

23. Graphen in Java

Prof. Dr. rer. nat. Uwe Aßmann

Institut für Software- und
Multimediatechnik

Lehrstuhl Softwaretechnologie

Fakultät für Informatik

Technische Universität Dresden

Version 17-0.3, 15.05.17

1) Implementierungsmuster Fabrikmethode

2) Implementierungsmuster Kommando

3) Das Graph-Framework JGraphT

1) Aufbau

2) Checker

3) Iteratoren

4) Delegatoren für Sichten

5) Analysatoren: Kürzeste Pfade

6) Generatoren



DRESDEN
concept
Exzellenz aus
Wissenschaft
und Kultur

- ▶ 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>
- ▶ Dokumentation der Library für verteilte Graphen GELLY (Teil von Apache Flink)
 - http://ci.apache.org/projects/flink/flink-docs-master/gelly_guide.html

“Leisure” (W. H. Davies, Songs Of Joy and Others, 1911)

WHAT IS THIS LIFE IF, FULL OF CARE,
WE HAVE NO TIME TO STAND AND STARE.

NO TIME TO STAND BENEATH THE BOUGHS
AND STARE AS LONG AS SHEEP OR COWS.
NO TIME TO SEE, WHEN WOODS WE PASS,
WHERE SQUIRRELS HIDE THEIR NUTS IN
GRASS.

NO TIME TO SEE, IN BROAD DAYLIGHT,
STREAMS FULL OF STARS, LIKE SKIES AT
NIGHT.

NO TIME TO TURN AT BEAUTY'S GLANCE,
AND WATCH HER FEET, HOW THEY CAN
DANCE.

NO TIME TO WAIT TILL HER MOUTH CAN
ENRICH THAT SMILE HER EYES BEGAN.

A POOR LIFE THIS IF, FULL OF CARE,
WE HAVE NO TIME TO STAND AND STARE.

- ▶ [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 dieses Kapitels

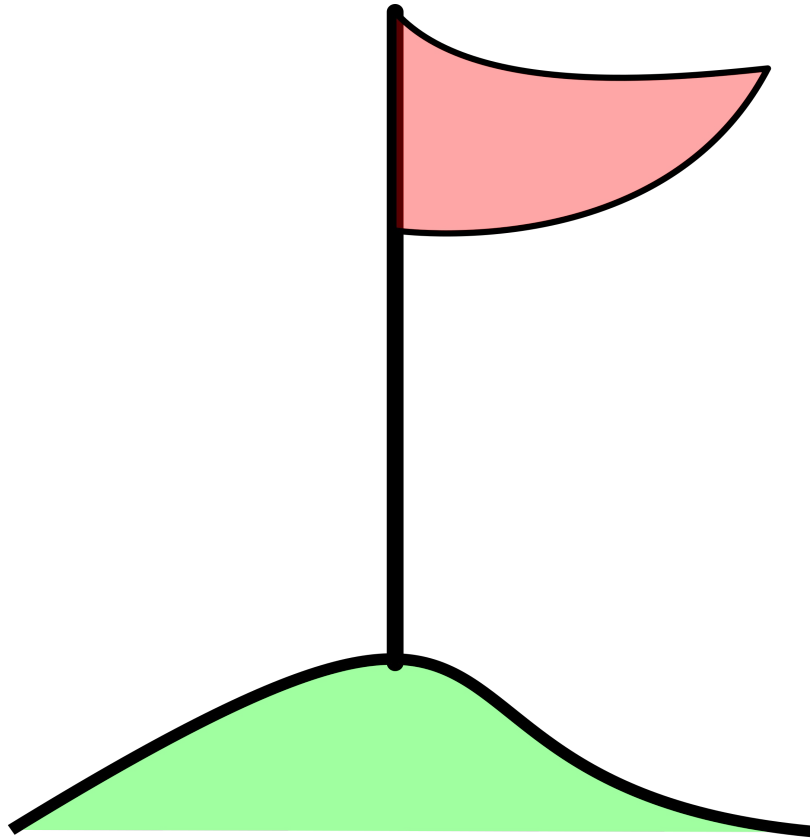
- ▶ Eine komplexe Java-Bibliothek aus dritter Hand, eine Graphen-Bibliothek, kennenlernen
- ▶ Graphen als spezielle Kollaborationen verstehen
- ▶ Fabrikmethoden, Iteratoren und Streams kennenlernen in der Anwendung bei Graphen
- ▶ Generische Graphalgorithmen kennenlernen
 - Delegatoren
 - Generatoren
 - Graphanalysen

Das Ziel des Studiums (II)

One Moment in Time

6

Softwaretechnologie (ST)



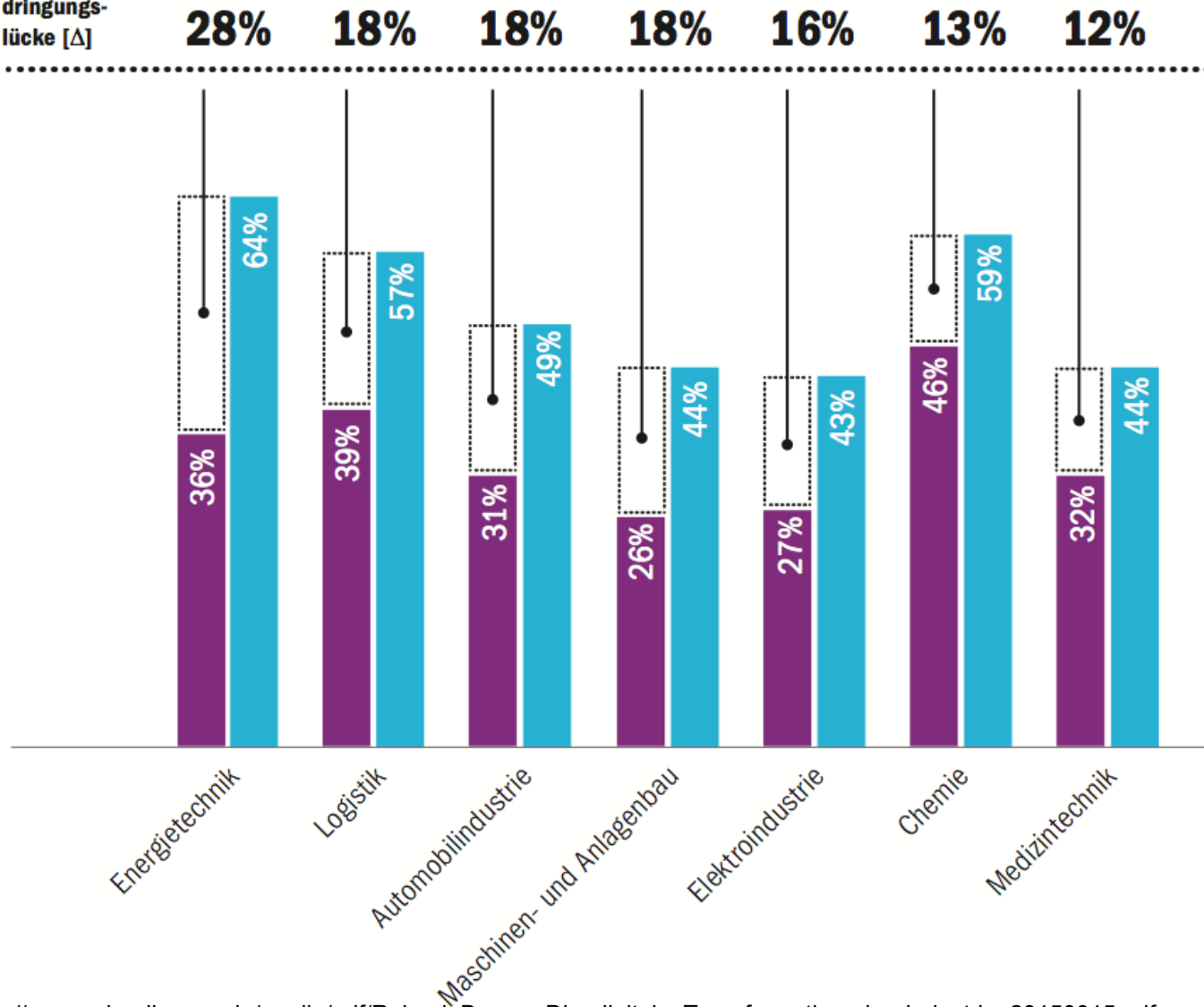
Einschätzung der eigenen digitalen Reife

■ "Sehr hoch" oder "hoch"

Chancen der Branche aus der Digitalisierung

■ "Sehr groß" oder "groß"

Durch-
dringungs-
lücke [Δ]



http://www.rolandberger.de/media/pdf/Roland_Berger_Die_digitale_Transformation_der_Industrie_20150315.pdf

1) Luft- und Raumfahrttechnik aufgrund nicht repräsentativer Zahl von Antworten von Industrievergleichern ausgeschlossen
Quelle: Roland Berger, Umfrage unter 300 Top-Managern der deutschen Wirtschaft

23.1 Implementierungsmuster

Fabrikmethode (FactoryMethod)

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



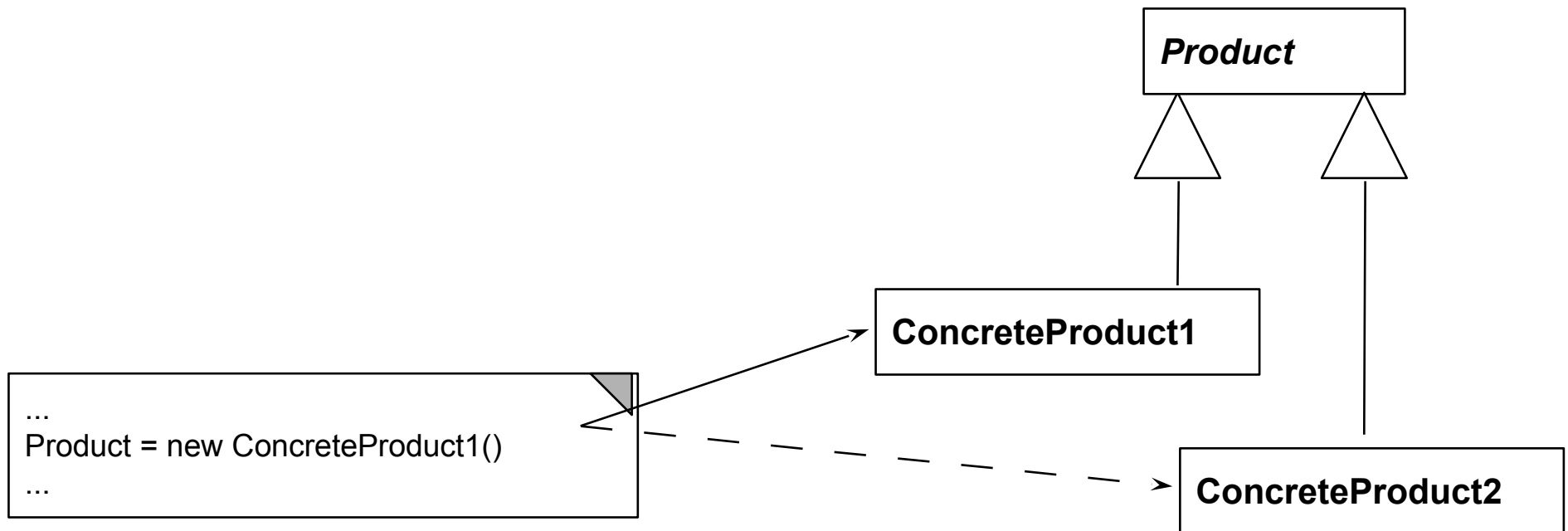
**DRESDEN
concept**
Exzellenz aus
Wissenschaft
und Kultur

