugriff auf `private` und `protected` Attribute der Klasse möglich.

```
class TString
{
  ...
  bool operator <(const TString& s) const;
  ...
};

bool TString::operator <(const TString& s) const
{
  ...
}
```

Nur 1 Argument, das zweite ist das aktuelle Objekt (`*this`)

Operator overloading als "normale" Funktion

Viele Operatorfunktionen werden als normale Funktion implementiert

```
class TString
{
  ...
  friend bool operator <(const TString& s1,
                         const TString& s2);
  ...
};

bool operator <(const TString& s1, const TString& s2)
{
  ...
}
```

2 Argumente, da der Operator ausserhalb einer Klasse definiert ist, d.h. `*this` gibt es nicht

53.4.1 Beispiel

Verwendung von überladenen Operatoren

```
TString s1 = "Hallo";
TString s2 = "Hello";
if (s1 < s2)  // s1 < s2 entspricht s1.operator <(s2)
{  ... }

if (s2 < "hoo")  // entspricht s2.operator <("hoo")
{  ... }

if (TString("goo") < s2)
{ ... }

if ("goo" < s2)  // entspricht "goo".operator <(s2)
{ ... }
```

"hoo" wird dabei implizit in ein TString umgewandelt

Geht nicht, da der Typ von "goo" ein char* ist. Der Typ des linken Operanden muss zwingend ein TString sein.

Problemlösung:

- Ich möchte den Operator unbedingt auch so verwenden können:

```
if("goo" < s2) {...}
```

- Da der linke Operator zwingend ein Objekt der Klasse sein muss, geht das so nicht.
- Lösung:
  - Die Operatorfunktion wird nicht als Elementfunktion der Klasse definiert sondern als ”normale” Funktion ausserhalb der Klasse.
  - Dadurch besteht jedoch kein Zugriff mehr auf die *private* und *protected* Elemente der Klasse
  - Die Operatorfunktion muss deshalb als friend deklariert werden (dies ist auch praktisch die einzige ”erlaubte” Verwendung von *friend*)

53.4.2 Operatoren und Typumwandlungen

Um zu vermeiden, dass für einen Operator unzählige Varianten mit Typen definiert werden müssen, kann auf benutzerdefinierte Typumwandlungen zurückgegriffen werden.

```
// die folgenden Deklarationen koennen ersetzt werden
bool TString::operator <(const TString& s) const;
bool TString::operator <(const char* p) const;
friend bool operator <(const char* p, const TString& s);

// diese Deklarationen genuegen
TString(const char* p); // Typumwandlungs-Ctor
friend bool operator <(const TString& s1, const TString& s2);
```

53.4.3 Zuweisungsoperator =

```
TString& TString::operator=(const TString& s)
{
  if (this == &s)
    return *this; // "a1 = a1"

  delete[] str; // alte Inhalte loeschen
  str = 0;

  len = s.len;  // neu allokieren und kopieren
  if (s.str != 0)
  {
    str = new char[len+1];
    memcpy(str, s.str, len+1);
  }
  return *this;
}
```

53.4.4 Indexoperator []

- Wir möchten auf einen einzelnen Buchstaben eines *TString*-Objekts mittels Indexoperator zugreifen können:

```
TString s = "Hallo";
s[2] = 'h';
char ch = s[3];
```

- Dies kann durch die explizite Implementation des Indexoperators in der Klasse *TString* erreicht werden
- Die Operatorfunktion soll eine Referenz auf das gewünschte Zeichen zurückgeben, d.h. ein *char&*
  char& operator[](int pos);
- Wieso braucht es zwei Varianten?
  char& operator[](int pos);
  const char& operator[](int pos) const;

```
char& operator[](int pos);
TString s = "Hallo";
s[2] = 'h';
char ch = s[3];

void foo(const TString& s)
{
  char ch = s[4];
}
```

foo-Funktion geht mit erster Variante nicht!
Mit einem const-Objekt können nur const-Methoden aufgerufen werden. Deshalb braucht es auch die zweite Variante.

53.4.5 Beispiel Klasse TString

- Indexoperator []
- Operator ()
- Zuweisungsoperator =
  (Achtung: shallow vs. deep copy)
- Typumwandlungsoperator nach char*
- Vergleichsoperatoren == != < >
- Verkettungsoperatoren + +=

53.4.6 Eigenen Zuweisungsoperator definieren

Wie beim Copy Konstruktor gilt auch für den Zuweisungsoperator:
Wenn die Klasse Elemente auf dem Heap unterhält, dann muss der Zuweisungsoperator selbst definiert werden, damit eine Deep Copy erstellt wird.

