23. Graphen in Java

1

Prof. Dr. rer. nat. Uwe Aßmann
Institut für Software- und Multimediatechnik
Lehrstuhl Softwaretechnologie
Fakultät für Informatik
Technische Universität Dresden
Version 13-1.1, 13.05.13

1) Entwurfsmuster Fabrikmethode
2) Das Graph Framework JGraphT

Obligatorische Literatur

2

- JDK Tutorial für J2SE oder J2EE, www.java.sun.com
- Dokumentation der Jgrapht library http://www.jgrapht.org/
  - Javadoc http://www.jgrapht.org/javadoc
  - http://sourceforge.net/apps/mediawiki/jgrapht/index.php?title=jgrapht:Docs

Nicht-obligatorische Literatur

3

- [HB01] Roberto E. Lopez-Herrejon and Don S. Batory. A standard problem for evaluating product-line methodologies. In Jan Bosch, editor, GCSE, volume 2186 of Lecture Notes in Computer Science, pages 10-23. Springer, 2001.
  - Facetten von Graphen und wie man sie systematisch, noch besser in einem Framework anordnet
  - Siehe Vorlesung “Design Patterns and Frameworks”

Ziele

4

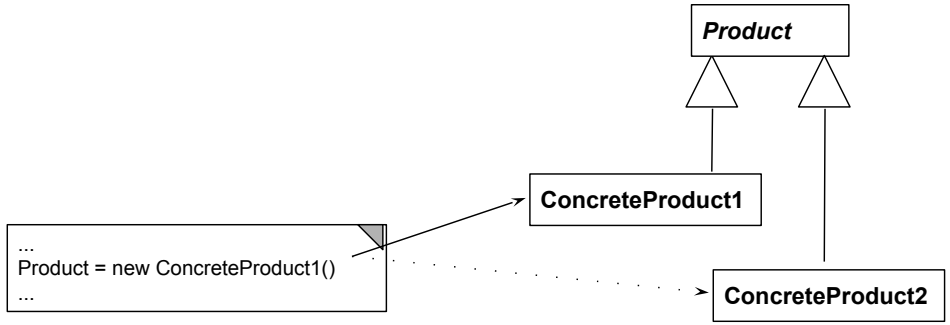
- Eine Graphen-Bibliothek kennenlernen
- Graphen als spezielle Kollaborationen kennenlernen
- Fabriken, Iteratoren und Streams in der Anwendung bei Graphen
- Generische Graphalgorithmen kennenlernen
  - Generatoren
  - Graphanalysen

23.1 Implementierungsmuster Fabrikmethode (FactoryMethod)

zur polymorphen Variation von Komponenten (Produkten)
und zum Verbergen von Produkt-Arten

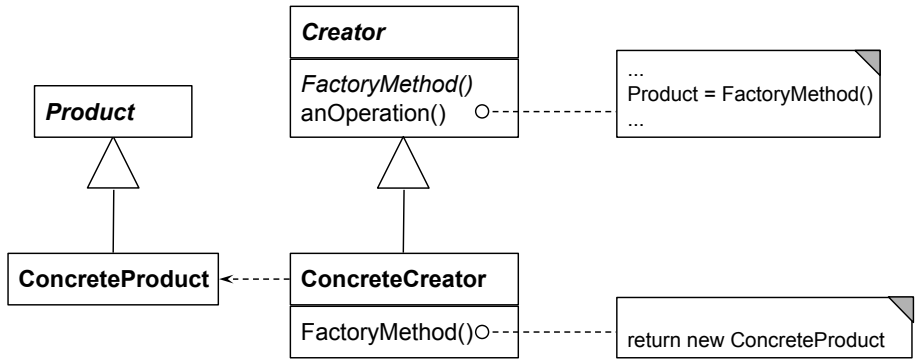
Problem der Fabrikmethode

- Wie variiert man die Erzeugung für eine polymorphe Hierarchie von Produkten?
- Problem: Konstruktoren sind nicht polymorph!



Struktur Fabrikmethode

- FactoryMethod ist eine Variante von TemplateMethod, zur Produkterzeugung [Gamma95]



Fabrikmethode (Factory Method)

- Allokatoren in einer abstrakten Oberklasse nennt man *Fabrikmethoden (polymorphe Konstruktoren)*
  - Konkrete Unterklassen spezialisieren den Allokator

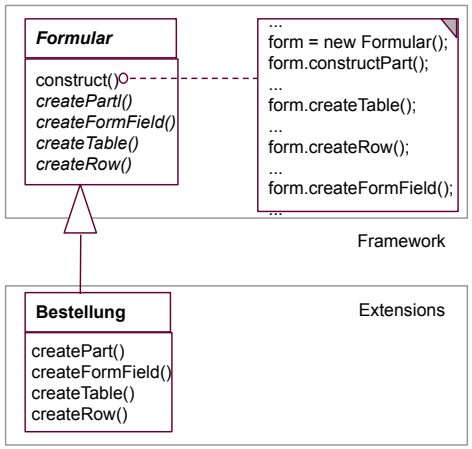
```
// Abstract creator class
public abstract class Creator  {
   // factory method
   public abstract Set createSet(int n);
}
```

```
public class Client {
... Creator cr = [.. subclass ]..
  public void collect() {
    Set mySet = cr.createSet(10);
    ....
  }
}
```

```
// Concrete creator class
public class ConcreteCreator
    extends Creator {
  public Set createSet(int n) {
     return new ListBasedSet(n);
  }
 ...
}
```