Problem der Fabrikmethode

9

Softwaretechnologie (ST)

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

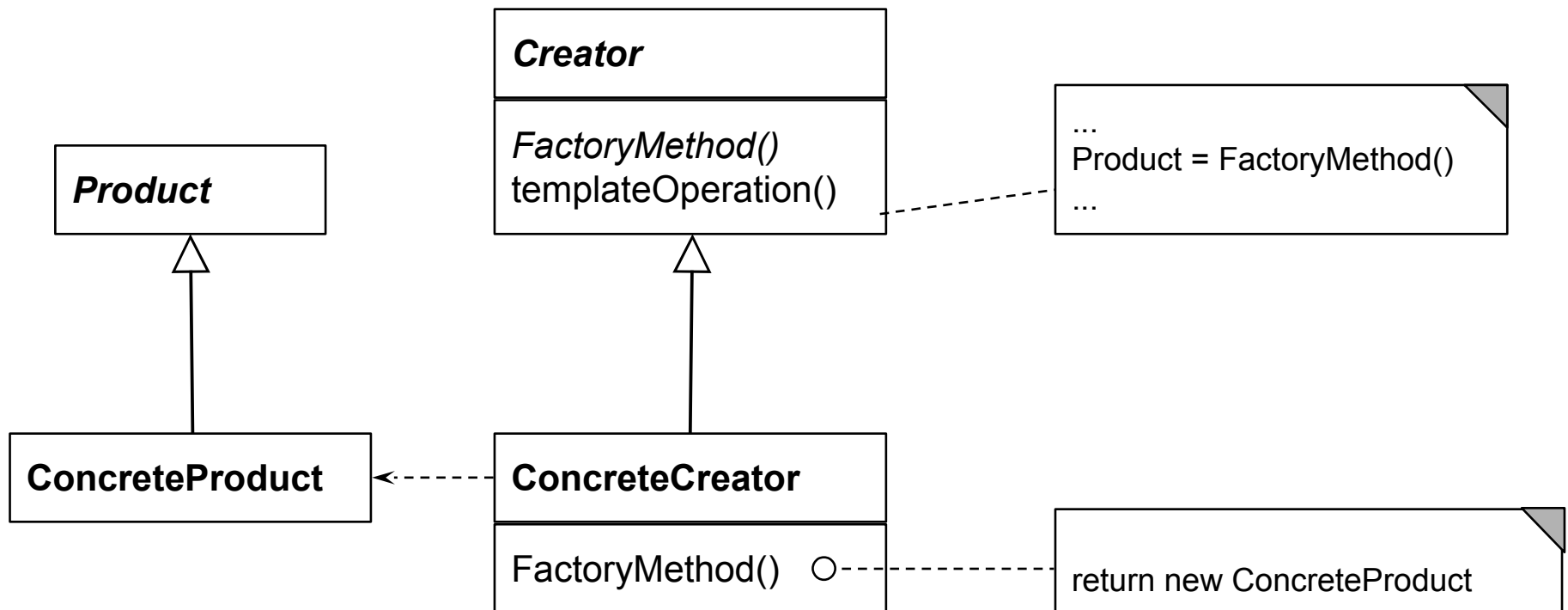


Struktur Fabrikmethode

10

Softwaretechnologie (ST)

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



Fabrikmethode (Factory Method)

11

Softwaretechnologie (ST)

- ▶ Allokatoren in einer abstrakten Oberklasse nennt man *Fabrikmethoden* (polymorphe Konstruktoren)
 - Konkrete Unterklassen spezialisieren den Allokator
 - Template-Methoden rufen die Fabrikmethode auf

```
public class Client {  
    ...  
    Creator cr = new ConcreteCreator();  
    // call a big factory method  
    cr.collect();  
}
```

```
// Abstract creator class  
public abstract class Creator {  
    public void collect() {  
        Set mySet = createSet(10);  
        Set secondSet = createSet(20);  
        ....  
    }  
    // factory method  
    public abstract Set createSet(int n);  
}
```

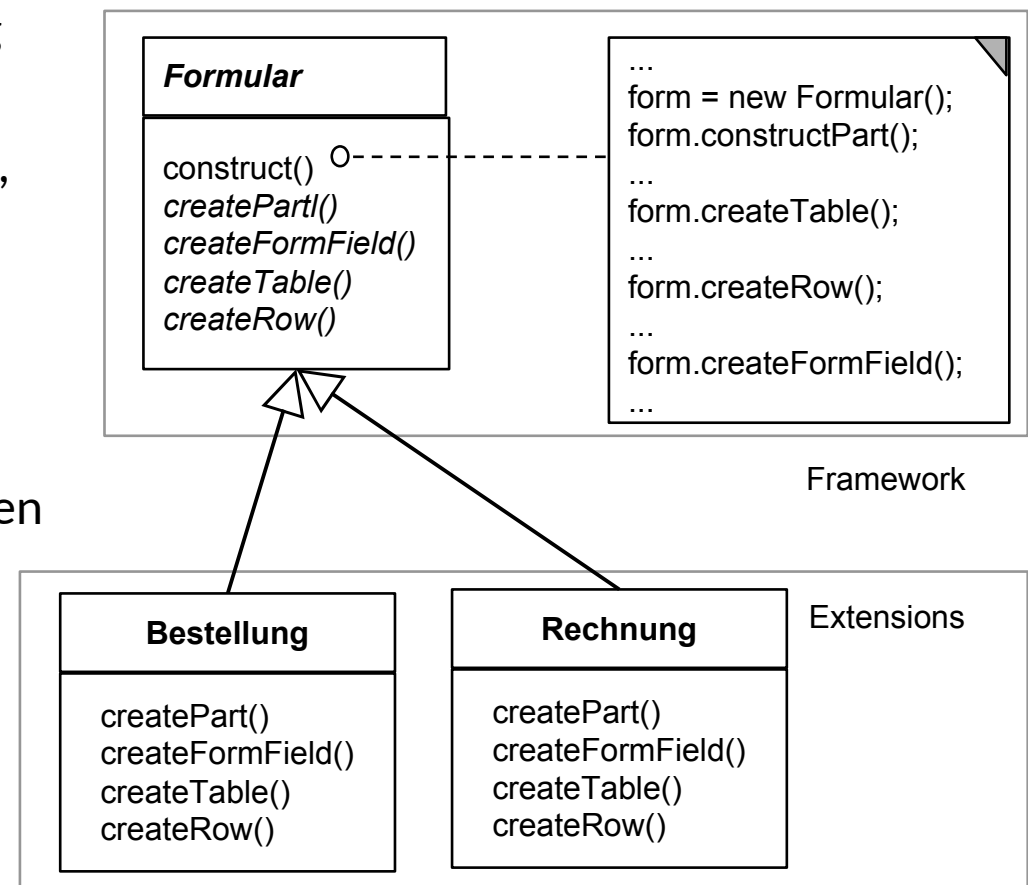
```
// Concrete creator class  
public class ConcreteCreator  
    extends Creator {  
    public Set createSet(int n) {  
        return new ListBasedSet(n);  
    }  
    ...  
}
```

Beispiel FactoryMethod für Formulare

12

Softwaretechnologie (ST)

- ▶ 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

13

Softwaretechnologie (ST)

- Bilde createFormular() als Fabrikmethode aus

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

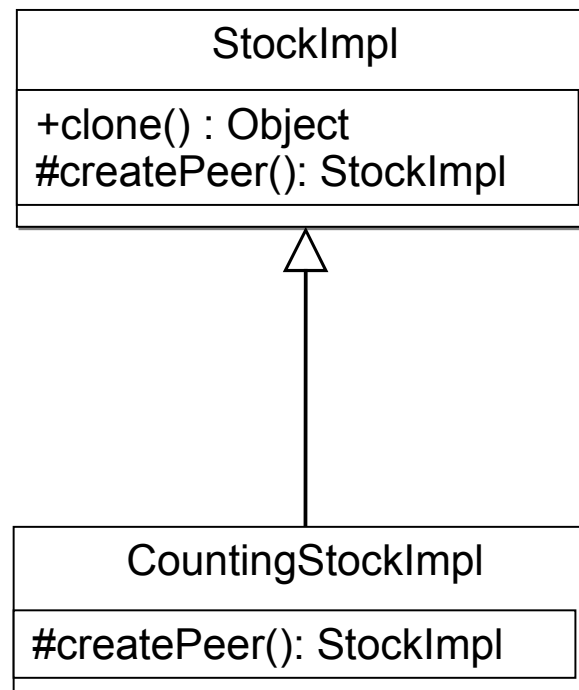
```
// concrete creator class
public class Bestellung extends Formular {
    Bestellung() {
        ...
    }
    public Formular createFormular() {
        ... fill in more info ...
        return new Bestellung();
    }
    ...
}
```

Factory Method im SalesPoint-Rahmenwerk

14

Softwaretechnologie (ST)

- ▶ 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

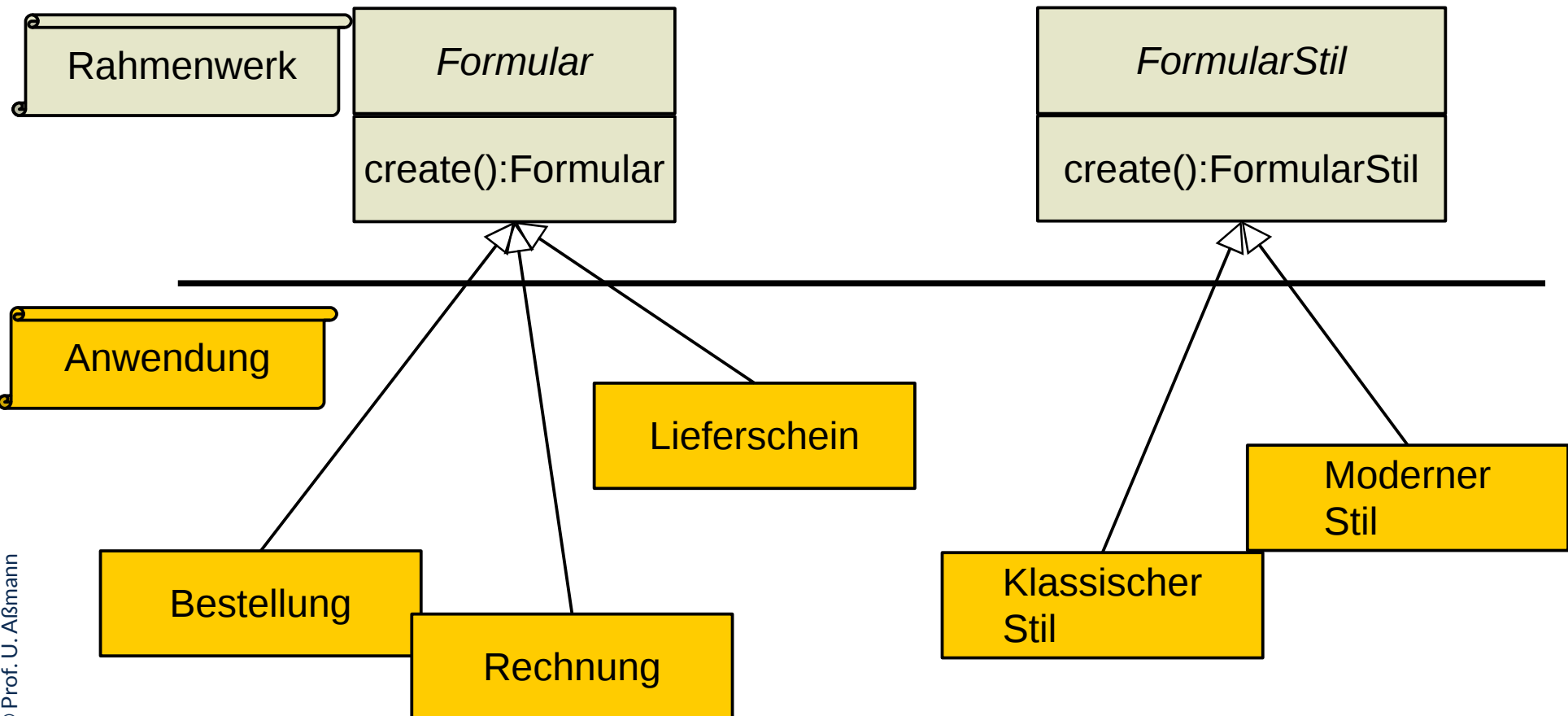


Einsatz in Komponentenarchitekturen

15

Softwaretechnologie (ST)

