SWO 3x Übung zu Softwareentwicklung mit klassischen Sprachen u. Bibliotheken 3 **WS 2014/15, Übung 05**

Abgabetermin: Sa in der KW 50

☐ **Gr. 1,** DI Franz Gruber-Leitner **Name** Roman Lumetsberger **Aufwand in h** 7

☐ **Gr. 2,** Dr. Erik Pitzer

Punkte _____ **Kurzzeichen Tutor / Übungsleiter** _____ / _____

Graphen, die Zweite (14 + 6 + 4 Punkte)

a) Die von Ihnen in der Übung 3 realisierte Implementierung einer abstrakten Datenstruktur (ADS) für die Darstellung von Graphen durch eine Adjazenzmatrix soll als Ausgangspunkt für eine objektorientierte Implementierung dienen, die gewichtete Graphen repräsentieren kann.

Gute Kandidaten für die zu implementierenden Klassen sind *Vertex* (für die Knoten) und *Graph* (für die Darstellung von gewichteten gerichteten Graphen in Form der Adjazenzmatrix).

Objekte der Klasse *Vertex* sind benannte Knoten, wobei deren Namen beliebige Zeichenketten sein können.

Objekte der Klasse *Graph* verwalten alle relevanten Informationen für einen Graphen (mit einer maximalen Anzahl *max* von Knoten). Die Klasse *Graph* sollte daher mindestens folgende Funktionalität (in Form von Methoden) aufweisen:

```
void addVertex(Vertex *v); // reports an error if more than max vertices
void addEdge(const Vertex *start, const Vertex *end, double weight);
  // reports an error if vertices not previously added or weight <= 0
```

Darüber hinaus, soll noch der Ausgabeoperator überladen werden um Graphen auszugeben, sowie Methoden um entweder nur die Kanten, oder sowohl alle Knoten als auch alle Kanten zu löschen.

Fügen Sie Ihren Klassen je nach Bedarf weitere notwendige Methoden und/oder Datenkomponenten hinzu und testen Sie Ihre Implementierung ausführlich.

b) So wie es auf Bäumen verschiedene Durchlaufstrategien gibt (*in*, *pre* oder *post order*) gibt es auch auf Graphen zwei Strategien, alle Knoten in einer definierten Reihenfolge zu besuchen, die Tiefen- und die Breiten-„Suche“. Machen Sie sich dazu in der Algorithmenliteratur schlau und implementieren Sie beide Strategien in Form von Methoden:

```
void printDepthFirst(const Vertex *start) const;
void printBreadthFirst(const Vertex *start) const;
```

Fügen Sie Ihren Klassen je nach Bedarf weitere notwendige Methoden und/oder Datenkomponenten hinzu und testen Sie Ihre Implementierung ausführlich.

c) Abschließen entwickeln Sie noch eine Methode um für einen beliebigen Graphen zu prüfen, ob er Zyklen enthält. Ob es also mindestens einen Konten gibt, von dem aus es möglich ist, über eine Folge von Kanten, wieder zum Ausganspunkt zurück zu kehren:

```
bool hasCycles() const;
```

1 Aufgabe 1 - Graph - Objektorientiert

1.1 Lösungsidee

1.1.1 Klasse Vertex

Es wird eine Klasse *Vertex* benötigt, die als Datenkapsel für den Kontennamen (*string*) dient. Weiters wird der Gleichheitsoperator und der Ausgabeoperator benötigt.

1.1.2 Klasse Graph

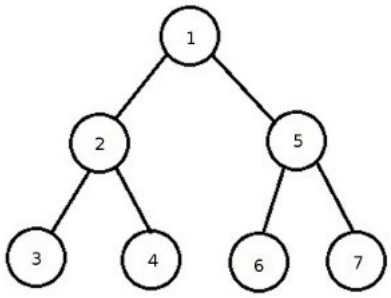
Diese Klasse enthält die Adjazenzmatrix und ein Array mit den Konten (*Vertex*) des Graphen.

- Beim Konstruktor wird die Matrix und das Array der Knoten allokiert.
- Beim Hinzufügen von Knoten wird in das Array der Konten eingefügt.
- Beim Hinzufügen von Kanten wird das Gewicht in die Matrix eingetragen.
- Beim Löschen der Kanten wird die Matrix wieder auf 0 gesetzt.
- Beim Löschen der Knoten wird die Matrix auf 0 gesetzt und alle Array-Elemente der Knoten auf *nullptr* gesetzt.
- Im Destruktor wird die Matrix und das Array wieder gelöscht.