53.4.7 Zur Erinnerung: Kanonische Form einer Klasse

- Wenn eine Klasse in der kanonischen Form vorliegt, dann kann sie verwendet werden wie ein "normaler Typ"
- Um das zu erreichen, müssen bei Klassen, welche Speicher auf dem Heap unterhalten, die folgenden Elemente definiert werden:
  - Copy Konstruktor
  - Destruktor
  - Zuweisungsoperator

53.5 Streamkonzept

(*siehe 12.1*)

53.5.1 Ausgabe: Klasse *ostream*

- *(siehe 12.3)*
- Nutzung mit *cout* (vordefiniertes Objekt der Klasse *ostream*):

```
int i = 45;
cout << "Hallo " << i << endl;
TString s;
cout << s;  //funktioniert nicht, wenn Operator nicht ueberladen
```

53.5.2 Operator « überschreiben

```
class TString
{
  public:
    ...
    friend ostream& operator <<(ostream& os, const TString& s);
    ...
};

ostream& operator <<(ostream& os, const TString& s)
{
  if (s.str != 0)
    return os << s.str;    // s.str ist char*
  else
    return os
}
```

53.5.3 Eingabe: Klasse istream

- *(siehe 12.4)*
- Nutzung mit cin (vordefiniertes Objekt der Klasse istream):

```
double d;
string str;
cin >> d >> str;
TString s;
cint >> s;  // funktioniert nicht, wenn Operator nicht ueberladen
```

53.5.4 Operator » überschreiben

```
class TString
{
  public:
    ...
    friend istream& operator >>(istream& is, const TString& s);
    ...
};

char buffer[stringSize];  // statisch allokierter Eingabebuffer
istream& operator >>(istream &is, TString &s)
{
  is >> buffer;           // in statische Buffer lesen
  s = buffer;             // dann nach s kopieren
  return is;
}
```

Teil XII
Templates

54 Generische Programmierung mit Templates (Schablonen)

54.1 Motivation für Templates

- Viele Algorithmen sollten für unterschiedliche Datentypen implementiert werden
- Die Algorithmen unterscheiden sich kaum oder gar nicht von Typ zu Typ
- Beispiele:
  - In einem Stack sollten verschiedene Typen abgespeichert werden können (*int*, *double*, *char*, ...)
  - Wenn für einen bestimmten Typ eine Ordnungsrelation (<) definiert ist, dann kann die Sortierung von solchen unterschiedlichen Typen mit einem einzigen Algorithmus implementiert werden

54.2 Lösung mit bekannten Techniken

- Für jeden Typ müsste eine eigene Version implementiert werden
  - Dies ergibt eine grosse Anzahl von fast identischem Code
  - Alle Implementationen müssen getestet werden
  - Bei grundlegenden Korrekturen müssen alle Implementationen korrigiert werden
- Eine (durchaus mögliche) "generische" C-Variante mit *void** hat keine Typprüfung

54.3 Generische Programmierung mit Templates

- Single Source-Prinzip: ein bestimmtes Problem (Algorithmus) wird nur einmal unabhängig vom Typ gelöst
- Template-Definitionen erzeugen grundsätzlich noch keine einzige Zeile Code. Erst wenn das Template wirklich verwendet wird, wird Code für diesen Typ erzeugt.
- Templates sind somit für Bibliotheken ideal geeignet
- Traditionelle Bibliotheken belegen Speicher unabhängig davon, ob eine einzelne Funktion wirklich verwendet wird. Dies kann zu Dead Code führen, d.h. zu Code, der niemals ausgeführt wird.

55 Funktions-Templates

- Templates verwenden den Typ als "Variable"
- Die Algorithmen können unabhängig vom Typ (generisch) implementiert werden

---

Achtung: Templates sind keine Funktionsdefinitionen, sie beschreiben dem Compiler nur, wie er den Code definieren soll, d.h. der Compiler nimmt den konkret verwendeten Typ, setzt diesen in das Template ein und compiliert den so erhaltenen Code.

- Die Bindung zum konkreten Typ geschieht bereits zur Compiletime (early binding), sobald erkannt ist, mit welchem Typ das Template aufgerufen (benutzt) wird.

