Einführung in die Anwendungsorientierte Informatik (Köthe)

Robin Heinemann

December 9, 2016

Contents

1 Was ist Informatik?

"Kunst" Aufgaben mit Computerprogrammen zu lösen.

1.1 Teilgebiete

1.1.1 theoretische Informatik (ITH)

- Berechenbarkeit: Welche Probleme kann man mit Informatik lösen und welche prinzipiell nicht?
- Komplexität: Welche Probleme kann man effizient lösen?
- Korrektheit: Wie beweist man, dass das Ergebnis richtig ist?
  Echtzeit: Dass das richtige Ergebnis rechtzeitig vorliegt.
- verteilte Systeme: Wie sichert man, dass verteilte Systeme korrekt kommunizieren?

1.1.2 technische Informatik (ITE)

- Auf welcher Hardware kann man Programme ausführen, wie baut man dies Hardware?
- CPU, GPU, RAM, HD, Display, Printer, Networks

1.1.3 praktische Informatik

- Wie entwickelt man Software?
- Programmiersprachen und Compiler: Wie kommuniziert der Programmierer mit der Hardware? **IPI**, **IPK**
- Algorithmen und Datenstrukturen: Wie baut man komplexe Programme aus einfachen Grundbausteinen? **IAL**
- Softwaretechnik: Wie organisiert man sehr große Projekte? **ISW**
- Kernanwendung der Informatik: Betriebsysteme, Netzwerke, Parallelisierung **IBN**
  - Datenbanksysteme **IDB1**
  - Graphik, Graphische Benutzerschnittstellen **ICG1**
  - Bild- und Datenanalyse
  - maschinelles Lernen
  - künstliche Intelligenz

1.1.4 angewante Informatik

- Wie löst man Probleme aus einem anderem Gebiet mit Programmen?
- Informationstechnik
  - Buchhandlung, e-commerce, Logistik
- Web programming
- scientific computing für Physik, Biologie
- Medizininformatik
  - bildgebende Verfahren
  - digitale Patientenakte
- computer linguistik
  - Sprachverstehen, automatische Übersetzung
- Unterhaltung: Spiele, special effect im Film

2 Wie unterscheidet sich Informatik von anderen Disziplinen?

2.1 Mathematik

Am Beispiel der Definition $a \leq b : \exists c \geq 0 : a + c = b$
Informatik:
Lösungsverfahren: $a - b \leq 0$, das kann man leicht ausrechen, wenn man subtrahieren und mit 0 vergleichen kann.
Quadratwurzel: $y = \sqrt{x} \iff y \geq 0 \wedge y^2 = x (\implies x > 0)$
Informatik: Algorithmus aus der Antike: $y = \frac{x}{y}$ iteratives Verfahren:
Initial Guess $y^{(0)} = 1$ schrittweise Verbesserung $y^{(t+1)} = \frac{y^{(t)} + \frac{x}{y^{(t)}}}{2}$

3 Informatik

Lösugswege, genauer Algorithmen

3.1 Algorithmus

schematische Vorgehensweise mit der jedes Problem einer bestimmten **Klasse** mit **endliche** vielen **elementaren** Schritten / Operationen gelöst werden kann

- schematisch: man kann den Algorithmus ausführen, ohne ihn zu verstehen ($\implies$ Computer)
- alle Probleme einer Klasse: zum Beispiel: die Wurzel aus jeder beliebigen nicht-negativen Zahl, und nicht nur $\sqrt{11}$

- endliche viele Schritte: man kommt nach endlicher Zeit zur Lösung
- elementare Schrite / Operationen: führen die Lösung auf Operationen oder Teilprobleme zurück, die wir schon gelöst haben

3.2 Daten

Daten sind Symbole,

- die Entitäten und Eigenschaften der realen Welt im Computer representieren.
- die interne Zwischenergebnisse eines Algorithmus aufbewahren

$\Longrightarrow$ Algorithmen transformieren nach bestimmten Regeln die Eingangsdaten (gegebene Symbole) in Ausgangsdaten (Symbole für das Ergebniss). Die Bedeutung / Interpretation der Symbole ist dem Algorithmus egal $\triangleq$ "schematisch"

3.2.1 Beispiele für Symbole

- Zahlen
- Buchstaben
- Icons
- Verkehrszeichen

aber: heutige Computer verstehen nur Binärzahlen $\Longrightarrow$ alles andere muss man übersetzen Eingansdaten: "Ereignisse":

- Symbol von Festplatte lesen oder per Netzwerk empfangen
- Benutzerinteraktion (Taste, Maus, …)
- Sensor übermittelt Meßergebnis, Stoppuhr läuft ab

Ausgangsdaten: "Aktionen":

- Symbole auf Festplatte schreiben, per Netzwerk senden
- Benutzeranzeige (Display, Drucker, Ton)
- Stoppuhr starten
- Roboteraktion ausführen (zum Beispiel Bremsassistent)

Interne Daten:

- Symbole im Hauptspeicher oder auf Festplatte
- Stoppuhr starten / Timeout

3.3 Einfachster Computer

endliche Automaten (endliche Zustandsautomaten)

- befinden sich zu jedem Zeitpunkt in einem bestimmten Zustand aus einer vordefinierten endlichen Zustandsmenge
- äußere Ereignisse können Zustandsänderungen bewirken und Aktionen auslösen

3.3.1 TODO Graphische Darstellung

graphische Darstellung: Zustände = Kreise, Zustandsübergänge: Pfeile

3.3.2 TODO Darstellung durch Übergangstabellen

Zeilen: Zustände, Spalten: Ereignisse, Felder: Aktion und Folgezustände

Zustände \ Ereignisse	Knopf drücken	Timeout
aus	$\Longrightarrow$ {halb}	
{4 LEDs an}	%	($\Longrightarrow$ {aus},{nichts})
halb	($\Longrightarrow$ {voll},{8 LEDs an})	%
voll	($\Longrightarrow$ {blinken an},{Timer starten})	%
blinken an	($\Longrightarrow$ {aus},{Alle LEDs aus, Timer stoppen})	($\Longrightarrow$ {blinken aus},{alle LEDs
blinken aus	($\Longrightarrow$ {aus},{Alle LEDs aus, Timer stoppen})	($\Longrightarrow$ {blinken an},{alle LEDs

Variante: Timer läuft immer (Signal alle 0.3s) $\Longrightarrow$ Timout ignorieren im Zustand "aus", "halb", "voll"

3.3.3 Beispiel 2:

$$
\begin{array}{rrr}
1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0 & = 2+8+16+74 = 90_{\text{dez}} & (1)\\
+0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1 & = 1+8+16+32 = 57_{\text{dez}} & (2)\\
\hline
1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1 & = 1+2+16+128 = 147_{\text{dez}}\checkmark & (3)
\end{array}
$$

Implementation mit Endlichen Automaten Prinzipen:

- wir lesen die Eingangsdaten von rechts nach links
- Beide Zahlen gleich lang (sonst mit 0en auffüllen)
- Ergebnis wird von rechts nach link ausgegeben

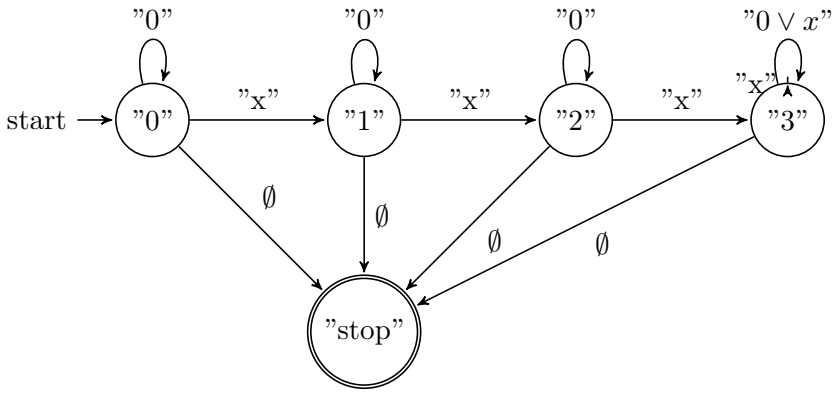
TODO Skizze der Automaten

Zustand	Ereignis	Ausgeben
start	(0,1)	”1”
start	(1,0)	”1”
start	(0,0)	”0”
start	(1,1)	”0”
carry = 1	(1,1)	”1”
carry = 1	(0,1)	”0”
carry = 1	(1.0)	”0”
carry = 1	$\emptyset$	”1”

