

Teil I: Einführung in die objektorientierte Programmierung mit Java

10. Objekte und Klassen

Prof. Dr. rer. nat. Uwe Aßmann
Lehrstuhl Softwaretechnologie
Fakultät für Informatik
Technische Universität Dresden
Version 19-1.1, 08.04.19

- 1) Objekte und biologisches Programmieren
- 2) Klassen
- 3) Objektorientierte Modellierung
- 4) Allgemeines über objektorientierte Programmierung

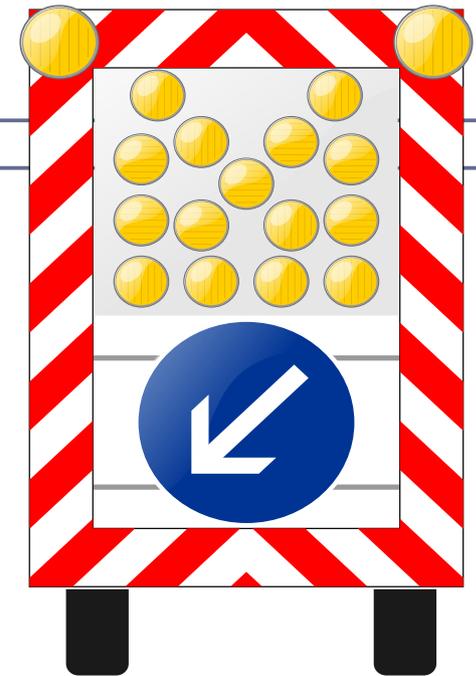


Obligatorische Literatur

3 Softwaretechnologie (ST)

- ▶ Marc Andreessen. Software is eating the world. Wall Street Journal. <http://online.wsj.com/news/articles/SB10001424053111903480904576512250915629460>
- ▶ Störrle: Kap. 3 UML im Kontext (STfE S. 47); Kap. 5 Klassendiagramme (STfE S. 73)
- ▶ Zuser Kap 7, Anhang A
- ▶ Java: Balzert, LE 3-5
 - Boles, Kap. 1-6

- Interessant: Oracle hat ein Java Magazine
 - <http://www.oracle.com/technetwork/java/javamagazine/index.html>



Weiterführende Literatur

- ▶ Turing Award winners Ole-Johan Dahl, Kristen Nygaard
 - http://de.wikipedia.org/wiki/Ole-Johan_Dahl
 - <http://www.mn.uio.no/ifi/english/about/ole-johan-dahl/>
 - http://de.wikipedia.org/wiki/Kristen_Nygaard
 - <http://de.wikipedia.org/wiki/Simula>
 - <http://campus.hesge.ch/Daehne/2004-2005/Langages/Simula.htm>
 - <http://simula67.at.ifi.uio.no/bibliography.shtml>
- ▶ Alan Kay. The History of Smalltalk. Second Conference on the History of Programming Languages. ACM. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1057828>
- ▶ The When, Why, and Why Not of the BETA Programming Language <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1238854>
- ▶ Bjarne Stroustrup. Evolving a language in and for the real world: C++ 1991-2006. Pages: 4-1-4-59, doi>10.1145/1238844.1238848

- ▶ Über die Homepage der Lehrveranstaltung finden Sie auch Beispielprogramme, die Konzepte der Folien weiter erklären.
- ▶ Die Datei **ObjekteUndKlassen/CommandLineDemo.java** druckt einfach ein paar Zeichenketten, die von der Kommandozeile aus übergeben wurden. Vorsicht: Begrenzung! Die Datei **ObjekteUndKlassen/CommandLineDemoLoop.java** fixt den Bug
- ▶ Die Datei **TaxDeclarationDemo.java** enthält den Aufbau einer einfachen Halde mit Objekten
- ▶ Die Datei **Terminverwaltung/Terminv.java** enthält eine vollständige Umsetzung des Beispiels "Terminverwaltung" in lauffähigen Java-Code.
- ▶ Empfohlene Benutzung:
 - Lesen
 - Übersetzen mit dem Java-Compiler **javac**
 - Starten mit dem Java-Interpreter (Java Virtual Machine) **java**
 - Verstehen
 - Modifizieren
 - Kritisieren

- ▶ Was ist ein Objekt? Objekte verstehen als identitätstragende Entitäten mit Methoden und Zustand
- ▶ Was heißt “biologisches Programmieren”? Was bedeutet “Programmwachstum” und “Programmanreicherung”? Welche Rolle spielen “Symmetrieoperationen”?
- ▶ Was ist eine Klasse?
 - Klassen als Modellierungskonzepte verstehen, Äquivalenzklassen, die Gemeinsamkeiten für Objekte repräsentieren
 - Unterscheide Mengen-, Schablonensemantik
 - Unterscheide Klassenprototypen von Objekten
- ▶ Erkläre, wie Objekte und Klassen im Speicher dargestellt werden

OUR GOALS

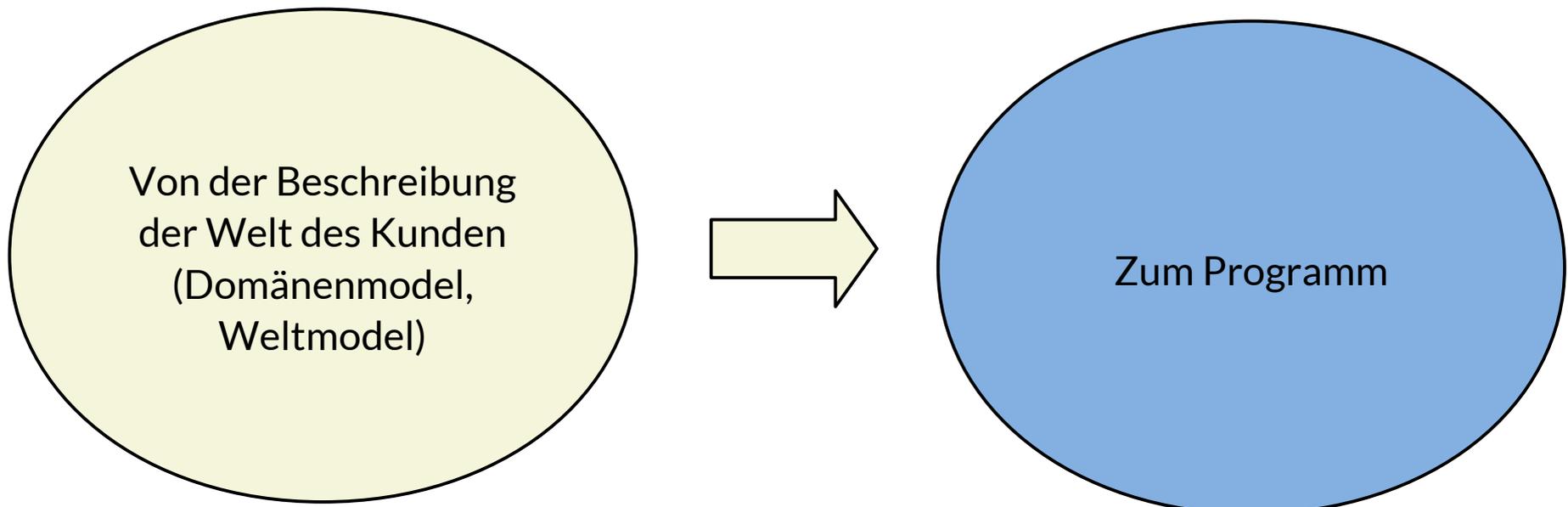
10.1. Objekte: die Idee

Objektorientierung bietet eine Grundlage für die Erstellung von Software



Die zentrale Frage der Softwaretechnologie

Wie kommen wir vom Problem des Kunden zum Programm (und zum Software-Produkt)?

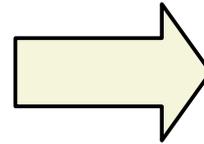


Die zentralen Fragen des objektorientierten Ansatzes

Wie kommen wir vom Problem des Kunden zum Programm?

Wie können wir die Welt möglichst einfach beschreiben?

Von der Beschreibung
der Objekte
der Welt des Kunden
(objektorientiertes
Domänenmodel)

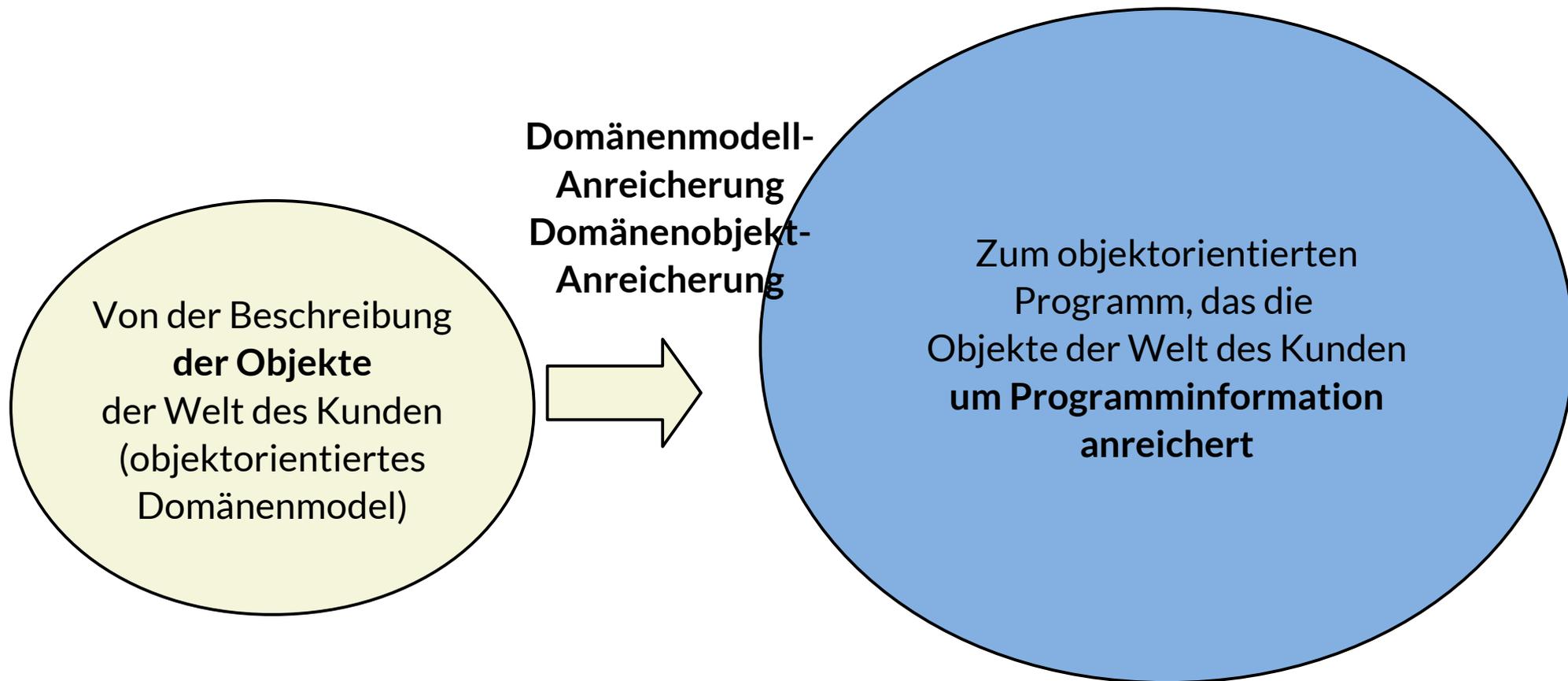


Zum objektorientierten
Programm, das die
Objekte der Welt des Kunden
um Programminformation
anreichert

Wie können wir diese Beschreibung im
Computer realisieren?

Die zentrale Antwort des objektorientierten Ansatzes

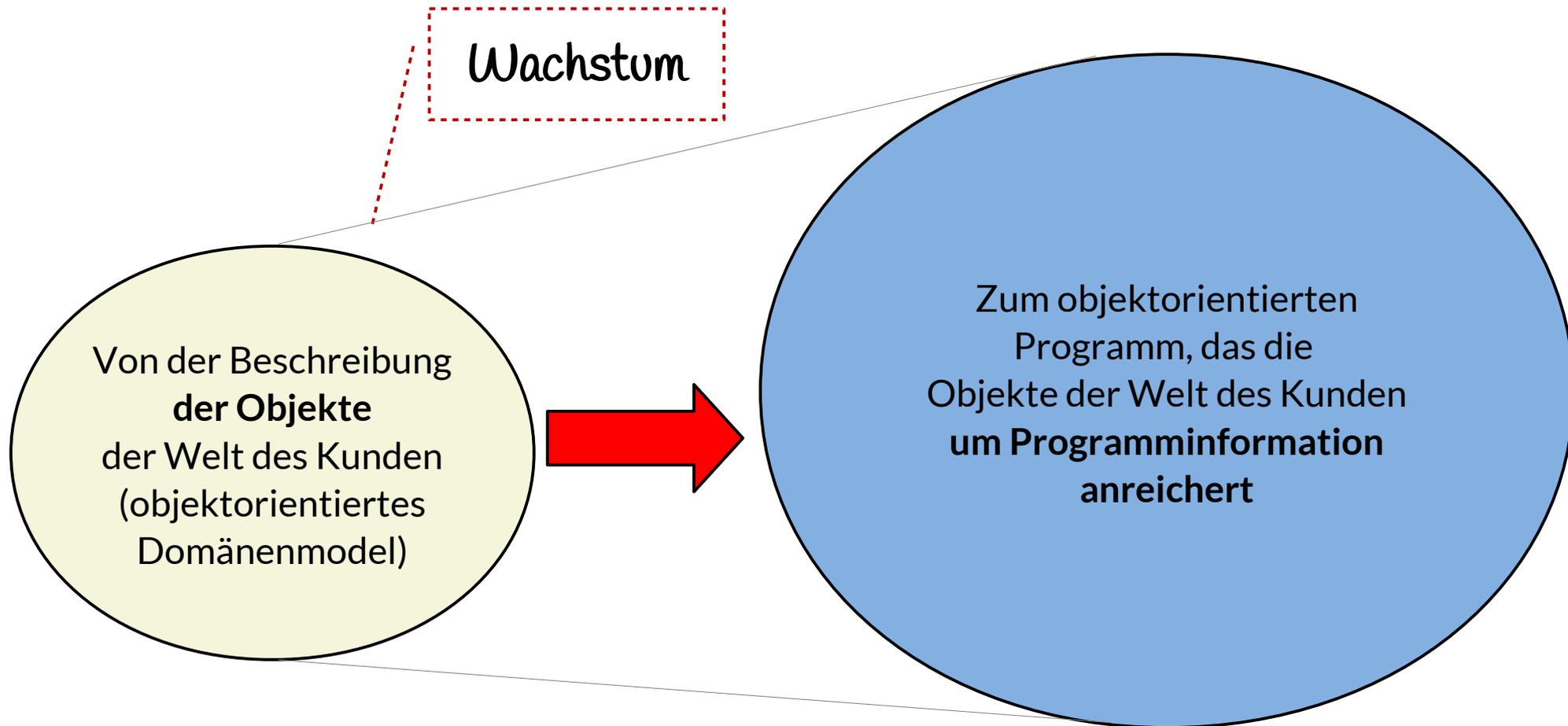
Wie kommen wir vom Problem des Kunden zum Programm?



Anreicherung/Verfettung („object fattening“): Anreicherung von Objekten des Domänenmodells durch technische Programminformation hin zu technischen Objekten

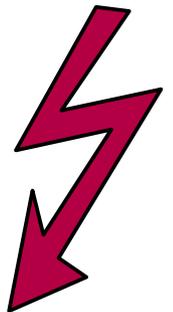
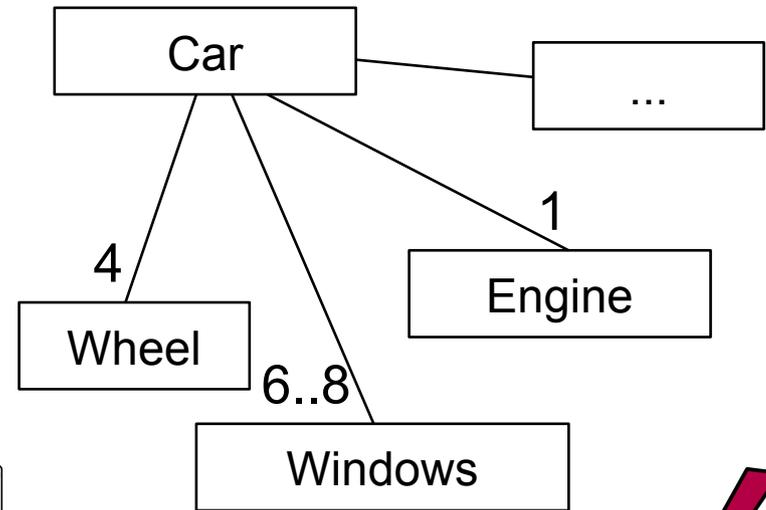
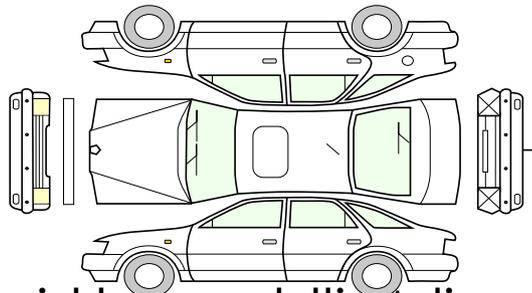
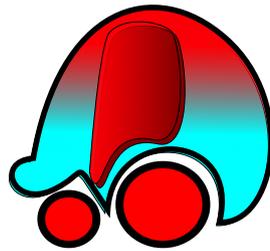
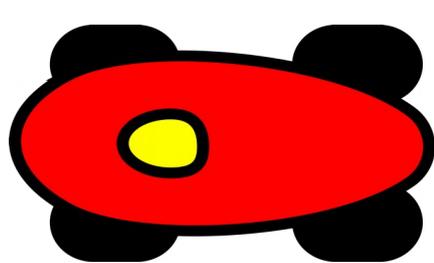
Die zentrale Antwort des objektorientierten Ansatzes: Schrittweises Wachstum im “biologischen Programmieren”

Wie kommen wir vom Problem des Kunden zum Programm?



„Biologisches Programmieren“ setzt auf schrittweises Wachstum
aus dem fachlichen Modell heraus

OOD beginnt mit dem Domänenmodell (Fachlichen Modell, Modell der Fachdisziplin)



Objektorientierte Entwicklung modelliert die reale Welt, um sie im Rechner zu simulieren

Ein Teil eines objektorientierten Programms simuliert immer die reale Welt, indem es auf einem angereicherten Domänenmodell arbeitet

Herkunft:

Simula 1967 (Nygaard, Dahl). Ziel: technische Systeme simulieren

Smalltalk 1973 (Kay, Goldberg)

BETA 1973-1990 (Nygaard, Lehrman-Madsen, et.al.)

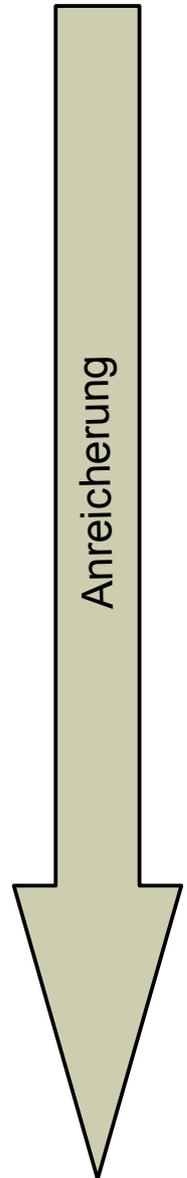
Der objekt-orientierte Softwareentwicklungsprozess in 3 Schritten

Objekt-orientierte Analyse
(Modellierung der Welt, der fachlichen Domäne der Anwendung, fachliche Modellierung)

Objekt-orientierter Entwurf
(Spezifikation des Softwaresystems)

Objekt-orientierte Implementierung

Anreicherung



Der Wert der objekt-orientierten Softwareentwicklung

- ▶ Die strukturierte Erweiterung des Domänenmodells ist ein **zuverlässiger Weg**, Software zu entwickeln
- ▶ Wer diesen Softwareentwicklungsprozess beherrscht, wird
 - Schneller Software entwickeln, weil das System eine **fachgetreue Erweiterung** des Domänenmodells ist
 - Qualitativ gute Software entwickeln, die leicht mit dem Kunden validierbar ist
 - Kunden können Stammkunden werden

Objektorientierte Softwareentwicklung ist ein verlässlicher Weg,
qualitativ gute Software zu entwickeln.

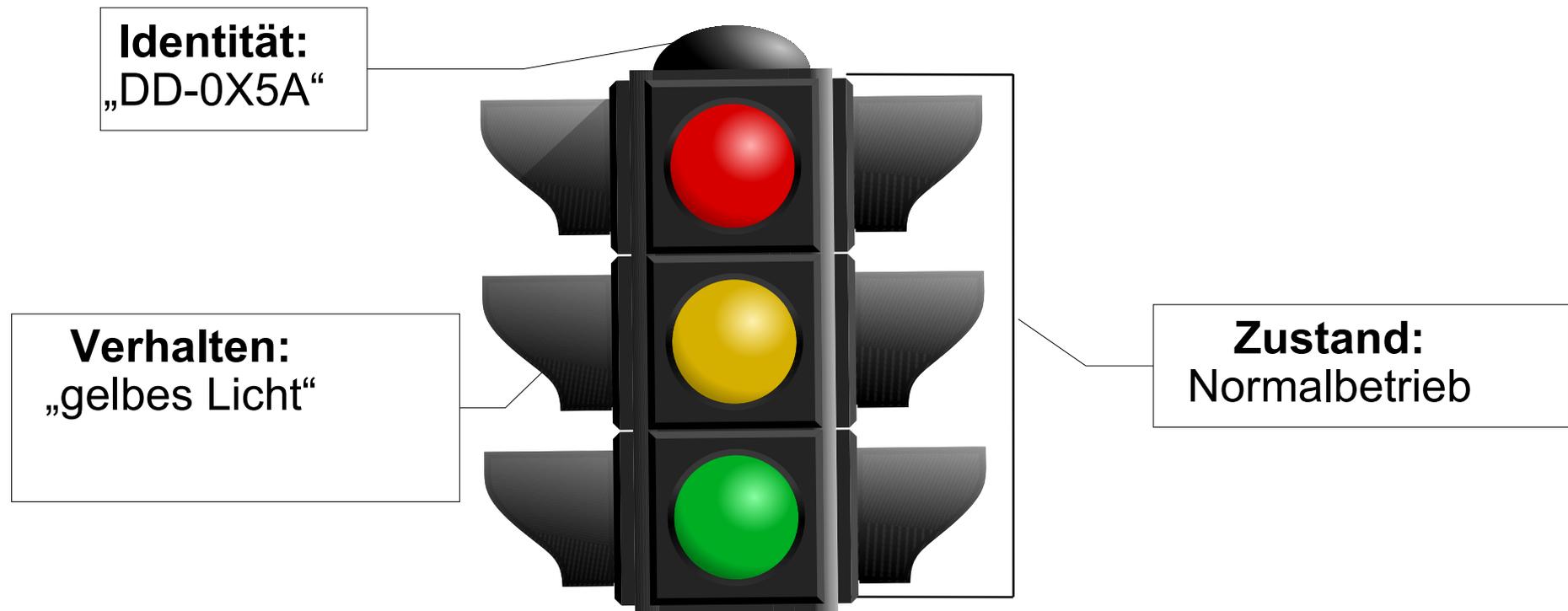
Wer OOSE kann, kann Kunden halten!

10.1.1 Grundkonzepte der Objektorientierung: Die Objekte einer fachlichen Domäne



Fragen:

- ▶ Wie ist das Objekt bezeichnet (Name)?
- ▶ Wie verhält es sich zu seiner Umgebung? (Relationen)
- ▶ Welche Informationen sind „Privatsache“ des Objekts (Geheimnisse)?



Grundkonzepte der Objektorientierung



Antworten:

- ▶ Ein Objekt hat eine eindeutige **Identität** (Schlüssel, key, object identifier)
- ▶ Ein Objekt hat einen inneren **Zustand**, ausgedrückt durch sog. **Attribute**, die Werte annehmen können (auch *Instanzvariablen* genannt, i.G. zu globalen Variablen wie in C)
- ▶ Ein Objekt hat ein definiertes **Verhalten** mit **Schnittstelle**,
- ▶ Ein Objekt lebt in einem **Objektnetz** (in Relationen, “noone is an island”)
- ▶ Ein **System** besteht aus vielen **Objekten**, die miteinander interagieren und die aus einer Domäne übernommen sind

Objekt zur Repräsentation einer Ampel

DD-0X5A: Ampel

- state: State = „yellow“

privat

+ switchOn()
+ switchOff
+ switch()

Objekt zur Repräsentation eines Termins

12. Abteilungsrunde

+ start: Time = 15:15

öffentl.

+ join()

Einfaches fachliches Modell: Zustandswechsel einer Ampel in Java

- ▶ Achtung: “class” ist ein spezielles “object”

```
class TrafficLight {
    private int state = { green, yellow, red, redyellow,
        blinking };
    public switch () {
        if (state == green) state = yellow;
        if (state == yellow) state = red;
        if (state == red) state = redyellow;
        if (state == redyellow) state = green;
    }
    public switchOn () {
        state = red;
    }
    public switchOff () {
        state = blinking;
    }
}
```

Fachliches Modell “Steuererklärung”

Wie sieht ein Objekt in (j)UML aus?



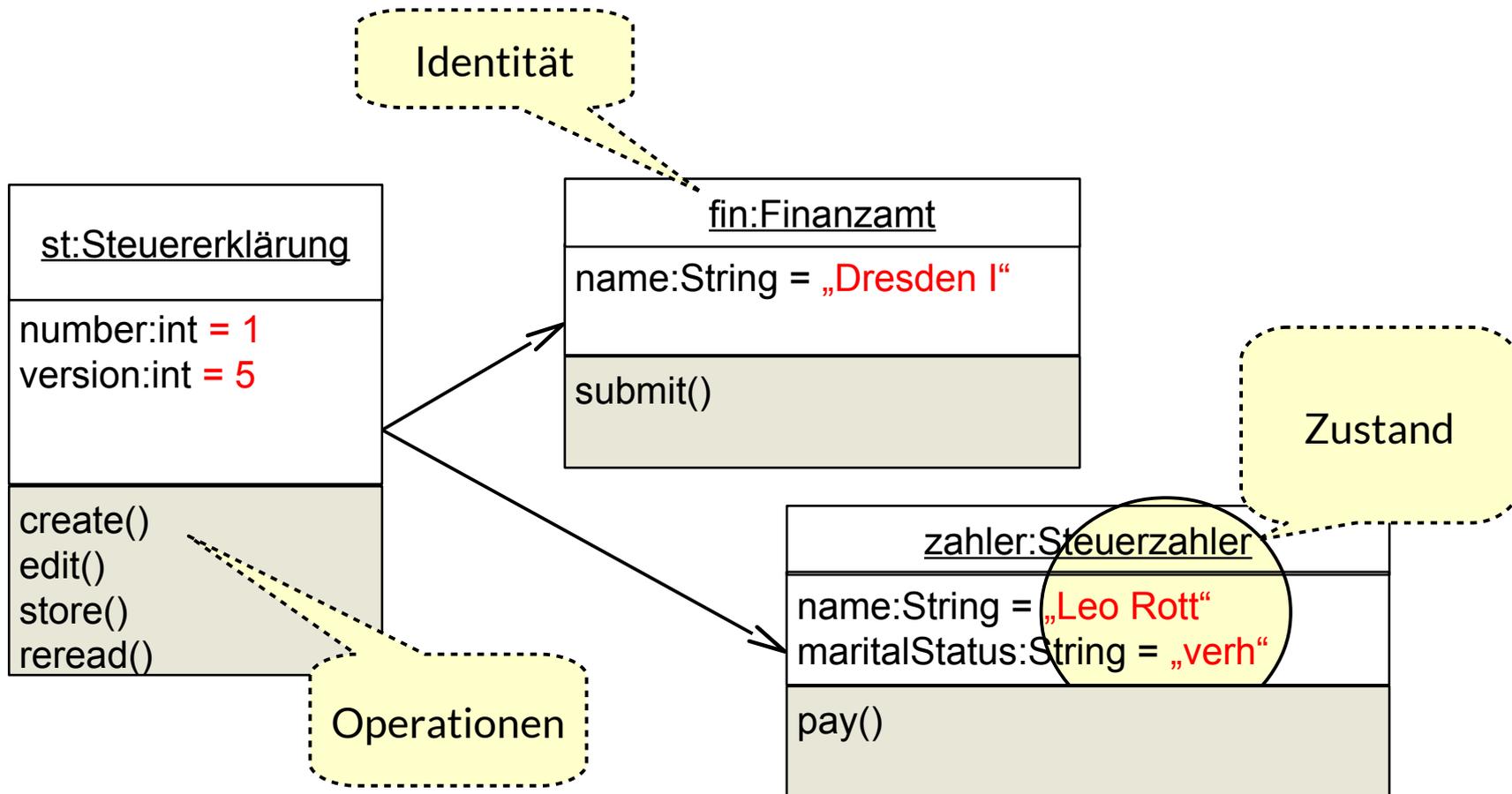
- ▶ Bsp.: Eine Einkommenssteuererklärung wird von einem Steuerzahler ausgefüllt. Sie wird zuerst mit Standardwerten initialisiert, dann in Iterationen ausgefüllt: abgespeichert und wiedergelesen. Zuletzt wird sie beim Finanzamt eingereicht.
- ▶ Die Werte aller *Attribute* bildet den *Objektzustand*
- ▶ Wie sieht ein **UML Objektdiagramm** aus, das das Zusammenspiel von Objekten zeigt?

Fachliches Modell "Steuererklärung"

Wie sieht ein Objekt in (j)UML aus?



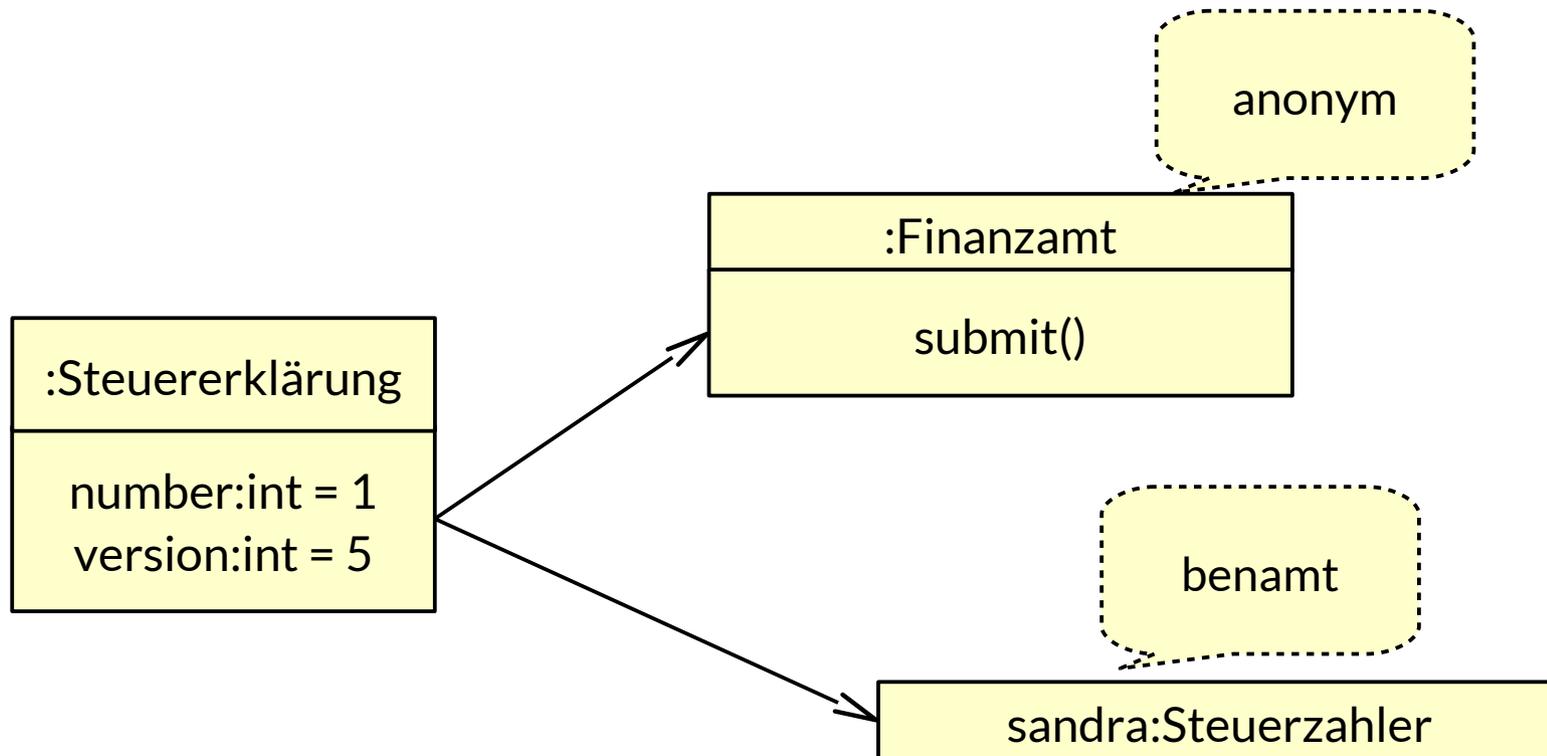
- ▶ Nutze das **UML Objektdiagramm**, um das Zusammenspiel von Objekten zu zeigen:



Wie sieht ein Objekt in UML aus?



- ▶ Attribute und/oder Operationen (Methoden, Funktionen, Prozeduren) können im fachlichen Modell zunächst weggelassen werden
- ▶ Objekte können *anonym* sein oder einen Variablennamen (Identifikator) tragen



Das Hauptprogramm "Main"

- ▶ Eine Operation spielt eine besondere Rolle:

```
public static void main(String args[])
```

- wird vom Laufzeitsystem (Betriebssystem) des Computers immer als erste aufzurufende Operation identifiziert
- Parameter: ein Array von Strings, das die Argumente, die auf der Kommandozeile übergeben werden, übergibt

- ▶ Aufruf von Shell:

```
$ java CommandLineDemo this is my first program
```

```
this
```

```
is
```

```
my
```

```
first
```

```
program
```

```
$
```

```
public class CommandLineDemo {  
    public static void main(String args[]) {  
        System.out.println(args[0]);  
        System.out.println(args[1]);  
        System.out.println(args[2]);  
        System.out.println(args[3]);  
        System.out.println(args[4]);  
    }  
}
```

Analyse: Was ist gefährlich bei diesem Programm?