- ▶ In Rahmenwerk-Architekturen wird die Fabrikmethode eingesetzt, um von den Anwendungsschichten aus die Rahmenwerkschicht zu konfigurieren:



23.3 Implementierungsmuster Kommandoobjekt (Command)

Zur flexiblen Behandlung von Aktionen



DRESDEN
concept
Exzellenz aus
Wissenschaft
und Kultur

Implementierungsmuster Command:

Generische Methoden als Funktionale Objekte

17

Softwaretechnologie (ST)

Ein **Funktionalobjekt (Kommandoobjekt)** ist ein Objekt, das eine Funktion darstellt (reifiziert).

Funktionalobjekte kapseln Berechnungen und können sie später ausführen (laziness)

- Es gibt eine Standard-Funktion in der Klasse des Funktionalobjektes, das die Berechnung ausführt (Standard-Name, z.B. `execute()` oder `dolt()`)

Vorteile:

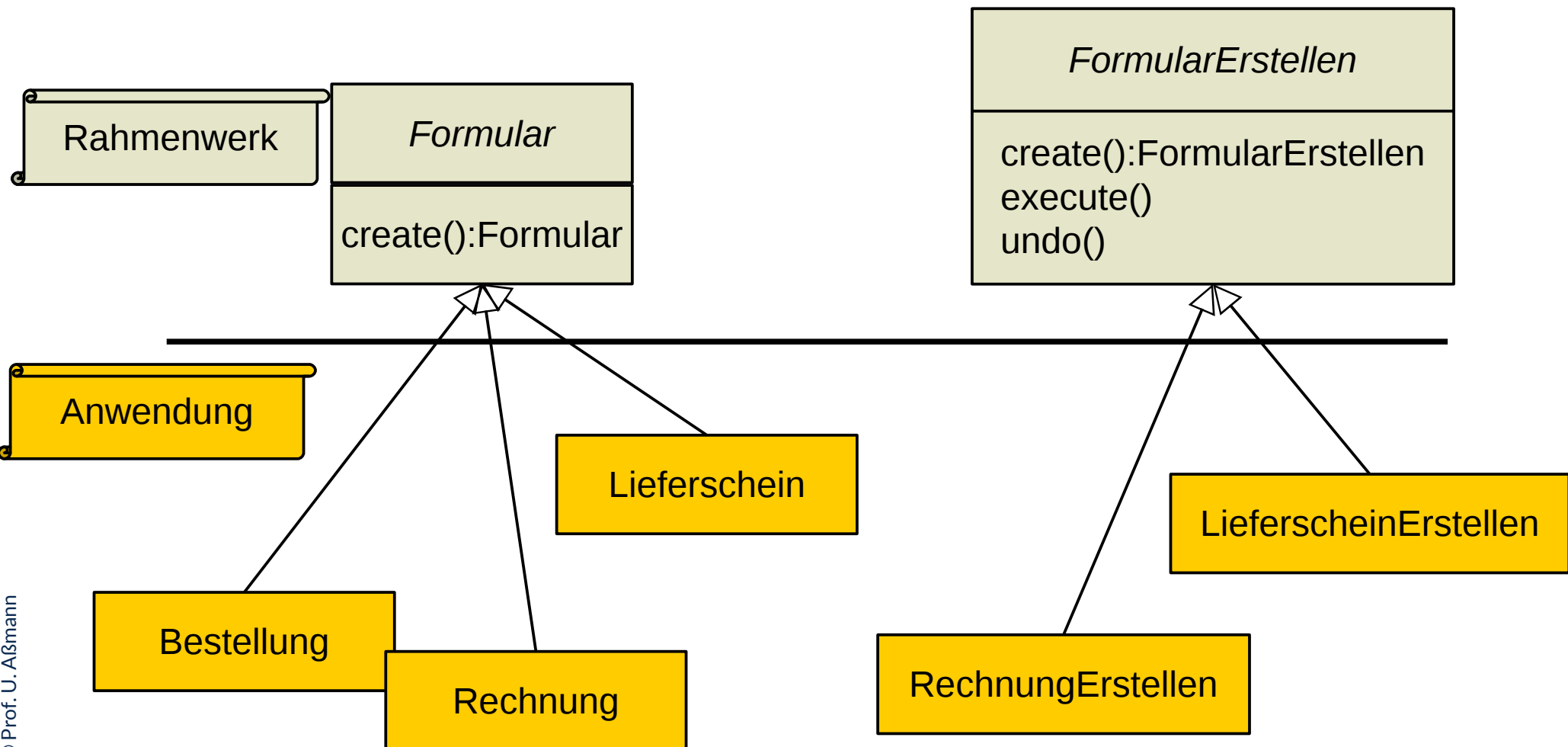
- Man das Funktionalobjekt mit Parametern versehen, herumreichen, und zum Schluss ausführen (*partielle Applikation von Kommandos*)
- Funktionalität wie `undo()`, `redo()`, `persist()`

```
// A command object captures a method
public abstract class Command {
    void execute();
    void takeArgument(<T> arg);
}
public class Undoable extend Command {
    void undo();
}
// Repeatable Command
public class Repeatable extend Undoable {
    void redo();
}
```

```
// Repeatable Command
public class PersistentCommand extends
    Repeatable {
    void persist();
}
```

Einsatz in Komponentenarchitekturen

- ▶ In Rahmenwerk-Architekturen wird das Kommando-Objekt eingesetzt, um ein Default-Verhalten zur Verfügung zu stellen, das verändert werden kann





Für jedes
Command
benötigt man
eine Factory!

23.3 Einsatz von FactoryMethod und Command im JGraphT Framework

Fabriken, Iteratoren, Kommandoobjekte im Großeinsatz

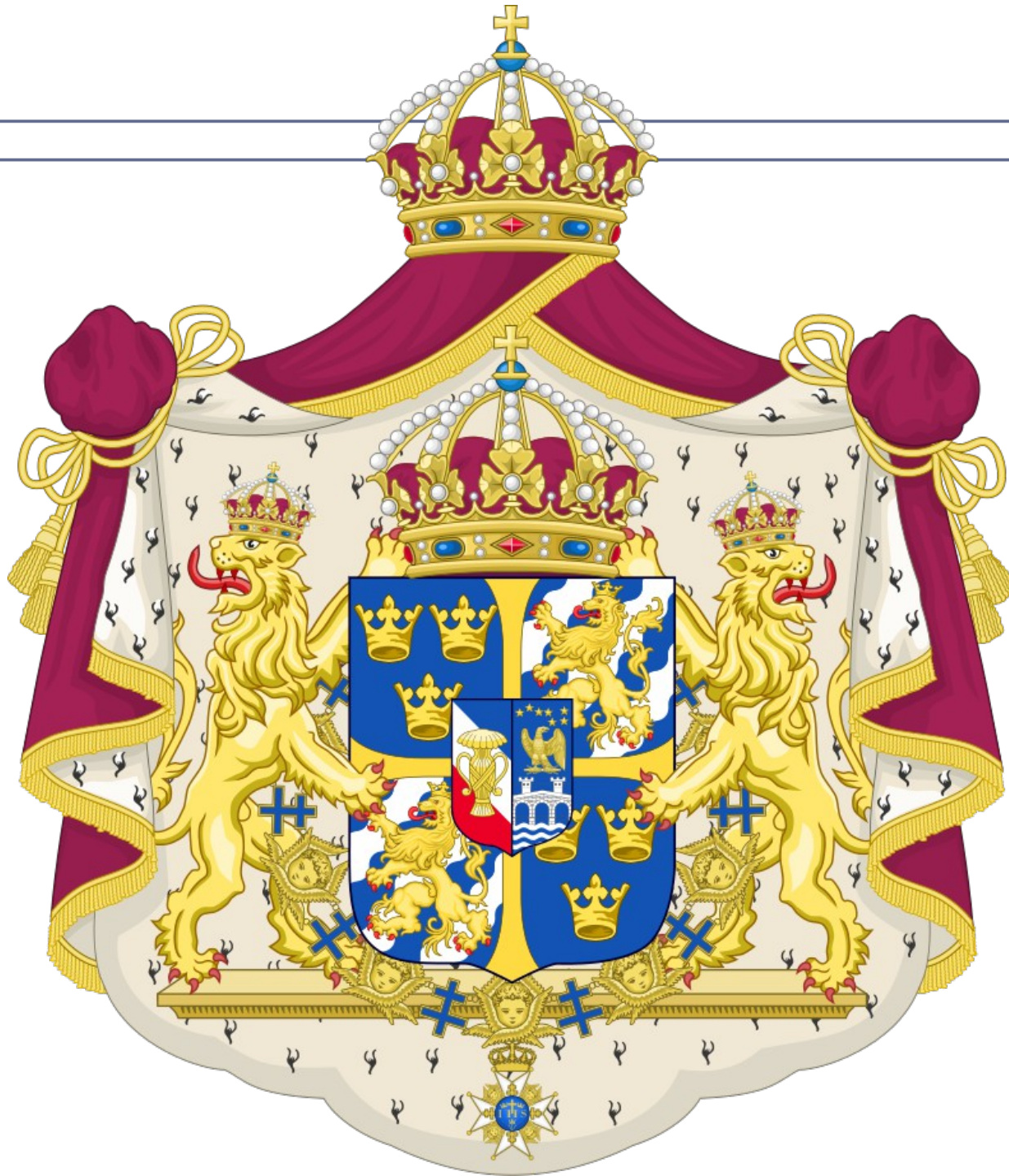


DRESDEN
concept
Exzellenz aus
Wissenschaft
und Kultur

Beispiel

21

Softwaretechnologie (ST)