55.1 Syntax für Funktions-Templates

- Vor den Funktionsnamen wird das Schlüsselwort *template*, gefolgt von einer in spitzen Klammern eingeschlossenen Parameterliste gestellt.
- Die Parameterliste enthält eine (nicht leere) Liste von Typ- und Klassenparametern, die mit dem Schlüsselwort *class* oder *typename* beginnen. **(typename ist zu bevorzugen)**. Die einzelnen Parameter werden mit Komma getrennt.

```
template<typename A, typename B>
int foo(A a, B b, int i);

template<typename Any> // or class Any
void swapIt(Any& a, Any& b);

template<typename ElemType>
ElemType minimum(ElemType elemField[],
   int fieldSize);
```

55.2 Beispiel (aus Prata): Zwei Werte vertauschen

```
#include <iostream>
using namespaces std;

template<typename Any> // Template-Dekl.
void swapIt(Any& a, Any& b);

int main(){...}

template<typename Any> // Template-Def.
void swapIt(Any& a, Any& b){
  Any temp;
  temp = a;
  a = b;
  b = temp;
}
```

55.3 inline bei Templates

```
template<typename Any>
inline void swapIt(Any\& a, Any\& b)
{
  Any temp;
  temp = a;
  a = b;
  b = temp;
}
```

inline muss zwischen *template* und dem Returntyp stehen.

Achtung: Bei Verwendung von *inline* speziell zusammen mit Templates besteht die Gefahr von Code Bloat. Nur bei sehr kurzen Funktionen verwenden.

55.4 Beispiel: kleinstes Element finden

```
template<typename ElemType>
ElemType minimum(const ElemType elemField[], int
    size);

template<typename ElemType>
ElemType minimum(const ElemType elemField[], int
    size)
{
  int min = 0;  // Index des kleinsten Elementes
  for(int i=1; i<size; ++i)
  {
    if(elemField[i] < elemField[min])
      min = i;
  }
  return elemField[min];
}
```

Achtung: Der Operator < muss für jeden verwendeten Typ definiert sein.

55.5 Ausprägung von Funktions-Templates

- Sobald ein Typ in einem Funktions-Template verwendet wird, erkennt der Compiler, dass es sich um ein Template handelt und prägt es für diesen Typ aus (implizite Ausprägung).

```
int iF[] = {1, 54, 34, 23, 67, 4};
int i = minimum(iF, sizeof(iF)/sizeof(iF[0]));
```

- Für die Auflösung werden nur die Funktionsparameter betrachtet, der Rückgabetyp wird nicht ausgewertet.

55.6 Explizite Qualifizierung von Funktions-Templates

- Funktions-Templates können explizit mit einem Typ qualifiziert werden

```
int iF[] = {1, 54, 34, 23, 67, 4};
int i = minimum<int>(iF, sizeof(iF)/sizeof(iF[0]));
```

- Mögliche Anwendungen: siehe Strasser s.233

55.7 Überladen von Funktions-Templates

- Funktions-Templates können mit anderen Funktionstemplates und auch mit ”normalen” Funktionen überladen werden

---

Hinweis: überladen = gleicher Funktionsname, unterschiedliche Parameterliste

---

- Namensauflösung
  - Compiler geht die Liste der möglicherweise passenden Funktions-Templates durch und erzeugt die entsprechenden Template-Funktionen
  - Ergebnis ist eine Reihe von (eventuell) passenden Template-Funktionen, ergänzt durch die vorhandenen ”normalen” Funktionen
  - Aus dieser ganzen Auswahl wird die am besten passende Funktion ausgewählt

56 Klassen-Templates

56.1 Definition: Klassen-Template

- Klassen-Templates sind mit Typen oder Konstanten parametrisierbare Klassen
- Im Gegensatz zu Funktions-Templates können in Klassen-Templates auch die Attribute der Klassen mit variablen Typen ausgestattet sein
- Ein Klassen-Template kann auch von Ausdrücken abhängig sein. Diese Ausdrücke müssen aber zur Compiletime aufgelöst werden können
  - Diese Möglichkeit kann gerade in Embedded Systems sehr nützlich sein

56.2 Syntax für Klassen-Templates

- Die Syntax ist analog zu den Funktions-Templates.
- Vor die Klassendeklaration wird das Schlüsselwort *template*, gefolgt von einer in spitzen Klammern eingeschlossenen Parameterliste gestellt.
- Die Parameterliste enthält eine (nicht leere) Liste von Typ- und Klassenparametern, die mit dem Schlüsselwort *class* oder *typename* (*typename* bevorzugen) beginnen oder auch von Ausdrücken.
- Die einzelnen Parameter werden mit Komma getrennt.