2 Aufgabe 2 - Graph - Durchlaufstrategien

2.1 Tiefensuche

Die Tiefensuche arbeitet sich zuerst bis in die tiefste Ebene vor und besucht danach die Knoten von abzweigenden Pfaden.



2.1.1 Algorithmus

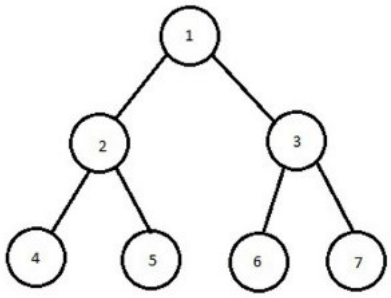
Dazu wird ein Stack benötigt, dieser wird als eigene Hilfsklasse *VertexStack* implementiert.

1. Das Startelement wird auf den Stack gelegt und als **besucht** markiert.

2. Solange der Stack nicht leer ist, wird das oberste Element des Stacks betrachtet (*peek*) und die nächste Kante gesucht.
3. - a) Wird eine Kante zu einem Knoten gefunden, der noch nicht besucht wurde, wird dieser als **besucht** markiert und auf den Stack gelegt (*push*).
   - b) Wird keine weitere Kante gefunden, wird das Element vom Stack entfernt (*pop*).

2.2 Breitensuche

Die Breitensuche besucht zuerst alle vom Startpunkt ausgehenden Knoten und arbeitet sich danach zu den tieferen Ebenen durch.



2.2.1 Algorithmus

Dazu wird eine Queue benötigt, diese wird als eigene Hilfsklasse *VertexQueue* implementiert.

1. Das Startelement wird als **besucht** markiert und alle erreichbaren Knoten in die Queue eingefügt (*enqueue*) und ebenfalls als **besucht** markiert.
2. Solange die Queue nicht leer, ist wird das nächste Element aus der Queue entfernt (*dequeue*) und die nächste Kante gesucht.
3. Wird eine Kante zu einem Knoten, der noch nicht besucht wurde, gefunden, wird dieser als **besucht** markiert und in die Queue eingefügt (*enqueue*).

3 Aufgabe 3 - Graph - Zyklen

Um Zyklen in einem Graphen zu erkennen, kann der Algorithmus der Tiefensuche verwendet werden und falls es eine Kante zu einem Knoten gibt, der sich bereits im Stack befindet, dann wurde ein Zyklus gefunden. Dieses Verfahren muss für jeden Knoten als Startknoten wiederholt werden, falls noch kein Zyklus gefunden wurde.

3.1 Sourcecode

Vertex.h

```
/*****************************************************************************
  Vertex.h
  Roman Lumetsberger

  Header for class Vertex
*****************************************************************************/
#ifndef VERTEX_H
#define VERTEX_H

#include <string>

class Vertex
{
  private:
    std::string name;
  public:
    Vertex(std::string name);
    virtual ~Vertex();

    bool operator== (const Vertex& right) const;
    friend std::ostream& operator << (std::ostream& os, const Vertex &v);
  private:
};

#endif // VERTEX_H
```

VertexList.h

```
/*****************************************************************************
  VertexList.h
  Roman Lumetsberger

  Defines the vertex list struct
  Used for VertexStack and VertexQueue
*****************************************************************************/
#ifndef VERTEX_LIST_H
#define VERTEX_LIST_H

#include "Vertex.h"

//declares the list element data structure
struct VertexList {
  const Vertex *data;
  VertexList *next;
```

```
};

#endif
```

VertexQueue.h

```
/*****************************************************************************
  VertexQueue.h
  Roman Lumetsberger

  Header for class VertexQueue
  Defines a Queue of vertices
  Only used internally
*****************************************************************************/
#ifndef VERTEXQUEUE_H
#define VERTEXQUEUE_H

#include "Vertex.h"
#include "VertexList.h"

/* minimal queue implementation */
class VertexQueue
{
  private:
    VertexList *start;
    //used for adding items at the end
    VertexList *end;
  public:
    VertexQueue();
    VertexQueue(const VertexQueue &queue);
    virtual ~VertexQueue();

    void enqueue(const Vertex* item);
    const Vertex* dequeue();

    bool isEmpty() const {return start == nullptr;}
};

#endif // VERTEXQUEUE_H
```