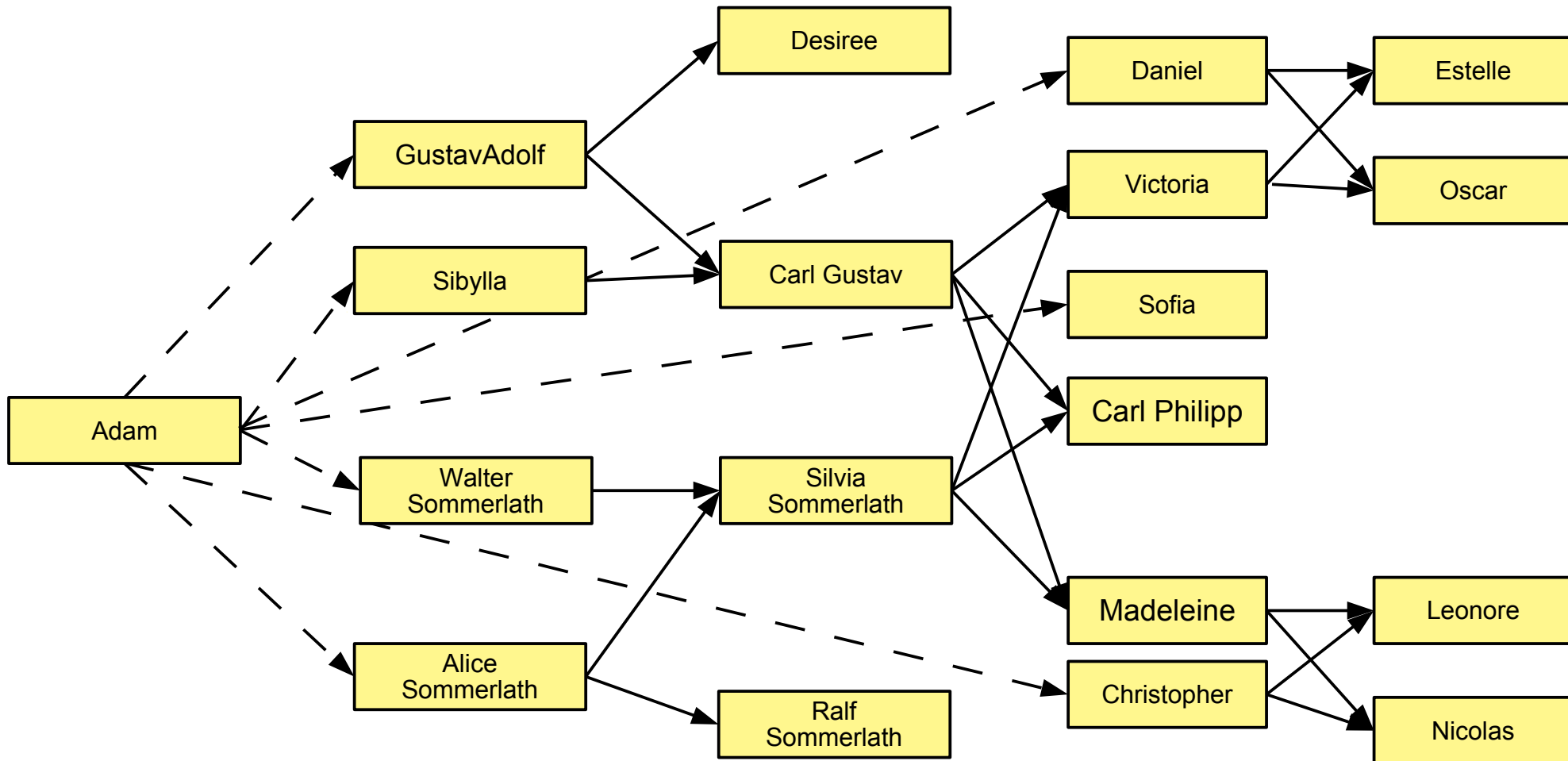


Beispiel: Verwandtschaftsbeziehungen

22

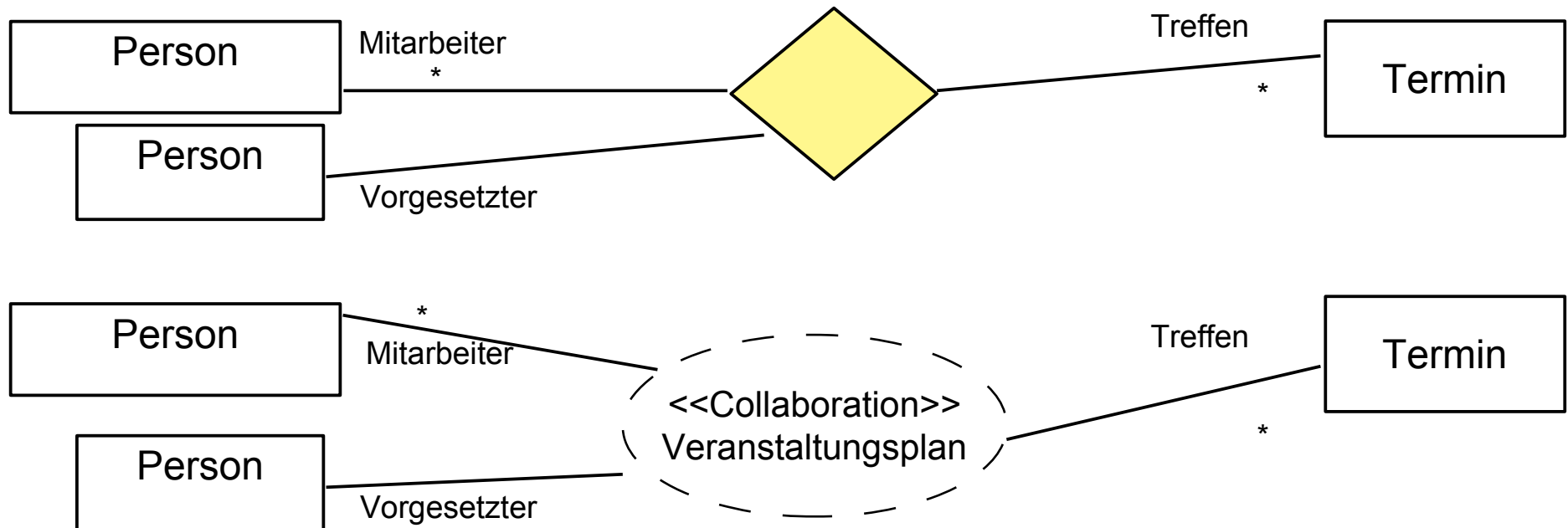
Softwaretechnologie (ST)

- ▶ Familienbeziehungen sind immer azyklisch
- ▶ Die schwedische Königsfamilie als Graph:



Graphen als spezielle Kollaborationen

- ▶ 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
- ▶ Über einem Graphen kann man Kollaborationen (“Ellipsen”) definieren



Ziele einer Graph-Bibliothek

- ▶ In Java können Graphen durch ein Framework dargestellt werden
 - [JGraphT] stellt eine Bibliothek mit einer einfachen Abstraktion von Graphen dar
 - Für Graphen auf Objekten, XML Objekten, URLs, Strings, Graphen ...
 - Fabrikmethoden, Generics und Iteratoren werden genutzt
- ▶ Unterscheidung von speziellen Formen von Graphen
- ▶ Sichten auf Graphen
- ▶ Generische Algorithmen auf Graphen

Klassifikationsfacetten von Graphen

25

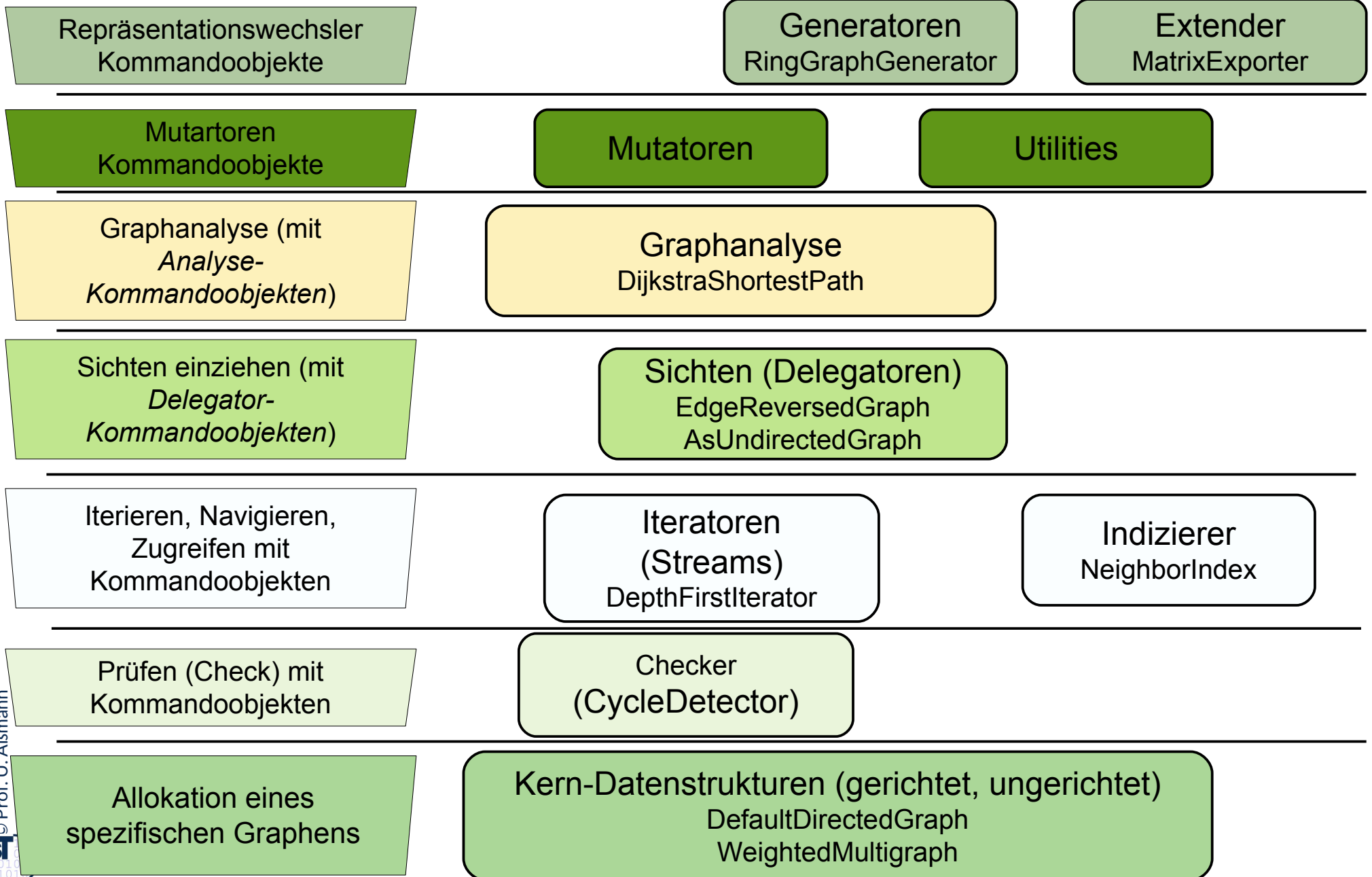
Softwaretechnologie (ST)

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

Kategorien von Graphalgorithmen in JGraphT

26

Softwaretechnologie (ST)



