

Einführung in die Programmierung

Wintersemester 2017/18

Prof. Dr. Günter Rudolph

Lehrstuhl für Algorithm Engineering

Fakultät für Informatik

TU Dortmund

Kapitel 14: STL

Inhalt

- Überblick über die **Standard Template Library**
- Datenstrukturen
- Exkurs: Iteratoren
- Exkurs: Konstante Objekte
- Praxis:
 - Function Objects
 - IO Manipulators
 - stringstreams
 - Operator << für eigene Klassen
 - Operator >> für eigene Klassen

Überblick

Kapitel 14

Standard Template Library

- **Standard:** Verbindlich für alle Compiler
- **Template:** Große Teile sind als Templates implementiert

Besteht aus drei großen Teilen:

- Container / Datenstrukturen
- Input / Output
- Anderes: Algorithmen, Zufallszahlengenerator, etc.

Rückblick

Wir haben bereits Teile der STL kennengelernt:

- Kapitel 2: Namensraum `std` und `std::cout`
- Kapitel 5: Funktionen der C-Bibliothek
- Kapitel 9: Die Klassen `std::string` und `std::fstream`

Datenstrukturen

Kapitel 14

std::vector

```
#include <vector>
```

- Einfacher Container
- Wahlfreier Zugriff in konstanter Zeit (wie Array)
- Wächst dynamisch
- Speichert Kopien der Daten

```
using namespace std;
...
vector<int> zahlen; // Leerer vector für int Variablen

// Erzeugt einen vector der bereits 30 mal den string „Leeres Wort“ enthält
vector<string> emptyWords(30, "Leeres Wort");

for(int i=0; i < 49; ++i){
    zahlen.push_back(i*i); // Daten hinten anfügen
}

cout << zahlen[12] << endl; // Zugriff mit operator []
cout << zahlen.at(2) << endl; // Zugriff mit Methode at()
```

std::vector – Zugriff auf Daten

#include <vector>

- Wie bei Arrays über Indizes 0 ... n-1
- Dank `operator[]` auch mit der gleichen Syntax
- Was ist der Unterschied zur Methode `at()`?

```
// Erzeugt einen vector, der 20 mal die Zahl 42 enthält
vector<int> zahlen(20, 42);
cout << zahlen[10000] << endl;
```



Laufzeitfehler!
10000 ist kein gültiger Index. Programm stürzt ab.

- `operator[]` führt keine Bereichsüberprüfung durch (Effizienz!).
- Die Methode `at()` dagegen schon:

```
// Erzeugt einen vector, der 20 mal die Zahl 42 enthält
vector<int> zahlen(20, 42);
try{
    cout << zahlen.at(10000) << endl;
} catch(out_of_range& ex){
    cout << "Exception: " << ex.what() << endl;
}
```

Funktioniert:
`at()` wirft eine Ausnahme, die wir dann fangen.

#include <stdexcept>

std::vector – Zugriff auf Daten

#include <vector>

- Beide Varianten geben Referenzen zurück
- Dadurch sind auch Zuweisungen möglich:

```
vector<int> zahlen;

zahlen.push_back(1000);
zahlen.push_back(2000);
```

```
zahlen[0] = 42;           // Überschreibt die 1000 mit 42
zahlen.at(1) = 17;      // Überschreibt die 2000 mit 17
```

Vorsicht!

- Zuweisungen nur an Indizes möglich, an denen schon Daten gespeichert waren!
- Neue Daten mit `push_back()` oder `insert()` einfügen
- `insert()` speichert ein Datum an einem vorgegebenen Index

Exkurs: Iteratoren

Kapitel 14

std::vector – Zugriff auf Daten mit Iteratoren

#include <vector>

- Weitere Alternative für Datenzugriff
- Ein Iterator ist ein Objekt, das sich wie ein Pointer verhält
- Woher bekommt man Iteratoren? Z.B. von der Methode `begin()`:

```
vector<int>::iterator it = zahlen.begin();

while(it != zahlen.end()){ // Ende erreicht?
    cout << *it << endl;   // Dereferenzieren für Datenzugriff
    ++it;                 // Zum nächsten Element gehen
}
```

- Iteratoren können wie Pointer dereferenziert werden
⇒ so kommt man an die Daten
- Durch De-/Inkrement kommt man zu vorhergehenden oder nachfolgenden Daten

Exkurs: Iteratoren & auto

Kapitel 14

std::vector – Zugriff auf Daten mit Iteratoren

#include <vector>

Noch ein Beispiel: Wir wollen hochdimensionale reelle Daten speichern.