VertexStack.h

```
/*****************************************************************************
  VertexStack.h
  Roman Lumetsberger

  Header for class VertexStack
```

```
  Defines a Stack of vertices
  Only used internally
*****************************************************************************/
#ifndef VERTEXSTACK_H
#define VERTEXSTACK_H

#include "Vertex.h"
#include "VertexList.h"

/* minimal stack implementation */
class VertexStack
{
  private:
    VertexList *start;
  public:
    VertexStack();
    VertexStack(const VertexStack &stack);
    virtual ~VertexStack();

    void push(const Vertex *vertex);
    const Vertex *pop();
    const Vertex *peek();
    bool contains(const Vertex *vertex) const;
    bool isEmpty() const {return start == nullptr;}

};

#endif // VERTEXSTACK_H
```

Graph.h

```
/*****************************************************************************
  graph.h
  Roman Lumetsberger

  Header for class Graph
*****************************************************************************/
#ifndef GRAPH_H
#define GRAPH_H

#include <iostream>
#include "Vertex.h"

class Graph
{
  private:
    int maxVertices;
    int vertexCount;
```

```
18
19      double *matrix;
20      Vertex **vertexArray;
21
22      int getVertexId(const Vertex& v) const;
23      bool hasEdge(const Vertex& first, const Vertex& second) const;
24      double getWeight(const Vertex& first, const Vertex& second) const;
25
26    public:
27      Graph(int maxVertices);
28      Graph(const Graph& graph); //copy constructor needed because of dynamic memory
29      virtual ~Graph();
30
31      void addVertex(Vertex *v);
32      void addEdge(const Vertex *start, const Vertex *end, double weight);
33      void removeEdges();
34      void removeVertices(); //does not delete the vertices
35
36      void printDepthFirst(const Vertex *start) const;
37      void printBreadthFirst(const Vertex *start) const;
38      bool hasCycles() const;
39
40      Graph& operator= (const Graph &g); //assignment operator needed because of dynamic memory
41      friend std::ostream& operator << (std::ostream &os, const Graph &g);
42
43  };
44
45  #endif // GRAPH_H
```

Vertex.cpp

```
1  /*****************************************************************************
2    Vertex.cpp
3    Roman Lumetsberger
4
5    Implementation of the Vertex class
6  *****************************************************************************/
7  #include <string>
8  #include <iostream>
9
10 #include "Vertex.h"
11 using namespace std;
12
13 Vertex::Vertex(string name) : name(name) {}
14
15 Vertex::~Vertex() {} // nothing todo here
16
17 bool Vertex::operator== (const Vertex& right) const {
```

```
18   return name == right.name;
19 }
20
21 ostream& operator <<(ostream& os, const Vertex& v) {
22   os << v.name;
23   return os;
24 }
```

VertexQueue.cpp

```
1  /*****************************************************************************
2    VertexQueue.cpp
3    Roman Lumetsberger
4
5    Implementation of VertexQueue class
6  *****************************************************************************/
7  #include "VertexQueue.h"
8  #include "Vertex.h"
9  #include <cassert>
10
11 VertexQueue::VertexQueue() :start(nullptr), end(nullptr){}
12
13 //copy constructor
14 VertexQueue::VertexQueue(const VertexQueue &queue) :VertexQueue() {
15   if(queue.isEmpty()) return; //Nothing to do
16
17   VertexList *item = queue.start;
18   //loop through all items an enqueue them
19   while(item != nullptr) {
20     enqueue(item->data);
21     item = item->next;
22   }
23 }
24
25 VertexQueue::~VertexQueue() {
26   //remove all items
27   while(!isEmpty())
28     dequeue();
29 }
30
31
32 void VertexQueue::enqueue(const Vertex* item) {
33   VertexList *element=new VertexList();
34   element->data = item;
35   element->next = nullptr;
36
37   //first element
38   if(start == nullptr) {
39     start = element;
```

```
40    }
41    else {
42      end->next = element;
43    }
44    end = element;
45  }
46
47  const Vertex *VertexQueue::dequeue() {
48    assert(start != nullptr);
49    VertexList *listItem = start;
50    start = start->next;
51    const Vertex* item = listItem->data;
52    delete listItem;
53
54    /* if the queue is empty set end to the nullptr */
55    if(start == nullptr)
56      end = nullptr;
57
58    return item;
59  }
```

