6. C++ vertieft (I)

Kurzwiederholung: Vektoren, Zeiger und Iteratoren
Bereichsbasiertes for, Schlüsselwort auto, eine Klasse für Vektoren, Subskript-Operator, Move-Konstruktion, Iterator.

Wir erinnern uns...

```
#include <iostream>
#include <vector>

int main(){
  // Vector of length 10
  std::vector<int> v(10,0);
  // Input
  for (int i = 0; i < v.length(); ++i)
    std::cin >> v[i];
  // Output
  for (std::vector::iterator it = v.begin(); it != v.end(); ++it)
    std::cout << *it << " ";
}
```

Wir erinnern uns...

```
#include <iostream>
#include <vector>

int main(){
  // Vector of length 10
  std::vector<int> v(10,0);
  // Input
  for (int i = 0; i < v.length(); ++i)
    std::cin >> v[i];
  // Output
  for (std::vector::iterator it = v.begin(); it != v.end(); ++it)
    std::cout << *it << " ";
}
```

Das wollen wir doch genau verstehen!

Wir erinnern uns...

```
#include <iostream>
#include <vector>

int main(){
  // Vector of length 10
  std::vector<int> v(10,0);
  // Input
  for (int i = 0; i < v.length(); ++i)
    std::cin >> v[i];
  // Output
  for (std::vector::iterator it = v.begin(); it != v.end(); ++it)
    std::cout << *it << " ";
}
```

Das wollen wir doch genau verstehen!

Und zumindest das scheint uns zu umständlich!

Nützliche Tools (1): `auto` (C++11)

Das Schlüsselwort `auto`:

Der Typ einer Variablen wird inferiert vom Initialisierer.

Nützliche Tools (1): `auto` (C++11)

Das Schlüsselwort `auto`:

Der Typ einer Variablen wird inferiert vom Initialisierer.

Beispiele

```
int x = 10;
```

Nützliche Tools (1): `auto` (C++11)

Das Schlüsselwort `auto`:

Der Typ einer Variablen wird inferiert vom Initialisierer.

Beispiele

```
int x = 10;
auto y = x; // int
```

Nützliche Tools (1): `auto` (C++11)

Das Schlüsselwort `auto`:

Der Typ einer Variablen wird inferiert vom Initialisierer.

Beispiele

```
int x = 10;
auto y = x; // int
auto z = 3; // int
```

Nützliche Tools (1): `auto` (C++11)

Das Schlüsselwort `auto`:

Der Typ einer Variablen wird inferiert vom Initialisierer.

Beispiele

```
int x = 10;
auto y = x; // int
auto z = 3; // int
std::vector<double> v(5);
```

Nützliche Tools (1): `auto` (C++11)

Das Schlüsselwort `auto`:

Der Typ einer Variablen wird inferiert vom Initialisierer.

Beispiele

```
int x = 10;
auto y = x; // int
auto z = 3; // int
std::vector<double> v(5);
auto i = v[3]; // double
```

Etwas besser...

```
#include <iostream>
#include <vector>

int main(){
  std::vector<int> v(10,0); // Vector of length 10

  for (int i = 0; i < v.length(); ++i)
    std::cin >> v[i];

  for (auto it = x.begin(); it != x.end(); ++it){
    std::cout << *it << " ";
  }
}
```

Nützliche Tools (2): Bereichsbasiertes `for` (C++11)

```
for (range-declaration : range-expression)
    statement;
```

range-declaration: benannte Variable vom Elementtyp der durch range-expression spezifizierten Folge.

range-expression: Ausdruck, der eine Folge von Elementen repräsentiert via Iterator-Paar `begin()`, `end()` oder in Form einer Initialisierungsliste.

Nützliche Tools (2): Bereichsbasiertes `for` (C++11)

```
for (range-declaration : range-expression)
    statement;
```

range-declaration: benannte Variable vom Elementtyp der durch range-expression spezifizierten Folge.

range-expression: Ausdruck, der eine Folge von Elementen repräsentiert via Iterator-Paar `begin()`, `end()` oder in Form einer Initialisierungsliste.