⇒ Ein Datum ist ein `std::vector<double>`

⇒ Die speichern wir in einem `std::vector`:

```
vector<vector<double>> data(100, vector<double>(30, 0.0));
```

↑ Bei alten Compilern Leerzeichen nötig!

```
vector<vector<double>>::iterator it = data.begin();
```

Typ wird immer komplizierter – geht das nicht schöner?

Mit C++11: **JA mit Schlüsselwort auto**

```
auto it = data.begin();
```

- Platzhalter für Datentyp
- Überall dort erlaubt, wo der Compiler den benötigten Typ bestimmen kann

std::vector – Größe & Kapazität

#include <vector>

- `size()` liefert die Anzahl der gespeicherten Elemente:

```
for(int i=0; i < zahlen.size(); ++i){
    cout << zahlen[i] << ", ";           // Über alle Element iterieren
}
cout << endl;
```

- `capacity()` liefert den aktuell verfügbaren Speicherplatz:

```
cout << "Vector hat Platz für " << zahlen.capacity() <<
" Elemente" << endl;
```

- Reicht der Speicherplatz nicht mehr, wird mehr Platz bereitgestellt und vorhandene Daten werden umkopiert (Teuer!)
- Wenn vorher bekannt ist, wie viel Speicherplatz gebraucht wird, kann man diesen direkt reservieren:

```
vector<int> zahlen(1024);           // Platz für 1024 Elemente
```

std::vector – Praxis

#include <vector>

Überlegungen vorab:

- Wir wollen Daten aus der Astronomie bearbeiten
- Ein Datum besteht aus einem Index und 17 reellen Zahlen

```
// Minimalvariante, in Wirklichkeit "richtige" Klasse mit Kapselung und viel mehr Attributen
class StarData{
public:
    unsigned long long int index;
    double data[17];
};
```

- Beim Speichern in einem `vector` wird Kopie erzeugt (u.U. teuer!)
⇒ `vector` speichert Pointer auf dynamisch allokierte `StarData` Objekte
⇒ `vector` wird in eigener Klasse weggekapselt

std::vector – Praxis

#include <vector>

```
class GalaxyData{
public:
    GalaxyData(const string& filename);
    ~GalaxyData(){clear();}

    StarData* at(unsigned int i){return data.at(i);}

    void clear(){
        for(unsigned int i=0; i < data.size(); ++i){
            delete data[i];
        }
        data.clear();
    }

    unsigned int size(){return data.size();}

private:
    vector<StarData*> data;
};
```

std::vector – Praxis

#include <vector>

```
// Implementierung nicht korrekt – nur Idee!
GalaxyData::GalaxyData(const string& filename){
    ifstream file(filename);

    while(file.good() && !file.eof()){
        StarData* s = new StarData();

        string line;
        std::getline(file, line);

        s->index = atol(line.substr(0, // char* in long umwandeln
            line.find_first_of(",").c_str()));

        data.push_back(s);
    }

    file.close();
}
```

std::vector – Praxis

#include <vector>

```
int main(){
    GalaxyData dataSet("palomar5Selected.txt");

    cout << "Identifizier des letzten Sterns: " <<
        dataSet.at(dataSet.size()-1)->index << endl;

    // Viel rechnen und analysieren

    dataSet.clear();
}
```

Wir kennen aus Kapitel 4 bereits konstante Variablen:

```
const double PI = 3.141;
char* const s3 = "Konstanter Zeiger auf char";
```

- Konstante Variablen dürfen nur initialisiert werden
- Jede weitere Zuweisung führt zu einem Compiler Fehler:

```
PI = 42.0;
```



Compilerfehler: error C3892: "PI": Einer Variablen, die konstant ist, kann nichts zugeordnet werden.

Was passiert bei Objekten, die als konstant deklariert wurden?

Exkurs: Konstante Objekte

Kapitel 14

Beispiel: Minimalistische Klasse für zweidimensionale Punkte

```
class Point2D{
public:
    Point2D():_x(0),_y(0){}
    Point2D(double x, double y):_x(x), _y(y){}

    double getX(){return _x;}
    double getY(){return _y;}
    void setX(double x){_x = x;}
    void setY(double y){_y = y;}

private:
    double _x, _y;
};
```

Exkurs: Konstante Objekte

Kapitel 14

```
int main(){
    Point2D p1(23, 89);
    const Point2D p2(-2, 3);

    p2 = p1;           // 1. Fehler: Zuweisung an konstantes Objekt ❌
    p2.setX(-1);      // 2. Fehler: Methodenaufruf mit konstantem Objekt ❌
    cout << "X Wert von p2: " << p2.getX() << endl; // 3. Fehler: dito ☹️

    return 0;
}
```