VertexStack.cpp

```
1  /*****************************************************************************
2    VertexStack.cpp
3    Roman Lumetsberger
4
5    Implementation of VertexStack class
6  *****************************************************************************/
7  #include <cassert>
8
9  #include "VertexStack.h"
10 #include "Vertex.h"
11 #include "VertexList.h"
12
13 VertexStack::VertexStack() :start(nullptr) {}
14
15 //Copy constructor
16 VertexStack::VertexStack(const VertexStack& stack):VertexStack() {
17   if(stack.isEmpty()) return; //nothing to do
18
19   start = new VertexList();
20   start->data = stack.start->data;
21   start->next = nullptr;
22
23   VertexList *currentItem = start;
24   VertexList *item = stack.start->next;
25
26   //loop through all items and copy them
```

```
27    while(item != nullptr) {
28      VertexList* newItem =new VertexList();
29      newItem->data = item->data;
30      newItem->next = nullptr;
31      currentItem->next = newItem;
32      currentItem = newItem;
33
34      item = item->next;
35    }
36  }
37
38  VertexStack::~VertexStack() {
39    // remove all items
40    while(!isEmpty())
41      pop();
42  }
43
44  void VertexStack::push(const Vertex* vertex) {
45    assert(vertex != nullptr);
46
47    VertexList *element = new VertexList();
48    element->data = vertex;
49    element->next = start;
50
51    start = element;
52  }
53
54  const Vertex* VertexStack::peek() {
55    assert(!isEmpty());
56    return start->data;
57  }
58
59
60  const Vertex *VertexStack::pop() {
61    assert(!isEmpty());
62    VertexList *firstListItem = start;
63    const Vertex *item = start->data;
64    start = start->next;
65    delete firstListItem;
66    return item;
67  }
68
69  bool VertexStack::contains(const Vertex* vertex) const {
70    VertexList *current = start;
71    while(current != nullptr) {
72      if( *(current->data) == *vertex) {
73        return true;
74      }
75      current = current->next;
```

```
76    }
77    return false;
78  }
```