Beispiele

Nützliche Tools (2): Bereichsbasiertes `for` (C++11)

```
for (range-declaration : range-expression)
    statement;
```

range-declaration: benannte Variable vom Elementtyp der durch range-expression spezifizierten Folge.
range-expression: Ausdruck, der eine Folge von Elementen repräsentiert via Iterator-Paar `begin()`, `end()` oder in Form einer Initialisierungsliste.

Beispiele

```
std::vector<double> v(5);
```

Nützliche Tools (2): Bereichsbasiertes `for` (C++11)

```
for (range-declaration : range-expression)
    statement;
```

range-declaration: benannte Variable vom Elementtyp der durch range-expression spezifizierten Folge.
range-expression: Ausdruck, der eine Folge von Elementen repräsentiert via Iterator-Paar `begin()`, `end()` oder in Form einer Initialisierungsliste.

Beispiele

```
std::vector<double> v(5);
for (double x: v) std::cout << x; // 00000
```

Nützliche Tools (2): Bereichsbasiertes `for` (C++11)

```
for (range-declaration : range-expression)
    statement;
```

range-declaration: benannte Variable vom Elementtyp der durch range-expression spezifizierten Folge.
range-expression: Ausdruck, der eine Folge von Elementen repräsentiert via Iterator-Paar `begin()`, `end()` oder in Form einer Initialisierungsliste.

Beispiele

```
std::vector<double> v(5);
for (double x: v) std::cout << x; // 00000
for (int x: {1,2,5}) std::cout << x; // 125
```

Nützliche Tools (2): Bereichsbasiertes `for` (C++11)

```
for (range-declaration : range-expression)
    statement;
```

range-declaration: benannte Variable vom Elementtyp der durch range-expression spezifizierten Folge.
range-expression: Ausdruck, der eine Folge von Elementen repräsentiert via Iterator-Paar `begin()`, `end()` oder in Form einer Initialisierungsliste.

Beispiele

```
std::vector<double> v(5);
for (double x: v) std::cout << x; // 00000
for (int x: {1,2,5}) std::cout << x; // 125
for (double& x: v) x=5;
```

Ok, das ist cool!

```
#include <iostream>
#include <vector>

int main(){
  std::vector<int> v(10,0); // Vector of length 10

  for (auto& x: v)
    std::cin >> x;

  for (const auto i: x)
    std::cout << i << " ";
}
```

Für unser genaues Verständis

Wir bauen selbst eine Vektorklasse, die so etwas kann!

Für unser genaues Verständis

Wir bauen selbst eine Vektorklasse, die so etwas kann!

Auf dem Weg lernen wir etwas über

Für unser genaues Verständis

Wir bauen selbst eine Vektorklasse, die so etwas kann!

Auf dem Weg lernen wir etwas über

- RAII (Resource Acquisition is Initialization) und Move-Konstruktion

Für unser genaues Verständis

Wir bauen selbst eine Vektorklasse, die so etwas kann!

Auf dem Weg lernen wir etwas über

- RAII (Resource Acquisition is Initialization) und Move-Konstruktion
- Index-Operatoren und andere Nützlichkeiten

Für unser genaues Verständis

Wir bauen selbst eine Vektorklasse, die so etwas kann!

Auf dem Weg lernen wir etwas über

- RAII (Resource Acquisition is Initialization) und Move-Konstruktion
- Index-Operatoren und andere Nützlichkeiten
- Templates

Für unser genaues Verständis

Wir bauen selbst eine Vektorklasse, die so etwas kann!

Auf dem Weg lernen wir etwas über

- RAII (Resource Acquisition is Initialization) und Move-Konstruktion
- Index-Operatoren und andere Nützlichkeiten
- Templates
- Exception Handling

Für unser genaues Verständis

Wir bauen selbst eine Vektorklasse, die so etwas kann!