56.2.1 Beispiel zu Klassen-Template: Deklaration

```
template<typename ElemType, int size=100>
class Stack
{
  public:
    Stack();
    ~Stack();
    void push(const ElemType\& elem);
    ElemType pop();
    bool wasError() const;
    bool isEmpty() const;
  private:
    ElemType elems[size];
    int top;
    bool isError;
};
```

56.2.2 Beispiel zu Klassen-Template: Definition

```
template<typename ElemType, int size>
void Stack<ElemType, size>::push(const ElemType& elem)
{
  // implementation goes here
}
```

56.2.3 Beispiel zu Klassen-Template: Nutzung (Ausprägung)

```
Stack<int, 10> s1;  // s1 ist ein Stack mit 10 int
Stack<int> s2;  // s2 ist ein Stack mit 100 int (Default)
Stack<double> s3;   // s3 ist ein Stack mit 100 double
```

56.3 Bemerkungen

- Mit den Templates haben sie die Möglichkeit, auf Sourcecode-Ebene Elemente mit variablem Typ und variabler Grösse zu definieren, z.B. `Stack<int, 10> s1;`
- Die variable Stackgrösse 10 wird dabei nicht durch eine dynamische Allozierung auf dem Heap erreicht, sondern durch Einsetzen dieses Wertes im Template (Templateparameter size).
- Dadurch wird ein Array der Grösse 10 **vom Compiler** erzeugt. Dies ist sehr effizient.

56.4 Explizite Ausprägung von Klassen-Templates

Klassen-Templates können analog zu den Funktions-Templates explizit mit einem Typ qualifiziert werden

```
tenplate<typename KeyType, typename ElemType>
class Map
{
  ...
}

class Map<int, TString>; // Der Compiler praegt diese Kombination explizit aus
```

56.5 Klassen-Templates und getrennte Übersetzung: *export*

Achtung: Ab dem Standard C++11 wird export nicht mehr unterstützt!

Falls ein Template auch in anderen Übersetzungseinheiten benutzt wird, muss dieses Template bei der Deklaration mit dem Schlüsselwort *export* gekennzeichnet werden

```
export template<class ElemType, int size>
class Stack
{
  ...
};
```

56.6 Klassen-Templates und getrennte Übersetzung

- Für diese Aufgabe muss eine etwas unschöne Methode gewählt werden.
- Ein Template besteht wie andere Funktionen/Klassen auch aus einer Deklaration und einer Definition. Beim Template entsteht aus der Definition aber nicht direkt Objektcode, sondern sie ist nur eine Codeschablone.
- Deshalb muss jede Clientdatei des Templates sowohl die Deklaration als auch die Definition inkludieren. Der Compiler muss die Definition des Templates zwingend kennen.
- In der nachfolgend gezeigten Variante muss weiterhin nur die Headerdatei durch die Clients inkludiert werden.

56.6.1 File-Organisation #1 bei Klassen-Templates

```
// stack.h
#ifndef STACK_H_
#define STACK_H_
template<typename ElemType, int size>
class Stack
{
  ...
};

// ugly, but cannot be avoided
#include "stack.cpp"
#endif
```

```
// stack.cpp
// all definitions of class Stack
// do NOT #include "stack.h"
```

```
// client.cpp
#include "stack.h"

int main()
{
Stack<int, 50> s;
...
return 0;
}
```

Achtung: Mögliche Probleme: stack.cpp darf nicht "normal" compiliert werden. Eine IDE wie Eclipse nimmt allenfalls alle *.cpp-Files in ihren Compile-Prozess. stack.cpp muss davon ausgeschlossen werden.

56.6.2 File-Organisation #2 bei Klassen-Templates

```
// stack.h
#ifndef STACK_H_
#define STACK_H_
template<typename ElemType, int size>
class Stack
{
  ...
};
//all definitions of class Stack
#endif
```

```
// client.cpp
#include "stack.h"

int main()
{
Stack<int, 50> s;
...
return 0;
}
```

Hinweis: Sowohl die Deklaration als auch die Definition des Templates sind im File stack.h vorhanden. Dadurch gibt es keine Probleme mit IDEs.
Nachteil: Deklaration und Definition sind nicht getrennt.

