

Einführung in die Programmierung

Wintersemester 2019/20

<https://ls11-www.cs.tu-dortmund.de/teaching/ep1920vorlesung>

Dr.-Ing. Horst Schirmeier
(mit Material von Prof. Dr. Günter Rudolph)

Arbeitsgruppe Eingebettete Systemsoftware (LS 12)
und Lehrstuhl für Algorithm Engineering (LS11)

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

Datenstrukturen

Kapitel 14

Standard Template Library (STL)

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

Besteht aus drei großen Teilen:

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

Rückblick

Wir haben bereits Teile der STL kennengelernt:

→ Kapitel 2: Namensraum `std` & `std::cout`

→ Kapitel 5: Funktionen der C-Bibliothek

→ Kapitel 9: Die Klassen `std::string` & `std::fstream`

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

std::vector – Zugriff auf Daten

- 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 (oder Schlimmeres – Verhalten undefiniert!).

- `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

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? Zum Beispiel über die 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

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>`
⇒ Mehrere von diesen double-Vektoren speichern wir in einem `std::vector`:

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

↑ vor C++11 Leerzeichen notwendig

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

Typ wird immer komplizierter – geht das nicht schöner?

Seit 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 Elemente 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
```

Wir kennen aus Kapitel 4 bereits konstante Variablen:

```
double const PI = 3.1415;
char const *const s3 = "Konstanter Zeiger auf konstantes char";
```

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



Compilerfehler:
error: assignment of read-only variable 'PI'

```
PI = 42.0;
```

Was passiert bei Objekten, die als konstant deklariert wurden?

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;
};
```

```
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;
};
```

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

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

    return 0;
}
```

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

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 **Referenzen auf konstante Objekte** kann das nicht passieren!

```
template<typename T> void print (vector<T> const& v) {
    // Diese Funktion "verspricht" schon in der Schnittstelle, dass
    // sie das (per Referenz) übergebene Objekt nicht verändert.
    // Der Compiler überprüft dieses Versprechen.

    // ...
}
```

Viele weitere Datenstrukturen ...

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

↓
realisiert ADT binären Suchbaum

Praxis: Sortieren

```
#include <algorithm>
```

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

```
class VectorSorter {
private:
    unsigned int _index;

public:
    VectorSorter(unsigned int index) : _index(index) {}

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

\Rightarrow zum Sortieren von Vektoren gemäß Vektorkomponente `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(); ← einfache(re), aber
            v.push_back(zahl);          unflexiblere
        }                               Zufallszahlenquelle
        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 ...
}
```

```
// Fortsetzung:

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;
}
}
```

Einstellen von Parametern für Ausgabeströme

#include <iomanip>

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

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

std::ostringstream

#include <sstream>

- verhält sich wie Ausgabestrom cout
- speichert die erzeugte Zeichenkette intern
- nützlich z.B. bei der GUI-Programmierung

```
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, Point2D const& p) {
    s << "Point2D[" << p.getX() << ", " << p.getY() << "]" << "\n";
    return s;
}
```

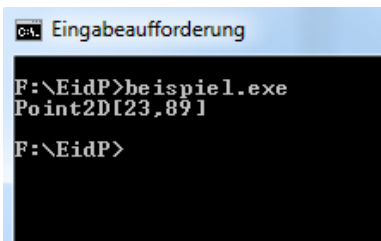
Implementierung von `operator<<` - Point2D-Klasse

```
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;
}
```

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;
}
```

(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;
}
```