Auf dem Weg lernen wir etwas über

- RAII (Resource Acquisition is Initialization) und Move-Konstruktion
- Index-Operatoren und andere Nützlichkeiten
- Templates
- Exception Handling
- Funktoren und Lambda-Ausdrücke

Eine Klasse für Vektoren

```
class vector{
  int size;
  double* elem;
public:
    // constructors
    vector(): size{0}, elem{nullptr} {};

    vector(int s):size{s}, elem{new double[s]} {}
    // destructor
    ~vector(){
        delete[] elem;
    }
    // something is missing here
}
```

Elementzugriffe

```
class vector{
    ...
    // getter. pre: 0 <= i < size;
    double get(int i) const{
        return elem[i];
    }
    // setter. pre: 0 <= i < size;
    void set(int i, double d){  // setter
        elem[i] = d;
    }
    // length property
    int length() const {
        return size;
    }
}
```

```
class vector{
public:
    vector();
    vector(int s);
    ~vector();
    double get(int i) const;
    void set(int i, double d);
    int length() const;
}
```

Was läuft schief?

```
int main(){
  vector v(32);
  for (int i = 0; i<v.length(); ++i)
    v.set(i,i);
  vector w = v;
  for (int i = 0; i<w.length(); ++i)
    w.set(i,i*i);
  return 0;
}
```

```
class vector{
public:
  vector();
  vector(int s);
  ~vector();
  double get(int i);
  void set(int i, double d);
  int length() const;
}
```

Was läuft schief?

```
int main(){
  vector v(32);
  for (int i = 0; i<v.length(); ++i)
    v.set(i,i);
  vector w = v;
  for (int i = 0; i<w.length(); ++i)
    w.set(i,i*i);
  return 0;
}
```

```
class vector{
public:
  vector();
  vector(int s);
  ~vector();
  double get(int i);
  void set(int i, double d);
  int length() const;
}
```

```
*** Error in ‘vector1’: double free or corruption
(!prev): 0x0000000000d23c20 ***
======= Backtrace: =========
/lib/x86_64-linux-gnu/libc.so.6(+0x777e5)[0x7fe5a5ac97e5]
```

Rule of Three!

```
class vector{
...
  public:
  // Copy constructor
  vector(const vector &v):
    size{v.size}, elem{new double[v.size]} {
    std::copy(v.elem, v.elem+v.size, elem);
  }
}
```

```
class vector{
public:
  vector();
  vector(int s);
  ~vector();
  vector(const vector &v);
  double get(int i);
  void set(int i, double d);
  int length() const;
}
```

Rule of Three!

```
class vector{
...
  // Assignment operator
  vector& operator=(const vector&v){
    if (v.elem == elem) return *this;
    if (elem != nullptr) delete[] elem;
    size = v.size;
    elem = new double[size];
    std::copy(v.elem, v.elem+v.size, elem);
    return *this;
  }
}
```

```
class vector{
public:
  vector();
  vector(int s);
  ~vector();
  vector(const vector &v);
  vector& operator=(const vector&v);
  double get(int i);
  void set(int i, double d);
  int length() const;
}
```

Rule of Three!

```
class vector{
...
  // Assignment operator
  vector& operator=(const vector&v){
    if (v.elem == elem) return *this;
    if (elem != nullptr) delete[] elem;
    size = v.size;
    elem = new double[size];
    std::copy(v.elem, v.elem+v.size, elem);
    return *this;
  }
}
```

```
class vector{
public:
  vector();
  vector(int s);
  ~vector();
  vector(const vector &v);
  vector& operator=(const vector&v);
  double get(int i);
  void set(int i, double d);
  int length() const;
}
```

Jetzt ist es zumindest korrekt. Aber umständlich.