Wichtig: In jedem Zustand muss für **alle möglichen** Ereignisse eine Aktion und Folgezustand definiert werden. Vergisst man ein Ereignis zeigt der Automat undefiniertes Verhalten, also einen ”Bug”. Falls keine sinvolle Reaktion möglich ist: neuer Zustand: ”Fehler” $\implies$ Übergang nach ”Fehler”, Aktion: Ausgeben einer Fehlermeldung

TODO Skizze Fehlermeldung Ein endlicher Automat hat nur ein Speicherelement, das den aktuelen Zustand angibt. Folge:

- Automat kann sich nicht merken, wie er in den aktuellen Zustand gekommen ist (”kein Gedächnis”)
- Automat kann nicht beliebig weit zählen, sondern nur bis zu einer vorgegebenen Grenze



Insgesamt: Man kann mit endlichen Automaten nur relativ einfache Algorithmen implementieren. (nur reguläre Sprachen) Spendiert man zusätzlichen Specher, geht mehr:

- Automat mit Stack-Speicher (Stapel oder Keller) $\implies$ Kellerautomat (Kontextfreie Sprachen)
- Automat mit zwei Stacks oder äquivalent Turing-Maschine kann alles auführen, was man intuitiv für berechenbar hält

Markov Modelle: endliche Automaten mit probabilistischen Übergangen. Bisher: Algorithmen für einen bestimmten Zweck (Problemklasse) Frage: Gibt es einen universellen Algorithms für alle berechenbare Probleme? Betrache formale Algorithmusbeschreibung als Teil der Eingabe des universellen Algorithmus.

4 Substitutionsmodell (funktionale Programmierung)

- einfaches Modell für arithmetische Berechnung "Taschenrechner"
- Eingaben und Ausgaben sind Zahlen (ganze oder reelle Zahlen). Zahlenkonstanten heißten "Literale"
- elementare Funktionen: haben eine oder mehere Zahlen als Argumente (Parameter) und liefern eine Zahl als Ergebnis (wie Mathematik):
  - add(1,2) → 3, mul(2,3) → 6, analog sub(), div(), mod()
- Funktionsaufrufe können verschachtelt werden, das heißt Argumente kann Ergebnis einer anderen Funktion sein
  - mul(add(1,2),sub(5,3)) → 6

4.1 Substitutionsmodell

Man kann einen Funktionsaufruf, dessen Argument bekannt ist (das heißt Zahlen sind) durch den Wert des Ergebnisses ersetzen ("substituieren"). Geschachtelte Ausdrücke lassen sich so von innen nach außen auswerten.

$$mul(add(1,2), sub(5,3))$$

$$mul(3, sub(5,3))$$

$$mul(3,2)$$

$$6$$

- Die arithmetischen Operationene add(), sub(), mul(), div(), mod() werden normalerweise von der Hardware implementiert.
- Die meisten Programmiersprachen bieten außerdem algebraische Funktionen wie: sqrt(), sin(), cos(), log()
  - sind meist nicht in Hardware, aber vorgefertigte Algorithmen, werden mit Programmiersprachen geliefert, "Standardbibilothek"
- in C++: mathematisches Modul des Standardbibilothek: "cmath"
- Für Arithmetik gebräuchlicher ist "Infix-Notation" mit Operator-Symbolen "+", "-", "*", "/", "%"

- mul(add(1,2),sub(5,3)) $\iff$ ((1+2)*(5-3))
  - oft besser, unter anderem weil man Klammer weglassen darf
    1. "Punkt vor Strichrechnung" 3+4*5 $\iff$ 3+(4*5), mul, div, mod binden stärker als add, sub
    2. Operatoren gleicher Präzedenz werden von links nach rechts ausgeführt (links-assoziativ)
       1+2+3-4+5 $\iff$ ((((1+2)+3)-4)+5)
    3. äußere Klammer kann man weglassen (1+2) $\iff$ 1+2
- Computer wandeln Infix zuerst in Prefix Notation um
  1. weggelassene Klammer wieder einfügen
  2. Operatorensymbol durch Funktionsnamen ersetzen und an Prefix-Position verschieben

$$1 + 2 + 3 * 4/(1 + 5) - 2$$
$$(((1 + 2) + ((3 * 4)/(1 + 5))) - 2)$$
$$sub(add(add(1, 2), div(mul(3, 4), add(1, 5))), 2)$$
$$sub(add(3, div(12, 6)), 2)$$
$$sub(add(3, 2), 2)$$
$$sub(5, 2)$$
$$2$$

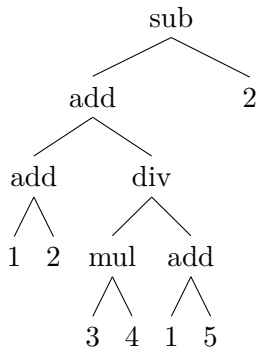
4.2 Bäume

- bestehen aus Knoten und Kanten (Kreise und Pfeile)
- Kanten verbinden Knoten mit ihren Kind-knoten
- jeder Koten (außer der Wurzel) hat genau ein Elternteil ("parent node")
- Knoten ohne Kinder heißen Blätter ("leaves / leaf node")
- Teilbaum
  - wähle beliebigen Knoten
  - entferne temporär dessen Elternkante, dadurch wird der Knoten temporär zu einer Wurzel, dieser Knoten mit allen Nachkommen bildet wieder einen Baum (Teilbaum des Orginalbaumes)
- trivialer Teilbaum hat nur einen Knoten
- Tiefe: Abstand eines Knotens von der Wurzel (Anzahl der Kanten zwischen Knoten und Wurzel)
  - Tiefe des Baums: maximale Tiefe eines Knoten

4.2.1 Beispiel

$$1 + 2 + 3 * 4/(1 + 5) - 2$$

$$sub(add(add(1, 2), div(mul(3, 4), add(1, 5))), 2)$$



4.3 Rekursion

Rekursiv $\stackrel{\triangle}{=}$ Algorithmus für Teilproblem von vorn.

4.4 Prefixnotation aus dem Baum rekonstruieren

1. Wenn die Wurzel ein Blatt ist: Drucke die Zahl
2. sonst:
   - Drucke Funktionsnamen
   - Drucke "("
   - Wiederhole den Algorithmus ab 1 für das linke Kind (Teilbaum mit Wurzel = linkes Kind)
   - Drucke ","
   - Wiederhole den Algorithmus ab 1 für das rechte Kind (Teilbaum mit Wurzel = rechtes Kind)
   - Drucke ")"

$\Longrightarrow$

$$sub(add(add(1, 2), div(mul(3, 4), add(1, 5))), 2)$$

4.5 Prefixnotation aus dem Baum rekonstruieren

1. Wenn die Wurzel ein Blatt ist: Drucke die Zahl
2. sonst:
   - Drucke Funktionsnamen
   - Drucke "("

- Wiederhole den Algorithmus ab 1 für das linke Kind (Teilbaum mit Wurzel = linkes Kind)
- Drucke Operatorsymbol
- Wiederhole den Algorithmus ab 1 für das rechte Kind (Teilbaum mit Wurzel = rechtes Kind)
- Drucke ")"

$\Longrightarrow$

$$sub(add(add(1,2),div(mul(3,4),add(1,5))),2)$$

$\Longrightarrow$ **inorder**

4.6 Berechnen des Werts mit Substitutionsmethode

1. Wenn Wurzel dein Blatt gib Zahl zurück
2. sonst:
   - Wiederhole den Algorithmus ab 1 für das linkes Kind (Teilbaum mit Wurzel = rechtes Kind), speichere Ergebnis als "lhs"
   - Wiederhole den Algorithmus ab 1 für das rechte Kind (Teilbaum mit Wurzel = rechtes Kind), speichere Ergebnis als "rhs"
   - berechne funktionsname(lhs,rhs) und gebe das Ergebnis zurück

$\Longrightarrow$ **postorder**

5 Maschienensprachen

- optimiert für die Hardware
- Gegensatz: höhere Programmiersprachen (c++)
  - optimiert für Programmierer
- Compiler oder Interpreter übersetzen Hoch- in Maschinensprache

5.1 Umwandlung in Maschinensprache

1. Eingaben und (Zwischen)-Ergebnisse werden in Speicherzellen abgespeichert $\Longrightarrow$ jeder Knoten im Baum bekommt eine Speicherzelle
2. Speicherzellen für Eingaben initialisieren
   - Notation: SpZ $\leftarrow$ Wert
3. Rechenoperationen in Reihenfolge des Substitutionsmodell ausführen und in der jeweiligen Speicherzelle speichern