Beispiel FactoryMethod für Formulare

- Framework (Rahmenwerk) für Formulare
  - Klasse Formular hat eine Schablonenmethode zur Planung der Struktur von Formularen
  - Abstrakte Methoden: createPart, createFormField, createTable, createRow
- Benutzer können Art des Formulars verfeinern
- Wie kann das Rahmenwerk neue Arten von Formularen behandeln?



Lösung mit FactoryMethod

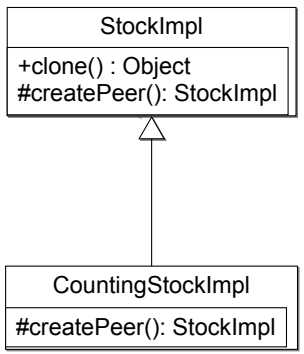
- Bilde createFormular() als Fabrikmethode aus

```
// abstract creator class
public abstract class Formular  {
   public abstract
       Formular createFormular();
   ...
}
```

```
// concrete creator class
public class Bestellung extends Formular {
   Bestellung() {
       ...
   }
   public Formular createFormular() {
      ... fill in more info ...
      return new Bestellung();
  }
   ...
}
```

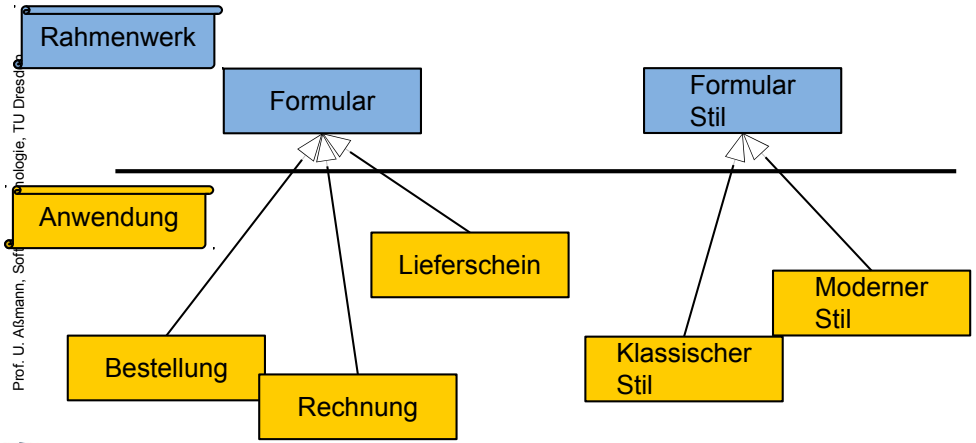

Factory Method im SalesPoint-Rahmenwerk

- Anwender von SalesPoint verfeinern die StockImpl-Klasse, die ein Produkt des Warenhauses im Lager repräsentiert
  - z.B. mit einem CountingStockImpl, der weiß, wieviele Produkte noch da sind



Einsatz in Komponentenarchitekturen

- In Rahmenwerk-Architekturen wird die Fabrikmethode eingesetzt, um von oberen Schichten (Anwendungsschichten) aus die Rahmenwerkschicht zu konfigurieren:

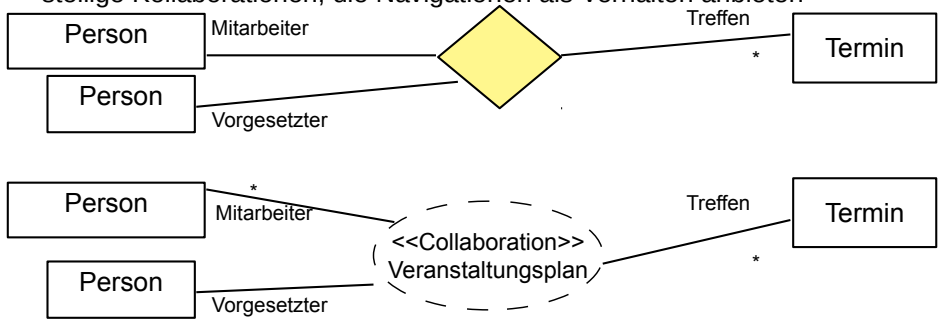


23.2 Das JGraphT Framework

Fabriken überall

Graphen als spezielle Kollaborationen

- UML bietet das Sprachkonstrukt “Assoziation”. Eine nicht-fixe **Assoziation** oder **Relation** besteht aus einer dynamisch wachsenden Tabelle mit einer Menge von Tupeln
  - Ein **Graph** verknüpft zwei Mengen von Objekten (Knotenmengen) mit einer Assoziation und bietet Navigationsverhalten an
  - Ein **Hypergraph** verknüpft mehrere Knotenmengen mit einer n-stelligen Relation
- Graphen bilden spezielle binäre Kollaborationen; Hypergraphen spezielle n-stellige Kollaborationen, die Navigationen als Verhalten anbieten