Eleganter geht so:

```
class vector{
...
  // Assignment operator
  vector& operator= (const vector&v){
    vector cpy(v);
    swap(cpy);
    return *this;
  }
private:
  // helper function
  void swap(vector& v){
    std::swap(size, v.size);
    std::swap(elem, v.elem);
  }
}
```

```
class vector{
public:
  vector();
  vector(int s);
  ~vector();
  vector(const vector &v);
  vector& operator=(const vector&v);
  double get(int i);
  void set(int i, double d);
  int length() const;
}
```

Arbeit an der Fassade.

Getter und Setter unschön. Wir wollen einen Indexoperator.

Arbeit an der Fassade.

Getter und Setter unschön. Wir wollen einen Indexoperator.

Überladen!

Arbeit an der Fassade.

Getter und Setter unschön. Wir wollen einen Indexoperator.

Überladen! So?

```
class vector{
...
  double operator[] (int pos) const{
    return elem[pos];
  }

  void operator[] (int pos, double value){
    elem[pos] = double;
  }
}
```

Arbeit an der Fassade.

Getter und Setter unschön. Wir wollen einen Indexoperator.

Überladen! So?

```
class vector{
...
  double operator[] (int pos) const{
    return elem[pos];
  }

  void operator[] (int pos, double value){
    elem[pos] = double;
  }
}
```

Nein!

Referenztypen!

```
class vector{
...
  // for const objects
  double operator[] (int pos) const{
    return elem[pos];
  }
  // for non-const objects
  double& operator[] (int pos){
    return elem[pos]; // return by reference!
  }
}
```

```
class vector{
public:
  vector();
  vector(int s);
  ~vector();
  vector(const vector &v);
  vector& operator=(const vector&v);
  double operator[] (int pos) const;
  double& operator[] (int pos);
  int length() const;
}
```

Soweit, so gut.

```
int main(){
  vector v(32); // Constructor
  for (int i = 0; i<v.length(); ++i)
    v[i] = i; // Index-Operator (Referenz!)

  vector w = v; // Copy Constructor
  for (int i = 0; i<w.length(); ++i)
    w[i] = i*i;

  const auto u = w;
  for (int i = 0; i<u.length(); ++i)
    std::cout << v[i] << ":" << u[i] << " "; // 0:0 1:1 2:4 ...
  return 0;
}
```

```
class vector{
public:
  vector();
  vector(int s);
  ~vector();
  vector(const vector &v);
  vector& operator=(const vector&v);
  double operator[] (int pos) const;
  double& operator[] (int pos);
  int length() const;
}
```

Anzahl Kopien

Wie oft wird `v` kopiert?

```
vector operator+ (const vector& l, double r){
    vector result (l);
    for (int i = 0; i < l.length(); ++i) result[i] = l[i] + r;
    return result;
}

int main(){
    vector v(16);
    v = v + 1;
    return 0;
}
```

Anzahl Kopien

Wie oft wird `v` kopiert?

```
vector operator+ (const vector& l, double r){
    vector result (l);  // Kopie von l nach result
    for (int i = 0; i < l.length(); ++i) result[i] = l[i] + r;
    return result; // Dekonstruktion von result nach Zuweisung
}

int main(){
    vector v(16); // Allokation von elems[16]
    v = v + 1;   // Kopie bei Zuweisung!
    return 0;    // Dekonstruktion von v
}
```

Anzahl Kopien

Wie oft wird `v` kopiert?

```
vector operator+ (const vector& l, double r){
    vector result (l);
    for (int i = 0; i < l.length(); ++i) result[i] = l[i] + r;
    return result;
}

int main(){
    vector v(16);
    v = v + 1;
    return 0;
}
```

`v` wird zwei Mal kopiert.