- Notation: SpZ-Ergebniss ← fname SpZArg1 SpZArg2

4. alles in Zahlencode umwandeln
   - Funktionsnamen:

Opcode	Wert
init	1
add	2
sub	3
mul	4
div	5

6 Funktionale Programmierung

- bei Maschienensprache werden Zwischenergebnisse in Speicherzellen abgelegt
- das ist auch in der funktionalen Programmierung eine gute Idee
- Speicherzellen werden duch Namen (vom Programmierer vergeben) unterschieden

6.1 Beispiel

Lösen einer quadratischen Gleichung:

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$x^2 - 2px + q = 0, p = -\frac{b}{2a}, q = \frac{c}{d}$$

$$x_2 = p + \sqrt{p^2 - q}, x_2 = p - \sqrt{p^2 - q}$$

ohne Zwischenergebnisse:

$$x_1 \leftarrow add(div(div(b,a),-2), sqrt(sub(mul(div(b,a),-2), div(div(b,a)-1)), div(c,a)))$$

mit Zwischenergebniss und Infix Notation

$$p \leftarrow b/c/-2 \text{ oder } p \leftarrow -0.5 * b/a$$

$$a \leftarrow c/a$$

$$d \leftarrow sqrt(p * p - q)$$

$$x_1 \leftarrow p + d$$

$$x_2 \leftarrow p - d$$

6.2 Vorteile von Zwischenergebnissen

1. lesbarer
2. redundante Berechnung vermieden. Beachte: In der funktionalen Programmierung können die Speicherzellen nach der Initialisierung nicht mehr verändert werden
3. Speicherzellen und Namen sind nützlich um Argumente an Funktionen zu übergeben
   $\Longrightarrow$ Definition eigener Funktionen

   ```
   function sq(x) {
      return x * x
   }
   ```

   $\Longrightarrow$ $d \leftarrow sqrt(sq(p) - q)$ Speicherzelle mit Namen "x" für das Argument von sq

6.3 Funktionale Programmierung in c++

· in c++ hat jede Speicherzelle einen Typ (legt Größe und Bedeutung der Speicherzelle fest)

· wichtige Typen

int	ganze Zahlen
double	reelle Zahlen
std::string	Text

int: $12, -3$
double: $-1.02, 1.2e-4 = 1.2 * 10^{-4}$
std::string: "text"

· Initialisierung wird geschrieben als "typename spzname = Wert;"

```
double a = ...;
double b = ...;
double c = ...;
double p = -0.5 b / a;
double q = c / a;
double d = std::sqrt(p*p - q);
double x1 = p + d;
double x2 = p - d;
std::cout << "x1: " << x1 << ", x2: " << x2 << std::endl;
```

· eigene Funktionen in C++

```
// Kommentar (auch /* */)
type_ergebnis fname(type_arg1 name1, ...) {
    // Signatur / Funkitonskopf / Deklaration
    return ergebnis;
    /* Funktionskörper / Definition / Implementation */
}
```

- ganze Zahl quadrieren:

```
int sq(int x) {
    return x*x;
}
```

- reelle Zahl quadrieren:

```
double sq(double x) {
    return x*x;
}
```

- beide Varianten dürfen in c++ gleichzeitig definiert sein $\Longrightarrow$ "function overloading" $\Longrightarrow$ c++ wählt automatisch die richtig Variable anhand des Argumenttypes ("overload resolution")

```
int x = 2;
double y = 1.1
int x2 = sq(x) // int Variante
double y2 = sq(y) // double Variante
```

- jedes c++-Programm muss genau eine Funktion names "main" haben. Dort beginnt die Programmausführung.

```
int main() {
    Code;
    return 0;
}
```

  - return aus der "main" Funktion ist optional

- Regel von c++ für erlaubte Name
  - erstes Zeichen: Klein- oder Großbuchstaben des englischen Alphabets, oder "_"
  - optional: weitere Zeichen oder, "_" oder Ziffer 0-9
- vordefinierte Funktionen:
  - eingebaute $\hat{=}$ immer vorhanden
    - Infix-Operatoren $+, -, *, /, \%$
    - Prefix-Operatoren $operator+, operator-, \ldots$
  - Funktion der Standardbibilothek $\hat{=}$ müssen "angefordert" werden
    - Namen beginnen mit "std::", "std::sin,..."
    - sind in Module geordnet, zum Beispiel
      - cmath $\Longrightarrow$ algebraische Funktion
      - complex $\Longrightarrow$ komplexe Zahlen
      - string $\Longrightarrow$ Zeichenkettenverarbeitung

- um ein Modul zu benutzen muss man zuerst (am Anfang des Programms) sein Inhaltsverzeichnis importieren (Header includieren) → include <name>

```
#include <iostream>
#include <string>
int main() {
    std::cout << "Hello, world!" << std::endl;
    std::string out = "mein erstes Programm\n";
    std::cout << out;
    return 0;
}
```

- overloading der arithmetischen Operationene
  - overloading genau wie bei *sq*
    - 3 * 4 $\implies$ int Variante
    - 3.0 * 4.0 $\implies$ double Variante
    - 3 * 4.0 $\implies$ automatische Umwandliung in höheren Typ, hier "double" $\implies$ wird als 3.0 * 4.0 ausgeführt
- $\implies$ Devision unterscheidet sich
  - Integer-Division: 12 / 5 = 2 (wird abgerundet)
  - Double-Division: 12.0 / 5.0 = 2.4
  - -12 / 5 = 2 ($\implies$ truncated Division)
  - 12.0 / 5.0 = 2.4
  - Gegensatz (zum Beispiel in Python)
    - floor division $\implies$ wird immer abgerundet $\implies$ -12 / 4 = -2

7 Prozedurale Programmierung

7.1 Von der Funktionalen zur prozeduralen Programmierung

- Eigenschaften der Funktionalen Programmierung:
  - alle Berechnungen durch Funktionsaufruf, Ergebnis ist Rückgabe
  - Ergebnis hängt nur von den Werten der Funktionsargumente ab, nicht von externen Faktoren "referentielle Integrität"
  - Speicherzellen für Zwischenergebnisse und Argumente können nach Initialisierung nicht geändert werden "write once"
  - Möglichkeit rekusiver Funktionsaufrufe (jeder Aufruf bekommt eigene Speicherzellen)
    - Vorteile

- natürliche Ausdrucksweise für arithmetische und algebraische Funktionaliät (”Taschenrechner”)
- einfache Auswertung durch Substitutionsmodell → Auswertungsreihenfolge nach Post-Order
- mathematisch gut formalisierbar $\implies$ Korrektheitsbeweise, besonders bei Parallelverarbeitung
- Rekursion ist mächtig und natürliche für bestimmte Probleme (Fakultät, Baumtraversierung)

- Nachteile
  - viele Probleme lassen sich anders natürlicher ausdrücken (z.B. Rekursion vs. Iteration)
  - setzt unendlich viel Speicher voraus ($\implies$ Memory management notwendig $\implies$ später)
  - Entitäten, die sich zeitlich verändern sind schwer zu modellieren
- Korrolar: kann keine externen Resourcen (z.B. Konsole, Drucker, ..., Bildschirm) ansprechen ”keine Seiteneffekte”
  - $\implies$ Multi-Paradigmen-Sprachen, zum Beispiel Kombination von Funktionaler Programmierung und prozeduraler Programmierung

7.2 Kennzeichen

7.2.1 Prozeduren

- Prozeduren: Funktionen, die nichts zurückgeben, haben nur Seiteneffekte
  - Beispiel

```
std::cout << "Hello\n"; // Infix
operator<<(std::cout, "Hello\n"; // Prefix
```

  - Prozeduren in c++
    1. Funktion die ”void” zurückgibt (Pseudotyp für ”nichts”)

```
void foo(int x) {
    return;
}
```

    2. Returnwert ignorieren

7.2.2 Steuerung des Programmablaufs

- Anweisungen zur Steuerung des Programmablaufs

  `if(), else, while(), for()`

  - Funktional

```
int abs(int x) {
    return (x >= 0) ? x : -x;
}
```

- Prozedural

```
int abs(int x) {
    if(x >= 0) {
        return x;
    } else {
        return -x;
    }

    // oder
    if(x >= 0) return x;
    return -x;
}
```

7.2.3 Veränderung von Speicherzellen

- Zuweisung: Speicherzellen können nachträglich verändert werden (”read-write”)
  - prozedural:

```
int foo(int x) {     // x = 3
    int y = 2;
    int z1 = x * y;  // z1 = 6
    y = 5;
    int z2 = z * y;  // z2 = 15
    return z1 + z2;  // 21
}
```