Ziele einer Graph-Bibliothek

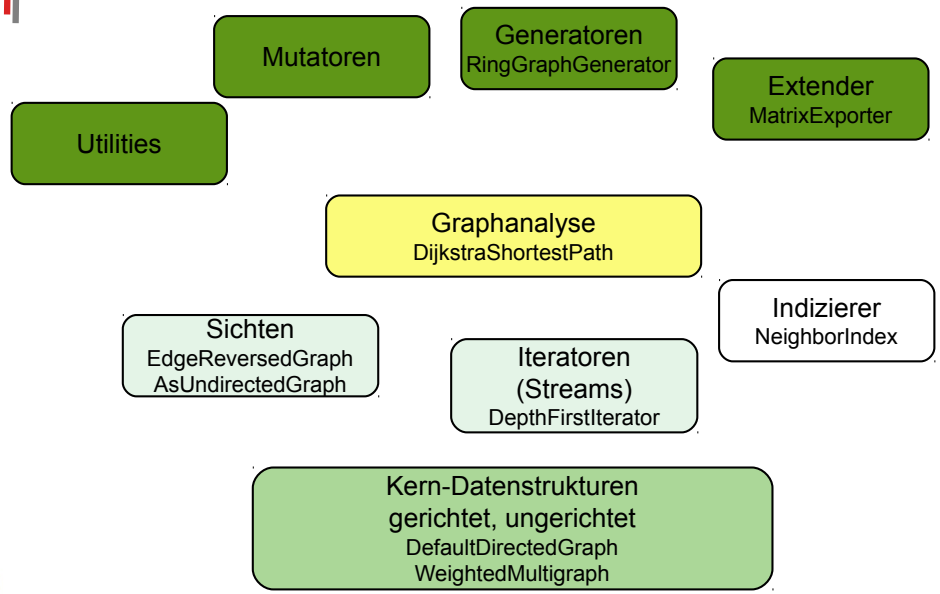
- Java bietet keine Sprachkonstrukte für Assoziationen und Graphen; Graphen müssen durch ein Framework dargestellt werden
- Es gibt sehr viele Varianten von Graphen; ähnlich zu Collections haben sie viele Facetten
  - [JGraphT] stellt eine Bibliothek mit einer einfachen Abstraktion von Graphen dar
  - Fabrikmethoden, Generics und Iteratoren werden genutz
- Unterscheidung von speziellen Formen von Graphen
  - Gerichtete azyklische Graphen (directed acyclic graphs, DAG)
  - Multi-Graphen (mit mehreren gleichen Kanten zwischen 2 Knoten)
  - Typisierte Graphen (mit Typen und Attributen)
  - Konstante Graphen, nicht-modifizierbar
  - Kantenobjekte mit Attributen, z.B. gewichtete Graphen
  - Beobachtbare Graphen (mit Observer-Entwurfsmuster)
- Sichten auf Graphen
  - Inverse Graphen
  - Untergraphen
  - Teilgraphen
- Für Graphen auf Objekten, XML Objekten, URLs, Strings, Graphen …
- Generische Algorithmen auf Graphen
  - Navigation: Pfadsuche, Iteration, Navigation, Abstände
  - Andere: Netzwerkflüsse...

Klassifikationsfacetten von Graphen

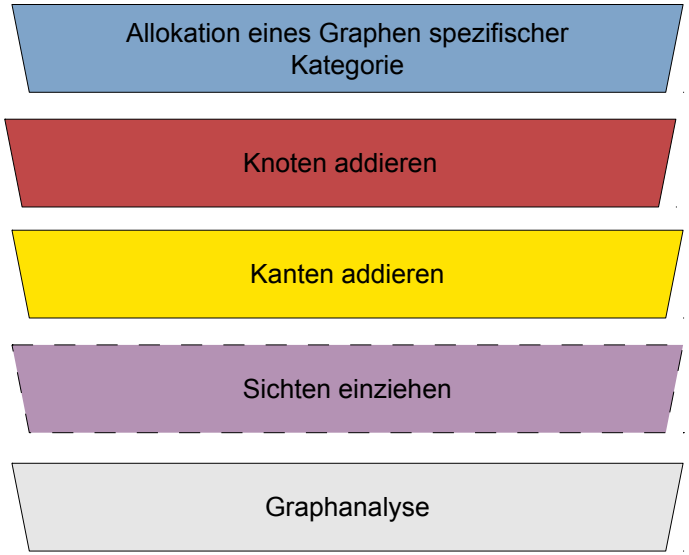
Multiple Edges	Direction	Cyclicity	Weight
Multiple Edges Unique Edges	Directed Bidirectional	Cyclic Cycle graph (hamiltonian) Acyclic	