Move-Konstruktor und Move-Zuweisung

```
class vector{
...
    // move constructor
    vector (vector&& v): size(0), elem{nullptr}{
        swap(v);
    };
    // move assignment
    vector& operator=(vector&& v){
        swap(v);
        return *this;
    };
}
```

```
class vector{
public:
  vector();
  vector(int s);
  ~vector();
  vector(const vector &v);
  vector& operator=(const vector&v);
  vector (vector&& v);
  vector& operator=(vector&& v);
  double operator[] (int pos) const;
  double& operator[] (int pos);
  int length() const;
}
```

Erklärung

Wenn das Quellobjekt einer Zuweisung direkt nach der Zuweisung nicht weiter existiert, dann kann der Compiler den Move-Zuweisungsoperator anstelle des Zuweisungsoperators einsetzen.[3] Damit wird eine potentiell teure Kopie vermieden.

Anzahl der Kopien im vorigen Beispiel reduziert sich zu 1.

[3] Analoges gilt für den Kopier-Konstruktor und den Move-Konstruktor.

Illustration zur Move-Semantik

```
// nonsense implementation of a "vector" for demonstration purposes
class vec{
public:
  vec () {
        std::cout << "default constructor\n";}
  vec (const vec&) {
        std::cout << "copy constructor\n";}
  vec& operator = (const vec&) {
        std::cout << "copy assignment\n"; return *this;}
  ~vec() {}
};
```

Wie viele Kopien?

```
vec operator + (const vec& a, const vec& b){
    vec tmp = a;
    // add b to tmp
    return tmp;
}

int main (){
    vec f;
    f = f + f + f + f;
}
```

Wie viele Kopien?

```
vec operator + (const vec& a, const vec& b){
    vec tmp = a;
    // add b to tmp
    return tmp;
}

int main (){
    vec f;
    f = f + f + f + f;
}
```

Ausgabe

default constructor
copy constructor
copy constructor
copy constructor
copy assignment

4 Kopien des Vektors

Illustration der Move-Semantik

```
// nonsense implementation of a "vector" for demonstration purposes
class vec{
public:
  vec () { std::cout << "default constructor\n";}
  vec (const vec&) { std::cout << "copy constructor\n";}
  vec& operator = (const vec&) {
       std::cout << "copy assignment\n"; return *this;}
  ~vec() {}
  // new: move constructor and assignment
  vec (vec&&) {
       std::cout << "move constructor\n";}
  vec& operator = (vec&&) {
       std::cout << "move assignment\n"; return *this;}
};
```

Wie viele Kopien?

```
vec operator + (const vec& a, const vec& b){
    vec tmp = a;
    // add b to tmp
    return tmp;
}

int main (){
    vec f;
    f = f + f + f + f;
}
```

Wie viele Kopien?

```
vec operator + (const vec& a, const vec& b){
    vec tmp = a;
    // add b to tmp
    return tmp;
}

int main (){
    vec f;
    f = f + f + f + f;
}
```

Ausgabe
default constructor
copy constructor
copy constructor
copy constructor
move assignment

3 Kopien des Vektors

Wie viele Kopien?

```
vec operator + (vec a, const vec& b){
    // add b to a
    return a;
}

int main (){
    vec f;
    f = f + f + f + f;
}
```

Wie viele Kopien?

```
vec operator + (vec a, const vec& b){
    // add b to a
    return a;
}

int main (){
    vec f;
    f = f + f + f + f;
}
```

Ausgabe
default constructor
copy constructor
move constructor
move constructor
move constructor
move assignment

1 Kopie des Vektors

Wie viele Kopien?

```
vec operator + (vec a, const vec& b){
    // add b to a
    return a;
}

int main (){
    vec f;
    f = f + f + f + f;
}
```

Ausgabe
default constructor
copy constructor
move constructor
move constructor
move constructor
move assignment

1 Kopie des Vektors

Erklärung: Move-Semantik kommt zum Einsatz, wenn ein x-wert (expired) zugewiesen wird. R-Wert-Rückgaben von Funktionen sind x-Werte.