22 Softwaretechnologie (ST)

```
$ java CommandLineDemo this is my first
```

```
this
```

```
is
```

```
my
```

```
first
```

```
Exception in thread "main"
```

```
java.lang.ArrayIndexOutOfBoundsException: 4
```

```
at CommandLineDemo.main(CommandLineDemo.java:22)
```

```
$
```

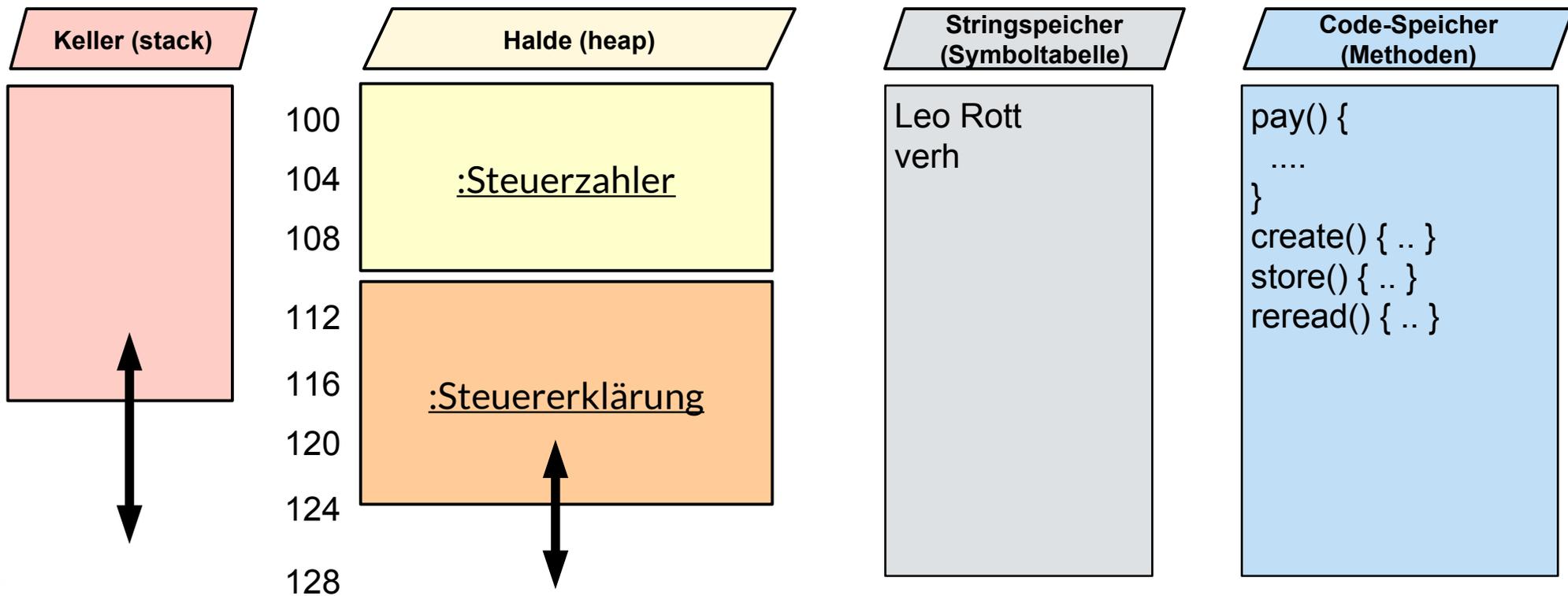
```
public class CommandLineDemo {  
    public static void main(String args[]) {  
        System.out.println(args[0]);  
        System.out.println(args[1]);  
        System.out.println(args[2]);  
        System.out.println(args[3]);  
        System.out.println(args[4]);  
    }  
}
```

Heim-Übung: Erstes Programm

- ▶ 1) Installiere OpenJDK (Achtung, Lizenz hat im Herbst 2018 gewechselt!)
 - <http://jdk.java.net/12/>
 - Installiere tar.gz im PC und im Programm-Suchpfad
 - Stelle sicher, dass javac und java im Programm-Suchpfad
- ▶ 2) Lade Datei **CommandLineDemoLoop.java** von der Webseite
 - Lese und analysiere die Datei:
 - Wie stellt man fest, dass ein Array eine bestimmte Länge hat?
 - Wie wird etwas auf dem Terminal ausgegeben?
 - Wozu der import von java.util.*?
 - Übersetze die Datei mit javac
 - Führe das Programm aus (Vorsicht, nur den Klassennamen benutzen)

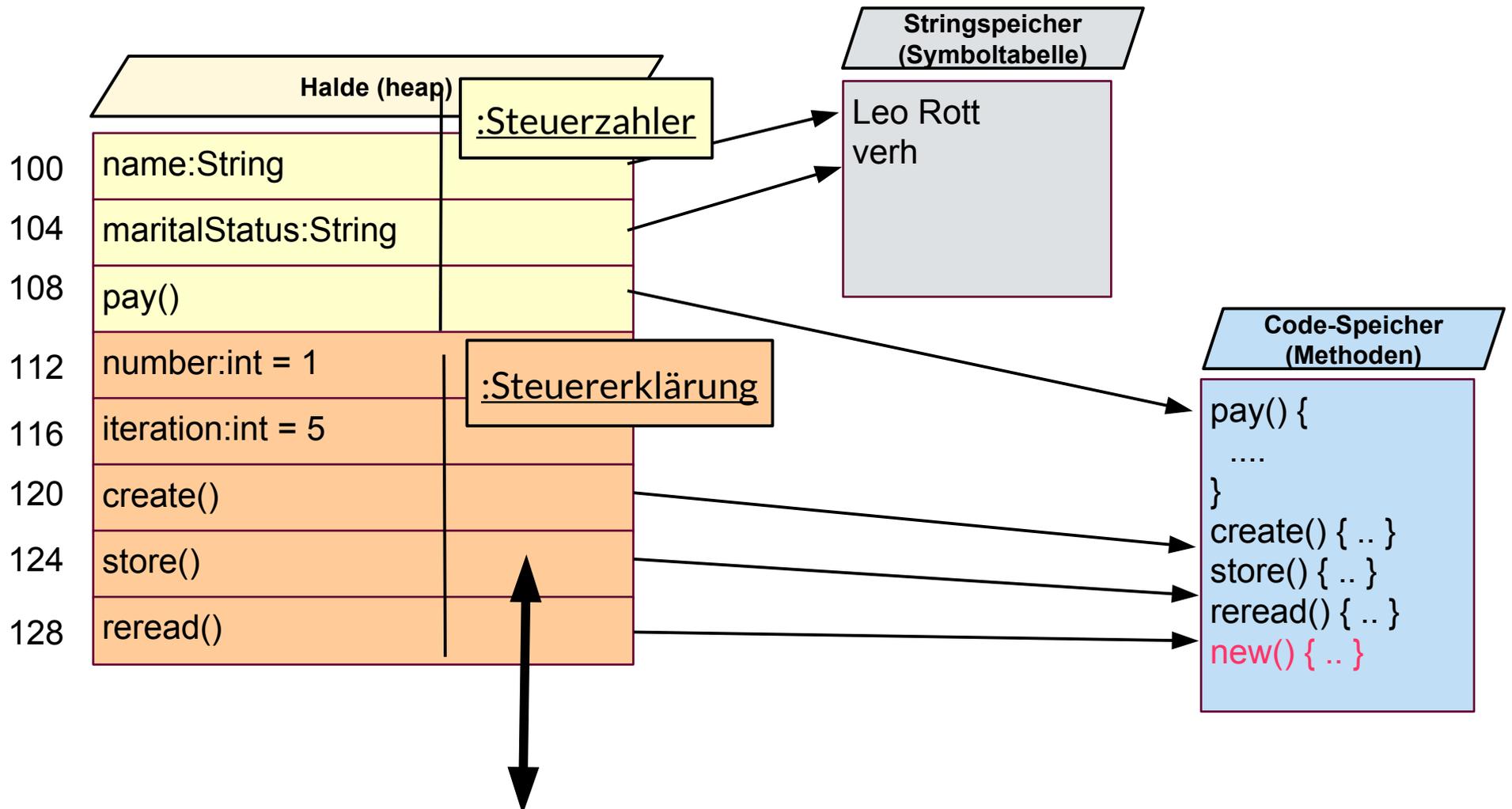
Wie sieht ein Objekt im Speicher aus? (vereinfacht)

- ▶ Der Speicher setzt sich zusammen aus
 - **Halde** (heap, dynamisch wachsender Objektspeicher)
 - **Keller** (stack, Laufzeitkeller für Methoden und ihre Variablen)
 - **Symboltabelle** (symbol table, halbdynamisch: statischer und dynamischer Teil, enthält alle Zeichenketten (*Strings*))
 - **Code-Speicher** für Methoden (statisch, nur lesbar)
 - **Klassenprototypen** für Klassen (statisch, nur lesbar, → später)



Wie sieht ein Objekt im Speicher aus? (vereinfacht)

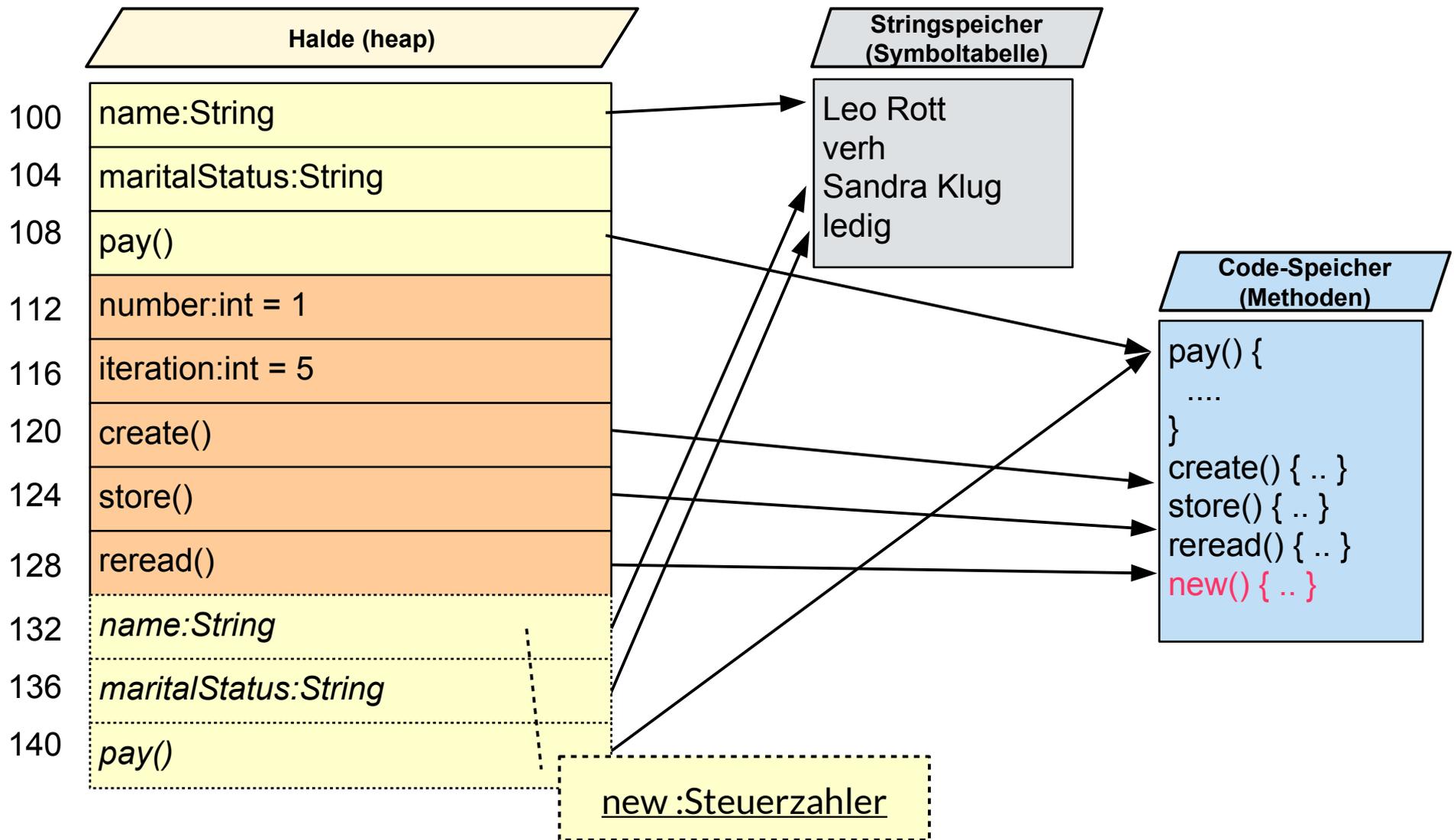
- ▶ Die Halde wächst *dynamisch* mit wachsender Menge von Objekten
 - verschiedene Lebenszeiten



Was passiert bei der Objekterzeugung im Speicher?

- Der Allokator (Objekterzeuger) `new()` spielt eine besondere Rolle:

```
zahler2 = new Steuerzahler("Sandra Klug", "ledig");
```



Was können Objekte eines Programms darstellen?

- ▶ **Simulierte Objekte** der realen Welt (der *Anwendungsdomäne*).
 - Ampeln, Uhren, Türen, Menschen, Häuser, Maschinen, Weine, Steuerzahler, Finanzamt, etc.
 - Wenn die Software in ein reales System eingebaut wird, wie z.B. in eine Ampel, spricht man von einem *eingebetteten System*
- ▶ **Simulierte abstrakte Dinge** der Gedankenwelt der Anwender (Anwendungsobjekte, fachliche Objekte, Geschäftsobjekte, business objects)
 - Adressen, Rechnungen, Löhne, Steuererklärungen, Bestellungen, etc.
- ▶ **Konzepte und Begriffe** der Gedankenwelt der fachlichen Domäne
 - Farben, Geschmack, Regionen, politische Einstellungen, etc.
 - Dann nennt man das Modell eine *Ontologie (Begriffsmodell)*
- ▶ Substantivierte **Handlungen**. Objekte können auch Aktionen darstellen
 - Entspricht der Substantivierung eines Verbs (*Reifikation, reification*)
 - sog. Kommandoobjekte, wie Editieren, Drucken, Zeichnen, etc.

10.2. Klassen

Der Begriff der “Klasse” leitet sich vom Begriff der “Äquivalenzklasse” der Mathematik ab



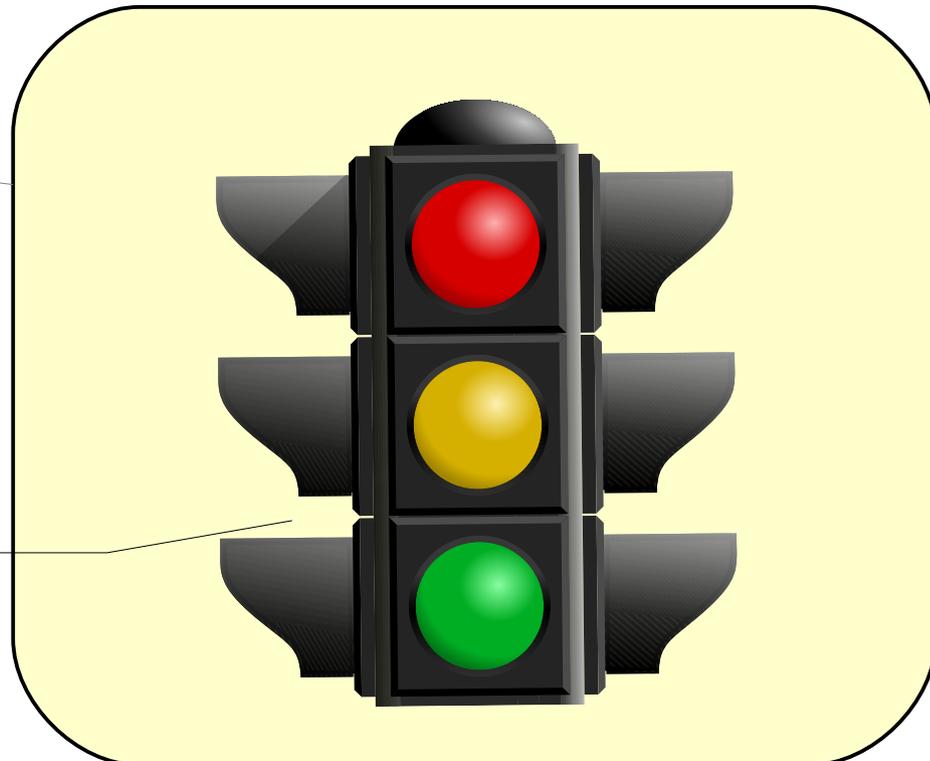
Objekte und ihre Klassen

- ▶ Ein weiterer Grundbegriff der Objektorientierung ist der der *Klasse*.
- ▶ *Fragen:*
 - Zu welcher Menge gehört das Objekt?
 - In welche Äquivalenzklasse einer Klassifikation fällt das Objekt?
 - Welcher Begriff beschreibt das Objekt?
 - Welchen Typ hat das Objekt? (Struktur)
 - Welches Verhalten zeigt das Objekt?

Verhaltensklasse
Struktur-Klasse
Äquivalenzklasse

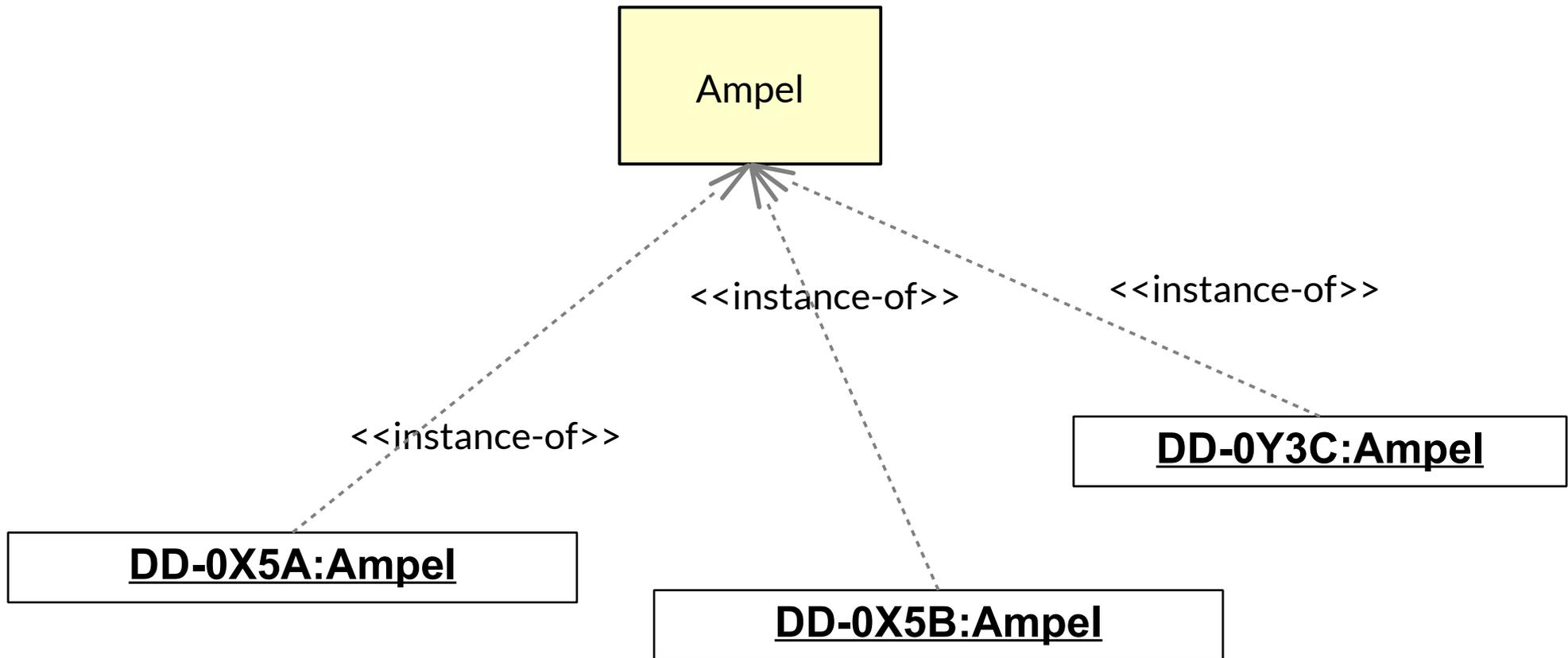
Klasse (Menge):
„Ampel“

Objekt:
„DD-0X5A“



Beispiel: Ampel-Klasse und Ampel-Objekte

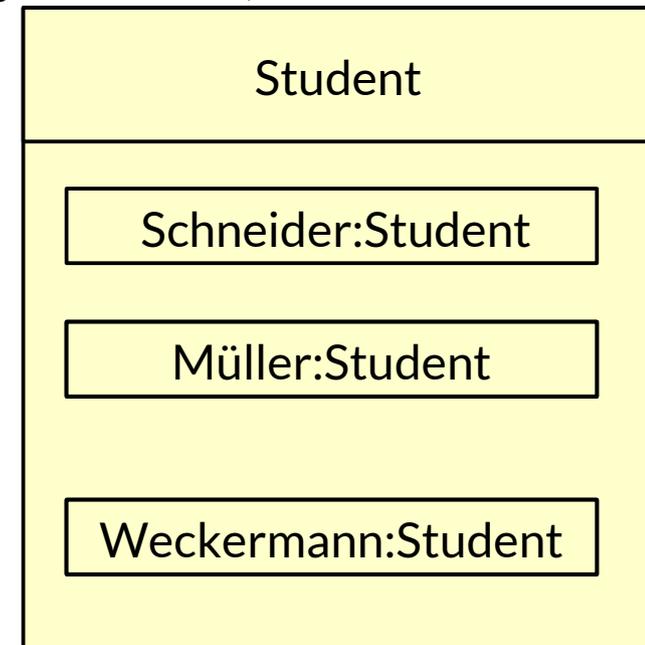
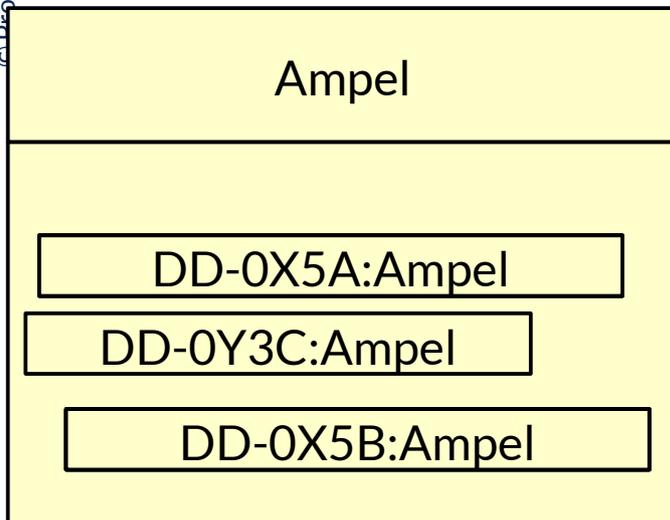
- ▶ Objekte, die zu Klassen gehören, heißen *Elemente*, *Ausprägungen* oder *Instanzen* der Klasse



<<instance-of>>
-----> Ausprägung einer Klasse (Vorsicht: Das Wort *Instanz* ist Informatiker-Dialekt; es bedeutet im Deutschen eigentlich etwas Anderes)

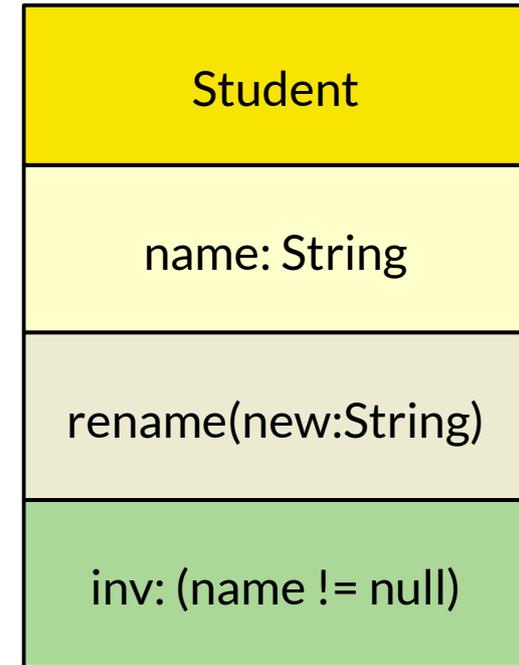
Klasse dargestellt als Venn-Diagramm (mengenorientierte Sicht)

- ▶ In der *mengenorientierten Sicht* bilden Klassen Äquivalenzklassen, die als Flächen in einem Venn-Diagramm ausgedrückt werden
 - Objekt-Klasse-Beziehungen werden durch Enthaltensein in Flächen ausgedrückt
 - Merke die Verbindung zu Datenbanken: Objekte entsprechen Tupeln mit eindeutigem Identifikator (OID, surrogate)
 - Klassen entsprechen Relationen mit Identifikator-Attribut
- In UML kann Schachtelung von Klassen und Objekten durch “UML-Komponenten (Blöcke)” ausgedrückt werden
 - Objekte bilden eine eigene Abteilung der Klasse (**Objekt-Extent**)



Strukturorientierte Sicht: Merkmale von Klassen und Objekten

- ▶ Eine Klasse hat **Struktur- und Verhaltensmerkmale** (*features*, in Java: *members*), die sie auf die Objekte überträgt.
 - Damit haben alle Objekte der Klasse die gleichen Merkmale
 - Die Merkmale sind in **Abteilungen** (*compartments*) gegliedert:
 - **Attribute** (*attributes*, Daten) haben in einem Objekt einen objektspezifischen Wert
 - Die Werte bilden in ihrer Gesamtheit den *Zustand* des Objektes, der sich über der Zeit ändert.
 - **Operationen** (Methoden, Funktionen, Prozeduren, *functions*, *methods*) sind Prozeduren, die den Zustand des Objektes abfragen oder verändern können.
 - **Invarianten** sind Bedingungen, die für alle Objekte zu allen Zeiten gelten
 - Die Menge der Invarianten bildet eine Äquivalenzrelation
- ▶ Da ein Objekt aus der Schablone der Klasse erzeugt wird, sind anfänglich die Werte seiner Attribute die des Klassenprototyps.
- ▶ Durch Ausführung von Methoden ändert sich jedoch der Zustand, d.h., die Attributwerte.



Verhaltensorientierte Sicht: Arten von Methoden

33

Softwaretechnologie (ST)

Zustandsinvariante Methoden:

- **Anfragen (*queries*, Testbefehle).** Diese Prozeduren geben über den Zustand des Objektes Auskunft, verändern den Zustand aber nicht.
- **Prüfer (*checker*, Prüfbefehle)** prüfen eine Konsistenzbedingung (Integritätsbedingung, integrity constraint, Invariante) auf dem Objekt, verändern den Zustand aber nicht.
 - Diese Prozeduren liefern einen booleschen Wert.
 - Prüfer von Invarianten, Vorbedingungen für Methoden, Nachbedingungen
- **Tester (Zustandstester)** rufen einen Prüfer auf und vergleichen sein Ergebnis mit einem Sollwert. Tester prüfen z.B. Invarianten

Zustandsverändernde Methoden:

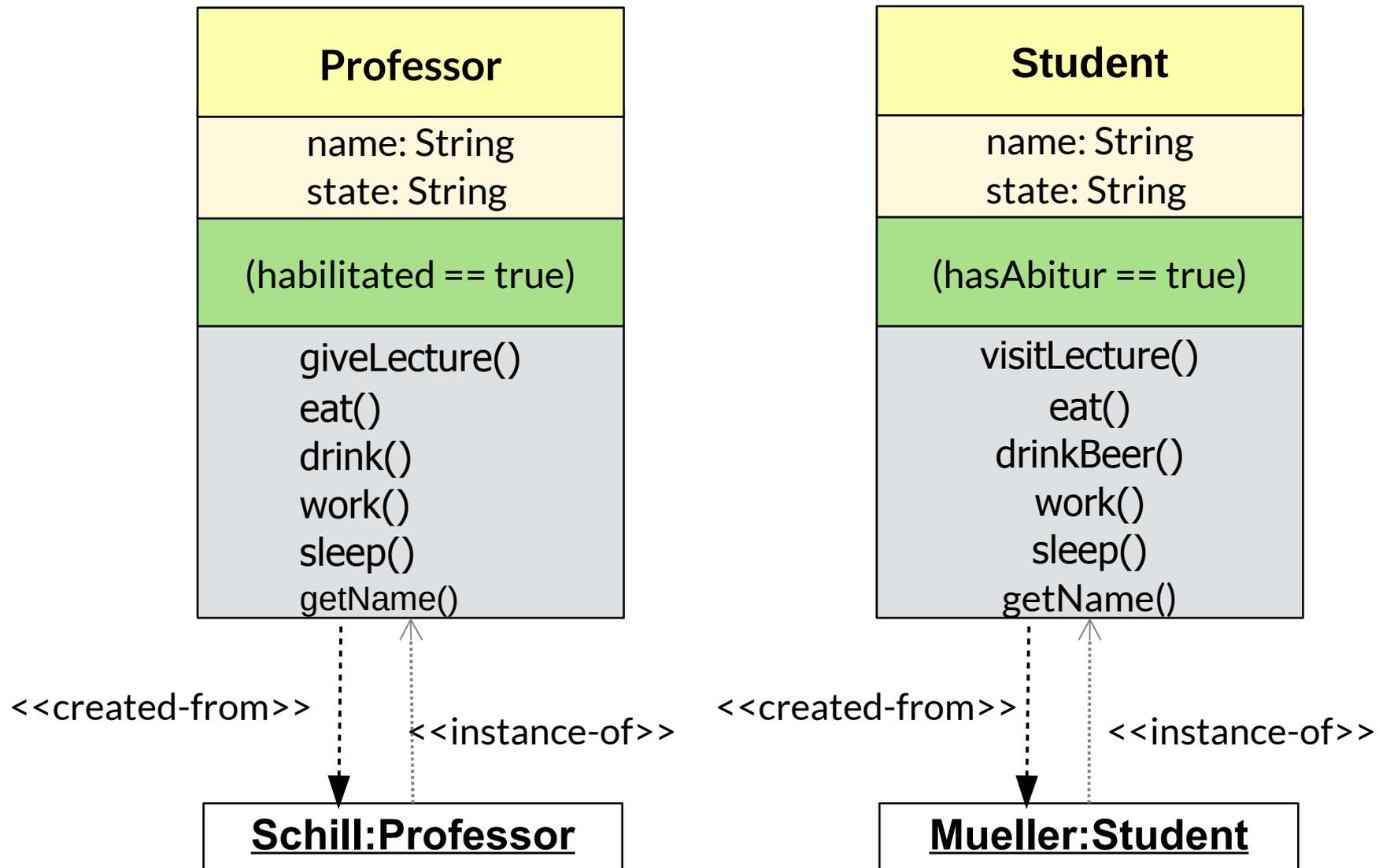
- **Modifikatoren (Mutatoren)**
 - **Attributmodifikatoren** ändern den (lokalen) Zustand des Objekts
 - **Netzmodifikatoren** ändern die Vernetzung des Objektes
- **Repräsentationswechsler (*representation changers*)** transportieren das Objekt in eine andere Repräsentation
 - z.B. drucken den Zustand des Objekts in einen String, auf eine Datei oder auf einen Datenstrom.
- **Allgemeine Methoden**

Student
name: String
inv: (name != null)
String getName() rename(new:String) bool checkNonNull()
runTest(newName)
setName(newName)
setNeighbor(neighbor)
serialize(File)

Klasse in verhaltensorientierter Sicht

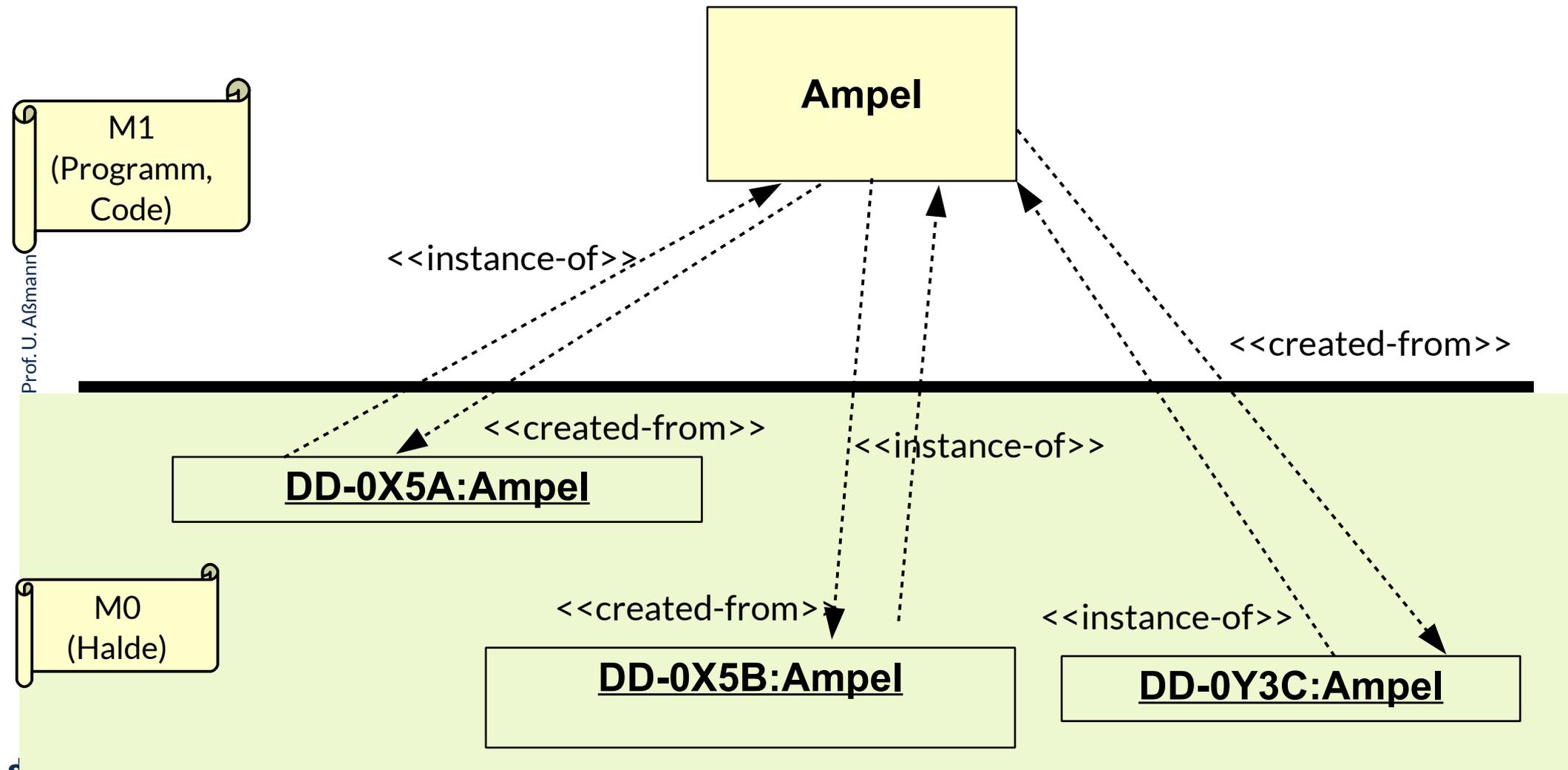
Professoren und Studenten

- ▶ Ausprägungen werden durch Klassen-Objekt-Assoziationen ausgedrückt
- ▶ *created-from* ist die inverse Relation zu *instance-of*



Klasse in strukturorientierter Sicht

- ▶ Objekte befinden sich auf Modellierungsschicht 0 (M0)
- ▶ Klassen befinden sich auf Modellierungsschicht 1 (M1): Klassen sind Äquivalenzklassen und Schablonen für Objekte



Strukturorientierte Sicht

Wie sieht eine Klasse im Speicher aus?