<<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) <
```

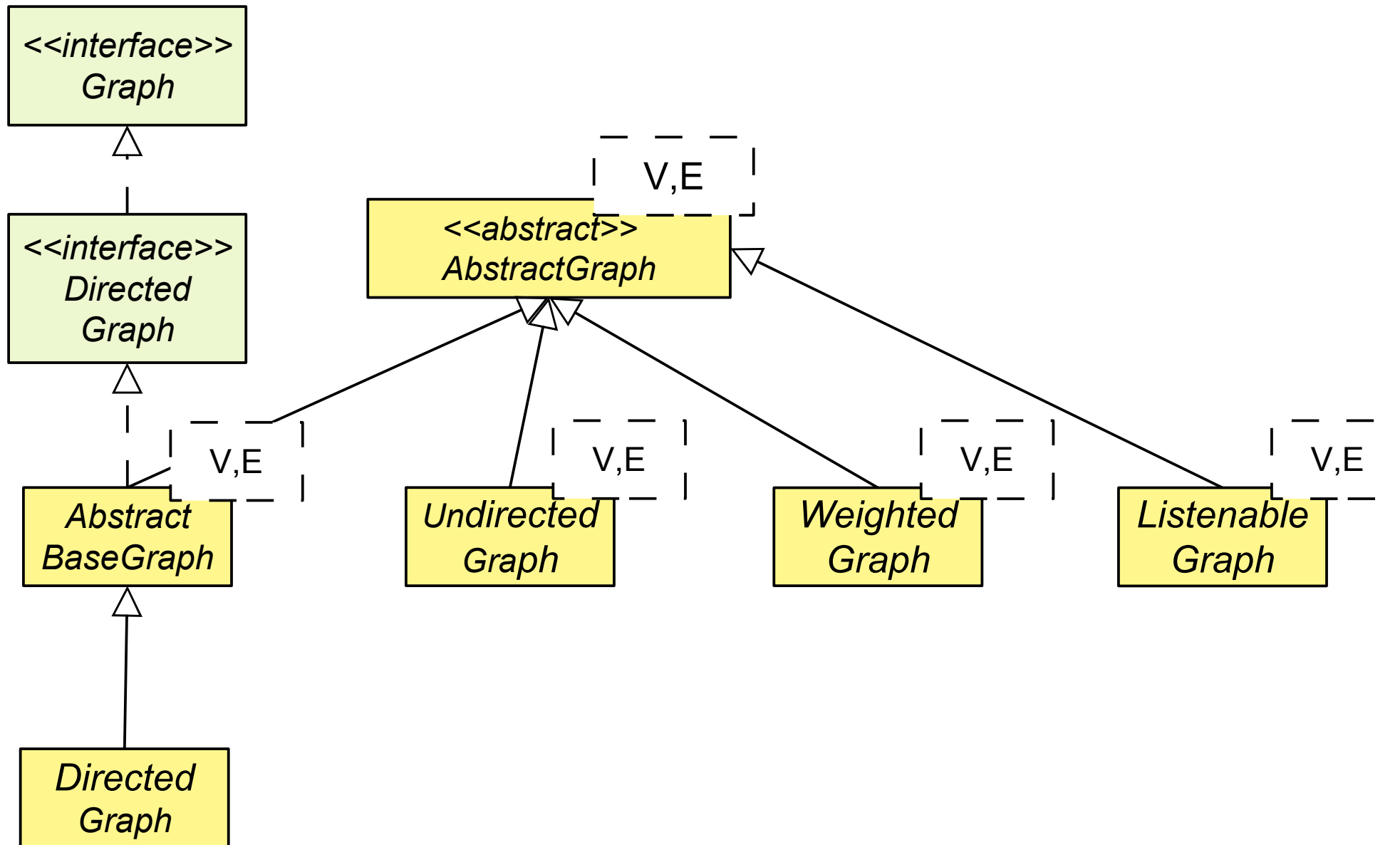
<<interface>> DirectedGraph<V,E>

```
// 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

29

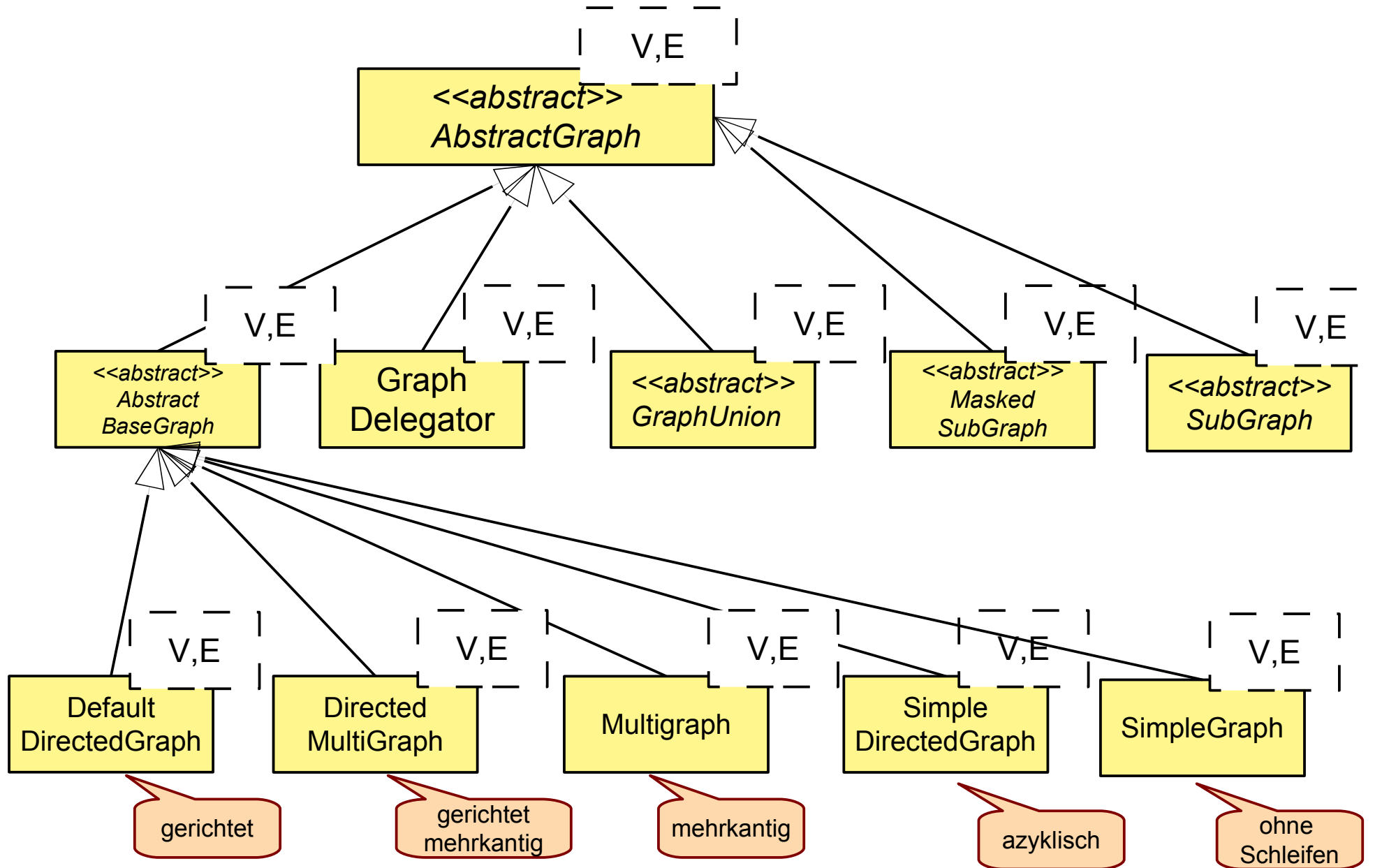
Softwaretechnologie (ST)



Die Implementierungshierarchie Graph

30

Softwaretechnologie (ST)

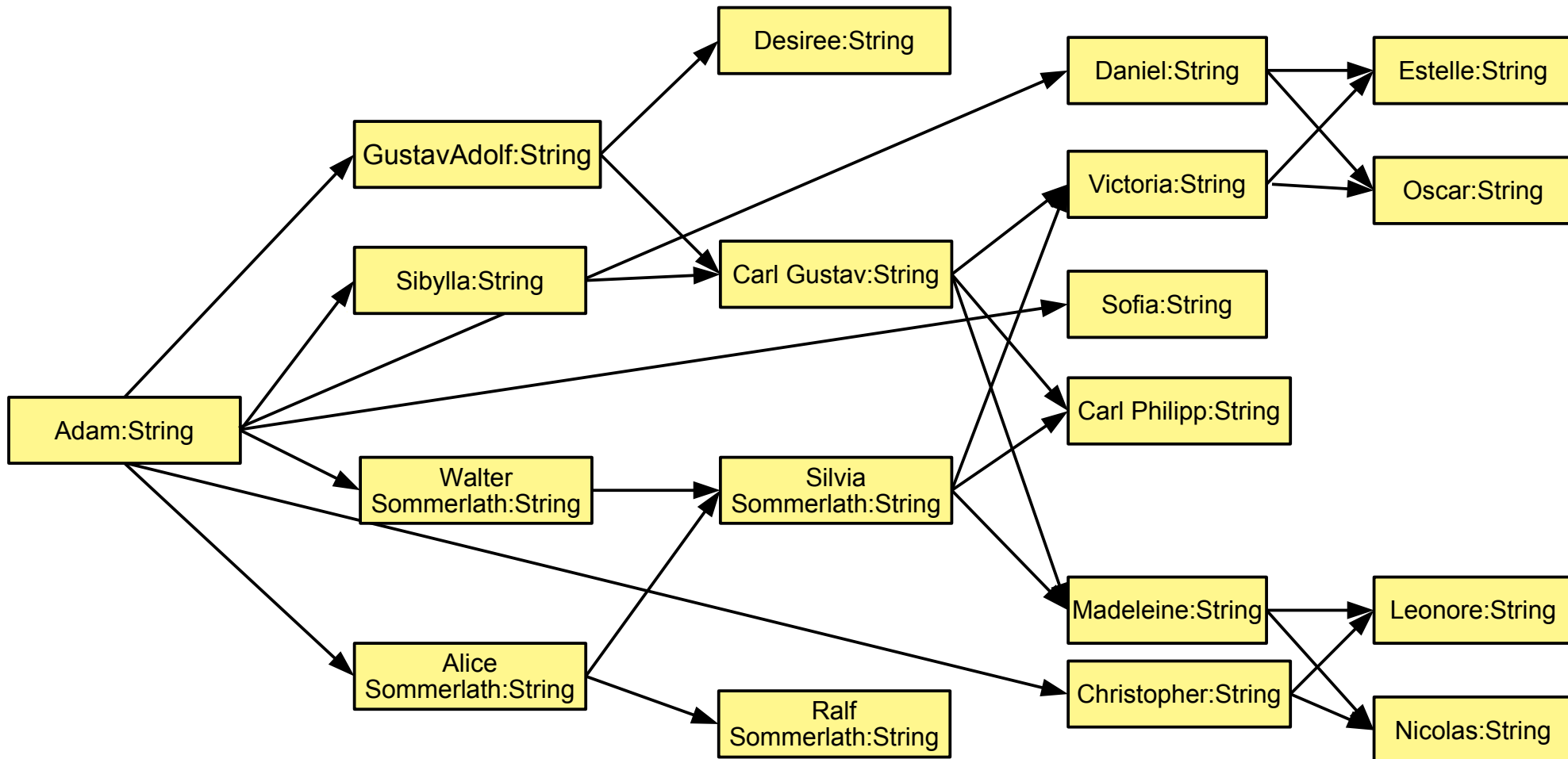


Beispiel: Verwandtschaftsbeziehungen

31

Softwaretechnologie (ST)

- ▶ Familienbeziehungen sind immer azyklisch
- ▶ Die schwedische Königsfamilie als UML-Objektnetz:



23.3.1. Aufbau gerichteter Graphen

SwedishFamilyDemo.java

32

Softwaretechnologie (ST)

```
// 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";
String estelle = "Estelle";
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);
parentOf.addVertex("Daniel");
parentOf.addVertex("Christopher");
parentOf.addVertex("Sofia");
parentOf.addVertex(estelle);
parentOf.addVertex("Oscar");
parentOf.addVertex("Leonore");
parentOf.addVertex("Nicolas");
```

```
// 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");
parentOf.addEdge("Daniel", "Estelle");
parentOf.addEdge("Victoria", "Estelle");
parentOf.addEdge("Daniel", "Oscar");
parentOf.addEdge("Victoria", "Oscar");
parentOf.addEdge("Madeleine", "Leonore");
parentOf.addEdge("Madeleine", "Nicolas");
parentOf.addEdge("Christopher", "Leonore");
parentOf.addEdge("Christopher", "Nicolas");

/* 1 */ // parentOf.addEdge(estelle, adam);
```


23.3.2. Konsistenzprüfung und Navigation mit Check-Kommandos

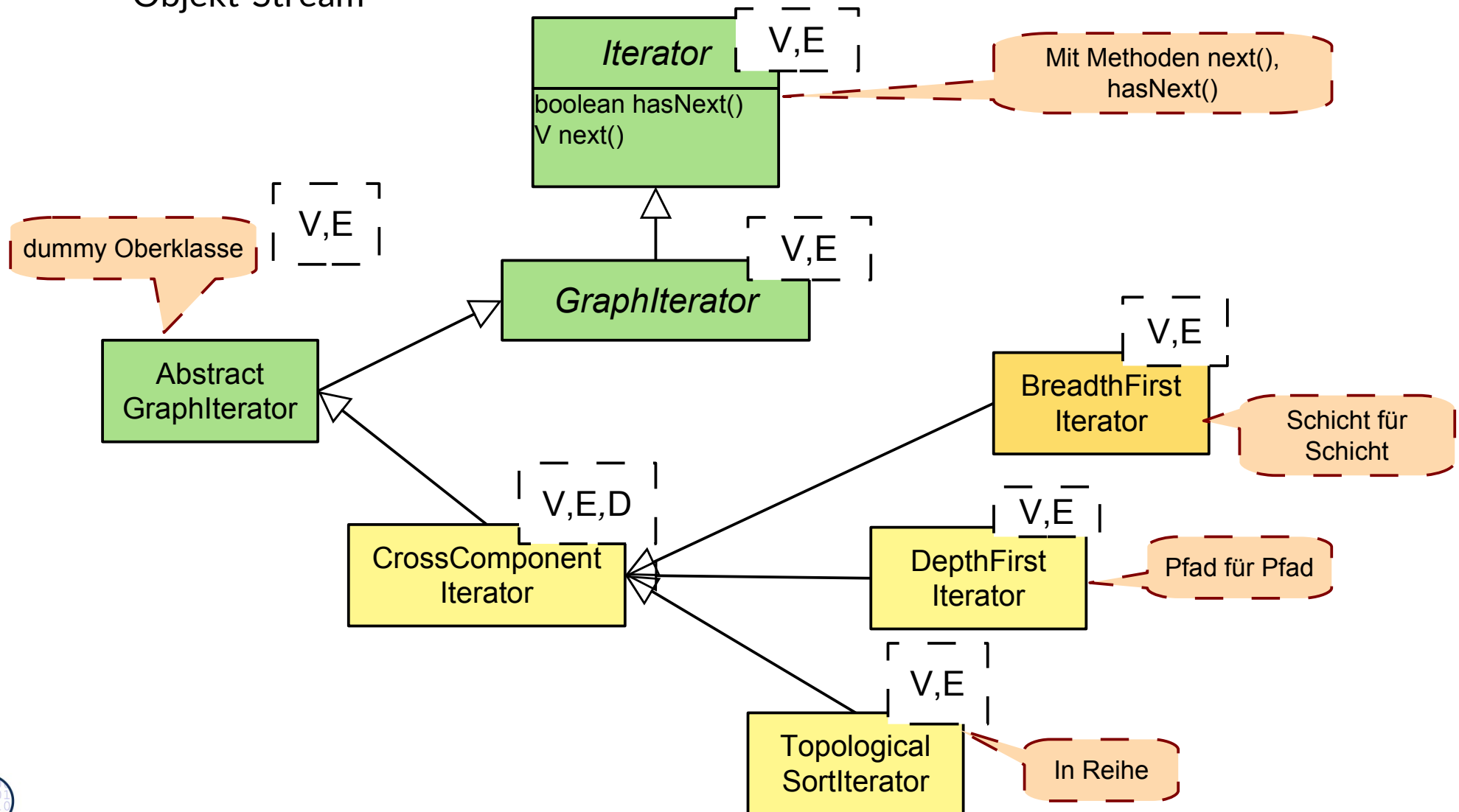
- ▶ Die meisten generischen Algorithmen von jgrapht sind Kommando-Objekte (Entwurfsmuster Command)
- ▶ `CycleDetector.findCycles()` ist ein Check-Kommando und findet Zyklen im Graphen, jenseits von Selbstkanten
 - Entspricht `execute()`

```
// (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());
```

23.3.3 Iteratoren laufen Graphen ab

- Man kann mit einem Graphiter ator den Graphen ablaufen und seine Knoten ausgeben, ohne seine Struktur zu kennen. Der Iterator verwandelt also den Graph in einen Objekt-Stream



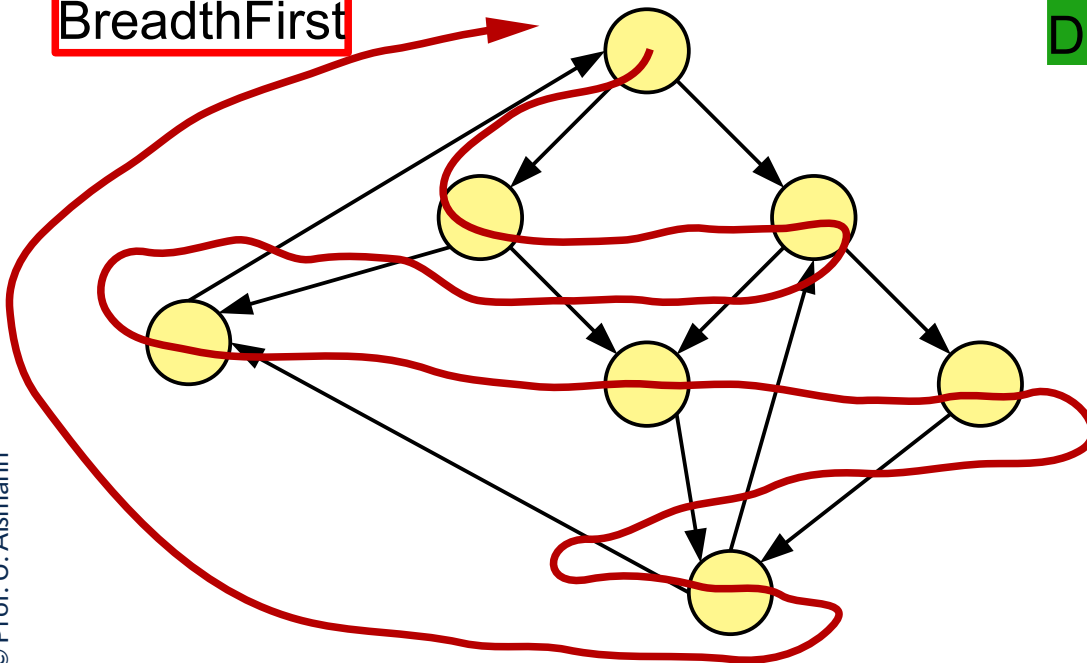
Arten von Durchläufen mit Iteratoren

35

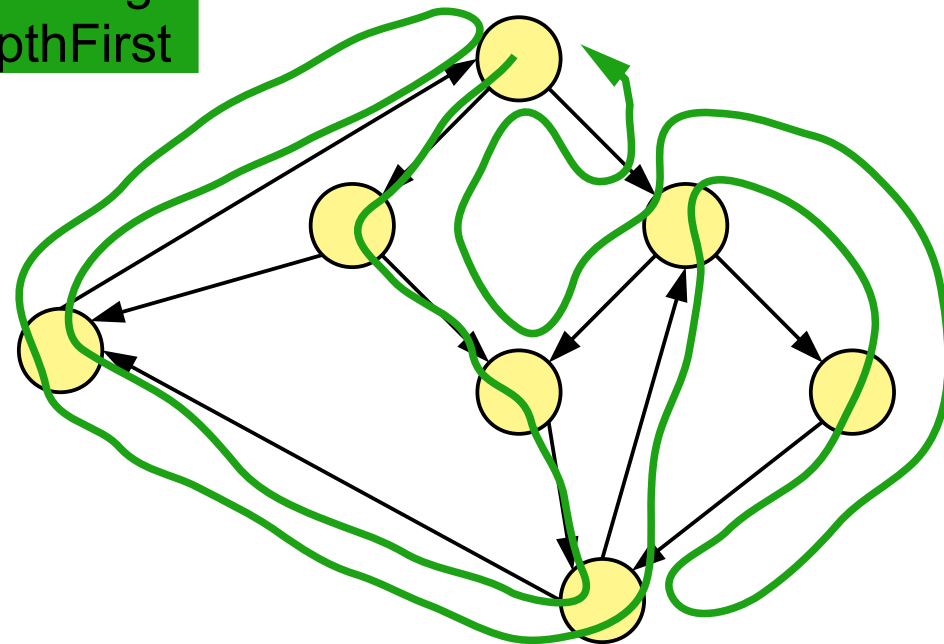
Softwaretechnologie (ST)

- ▶ `BreadthFirstIterator` läuft über den Graphen in Breitensuche, sozusagen “Schicht für Schicht”, und gibt die Knoten aus
- ▶ `DepthFirstIterator` läuft über den Graphen in Tiefensuche, sozusagen “Pfad für Pfad”