Graph.cpp

```
1  /*****************************************************************************
2    Graph.cpp
3    Roman Lumetsberger
4
5    Implementation of the Graph class
6  *****************************************************************************/
7  #include <cassert>
8  #include <cstring>
9  #include <iostream>
10
11 #include "Graph.h"
12 #include "Vertex.h"
13 #include "VertexStack.h"
14 #include "VertexQueue.h"
15
16 using namespace std;
17
18 Graph::Graph(int maxVertices) :maxVertices(maxVertices), vertexCount(0) {
19   matrix = new double[maxVertices*maxVertices]();
20   vertexArray = new Vertex*[maxVertices]();
21 }
22
23 /* copy constructor needed because of dynamic memory */
24 Graph::Graph(const Graph& graph) : Graph(graph.maxVertices) {
25   //copy matrix data
26   memcpy(matrix, graph.matrix, sizeof(double) * maxVertices * maxVertices);
27   //copy vertex pointers
28   memcpy(vertexArray, graph.vertexArray, sizeof(Vertex*) * maxVertices);
29   //copy vertexCount
30   vertexCount = graph.vertexCount;
31 }
32
33 Graph::~Graph() {
34   delete[] matrix;
35   delete[] vertexArray;
36 }
37
38 /* assignment operator needed because of dynamic memory */
39 Graph& Graph::operator=(const Graph &graph) {
40   if(this == &graph) return *this; //do nothing on x = x
41
42   delete[] matrix;
43   delete[] vertexArray;
```

```
44    maxVertices = graph.maxVertices;
45    matrix = new double[maxVertices*maxVertices];
46    vertexArray = new Vertex*[maxVertices];
47
48    //copy matrix data
49    memcpy(matrix, graph.matrix, sizeof(double) * maxVertices*maxVertices);
50    //copy vertex pointers
51    memcpy(vertexArray, graph.vertexArray, sizeof(Vertex*) * maxVertices);
52    vertexCount = graph.vertexCount;
53    return *this;
54  }
55
56  void Graph::addVertex(Vertex *v) {
57    assert(v != nullptr);
58    if(vertexCount == maxVertices) {
59      cerr << "max vertex count (" << maxVertices << ") already reached" << endl;
60      cerr << "vertex not added to graph" << endl;
61      return;
62    }
63    vertexArray[vertexCount] = v;
64    vertexCount++;
65
66  }
67  void Graph::addEdge(const Vertex *start, const Vertex *end, double weight) {
68    assert(start != nullptr);
69    assert(end != nullptr);
70
71    if(weight <= 0) {
72      cerr << "Weight has to be greater than 0" << endl;
73      return;
74    }
75
76    int startId = getVertexId(*start);
77    int endId = getVertexId(*end);
78
79    if(startId == -1) {
80      cerr << "Start vertex " << (*start) << " is not part of the graph" << endl;
81      return;
82    }
83
84    if(endId == -1) {
85      cerr << "End vertex " << (*end) << " is not part of the graph" << endl;
86      return;
87    }
88    matrix[(startId * maxVertices)+endId] = weight;
89  }
90
91  void Graph::removeEdges() {
92    memset(matrix, 0, sizeof(double) * maxVertices*maxVertices);
```

```
93 }
94
95 void Graph::removeVertices() {
96   removeEdges();
97   for(int i = 0; i < maxVertices; i++) {
98     vertexArray[i] = nullptr;
99   }
100  vertexCount = 0;
101 }
102
103 /* Gets the array index for the given vertex
104     Used for operating with the matrix
105 */
106 int Graph::getVertexId(const Vertex& v) const {
107   for(int i = 0; i < vertexCount; i++) {
108     if(*vertexArray[i] == v) {
109       return i;
110     }
111   }
112   return -1;
113 }
114
115 /* gets the weight out of the matrix
116    no check for vertices here because the method is only used internally
117 */
118 double Graph::getWeight(const Vertex& first, const Vertex& second) const {