Kategorien von Graphalgorithmen in JGraphT

- mit Beispielen



Graphen dienen dem Aufbau von Objektnetzen



<<interface>> DirectedGraph<V,E>

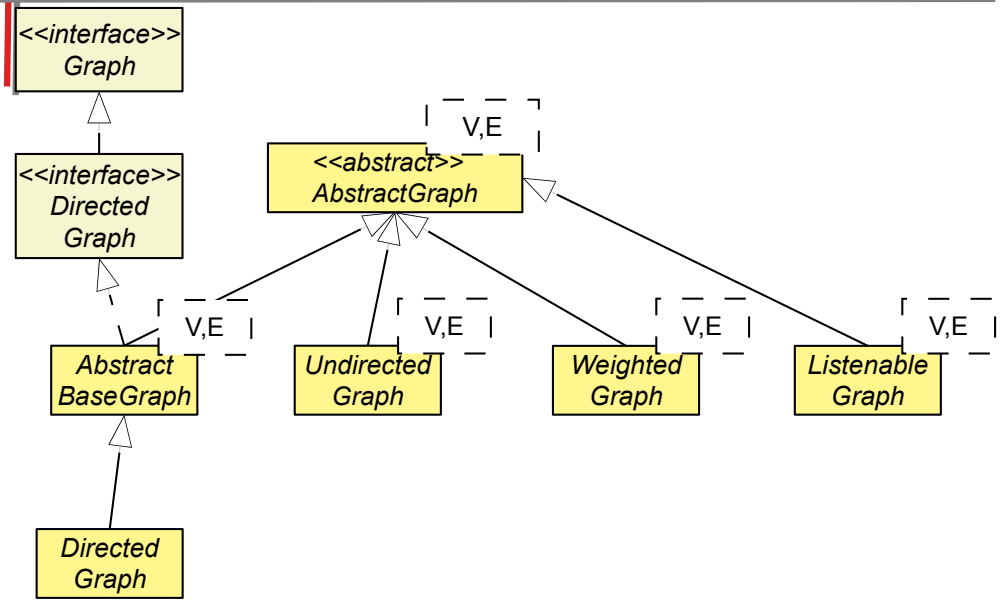
```
// Query-Methoden
 java.util.Set<E>   edgeSet()
 java.util.Set<V>   vertexSet()
 java.util.Set<E>   edgesOf(V vertex)
          // Returns a set of all edges touching the specified vertex.
 java.util.Set<E>   getAllEdges(V sourceVertex, V targetVertex)
 E         getEdge(V sourceVertex, V targetVertex)
   // Returns an edge connecting source vertex to target vertex if such vertices
   // and such edge exist in this graph.
 EdgeFactory<V,E>   getEdgeFactory()
 V         getEdgeSource(E e)
 V         getEdgeTarget(E e)
 double    getEdgeWeight(E e)
// Check-Methoden
 boolean   containsEdge(E e)
 boolean   containsEdge(V sourceVertex, V targetVertex)
 boolean   containsVertex(V v)
// Modifikatoren
 E         addEdge(V sourceVertex, V targetVertex)
 boolean   addVertex(V v)
 boolean   removeAllEdges(java.util.Collection<? extends E> edges)
          // Removes all the edges in this graph that are also contained in the
          // specified edge collection.
 java.util.Set<E>   removeAllEdges(V sourceVertex, V targetVertex)
 boolean   removeAllVertices(java.util.Collection<? extends V> vertices)
          // Removes all the vertices in this graph that are also contained in the
          // specified vertex collection.
 boolean   removeEdge(E e)
 E         removeEdge(V sourceVertex, V targetVertex)
         // Removes an edge going from source vertex to target vertex, if such vertices
         // and such edge exist in this graph.
 boolean   removeVertex(V v)
```