- ▶ Um die unterschiedlichen Sichtweisen auf Klassen zusammen behandeln zu können, gehen wir im Folgenden von folgenden Annahmen aus:
- ▶ Jede Klasse hat ein **Prototyp-Objekt** (eine Schablone)
 - Der Prototyp wird vor Ausführung des Programms angelegt (im statischen Speicher) und besitzt
 - eine Tabelle mit Methodenadressen im Codespeicher (die *Methodentabelle*). Der Aufruf einer Methode erfolgt immer über die Methodentabelle des Prototyps
 - Eine Menge von statische Attributwerten (Klassenattribute)
- ▶ und einen **Objekt-Extent (Objektmenge)**, eine Menge von Objekten (vereinfacht als Liste realisiert), die alle Objekte der Klasse erreichbar macht
 - In einer Datenbank entspricht der Objekt-Extent der Relation, die Klasse dem Schema

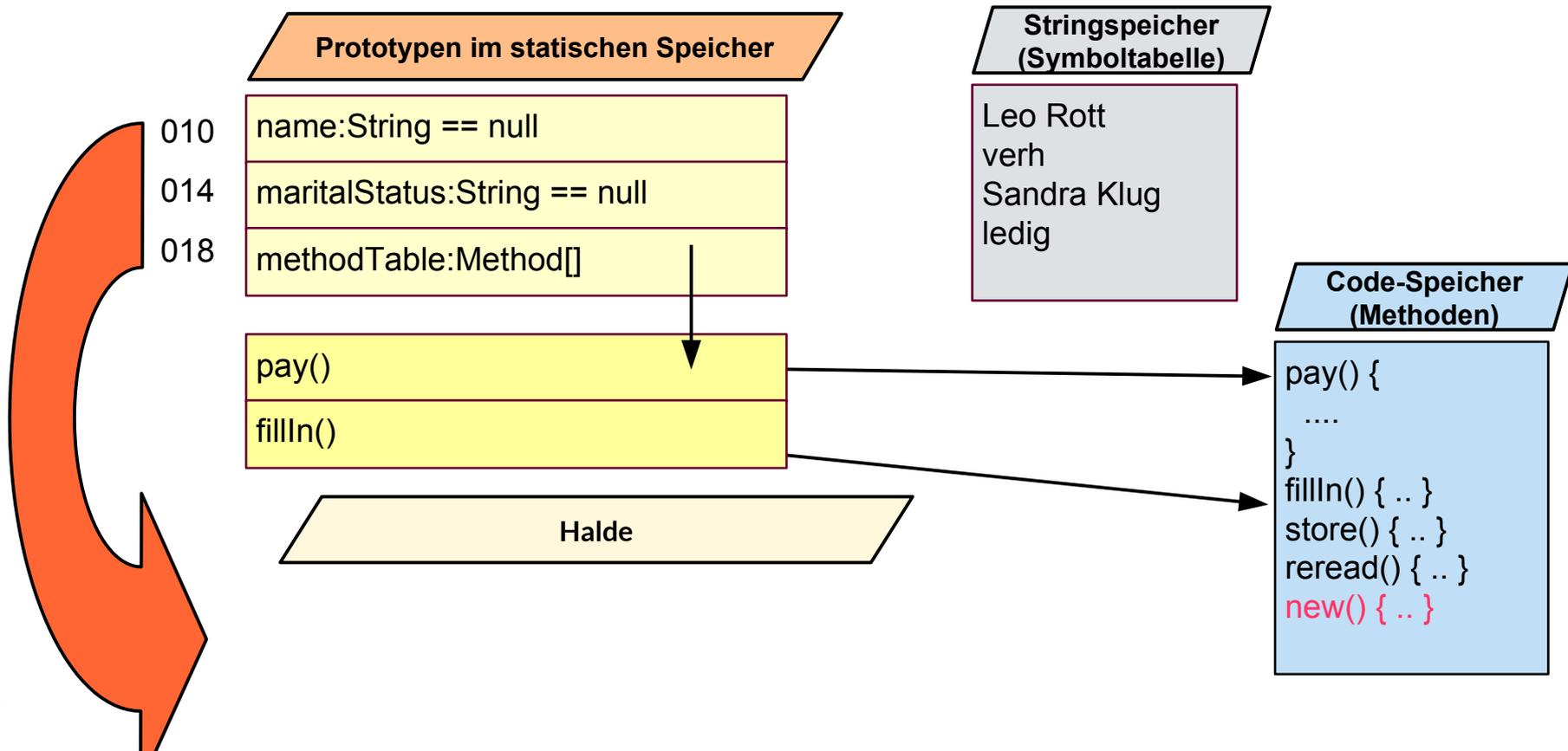
Wie erzeugt man ein Objekt für eine Klasse? (Verfeinerung)

37

Softwaretechnologie (ST)

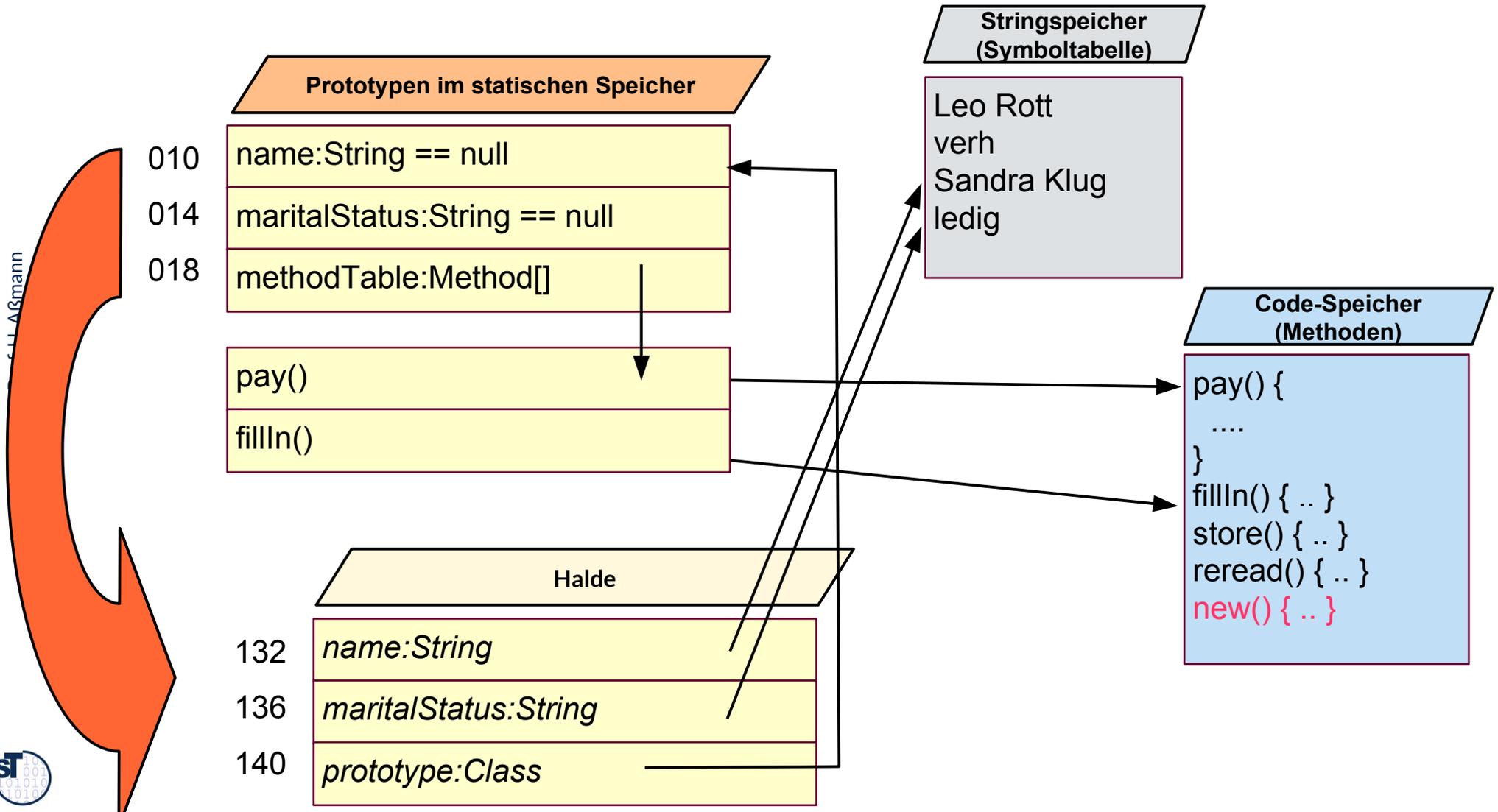
```
zahler2 = new Steuerzahler("Sandra Klug", "ledig");
```

- ▶ Man kopiert den Prototyp in die Halde:
 - Man reserviert den Platz des Prototyps in der Halde
 - kopiert den *Zeiger* auf die Methodentabelle (Vorteil: Methodentabelle kann von allen Objekten einer Klasse benutzt werden)
 - und füllt die Prototypattributwerte in den neuen Platz



Wie erzeugt man ein Objekt für eine Klasse? (Verfeinerung)

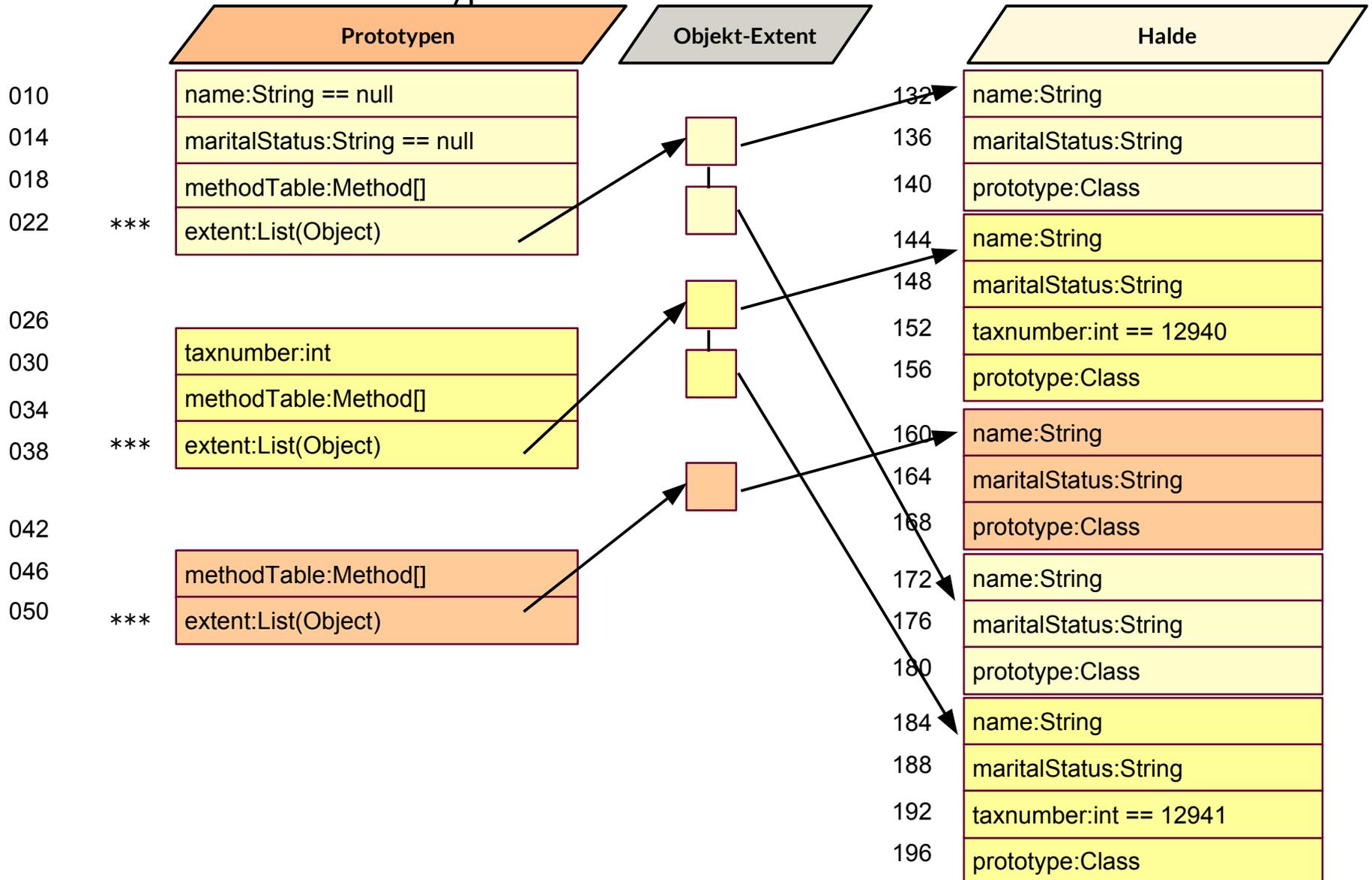
► Ergebnis:



© LL & Mann

Die Objektliste einer Klasse (Objekt-Extent) im Speicher

- Der **Objekt-Extent** ist eine Liste der Objekte einer Klasse. Wir benötigen dazu ein neues Attribut des Prototyps



10.2.1. Objektnetze

- ▶ Auf Klassen- und Objektebene



Objektnetze

- ▶ Objekte existieren selten alleine; sie werden zu **Objektnetzen** verflochten (Objekte und ihre Relationen)
 - Ein Link von einem Objekt zum nächsten heisst **Referenz** (*Objekt-Assoziation*)
 - Die Beziehungen der Objekte in der Domäne müssen abgebildet werden

```
class TaxDeclaration {
    TaxPayer taxPayer; void edit() { .. };
    void setTaxPayer(TaxPayer t) { taxDecl = t; }
}
class TaxPayer {
    TaxDeclaration taxDecl;
    void setTaxDeclaration(TaxDeclaration t) {
        taxDecl = t; }
    void work() {..}
}

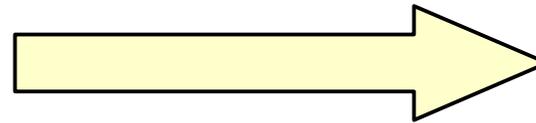
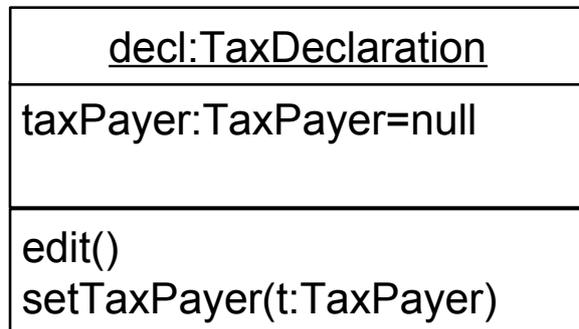
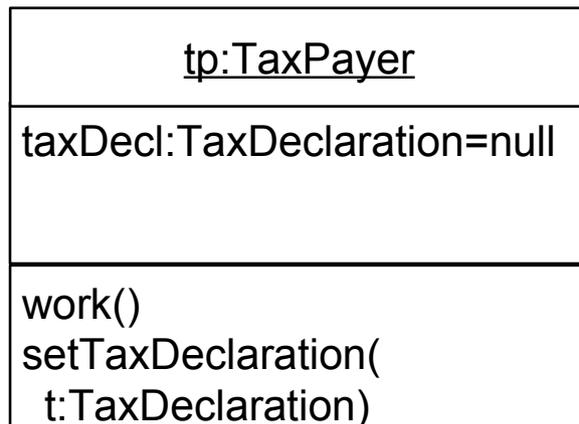
...
TaxPayer tp = new TaxPayer();
// tp0.taxDecl == undefined
TaxDeclaration decl = new TaxDeclaration();
// decl.taxPayer == undefined
tp.setTaxDeclaration(decl); // tp.taxDecl == decl
decl.setTaxPayer(tp);      // decl.taxPayer == tp
tp.work();
```

<u>tp:TaxPayer</u>
taxDecl:TaxDeclaration=decl
work() setTaxDeclaration(t:TaxDeclaration)

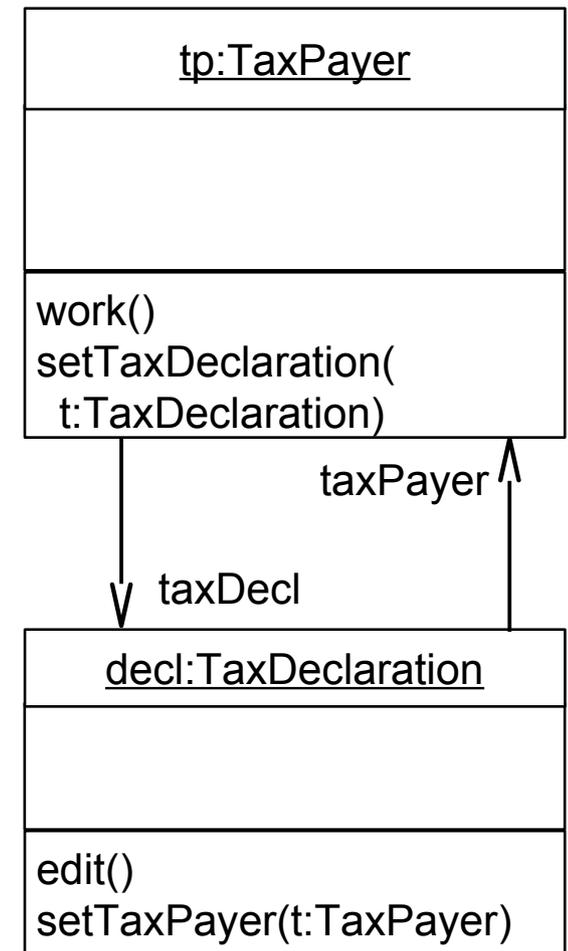
<u>decl:TaxDeclaration</u>
taxPayer:TaxPayer=tp
edit() setTaxPayer(t:TaxPayer)

Objektwertige Attribute in Objektnetzen

- ▶ ... können als Objektnetze in UML dargestellt werden
- ▶ In Java werden also Referenzen durch Attribute mit dem Typ eines Objekts (also kein Basistyp wie int); in UML durch Pfeile

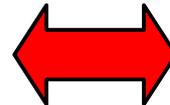
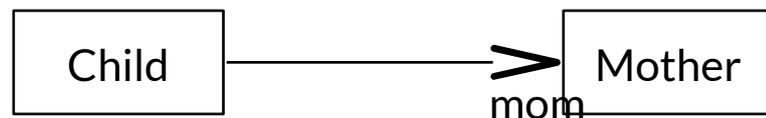


`tp.setTaxDeclaration(tp);`
`decl.setTaxPayer(decl);`



Klassennetze und Objektnetze

- ▶ Klassendiagramme (M1) sind “Zwangsjacken” für Objektdiagramme (M0)
- ▶ Objekte und Klassen können zu **Objektnetzen** verbunden werden:
 - Klassen durch *Assoziationen* (gerichtete Pfeile)
 - Objekte durch *Links* (*Zeiger*, *pointer*, gerichtete Pfeile)
- ▶ Klassennetze prägen Objektnetze, d.h. *legen* ihnen *Obligationen auf*

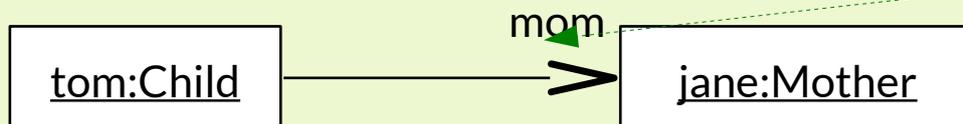


```
class Child {
    ...
    Mother mom;
    ...
}
```

M1

Halde:

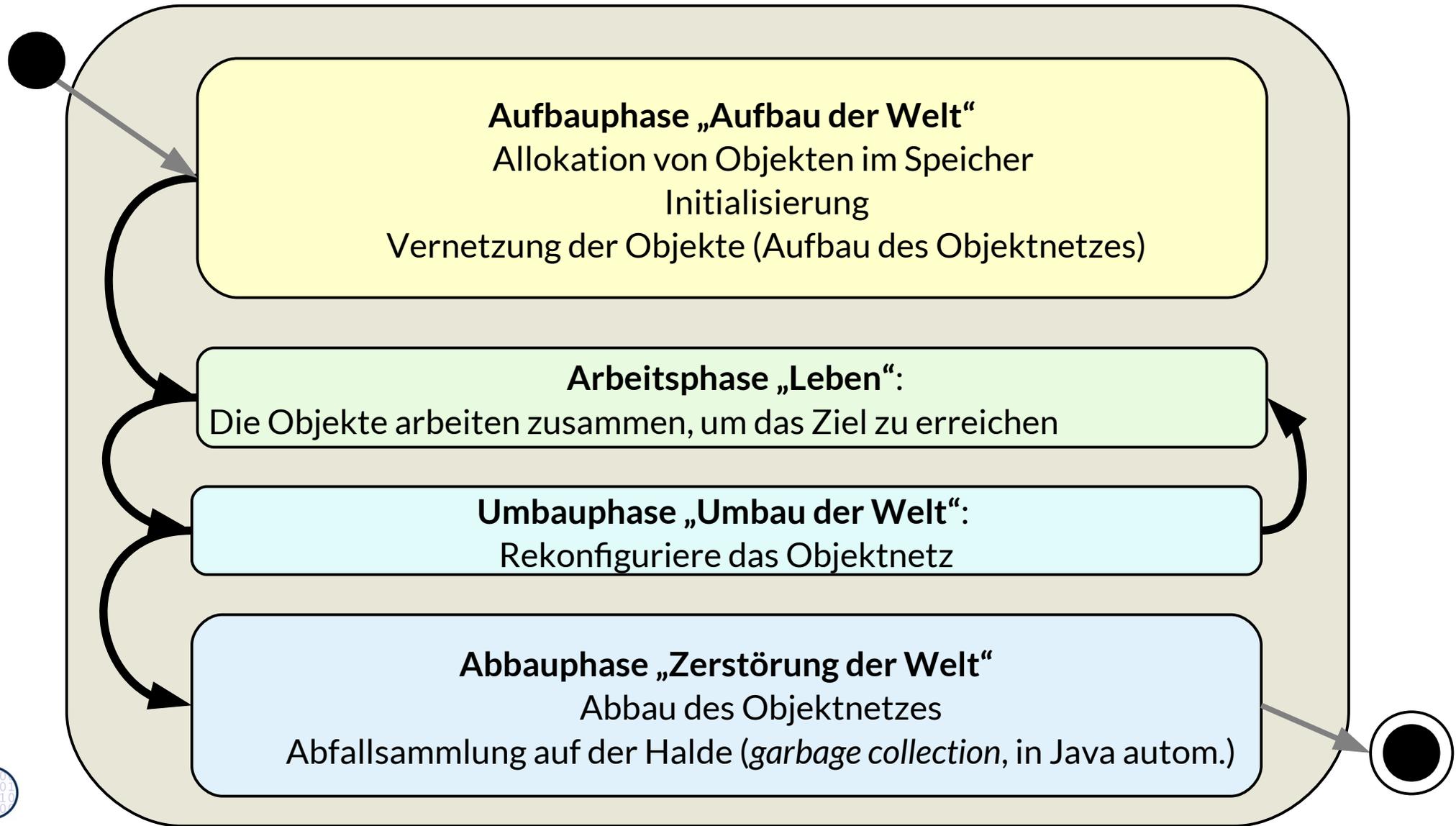
M0



```
Child tom = new Child();
tom.mom = jane;
...
```

Phasen eines objektorientierten Programms

- ▶ Die folgende Phasengliederung ist als Anhaltspunkt zu verstehen; oft werden einzelne Phasen weggelassen oder in der Reihenfolge verändert



Phasen eines objektorientierten Programms

```
class TaxDeclaration { TaxPayer taxPayer; static int number = 0;
  void setTaxPayer(TaxPayer t) { taxDecl = t; };
  void setNumber() { number++; };
  void edit() { .. };
}
class TaxPayer { TaxDeclaration taxDecl;
  void setTaxDeclaration(TaxDeclaration t) { taxDecl = t; }
  void work() {..}
}
```

```
TaxPayer tp = new TaxPayer(); // tp.taxDecl == undefined
TaxDeclaration decl = new TaxDeclaration(); // decl.taxPayer == undefined
```

```
tp.setName („John Silver“);
decl.setNumber ();
```

```
tp.setTaxDeclaration(decl); // tp.taxDecl == decl
decl.setTaxPayer(tp); // decl.taxPayer == tp
```

```
tp.work();
decl.edit();
```

```
tp = null;
decl = null;
```

Allokation

Initialisierung

Vernetzung

Arbeitsphase

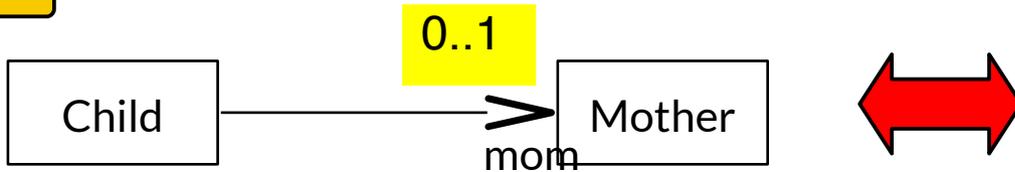
Abbauphase

Invarianten auf Links und Assoziationen

- ▶ Invarianten können in UML auch für Relationen spezifiziert werden
 - Multiplizitäten für die Anzahl der Partner (Kardinalitätsbeschränkung der Assoziation)

▶ “Ein Kind kann höchstens eine Mutter haben”

M1

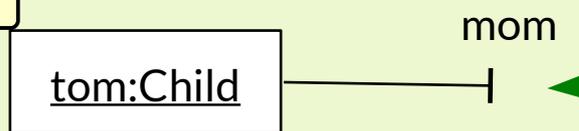


```
class Child {  
    ...  
    Mother mom; // 0..1  
    ...  
}
```

Halde:



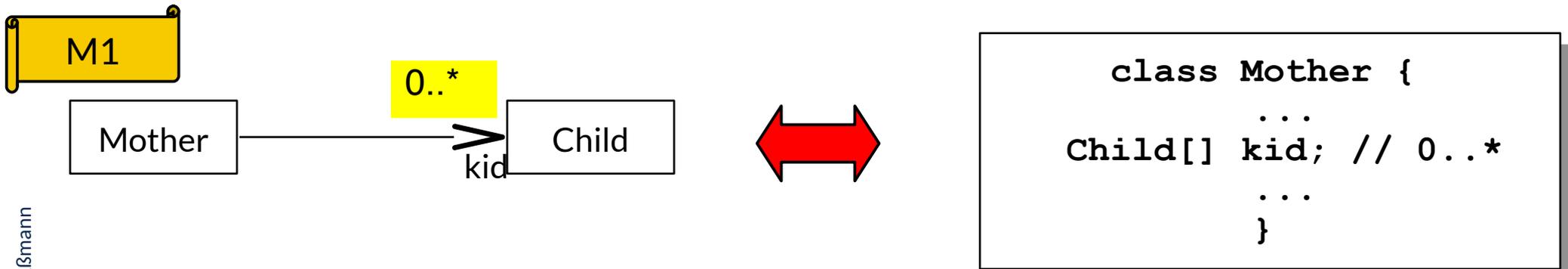
M0



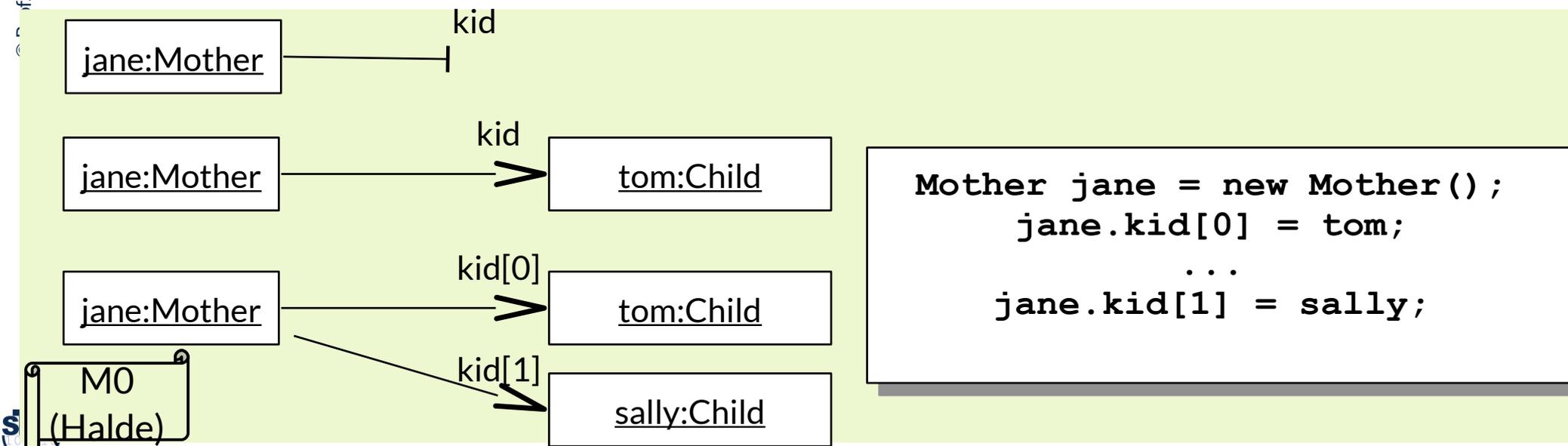
```
Child tom = new Child();  
tom.mom = jane; // 1  
...  
tom.mom = null; // 0
```

Mehrstellige Assoziationen

- ▶ Eine Mutter kann aber viele Kinder haben
 - Implementierung in Java durch integer-indizierbare Felder mit statisch bekannter Obergrenze (*arrays*). Allgemeinere Realisierungen im Kapitel "Collections".
- ▶ Assoziationen und ihre Multiplizitäten prägen also die Gestalt der Objektnetze.