Left-to-right
BreadthFirst



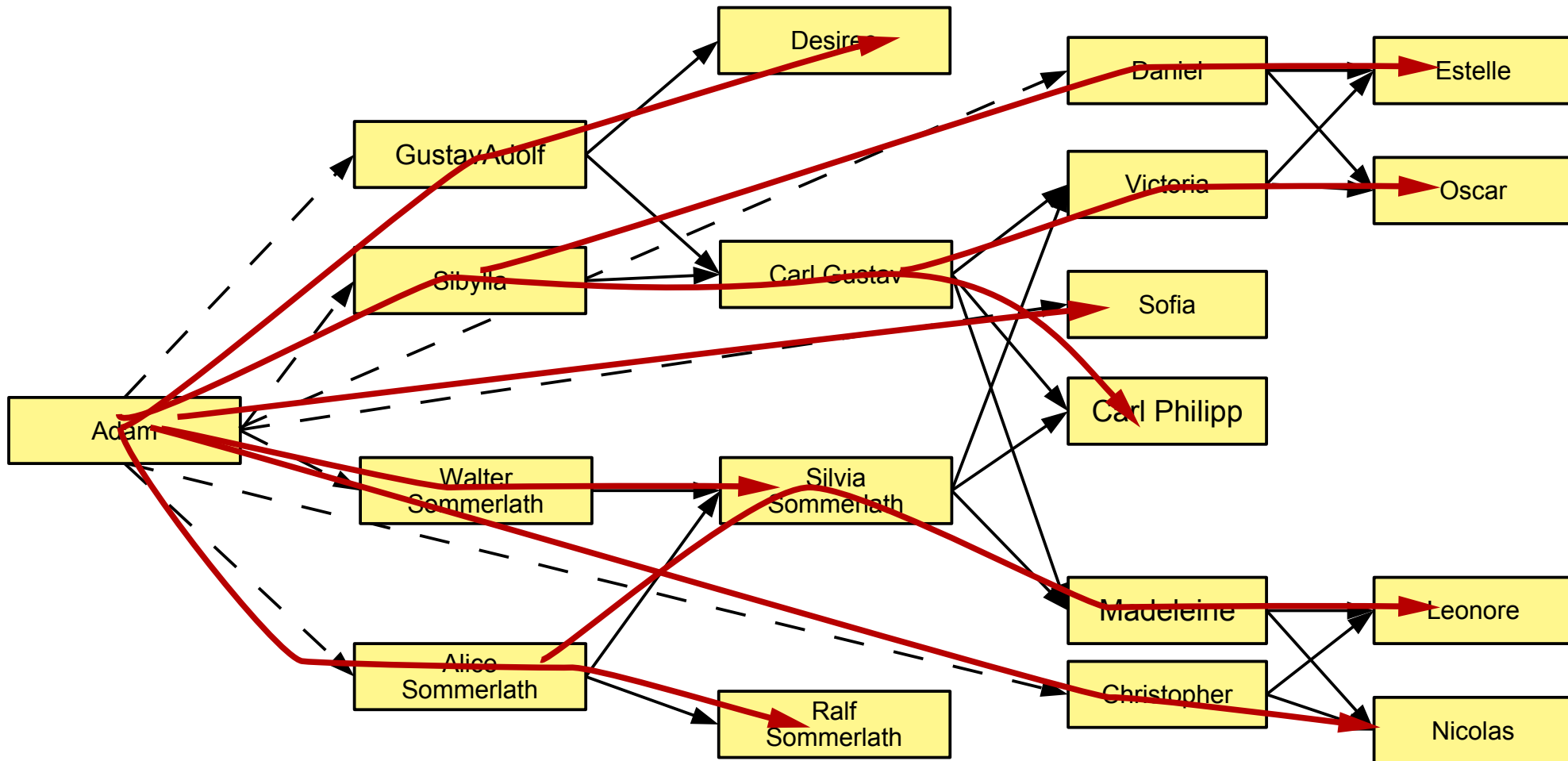
Left-to-right
DepthFirst



Tiefensuche auf dem azykl. Graphen der Königsfamilie

36

Softwaretechnologie (ST)



Pulling Iterators

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

System.out.println("breadth first enumeration: ");
DepthFirstIterator<String,DefaultEdge> dfi =
    new DepthFirstIterator<String, DefaultEdge>(parentOf);

for (String node = dfi.next(); dfi.hasNext(); node = dfi.next()) {
    System.out.println("node: "+node);
}
```

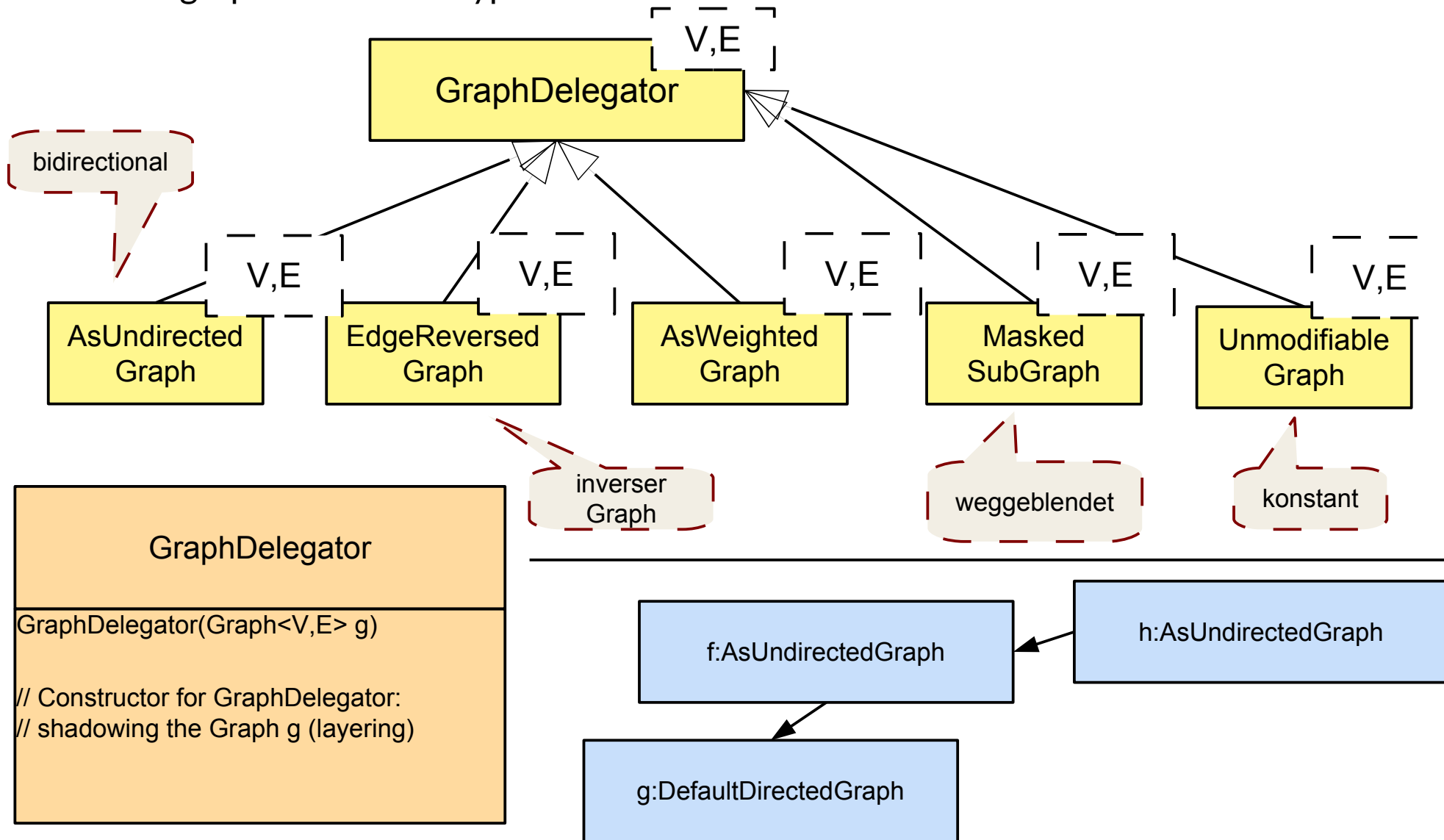
```
// (bc) breadth-first iteration in graph parentOf

System.out.println("breadth first enumeration: ");
BreadthFirstIterator<String,DefaultEdge> bfi =
    new BreadthFirstIterator<String, DefaultEdge>(parentOf);

for (String node = bfi.next(); bfi.hasNext(); node = bfi.next()) {
    System.out.println("node: "+node);
}
```

23.3.4 Delegatoren erzeugen Sichten

- Ein **Delegator** ist ein Objekt, das einen Graphen “vorspiegelt” und auf einen Basisgraphen anderen Typs zurückführt.

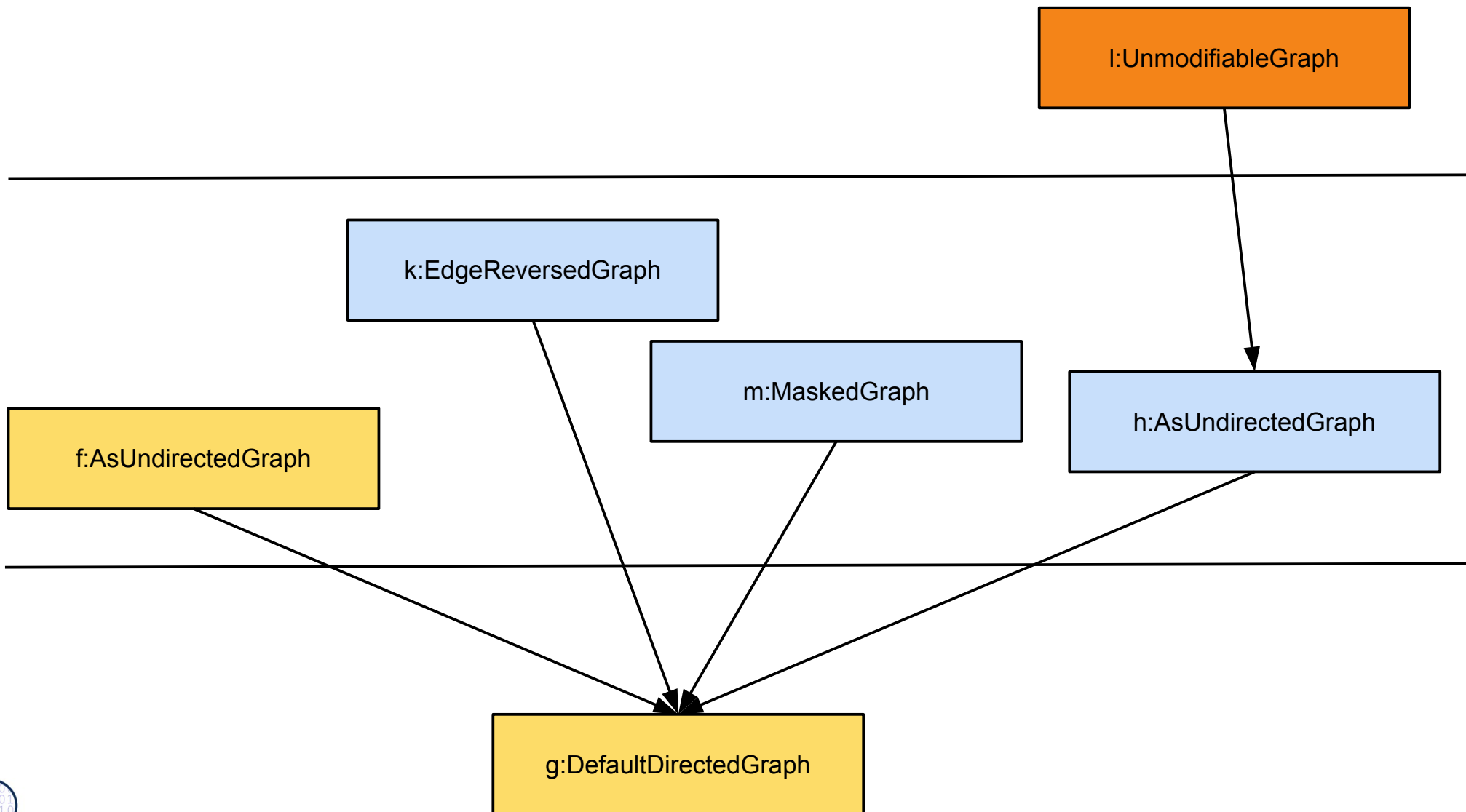


Schichtung von Graphen mit Delegatoren (Layering of Graphs)

39

Softwaretechnologie (ST)

- ▶ Was sieht ein Aufrufer (client) eines spezifischen Graphen?



23.3.5 Analysen in gewichtete Graphen: Finden kürzester Pfade

- ▶ Dijkstra's Algorithmus findet zwischen 2 Knoten den kürzesten Pfad
- ▶ Ein **Pfadobjekt** stellt einen Pfad in einem Graphen dar. Ein Pfadobjekt ist ein Delegator auf einen anderen Graphen (Sicht).
- ▶ **DijkstraShortestPath** bildet den kürzesten Pfad in einem ungerichteten Graphen ab.