DirectedGraph.java in JGraphT

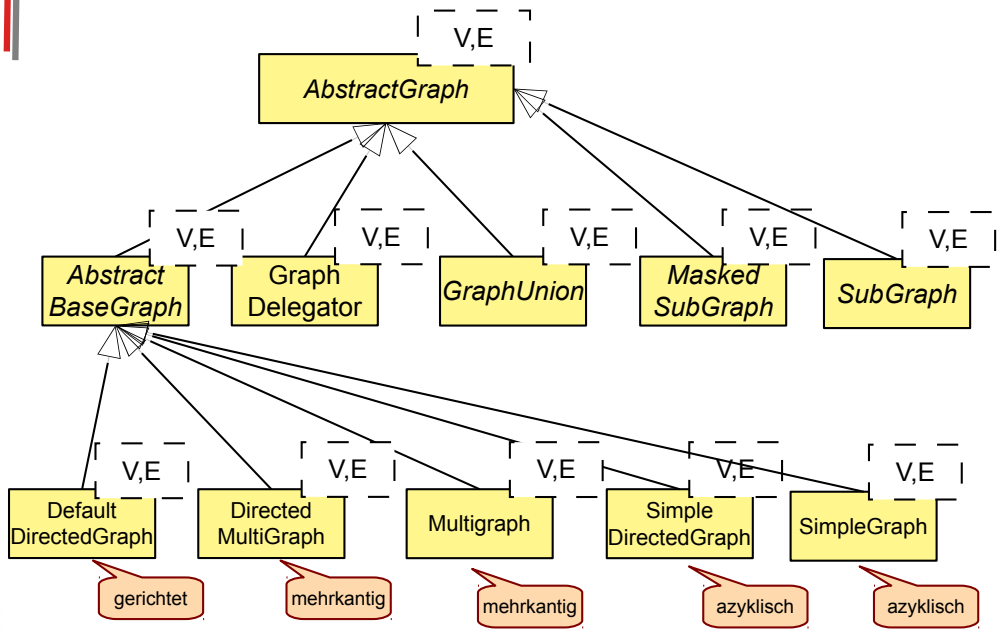
DirectedGraph<V,E>

```
// Constructors (doesnt use a factory)
DefaultDirectedGraph(java.lang.Class<? extends E> edgeClass)
        //  Creates a new directed graph.
DefaultDirectedGraph(EdgeFactory<V,E> ef)
        //  Creates a new directed graph with the specified edge factory.
// Query methods
java.util.Set<E>   incomingEdgesOf(V vertex)
        //  Returns a set of all edges incoming into the specified vertex.
 int      inDegreeOf(V vertex)
        //  Returns the "in degree" of the specified vertex.
 int      outDegreeOf(V vertex)
        //  Returns the "out degree" of the specified vertex.
 java.util.Set<E>  outgoingEdgesOf(V vertex)
        //  Returns a set of all edges outgoing from the specified vertex.
```

Die Klassenhierarchie Graph

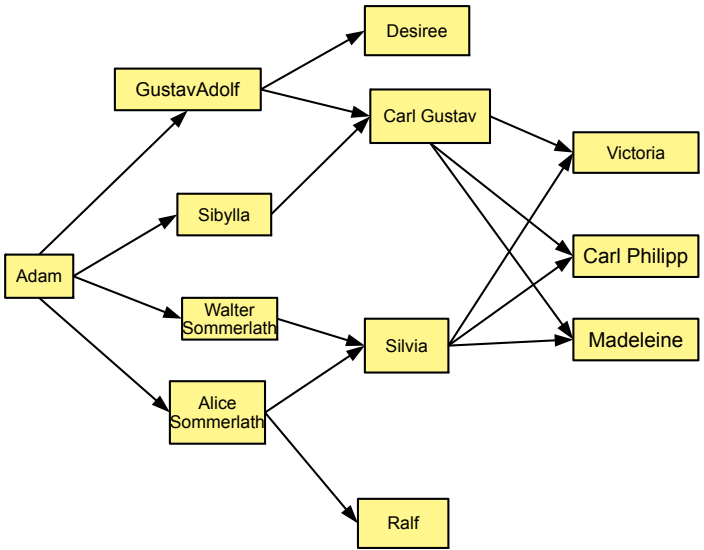


Die Implementierungshierarchie Graph



Beispiel: Verwandtschaftsbeziehungen

- Familienbeziehungen sind immer azyklisch
- Die schwedische Königsfamilie:



Aufbau gerichteter Graphen


```
// SwedishKingFamilyDemo.java
//
// constructs a directed graph with
// the specified vertices and edges
DirectedGraph<String, DefaultEdge> parentOf =
  new DefaultDirectedGraph<String, DefaultEdge>
     (DefaultEdge.class);
String adam = "Adam";
String victoria = "Victoria";
String madeleine = "Madeleine";
parentOf.addVertex(adam);
parentOf.addVertex("Eve");
parentOf.addVertex("Sibylla");
parentOf.addVertex("Gustav Adolf");
parentOf.addVertex("Alice Sommerlath");
parentOf.addVertex("Walter Sommerlath");
parentOf.addVertex("Sylvia");
parentOf.addVertex("Ralf");
parentOf.addVertex("Carl Gustav");
parentOf.addVertex("Desiree");
parentOf.addVertex(victoria);
parentOf.addVertex("Carl Philipp");
parentOf.addVertex(madeleine);
```

```
// add edges
parentOf.addEdge("Adam", "Gustav Adolf");
parentOf.addEdge("Adam", "Sibylla");
parentOf.addEdge("Adam", "Walter Sommerlath");
parentOf.addEdge("Adam", "Alice Sommerlath");
parentOf.addEdge("Walter Sommerlath","Sylvia");
parentOf.addEdge("Alice Sommerlath","Sylvia");
parentOf.addEdge("Walter Sommerlath","Ralf");
parentOf.addEdge("Alice Sommerlath","Ralf");
parentOf.addEdge("Gustav Adolf", "Carl Gustav");
parentOf.addEdge("Sibylla", "Carl Gustav");
parentOf.addEdge("Gustav Adolf", "Desiree");
parentOf.addEdge("Sibylla", "Desiree");
parentOf.addEdge("Carl Gustav", "Victoria");
parentOf.addEdge("Carl Gustav", "Carl Philipp");
parentOf.addEdge("Carl Gustav", "Madeleine");
parentOf.addEdge("Sylvia", "Victoria");
parentOf.addEdge("Sylvia", "Carl Philipp");
parentOf.addEdge("Sylvia", "Madeleine");
/* 1 */ // parentOf.addEdge(victoria,adam);
```