  - funktional:

```
int foo(int x) {      // x = 3
    int y1 = 2;
    int z1 = x * y1;  // z1 = 6
    int y2 = 5;
    int z2 = z1 * y2; // z2 = 15
    return z1 + z2;   // 21
}
```

  - Syntax

```
name = neuer_wert;           // Zuweisung
typ name = neuer_wert;       // Initialisierung
typ const name = neuer_wert; // write once
```

  - $\Longrightarrow$ Folgen: mächtiger, aber ermöglicht völlig neue Bugs $\Longrightarrow$ erhöhte Aufmerksamkeit beim Programmieren

- die Reihenfolge der Ausführung ist viel kritischer als beim Substitutionsmodell
- Programmierer muss immer ein mentales Bild des aktuellen Systemzustans haben

7.2.4 Schleifen

Der gleiche Code soll oft wiederholt werden

```
while(bedingung) {
    // code, wird ausgeführt solange Bedingung "true"
}

int counter = 0;
while(counter < 3) {
    std::cout << counter << std::endl;
    counter++; // Kurzform für counter = counter + 1
}
```

counter	Bedingung	Ausgabe
0	true	0
1	true	1
2	true	2
3	false	$\emptyset$

- in c++ beginnt Zählung meist mit 0 (”zero based”)
- vergisst man Inkrementierung $\implies$ Bedingung immer ”true” $\implies$ Endlosschleife $\implies$ Bug
- drei äquivalente Schreibweisen für Inkrementierung:
  - counter = counter + 1; // assignment $\hat{=}$ Zuweisung
  - counter += 1; // add-assignment $\hat{=}$ Abbkürzung
  - ++counter; // pre-increment

7.2.5 prozedurale Wurzelberechung

Ziel

```
double sqrt(double y);
```

Methode iterative Verbesserung mittel Newtonverfahren initial_guess $x^{(0)}$ (”geraten”), t = 0
while not_good_enough($x^{(t)}$):
update $x^{(t+1)}$ from $x^{(t)}$ (zum Beispiel $x^{(t+1)} = x^{(x)} + \Delta^{(t)}$ additives update, $x^{(t+1)} = x^{(t)}\Delta^{(t)}$ multiplikatives update)
t = t + 1

Newtonverfahren Finde Nullstellen einer gegebenen Funktion $f(x)$, das heißt suche x^* sodass $f(x^*) = 0$ oder $|f(x^*)| < \varepsilon$ Taylorreihe von $f(x)$:, $f(x+\Delta) \approx f(x) + f'(x)\Delta +$ setze $x^* = x + \Delta$

$$0 \stackrel{!}{=} f(x^*) \approx f(x) + f'(x)\Delta = 0 \implies \Delta = -\frac{f(x)}{f'(x)}$$

Iteratiosvorschrift:

$$x^{(t+1)} = x^{(t)} - \frac{f(x^{(*)})}{f'(x^{(*)})}$$

Anwendung auf Wurzel: setze $f(x) = x^2 - y \implies$ mit $f(x^*) = 0$ gilt

$$(x^*)^2 - y = 0 \quad (x^*)^2 = y \quad x^* = \sqrt{y} \quad f'(x) = 2x)$$

Iterationsvorschrieft:

$$x^{(t+1)} = x^{(t)} - \frac{(x^{(t)^2}) - y}{2x^{(t)}} = \frac{x^{(t)^2} + y}{2x^{(t)}}$$

```
double sqrt(double y) {
  if(y < 0.0) {
      std::cout << "Wurzel aus negativer Zahl\n";
      return -1.0;
    }
    if(y == 0.0) return 0.0;

    double x = y; // inital guess
    double epsilon = 1e-15 * y;

    while(abs(x * x - y) > epsilon) {
        x = 0.5*(x + y / x);
    }
}
```

7.2.6 for-Schleife

```
int c = 0;
while(c < 3) {
```

```
    // unser code
    c++; // vergisst man leicht
}
```

Bei der while Schleife kann man leicht vergessen c zu inkrementieren, die for Schleife ist idiotensicher
Äquivalent zu der while Schleife oben ist:

```
for(int c = 0; c < 3; c++) {
    // unser code
}
```

Allgemeine Form:

```
for(init; Bedingung; Inkrement) {
    // unser code
}
```

- Befehle, um Schleifen vorzeitig abzubrechen
  - continue: Bricht aktuelle Iteration ab und springt zum Scleifenkpf
  - break: bricht die ganze Schleife ab und springt hinter das Schleifenende
  - return: beendet Funktion und auch die Schleife

Beispiel: nur gerade Zahlen ausgeben

```
for(int i = 0; i < 10; i++) if(c % 2 == 0) std::cout << c << std::endl;
```

Variante mit continue:

```
for(int i = 0; i < 10; i++) {
    if(c % 2 != 0) continue;
    std::cout << c << std::endl;
}

for(int i = 0; i < 10; i += 2) {
    std::cout << c << std::endl;
}

double sqrt(double y) {
    while(true) {
        x = (x + y / 2) / 2.0;
        if(abs(x * x - y) < epsilon) {
            return x;
        }
    }
}
```

8 Datentypen

8.1 Basistypen

Bestandteil der Sprachsyntax und normalerweise direkt von der Hardware unterstützt (CPU)

- int, double, bool ($\Longrightarrow$ später mehr)

8.2 zusammengesetzte Typen

mit Hilfe von "struct" oder "class" aus einfachen Typen zusammengesetzt

- wie das geht $\Longrightarrow$ später
- Standardtypen: in der C++ Standardbibilothek definiert, aktivieren durch $\#include < module\_name >$
  - std::string, std::complex, etc.
- externe Typen: aus anderer Bibilothek, die man zuvor herunterladen und installieren muss
- eigene Typen: vom Programmierer selbst implementiert $\Longrightarrow$ später

Durch "objekt-orientierte Programmierung" ($\Longrightarrow$ später) erreicht man, dass zusammengesetzte Typen genauso einfach und bequem und effizient sind wie Basistypen (nur c++, nicht c)

- "Kapselung": die interne Struktur und Implementation ist für Benutzer unsichtbar
- Benutzer manipuliert Speicher über Funktionen ("member functions") $\hat{=}$ Schnittstelle des Typs, "Interface", API

$\Longrightarrow$ Punktsyntax: type_name t = init; t.foo(a1, a2); $\hat{=}$ foo(t, a1, a2);

8.3 Zeichenketten-Strings:

zwei Datentypen in c++

- klassischer c-string: char[] ("charakter array") $\Longrightarrow$ nicht gekapselt, umständlich
- c++ string: std::string gekapselt und bequem (nur dieser in der Vorlesung)
- string literale: "zeichenkette", einzelnes Zeichen: 'z' ("z" = Kette der Länge 1)
  Vorsicht: die String-Literale sind c-strings (gibt keine c++ string-Literale), müssen erst in c++ strings umgewandelt werden, das passiert meist automatisch
  - #include <string>
  - Initialisierung:

```
std::string s = "abcde";
std::string s2 = s1;
std::string leer = "";
std::string leer(); // Abkürzung, default constructor
```

- Länge

```
s.size();
assert(s.size() == 5);
assert(leer.size() == 0);
s.empty() // Abkürzung für s.size() == 0
```

- Zuweisung

```
s = "xy";
s2 = leer;
```

- Addition Aneinanderkettung von String (”concatenate”)

```
std::string s3 = s + "ijh"; // "xyijh"
s3 = "ghi" + s; // "ghixy"
s3 = s + s; // "xyxy"
// aber nicht!!
s3 = "abc" + "def"; // Bug Literale unterstützen + mit ganz anderer Bedeutung
s3 = std::string("abc") + "def"; // Ok
```

- Add-Assignment: Abkürzung für Addition gefolt von Zuweisung

```
s += "nmk"; // s = s + "nmk" => "xynmk"
```

- die Zeichen werden intern in einem C-Array gespeichert (Array = ”Feld”)
  Array: zusammenhängende Folge von Speicherzellen des gleichen Typs, hier ’char’ (für einzelne Zeichen), Die Länge wird (bei std::string) automatisch angepasst, die einzelnen Speicherzellen sind durchnummerriert in c++: von 0 beginnend $\triangleq$ Index

  - Indexoperator:

    ```
    s[index]; // gibt das Zeichen an Position "index" zurück
    ```

    Anwendung: jedes Zeichen einzeln ausgeben

    ```
    std::string s = "abcde";

    for(int i = 0; i < s.size(); i++) {
        std::cout << s[i] << std::endl;
    }
    ```