- Offenbar kann man für konstante Objekte keine Methoden aufrufen.
 - Fehler 1 & 2 sind gewollt: Objekt `p2` ist als konstant deklariert
⇒ soll nicht verändert werden können!
 - Fehler 3 ist frustrierend: `getX()` verändert das Objekt nicht, Aufruf sollte erlaubt sein!
- ⇒ Man muss dem Compiler mitteilen, welche Methoden für konstante Objekte aufgerufen werden dürfen!

```
class Point2D{
public:
    Point2D():_x(0),_y(0){}
    Point2D(double x, double y):_x(x), _y(y){}

    double getX() const {return _x;}
    double getY() const {return _y;}
    void setX(double x){_x = x;}
    void setY(double y){_y = y;}

private:
    double _x, _y;
};
```

Schlüsselwort `const` am Ende der Methodensignatur kennzeichnet Methoden, die für konstante Objekte aufgerufen werden dürfen.

```
int main(){
    const Point2D p2(-2, 3);

    cout << "X Wert von p2: " << p2.getX()<< endl;

    return 0;
}
```

Hinweise

- Nur solche Methoden mit `const` kennzeichnen, die das Objekt nicht verändern
- Man kann Methoden bezüglich `const` auch überladen, siehe z.B. `std::vector`:

`std::vector::operator[]`

```
reference operator[] (size_type n);
const_reference operator[] (size_type n) const;
```

Warum konstante Objekte?

- Zusicherung, bei deren Überprüfung der Compiler hilft \Rightarrow nützlich!
- Objekte bei Funktionsaufrufen zu kopieren ist teuer, aber bei Übergabe per Referenz wären Änderungen außerhalb der Funktion sichtbar \Rightarrow mit konstanten Referenzen auf Objekte kann das nicht passieren!

```
template<typename T>
void print(const vector<T>& v){
    // ...
}
```

Viele weitere Datenstrukturen...

- `std::list` – entspricht unserem ADT Liste
- `std::queue` – entspricht unserem ADT Schlange (FIFO)
- `std::stack` – entspricht unserem ADT Stack (LIFO)
- `std::map` – Abbildung `key` \rightarrow `value`, wobei `key` \in beliebiger sortierbarer Index

Praxis: Sortieren

```
#include <algorithm>
```

- `std::sort` erwartet optional eine Sortierfunktion oder ein Function Objekt
- Unterschied: Function Object erlaubt Parameter
- Was ist eigentlich ein Function Object? \Rightarrow Klasse, die `operator()` hat!

```
class VectorSorter{
    unsigned int _index;
public:
    VectorSorter(unsigned int index):_index(index){}

    bool operator()(const vector<int>& v1, const vector<int>& v2) const{
        return v1[_index] < v2[_index];
    }
};
```

```
int main(){
    vector<vector<int>> data;

    for(int i=0; i < 10; ++i){
        vector<int> v;
        for(int j=1; j <= 4; ++j){
            int zahl = std::rand();
            v.push_back(zahl);
        }
        data.push_back(v);
    }

    cout << "Unsortiert: " << endl;
    for(int i=0; i < 10; ++i){
        cout << "v" << i << ": " << data[i][0] << ", " << data[i][1] <<
            ", " << data[i][2] << ", " << data[i][3] << endl;
    }
    cout << endl;

    // Fortsetzung folgt...
```

```
cout << "Nach erster Spalte sortiert: " << endl;
std::sort(data.begin(), data.end(), VectorSorter(0));
for(int i=0; i < 10; ++i){
    cout << "v" << i << ": " << data[i][0] << ", " << data[i][1] <<
        ", " << data[i][2] << ", " << data[i][3] << endl;
}
cout << endl;

cout << "Nach letzter Spalte sortiert: " << endl;
std::sort(data.begin(), data.end(), VectorSorter(3));
for(int i=0; i < 10; ++i){
    cout << "v" << i << ": " << data[i][0] << ", " << data[i][1] <<
        ", " << data[i][2] << ", " << data[i][3] << endl;
}

return 0;
}
```

Einstellen von Parametern für Ausgabeströme `#include <iomanip>`

⇒ Präzision bei `float/double`, Vorzeichen ja/nein, u.v.m.

```
int main(){
    cout << 5.123456789 << endl;
    cout << setprecision(2) << 5.123456789 << endl; // nur zwei stellen
    // Vorzeichen bei positiven zahlen
    cout << setiosflags(ios_base::showpos) << 5.123456789 <<
        resetiosflags(ios_base::showpos) << " " << 5.123456789 << endl;
    // Ausgabe in 10 Zeichen breiten Spalten
    for(int i=0; i < 100; ++i){
        cout << std::setw(10) << std::rand();
        if((i+1) % 5 == 0){
            cout << endl;
        } else {
            cout << " ";
        }
    }
    return 0;
}
```