56.7 Fazit

Sowohl Variante #1 als auch #2 haben Vor- und Nachteile. Wählen sie eine aus! (Ich bevorzuge #2)

Teil XIII

Exceptions („Ausnahmen“)

57 Exception vs. Error

Bitte unterscheiden Sie zwischen Exception (Ausnahme) und Error (Fehler)

- **Error (Fehler):** Abweichung zur Spezifikation (”falsch implementiert”). Errors sollten bei der Verifikation (Testen) entdeckt werden.
- **Exception (Ausnahme):** abnormale (aber vorhersehbare und mögliche) Bedingung bei der Programmausführung.
- Wir sprechen hier über Exception Handling (der Ausdruck Error Handling ist aus oben genannten Gründen eigentlich falsch, obwohl er sehr häufig verwendet wird). Leider heissen auch die Standardklassen in C++ häufig xyz_error statt xyz_exception (schade, ist nicht einmal konsistent)

58 Mögliche Reaktionen auf Ausnahmen

- **Ignorieren**
  Motto: ”Augen zu und durch” Eine sehr risikoreiche Variante!
- **Programmabbruch**
  Merkt immerhin, dass etwas nicht in Ordnung ist, die Reaktion ist aber unbefriedigend. Ist Exception Detection aber nicht eigentlich Exception Handling.
- **Exceptioncodes** (nicht Fehlercodes)
  Funktionen geben als Rückgabewert, als Parameter oder global einen Ausnahmecode an.

59 Exceptioncodes als Rückgabewert

```
if (eOk == s.push(elem))
{
  ...
}
else
{
  ... // handle exception
}
```

- Rückgabewert wird von Exceptioncodes belegt (ist unschön)
- Geht nicht bei Konstruktoren (Ctors haben keinen Rückgabewert)
- Bei differenzierten Exceptioncodes gibt es stark verschachtelte if ... else bei jedem Aufruf → unleserlich

60 Exceptioncodes als Referenzparameter

```
s.push(elem, excpt);
if (eOk == excpt)
{
  ...
}
else
{
  ... // handle exception
}
```

- Aufruf wird mit zusätzlichem Referenzparameter für den Exceptioncode erweitert (ist unschön)
- Bei differenzierten Exceptioncodes gibt es stark verschachtelte if ... else bei jedem Aufruf → unleserlich

61 Globaler Exceptioncode

```
s.push(elem); // globalException is set
if (eOk == globalException)
{
  ...
}
else
{
  ... // handle Exception
}
```

- Führt aufgrund des globalen Exceptioncodes zu schwer les- und wartbaren Programmen.
- Bei differenzierten Exceptioncodes gibt es stark verschachtelte if ... else bei jedem Aufruf → unleserlich

62 Wo sollen Exceptions behandelt werden?

- Fact: Exceptions können irgendwo im Programm entstehen
- Wie soll auf Exceptions reagiert werden?
- Eine angemessene Reaktion kann häufig nicht ausschliesslich an der Stelle des Auftretens gemacht werden
- Die Reaktion muss auch weiter ”nach oben” gereicht werden können, bis auf die Applikationsebene, wo allenfalls eine Mitteilung an den Benutzer getätigt wird.

Hinweis: Grundsatz: Nur das regeln, was sinnvoll ist und auf einer bestimmten Stufe wirklich entschieden werden kann, sonst nach oben weiterreichen.

---

63 Ziel für Exception Handling

- ”Normaler” Programmablauf (Schönwetterfall) wird durch das Exception Handling nicht tangiert
- Der Normalfall soll einfach gelesen werden können
- Der Ausnahmefall ist klar und einfach geregelt
- Der Overhead soll möglichst klein sein
- Die Weiterreichung an die nächsthöhere Funktion im Call Stack soll einfach sein

64 Exception Handling in C++

- Exceptions werden in Form eines Objekts am Ort ihres Auftretens ausgeworfen (explizit oder auch ”automatisch”) (werfen = to throw)
- Exception Handler versuchen, diese Exception-Objekte aufzufangen (to catch)

64.1 Exception Handling in C++: Syntax

```
try
{
  ... // Code, der eine Exception auswerfen koennte
}
catch (const MyExceptionClass& exc)
{
  ... // wenn ein Objekt der Klasse MyExceptionClass oder einer Unterklasse
      // davon ausgeworfen wurde, dann kann dieser Handler das Objekt fangen
}

// u.U. weitere Catches
```

64.2 Auslösen (Werfen) von Ausnahmen

- Ausnahmen können mit dem Schlüsselwort *throw* explizit ausgeworfen werden
- Nach einem *throw*-Befehl wird das Programm abgebrochen und beim ersten passenden umgebenden Handler fortgesetzt
- Dabei werden alle lokalen Objekte wieder automatisch zerstört (Stack unwinding)
- Geworfen werden kann ein beliebiges Objekt (üblich: ein spezifisches C++-Ausnahmeobjekt)
- (Ausschliesslich) innerhalb eines Exception Handlers ist auch die Form `throw;` erlaubt. Dadurch wird die Exception an den nächsten Handler weitergereicht (Exception propagation).