119   return matrix[(getVertexId(first) * maxVertices) + getVertexId(second)];
120 }
121
122 bool Graph::hasEdge(const Vertex& first, const Vertex& second) const {
123   return getWeight(first, second) > 0;
124 }
125
126 ostream &operator<<(ostream& os, const Graph& g) {
127   for(int i = 0; i < g.vertexCount; i++) {
128     Vertex source = *g.vertexArray[i];
129     os << source <<  " ==> ";
130     for(int j = 0; j < g.vertexCount; j++) {
131       Vertex dest = *g.vertexArray[j];
132       if(g.hasEdge(source, dest)) {
133         os << dest << "(" << g.getWeight(source, dest) << "),";
134       }
135     }
136     os << endl;
137   }
138   return os;
139 }
140
141 /* Helper function used for depth and breath search */
```

```
142 void visit(Vertex* vertex) {
143   cout << " ==> " << (*vertex);
144 }
145
146 void Graph::printDepthFirst(const Vertex* start) const {
147   assert(start != nullptr);
148
149   bool *visitedArray = new bool[vertexCount]();
150   VertexStack stack;
151
152   stack.push(start);
153   cout << (*start);
154   int id = getVertexId(*start);
155   visitedArray[id] = true;
156
157   bool edgeFound;
158   while(!stack.isEmpty()) {
159     const Vertex *item = stack.peek();
160     edgeFound = false;
161     for(int i = 0; i < vertexCount; i++) {
162       if(hasEdge(*item, *vertexArray[i]) && !visitedArray[i]) {
163         stack.push(vertexArray[i]);
164         visit(vertexArray[i]);
165         visitedArray[i] = true;
166         edgeFound = true;
167         break;
168       }
169     }
170     if (!edgeFound)
171       stack.pop();
172   }
173   cout << endl;
174   delete[] visitedArray;
175 }
176
177 void Graph::printBreadthFirst(const Vertex* start) const {
178   assert(start != nullptr);
179   bool *visitedArray = new bool[vertexCount]();
180   VertexQueue queue;
181
182   cout << (*start);
183   int id = getVertexId(*start);
184   visitedArray[id] = true;
185
186   for(int i = 0; i < vertexCount; i++) {
187     if(hasEdge(*start, *vertexArray[i])) {
188       queue.enqueue(vertexArray[i]);
189       visit(vertexArray[i]);
190       visitedArray[i] = true;
```

```
191     }
192   }
193
194   while(!queue.isEmpty()) {
195     const Vertex *item = queue.dequeue();
196
197     for(int i = 0; i < vertexCount; i++) {
198       if(hasEdge(*item, *vertexArray[i]) && !visitedArray[i]) {
199         queue.enqueue(vertexArray[i]);
200         visit(vertexArray[i]);
201         visitedArray[i] = true;
202       }
203     }
204   }
205   cout << endl;
206   delete[] visitedArray;
207 }
208
209 bool Graph::hasCycles() const {
210   bool cycleFound = false;
211
212   for(int i = 0; i < vertexCount; i++)
213   {
214     bool *visitedArray = new bool[vertexCount]();
215     VertexStack stack;
216     stack.push(vertexArray[i]);
217     visitedArray[i] = true;
218
219     bool edgeFound;
220     while(!stack.isEmpty()) {
221       const Vertex *item = stack.peek();
222       edgeFound = false;
223       for(int i = 0; i < vertexCount; i++) {
224         if(hasEdge(*item, *vertexArray[i])) {
225           if(!visitedArray[i]) {
226             stack.push(vertexArray[i]);
227             visitedArray[i] = true;
228             edgeFound = true;
229             break;
230           }
231           else if(stack.contains(vertexArray[i])) {
232             cycleFound = true;
233           }
234         }
235       }
236       if (!edgeFound)
237         stack.pop();
238     }
239     delete[] visitedArray;
```

```
240
241     //if we found a cycle we can stop the loop here
242     if(cycleFound)
243       break;
244   }
245   return cycleFound;
246 }
```