    String umkehren

    ```
    int i = 0; // Anfang des Strings
    int k = s.size() - 1; // Ende des String
    while(i < k) {
        char tmp = s[i];
    ```

```
        s[i] = s[k];
        s[k] = tmp;
        i++; k--;
    }
```

Variante 2: neuen String erzeugen

```
std::string s = "abcde";
std::string r = "";
for(int i = s.size() - 1; i >= 0; i--) {
    r += s[i];
}
```

9 Umgebungsmodell

Gegenstück zum Substitutionsmodell (in der funktionalen Programmierung) für die prozedurale Programmierung

- Regeln für Auswertung von Audrücken
- Regeln für automatische Speicherverwaltung
  - Freigeben nicht mehr benötigter Speicherzellen, $\Longrightarrow$ bessere Approximation von "unendlich viel Speicher"
- Umgebung beginnt normalerweise bei "{" und endet bei "}"
  Ausnahmen:
  - *for*: Umgebung beginnt schon bei "for" $\Longrightarrow$ Laufvariable ist Teil der Umgebung
  - Funktionsdefinitionen: Umgebung beginnt beim Funktionskopf $\Longrightarrow$ Speicherzellen für Argumente und Ergebnis gehören zur Umgebung
  - globale Umgebung außerhalb aller "{ }" Klammern
- automatische Speicccherverwaltung
  - Speicherzellen, die in einer Umgebung angelegt werde (initialisiert, deklariert) werde, am Ende der Umgebung in umgekehrter Reihenfolge freigegeben
  - Computer fügt vor "}" automatisch die Notwendigen Befehle ein
  - Speicherzellen in der globalen Umgebung werden am Programmende freigegeben

```
- int global = 1;
  int main() {
      int l = 2;
      {
          int m = 3
      } // <- m wird freigegeben
```

```
} // <- l wird freigegeben
// <- global wird freigegeben
```

- Umgebungen können beliebig geschachtelt werden $\Longrightarrow$ alle Umgebungen bilden einen Baum, mit der globalen Umgebung als Wurzel
- Funktionen sind in der globalen Umgebung definiert
  - Umgebung jeder Funktion sind Kindknoten der globalen Umgebung (Ausnahme: Namensräume $\Longrightarrow$ siehe unten)
    $\Longrightarrow$ Funktions Umgebung ist **nicht** in der Umgebung, wo die Funktion aufgerufen wird
- Jede Umgebung besitzt eine **Zuordungstabelle** für alle Speicherzellen, die in der Umgebung definiert wurden

Name	Typ	aktueller Wert
l	int	2

- jeder Name kann pro Umgebung nur einmal vorkommen
- Ausnahme Funktionsnamen können mehrmals vorkommen bei function overloading (nur c++)
- Alle Befehle werden relativ zur aktuellen Umgebung ausgeführt
  - aktuell: Zuordungstabelle der gleichen Umgebung und aktueller Wert zum Zeitpunkt des Aufrufs
    Beispiel: $c = a * b;$
    Regeln:
  - wird der Name (nur a, b, c) in der aktuellen Zuordungstabelle gefunden
    1. Typprüfung $\Longrightarrow$ Fehlermeldung, wenn Typ und Operation nicht zusammenpassen
    2. andernfalls, setze aktuellen Wert aus Tabelle in Ausdruch ein (ähnlich Substitutionsmodell)
  - wird Name nicht gefunden: suche in der Elternumgebung weiter
  - wird der Name bis zur Wurzel (gloable Umgebung) nicht gefunden $\Longrightarrow$ Fehlermeldung
  - $\Longrightarrow$ ist der Name in mehreren Umgebungen vorhanden gilt der zuerst gefundene (Typ, Wert)
- $\Longrightarrow$ Programmierrer muss selbst darauf achten, dass
  1. bei der Suche die gewünschte Spicherzelle gefunden wird $\Longrightarrow$ benutze "sprechende Namen"
  2. der aktuelle Wert der richtig ist $\Longrightarrow$ beachte Reihenfolge der Befehle!

- Namensraum: spezielle Umgebungen in der globalen Umgebung (auch geschachtelt) mit einem Namen
  Ziele:
  - Gruppieren von Funktionalität in Module (zusätzlich zu Headern)
  - Verhinderung von Namenskollisionen

  Beispiel: c++ Standardbibilothek:

```
namespace std {
double sqrt(double x);
namespace chrono {
class system_clock;
}
}

// Benutzung mit Namespace-Prefix:
std::sqrt(80);
std::chrono::system_clock clock;
```

  Besonderheit: mehrere Blöcke mit selbem Namensraum werden verschmolzen Beispiel

```
int p = 2;
int q = 3;

int foo(int p) {
    return p * q;
}

int main() {
    int k = p * q; // beides global => 6 = 2 * 3
    int p = 4; // lokales p verdeckt globales p
    int r = p * q; // p lokal, q global => 12 = 4 * 3
    int s = foo(p); // lokale p von main() wird zum lokalen p von foo() 12 = 4 * 3
    int t = foo(q); // globales q wird zum lokalen p von foo() 9 = 3 * 3
    int q = 5;
    int n = foo(g); // lokales q wird zum lokalen p von foo() 15 = 5 * 3
}
```

10 Referenzen

sind neue (zusätzliche) Namen für vorhandene Speicherzellen

```
int x = 3; // neue Variable x mit neuer Speicherzell
int & y = x; // Referenz: y ist neuer Name für x, beide haben die selbe Speicherzelle
y = 4; // Zuweisung an y, aber x ändert sich auch, das heißt x == 4
```

```
x = 5; // jetzt y == 5
int const & z = x; // read-only Referenz, das heißt z = 6 ist verboten
x = 6; // jetzt auch z == 6
```

Hauptanwendung:

- die Umgebung, in der eine Funktion aufgerufen wird und die Umgebung der Implementation sind unabhängig, das heißt Variablen der einen Umgebung sind in der anderen nicht sichtbar
- häuftig möchte man Speicherzellen in beiden Umgebungen teilen $\implies$ verwende Referenzen
- häufig will man vermeiden, dass eine Variable kopiert wird (pass-by-value)
  - Durch pass-by-reference brauch man keine Kopie $\implies$ typisch "const &", also read-only, keine Seiteneffekte

    ```
    int foo(int x) { // pass-by-value
        x += 3;
        return x;
    }

    int bar(int & y) { // pass-by-reference
        y += 3; // Seiteneffekt der Funktion
        return y;
    }

    void baz(int & z) { // pass-by-reference
        z += 3;
    }

    int main() {
        int a = 3;
        std::cout << foo(a) << std::endl; // 5
        std::cout << a << std::endl; // 3
        std::cout << bar(a) << std::endl; // 5
        std::cout << a << std::endl; // 5
        baz(a);
        std::cout << a << std::endl; // 8
    }
    ```

    in der funktionalen Programmierung sind Seiteneffekte grundsätzlich verboten, mit Ausnahmen, zum Beispiel für Ein-/Ausgabe

11 Container-Datentypen

Dienen dazu, andere Daten aufzubewahren

- Art der Elemente:
  - homogene Container: alle Elemente haben gleichen Type (typisch für c++)
  - heterogene Container: Elemente könne verschiedene Typen haben (z.B. Python)
- nach Größen
  - statische Container: feste Größe, zur Compilezeit bekannt
  - dynamische Container: Größe zur Laufzeit veränderbar
- Arrays sind die wichtigsten Container, weil effizient auf Hardware abgebildet und einfach zu benutzen
  - klassisch: Arrays sind statisch, zum Beispiel C-Arrays (hat c++ geerbt)

    ```
    int a[20];
    ```
  - modern: dynamische Arrays
    - Entdeckung einer effizienten Implementation
    - Kapselung durch objekt-orientierte Programmierung (sonst zu kompliziert)
- wir kennen bereits ein dynamisches Array: std::string ist Abbildung int (Index) → char (Zeichen), mit $0 \leq$ index $<$ s.size()
  - wichtigste Funktion: s.size() (weil Größe dynamisch), s[4] Indexzugriff, s+="mehr" Zeichen anhängen
- wir wollen dasselbe Verhalten für beliebige Elementtypen:

```
#include <vector>

//          Elementtyp    Größe  Initialwert der Elemente
std::vector<double    > v(20   ,           0.0           );
// analog
std::vector<int>;
std::vector<std::string>;
```

- weitere Verallgemeinerung: Indextyp beliebig (man sagt dann "Schlüssel-Typ") "assoziatives Array"
  - typische Fälle:
    - Index ist nicht im Bereich (0,size], zum Beispiel Matrikelnummern
    - Index ist string, zum Beispiel Name eines Studenten