`std::ostringstream``#include <sstream>`

- Verhält sich wie Ausgabestrom `cout`
- Speichert die erzeugte Zeichenkette intern
- Besonders nützlich für GUI Programmierung (kommt demnächst)

```
class Point2D{
    // Rest der Klasse wie vorhin
public:
    std::string toString() const;
};
```

```
std::string Point2D::toString() const{
    std::ostringstream result;
    result << "Point2D[" << _x << ", " << _y << " ]";
    return result.str();
}
```

```
Point2D p(-2.0, 3.9);
cout << p.toString() << endl;
guiWindow.setStatusBarText(p.toString()); // guiWindow = fiktives GUI
```

Implementierung von operator<<

Überlegungen vorab:

- Für primitive Datentypen sind die Operatoren Teil der Stream Klassen:

```
cout << 20 << "/" << 5 << "=" << (20/5);
// entspricht:
cout.operator<<(20).operator<<("/").operator<<(5).operator<<("=").
operator<<((20/5));
```

- Operatoren für eigene Datentypen (Klassen)?
⇒ IDEE: Neue Stream Klasse von `ostream` ableiten, Operatoren hinzufügen
- ABER: Laufzeitbibliothek instanziiert für `cout` nicht unsere abgeleitete Klasse ☹
- Nächste Idee: Methode in der Klasse, die wir ausgeben wollen?
⇒ Geht auch nicht (siehe oben)
- Ausweg: Globale Funktion!

Implementierung von operator<< - Point2D Klasse

```
class Point2D{
public:
    Point2D():_x(0),_y(0){}
    Point2D(double x, double y):_x(x), _y(y){}

    double getX() const {return _x;}
    double getY() const {return _y;}
    void setX(double x){_x = x;}
    void setY(double y){_y = y;}

private:
    double _x, _y;
};

std::ostream& operator<<(ostream& s, const Point2D& p){
    s << "Point2D[" << p.getX() << "," << p.getY() << " ]";
    return s;
}
```

Implementierung von operator<< - Point2D Klasse

```
int main(){
    Point2D p1(23, 89);

    cout << p1 << endl;

    return 0;
}
```

Resultat:

Eingabeaufforderung

```
F:\EidP>beispiel.exe
Point2D[23,89]
F:\EidP>
```

Implementierung von operator>> - Vorüberlegungen

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

int main(){
    int number = 0;

    cout << "Bitte eine Ganzzahl (Datentyp int) eingeben: " << endl;
    cin >> number;

    cout << "Sie haben " << number << " eingegeben." << endl;

    return 0;
}
```

- Korrekte Eingabe: Funktioniert!
- Blödsinn wird zu 0 ☹

Implementierung von operator>> - Vorüberlegungen

- Wir müssen überprüfen, ob das Einlesen erfolgreich war!
- Dokumentation verweist auf das fail bit...

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main(){
    int number = 0; bool success = false;
    do{
        cout << "Ganzzahl (Datentyp int) eingeben: " << endl;
        cin >> number;

        if(cin.fail()){
            cin.clear();

        } else {
            success = true;
        }
    } while(!success);
    cout << "Sie haben " << number << " eingegeben." << endl;
    return 0;
}
```

Implementierung von operator>> - Vorüberlegungen

- Was fehlt jetzt noch?
- Fehlerhafte Eingabe muss ignoriert werden!

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main(){
    int number = 0; bool success = false;
    do{
        cout << "Ganzzahl (Datentyp int) eingeben: " << endl;
        cin >> number;

        if(cin.fail()){
            cin.clear();
            cin.ignore(std::numeric_limits<streamsize>::max(), '\n');
        } else {
            success = true;
        }
    } while(!success);
    cout << "Sie haben " << number << " eingegeben." << endl;
    return 0;
}
```

(Eine mögliche) Implementierung von operator>> - Point2D Klasse

```
std::istream& operator>>(std::istream& is, Point2D& p) {
    p.setX(0); p.setY(0);

    is.ignore(8); // Point2D[ ignorieren

    double x;
    is >> x;
    p.setX(x);

    is.ignore(1); // , ignorieren

    double y;
    is >> y;
    p.setY(y);

    is.ignore(1); // ] ignorieren

    return is;
}
```

operator>> - Point2D Klasse

```
int main() {
    istringstream testData("Point2D[2.34,3.47]");

    Point2D p;

    testData >> p;

    cout << "Punkt: " << p << endl;

    return 0;
}
```