main.cpp

```
1  /*****************************************************************************
2    main.cpp
3    Roman Lumetsberger
4
5    Test program for Graph class
6  *****************************************************************************/
7  #include <iostream>
8  #include "Vertex.h"
9  #include "Graph.h"
10 #include "VertexStack.h"
11 #include "VertexQueue.h"
12
13 using namespace std;
14
15 int main(int argc, char *argv[])
16 {
17     if(argc != 2) {
18       cerr << "Wrong parameter count" << endl;
19       cerr << "Usage: " << argv[0] << " testcase";
20       return 0;
21     }
22
23
24     int testcase = atoi(argv[1]);
25     Graph emptyGraph(5);
26     Graph defaultGraph(6);
27
28     Vertex va("A");
29     Vertex vb("B");
30     Vertex vc("C");
31     Vertex vd("D");
32     Vertex ve("E");
33
34     Vertex vf("F");
35     Vertex vg("G");
36     defaultGraph.addVertex(&va);
37     defaultGraph.addVertex(&vb);
38     defaultGraph.addVertex(&vc);
39     defaultGraph.addVertex(&vd);
```

```
40      defaultGraph.addVertex(&ve);
41
42      switch(testcase) {
43        case 0:
44          cout << "Empty graph:" << endl;
45          cout << emptyGraph;
46          break;
47
48        case 1:
49          cout << "Graph without edges:" << endl;
50          cout << defaultGraph;
51          break;
52
53        case 2:
54          cout << "Vertex limit reached:" << endl;
55          defaultGraph.addVertex(&vf);
56          defaultGraph.addVertex(&vg);
57          break;
58
59        case 3:
60          cout << "Graph with edges:" << endl;
61          defaultGraph.addEdge(&va, &vb, 1);
62          defaultGraph.addEdge(&vb, &vb, 2);
63          defaultGraph.addEdge(&vc, &vd, 3);
64          defaultGraph.addEdge(&vb, &ve, 4);
65          defaultGraph.addEdge(&ve, &vd, 5);
66          cout << defaultGraph;
67
68          break;
69
70        case 4:
71          cout << "Invalid vertex/weight:" << endl;
72          defaultGraph.addEdge(&vf, &vb, 1);
73          defaultGraph.addEdge(&vb, &vf, 1);
74          defaultGraph.addEdge(&va, &vb, 0);
75          defaultGraph.addEdge(&va, &vb, -324);
76          break;
77
78        case 5:
79          cout << "Remove edges:" << endl;
80          defaultGraph.addEdge(&va, &vb, 1);
81          defaultGraph.removeEdges();
82          cout << defaultGraph;
83          break;
84
85        case 6:
86          cout << "Remove vertices/copy constructor:" << endl;
87          defaultGraph.addEdge(&va, &vb, 1);
88          //Use new block here for testing copy constructor
```

```
89          {
90            Graph savedGraph = defaultGraph;
91            defaultGraph.removeVertices();
92            cout << "cleared graph:" <<endl;
93            cout << defaultGraph << endl;
94
95            savedGraph.addVertex(&vf);
96            cout << "saved graph:" <<endl;
97            cout << savedGraph;
98          }
99          break;
100
101       case 7:
102         cout << "Depth first search:" << endl;
103         defaultGraph.addVertex(&vf);
104         defaultGraph.addEdge(&va, &vb, 1);
105         defaultGraph.addEdge(&va, &vc, 2);
106         defaultGraph.addEdge(&vb, &vd, 3);
107         defaultGraph.addEdge(&vc, &ve, 4);
108         defaultGraph.addEdge(&va, &vf, 5);
109         cout << defaultGraph << endl;
110         cout << "Depth first search start = " << va << endl;
111         defaultGraph.printDepthFirst(&va);
112
113         cout << "Depth first search start = " << vc << endl;
114         defaultGraph.printDepthFirst(&vc);
115         break;
116
117       case 8:
118         cout << "Breadth first search:" << endl;
119         defaultGraph.addVertex(&vf);
120         defaultGraph.addEdge(&va, &vb, 1);
121         defaultGraph.addEdge(&va, &vc, 2);
122         defaultGraph.addEdge(&vb, &vd, 3);
123         defaultGraph.addEdge(&vc, &ve, 4);
124         defaultGraph.addEdge(&va, &vf, 5);
125         cout << defaultGraph << endl;;
126         cout << "Breadth first search start = " << va << endl;
127         defaultGraph.printBreadthFirst(&va);
128
129         cout << "Breadth first search start = " << vc << endl;
130         defaultGraph.printBreadthFirst(&vc);
131         break;
132
133       case 9:
134         cout << "HasCycles:" << endl;
135         defaultGraph.addEdge(&va, &vb, 1);
136         defaultGraph.addEdge(&vb, &vc, 2);
137         defaultGraph.addEdge(&vc, &va, 3);
```

```
138         cout << defaultGraph << endl;;
139         cout << "hasCycles = " << boolalpha << defaultGraph.hasCycles() << endl;
140         break;
141
142       case 10:
143         cout << "HasCycles II:" << endl;
144         defaultGraph.addEdge(&vc, &vd, 3);
145         defaultGraph.addEdge(&vd, &va, 3);
146         defaultGraph.addEdge(&vd, &vb, 3);
147         defaultGraph.addEdge(&vb, &ve, 3);
148         defaultGraph.addEdge(&ve, &vb, 3);
149         cout << defaultGraph << endl;;
150         cout << "hasCycles = " << boolalpha << defaultGraph.hasCycles() << endl;
151         break;
152
153       case 11:
154         cout << "No cycles:" << endl;
155         defaultGraph.addEdge(&va, &vb, 1);
156         defaultGraph.addEdge(&vb, &vc, 2);
157         defaultGraph.addEdge(&vc, &vd, 3);
158         cout << defaultGraph << endl;;
159         cout << "hasCycles = " << boolalpha << defaultGraph.hasCycles() << endl;
160         break;
161
162       case 12:
163         cout << "assigment operator" << endl;
164         defaultGraph.addEdge(&va, &vb, 1);
165         defaultGraph.addEdge(&vb, &vc, 2);
166         //new block to define the variable here
167         {
168           Graph newGraph(0);
169           newGraph = defaultGraph;
170           newGraph = newGraph; //self assignement
171           defaultGraph.removeVertices(); //remove vertices from original graph
172
173           newGraph.addVertex(&vf); //add F to the new graph
174           cout << "assigned graph: " << endl;
175           cout << newGraph;
176         }
177         break;
178
179       case 13:
180         cout << "Memory:" << endl;
181         defaultGraph.addEdge(&va, &vb, 1);
182         defaultGraph.addEdge(&vb, &vc, 2);
183         defaultGraph.addEdge(&vc, &vd, 3);
184         cout << defaultGraph << endl;;
185         cout << "hasCycles = " << boolalpha << defaultGraph.hasCycles() << endl;
186         defaultGraph.printBreadthFirst(&va);
```

```
187         defaultGraph.printBreadthFirst(&vc);
188         defaultGraph.removeEdges();
189         defaultGraph.removeVertices();
190         break;
191
192       default:
193         cerr << "invalid testcase";
194         break;
195
196     }
197
198
199   return 0;
200 }
```