      ```
      #include <map>
      #include <unordered_map>

      // Binärer Suchbaum
      ```

```
std::map;

// Hashtabelle, siehe Algorithmen und Datenstrukturen
std::unordered_map;

//       Schlüsseltyp  Elementtyp
std::map<int         , double> noten; noten[3121101] = 10;
std::map<std::string, double> noten; noten["krause"] = 10;
```

- Indexoperationen wie beim Array
- Elemente werden beim 1. Zugriff automatisch erzeugt (dynamisch)

- alle dynamischen und assoziativen Arrays unterstützen a.size() zum Abfragen der Grlße

11.1 std::vector

- Erzeugen:

```
std::vector<double> v(20, 1.0);
std::vector<double> v; // leeres Array
std::vector<double> v = {1.0, -3.0, 2.2}; // "initializer list": Element für Anfangs
```

- Größe:

```
v.size();
v.empty(); // => v.size() == 0
```

- Größe ändern

```
v.resize(neue_groesse, initialwert);
// Dann:
// Fall 1: neue_groesse < size(): Element ab Index "neue_groesse" gelöscht die ander
// Fall 2: neue_groesse > size(): neue Elemente mit Initialwert am Ende anhängen, di
// Fall 3: neue_groesse == size(): nichts passiert

v.push_back(neues_element); // ein neues Element am Ende anhängen (ähnlich string +=
v.insert(v.begin() + index, neues_element); // neues element an Position "index" ein
// Falls index == size(): am Ende anhängen, sonst: alte Elemente ab Index werden ein

v.pop_back(); // letzes Element löschen (effizient)
v.erase(v.begin() + index); // Element an Pos index löschen, alles dahinter eine Pos
v.clear(); // alles löschen
```

- Zugriff

```
v[k]; // Element bei Index k
v.at(k); // wie v[k], aber Fehlermeldung, wenn nicht 0 <= k < size() (zum Debuggen)
```

- Funktionen für Container benutzen in c++ immer Iteratoren, damit sie für verschiedene Container funktionieren
  - Iterator-Range

    ```
    // erstes Element
    v.begin()

    // hinter letztem Element
    v.end()
    ```

  - im Header <algorithm>
  - alle Elemente kopieren

    ```
    std::vector<double> source = {1.0, 2, 3, 4, 5};
    std::vector<double> target(source.size(), 0.0);
    std::copy(source.begin(), source.end(), target.begin());
    std::copy(source.begin() + 2, source.end() - 1, target.begin()); // nur index 2
    ```

  - Elemente sortieren

    ```
    std::sort(v.begin(), v.end()); // "in-place" sortieren
    ```

  - Elemente mischen:

    ```
    std::random_shuffle(v.begin(), v.end()); // "in-place" mischen
    ```

11.1.1 Effizenz von push_back

Warum ist push_back() effizient? (bei std::vector)

- veraltete Lehrmeinung: Arrays sind nur effizient wenn statisch (das heißt Größe zur Compilezeit, oder spätestens vei Initialisierung, bekannt)
  - sonst: andere Datenstruktur verwenden, zum Beispiel verkettete Liste (std::list)
- modern: bei vielen Anwendungen genügt, wenn Array (meist) nur am Ende vergrößert wird (zum Beispiel push_back())
  - dies kann sehr effizient unterstützt werden $\implies$ dynamisches Array
- std::vector verwaltet intern ein statisches Array der Größe "capacity", v.capacity() >= c.size()
  - wird das interne Array zu klein $\implies$ wird automatisch auf ein doppelt so großes umgeschaltet
  - ist das interne Array zu groß, bleiben unbenutzte Speicherzellen als Reserve
- Verhalten bei push_back():
  1. noch Reserve vorhanden: lege neues Element im eine unbenutze Speicherzelle $\implies$ billig

2. keine Reserve
   a) alloziiere neues statisches Array mit doppeler Kapazität
   b) kopiere die Daten aus dem altem in das neue Array
   c) gebe das alte Array frei
   d) gehe zum Anfang des Algorithmus, jetzt ist wieder Reserve vorhanden

· das Umkopieren ist nicht zu teuer, weil es nur selten notwendig ist

· Bespiel:

```
std::vector<int> v;

for(int i = 0; i < 32; i++) v.push_back(k);
```

k	capacity vor push_back()	capacity nach push_back()	size()	Reserve	#Umkopieren
0	0	1	1	0	0
1	1	2	2	0	1
2	2	4	3	1	2
3	4	4	4	0	2
4	4	8	5	3	4
5-7	8	8	8	0	0
8	8	16	9	7	8
9-15	16	16	16	0	0
16	16	32	17	15	16
17-31	32	32	32	0	0

  · was kostet das:
    · 32 Elemente einfügen = 32 Kopien extern $\implies$ intern
    · aus allem Array ins neu kopieren $(1+2+4+8+16) = 31$ kopieren intern $\implies$ intern
    · $\implies$ im Durchschnitt sind pro Einfügung 2 Kopien nötig
    · $\implies$ dynamisches Array ist doppelt so teuer sie das statische $\implies$ immer noch sehr effizient

· relevante Funktionen von std::vector

```
v.size() // aktuelle Zahl der Elemente
v.capacity() // aktuelle Zahl Speicherzellen
assert(v.capacity() - v.size() >= 0) // Reserve
v.resize(new_size) // ändert immer v.size(), aber v.capacity() nur wenn < new_size
v.reserve(new_capacity) // änder v.size() nicht, aber v.capacity() falls new_capacit
v.shrink_to_fit() // == v.reserve/v.size()) Reseve ist danach 0, wenn Endgröße errei
```

· wenn Reserve > size: capacity kann auch halbiert werden

- wichtige Container der c++ Standardbibilothek
- wir hatten dynamische Arrays std::string, std::vector, assozaitive Arrays std::map, std::unordered_map
- std::set, std::unordered_set: Menge, jedes Element ist höchstens einmal enthalten zum Beispiel Duplikate
- std::stack (Stapel, Keller): unterstützt push und pop() mit Last in- First out Semantik (LIFO) äquivalent zu push_back() und pop_back() bei std::vector
- std::queue (Warteschlange) push() und pop() mit First in-first out Semantik (FIFO)
- std::deque ("double-ended queue") gleichzeitig stack und queue, push, pop_front(), pop_back()
- std::priority_queue, push() und pop() - Element mit höchster niedrigster Priorität (user defined)

12 Iteratoren

- für Arrays lautet die kanonische Schleife

```
for(int i = 0; i != v.size(); i++) {
    int current = v[i]; // lesen
    v[i] = new_value; // schreiben
}
```

- wir wollen eine so einfache Schleife für beliebige Container
  - der Index-Zugriff v[] ist bei den meisten Container nicht effizient
  - Iteratoren sind immer effizient $\implies$ es gibt sie in allen modernen Programmiersprachen, aber Details sehr unterschiedlich
  - Analogie: Zeiger einer Uhr, Cursor in Textverarbeitung
    - $\implies$ ein Iterator zeigt immer auf ein Element des Containers, oder auf Spezialwert "ungültiges Element"
  - in c++ unerstützt jeder Iterator 5 Grundoperationen
    1. Iterator auf erstes Element erzeugen: auto iter = v.begin();
    2. Iterator auf "ungültiges Element" erzeugen: auto end = v.end();
    3. Vergleich $iter1 == iter2$ (Zeigen auf gleiches Element), $iter! = end$:

    iter zeigt **nicht** auf ungültiges Element
    1. zum nächsten weitergehen: ++iter. Ergebnis ist v.end(), wenn man vorher beim letzten Element war

2. auf Daten zugreifen: *iter (”Dereferenzierung”) analog v[k]

kanonische Schleife:

```
for(auto iter = v.begin(); iter != v.end(); ++iter) {
int current = *iter; // lesen
*iter = new_value; // schreiben
}
// Abkürzung: range-based for loop
for(auto & element : v) {
int current = element; // lesen
element  = new_vlaue; // schreiben
}
```

- Iteratoren mit den 5 Grundoperationen heißen ”forward iterator” (wegen ++iter)
- ”bidirectional iterators”: unterstützen auch $--iter$, zum vorigen Element ((fast) alle Iteratoren in std)
- ”random acces iterators”: beliebige Sprünge ”iter += 5; iter -= 3;”
- Besonderheit für assoziative Arrays (std::map, std::unordered_map) Schlüssel und Werte können beliebig gewählt werden
  - $\Longrightarrow$ das aktuelle Element ist ein Schlüssel / Wert -Paar, das heißt Iterator gibt Schlüssel und Wert zurück