64.2.1 Beispiel für Exception Handling: unübliche Variante

```
class Xcpt
{
  public:
    Xcpt(const char* text);
    ~Xcpt();
    const char* getDiagStr() const;
  private:
    const char* diagStr;
};

void allocateFoo()
{
  b1();
  if (0 == allocation())
    throw Xcpt("Allocation failed!");
  b2();
}
```

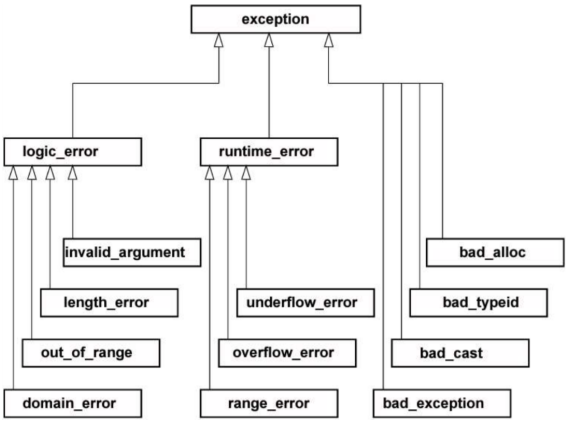
```
// Testprogramm
void testFoo()
{
  a1();
  try
  {
    a2();
    allocateFoo();
    a3();
  }
  catch (const Xcpt& exc)
  {
    cout << "Caught exception. Text: "
       << exc.getDiagStr() << endl;
  }
  a4();
}
```

64.3 Vordefinierte Ausnahmeklassen

- Ausnahmeobjekte können beliebigen Typs sein (z.B. auch *int*). Meist werden jedoch spezifische hierarchisch organisierte C++-Ausnahmeklassen verwendet.
- Vordefinierte Standardklasse: *exception*

```
namespace std
{
/**
 *  @brief Base class for all library exceptions.
 *
 *  This is the base class for all exceptions thrown by the standard library, and by certain
 *  language expressions.  You are free to derive your own %exception classes, or use a
 *  different hierarchy, or to throw non-class data (e.g., fundamental types).
 */
class exception {
  public:
    exception() throw() { }
    virtual ~exception() throw();
    virtual const char* what() const throw();
};
}
```

64.4 Exception-Hierarchie in C++



64.5 Laufzeit- vs. Logische „Fehler“

- Logische "Fehler"(logic_error)
  - Ausnahmen im Programmablauf, die bereits zur Entwicklungszeit ihre Ursachen haben.
  - Theoretisch könnten diese Ausnahmen verhindert werden.
- Laufzeit"fehler"(runtime_error)
  - Nicht vorhersehbare Ausnahmen wie z.B. arithmetische Überläufe
  - Diese Ausnahmen treten erst zur Laufzeit auf, z.B. durch eine nicht erlaubte Benutzereingabe

64.6 Exceptions und ihre Header-Dateien

Exception	Header
exception bad_exception	<exception>
logic_error domain_error out_of_range length_error invalid_argument	<stdexcept>
runtime_error range_error overflow_error underflow_error	<stdexcept>
bad_cast bad_typeid	<typeinfo>
bad_alloc	<new>
ios_base::failure	<ios>

64.7 Exception Handler

- Ein oder mehrere Exception Handler können hintereinander definiert werden
- Die einzelnen *catch*-Handler müssen sich in den Parametern unterscheiden
- Wenn eine Exception geflogen kommt, wird **der erste passende Handler** genommen. Ein passender Handler macht ein *catch* auf genau diese Exception oder auf eine Basisklasse derselben.

Achtung: Deshalb (**sehr wichtig**): Der allgemeinste Handler (am weitesten oben in der Hierarchie) muss der letzte *catch*-Handler sein.