```
// (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);
}
```


Finden kürzester Pfade im ungerichteten Graphen (Sicht)

- ▶ Ein **Pfadobjekt** stellt einen Pfad in einem Graphen dar. Ein Pfadobjekt ist ein Delegator auf einen anderen Graphen (Sicht).
- ▶ **DijkstraShortestPath** bildet den kürzesten Pfad in einem ungerichteten Graphen ab.

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

// 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()+"):");

GraphPath<String,DefaultEdge> path = ancestorPath.getPath();

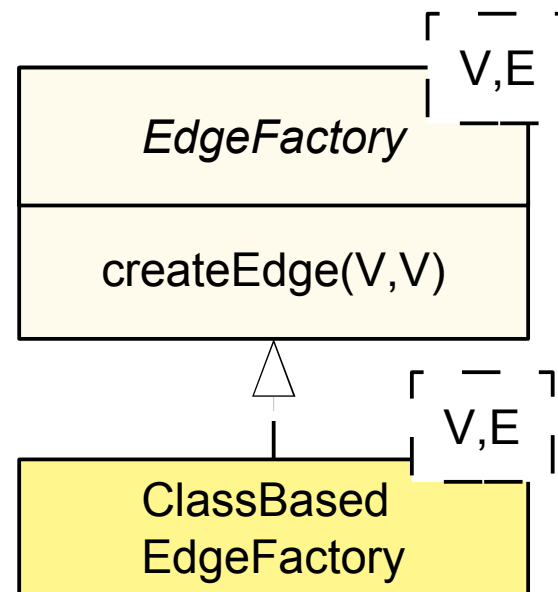
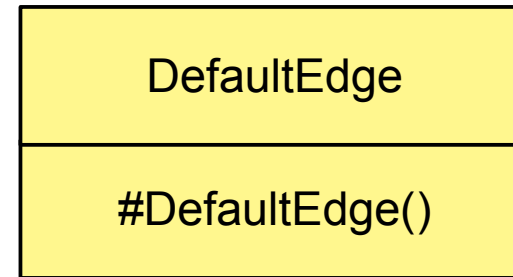
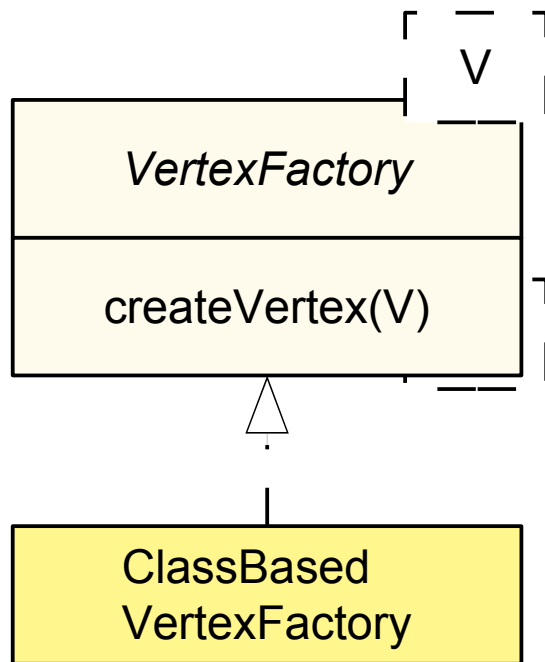
nodeList = Graphs.getPathVertexList(path);
for (String node : nodeList) {
    System.out.println("node: "+node);
}
```

- ▶ `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.

Fabrimethoden für Knoten und Kanten

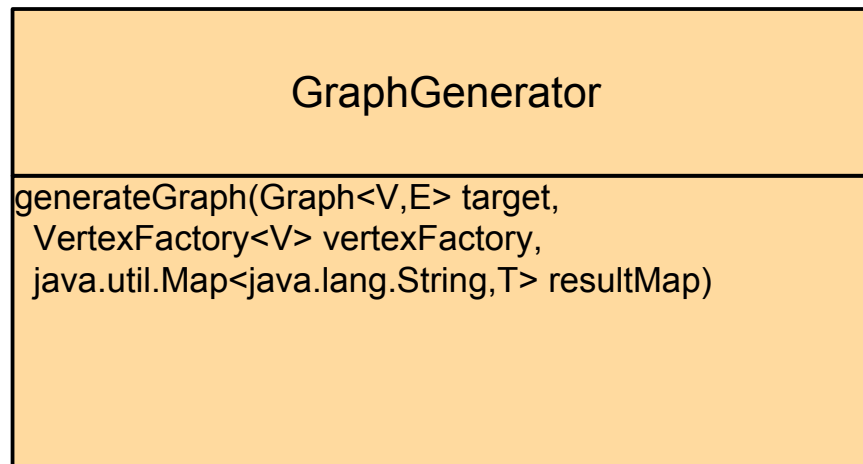
43

Softwaretechnologie (ST)



23.3.6. Generatoren

- ▶ Neue Graphen mit anderen Strukturen können aus einem bestehenden Graphen heraus erzeugt werden

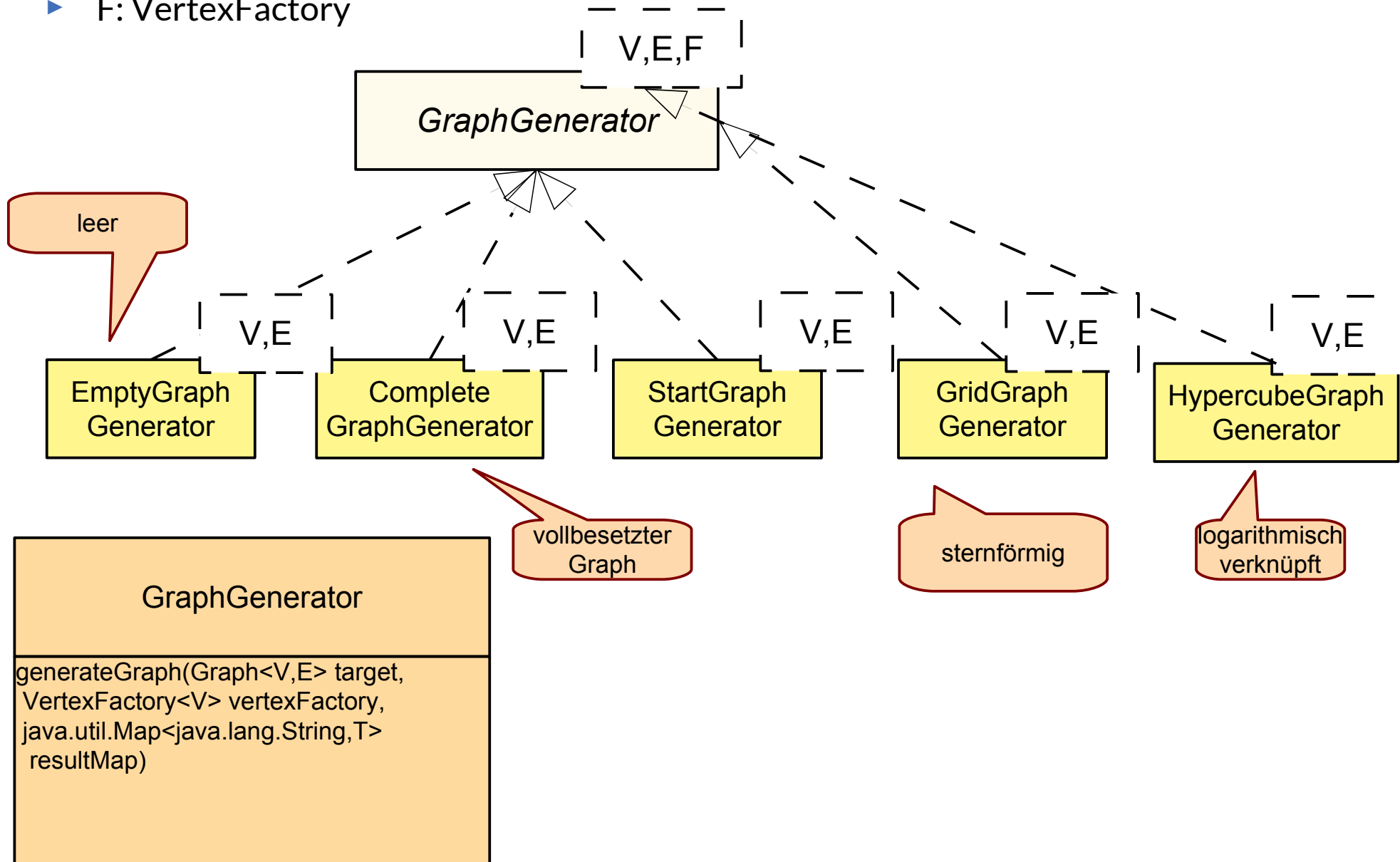


Generatoren erzeugen verschiedene Arten von Graphen

45

Softwaretechnologie (ST)

► F: VertexFactory



23.E.1 Lern-Exkurs: Die Test-Suite von JGraphT

- ▶ Auf der Webseite finden Sie unter
JGraphT-Examples/JGraphT-JUnit-3-8-Tests
- ▶ die Test-Suite von JGraphT (freie Lizenz GPL), die auf JUnit-3.8 basiert.
- ▶ Welche Datei enthält eine Zusammenstellung aller Tests in eine Suite?
- ▶ Inspizieren Sie die Datei `SimpleDirectedGraphTest.java`:
 - Welche Testfälle können Sie identifizieren?
 - Welche Teile der Funktionalität von `SimpleDirectedGraph` sind gut, welche nicht gut abgedeckt, d.h. mit Testfällen versehen worden?
- ▶ Würden Sie JGraphT als *Software* oder nur als *Programm* bezeichnen?

23.E.2 Lern-Exkurs: Die Library GELLY

- ▶ Analysieren Sie die Webseite von GELLY
 - <http://gellyschool.com/>
 - http://ci.apache.org/projects/flink/flink-docs-master/gelly_guide.html
- ▶ Welche Unterschiede gibt es zu JGraphT beim Allokieren von Graphen, Knoten und Kanten von Graphen?
- ▶ Welche Informationen kann man aus einem Graphknoten herausholen?
- ▶ Welche Nachteile hat die Graph-Klasse von GELLY, die nicht in eine Vererbungshierarchie eingebettet ist?
- ▶ Würden Sie GELLY als *Software* oder nur als *Programm* bezeichnen?

Was haben wir gelernt?

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

- ▶ Warum benötigt man überhaupt Fabrikmethoden, wenn Java doch schon eine so mächtige Sprache ist?
- ▶ Warum benötigt man überhaupt Kommandoobjekte, wenn Java doch schon eine so mächtige Sprache ist?
- ▶ Wieso lohnt es sich, Iteratoren für Graphenbibliotheken zu nutzen?
- ▶ Wie entwirft man einen Kanal zwischen einem Graphen und einem konsumierenden Akteur, der die Elemente des Graphen eins nach dem anderen “konsumiert”?
- ▶ Wie kann man mit einem Output-Stream einen Graphen persistieren und mit einem Input-Stream ihn wieder lesen?
- ▶ Wieso ist es für den Aufbau von Graphen gut, Generizität zu haben?
- ▶ Entwerfen Sie einen Algorithmus RandomSearch, der durch einen Iterator zufällig die Elemente eines Graphen aufzählt.