Konsistenzprüfung und Navigation

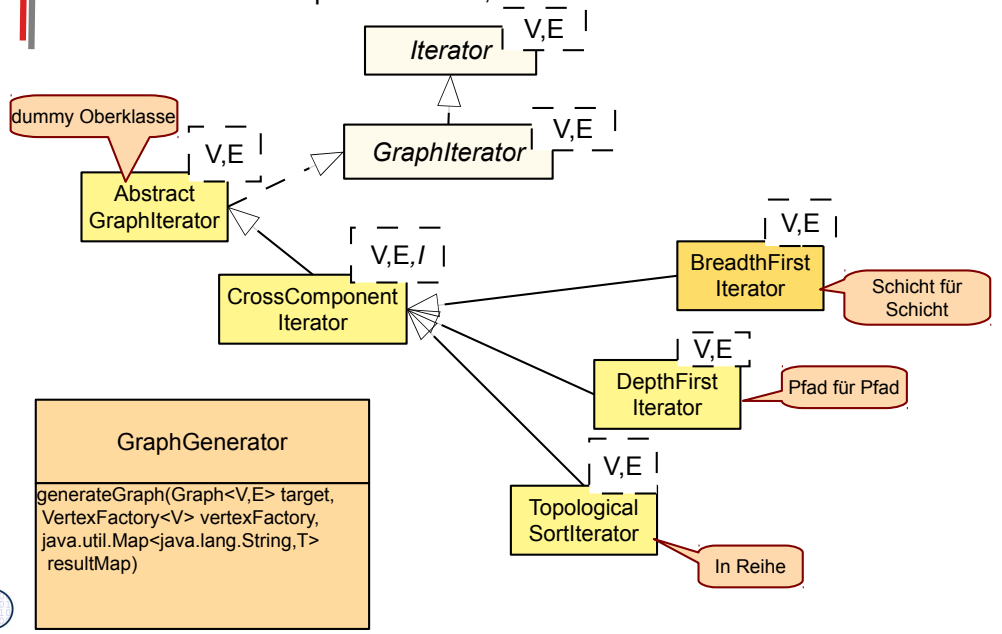
- Die meisten generischen Algorithmen von jgrapht sind Funktionalobjekte (Entwurfsmuster Command)
- `CycleDetector` findet Zyklen im Graphen, jenseits von Selbstkanten

```
// (a) cycle detection in graph parentOf
CycleDetector<String, DefaultEdge> cycleDetector =
    new CycleDetector<String, DefaultEdge>(parentOf);
Set<String> cycleVertices = cycleDetector.findCycles();
System.out.println("Cycle: "+cycleVertices.toString());
```

```
// (b) breadth-first iteration in graph parentOf

System.out.println("breadth first enumeration: ");
BreadthFirstIterator<String,DefaultEdge> bfi = new BreadthFirstIterator(parentOf);
for (String node = bfi.next(); bfi.hasNext(); node = bfi.next()) {
    System.out.println("node: "+node);
}
```

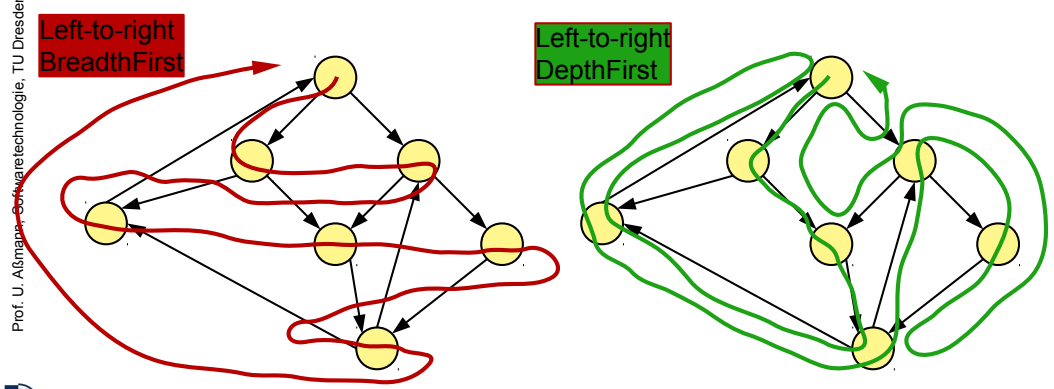

Iteratoren laufen Graphen ab

- Man kann den Graphen ablaufen, ohne seine Struktur zu kennen



Arten von Durchläufen mit Iteratoren

- `BreadthFirstIterator` läuft über den Graphen in Breitensuche, sozusagen “Schicht für Schicht”
- `DepthFirstIterator` läuft über den Graphen in Tiefensuche, sozusagen “Pfad für Pfad”