64.8 Exception Handler 2

- Wenn kein Handler passt, dann wird im Aufrufstack nach oben gesucht, ob ein passender Handler vorhanden ist.
- Wenn auch dort keiner gefunden wird, dann wird die Funktion *terminate()* aufgerufen.
- *terminate()* beendet das Programm, kann aber auch selbst definiert werden.
- Catch all
  Der folgende Handler fängt ausnahmslos alle Exceptions ab (und muss wenn gewünscht deshalb immer als letzter aufgeführt werden):

```
catch (...)
  {}
```

64.9 Exception Propagation

- Innerhalb eines Exception Handlers kann eine Exception mittels
  throw;
  weitergereicht werden.
- Die Exceptiion wird dann auch nicht etwa an das nächste **catch(...)** weitergeleitet, sondern an die aufrufende Funktion.

64.10 Exception Specification

```
void foo() throw(/* Liste der Exceptions */);
```

- Die Liste spezifiziert, welche Exceptions von einem Aufrufer von *foo()* erwartet werden müssen.
- Aber: garantiert auch, dass das Programm abstürzt, wenn eine andere als eine der spezifizierten Exceptions ausgeworfen wird, d.h. *foo()* muss dafür sorgen, dass wirklich nur die aufgelisteten Exceptions ausgeworfen werden.
- Genauer: falls eine nicht spezifizierte Exception ausgeworfen wird, dann wird die Funktion *unexpected()* aufgerufen, welche üblicherweise das Programm abbricht.
- *unexpected()* kann selbst definiert werden.

64.10.1 Exception Specification: Beispiele

```
void foo1() throw(specificXcpt1, specificXcpt2);
// die zwei angegebenen Exceptions muessen vom Aufrufer
   von
// foo1() erwartet werden.

void foo2() throw();
// KEINE Exceptions koennen geflogen kommen

void foo3();
// beliebige Exceptions muessen erwartet werden
```

64.10.2 Exception Handling in der Praxis

- Exceptions sollen nur für Ausnahmen, nicht für den normalen Ablauf verwendet werden
- Exceptions sollen nicht vorbeugende Abfragen ersetzen
- Ein Programm soll nur gegen ”entscheidende” Ausnahmen abgesichert werden
- Wenn eine Exception ausgeworfen wird, dann wird normalerweise eine der vordefinierten Exceptionklassen oder eine (evtl. selbst definierte) Unterklasse davon genommen
- Exception specifications werden, wenn überhaupt, nur bei ausgewählten (Schnittstellen-)Funktionen definiert
- **Always throw exceptions by value, and catch them by const reference.**

64.10.3 Handling von System Exceptions

```
int Calculator::divide()
{
  if (0 == nr2)
    throw runtime\_error("Division␣durch
       ␣Null");

  return nr1 / nr2;
}
```

Q: In obiger Variante wird verhindert, dass überhaupt erst eine Division durch Null ausgeführt wird. Könnte die Division nicht einfach probiert werden? Das System sollte ja wenn nötig eine Runtime Exception selbständig auswerfen?

```
int Calculator::divide()
{
  return nr1 / nr2;
}
```

64.10.4 Betreibt meine Umgebung Exception Mapping?

- Mit Hilfe des folgenden Codeausschnitts kann einfach überprüft werden, ob eine bestimmte Umgebung Exception Mapping betreibt:

```
try
{
  int a = 5;
  int b = a/0;
}
catch (...)
{
  cout << "Caught␣exception␣if␣exception␣is␣mapped" << endl;
}
```

- Unter Umständen muss die Null über *cin* (zur Laufzeit) eingegeben werden, da ”freundliche” Compiler allenfalls darauf hinweisen, dass eine Division durch Null nicht geht.

Teil XIV
Preprocessor

65 Eigenschaften des Preprocessors

- Wird vor der eigentlichen Übersetzung aktiviert
- Führt textuelle Manipulationen von Source-Dateien durch
  - Makro-Substitution
  - bedingte Übersetzung
  - Einfügen von Dateien
- Der Output des Preprocessors wird dem eigentlichen Compiler übergeben
- Die Direktiven des Preprocessors beginnen immer mit #
- Der Preprocessor ist zeilenorientiert

66 Preprocessor-Direktiven und Bedingungsanweisungen

Direktiven	Bedingungsanweisungen
#define	#if
#undef	#ifdef
#include	#ifndef
#line	#elif
#error	#else
#pragma	#endif

66.1 #define

- Definition von Makros (Gefahren betrachten!)

```
#define MAX(a,b) ((a)>(b)?(a):(b))
```

- Definition von symbolischen Konstanten (Gefahren beachten!)

```
#define PI 3.14159265358
```