Prof. U. Aßmann



10.2 Zusammenfassung: Klassen als Begriffe, Mengen und Schablonen

<<concept>>
Bildung

48 Softwaretechnologie (ST)

- ▶ **Begriffsorientierte Sicht:** Eine Klasse stellt einen *Begriff* dar. Dann *charakterisiert* die Klasse ein *Konzept*
 - Man nennt das Modell eine *Begriffshierarchie*, *Begriffswelt* (*Ontologie*, gr. Lehre von der Welt)
- ▶ **Mengenorientierte Sicht:** (z.B. in Datenbanken) Eine Klasse *enthält* eine Menge von Objekten
 - Eine Klasse *abstrahiert* eine Menge von Objekten
- ▶ **Schablonenorientierte (ähnlichkeitsorientierte) Sicht:**
 - Eine Klasse bildet eine *Äquivalenzklasse* für eine Menge von Objekten
 - Eine Äquivalenzklasse ist eine spezielle Menge, die durch ein gemeinsames Prädikat charakterisiert ist (Klassenprädikat, Klasseninvariante, Äquivalenzprädikat)
- ▶ **Strukturorientierte Sicht:** Die Klasse schreibt die innere **Struktur** ihrer Objekte vor (**Strukturäquivalenz**)
 - Objekt erbt das Prädikat und die Attribute der Klasse
 - Bildung eines neuen Objektes aus einer Klasse in der strukturorientierten Sicht:
 - Eine Klasse enthält einen speziellen Repräsentanten, ein spezielles Objekt, ein Schablonenobjekt (Prototyp) für ihre Objekte. Ein Objekt wird aus einer Klasse erzeugt (Objektallokation), indem der Prototyp in einen freien Speicherbereich kopiert wird.
- **Verhaltensorientierte Sicht:** Die Klasse kann zusätzlich das **Verhalten** ihrer Objekte vorschreiben (**Verhaltensäquivalenz**). Ein Objekt wird aus einer Klasse erzeugt (Objektallokation),
 - **Verhaltensäquivalenz:** Damit erbt das neue Objekt das Verhalten der Klasse (die Operationen), das Prädikat und die Attribute des Prototyps (meistens Nullwerte wie 0 oder null)

<<set>>
Flower

<<template>>
Student

<<concrete>>
Ampel

10.3 Objektorientierte Modellierung

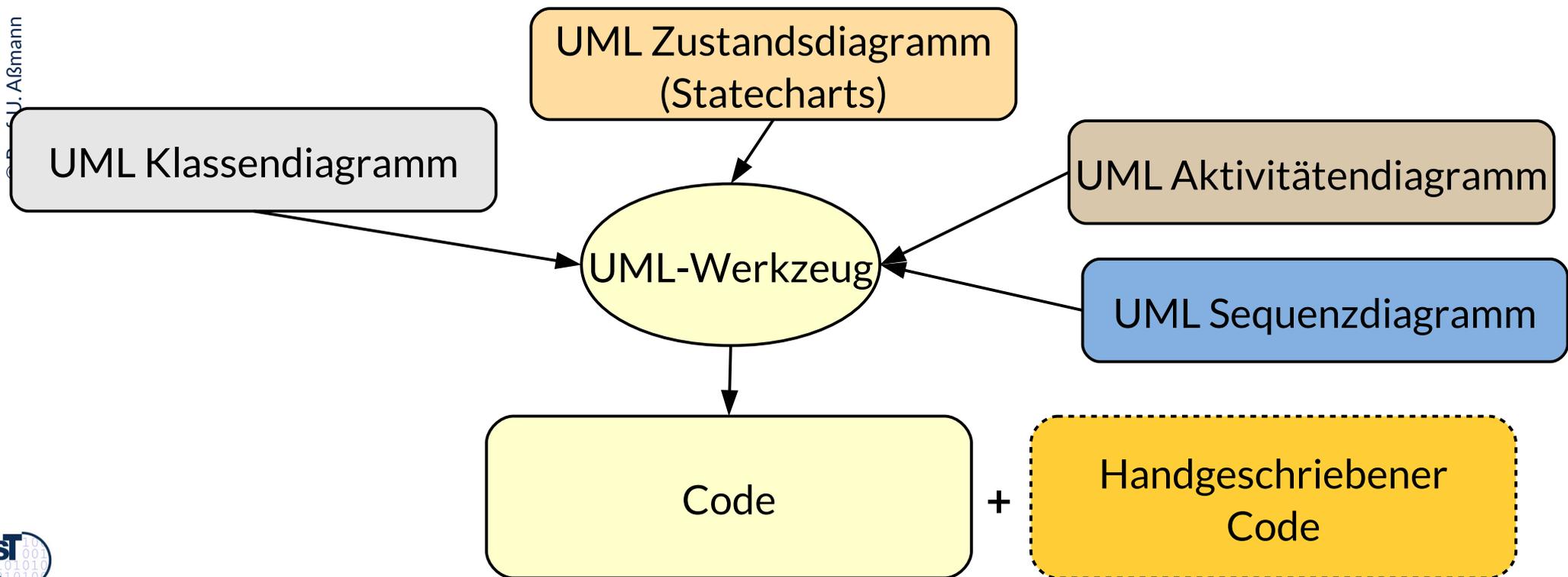
wenn kundennahe und parallele Szenarien *einfach* aufgeschrieben werden sollen

- ▶ Programmierung spezifiziert ein System **vollständig**
- ▶ Modellierung spezifiziert einfachere **Sichten** auf ein System
 - Wird oft in der Anforderungsanalyse und im Entwurf gebraucht
 - Wird zur Abstraktion eingesetzt, um das komplexe Softwaresysteme zu vereinfachen



System-Modellierung mit UML

- ▶ UML besteht aus einer Sprachfamilie, deren Sprachen unterschiedliche Sichten auf das System modellieren
- ▶ **Modellierung** spezifiziert mehrere fragmentarische Sichten eines Systems, die an sich einfacher sind als das gesamte System
 - Vorteil: Sichten können oft verifiziert werden
 - Aus Modellen kann per Werkzeug Code generiert werden
- ▶ Beispielhaftes Szenario mit Modell-Sichten:



Prof. Dr. U. Alßmann

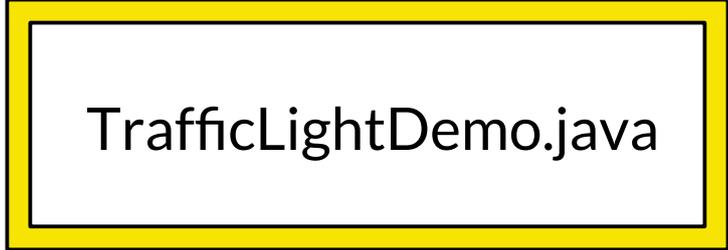


Heim-Übung: Ampeln

52

Softwaretechnologie (ST)

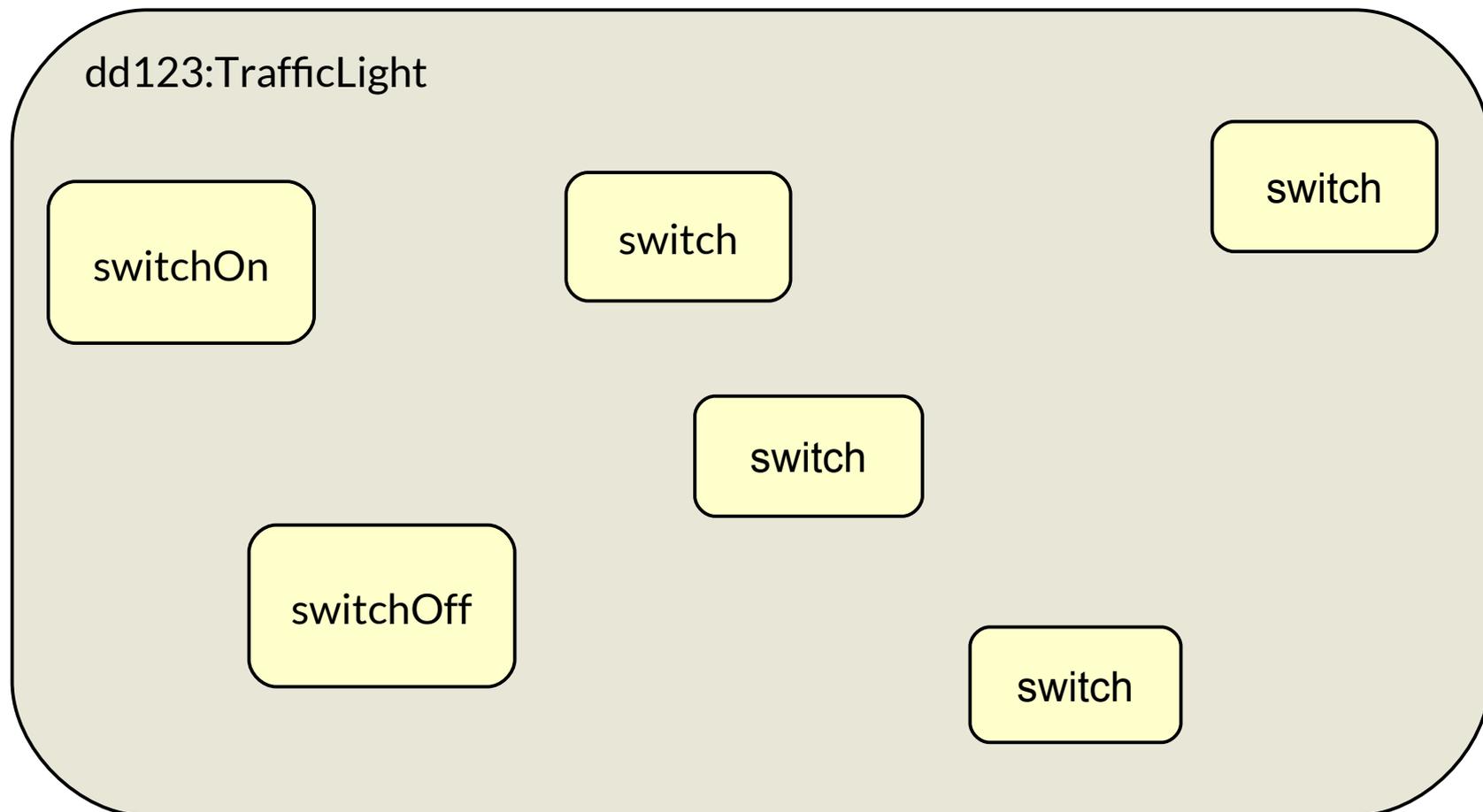
- ▶ Lade Datei `TrafficLightDemo.java` von der Webseite
- ▶ Lese und analysiere die Datei:
 - Wie bestimmt man die Zahl der erzeugten Ampeln?
 - Identifiziere den Konstruktur der Klasse
 - Wie wird der Konstruktur eingesetzt?
 - Wie schaltet man eine Ampel weiter?
- ▶ Übersetze die Datei mit `javac`
- ▶ Führe das Programm aus (Vorsicht, nur den Klassennamen benutzen)



TrafficLightDemo.java

Ein Objekt besteht aus einer Menge von Aktivitäten auf einem Zustand (UML-Aktivitätendiagramm, UML-AD)

- ▶ Die Reihe der Aktivitäten (Operationen) eines Objektes nennt man **Lebenszyklus**.
- ▶ Reihenfolgen von Aktivitäten kann man in UML mit einem **Aktivitätendiagramm** beschreiben
- ▶ Hier: die Hauptaktivität (Lebenszyklus) von dd123 ist in Unteraktivitäten aufgeteilt



Allokation und Aufruf eines Objektes in Java

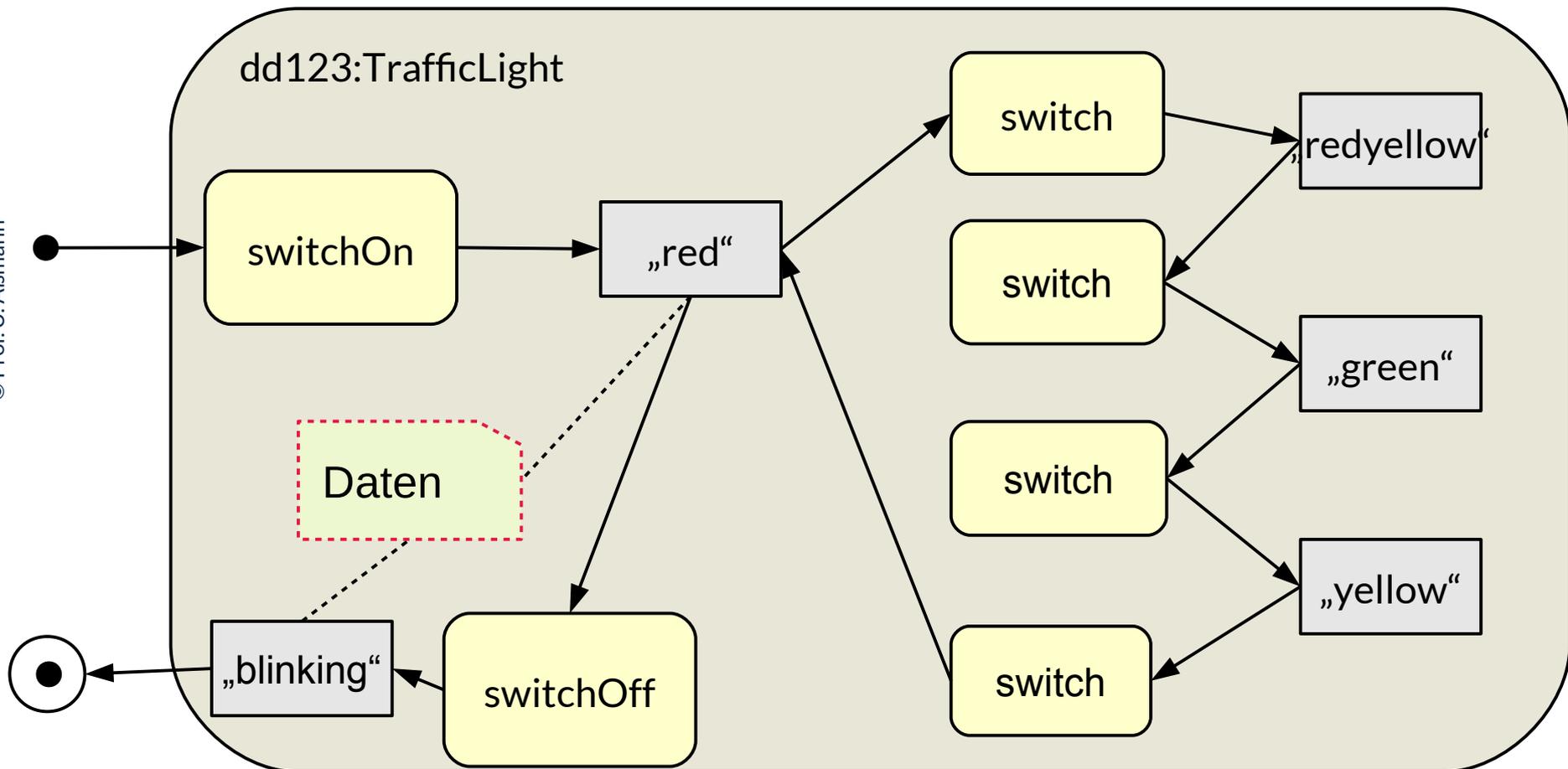
- ▶ Objekte durchlaufen im Laufe ihres Lebens viele Zustandsveränderungen, die durch Aufrufe von Operationen verursacht werden
- ▶ Das objektorientierte Programm simuliert dabei den Lebenszyklus eines Domänenobjekts

```
// Typical life of a traffic light
TrafficLight dd123 = new TrafficLight();
    // Allokation: lege Objekt im Speicher an, initialer Zustand ist
    // „blinking“

dd123.switchOn(); // Zustand wird „red“
while (true) {
    dd123.switch(); // Yields: john.state == „redyellow“
    dd123.switch(); // Yields: john.state == „green“
    dd123.switch(); // Yields: john.state == „yellow“
    dd123.switch(); // Yields: john.state == „red“
}
```

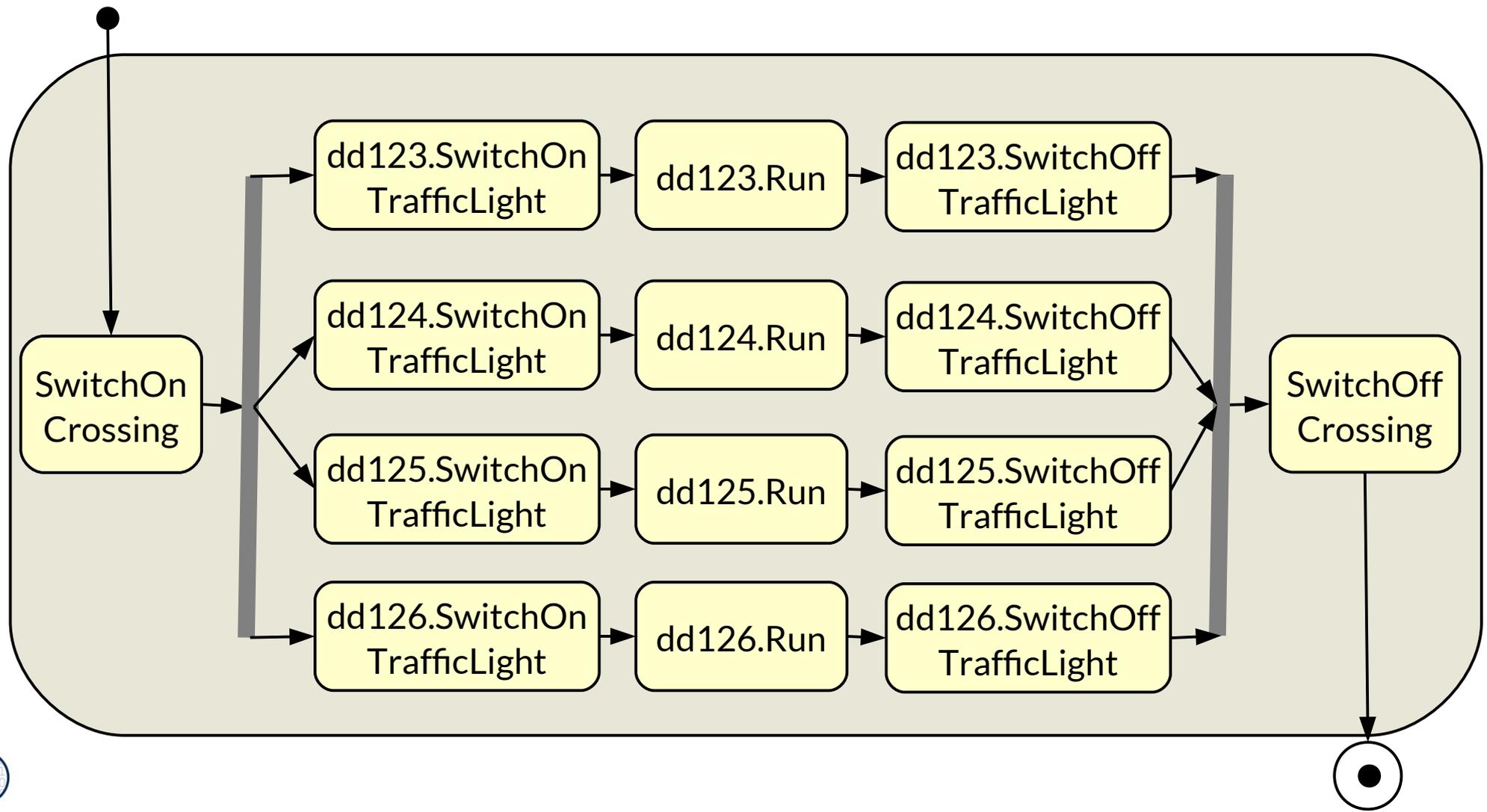
Objekt-Lebenszyklus mit UML-Aktivitätendiagramm

- ▶ Die Reihe der Aktivitäten (Operationen) eines Objektes nennt man **Lebenszyklus**.
- ▶ Reihenfolgen von Aktivitäten kann man in UML mit einem **Aktivitätendiagramm** beschreiben
- ▶ Hier: die Hauptaktivität (Lebenszyklus) von dd123 ist in Unteraktivitäten aufgeteilt



Objekt-Lebenszyklus mit parallelen Aktivitäten

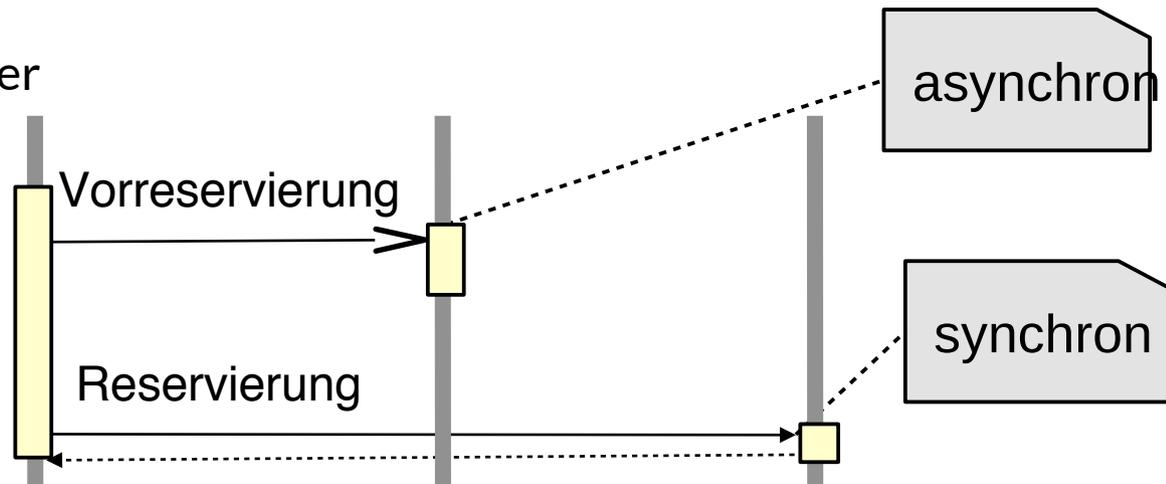
- ▶ Aktivitäten können parallel vor sich gehen



Aufrufe und Nachrichten in sequentiellen und parallelen OO Sprachen

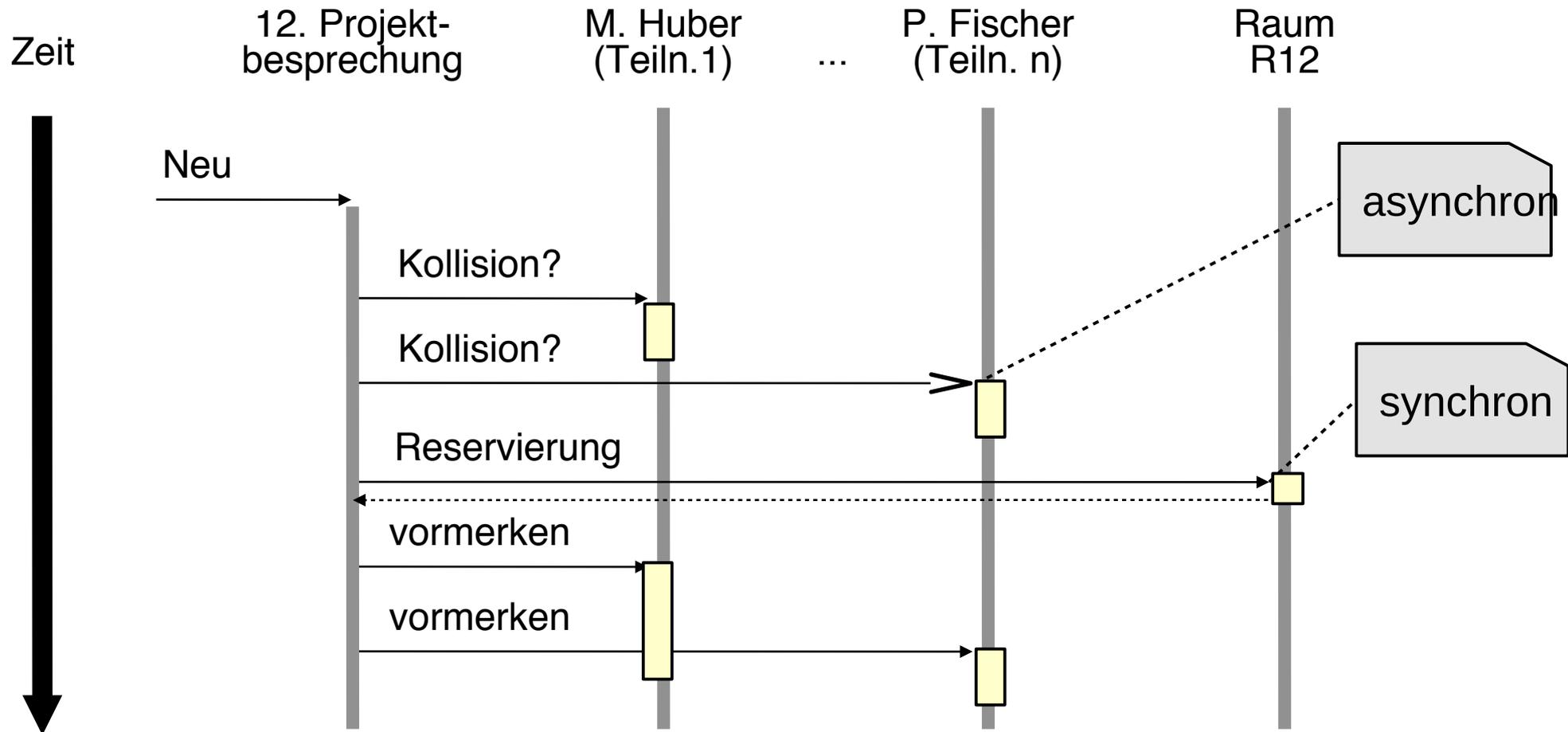
- ▶ Objekte kommunizieren durch
 - Aufrufe (call, synchron)
 - Senden von Nachrichten (Botschaft, message, asynchron)
 - ▶ Sie reagieren auf den Empfang einer Nachricht mit dem Ausführen eines **Dienstes (Methode, Operation)**
- In einer **sequentiellen objekt-orientierten Sprache** (wie Java) gibt es nur synchrone Aufrufe, bestehend:
- einer Aufruf-Nachricht, einen Dienst auszuführen
 - einer **synchronen** Ausführung einer Methode und
 - einer Aufruf-Fertigmeldung (mit Rückgabe)

- ▶ In einer **parallelen objekt-orientierten Sprache** (wie UML-AD) setzt sich ein Aufruf an ein Objekt zusammen aus:
 - einer Nachricht
 - einer **asynchronen** Ausführung von Methoden (der Sender kann parallel weiterlaufen)
 - Ggf. einer Aufruf-Fertigmeldung (mit Rückgabe), die vom Sender ausdrücklich abgefragt werden muss

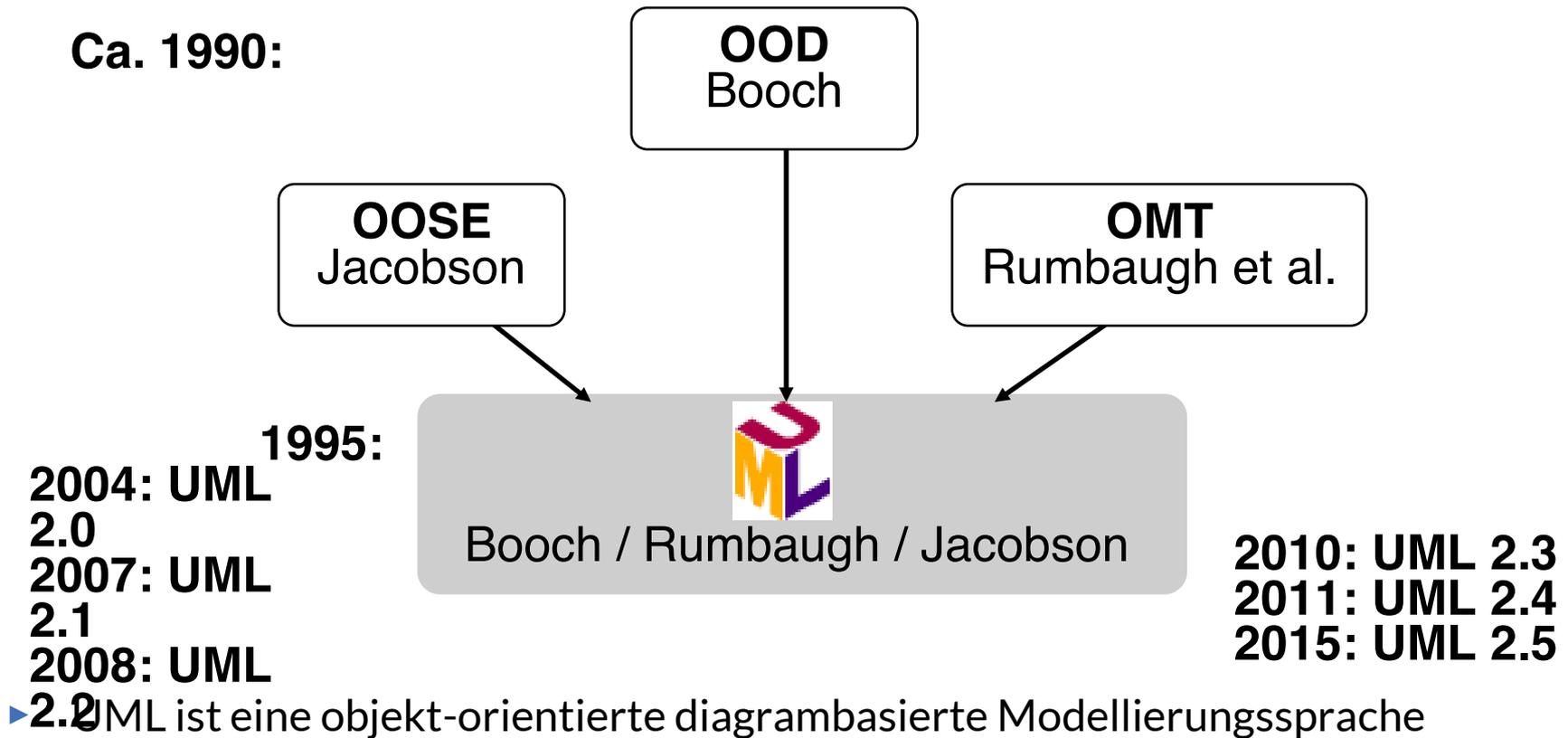


UML-Sequenzdiagramm (UML-SC): Kooperative Ausführung in Szenarien paralleler Objekte

- ▶ In UML kann man sequentielle oder parallele Operationen spezifizieren
- ▶ Kooperierende Objekte mit lokaler Datenhaltung
- ▶ Nachrichten starten synchrone oder asynchrone Methoden



Modellierung mit der Unified Modeling Language UML



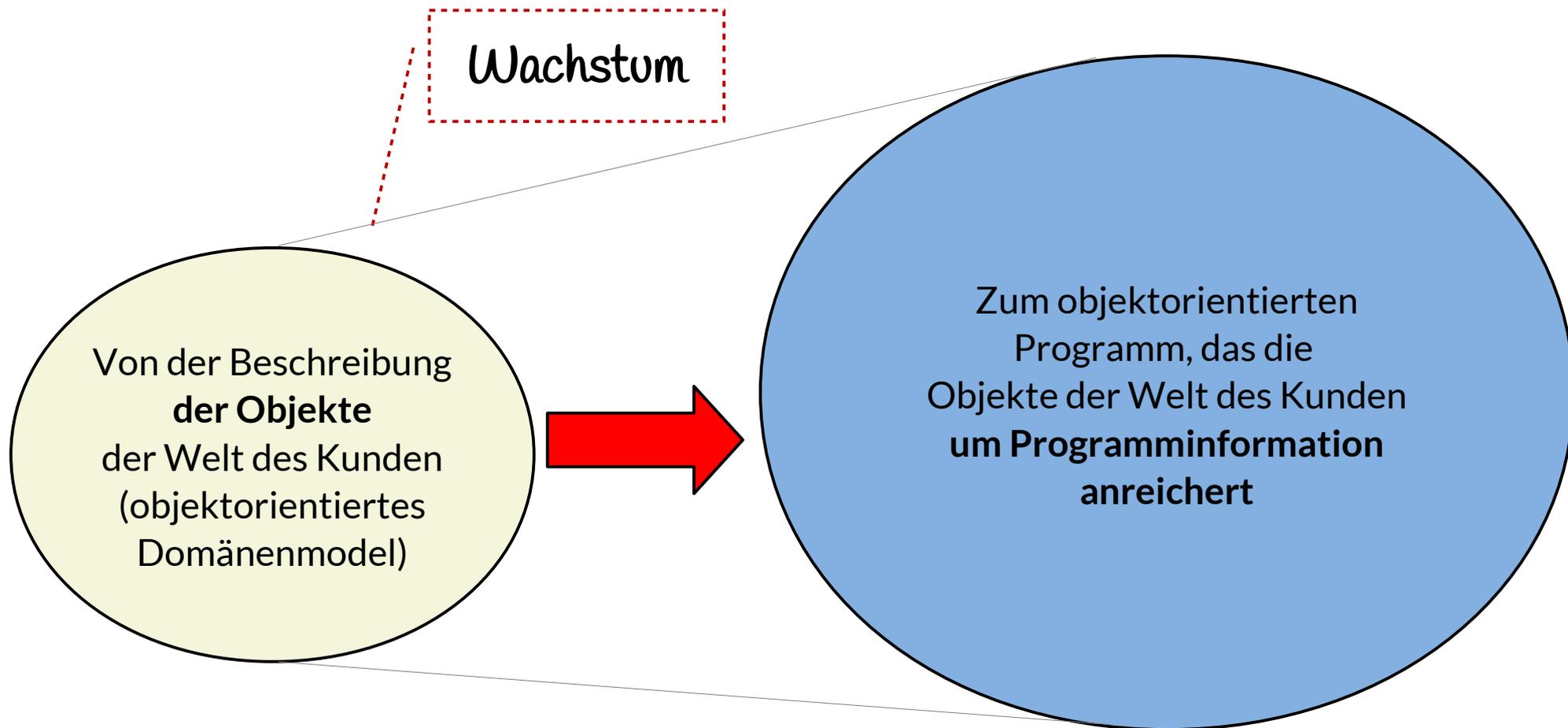
- ▶ **UML** ist eine objekt-orientierte diagrammbasierte Modellierungssprache
 - Programmfragmente werden in Diagramm-Modellen ausgedrückt
- ▶ Industriestandard der OMG (Object Management Group)
 - <http://www.omg.org/uml>
 - http://en.wikipedia.org/wiki/Unified_Modeling_Language
- ▶ Achtung: wir verwenden hier jUML (Java-äquivalent), aUML (für Analyse), dUML (für Design).

10.4 Objektorientierte Programmierung



Die zentrale Antwort des objektorientierten Ansatzes: Schrittweises Wachstum im “biologischen Programmieren”

Wie kommen wir vom Problem des Kunden zum Programm?



„Biologisches Programmieren“ setzt auf schrittweises Wachstum
aus dem fachlichen Modell heraus

Warum gerade Java?

- ▶ Java verwendet relativ **einfach** und **konzeptionell klare Konzepte**
 - Strenges Typsystem, um Fehler früh zu finden
 - Automatische Speicherbereinigung: weniger Speicherprogrammierfehler
 - Generische Klassen für streng typisierte Code-Schablonen
- ▶ Java ist **platform-unabhängig** von Hardware und Betriebssystem.
 - Kein Zugriff auf Speicheradressen (im Unterschied zu C), daher plattformportabel
 - *Java Bytecode* in der *Java Virtual Machine*
- ▶ Java ist angepaßt an moderne Benutzungsoberflächen, inkl. Web
 - *Java Swing Library, Java FX, Java Spring (Web)*
- ▶ Java bietet die **Wiederbenutzung** von großen Klassenbibliotheken (Frameworks, Rahmenwerken) an
 - z.B. *Java Collection Framework*
- ▶ Java ermöglicht mit Hilfe seiner Bibliotheken parallele, nebenläufige, persistente und verteilte Programme (*parallel, multi-threading, persistent, distributed*)

Objektorientierte Klassenbibliotheken (Frameworks, Rahmenwerke)

- ▶ Klassenbibliotheken sind vorgefertigte Mengen von Klassen, die in eigenen Programmen (Anwendungen) benutzt werden können
 - Java Development Kit (JDK)
 - Collections, Swing, ...
 - Test-Klassenbibliothek Junit
 - Praktikumsklassenbibliothek SalesPoint
- ▶ Durch Vererbung kann eine Klasse aus einer Bibliothek angepasst werden
 - Eine Anwendung besteht nur zu einem kleinen Prozentsatz aus eigenem Code (Wiederverwendung bringt Kostenersparnis)
- ▶ Nachteil: Klassenbibliotheken sind komplexe Programmkomponenten.
 - Man muss eine gewisse Zeit investieren, um die Klassenbibliothek kennenzulernen
 - Man muss eine Menge von Klassenbibliotheken kennen

- ▶ Keine Verhaltensgleichheit von Klassen garantiert (keine konforme Vererbung):
 - Man kann bei der Wiederbenutzung von Bibliotheksklassen Fehler machen und den Bibliothekscode *invalidieren*
- ▶ Basisdatentypen (int, char, boolean, array) sind keine Objekte
 - Anders in C#!
- ▶ JVM startet langsam. Beim Start lädt sie zuerst alle Klassen (dynamic class loading), anstatt sie statisch zu einem ausführbaren Programm zu binden
 - Übung: Starte die JVM mit dem `-verbose` flag
- ▶ Grosse Bibliothek benötigt grossen Einarbeitungsaufwand

Warum ist das alles wichtig?