`http://en.cppreference.com/w/cpp/language/value_category`

Wie viele Kopien

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

int main (){
    vec f;
    vec g;
    swap(f,g);
}
```

Wie viele Kopien

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

int main (){
    vec f;
    vec g;
    swap(f,g);
}
```

Ausgabe
default constructor
default constructor
copy constructor
copy assignment
copy assignment

3 Kopien des Vektors

X-Werte erzwingen

```
void swap(vec& a, vec& b){
    vec tmp = std::move(a);
    a=std::move(b);
    b=std::move(tmp);
}
int main (){
    vec f;
    vec g;
    swap(f,g);
}
```

X-Werte erzwingen

```
void swap(vec& a, vec& b){
    vec tmp = std::move(a);
    a=std::move(b);
    b=std::move(tmp);
}
int main (){
    vec f;
    vec g;
    swap(f,g);
}
```

Ausgabe
default constructor
default constructor
move constructor
move assignment
move assignment

0 Kopien des Vektors

X-Werte erzwingen

```
void swap(vec& a, vec& b){
    vec tmp = std::move(a);
    a=std::move(b);
    b=std::move(tmp);
}
int main (){
    vec f;
    vec g;
    swap(f,g);
}
```

Ausgabe
default constructor
default constructor
move constructor
move assignment
move assignment

0 Kopien des Vektors

Erklärung: Mit std::move kann man einen L-Wert Ausdruck zu einem X-Wert (genauer: zu einer R-Wert Referenz) machen. Dann kommt wieder Move-Semantik zum Einsatz. http://en.cppreference.com/w/cpp/utility/move

Bereichsbasiertes `for`

Wir wollten doch das:

```
vector v = ...;
for (auto x: v)
  std::cout << x << " ";
```

Bereichsbasiertes `for`

Wir wollten doch das:

```
vector v = ...;
for (auto x: v)
  std::cout << x << " ";
```

Dafür müssen wir einen Iterator über `begin` und `end` bereitstellen.

Iterator für den Vektor

```
class vector{
...
    // Iterator
    double* begin(){
        return elem;
    }
    double* end(){
        return elem+size;
    }
}
```

```
class vector{
public:
  vector();
  vector(int s);
  ~vector();
  vector(const vector &v);
  vector& operator=(const vector&v);
  vector (vector&& v);
  vector& operator=(vector&& v);
  double operator[] (int pos) const;
  double& operator[] (int pos);
  int length() const;
  double* begin();
  double* end();
}
```

Const Iterator für den Vektor

```
class vector{
...
        // Const-Iterator
    const double* begin() const{
        return elem;
    }
    const double* end() const{
        return elem+size;
    }

}
```

```
class vector{
public:
  vector();
  vector(int s);
  ~vector();
  vector(const vector &v);
  vector& operator=(const vector&v);
  vector (vector&& v);
  vector& operator=(vector&& v);
  double operator[] (int pos) const;
  double& operator[] (int pos);
  int length() const;
  double* begin();
  double* end();
  const double* begin() const;
  const double* end() const;
}
```

Zwischenstand

```
vector Natural(int from, int to){
  vector v(to-from+1);
  for (auto& x: v) x = from++;
  return v;
}

int main(){
  vector v = Natural(5,12);
  for (auto x: v)
    std::cout << x << " "; // 5 6 7 8 9 10 11 12
  std::cout << "\n";
  std::cout << "sum="
            << std::accumulate(v.begin(), v.end(),0); // sum = 68
  return 0;
}
```

Nützliche Tools (3): `using` (C++11)

`using` ersetzt in C++11 das alte `typedef`.

```
using identifier = type-id;
```

Nützliche Tools (3): `using` (C++11)

`using` ersetzt in C++11 das alte `typedef`.

```
using identifier = type-id;
```

Beispiel

```
using element_t = double;
class vector{
        std::size_t size;
        element_t* elem;
...
}
```