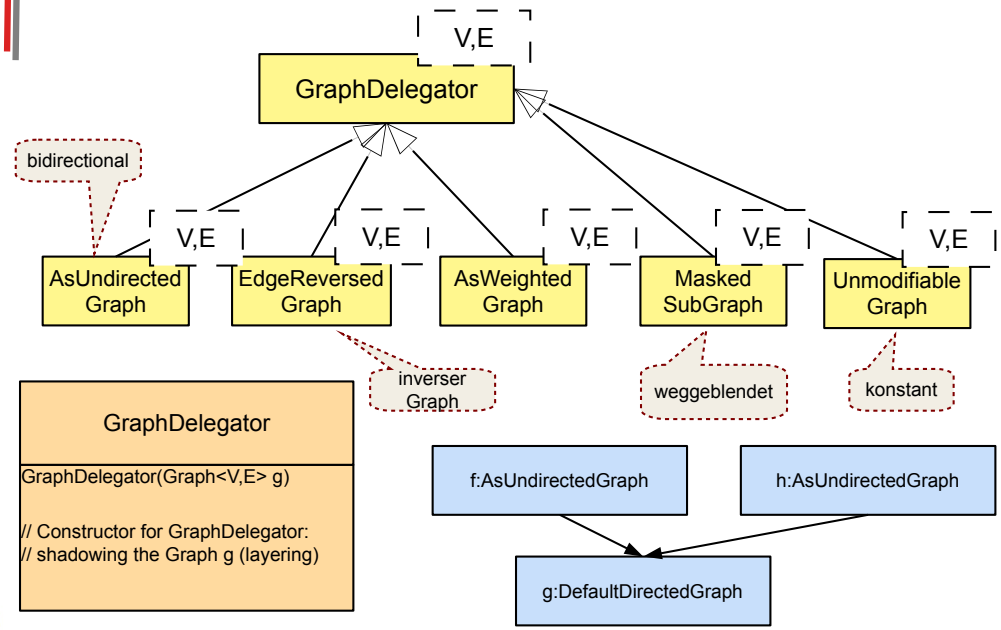


Finden kürzester Pfade

- Dijkstra's algorithmus findet zwischen 2 Knoten den kürzesten Pfad

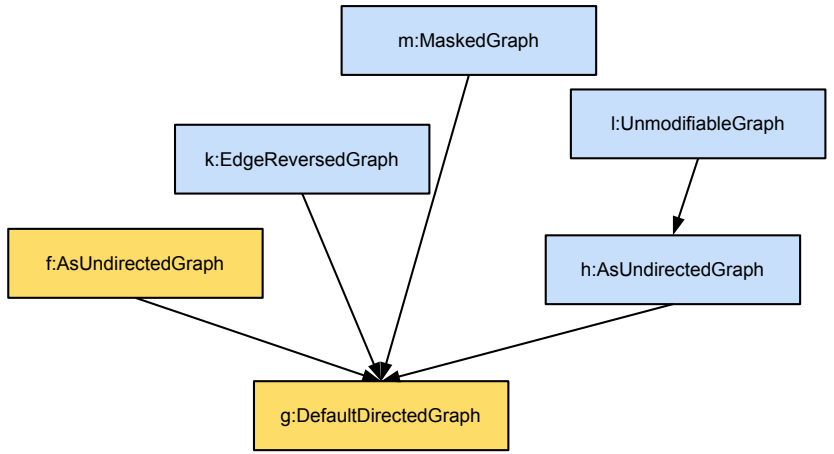
```
// (c) Shortest path with Dijkstra's method
DijkstraShortestPath<String,DefaultEdge> descendantPath
    = new DijkstraShortestPath(parentOf,adam,victoria);
System.out.println("shortest path between Adam and Victoria ("
    +descendantPath.getPathLength()+"):");
GraphPath<String,DefaultEdge> path = descendantPath.getPath();
// Hint: Graphs is an algorithm class (helper class)
List<String> nodeList = Graphs.getPathVertexList(path);
for (String node : nodeList) {
    System.out.println("node: "+node);
}
```

Delegatoren erzeugen Sichten



Schichtung von Graphen (Layering of Graphs)