- ▶ Anfangsfrage: *Wie können wir die Welt möglichst einfach beschreiben?*
- ▶ Antwort: *durch Objekte*
 - ..und ihre Klassen, die sie abstrahieren
 - ... die Beziehungen der Klassen (Vererbung, Assoziation)
 - .. ihre Verantwortlichkeiten
- ▶ Daher bietet Objektorientierung eine Entwicklungsmethodik an, die die Welt des Kunden mit der technischen Welt des Programms *brückt*
 - Die Software ist *einfach* modelliert, d.h. analog zur Welt organisiert
 - Die Software ergibt sich als “Erweiterung” der Welt
 - Daher wird die Entwicklung erleichtert
- Objektorientierte Modellierung führt Sichten ein, die die Spezifikation eines Systems erleichtern

SUMMARY

- ▶ Warum gibt es verschiedene Begriffe von Klassen? Welche kennen sie, wie grenzen sie sich voneinander ab?
- ▶ Erklären Sie den Begriff des “Objekt-Extents”.
- ▶ Welche Frage steht bei der objektorientierten Entwicklung im Vordergrund?
- ▶ Erklären Sie, warum Objekte den Speicher aufteilen und ihren Zustand kapseln.
- ▶ Welche Speicherbereiche sind dynamisch, welche konstant?
- ▶ Wie kommen die Prozeduren aus dem .class-File in den Speicher des Programms?
- ▶ Wie wird ein .class-File erzeugt?
- ▶ Welche Methode eines Java-Programms wird als erstes von wem aus aufgerufen?
- ▶ Erklären Sie das Konzept eines Arrays in Java.
- ▶ Wie kann man Objekt- und Klassendiagramme in einem Diagramm anordnen?
- ▶ Was ist M0 und M1? Wieso kommt der Keller nicht in M0 vor?

10.5 Anhang

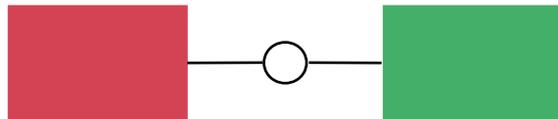
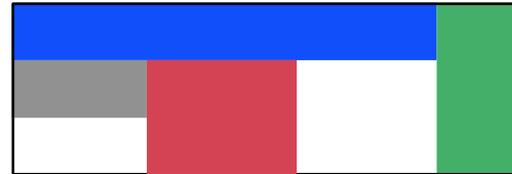


DRESDEN
concept
Exzellenz aus
Wissenschaft
und Kultur

Die Welt *einfach* modellieren

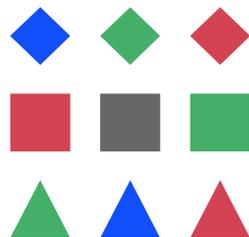
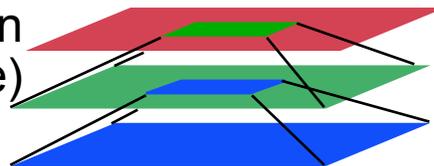
Die Antwort der Objektorientierung:
durch Software-Objekte

Identifikation von Objekten in Systemen
Kapselung von Funktionen und Zuständen in Objekten
(Verantwortungsbereiche)



Klare Schnittstellen zwischen Teilsystemen
(Benutzungsprotokolle zwischen Objekten)

Verschiedene Abstraktionsebenen
(Hierarchie)



Vorgefertigte Teile - Wiederverwendung
(Baukastenprinzip, Rahmenwerke)

Programmierparadigmen

▶ **Funktionale** Programmierung:

- Funktionsdefinition und -komposition, Rekursion
 - Werte, keine Zustände, keine Objekte mit Identität
- ```
fac(n) = if n = 0 then 1 else n * fac(n-1) end
```

▶ **Imperative** Programmierung:

- Variablen, Attribute (Zustandsbegriff)
  - Steuerfluß: Anweisungsfolgen, Schleifen, Prozeduren
- ```
k := n; r := 1; while k > 0 do r := r*k; k := k-1 end;
```

▶ **Logische** Programmierung:

- Werte, keine Zustände, keine Objekte mit Identität
- Formallogische Axiomensysteme (Hornklauseln)
- Fakten, Prädikate, Invarianten
- Deduktionsregeln (Resolution)

```
fac(0, 1) .  
fac(n+1, r) :- fac(n, r1),  
               mult(n+1, r1, r) .
```

At the end of the day, you have to put your data and operations somewhere.

Martin Odersky



▶ **Unstrukturierte** Programmierung:

- Lineare Folge von Befehlen, Sprüngen, Marken (*spaghetti code*)

```
k:=n; r:=1; M: if k<=0 goto E; r:=r*k; k:=k-1; goto M; E:...
```

▶ **Strukturierte** Programmierung:

- Blöcke, Prozeduren, Fallunterscheidung, Schleifen
- Ein Eingang, ein Ausgang für jeden Block

```
k := n; r := 1; while k > 0 do r := r*k; k := k-1 end;
```

▶ **Modulare** Programmierung:

- Sammlung von Typdeklarationen und Prozeduren
- Klare Schnittstellen zwischen Modulen

```
DEFINITION MODULE F; PROCEDURE fac(n: CARDINAL) : CARDINAL; ...
```

▶ **Logische** Programmierung:

- Darstellung von Daten als Fakten, Mengen, Listen, Bäume (Terme)
- Wissen als Regeln
- Deduktion zur Berechnung neuen Wissens

```
public rule if (n == 1) then m = n.
```

▶ **Objektorientierte** Programmierung:

- Kapselung von Daten und Operationen in Objekte
- Klassen, Vererbung und Polymorphie

```
public class CombMath extends Number { int fac(int n) ... }
```

▶ **Rollenorientierte** Programmierung:

- Kapselung von kontextbezogenen Eigenschaften von Objekten in *Rollen*
- Klassen, Vererbung und Polymorphie auch auf Rollen

```
public context ProducerConsumer {  
    public role class Producer { void put(int n); }  
    public role class Consumer { void get(int n); }  
} ...
```

Verschiedene Antworten auf “Wie komme ich zum Programm?”

- ▶ **Funktionale Sprachen (wie Haskell, ML)**
 - Eingabe wird durch Funktionen in Ausgaben umgesetzt
 - Berechnung von Werte *ohne* Zustand. Keine Referenzen auf Werte möglich
- ▶ **Imperative modulare Sprachen (wie Modula, C, Ada 83)**
 - Funktionen berechnen Werte *mit* Zustand.
 - Auf Ereignisse kann reagiert werden (reaktive Systeme)
 - Statische Aufrufbeziehungen zwischen den Funktionen
- ▶ **Logische Sprachen (Prolog, Datalog, F-Logik, OWL)**
 - Prädikate beschreiben Aussagen (Wahrheiten)
 - Deklarative Logik beschreibt inferierbares Wissen auf einer Faktenbasis
 - Kein expliziter Steuer- oder Datenfluß, ist implizit
- ▶ **Objektorientierte Sprachen (wie C++, Java, C#, Ada95)**
 - Funktionen berechnen Werte auf Objekten mit einem Zustand
 - **Domänen-Objekte bilden das Gerüst des Programms**
 - Dynamisch veränderliche Aufrufbeziehungen
- ▶ **Kontext- und Rollenorientierte objektorientierte Sprachen (wie ObjectTeams, SCROLL)**
 - Objekte haben kontextspezifische Unterobjekte
- ▶ **Modellierungssprachen (wie UML oder SysML)**
 - Zur einfachen Spezifikation von Sichten
 - Graphische Modelle, aus denen Code generiert werden kann (plattformunabhängig)

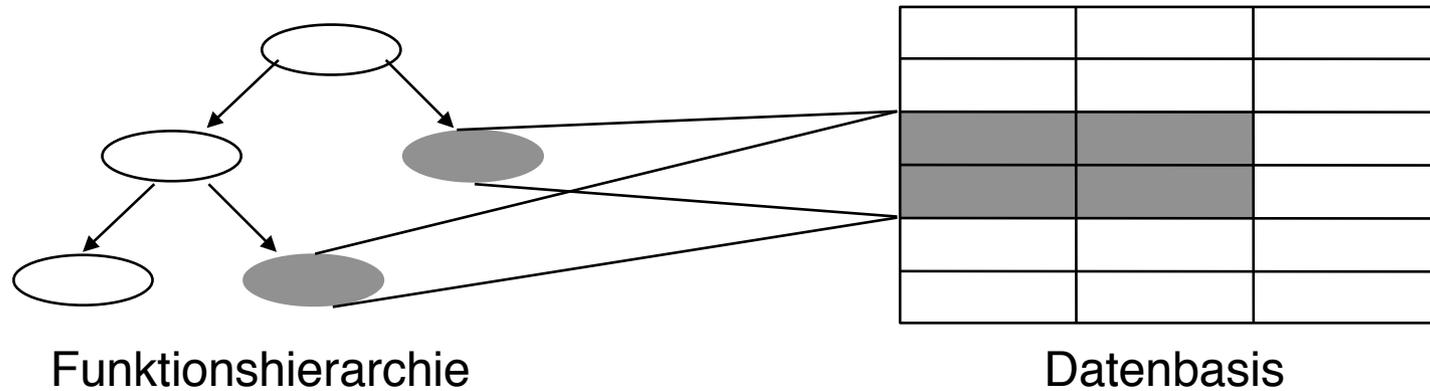
Orthogonalität der Objektorientierung

	Strukturiert	Modular	Objekt-orientiert	Rollen-orientiert
Funktional	--	ML	Haskell	--
Imperativ	Pascal	Modula-2 Ada	Java C++	ObjectTeams SCROLL
Logisch Mengenorientiert	--	XSB- Prolog	OWL fUML	--

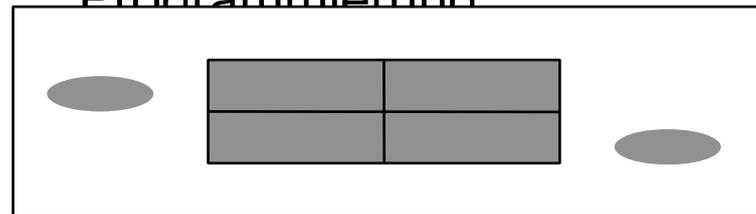


Funktion und Daten

- **Separation** von Funktion und Daten in der modularen Programmierung



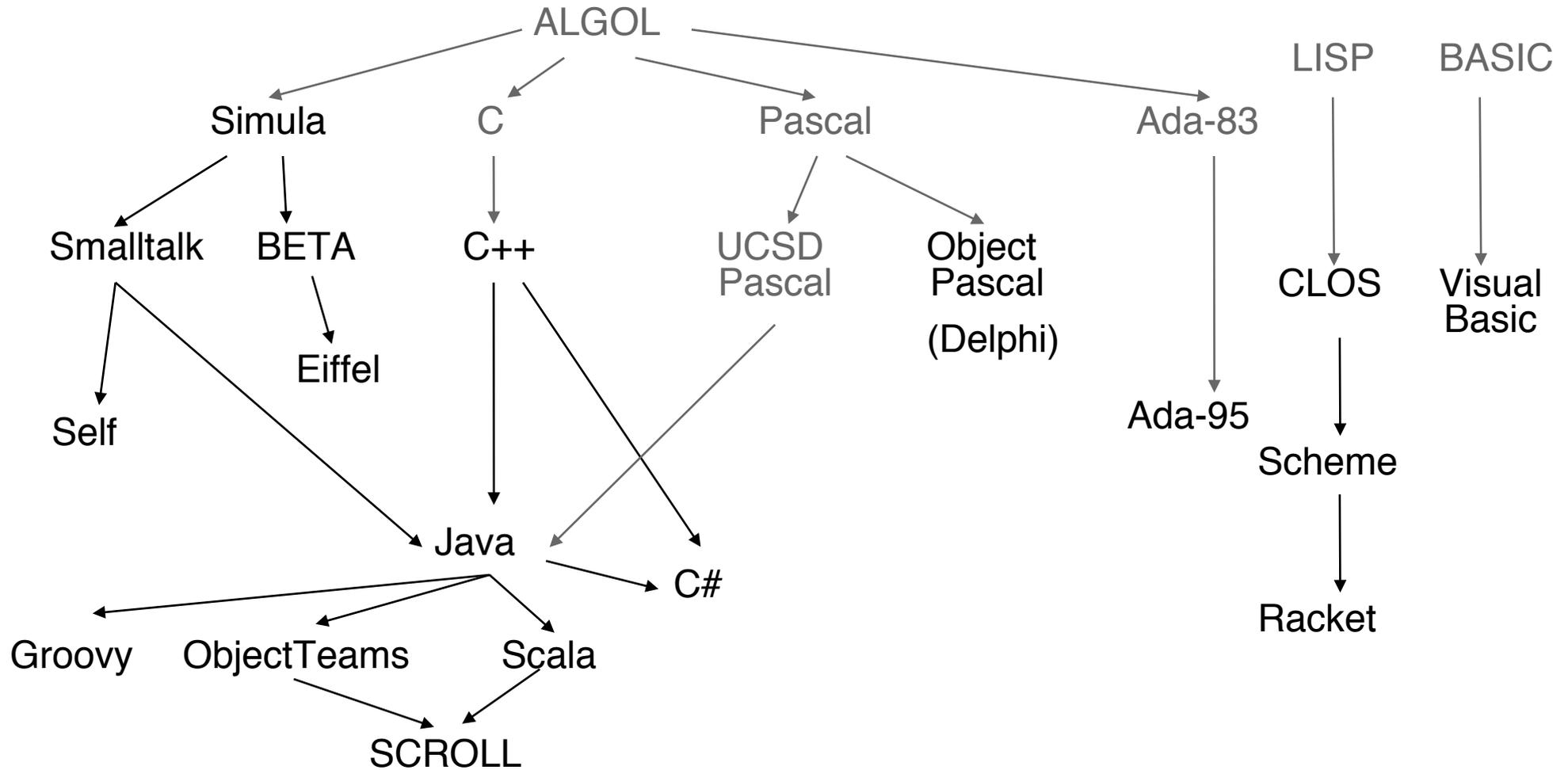
- **Integration** von Funktion und Daten in der objektorientierten Programmierung



- ▶ In den Strukturparadigmen:

- strukturiert: Separation von Funktion und Daten
- modular: Modul = (grosse) Funktionsgruppe + lokale Daten
- objektorientiert: Objekt = (kleine) Dateneinheit + lokale Funktionen

Objektorientierte Programmiersprachen



Geschichte der OO-Programmierung

- ▶ **Simula:** Ole-Johan Dahl + Krysten Nygaard, Norwegen, 1967
 - Allan Kay: The Reactive Engine, Dissertation, Univ. Utah, 1969
- ▶ **Smalltalk:** Allan Kay, Adele Goldberg, H. H. Ingalls, Xerox Palo Alto Research Center (PARC), 1976-1980
- ▶ **C++:** Bjarne Stroustrup, Bell Labs (New Jersey), 1984
- ▶ **Eiffel:** Bertrand Meyer, 1988
- ▶ **Java:** Ken Arnold, James Gosling, Sun Microsystems, 1995
- ▶ **C#:** Anders Heijlsberg, Microsoft (auch Schöpfer von Turbo Pascal)
<http://www.csharp.net>
- ▶ **Scala:** Martin Odersky, <http://www.scala-lang.org>
- ▶ **Racket:** Dialekt von Lisp und Scheme
- ▶ **ObjectTeams:** Rollenorientierte Sprache von S. Hermann (TU Berlin)

Die Programmiersprache Java

- ▶ Vorläufer von Java: OAK (First Person Inc.), 1991-1992
 - Betriebssystem/Sprache für Geräte, u.a. interaktives Fernsehen
- ▶ 1995: HotJava Internet Browser
 - Java Applets für das World Wide Web
 - 1996: Netscape Browser (2.0) Java-enabled
- ▶ 2005: Java 10.5 mit Generizität
- ▶ Weiterentwicklungen:
 - Java als Applikationsentwicklungssprache (Enterprise Java)
 - Java zur Gerätesteuerung (Embedded Java)
 - Java Beans, Enterprise Java Beans (Software-Komponenten)
 - Java Smartcards
- ▶ 2014: Java 8
 - neue Fensterbibliothek JavaFX
 - Skeletons für paralleles Programmieren

10.A.1 Übungsaufgaben



Heim-Übung: Steuererklärungen

- ▶ Lade Datei `TaxDeclarationDemo.java` von der Webseite
- ▶ Lese und analysiere die Datei:
 - Welche Klassen sind English benannt und entsprechen den in der Vorlesung präsentierten Klassen?
 - Zeichnen sie ein Klassendiagramm mit Beziehungen zwischen den Klassen
 - Zeichnen Sie ein Snapshot der Anwendung bei Punkt (1) der `main`-Prozedur
 - Welche Attribute sind “doppelt”, d.h. in verschiedenen Klassen mit gleicher Semantik definiert?
 - Warum sind manche Attribute “privat”, d.h. nur über Zugriffsfunktionen (“setter/getter”, `accessors`) zugreifbar?
 - Wie setzt man den Zustand eines Steuerzahlers von “ledig” auf “verheiratet”?

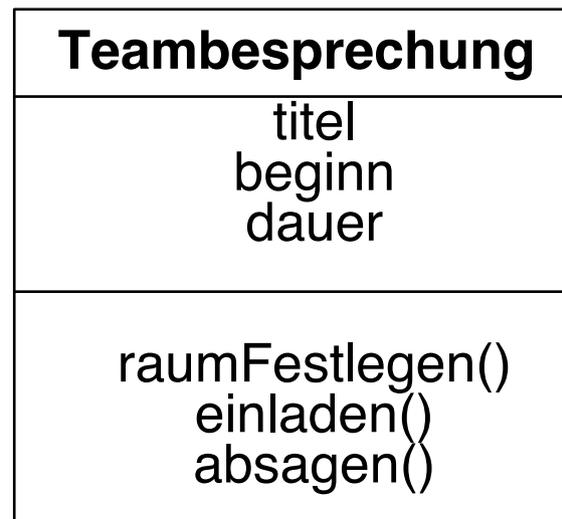
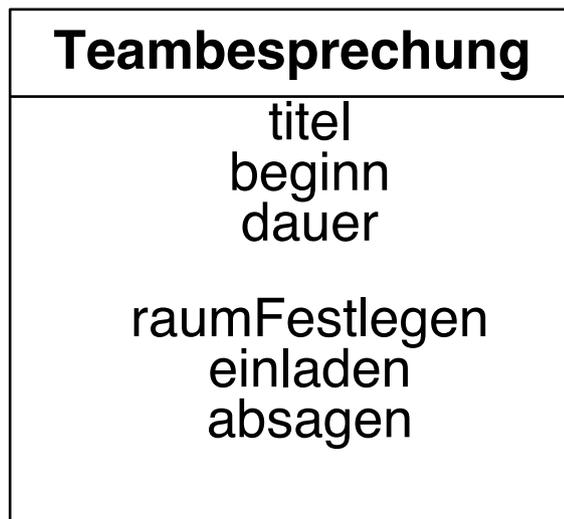
10.A.2 Merkmale von Klassen



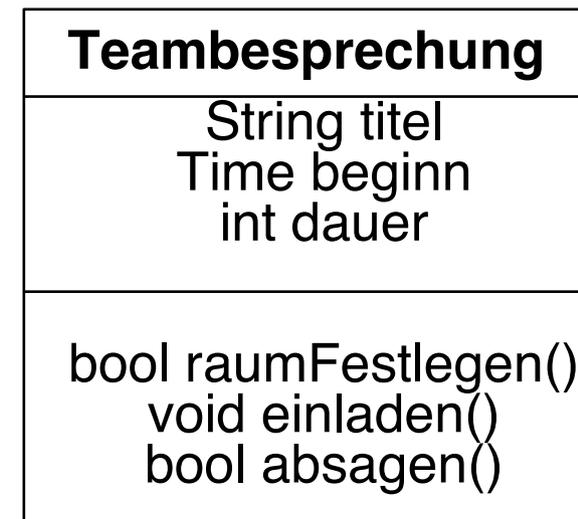
Operationen

- ▶ **Def.:** Eine **Operation (Instanzoperation)** einer Klasse *K* ist die Beschreibung einer Aufgabe, die jedes Objekt der Klasse *K* ausführen kann.
- ▶ **Operation:** “a service that can be requested from an object to effect behaviour” (UML-Standard)

aUML für Analyse:



jUML:



- ▶ "Leere Klammern":
 - In vielen Büchern (und den Unterlagen zur Vorlesung) zur Unterscheidung von Attributnamen: raumFestlegen(), einladen(), absagen() etc.
 - Klammern können aber auch weggelassen werden

In objektorientierten Sprachen gibt es neben Operationen weitere Konzepte, die Verhalten beschreiben

- ▶ **Message (Botschaft, Nachricht):** eine Nachricht an ein Objekt, um eine Operation auszuführen oder ein externes Ereignis mitzuteilen
- ▶ **Methode:** “the implementation of an operation (the “*how*” of an operation)”
 - "In den Methoden wird all das programmiert, was geschehen soll, wenn das Objekt die betreffende Botschaft erhält."
[Middendorf/Singer]
 - **Prozedur:** gibt keinen Wert zurück, verändert aber Zustand
 - **Funktion:** gibt einen Wert oder ein Objekt zurück
 - **synchrone Methode:** der Sender wartet auf die Beendigung des Service
 - **asynchrone Methode:** ein Service mit Verhalten aber ohne Rückgabe, d.h. der Sender braucht nicht zu warten
- **Kanal (channel):** Ein Objekt hat einen Ein- und einen Ausgabekanal (input, output channel), über den die Botschaften gesendet werden.
 - Das Objekt lauscht also an seinem Eingabekanal auf Nachrichten und führt sie synchron oder asynchron aus.

- ▶ **Definition:** Die *Spezifikation* einer Operation legt das Verhalten der Operation fest („was“), ohne einen Algorithmus („wie“) festzuschreiben.

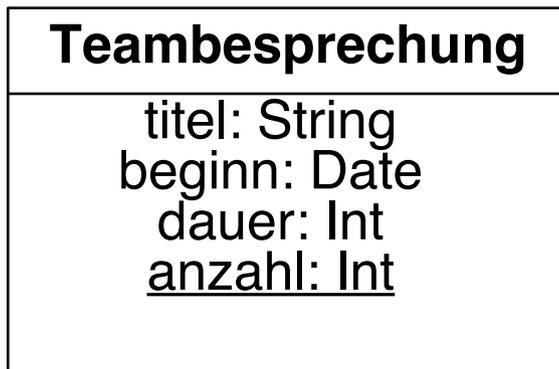
Eine Spezifikation beschreibt das "**Was**" eines Systems, aber noch nicht das "**Wie**".

- ▶ Häufigste Formen von Spezifikationen:
 - **informell** (in der Analyse, aUML)
 - **Text** in natürlicher Sprache (oft mit speziellen Konventionen), oft in Programmcode eingebettet (Kommentare)
 - Werkzeugunterstützung zur Dokumentationsgenerierung, z.B. "javadoc"
 - Pseudocode (programmiersprachenartiger Text)
 - Tabellen, spezielle Notationen
 - **formal** (im Entwurf und Implementierung, dUML, jUML)
 - **Signaturen** (Typen der Parameter und Rückgabewerte)
 - **Vor- und Nachbedingungen** (Verträge, contracts)
 - **Protokolle** mit **Zustandsmaschinen**, Aktivitätendiagrammen

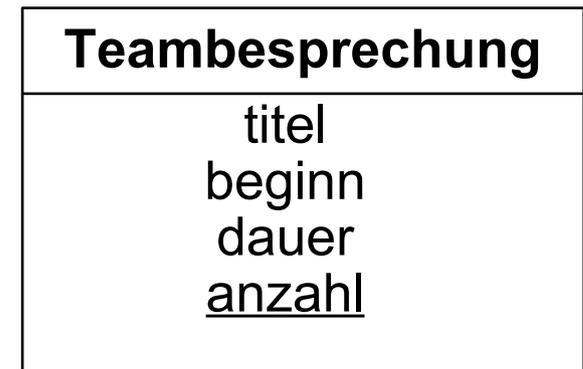
Klassenattribut (Statisches Attribut)

- ▶ Ein **Klassenattribut** *A* beschreibt ein Datenelement, das genau einen Wert für die gesamte Klasse annehmen kann.
 - Es ist also ein Attribut des Klassenprototypen, i.G. zu einem Attribut eines Objekts
- ▶ **Notation:** Unterstreichung

jUML:



aUML für Analyse:



Klassenoperation (Statische Operation)

- ▶ **Definition** Eine *Klassenoperation* A einer Klasse K ist die Beschreibung einer Aufgabe, die nur unter Kenntnis der aktuellen Gesamtheit der Instanzen der Klasse ausgeführt werden kann.
 - (Gewöhnliche Operationen heißen auch *Instanzoperationen*.)
 - Klassenoperationen bearbeiten i.d.R. *nur* Klassenattribute, *keine* Objektattribute.
- ▶ **Notation UML:** Unterstreichung analog zu Klassenattributen
- ▶ **Java:** Die Methode `main()` ist statisch, und kann vom Betriebssystem aus aufgerufen werden
 - Klassenattribute und -operationen: Schlüsselwort `static`
- ▶ Jede Klasse hat eine Klassenoperation `new()`, den Allokator

Besprechungsraum
raumNr kapazität
reservieren() freigeben() <u>freienRaumSuchen()</u> <u>new()</u>

```
class Steuererklaerung {  
    public static main (String[] args) {  
        Steuerzahler hans =  
            new Steuerzahler();  
        ...  
    }  
}
```



Parameter und Datentypen für Operationen

- ▶ Detaillierungsgrad in der Analysephase gering
 - meist Operationsname ausreichend
 - Signatur kann angegeben werden
 - Entwurfsphase und Implementierungsmodell: vollständige Angaben sind nötig.

- ▶ **jUML Notation:**

Operation (Art Parameter:ParamTyp=DefWert, ...): ResTyp

- *Art* (des Parameters): **in**, **out**, oder **inout** (weglassen heißt **in**)
- *DefWert* legt einen Default-Parameterwert fest, der bei Weglassen des Parameters im Aufruf gilt.

- ▶ **Beispiel** (Klasse Teambesprechung):

raumFestlegen (in wunschRaum: Besprechungsraum): Boolean

Überladung von Operationen

- ▶ Zwei Methoden heissen *überladen*, wenn sie gleich heissen, sich aber in ihrer Signatur (Zahl oder Typisierung der Parameter) unterscheiden
 - Auswahl aus mehreren gleichnamigen Operationen nach Anzahl und Art der Parameter.

- ▶ Klassisches Beispiel: Arithmetik

`+: (Nat, Nat) Nat, (Int, Int) Int, (Real, Real) Real`

- ▶ Java-Operationen:

```
int f1 (int x, y) {...}
int f1 (int x) {...}
int x = f1(f1(1,2));
```

Arithmetic
raumNr kapazität
plus(Nat, Nat):Nat plus(Int, Int):Int plus(Real, Real):Real

Überladen vs. Polymorphismus

- ▶ Überladung wird vom Java-Übersetzer statisch aufgelöst. Aus

```
int f1 (int x, y) {...}
```

```
int f1 (int x) {...}
```

```
int x = f1(f1(1,2));
```

- macht der Übersetzer

```
int f1_2_int_int (int x, y) {...}
```

```
int f1_1_int (int x) {...}
```

```
int x = f1_1_int( f1_2_int_int(1,2) );
```

- indem er die Stelligkeit und die Typen der Parameter bestimmt und den Funktionsnamen in der .class-Datei expandiert

- ▶ Polymorphie dagegen kann nicht zur Übersetzungszeit aufgelöst werden

- Der Merkmalsuchalgorithmus muss dynamisch laufen, da dem Übersetzer nicht klar ist, welchen Unterklassentyp ein Objekt besitzt (es können alle Typen unterhalb der angegebenen Klasse in Frage kommen)

Konstruktor-Operation

- ▶ **Definition:** Ein *Konstruktor (-operation)* C einer Klasse K ist eine Klassenoperation, die eine neue Instanz der Klasse erzeugt und initialisiert.
 - Ergebnistyp von C ist immer implizit die Klasse K.
- ▶ Explizite Konstruktoroperationen werden in UML mit einem *Stereotyp* "<<constructor>>" markiert.
- ▶ **Default-Konstruktor:** Eine Konstruktoroperationen ohne Parameter wird implizit für jede Klasse angenommen
- ▶ Konstruktoren sind i.d.R. überladen, d.h. können mit mehreren Parametersätzen definiert werden

Besprechungsraum

raumNr
kapazität

freigeben()
freienRaumSuchen()

neuerBesprechungsraum
(raumNr, kapazität) <<constructor>>

neuerBesprechungsraum (kapazität) <<constructor>>

```
class Teammitglied {  
    ... // ohne Konstruktor  
}
```

```
Teammitglied m = new Teammitglied();
```

Mehr zu Konstruktoren in Java

- ▶ Konstruktoren werden meist überladen:

```
class Teammitglied {  
  
    private String name;  
    private String abteilung;  
  
    public Teammitglied (String n, String abt) {  
        name = n;  
        abteilung = abt;  
    }  
  
    public Teammitglied (String n) {  
        name = n;  
        abteilung = "";  
  
        ... }  
}
```

```
Teammitglied m = new Teammitglied("Max Müller", "Abt. B");  
Teammitglied m2 = new Teammitglied("Mandy Schmitt");
```

Löschen von Objekten

- ▶ In Java gibt es *keine* Operation zum Löschen von Objekten (keine "Destruktoren").
 - Andere objektorientierte Programmiersprachen kennen Destruktoren (z.B. C++)
- ▶ Speicherfreigabe in Java:
 - Sobald keine Referenz mehr auf ein Objekt besteht, *kann* es gelöscht werden.
 - Der konkrete Zeitpunkt der Löschung wird vom Java-Laufzeitsystem festgelegt ("garbage collection").
 - Aktionen, die vor dem Löschen ausgeführt werden müssen:
protected void finalize() (über)definieren
- ▶ Fortgeschrittene Technik zur Objektverwaltung (z.B. für Caches):
 - "schwache" Referenzen (verhindern Freigabe nicht)
 - Paket **java.lang.ref**

Beispiel Netzaufbau im Java-Programm

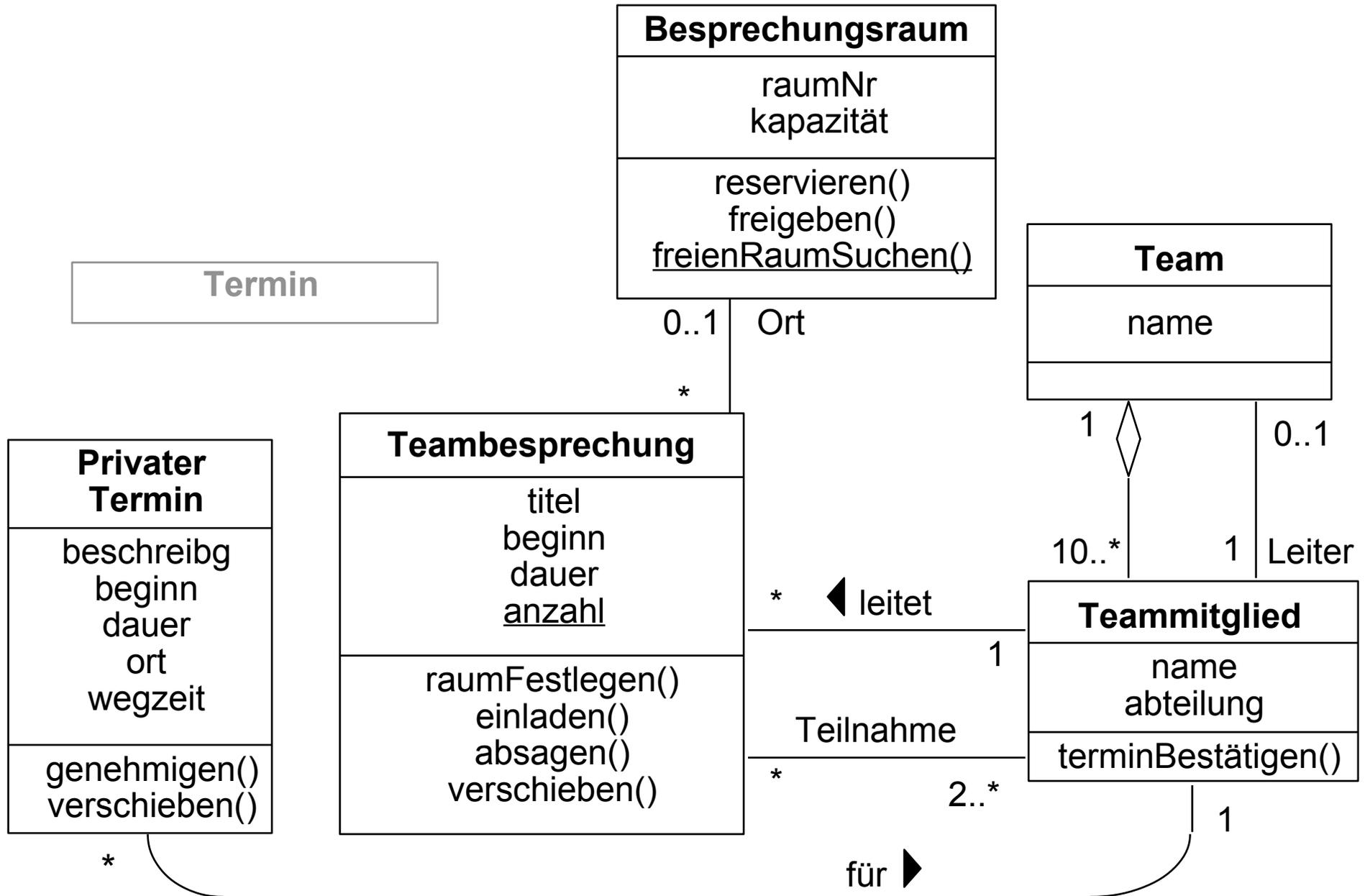
- ▶ Ein Programm auf höherer Ebene muss zunächst ein Objektnetz verdrahten, bevor die Objekte kommunizieren können (Aufbauphase). Dies kann das Hauptprogramm sein

```
class Terminv {
    public static void main (String argv[]) {
        // Aufbauphase
        Besprechungsraum r1 = new Besprechungsraum("R1", 10);
        Besprechungsraum r2 = new Besprechungsraum("R2", 20);
        Teammitglied mm = new Teammitglied("M. Mueller", "Abt. A");
        Teammitglied es = new Teammitglied("E. Schmidt", "Abt. B");
        Teammitglied fm = new Teammitglied("F. Maier", "Abt. B");
        Teammitglied hb = new Teammitglied("H. Bauer", "Abt. A");
        Hour t1s5 = new Hour(1,5); // Tag 1, Stunde 5
        Teammitglied[] t1B1 = {mm, es};
        Teambesprechung tb1 =
        new Teambesprechung("Bespr. 1", t1s5, 2, t1B1);

        // jetzt erst Arbeitsphase
        tb1.raumFestlegen();

        ...
    }
}
```

Beispiel: Operationen im Analysemodell (aUML)



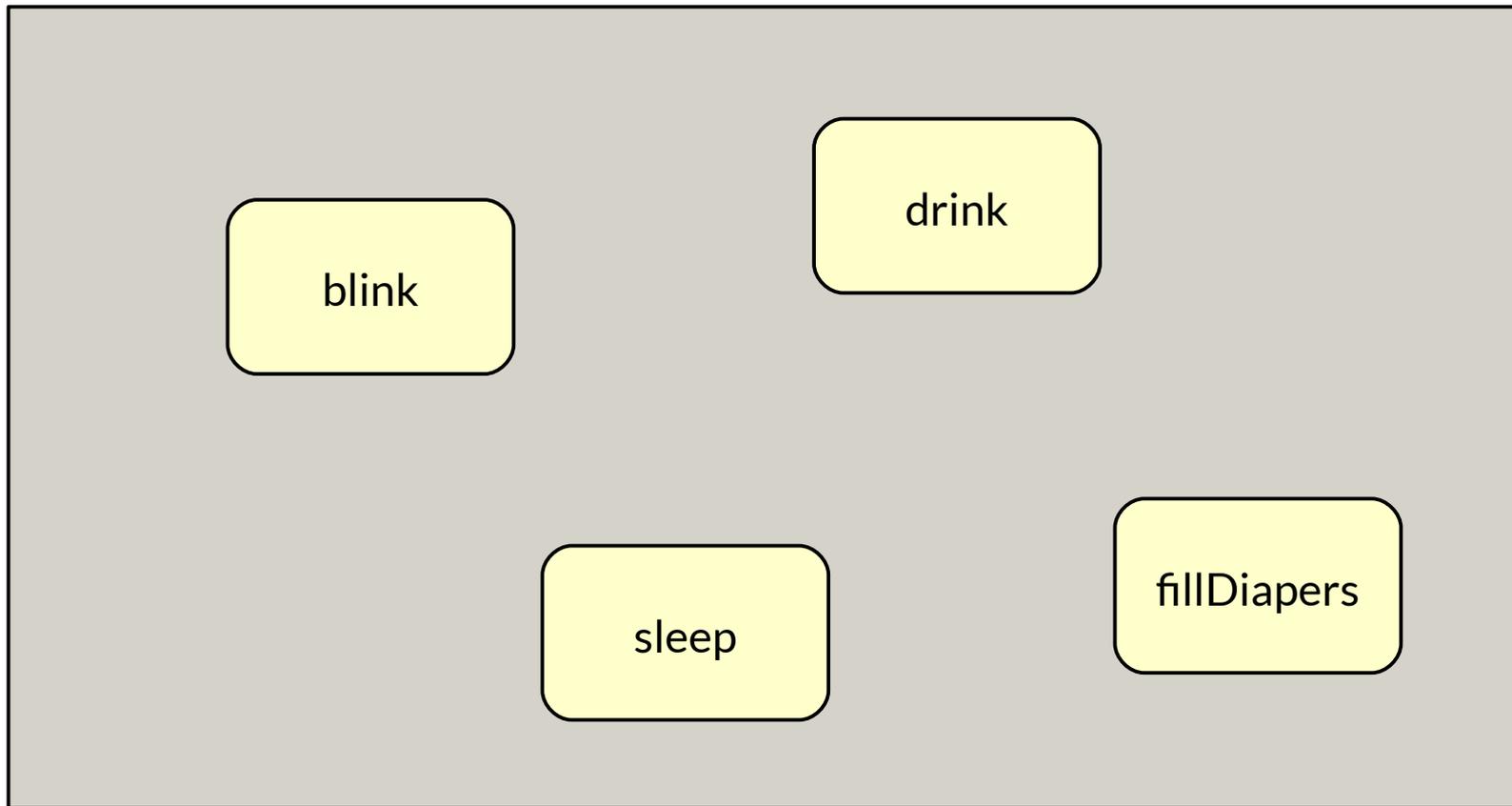
Die zentralen Frage der Softwaretechnologie

Wie kommen wir vom Problem des Kunden zum Programm (oder Produkt)?