- Es erfolgt eine reine Textersetzung ohne Typenprüfung. Diese kann erst der Compiler vornehmen
- *#defines* haben keinen Scope
- Simple Definition eines Symbols (z.B. bei Include-Guard)

```
#define FOO\_H\_
```

66.2 #undef

Definition eines Symbols rückgängig machen

```
#undef MAX
#undef PI
#undef FOO_H_
```

66.3 #include

Vollständiges Einfügen einer Datei

```
#include <iostream>
// Datei iostream wird in den definierten Include-Verzeichnissen
// gesucht und eingefuegt

#include "foo.h"
// Datei foo.h wird im aktuellen Verzeichnis gesucht und eingefuegt

#include "../drivers/doo.h"
// Pfadangaben muessen immer relativ zum aktuellen Verzeichnis sein.
// Niemals absolute Pfade verwenden!
```

66.4 #line

Direktes Setzen der Nummerierung von Sourceode-Zeilen. Durch die optionale Angabe eines Dateinamens lässt sich der Compiler einen neuen Dateinamen unterschieben.
Das kann z.B. bei vom Compiler erstellten Dateien nützlich sein.

```
#line 67 "main.cpp"
// die naechste Zeile im Sourcecode erhaelt die Nummer 67
// die Sourcedatei erhaelt den Namen "main.cpp"
```

66.5 #error

Sofortiger Abbruch des Compiler-Vorgangs und Ausgabe einer Fehlermeldung

```
#ifndef MODEL
#error MODEL ist nicht definiert
#endif
```

66.6 #pragma

- *#pragma*-Direktiven erlauben die Verwendung von Implementierungs-spezifischen Direktiven. Entwicklungsumgebungen können somit ihre eigenen Anweisungen definieren.
  Diese Direktive ist damit per Definition nicht portabel.
- Konflikte entstehen keine, da eine Compiler unbekannte *#pragma*-Direktiven ignoriert.
- Die Portabilität ist damit aber nicht gewährleistet. Ein anderer Compiler versteht die Direktive u.U. nicht und erzeugt deshalb nicht den gewünschten Code.

66.7 Bedingungsanweisungen

- Bedingungsanweisungen sind nach folgendem Schema aufgebaut

  ———————

  Bedingungsprüfung
  Direktiven
  beliebig viele *#elif*-Gruppen mit Direktiven
  optional ein *#else* mit Direktiven *#endif*
- Mögliche Bedingungsprüfungen sind
  - *#if* gibt true, falls Bedingung true ist
  - *#ifdef* SYMBOL gibt true, falls SYMBOL definiert ist
  - *#ifndef* SYMBOL gibt true, falls SYMBOL nicht definiert ist

66.7.1 Beispiele für Bedingungsanweisungen

```
#if INT\_MAX > 32767
  int i;
#else
  long i;
#endif

#ifdef TESTVERSION
  printf("Zeilennummer: %d\n", __LINE__)
     ;
  printf("Dateiname: %s\n", __FILE__);
#endif

#ifndef CALCULATOR\_H\_
#define CALCULATOR\_H\_
// ...
#endif
```

```
#if 0
  // Auskommentieren des gesamten hier
     stehenden Codes.
  // Ist sehr nuetzlich waehrend der
     Entwicklung.
```

66.8 Weitere Features des Preprocessors

- #-Operator (stringizing-Operator): Argument wird in String konvertiert
- ##-Operator (token-past-Operator): Zeichenfolge links und rechts des Operators wird zusammengezogen
- und weiteres (siehe Dokus)

```
#define SHOW(var, nr) printf(#var #nr " = %.1f\n", var ## nr)

// Annahme: es gibt eine Variable x5 mit dem Wert 16.4
SHOW(x, 5);
// wird umgesetzt in printf("x" "5" " = %.1f\n", x5);
// d.h. in printf("x5 = %.1f\n", x5);

// Ausgabe ist x5 = 16.4
```

na ja!?

66.9 Kritische Würdigung des Preprocessors

- Preprocessoranweisungen sollten zurückhaltend eingesetzt werden, da der Code durch zu viele Preprocessoranweisungen sehr schnell unübersichtlich werden kann.
- Auf den ersten Blick sind Preprocessoranweisungen oft nicht nachvollziehbar.
- Häufig gibt es Alternativen, die ebenso effizient und zudem viel sicherer sind.
- Richtig eingesetzt kann der Preprocessor sehr nützlich sein.