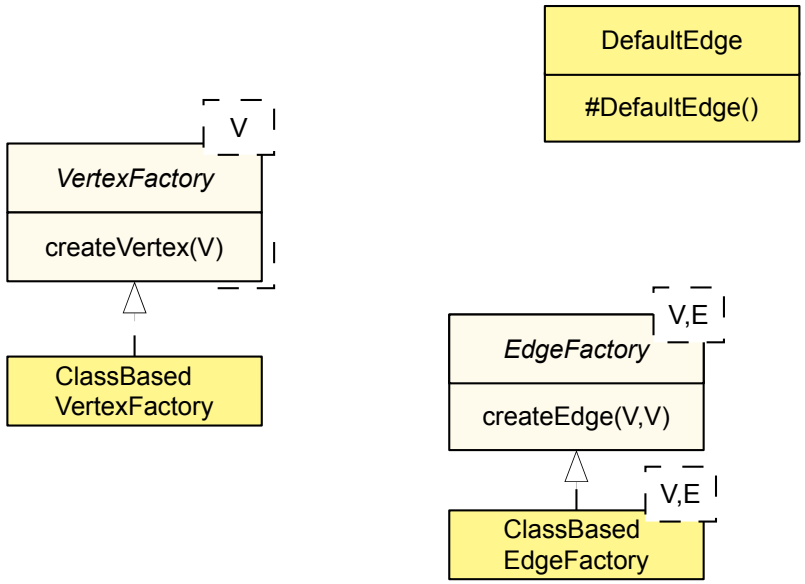
- Was sieht ein Aufrufer (client) eines spezifischen Graphs?



Finden kürzester Pfade im ungerichteten Graphen (Sicht)

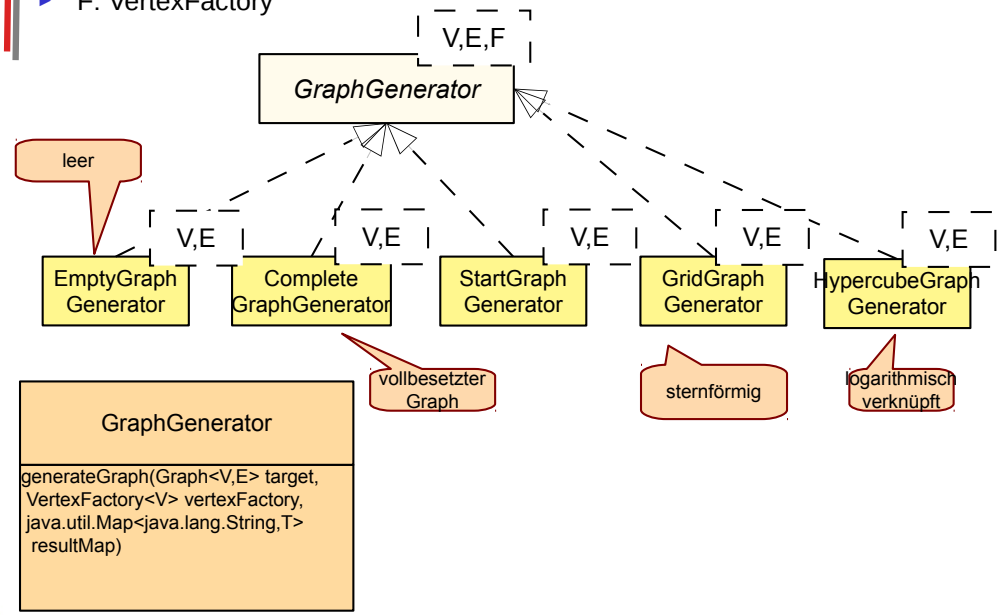

```
// Now interpret the directed graph as undirected
AsUndirectedGraph<String,DefaultEdge> descendantOrAscendant = new AsUndirectedGraph(parentOf);
System.out.println("related graph: "+descendantOrAscendant.toString());

// (d) Shortest path with Dijkstra's method in the undirected graph
DijkstraShortestPath<String,DefaultEdge> ancestorPath
    = new DijkstraShortestPath(descendantOrAscendant,madeleine,adam);
System.out.println("shortest path between Madeleine and Adam ("+ancestorPath.getPathLength()+"):");
path = ancestorPath.getPath();
nodeList = Graphs.getPathVertexList(path);
for (String node : nodeList) {
    System.out.println("node: "+node);
}
```


Fabriken für Knoten und Kanten



Generatoren erzeugen verschiedene Arten von Graphen

- F: VertexFactory



Analyseklassen

- `BellmanFordShortestPath` findet kürzeste Wege in gewichteten Graphen
  - Berühmter Algorithmus zum Berechnen von Wegen in Netzen
  - www.bahn.de
  - Logistik, Handlungsreisende, etc.
  - Optimierung von Problemen mit Gewichten
- `StrongConnectivityInspector` liefert “Zusammenhangsbereiche”, starke Zusammenhangskomponenten, des Graphen
  - In einem Zusammenhangsbereich sind alle Knoten gegenseitig erreichbar
- u.v.m.

Was haben wir gelernt?

- UML Assoziationen können mit JGraphT direkt realisiert werden
  - Es gibt viele Varianten von Graphen
  - Fabrikmethoden für verschiedene Implementierungen von Knoten, Kanten, Graphen
- Sichten auf Graphen möglich
- Analyen durch Funktionalobjekte
- Analysen sind weitreichend nutzbar (s. Vorlesung Softwaretechnologie-II)