Wie können wir die Welt möglichst einfach beschreiben?

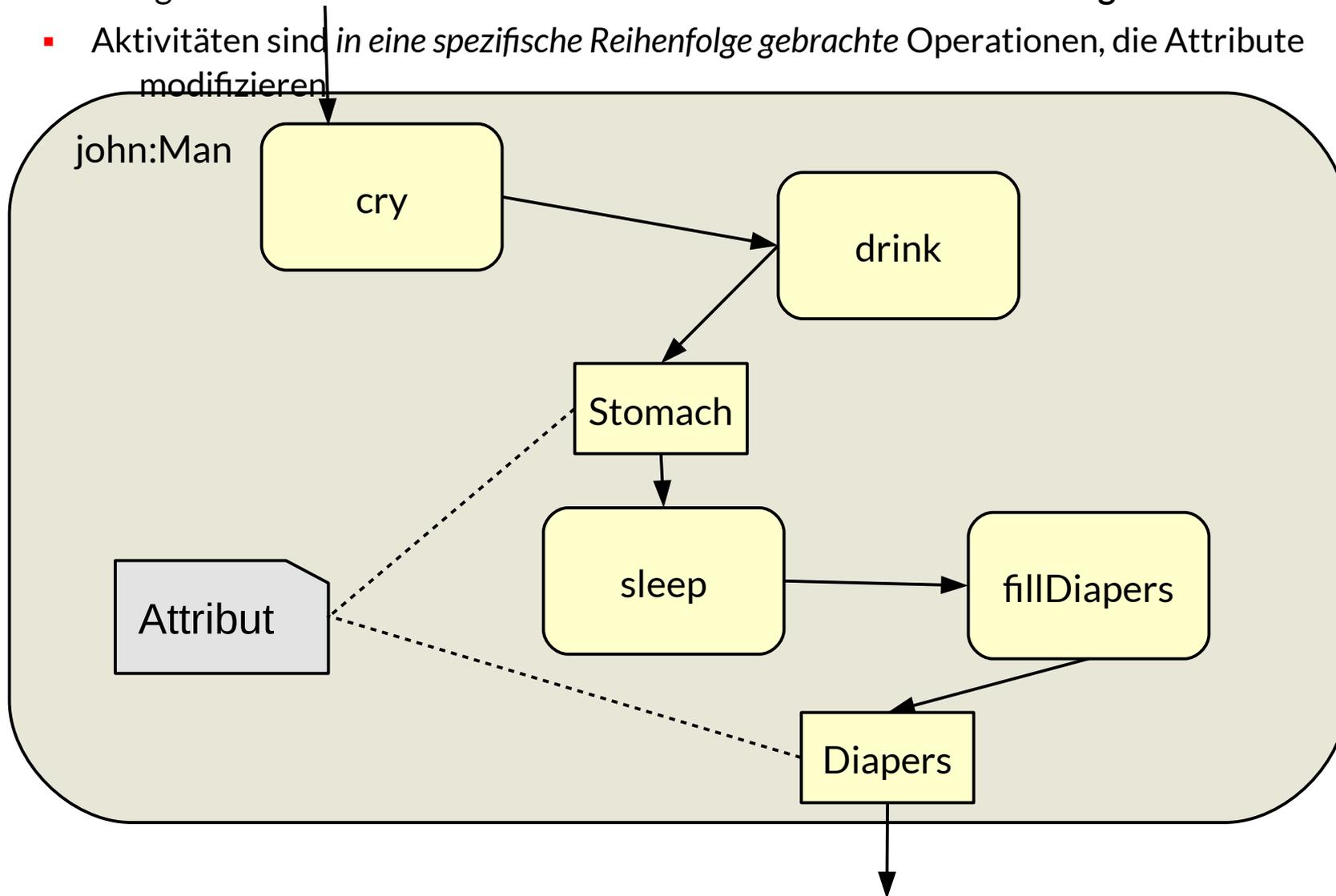
Wie können wir diese Beschreibung im Computer realisieren?

Ein Objekt besteht aus einer Menge von Operationen (in UML: Aktivitäten)



Ein Objekt besteht aus einer Menge von Aktivitäten auf einem Zustand

- ▶ Die Reihe der Aktivitäten (Operationen) eines Objektes nennt man **Lebenszyklus**.
- ▶ Reihenfolgen von Aktivitäten kann man in UML mit einem **Aktivitätendiagramm** beschreiben
 - Aktivitäten sind *in eine spezifische Reihenfolge gebrachte Operationen*, die Attribute



Beispiel: Allokation und Aufruf eines Objektes in Java

- ▶ Objekte durchlaufen im Laufe ihres Lebens viele Zustandsveränderungen, die durch Aufrufe verursacht werden
- ▶ Das objektorientierte Programm simuliert dabei den Lebenszyklus eines Domänenobjekts

```
                // Typical life of a young man
john = new Man();    // Allokation: lege Objekt im Speicher an
                    while (true) {
    john.cry();      // Yields: john.state == crying
    john.drink();   // Yields: john.state == drinking
    john.sleep();   // Yields: john.state == sleeping
    john.fillDiapers(); // Yields: john.state == fillingDiapers
                    }
```



Teil I: Einführung in die objektorientierte Programmierung mit Java

10. Objekte und Klassen

Prof. Dr. rer. nat. Uwe Aßmann
Lehrstuhl Softwaretechnologie
Fakultät für Informatik
Technische Universität Dresden
Version 19-1.1, 08.04.19

- 1) Objekte und biologisches Programmieren
- 2) Klassen
- 3) Objektorientierte Modellierung
- 4) Allgemeines über objektorientierte
Programmierung



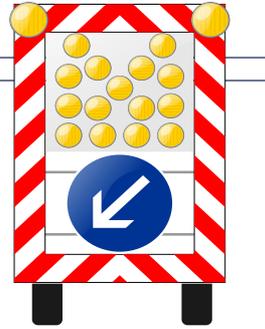
DRESDEN
concept
Exzellenz aus
Wissenschaft
und Kultur

Obligatorische Literatur

3 Softwaretechnologie (ST)

- ▶ Marc Andreessen. Software is eating the world. Wall Street Journal. <http://online.wsj.com/news/articles/SB10001424053111903480904576512250915629460>
- ▶ Störrle: Kap. 3 UML im Kontext (STfE S. 47); Kap. 5 Klassendiagramme (STfE S. 73)
- ▶ Zuser Kap 7, Anhang A
- ▶ Java: Balzert, LE 3-5
 - Boles, Kap. 1-6

- Interessant: Oracle hat ein Java Magazine
 - <http://www.oracle.com/technetwork/java/javamagazine/index.html>



Weiterführende Literatur

- ▶ Turing Award winners Ole-Johan Dahl, Kristen Nygaard
 - http://de.wikipedia.org/wiki/Ole-Johan_Dahl
 - <http://www.mn.uio.no/ifi/english/about/ole-johan-dahl/>
 - http://de.wikipedia.org/wiki/Kristen_Nygaard
 - <http://de.wikipedia.org/wiki/Simula>
 - <http://campus.hesge.ch/Daehne/2004-2005/Langages/Simula.htm>
 - <http://simula67.at.ifi.uio.no/bibliography.shtml>
- ▶ Alan Kay. The History of Smalltalk. Second Conference on the History of Programming Languages. ACM. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1057828>
- ▶ The When, Why, and Why Not of the BETA Programming Language <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1238854>
- ▶ Bjarne Stroustrup. Evolving a language in and for the real world: C++ 1991-2006. Pages: 4-1-4-59, doi>10.1145/1238844.1238848



- ▶ Über die Homepage der Lehrveranstaltung finden Sie auch Beispielprogramme, die Konzepte der Folien weiter erklären.
- ▶ Die Datei **ObjekteUndKlassen/CommandLineDemo.java** druckt einfach ein paar Zeichenketten, die von der Kommandozeile aus übergeben wurden. Vorsicht: Begrenzung! Die Datei **ObjekteUndKlassen/CommandLineDemoLoop.java** fixt den Bug
- ▶ Die Datei **TaxDeclarationDemo.java** enthält den Aufbau einer einfachen Halde mit Objekten
- ▶ Die Datei **Terminverwaltung/Terminv.java** enthält eine vollständige Umsetzung des Beispiels "Terminverwaltung" in lauffähigen Java-Code.
- ▶ Empfohlene Benutzung:
 - Lesen
 - Übersetzen mit dem Java-Compiler **javac**
 - Starten mit dem Java-Interpreter (Java Virtual Machine) **java**
 - Verstehen
 - Modifizieren
 - Kritisieren



Ziele

- ▶ Was ist ein Objekt? Objekte verstehen als identitätstragende Entitäten mit Methoden und Zustand
- ▶ Was heißt “biologisches Programmieren”? Was bedeutet “Programmwachstum” und “Programmanreicherung”? Welche Rolle spielen “Symmetrieoperationen”?
- ▶ Was ist eine Klasse?
 - Klassen als Modellierungskonzepte verstehen, Äquivalenzklassen, die Gemeinsamkeiten für Objekte repräsentieren
 - Unterscheide Mengen-, Schablonensemantik
 - Unterscheide Klassenprototypen von Objekten
- ▶ Erkläre, wie Objekte und Klassen im Speicher dargestellt werden

A blue rectangular banner with the text "OUR GOALS" in large, white, bold, sans-serif capital letters. The text is centered and has a slight 3D effect with a shadow.



10.1. Objekte: die Idee

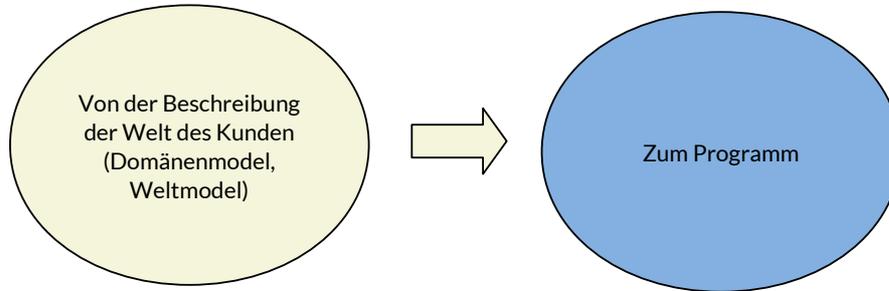
Objektorientierung bietet eine Grundlage für die Erstellung von Software



Die zentralen Frage der Softwaretechnologie

Wie kommen wir vom Problem des Kunden zum Programm (und zum Software-Produkt)?

© Prof. U. Altmann



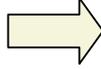
Die zentralen Fragen des objektorientierten Ansatzes

Wie kommen wir vom Problem des Kunden zum Programm?

Wie können wir die Welt möglichst einfach beschreiben?

© Prof. U. Altmann

Von der Beschreibung **der Objekte** der Welt des Kunden (objektorientiertes Domänenmodell)



Zum objektorientierten Programm, das die Objekte der Welt des Kunden **um Programminformation anreicht**

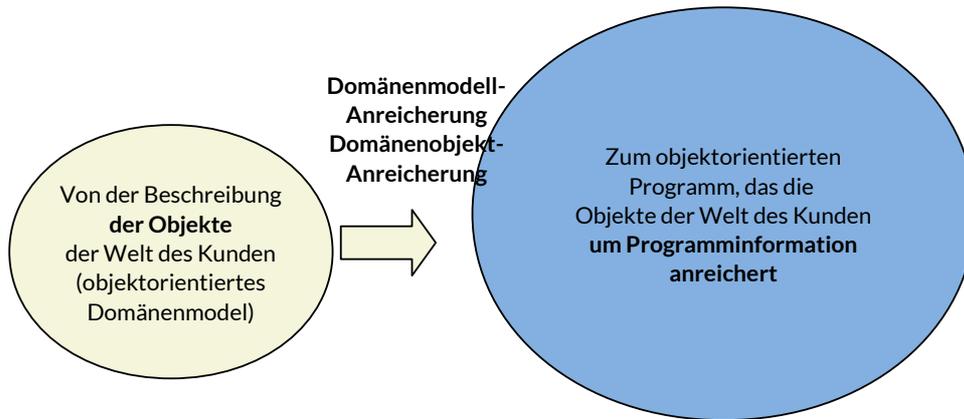
Wie können wir diese Beschreibung im Computer realisieren?



Die zentrale Antwort des objektorientierten Ansatzes

Wie kommen wir vom Problem des Kunden zum Programm?

© Prof. U. Altmann



Anreicherung/Verfettung („object fattening“): Anreicherung von Objekten des Domänenmodells durch technische Programminformation hin zu technischen Objekten



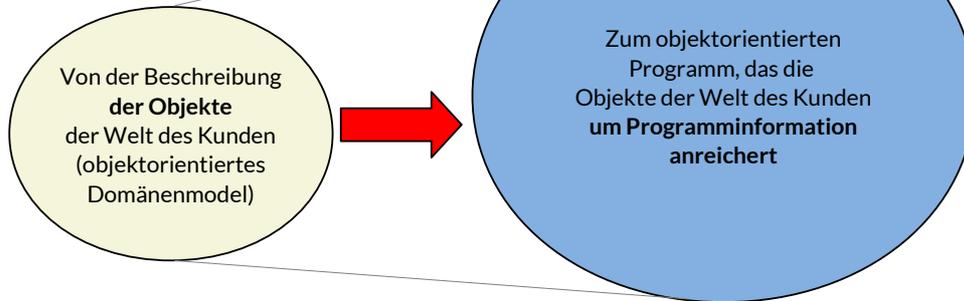
Die zentrale Antwort des objektorientierten Ansatzes: Schrittweises Wachstum im "biologischen Programmieren"

11 Softwaretechnologie (ST)

Wie kommen wir vom Problem des Kunden zum Programm?

Wachstum

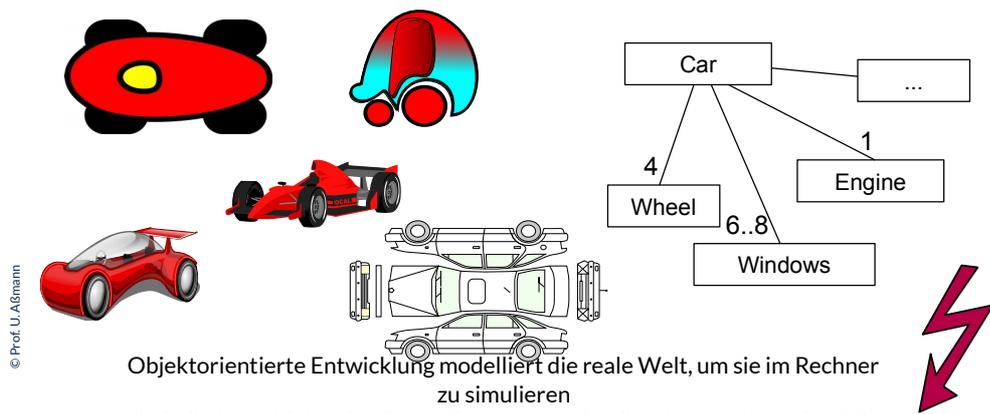
© Prof. U. Altmann



„Biologisches Programmieren“ setzt auf schrittweises Wachstum
aus dem fachlichen Modell heraus



OOD beginnt mit dem Domänenmodell (Fachlichen Modell, Modell der Fachdisziplin)



Objektorientierte Entwicklung modelliert die reale Welt, um sie im Rechner zu simulieren

Ein Teil eines objektorientierten Programms simuliert immer die reale Welt, indem es auf einem angereicherten Domänenmodell arbeitet

Herkunft:

Simula 1967 (Nygaard, Dahl). Ziel: technische Systeme simulieren

Smalltalk 1973 (Kay, Goldberg)

BETA 1973-1990 (Nygaard, Lehrman-Madsen, et.al.)

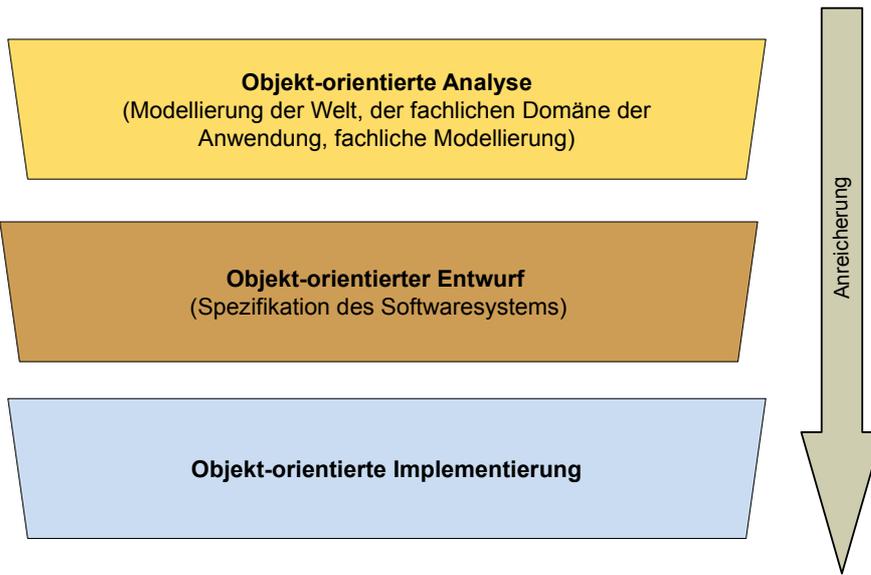


Clipart from www.openclipart.org

Der objekt-orientierte Softwareentwicklungsprozess in 3 Schritten

13 Softwaretechnologie (ST)

© Prof. U. Altmann



- Objektorientierung startet bei der Welt des Kunden und erweitert diese zum System.

Der Wert der objekt-orientierten Softwareentwicklung

- ▶ Die strukturierte Erweiterung des Domänenmodells ist ein **zuverlässiger** Weg, Software zu entwickeln
- ▶ Wer diesen Softwareentwicklungsprozess beherrscht, wird
 - Schneller Software entwickeln, weil das System eine **fachgetreue Erweiterung** des Domänenmodells ist
 - Qualitativ gute Software entwickeln, die leicht mit dem Kunden validierbar ist
 - Kunden können Stammkunden werden

Objektorientierte Softwareentwicklung ist ein verlässlicher Weg,
qualitativ gute Software zu entwickeln.

Wer OOSE kann, kann Kunden halten!



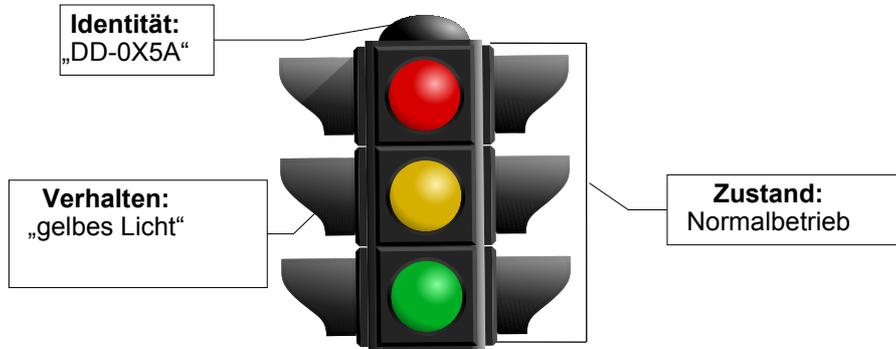
10.1.1 Grundkonzepte der Objektorientierung: Die Objekte einer fachlichen Domäne



Fragen:

- ▶ Wie ist das Objekt bezeichnet (Name)?
- ▶ Wie verhält es sich zu seiner Umgebung? (Relationen)
- ▶ Welche Informationen sind „Privatsache“ des Objekts (Geheimnisse)?

© Prof. U. Altmann



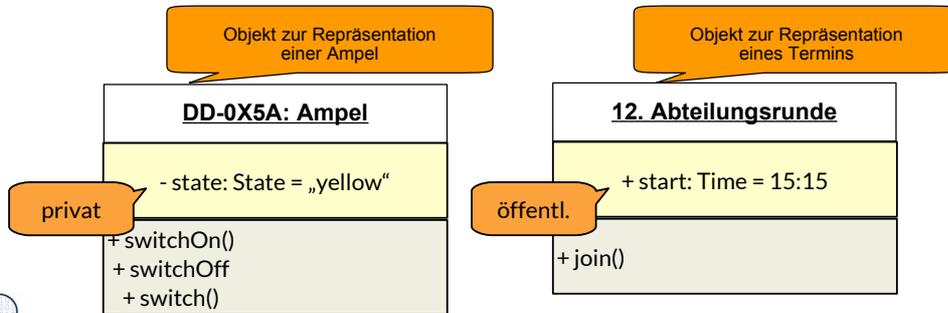
Clipart from www.openclipart.org



Antworten:

- ▶ Ein Objekt hat eine eindeutige **Identität** (Schlüssel, key, object identifier)
- ▶ Ein Objekt hat einen inneren **Zustand**, ausgedrückt durch sog. **Attribute**, die Werte annehmen können (auch *Instanzenvariablen* genannt, i.G. zu globalen Variablen wie in C)
- ▶ Ein Objekt hat ein definiertes **Verhalten** mit **Schnittstelle**,
- ▶ Ein Objekt lebt in einem **Objektnetz** (in Relationen, "noone is an island")
- ▶ Ein **System** besteht aus vielen **Objekten**, die miteinander interagieren und die aus einer Domäne übernommen sind

© Prof. U. Altmann



Ein Objekt hat eine eindeutige **Identität**, unabhängig von anderen Eigenschaften.

- Es können mehrere verschiedene Objekte mit identischem Verhalten und identischem inneren Zustand im gleichen System existieren.
- Das Objekt ist kein *Wert (value)*, sondern es kann mehrere Namen haben (Aliase, Referenzen)

•Ein Objekt hat einen inneren **Zustand**

- Ein Objekt verwaltet den Zustand als **Geheimnis** (*Geheimnisprinzip, Kapselung des Zustandes*)
- Der Zustand ist Privatsache; niemand soll sich Annahmen auf den Zustand machen, ausser denen, die das Objekte *freiwillig* angibt
- Der Zustand ST kann auch von außen sichtbar sein

•Ein Objekt hat ein definiertes **Verhalten**

- Es besitzt **Schnittstelle**, eine Menge genau definierter *Operationen (Funktionen, Methoden, Prozeduren)*, die den Zustand modifizieren
- Es besitzt eine **Reaktion** auf Nachrichten (messages)
 - Eine Operation wird beim Empfang einer *Nachricht (Message)* ausgeführt.
 - Operationen drücken die *Zuständigkeit* eines Objektes für gewisse Aufgaben des Systems aus
 - Das Resultat einer Operation hängt vom aktuellen Zustand ab. Operationen sind nicht unbedingt idempotent

•Ein Objekt lebt in einem **Objektnetz** (in Relationen, "noone is an island")

- Objekte werden zu Objektnetzen verknüpft

Einfaches fachliches Modell: Zustandswechsel einer Ampel in Java

- ▶ Achtung: "class" ist ein spezielles "object"

```
class TrafficLight {
    private int state = { green, yellow, red, redyellow,
        blinking };
    public switch () {
        if (state == green) state = yellow;
        if (state == yellow) state = red;
        if (state == red) state = redyellow;
        if (state == redyellow) state = green;
    }
    public switchOn () {
        state = red;
    }
    public switchOff () {
        state = blinking;
    }
}
```



Fachliches Modell "Steuererklärung" Wie sieht ein Objekt in (j)UML aus?



- ▶ Bsp.: Eine Einkommenssteuererklärung wird von einem Steuerzahler ausgefüllt. Sie wird zuerst mit Standardwerten initialisiert, dann in Iterationen ausgefüllt: abgespeichert und wiedergelesen. Zuletzt wird sie beim Finanzamt eingereicht.
- ▶ Die Werte aller *Attribute* bildet den *Objektzustand*
- ▶ Wie sieht ein **UML Objektdiagramm** aus, das das Zusammenspiel von Objekten zeigt?



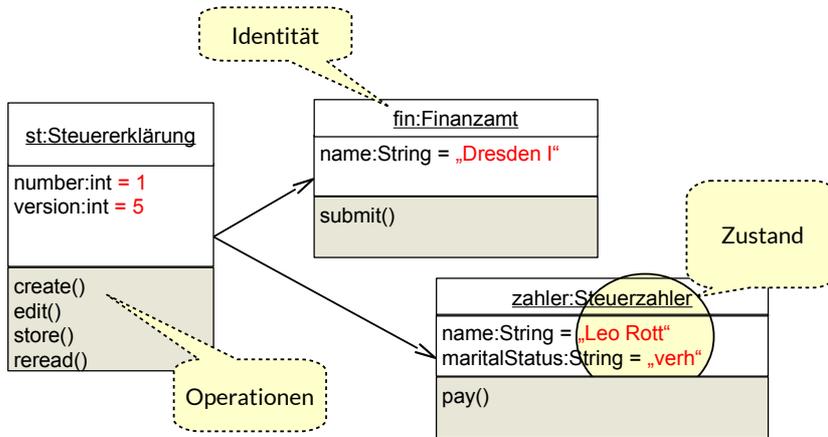
Fachliches Modell "Steuererklärung"

Wie sieht ein Objekt in (j)UML aus?

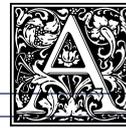


- Nutze das **UML Objektdiagramm**, um das Zusammenspiel von Objekten zu zeigen:

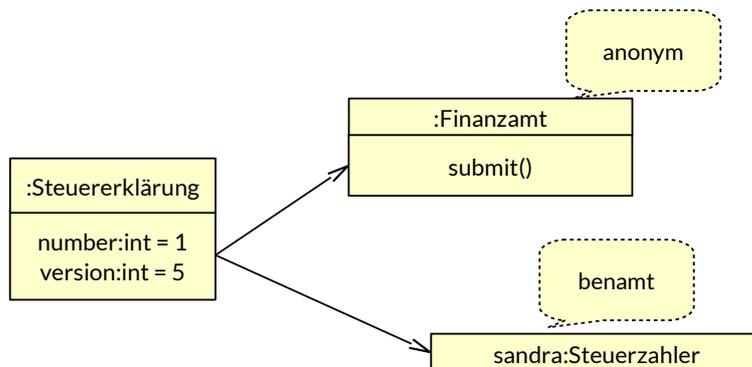
© Prof. U. Altmann



Wie sieht ein Objekt in UML aus?



- ▶ Attribute und/oder Operationen (Methoden, Funktionen, Prozeduren) können im fachlichen Modell zunächst weggelassen werden
- ▶ Objekte können *anonym* sein oder einen Variablennamen (Identifikator) tragen



Das Hauptprogramm "Main"

- ▶ Eine Operation spielt eine besondere Rolle:
`public static void main(String args[])`
 - wird vom Laufzeitsystem (Betriebssystem) des Computers immer als erste aufzurufende Operation identifiziert
 - Parameter: ein Array von Strings, das die Argumente, die auf der Kommandozeile übergeben werden, übergibt
- ▶ Aufruf von Shell:

```
$ java CommandLineDemo this is my first program  
this  
is  
my  
first  
program  
$
```

```
public class CommandLineDemo {  
    public static void main(String args[]) {  
        System.out.println(args[0]);  
        System.out.println(args[1]);  
        System.out.println(args[2]);  
        System.out.println(args[3]);  
        System.out.println(args[4]);  
    }  
}
```



Analyse: Was ist gefährlich bei diesem Programm?

22 Softwaretechnologie (ST)

```
$ java CommandLineDemo this is my first  
this  
is  
my  
first  
Exception in thread "main"  
java.lang.ArrayIndexOutOfBoundsException: 4  
at CommandLineDemo.main(CommandLineDemo.java:22)  
$
```

© Prof. U. Altmann

```
public class CommandLineDemo {  
    public static void main(String args[]) {  
        System.out.println(args[0]);  
        System.out.println(args[1]);  
        System.out.println(args[2]);  
        System.out.println(args[3]);  
        System.out.println(args[4]);  
    }  
}
```



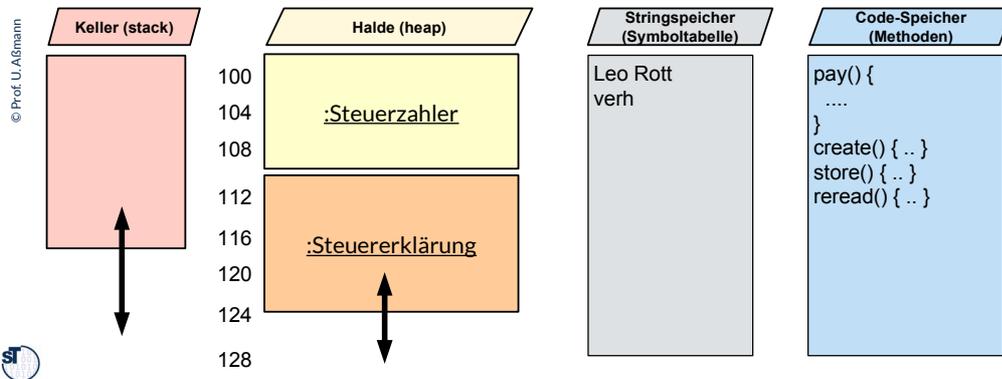
Heim-Übung: Erstes Programm

- ▶ 1) Installiere OpenJDK (Achtung, Lizenz hat im Herbst 2018 gewechselt!)
 - <http://jdk.java.net/12/>
 - Installiere tar.gz im PC und im Programm-Suchpfad
 - Stelle sicher, dass javac und java im Programm-Suchpfad
- ▶ 2) Lade Datei **CommandLineDemoLoop.java** von der Webseite
 - Lese und analysiere die Datei:
 - Wie stellt man fest, dass ein Array eine bestimmte Länge hat?
 - Wie wird etwas auf dem Terminal ausgegeben?
 - Wozu der import von java.util.*?
 - Übersetze die Datei mit javac
 - Führe das Programm aus (Vorsicht, nur den Klassennamen benutzen)



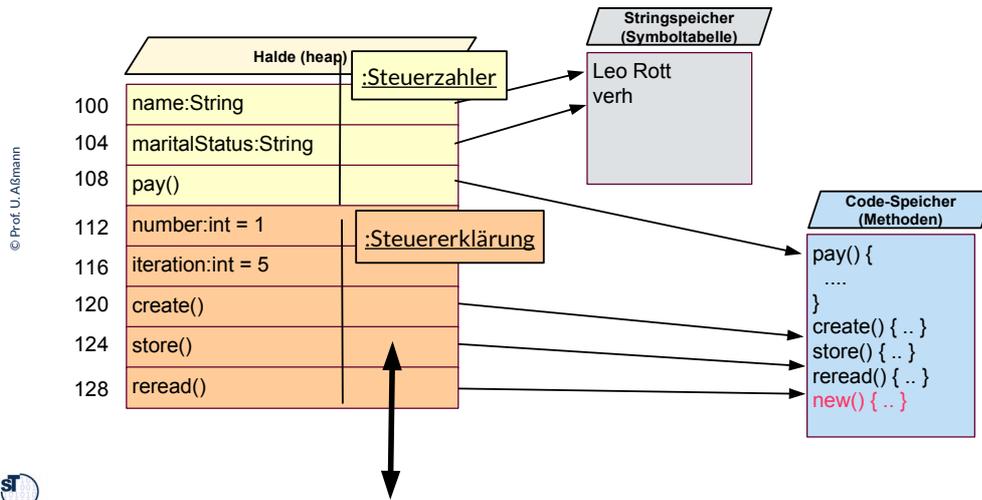
Wie sieht ein Objekt im Speicher aus? (vereinfacht)

- ▶ Der Speicher setzt sich zusammen aus
 - **Halde** (heap, dynamisch wachsender Objektspeicher)
 - **Keller** (stack, Laufzeitkeller für Methoden und ihre Variablen)
 - **Symboltabelle** (symbol table, halbdynamisch: statischer und dynamischer Teil, enthält alle Zeichenketten (*Strings*))
 - **Code-Speicher** für Methoden (statisch, nur lesbar)
 - **Klassenprototypen** für Klassen (statisch, nur lesbar, → später)



Wie sieht ein Objekt im Speicher aus? (vereinfacht)

- ▶ Die Halde wächst *dynamisch* mit wachsender Menge von Objekten
 - verschiedene Lebenszeiten

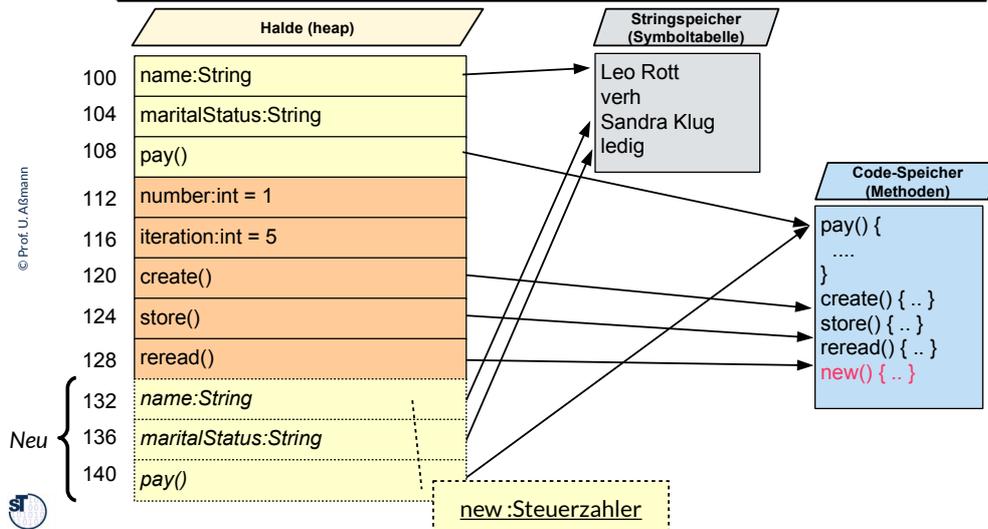


Was passiert bei der Objekterzeugung im Speicher?