    ```
    (*iter).first; // Schlüssel
    (*iter).second; // Wert
    // Abkürzung
    iter->first;
    iter->second;
    ```

    - bei std::map liefern die Iteratoren die Elemente in aufsteigneder Reihenfolge der Schlüssel
- Die Funktion std::transform()
  - wir hatten: std::copy()

    ```
    std::vector<double> source = {1, 2, 3, 4};
    std::vector<double> target(source.size());
    std::copy(source.begin(), source.end(), target.begin());
    ```

  - std::transform:

    ```
    // nach Kleinbuchstaben konvertieren
    std::string source = "aAbCdE";
    std::string target = source;
    std::transform(source.begin(), source.end(), target.begin(), std::tolower); // N
    // die Daten quadrieren
    double sq(double x) { return x * x; }
    ```

```
std::transform(source.begin(), source.end(), target.begin(), sq); // target == {
// das ist eine Abkürzung für eine Schleife
auto src_begin = source.begin();
auto src_end = source.end();
auto tgt_begin = target.begin();

for(; src_begin != src_end; src_begin++, tgt_begin++) {
    *tgt_begin = sq(*src_begin);
}
```

- Der Argumenttyp der Funktion muss mit dem source Elementtyp kompatibel sein. Der Returntyp der Funktion muss mit dem Target-Elementtyp kompatibel sein.
- Das letzte Argument von std::transform() muss ein Funktor sein (verhält sich wie eine Funktion), drei Varianten:
  1. normale Funktion, z.B. sq. Aber: wenn Funktion für mehrere Argumenttypen überladen ist (overloading) (zum Beispiel, wenn es sq(double) und sq(int) gibt), muss der Programmierer dem Compiler sagen, welche Version gemeint ist $\implies$ für Fortgeschrittene ("functionpointer cast")
  2. Funktorobjekte $\implies$ objekt-orientierte Programmierung
  3. Definiere eine namenlose Funktion $\implies$ "Lambda-Funktion λ"
     - statt λ verwenden wir den Universalnamen []

       ```
       std::transform(source.begin(), source.end(), target.begin(), [](double
       // Returntyp setzt Computer automatisch ein, wenn es nur einen return-B
       ```

     - Lambda-Funktionen können noch viel mehr $\implies$ für Fortgeschrittene
     - std::transform() kann in-place arbeiten (das heißt source-Container überschreiben), wenn source und target gleich

       ```
       std::transform(source.begin(), source.end(), source.begin(), sq);
       ```

- Die Funktion std::sort() zum in-place sortieren eines Arrays

  ```
  std::vector<double> v = {4, 2, 3, 5 ,1};
  std::sort(v.begin(), v.end()); // v == {1, 2, 3, 4, 5}
  ```

- std::sort ruft intern den <-Operator des Elementtyps auf, um Reihenfolge zu bestimmen
- die <-Operation muss eine totale Ordung der Elemente definieren:
  - $a < b$ muss für beliebige a, b ausführbar sein
  - transitiv: $(a < b) \land (b < c) \implies (a < c)$
  - anti-symmetrisch: $!(a < b) \land !(b < a) \implies a == b$

13 Insertion Sort

schnellster Sortieralgorithmus für kleine Arrays ($n \leq 30$) hängt von Compiler und CPU ab

- Idee von Insertion Sort:
  - wie beim Aufnehmen und Ordnen eines Kartenblatts
  - gegeben: bereits sortierte Teilmenge bis Position $k-1$ Karten bereits in Fächer
  - Einfügen des k-ten Elements an richtiger Stelle → Erzeuge Lücke an richtiger Position duch verschieben von Elementen nach rechts
  - Wiederholung für $k = 1, \ldots, N$
  - Bespiel:

4	2	3	5	1
4	_	3	5	1
_	4	3	5	1
2	4	3	5	1
2	4	_	5	1
2	_	4	5	1
2	3	4	5	1
2	3	4	_	1
2	3	4	5	1
2	3	4	5	_
_	2	3	4	5
1	2	3	4	5

```
void insertion_sort(std::vector<double> & v) {
    for(int i = 0; i < v.size(); i++) {
        double current = v[i];
        int j = i; // Anfangsposition der Lücke
        while(j > 0) {
            if(v[j - 1] < current) { // -> if(cmp(a, b))
                break; // j ist richtige Position der Lücke
            }
            v[j] = v[j - 1];
            j--;
        }
        v[j] = current;
    }
}
```

  - andere Sortierung: definiere Funktor cmp(a, b), der das gewüschte kleiner realisiert (gibt genau dann "true" zurück, wenn a "kleiner" b nach neuer Sortierung)

- neue Sortierung am besten per Lambda-Funktion an std::sort übergeben

```
std::sort(v.begin(), v.end()); // Standartsort mit "<"
std::sort(v.begin(), v.end(), [](double a, double b) { return a < b; }); // Star
std::sort(v.begin(), v.end(), [](double a, double b) { return b < a; }); // abst
std::sort(v.begin(), v.end(), [](double a, double b) { return std::abs(a) < std
std::sort(v.begin(), v.end(), [](std::string a, std::string b) {
    std::transform(a.begin(), a.end(), a.begin(), std::tolower);
    std::transform(b.begin(), b.end(), b.begin(), std::tolower);
    return a < b;
});
```

14 generische Programmierung

insertion_sort soll für beliebige Elementtypen funktionieren

```
template<typename T>
void insertion_sort(std::vector<T> & v) {
    for(int i = 0; i < v.size(); i++) {
        T current = v[i];
        int j = i; // Anfangsposition der Lücke
        while(j > 0) {
            if(v[j - 1] < current) { // -> if(cmp(a, b))
                break; // j ist richtige Position der Lücke
            }
            v[j] = v[j - 1];
            j--;
        }
        v[j] = current;
    }
}
```

- Ziel: benutze template-Mechanismus, damit **eine** Implementation für viele verschiedene Typen verwendbar ist
  - erweitert funktionale und prozedurale und objekt-orientiere Programmierung
- zwei Arten von Templates (”Schablone”):
  1. Klassen-templates für Datenstrukturen, zum Beispiel Container sollen beliebige Elementtypen unterstützen
     - Implementation $\Longrightarrow$ später
     - Benutzung: Datenstrukturname gefolgt vom Elementtyp in Spizen Klammern (std::vector<double>), oder mehrere Typen, zum Beispiel Schlüssel und Wert bei std::map<std::string, double>

2. Funktionen-Templates: es gab schon function overloadingg

```
int sq(int x) {
    return x * x;
}

double sq(double x) {
   return x * x;
}

// und so weiter für komplexe und rationale Zahlen...
```

   - Nachteil
     - wenn die Implementationen gleich sind → nutzlose Arbeit
     - Redundanz ist gefährlich: korrigiert man einen Bug wir leicht eine Variante vergessen
   - mit templates reicht eine Implementation

```
template<typename T> // T: Platzhalter für beliebigen Typ, wird später durch
T sq(T x) {
    return x * x; // implizierte Anforderung an den Typ T, er muss Multiplik
}
```

     - wie bei Substituieren von Variablen mit Werten, aber jetzt mit Typen
     - Benutzug:
       - Typen für die Platzhalter hinter dem Funktionsnamen in spitzen klammern

```
sq<int>(2) == 4;
sq<double>(3.0) == 9.0,
```

       - meist kann man die Typangabe <type> weglassen, weil der Computer sie anhand des Argumenttyps automatisch einsetzt:

```
sq(2); // == sq<int>(2) == 4
sq(3.0); // == sq<double>(3.0) == 9
```

       - kombiniert man templates mit Overloading, wird die ausprogrammierte Variante vom Compiler bevorzugt. Komplizierte Fälle (Argument teilweise Template, teilweise hard_coded) $\Longrightarrow$ für Fortgeschrittene
     - Beispiel 2: Funktion, die ein Array auf Konsole ausgibt, für beliebige Elementtypen

```
template<typename ElementType>
void print_vector(std::vector<ElementType> const & v) {
    std::cout << "{";
    if(v.size() > 0) {
```

```
        std::cout << " " << v[0];
        for(int i = 1; i < v.size(); i++) {
            std::cout << ", " << v[i];
        }
    }
    std::cout << " }";
}
```

- Verallgemeinerung für beliebige Container mittel Iteratoren:

```
std::list<int> l = {1, 2, 3};
print_containter(l.begin(), l.end()); // "{1,2,3}"
```