3.2 Testfälle

3.2.1 Testfall 1 - Leerer Graph

```
romanlum@ubuntu: ~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug$ ./graph 0
Empty graph:
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug$
```

3.2.2 Testfall 2 - Graph ohne Kanten

```
romanlum@ubuntu: ~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug$ ./graph 1
Graph without edges:
A ==>
B ==>
C ==>
D ==>
E ==>
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug$
```

3.2.3 Testfall 3 - Max Knotenanzahl überschritten

```
romanlum@ubuntu: ~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug$ ./graph 2
Vertex limit reached:
max vertex count (6) already reached
vertex not added to graph
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug$
```

3.2.4 Testfall 4 - Graph mit Kanten

```
romanlum@ubuntu: ~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug$ ./graph 3
Graph with edges:
A ==> B(1),
B ==> B(2),E(4),
C ==> D(3),
D ==>
E ==> D(5),
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug$
```

3.2.5 Testfall 5 - Ungültiger Knoten / Gewicht

```
romanlum@ubuntu: ~/swo3/UebungModdle5/Beispiel/bin/Debug
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/Beispiel/bin/Debug$ ./graph 4
Invalid vertex/weight:
Start vertex F is not part of the graph
End vertex F is not part of the graph
Weight has to be greater than 0
Weight has to be greater than 0
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/Beispiel/bin/Debug$
```

3.2.6 Testfall 6 - Kanten löschen

```
romanlum@ubuntu: ~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug$ ./graph 5
Remove edges:
A ==>
B ==>
C ==>
D ==>
E ==>
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug$
```

3.2.7 Testfall 7 - Knoten löschen / Kopierkonstruktor

```
romanlum@ubuntu: ~/swo3/UebungModdle5/Beispiel/bin/Debug
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/Beispiel/bin/Debug$ ./graph 6
Remove vertices/copy constructor:
cleared graph:

saved graph:
A ==> B(1),
B ==>
C ==>
D ==>
E ==>
F ==>
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/Beispiel/bin/Debug$
```

3.2.8 Testfall 8 - Tiefensuche

```
romanlum@ubuntu: ~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug$ ./graph 7
Depth first search:
A ==> B(1),C(2),F(5),
B ==> D(3),
C ==> E(4),
D ==>
E ==>
F ==>

Depth first search start = A
A ==> B ==> D ==> C ==> E ==> F
Depth first search start = C
C ==> E
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug$
```

3.2.9 Testfall 9 - Breitensuche

```
romanlum@ubuntu: ~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug$ ./graph 8
Breadth first search:
A ==> B(1),C(2),F(5),
B ==> D(3),
C ==> E(4),
D ==>
E ==>
F ==>

Breadth first search start = A
A ==> B ==> C ==> F ==> D ==> E
Breadth first search start = C
C ==> E
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug$
```

3.2.10 Testfall 10 - Zyklen

```
romanlum@ubuntu: ~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug$ ./graph 9
HasCycles:
A ==> B(1),
B ==> C(2),
C ==> A(3),
D ==>
E ==>

hasCycles = true
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug$
```

3.2.11 Testfall 11 - Zyklen II

```
romanlum@ubuntu: ~/swo3/UebungModdle5/Beispiel/bin/Debug
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/Beispiel/bin/Debug$ ./graph 10
HasCycles II:
A ==>
B ==> E(3),
C ==> D(3),
D ==> A(3),B(3),
E ==> B(3),

hasCycles = true
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/Beispiel/bin/Debug$
```

3.2.12 Testfall 12 - Keine Zyklen

```
romanlum@ubuntu: ~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug$ ./graph 11
HasCycles:
A ==> B(1),
B ==> C(2),
C ==> D(3),
D ==>
E ==>

hasCycles = false
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/bin/Debug$
```

3.2.13 Testfall 13 - Zuweisungsoperator

```
romanlum@ubuntu: ~/swo3/UebungModdle5/Beispiel/bin/Debug
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/Beispiel/bin/Debug$ ./graph 12
assigment operator
assigned graph:
A ==> B(1),
B ==> C(2),
C ==>
D ==>
E ==>
F ==>
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/Beispiel/bin/Debug$
```

3.2.14 Testfall 14 - Speichertest

```
romanlum@ubuntu: ~/swo3/UebungModdle5/Beispiel/bin/Debug
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/Beispiel/bin/Debug$ valgrind ./graph 13
==6627== Memcheck, a memory error detector
==6627== Copyright (C) 2002-2013, and GNU GPL'd, by Julian Seward et al.
==6627== Using Valgrind-3.10.0.SVN and LibVEX; rerun with -h for copyright info
==6627== Command: ./graph 13
==6627==
Memory:
A ==> B(1),
B ==> C(2),
C ==> D(3),
D ==>
E ==>

hasCycles = false
A ==> B ==> C ==> D
C ==> D
==6627==
==6627== HEAP SUMMARY:
==6627==     in use at exit: 0 bytes in 0 blocks
==6627==   total heap usage: 33 allocs, 33 frees, 785 bytes allocated
==6627==
==6627== All heap blocks were freed -- no leaks are possible
==6627==
==6627== For counts of detected and suppressed errors, rerun with: -v
==6627== ERROR SUMMARY: 0 errors from 0 contexts (suppressed: 0 from 0)
romanlum@ubuntu:~/swo3/UebungModdle5/Beispiel/bin/Debug$
```