26 Softwaretechnologie (ST)

- Der Allokator (Objekterzeuger) `new()` spielt eine besondere Rolle:

```
zahler2 = new Steuerzahler("Sandra Klug", "ledig");
```



Eine Methode im Code-Speicher spielt eine besondere Rolle: der Allokator (Objekterzeuger) `new()`

- Erzeugt in der Halde ein neues Objekt,
 - mit Platz
 - für die Attribute. Der Allokator arbeitet spezifisch für den Typ eines Objekts und kennt die Platzbedarf eines Objekts
 - für die Zeiger auf die Methoden
 - mit Initialisierung: Der Allokator erhält die Initialwerte von Attributen als Parameter

Was können Objekte eines Programms darstellen?

- ▶ **Simulierte Objekte** der realen Welt (der *Anwendungsdomäne*).
 - Ampeln, Uhren, Türen, Menschen, Häuser, Maschinen, Weine, Steuerzahler, Finanzamt, etc.
 - Wenn die Software in ein reales System eingebaut wird, wie z.B. in eine Ampel, spricht man von einem *eingebetteten System*
- ▶ **Simulierte abstrakte Dinge** der Gedankenwelt der Anwender (Anwendungsobjekte, fachliche Objekte, Geschäftsobjekte, business objects)
 - Adressen, Rechnungen, Löhne, Steuererklärungen, Bestellungen, etc.
- ▶ **Konzepte und Begriffe** der Gedankenwelt der fachlichen Domäne
 - Farben, Geschmack, Regionen, politische Einstellungen, etc.
 - Dann nennt man das Modell eine *Ontologie (Begriffsmodell)*
- ▶ Substantivierte **Handlungen**. Objekte können auch Aktionen darstellen
 - Entspricht der Substantivierung eines Verbs (*Reifikation, reification*)
 - sog. Kommandoobjekte, wie Editieren, Drucken, Zeichnen, etc.



10.2. Klassen

Der Begriff der “Klasse” leitet sich vom Begriff der
“Äquivalenzklasse” der Mathematik ab



DRESDEN
concept
Exzellenz aus
Wissenschaft
und Kultur

Objekte und ihre Klassen

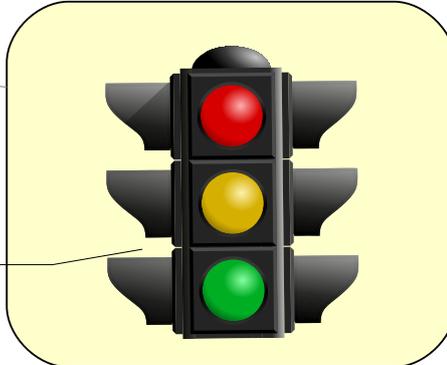
- ▶ Ein weiterer Grundbegriff der Objektorientierung ist der der Klasse.
- ▶ Fragen:
 - Zu welcher Menge gehört das Objekt?
 - In welche Äquivalenzklasse einer Klassifikation fällt das Objekt?
 - Welcher Begriff beschreibt das Objekt?
 - Welchen Typ hat das Objekt? (Struktur)
 - Welches Verhalten zeigt das Objekt?

Verhaltensklasse
Struktur-Klasse
Äquivalenzklasse

© Prof. U. Altmann

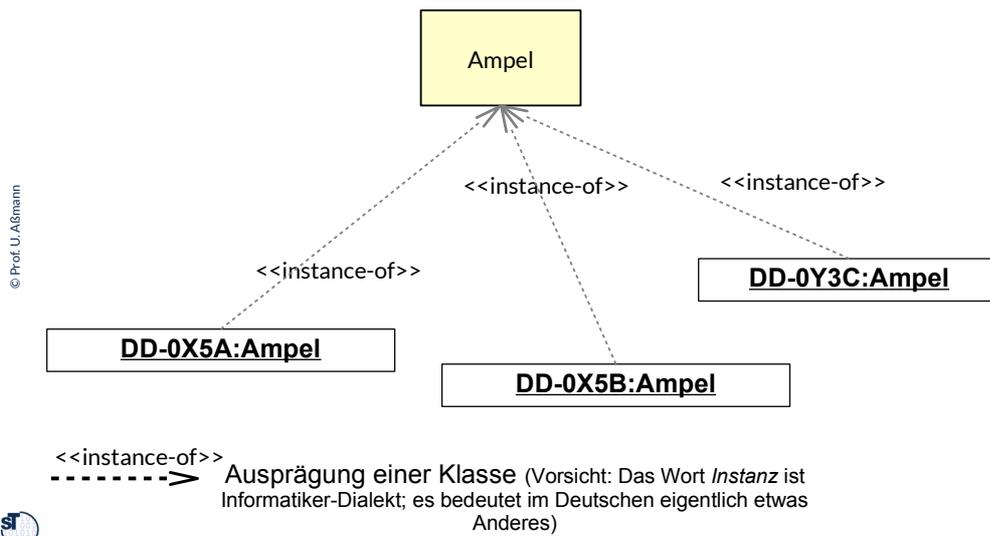
Klasse (Menge):
„Ampel“

Objekt:
„DD-0X5A“



Beispiel: Ampel-Klasse und Ampel-Objekte

- ▶ Objekte, die zu Klassen gehören, heißen *Elemente*, *Ausprägungen* oder *Instanzen* der Klasse



Klasse dargestellt als Venn-Diagramm (mengenorientierte Sicht)

- ▶ In der *mengenorientierten Sicht* bilden Klassen Äquivalenzklassen, die als Flächen in einem Venn-Diagramm ausgedrückt werden
 - Objekt-Klasse-Beziehungen werden durch Enthaltensein in Flächen ausgedrückt
 - Merke die Verbindung zu Datenbanken: Objekte entsprechen Tupeln mit eindeutigem Identifikator (OID, surrogate)
 - Klassen entsprechen Relationen mit Identifikator-Attribut
- In UML kann Schachtelung von Klassen und Objekten durch "UML-Komponenten (Blöcke)" ausgedrückt werden
 - Objekte bilden eine eigene Abteilung der Klasse (**Objekt-Extent**)

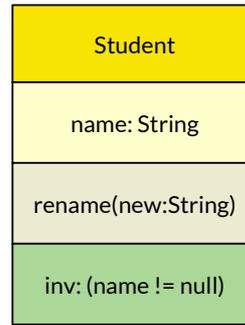
Prof. U. Abmann



Im Kontext eines Informationssystems (Datenbank) sind Klassen Mengen von Objekten.

Strukturorientierte Sicht: Merkmale von Klassen und Objekten

- ▶ Eine Klasse hat **Struktur- und Verhaltensmerkmale (features)**, in Java: **members**, die sie auf die Objekte überträgt.
 - Damit haben alle Objekte der Klasse die gleichen Merkmale
 - Die Merkmale sind in **Abteilungen (compartments)** gegliedert:
 - **Attribute (attributes, Daten)** haben in einem Objekt einen objektspezifischen Wert
 - Die Werte bilden in ihrer Gesamtheit den **Zustand** des Objektes, der sich über der Zeit ändert.
 - **Operationen** (Methoden, Funktionen, Prozeduren, *functions, methods*) sind Prozeduren, die den Zustand des Objektes abfragen oder verändern können.
 - **Invarianten** sind Bedingungen, die für alle Objekte zu allen Zeiten gelten
 - Die Menge der Invarianten bildet eine Äquivalenzrelation
- ▶ Da ein Objekt aus der Schablone der Klasse erzeugt wird, sind anfänglich die Werte seiner Attribute die des Klassenprototyps.
- ▶ Durch Ausführung von Methoden ändert sich jedoch der Zustand, d.h., die Attributwerte.



Verhaltensorientierte Sicht: Arten von Methoden

Zustandsinvariante Methoden:

- **Anfragen (*queries*, *Testbefehle*).** Diese Prozeduren geben über den Zustand des Objektes Auskunft, verändern den Zustand aber nicht.
- **Prüfer (*checker*, *Prüfbefehle*)** prüfen eine Konsistenzbedingung (Integritätsbedingung, integrity constraint, Invariante) auf dem Objekt, verändern den Zustand aber nicht.
 - Diese Prozeduren liefern einen booleschen Wert.
 - Prüfer von Invarianten, Vorbedingungen für Methoden, Nachbedingungen
- **Tester (*Zustandstester*)** rufen einen Prüfer auf und vergleichen sein Ergebnis mit einem Sollwert. Tester prüfen z.B. Invarianten

Zustandsverändernde Methoden:

- **Modifikatoren (Mutatoren)**
 - **Attributmodifikatoren** ändern den (lokalen) Zustand des Objekts
 - **Netzmodifikatoren** ändern die Vernetzung des Objektes
- **Repräsentationswechsler (*representation changers*)** transportieren das Objekt in eine andere Repräsentation
 - z.B. drucken den Zustand des Objekts in einen String, auf eine Datei oder auf einen Datenstrom.
- **Allgemeine Methoden**

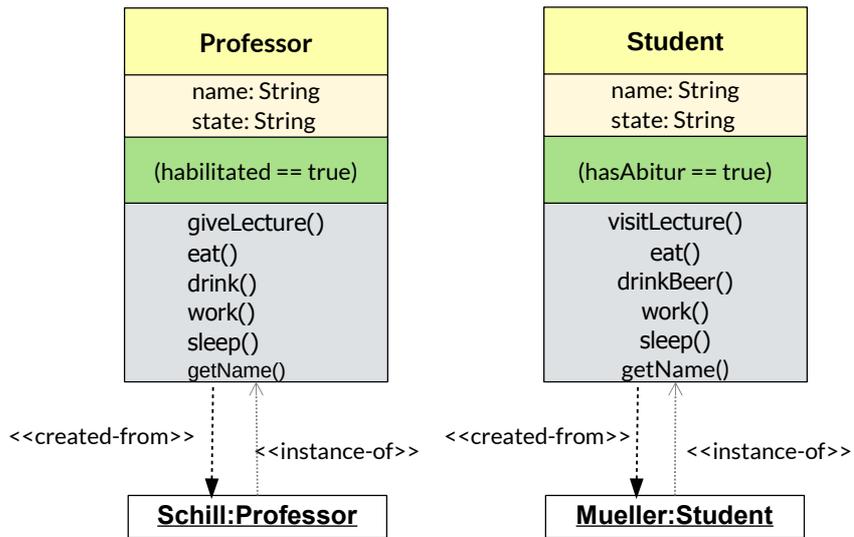
Student
name: String
inv: (name != null)
String getName() rename(new:String) bool checkNonNull()
runTest(newName)
setName(newName)
setNeighbor(neighbor)
serialize(File)



Klasse in verhaltensorientierter Sicht Professoren und Studenten

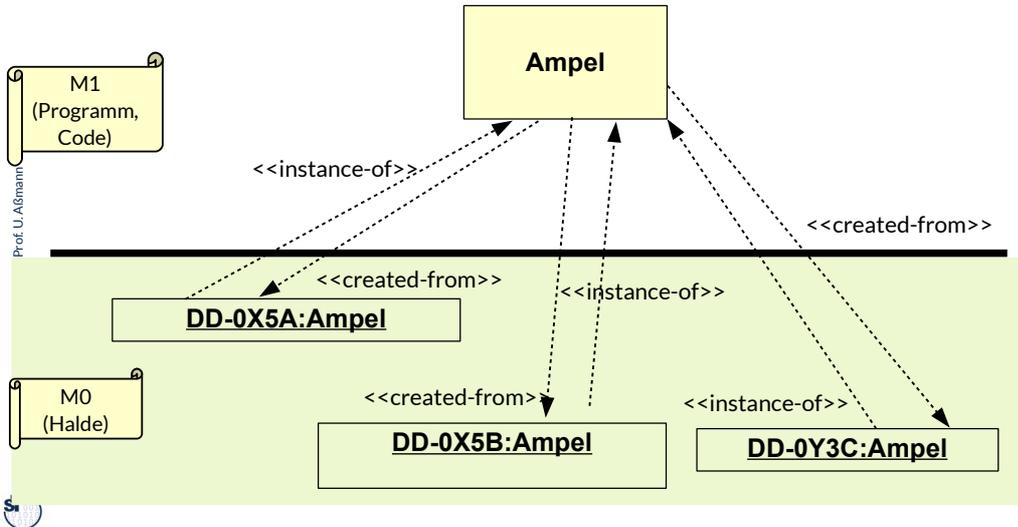
- ▶ Ausprägungen werden durch Klassen-Objekt-Assoziationen ausgedrückt
- ▶ *created-from* ist die inverse Relation zu *instance-of*

© Prof. U. Altmann



Klasse in strukturorientierter Sicht

- ▶ Objekte befinden sich auf Modellierungsschicht 0 (M0)
- ▶ Klassen befinden sich auf Modellierungsschicht 1 (M1): Klassen sind Äquivalenzklassen und Schablonen für Objekte



Strukturorientierte Sicht

Wie sieht eine Klasse im Speicher aus?

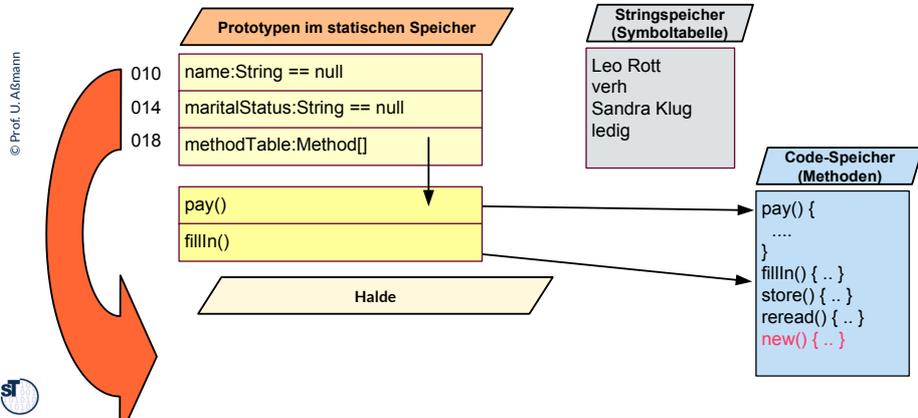
- ▶ Um die unterschiedlichen Sichtweisen auf Klassen zusammen behandeln zu können, gehen wir im Folgenden von folgenden Annahmen aus:
- ▶ Jede Klasse hat ein **Prototyp-Objekt** (eine Schablone)
 - Der Prototyp wird vor Ausführung des Programms angelegt (im statischen Speicher) und besitzt
 - eine Tabelle mit Methodenadressen im Codespeicher (die *Methodentabelle*). Der Aufruf einer Methode erfolgt immer über die Methodentabelle des Prototyps
 - Eine Menge von statische Attributwerten (Klassenattribute)
- ▶ und einen **Objekt-Extent (Objektmenge)**, eine Menge von Objekten (vereinfacht als Liste realisiert), die alle Objekte der Klasse erreichbar macht
 - In einer Datenbank entspricht der Objekt-Extent der Relation, die Klasse dem Schema



Wie erzeugt man ein Objekt für eine Klasse? (Verfeinerung)

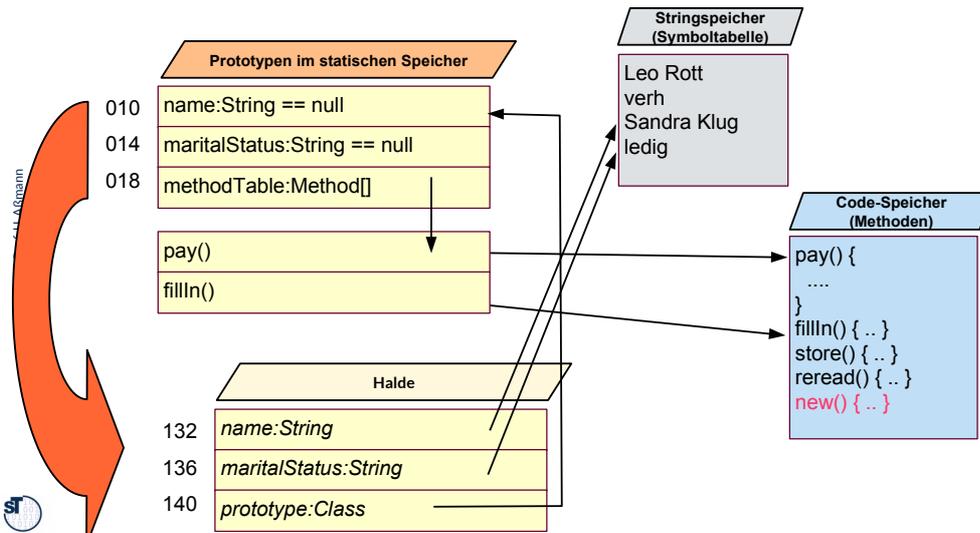
```
zahler2 = new Steuerzahler("Sandra Klug", "ledig");
```

- Man kopiert den Prototyp in die Halde:
 - Man reserviert den Platz des Prototyps in der Halde
 - kopiert den *Zeiger* auf die Methodentabelle (Vorteil: Methodentabelle kann von allen Objekten einer Klasse benutzt werden)
 - und füllt die Prototypattributwerte in den neuen Platz



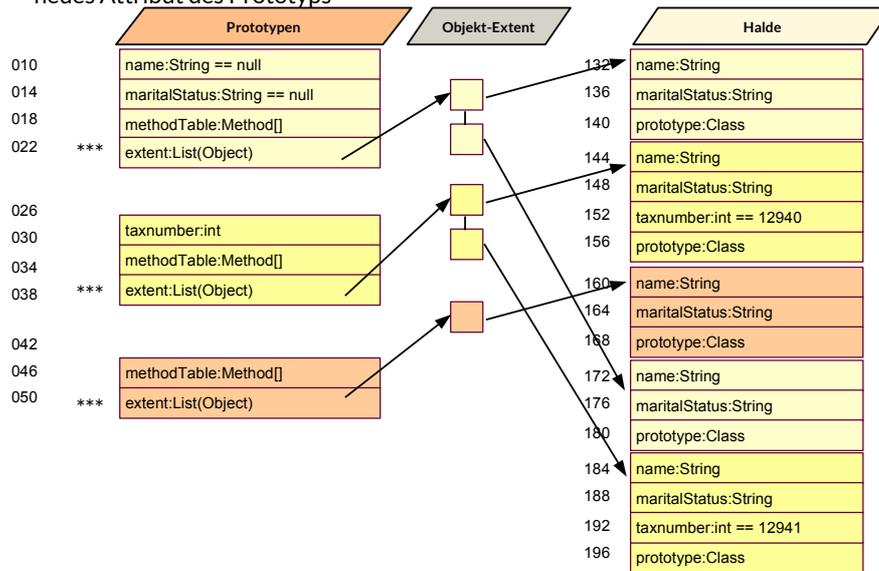
Wie erzeugt man ein Objekt für eine Klasse? (Verfeinerung)

► Ergebnis:



Die Objektliste einer Klasse (Objekt-Extent) im Speicher

- Der **Objekt-Extent** ist eine Liste der Objekte einer Klasse. Wir benötigen dazu ein neues Attribut des Prototyps





10.2.1. Objektnetze

- ▶ Auf Klassen- und Objektebene



Objektnetze

- ▶ Objekte existieren selten alleine; sie werden zu **Objektnetzen** verflochten (Objekte und ihre Relationen)
 - Ein Link von einem Objekt zum nächsten heisst **Referenz** (*Objekt-Assoziation*)
 - Die Beziehungen der Objekte in der Domäne müssen abgebildet werden

```
class TaxDeclaration {
    TaxPayer taxPayer; void edit() { .. };
    void setTaxPayer(TaxPayer t) { taxDecl = t; }
}
class TaxPayer {
    TaxDeclaration taxDecl;
    void setTaxDeclaration(TaxDeclaration t) {
        taxDecl = t; }
    void work() {..}
}
...
TaxPayer tp = new TaxPayer();
// tp0.taxDecl == undefined
TaxDeclaration decl = new TaxDeclaration();
// decl.taxPayer == undefined
tp.setTaxDeclaration(decl); // tp.taxDecl == decl
decl.setTaxPayer(tp); // decl.taxPayer == tp
tp.work();
```

tp:TaxPayer
taxDecl:TaxDeclaration=decl
work() setTaxDeclaration(t:TaxDeclaration)

decl:TaxDeclaration
taxPayer:TaxPayer=tp
edit() setTaxPayer(t:TaxPayer)

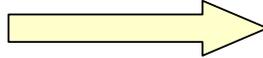
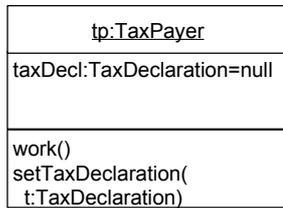
Kein Objekt ist eine Insel, sondern arbeiten mit anderen Objekten zusammen. Daher hat ein Objekt

- Referenzen auf Nachbarobjekte
- Aufrufe an Methoden von Nachbarobjekten
- Zugriff auf Attribute von Nachbarobjekten

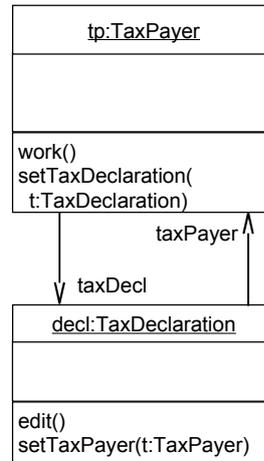
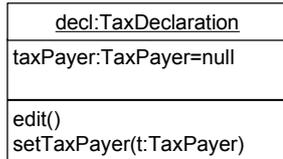
Objektwertige Attribute in Objektnetzen

- ▶ ... können als Objektnetze in UML dargestellt werden
- ▶ In Java werden also Referenzen durch Attribute mit dem Typ eines Objekts (also kein Basistyp wie int); in UML durch Pfeile

© Prof. U. Altmann

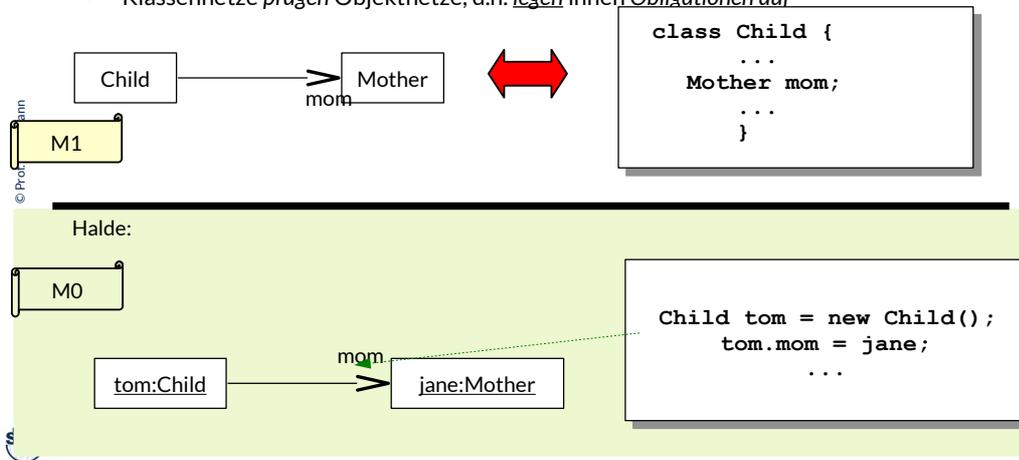


`tp.setTaxDeclaration(tp);`
`decl.setTaxPayer(decl);`



Klassennetze und Objektnetze

- ▶ Klassendiagramme (M1) sind "Zwangsjacken" für Objektdiagramme (M0)
- ▶ Objekte und Klassen können zu **Objektnetzen** verbunden werden:
 - Klassen durch *Assoziationen* (gerichtete Pfeile)
 - Objekte durch *Links* (*Zeiger*, *pointer*, gerichtete Pfeile)
- ▶ Klassennetze *prägen* Objektnetze, d.h. *legen* ihnen *Obligationen auf*

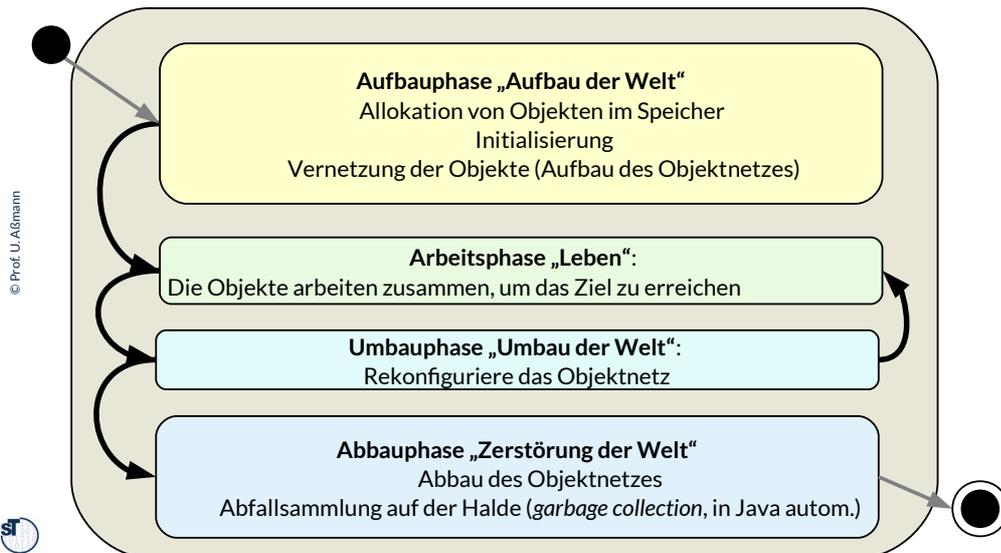


Auf Klassenebene, M1, heißen Netze Assoziationen (relationships).

Auf Objektebene, M0, heißen Netze Graphen mit Links.

Phasen eines objektorientierten Programms

- ▶ Die folgende Phasengliederung ist als Anhaltspunkt zu verstehen; oft werden einzelne Phasen weggelassen oder in der Reihenfolge verändert



Bevor ein objektorientiertes Programm zu arbeiten beginnen kann, muss ein minimales Objektnetz aufgebaut sein („Aufbau der Welt“).

Da Objektnetze sich über der Zeit verändern können, müssen Phasen des Umbaus berücksichtigt werden, in denen das Netz umkonfiguriert wird. Danach wird weitergearbeitet.

Phasen eines objektorientierten Programms

```
class TaxDeclaration { TaxPayer taxPayer; static int number = 0;
void setTaxPayer(TaxPayer t) { taxDecl = t; };
void setNumber() { number++; };
void edit() { .. };
}
class TaxPayer { TaxDeclaration taxDecl;
void setTaxDeclaration(TaxDeclaration t) { taxDecl = t; }
void work() {..}
```

```
TaxPayer tp = new TaxPayer(); // tp0.taxDecl == undefined
TaxDeclaration decl = new TaxDeclaration(); // decl.taxPayer == undefined
```

Allokation

```
tp.setName („John Silver“);
decl.setNumber();
```

Initialisierung

```
tp.setTaxDeclaration(decl); // tp.taxDecl == decl
decl.setTaxPayer(tp); // decl.taxPayer == tp
```

Vernetzung

```
tp.work();
decl.edit();
```

Arbeitsphase

```
tp = null;
decl = null;
```

Abbauphase

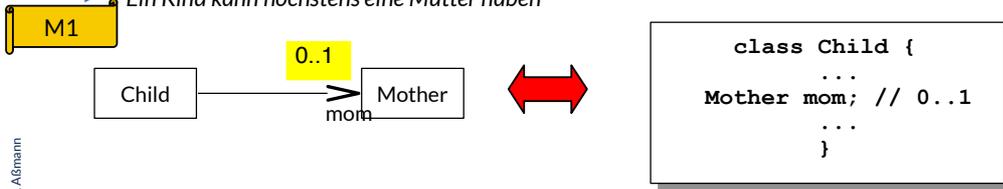
© Prof. U. Abmann



Invarianten auf Links und Assoziationen

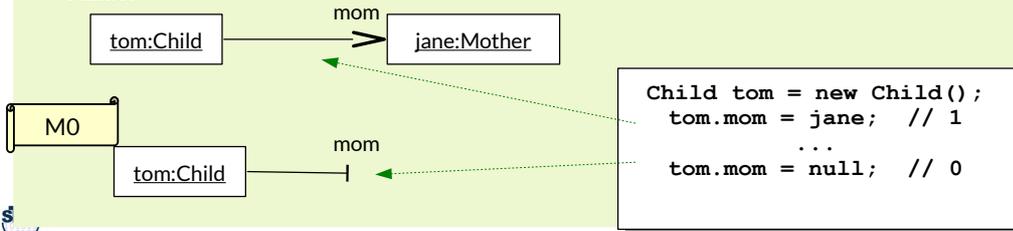
- ▶ Invarianten können in UML auch für Relationen spezifiziert werden
 - *Multiplizitäten* für die Anzahl der Partner (*Kardinalitätsbeschränkung* der Assoziation)

▶ "Ein Kind kann höchstens eine Mutter haben"



© Prof. U. Abmann

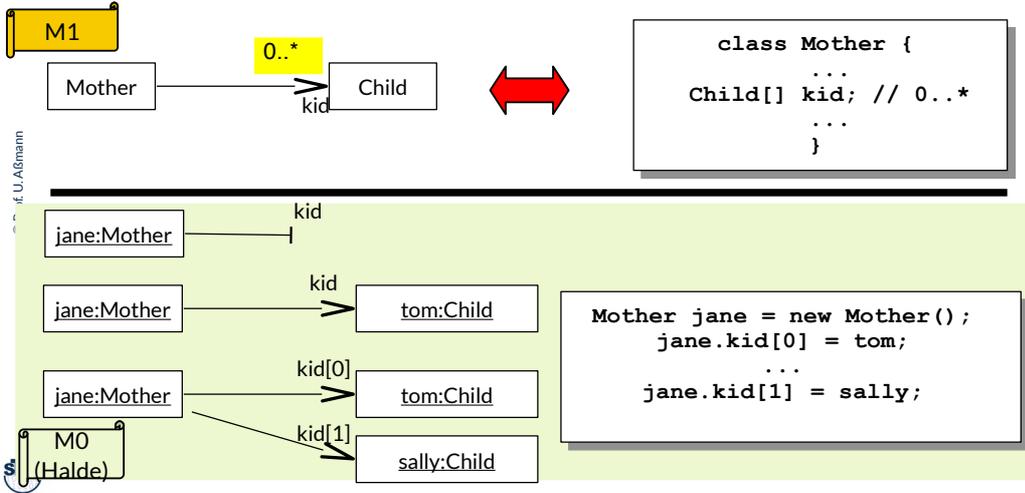
Halde:



© Prof. U. Abmann

Mehrstellige Assoziationen

- ▶ Eine Mutter kann aber viele Kinder haben
 - Implementierung in Java durch integer-indizierbare Felder mit statisch bekannter Obergrenze (*arrays*). Allgemeinere Realisierungen im Kapitel "Collections".
- ▶ Assoziationen und ihre Multiplizitäten prägen also die Gestalt der Objektnetze.