- es genügen forward_interators

```
Iterator iter2 = iter1; // Kopie erzeugen
iter1++; // zum nächsten Element
iter1 == iter2; // Zeigen sie auf das selbe Element?
iter1 != end;
*iter1; // Zugrif auf aktuelles Element

template<typename Iterator>
void print_container(Iterator begin, Iterator end) {
    std::cout << "{}";
    if(begin != end) { // Container nicht leer?
        std::cout << " " << *begin++;
        for(;begin != end; begin++) {
            std::cout << ", " << *begin;
        }
    std::cout << "}";
}
```

- Bespiel 3: checken, ob Container sortiert ist

```
template<typename E, typename CMP>
bool check_sorted(std::vector<E> const & v, CMP less_than) {
    for(int i = 1; i < v.size(); i++) {
        if(less_than(v[k], v[k - 1])) { // statt v[k] < v[k - 1], ausnutz
            return false;
        }
    }
    return true;
}

// Aufruf:
std::vector<double> v = {1.0, 2.0, 3.0};
check_sorted(v, [](double a, double b) { return a < b; } ); // == true
```

```
check_sorted(v, [](double a, double b) { return a > b; } ); // == false

// implementation für iteratoren
template<typename Iterator, typename CMP>
bool check_sorted(Iterator begin, Iterator end, CMP less_than) {
    if(begin == end) {
        return true;
    }
    Iterator next = begin;
    ++next;
    for(; next != end; ++begin, ++next) {
        if(less_than(*next, *begin)) {
            return false;
        }
    }
    return true;
}
// == std::is_sorted
```

- Bemerkung: Complier-Fehlermeldungen bei Template-Code sind oft schwer zu interpretieren, $\Longrightarrow$ Erfahrug nötig aber: Compiler werden darin immer besser, besonders clang-comiler
- mit Templatees kann man noch viel raffiniertere Dinge machen, zum Beispiel Traits-Klassen, intelligent libraries template meta programming $\Longrightarrow$ nur für Fortgeschrittene

15 Effizienz von Algorithmen und Datenstrukturen

15.1 Bestimmung der Effizienz

2 Möglichkeiten:

1. Messe die ”wall clock time” - wie lange mus man auf das Ergebnis warten
2. unabhängig von Hardware benutz man das Konzept der algorithmischen Komplexität

15.1.1 wall clock

wall clock time misst man zum Beispiel mit dem Modul <chrono>

```
#include <chrono>
#include <iostream>

int main() {
    // alles zur Zetimessung vorbereiten
```

```
    auto start = std::chrono::high_resolution_clock::now(); // Startzeit
    // code der gemessen werden soll
    auto stop = std::chrono::high_resolution_clock::now();
    std::chrono::duration<double> diff = stop - start; // Zeitdifferenz
    std::cout << "Zeitdauer: " << diff.count() << " sekunden\n" << std::endl; // ausgeben
}
```

Pitfalls:

- moderne Compiler optimieren oft zu gut, das heißt komplexe Berechnungen werden zur Compilezeit ausgeführt und ersetzt $\Longrightarrow$ gemessene Zeit ist viel zu kurz. Abhilfen:
  - Daten nicht "hard-wired", sondern zum Beispiel von Platte lesen
  - "volatile" Schlüsselwort "volatile int k = 3;"
- der Algorithmus ist schneller als die clock $\Longrightarrow$ rufe den Algorithmus mehrmals in einer Schleife auf
- die Ausführung ihres Programms kann vom Betriebssystem jederzeit für etwas wichtigeres unterbrochen werden (zum Beispiel Email checken) $\Longrightarrow$ gemessene Zeit zu lang $\Longrightarrow$ messe mehrmals und nimm die kürzeste Zeit (mest reicht 3 bis 10 fach)
- Fausregel: Messug zwischen 0.02 s und 3 s

Nachteil: Zeit hängt von der Qualität der Implementation, den Daten (insbesondere der Menge) und der Hardware ab

15.1.2 algorithmische Komplexität

Algorithmische Kompexität ist davon unabhängig, ist eine Art theoretisches Effizenzmaß. Sie beschreibt, wie sichdie Laufzeit verlängert, wenn man mehr Daten hat.

Beispiel 1. Algorithmus brauch für n Elemente x Sekunden, wie lange dauert es für $2n$, $10n$ für große n

Bei effiziente Algorithmen steigt der Aufwand mit n nur langsam (oder bestenfalls gar nicht)
Grundidee:

1. berechne, wie viele elementare Schritte der Algorithmus in Abhängigkeit von n benötigt $\Longrightarrow$ komplizierte Formel $f(n)$
2. vereinfache $f(n)$ in eine einfache Formel $g(n)$, die dasselbe wesentliche Verhalten hat. Die Vereinfachung erfolgt mittels **O-Notation** und ihren Verwandten Gegeben: $f(n)$ und $g(n)$

a) $g(n)$ ist eine asymptotische (für große n) overe Schranke für $f(n)$ ("f(n) $\leq$ g(n)"), $f(n) \in O(g(n))$ "$f(n)$ ist in der Komplexitätsklasse $g(n)$", wenn es ein n_0 (Mindestgröße) gibt und C (Konstante) gibt, sodass $\forall\, n > n_0 : f(n) \leq Cg(n) \iff f(n) \in O(g(n))$

b) $g(n)$ ist asymptotische untere Schranke für $f(n)$ ($f(n) \geq g(n)$)

$$f(n) \in \Omega(g(n)) \iff \exists\, n_0, C : \forall\, n > n_0 f(n) \geq Cg(n)$$

c) $g(n)$ ist asymptotisch scharfe Schranke für $f(n)$ ($f(n) = g(n))

$$f(n) \in \Theta(g(n)) \iff f(n) \in O(g(n)) \wedge f(n) \in \Omega(g(n))$$

Regeln:

1. $f(n) \in \Theta(f(n)) \implies f(n) \in O(f(n)), f(n) \in \Omega(f(n))$
2. $c' f(n) \in \Theta(f(n))$
3. $O(f(n)) \cdot O(g(n)) \in O(f(n)g(n))$ Miltiplikationsregel
4. $O(f(n)) + O(g(n)) \in O(\text{"max"}(f(n), g(n)))$ Additionsregel
   formal: wenn $f(n) \in O(g(n)) \implies O(f(n)) + O(g(n)) \in O(g(n))$
   $g(n) \in O(f(n)) \implies O(f(n)) + O(g(n)) \in O(f(n))$
5. $n^p \in O(n^q)$ wenn $p \leq q$

Beliebte Wahl für $g(n)$

· $O(1)$ "konstante Komplexität"
elementare Operation "+, -, *, /", Array-Zugriff v[k] (v: std::vector)

· $O(\log(n))$ "logarithmische Komplexität"
zum Beispiel: auf Element von std::map zugreifen m[k] (m: std::map)

· $O(n)$ "lineare Komplexität"
zum Bespiel std::transform() (n = Anzahl der transformierten Elemente)

· $O(n \log(n))$ "n log n", "loglinear" "linearithmisch"
Beispiel: std::sort

· $O(n^2)$ "quardatische Komplexität"

· $O(n^p)$ "polynomielle Komplexität"

· $O(2^n)$ "eexponentielle komplexität"

Beispiel 2.

$$f(n) = 1 + 15n + 4n^2 + 7n^3 \in O(n^3)$$

15.1.3 Anwendung

1. Fibonacci-Zahlen: $f_k = f_{k-2} + f_{k-1}$

k	0	1	2	3	4	5	6	7	8
f_k	0	1	1	2	3	5	8	13	21

```
int fib1(int k) {
    if(k < 2) { // O(1)
        return k; // O(1)
    }
    // O(1)
    int f1 = 0; // letzten beiden Fibonacci Zahlen, anfags die ersten beiden
    int f2 = 1;
    for(int i = 2; i <= k; i++) { // f(k) = k - 1 e O(k)
        int f = f1 + f2; // O(1)
        f1 = f2; // O(1)
        f2 = f; // O(1)
    } // gesamte Schleife: O(1)*O(k) = O(k)
    return f2;
} // gesanmte Funktion: teuerstes gewinnt: O(k)

// rekusive Variante:
int fib2(int k) {
    if(k < 2) { // O(1)
        return k; // O(1)
    }
    return fib2(k - 2) + fib2(k - 1);
}
```

   · sehr ineffizent, weil alle Fibonacci-Zahlen $< k$ mehrmals berechnet werden

   Sei $f(k)$ die Anzahl der Schritte, Annahme: jeder Knoten ist $O(1)$ $\implies$ $f(k) \in O(\text{Anzahl Knoten})$