10.2 Zusammenfassung: Klassen als Begriffe, Mengen und Schablonen

<<concept>>
Bildung

48 Softwaretechnologie (ST)

- ▶ **Begriffsorientierte Sicht:** Eine Klasse stellt einen *Begriff* dar. Dann *charakterisiert* die Klasse ein *Konzept*
 - Man nennt das Modell eine *Begriffshierarchie*, *Begriffswelt* (*Ontologie*, gr. Lehre von der Welt)
- ▶ **Mengenorientierte Sicht:** (z.B. in Datenbanken) Eine Klasse *enthält* eine Menge von Objekten
 - Eine Klasse *abstrahiert* eine Menge von Objekten
- ▶ **Schablonenorientierte (ähnlichkeitsorientierte) Sicht:**
 - Eine Klasse bildet eine *Äquivalenzklasse* für eine Menge von Objekten
 - Eine Äquivalenzklasse ist eine spezielle Menge, die durch ein gemeinsames Prädikat charakterisiert ist (Klassenprädikat, Klasseninvariante, Äquivalenzprädikat)
- ▶ **Strukturorientierte Sicht:** Die Klasse schreibt die innere **Struktur** ihrer Objekte vor (**Strukturäquivalenz**)
 - Objekt erbt das Prädikat und die die Attribute der Klasse
 - Bildung eines neuen Objektes aus einer Klasse in der strukturorientierten Sicht:
 - Eine Klasse enthält einen speziellen Repräsentanten, ein spezielles Objekt, ein Schablonenobjekt (Prototyp) für ihre Objekte. Ein Objekt wird aus einer Klasse erzeugt (Objektallokation), indem der Prototyp in einen freien Speicherbereich kopiert wird.
- **Verhaltensorientierte Sicht:** Die Klasse kann zusätzlich das **Verhalten** ihrer Objekte vorschreiben (**Verhaltensäquivalenz**). Ein Objekt wird aus einer Klasse erzeugt (Objektallokation),
 - **Verhaltensäquivalenz:** Damit erbt das neue Objekt das Verhalten der Klasse (die Operationen), das Prädikat und die Attribute des Prototyps (meistens Nullwerte wie 0 oder null)

<<set>>
Flower

<<template>>
Student

<<concrete>>
Ampel

© Prof. U. Altmann



Was bedeutet “instance-of” für die verschiedenen Sichten auf Klassen?

•Begriffsorientierte Sicht:

- Für Begriffe gibt es kein instance-of

•Mengenorientierte Sicht:

- instance-of bedeutet hier Enthaltensein (element-of)

•Schablonenorientierte (ähnlichkeitsorientierte) Sicht:

- Instance-of bedeutet “von einer Schablone abgeleitet”

•Strukturorientierte Sicht: Die Klasse schreibt die innere **Struktur** ihrer Objekte vor (**Strukturäquivalenz**)

- instance-of bedeutet hier Strukturgleichheit
- Objekt erbt das Prädikat und die die Attribute der Klasse

•Verhaltensorientierte Sicht:

- instance-of bedeutet also Verhaltensgleichheit mit den anderen Objekten der Klasse

10.3 Objektorientierte Modellierung

wenn kundennahe und parallele Szenarien *einfach* aufgeschrieben werden sollen

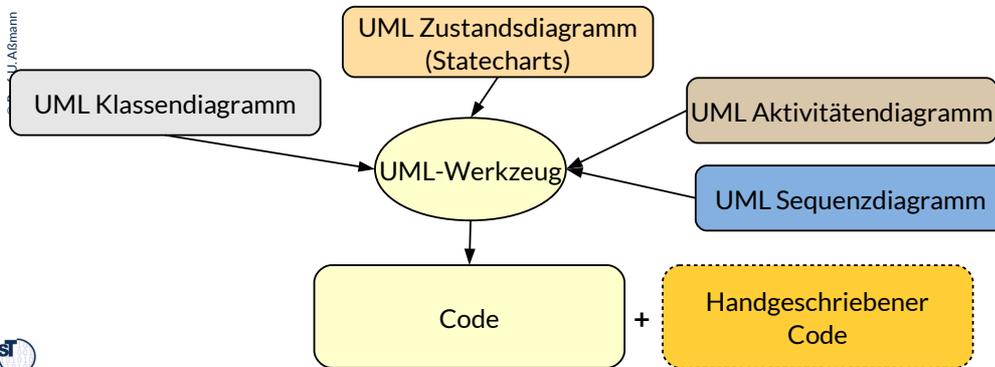
- ▶ Programmierung spezifiziert ein System **vollständig**
- ▶ Modellierung spezifiziert einfachere **Sichten** auf ein System
 - Wird oft in der Anforderungsanalyse und im Entwurf gebraucht
 - Wird zur Abstraktion eingesetzt, um das komplexe Softwaresysteme zu vereinfachen



System-Modellierung mit UML

50 Softwaretechnologie (ST)

- ▶ UML besteht aus einer Sprachfamilie, deren Sprachen unterschiedliche Sichten auf das System modellieren
- ▶ **Modellierung** spezifiziert mehrere fragmentarische Sichten eines Systems, die an sich einfacher sind als das gesamte System
 - Vorteil: Sichten können oft verifiziert werden
 - Aus Modellen kann per Werkzeug Code generiert werden
- ▶ Beispielhaftes Szenario mit Modell-Sichten:



UML kann zur Generierung von Code genutzt werden (“modellgetriebene Softwareentwicklung”). In der Regel betrifft dies dann einen gewissen Prozentsatz einer Anwendung, der Rest wird von Hand ergänzt (z.B. in Java).

Heim-Übung: Ampeln

- ▶ Lade Datei `TrafficLightDemo.java` von der Webseite
- ▶ Lese und analysiere die Datei:
 - Wie bestimmt man die Zahl der erzeugten Ampeln?
 - Identifiziere den Konstruktor der Klasse
 - Wie wird der Konstruktor eingesetzt?
 - Wie schaltet man eine Ampel weiter?
- ▶ Übersetze die Datei mit `javac`
- ▶ Führe das Programm aus (Vorsicht, nur den Klassennamen benutzen)

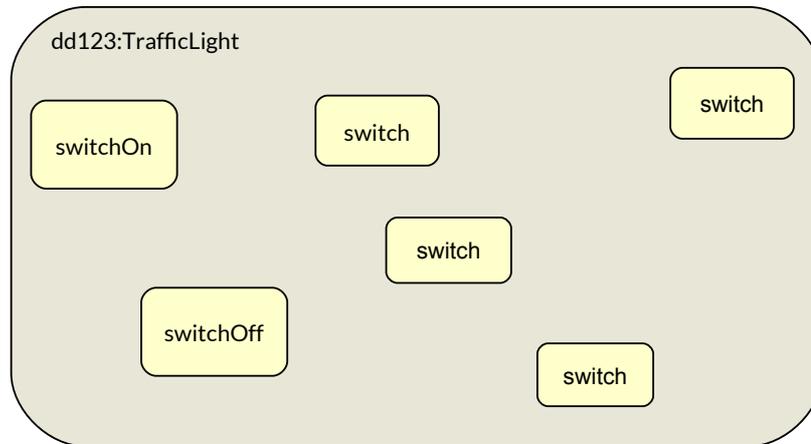
TrafficLightDemo.java



Ein Objekt besteht aus einer Menge von Aktivitäten auf einem Zustand (UML-Aktivitätendiagramm, UML-AD)

53 Softwaretechnologie (ST)

- ▶ Die Reihe der Aktivitäten (Operationen) eines Objektes nennt man **Lebenszyklus**.
- ▶ Reihenfolgen von Aktivitäten kann man in UML mit einem **Aktivitätendiagramm** beschreiben
- ▶ Hier: die Hauptaktivität (Lebenszyklus) von dd123 ist in Unteraktivitäten aufgeteilt



© Prof. U. Abmann



Objekte haben einen internen Zustand, der aus der Wertemenge ihrer Attribute besteht

Aktivitäten sind *in eine spezifische, meist partielle Reihenfolge gebrachte* Operationen, die Attribute modifizieren.

Aktivitätendiagramm tauchen an vielen Stellen in der Analyse, dem Entwurf, und der plattformspezifischen Modellierung auf.

Setzt man einen kontinuierlichen Strom von Daten voraus, nennt man das Aktivitätendiagramm ein *Datenfluss-Diagramm (data-flow diagram, DFD)*.

Allokation und Aufruf eines Objektes in Java

- ▶ Objekte durchlaufen im Laufe ihres Lebens viele Zustandsveränderungen, die durch Aufrufe von Operationen verursacht werden
- ▶ Das objektorientierte Programm simuliert dabei den Lebenszyklus eines Domänenobjekts

```
// Typical life of a traffic light
TrafficLight dd123 = new TrafficLight();
// Allokation: lege Objekt im Speicher an, initialer Zustand ist
// „blinking“

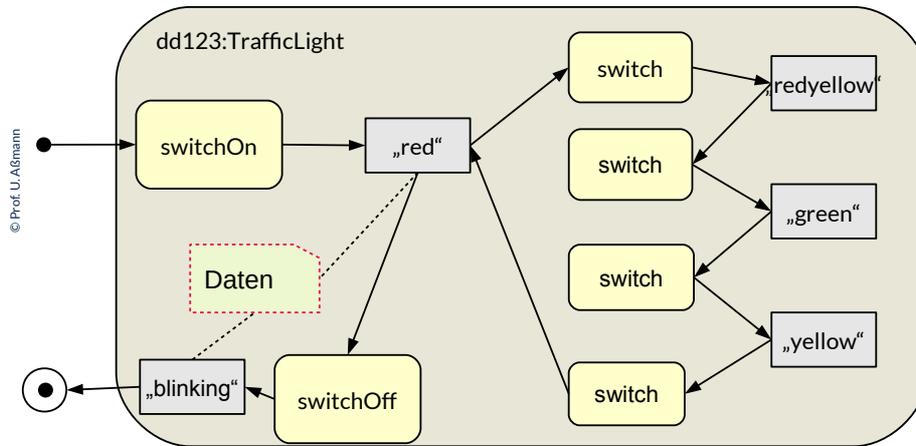
dd123.switchOn(); // Zustand wird „red“
while (true) {
    dd123.switch(); // Yields: john.state == „redyellow“
    dd123.switch(); // Yields: john.state == „green“
    dd123.switch(); // Yields: john.state == „yellow“
    dd123.switch(); // Yields: john.state == „red“
}
```



Operationen schalten den Zustand eines Objekts fort. Hat man ein Aktivitätendiagramm gegeben, übersetzt man die Aktivitäten in Aufrufe an Methoden.

Objekt-Lebenszyklus mit UML-Aktivitätendiagramm

- ▶ Die Reihe der Aktivitäten (Operationen) eines Objektes nennt man **Lebenszyklus**.
- ▶ Reihenfolgen von Aktivitäten kann man in UML mit einem **Aktivitätendiagramm** beschreiben
- ▶ Hier: die Hauptaktivität (Lebenszyklus) von dd123 ist in Unteraktivitäten aufgeteilt

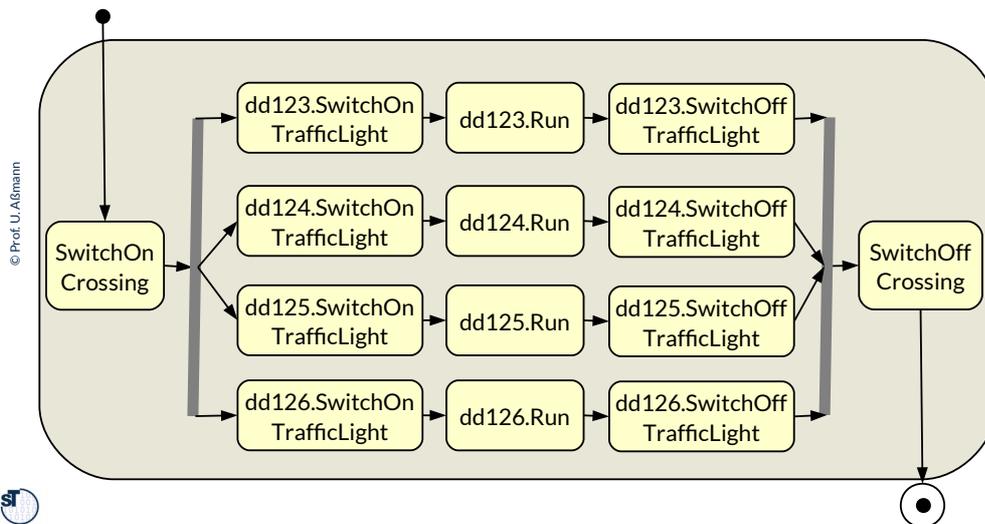


© Prof. U. Abmann



Objekt-Lebenszyklus mit parallelen Aktivitäten

- ▶ Aktivitäten können parallel vor sich gehen



Objekte können parallel arbeiten. In Aktivitätendiagrammen kann Parallelität durch die Ausgänge einer “Synchronisationsbalkens (synchronization bar)” erzeugt bzw. durch die Eingänge eines Synchronisationsbalkens wieder reduziert werden.

In Java ist dies nur möglich durch den Einsatz von speziellen Bibliotheken; die Kernsprache ist sequentiell.

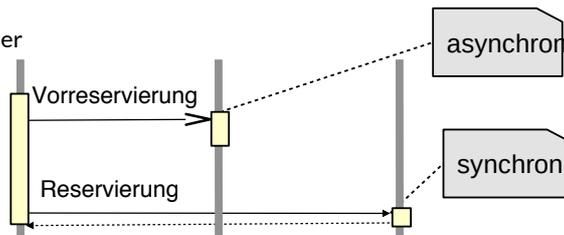
Aufrufe und Nachrichten in sequentiellen und parallelen OO Sprachen

- ▶ Objekte kommunizieren durch
 - Aufrufe (call, synchron)
 - Senden von Nachrichten (Botschaft, message, asynchron)
- ▶ Sie reagieren auf den Empfang einer Nachricht mit dem Ausführen eines **Dienstes (Methode, Operation)**

In einer **sequentiellen objekt-orientierten Sprache** (wie Java) gibt es nur synchrone Aufrufe, bestehend:

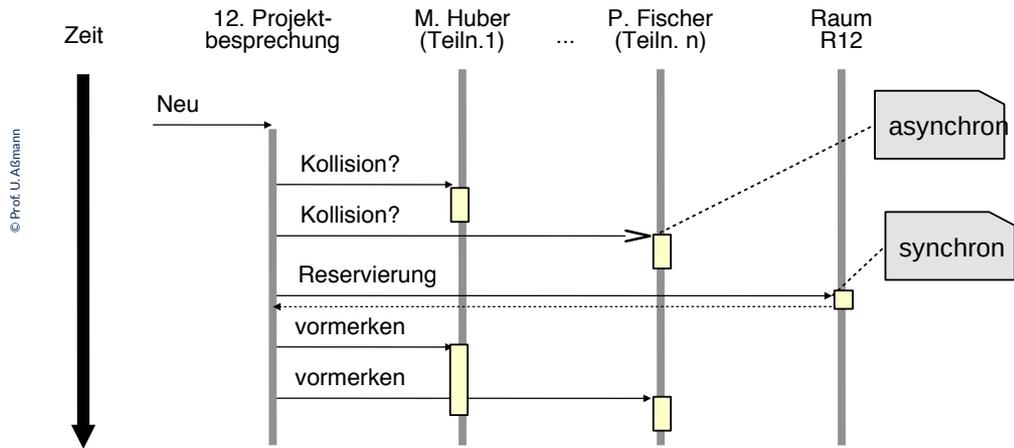
- einer Aufruf-Nachricht, einen Dienst auszuführen
- einer **synchronen** Ausführung einer Methode und
- einer Aufruf-Fertigmeldung (mit Rückgabe)

- ▶ In einer **parallelen objekt-orientierten Sprache** (wie UML-AD) setzt sich ein Aufruf an ein Objekt zusammen aus:
 - einer Nachricht
 - einer **asynchronen** Ausführung von Methoden (der Sender kann parallel weiterlaufen)
 - Ggf. einer Aufruf-Fertigmeldung (mit Rückgabe), die vom Sender ausdrücklich abgefragt werden muss



UML-Sequenzdiagramm (UML-SC): Kooperative Ausführung in Szenarien paralleler Objekte

- ▶ In UML kann man sequentielle oder parallele Operationen spezifizieren
- ▶ Kooperierende Objekte mit lokaler Datenhaltung
- ▶ Nachrichten starten synchrone oder asynchrone Methoden

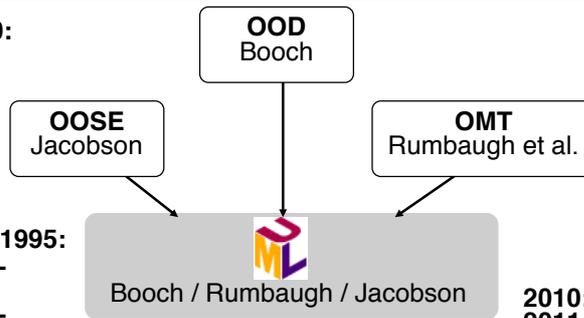


© Prof. U. Abmann



Modellierung mit der Unified Modeling Language UML

Ca. 1990:



1995:

2004: UML

2.0

2007: UML

2.1

2008: UML

▶ **2.0** UML ist eine objekt-orientierte diagrammbasierte Modellierungssprache

- Programmfragmente werden in Diagramm-Modellen ausgedrückt

▶ Industriestandard der OMG (Object Management Group)

- <http://www.omg.org/uml>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Unified_Modeling_Language

▶ Achtung: wir verwenden hier jUML (Java-äquivalent), aUML (für Analyse), dUML (für Design).





10.4 Objektorientierte Programmierung



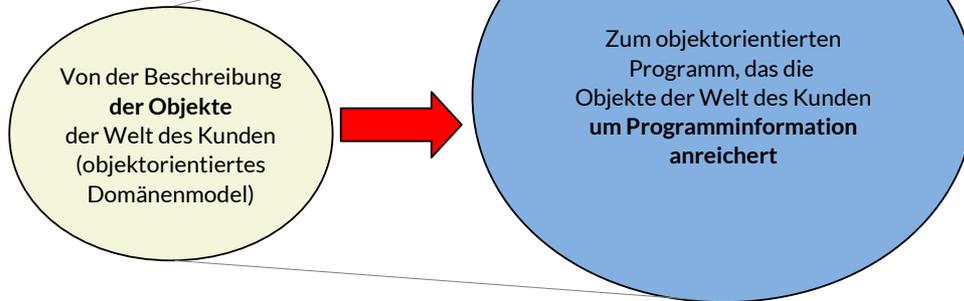
Die zentrale Antwort des objektorientierten Ansatzes: Schrittweises Wachstum im "biologischen Programmieren"

61 Softwaretechnologie (ST)

Wie kommen wir vom Problem des Kunden zum Programm?

Wachstum

© Prof. U. Altmann



„Biologisches Programmieren“ setzt auf schrittweises Wachstum
aus dem fachlichen Modell heraus



- ▶ Java verwendet relativ **einfach** und **konzeptionell klare Konzepte**
 - Strenges Typsystem, um Fehler früh zu finden
 - Automatische Speicherbereinigung: weniger Speicherprogrammierfehler
 - Generische Klassen für streng typisierte Code-Schablonen
- ▶ Java ist **plattform-unabhängig** von Hardware und Betriebssystem.
 - Kein Zugriff auf Speicheradressen (im Unterschied zu C), daher plattformportabel
 - Java *Bytecode* in der *Java Virtual Machine*
- ▶ Java ist angepaßt an moderne Benutzungsoberflächen, inkl. Web
 - *Java Swing Library*, *Java FX*, *Java Spring (Web)*
- ▶ Java bietet die **Wiederbenutzung** von großen Klassenbibliotheken (Frameworks, Rahmenwerken) an
 - z.B. *Java Collection Framework*
- ▶ Java ermöglicht mit Hilfe seiner Bibliotheken parallele, nebenläufige, persistente und verteilte Programme (*parallel, multi-threading, persistent, distributed*)



Objektorientierte Klassenbibliotheken (Frameworks, Rahmenwerke)

- ▶ Klassenbibliotheken sind vorgefertigte Mengen von Klassen, die in eigenen Programmen (Anwendungen) benutzt werden können
 - Java Development Kit (JDK)
 - Collections, Swing, ...
 - Test-Klassenbibliothek Junit
 - Praktikumsbibliothek SalesPoint
- ▶ Durch Vererbung kann eine Klasse aus einer Bibliothek angepasst werden
 - Eine Anwendung besteht nur zu einem kleinen Prozentsatz aus eigenem Code (Wiederverwendung bringt Kostenersparnis)
- ▶ Nachteil: Klassenbibliotheken sind komplexe Programmkomponenten.
 - Man muss eine gewisse Zeit investieren, um die Klassenbibliothek kennenzulernen
 - Man muss eine Menge von Klassenbibliotheken kennen



- ▶ Keine Verhaltensgleichheit von Klassen garantiert (keine konforme Vererbung):
 - Man kann bei der Wiederbenutzung von Bibliotheksklassen Fehler machen und den Bibliothekscode *invalidieren*
- ▶ Basisdatentypen (int, char, boolean, array) sind keine Objekte
 - Anders in C#!
- ▶ JVM startet langsam. Beim Start lädt sie zuerst alle Klassen (dynamic class loading), anstatt sie statisch zu einem ausführbaren Programm zu binden
 - Übung: Starte die JVM mit dem `-verbose` flag
- ▶ Grosse Bibliothek benötigt grossen Einarbeitungsaufwand



Warum ist das alles wichtig?

- ▶ Anfangsfrage: *Wie können wir die Welt möglichst einfach beschreiben?*
- ▶ Antwort: *durch Objekte*
 - ..und ihre Klassen, die sie abstrahieren
 - ... die Beziehungen der Klassen (Vererbung, Assoziation)
 - .. ihre Verantwortlichkeiten
- ▶ Daher bietet Objektorientierung eine Entwicklungsmethodik an, die die Welt des Kunden mit der technischen Welt des Programms *brückt*
 - Die Software ist *einfach* modelliert, d.h. analog zur Welt organisiert
 - Die Software ergibt sich als "Erweiterung" der Welt
 - Daher wird die Entwicklung erleichtert
- Objektorientierte Modellierung führt Sichten ein, die die Spezifikation eines Systems erleichtern



SUMMARY



The End

- ▶ Warum gibt es verschiedene Begriffe von Klassen? Welche kennen sie, wie grenzen sie sich voneinander ab?
- ▶ Erklären Sie den Begriff des "Objekt-Extents".
- ▶ Welche Frage steht bei der objektorientierten Entwicklung im Vordergrund?
- ▶ Erklären Sie, warum Objekte den Speicher aufteilen und ihren Zustand kapseln.
- ▶ Welche Speicherbereiche sind dynamisch, welche konstant?
- ▶ Wie kommen die Prozeduren aus dem .class-File in den Speicher des Programms?
- ▶ Wie wird ein .class-File erzeugt?
- ▶ Welche Methode eines Java-Programms wird als erstes von wem aus aufgerufen?
- ▶ Erklären Sie das Konzept eines Arrays in Java.
- ▶ Wie kann man Objekt- und Klassendiagramme in einem Diagramm anordnen?
- ▶ Was ist M0 und M1? Wieso kommt der Keller nicht in M0 vor?





10.5 Anhang

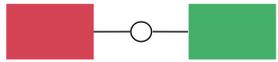


Die Antwort der Objektorientierung: durch Software-Objekte

Identifikation von Objekten in Systemen
Kapselung von Funktionen und Zuständen in Objekten
(Verantwortungsbereiche)

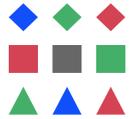
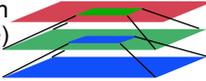


© Prof. U. Altmann



Klare Schnittstellen zwischen Teilsystemen
(Benutzungsprotokolle zwischen Objekten)

Verschiedene Abstraktionsebenen
(Hierarchie)



Vorgefertigte Teile - Wiederverwendung
(Baukastenprinzip, Rahmenwerke)



▶ **Funktionale** Programmierung:

- Funktionsdefinition und -komposition, Rekursion
 - Werte, keine Zustände, keine Objekte mit Identität
- ```
fac(n) = if n = 0 then 1 else n * fac(n-1) end
```

▶ **Imperative** Programmierung:

- Variablen, Attribute (Zustandsbegriff)
  - Steuerfluß: Anweisungsfolgen, Schleifen, Prozeduren
- ```
k := n; r := 1; while k > 0 do r := r*k; k := k-1 end;
```

▶ **Logische** Programmierung:

- Werte, keine Zustände, keine Objekte mit Identität
- Formallogische Axiomensysteme (Hornklauseln)
- Fakten, Prädikate, Invarianten
- Deduktionsregeln (Resolution)

```
fac(0,1).  
fac(n+1, r) :- fac(n, r1),  
mult(n+1, r1, r).
```

At the end of the day, you have to
put your data and operations
somewhere.
Martin Odersky



- ▶ **Unstrukturierte** Programmierung:
 - Lineare Folge von Befehlen, Sprüngen, Marken (*spaghetti code*)
`k:=n; r:=1; M: if k<=0 goto E; r:=r*k; k:=k-1; goto M; E:...`
- ▶ **Strukturierte** Programmierung:
 - Blöcke, Prozeduren, Fallunterscheidung, Schleifen
 - Ein Eingang, ein Ausgang für jeden Block
`k := n; r := 1; while k > 0 do r := r*k; k := k-1 end;`
- ▶ **Modulare** Programmierung:
 - Sammlung von Typdeklarationen und Prozeduren
 - Klare Schnittstellen zwischen Modulen
`DEFINITION MODULE F; PROCEDURE fac(n: CARDINAL): CARDINAL; ...`
- ▶ **Logische** Programmierung:
 - Darstellung von Daten als Fakten, Mengen, Listen, Bäume (Terme)
 - Wissen als Regeln
 - Deduktion zur Berechnung neuen Wissens
`public rule if (n == 1) then m = n.`



- ▶ **Objektorientierte** Programmierung:
 - Kapselung von Daten und Operationen in Objekte
 - Klassen, Vererbung und Polymorphie

```
public class CombMath extends Number { int fac(int n) ... }
```

- ▶ **Rollenorientierte** Programmierung:
 - Kapselung von kontextbezogenen Eigenschaften von Objekten in *Rollen*
 - Klassen, Vererbung und Polymorphie auch auf Rollen

```
public context ProducerConsumer {  
    public role class Producer { void put(int n); }  
    public role class Consumer { void get(int n); }  
} ...
```



Verschiedene Antworten auf “Wie komme ich zum Programm?”

72

Softwaretechnologie (ST)

- ▶ **Funktionale Sprachen (wie Haskell, ML)**
 - Eingabe wird durch Funktionen in Ausgaben umgesetzt
 - Berechnung von Werte *ohne* Zustand. Keine Referenzen auf Werte möglich
- ▶ **Imperative modulare Sprachen (wie Modula, C, Ada 83)**
 - Funktionen berechnen Werte *mit* Zustand.
 - Auf Ereignisse kann reagiert werden (reaktive Systeme)
 - Statische Aufrufbeziehungen zwischen den Funktionen
- ▶ **Logische Sprachen (Prolog, Datalog, F-Logik, OWL)**
 - Prädikate beschreiben Aussagen (Wahrheiten)
 - Deklarative Logik beschreibt inferierbares Wissen auf einer Faktenbasis
 - Kein expliziter Steuer- oder Datenfluß, ist implizit
- ▶ **Objektorientierte Sprachen (wie C++, Java, C#, Ada95)**
 - Funktionen berechnen Werte auf Objekten mit einem Zustand
 - **Domänen-Objekte bilden das Gerüst des Programms**
 - Dynamisch veränderliche Aufrufbeziehungen
- ▶ **Kontext- und Rollenorientierte objektorientierte Sprachen (wie ObjectTeams, SCROLL)**
 - Objekte haben kontextspezifische Unterobjekte
- ▶ **Modellierungssprachen (wie UML oder SysML)**
 - Zur einfachen Spezifikation von Sichten
 - Graphische Modelle, aus denen Code generiert werden kann (plattformunabhängig)



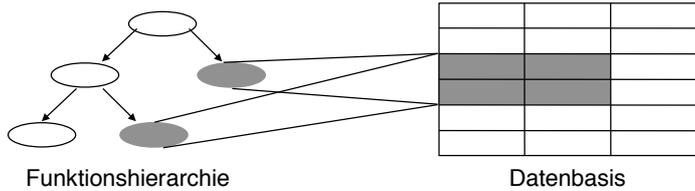
Orthogonalität der Objektorientierung

	Strukturiert	Modular	Objekt-orientiert	Rollen-orientiert
Funktional	--	ML	Haskell	--
Imperativ	Pascal	Modula-2 Ada	Java C++	ObjectTeams SCROLL
Logisch Mengenorientiert	--	XSB- Prolog	OWL fUML	--

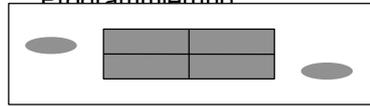


Objekte können in vielen Sprachen eingesetzt werden, und sind orthogonal zu den unterliegenden Sprachparadigmen. Mittlerweile hat sich die Objektorientierung in fast allen Sprachen durchgesetzt.

- **Separation** von Funktion und Daten in der modularen Programmierung



- **Integration** von Funktion und Daten in der objektorientierten Programmierung

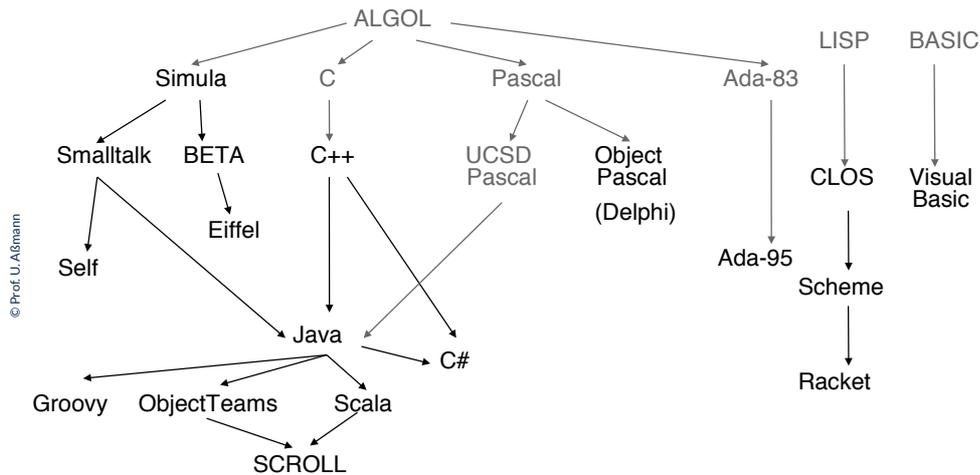


- ▶ In den Strukturparadigmen:
 - strukturiert: Separation von Funktion und Daten
 - modular: Modul = (grosse) Funktionsgruppe + lokale Daten
 - objektorientiert: Objekt = (kleine) Dateneinheit + lokale Funktionen



Ein Objekt kapselt Daten und stellt darauf eine Menge von Funktionen (Methoden, threads) zur Verfügung. Objektorientierung bietet also per se Datenlokalität.

Objektorientierte Programmiersprachen



© Prof. U. Altmann



“Stammbaum” objektorientierter Programmiersprachen
in Anlehnung an John Hunt, Java and Object Orientation:
An Introduction. 1998, S. 14, Springer-Verlag

Geschichte der OO-Programmierung

- ▶ **Simula:** Ole-Johan Dahl + Krysten Nygaard, Norwegen, 1967
 - Allan Kay: The Reactive Engine, Dissertation, Univ. Utah, 1969
- ▶ **Smalltalk:** Allan Kay, Adele Goldberg, H. H. Ingalls, Xerox Palo Alto Research Center (PARC), 1976-1980
- ▶ **C++:** Bjarne Stroustrup, Bell Labs (New Jersey), 1984
- ▶ **Eiffel:** Bertrand Meyer, 1988
- ▶ **Java:** Ken Arnold, James Gosling, Sun Microsystems, 1995
- ▶ **C#:** Anders Heijlsberg, Microsoft (auch Schöpfer von Turbo Pascal)
<http://www.csharp.net>
- ▶ **Scala:** Martin Odersky, <http://www.scala-lang.org>
- ▶ **Racket:** Dialekt von Lisp und Scheme
- ▶ **ObjectTeams:** Rollenorientierte Sprache von S. Hermann (TU Berlin)



Die Programmiersprache Java

- ▶ Vorläufer von Java: OAK (First Person Inc.), 1991-1992
 - Betriebssystem/Sprache für Geräte, u.a. interaktives Fernsehen
- ▶ 1995: HotJava Internet Browser
 - Java Applets für das World Wide Web
 - 1996: Netscape Browser (2.0) Java-enabled
- ▶ 2005: Java 10.5 mit Generizität
- ▶ Weiterentwicklungen:
 - Java als Applikationsentwicklungssprache (Enterprise Java)
 - Java zur Gerätesteuerung (Embedded Java)
 - Java Beans, Enterprise Java Beans (Software-Komponenten)
 - Java Smartcards
- ▶ 2014: Java 8
 - neue Fensterbibliothek JavaFX
 - Skeletons für paralleles Programmieren





10.A.1 Übungsaufgaben



Heim-Übung: Steuererklärungen

- ▶ Lade Datei `TaxDeclarationDemo.java` von der Webseite
- ▶ Lese und analysiere die Datei:
 - Welche Klassen sind English benannt und entsprechen den in der Vorlesung präsentierten Klassen?
 - Zeichnen sie ein Klassendiagramm mit Beziehungen zwischen den Klassen
 - Zeichnen Sie ein Snapshot der Anwendung bei Punkt (1) der `main`-Prozedur
 - Welche Attribute sind "doppelt", d.h. in verschiedenen Klassen mit gleicher Semantik definiert?
 - Warum sind manche Attribute "privat", d.h. nur über Zugriffsfunktionen ("setter/getter", accessors) zugreifbar?
 - Wie setzt man den Zustand eines Steuerzahlers von "ledig" auf "verheiratet"?





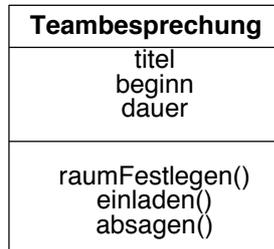
10.A.2 Merkmale von Klassen



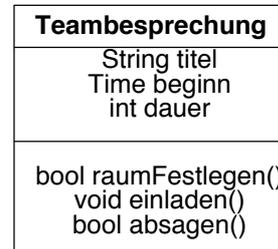
Operationen

- ▶ **Def.:** Eine **Operation (Instanzoperation)** einer Klasse *K* ist die Beschreibung einer Aufgabe, die jedes Objekt der Klasse *K* ausführen kann.
- ▶ **Operation:** "a service that can be requested from an object to effect behaviour" (UML-Standard)

aUML für Analyse:



jUML:



© Prof. U. Altmann

- ▶ "Leere Klammern":
 - In vielen Büchern (und den Unterlagen zur Vorlesung) zur Unterscheidung von Attributnamen: raumFestlegen(), einladen(), absagen() etc.
 - Klammern können aber auch weggelassen werden



In objektorientierten Sprachen gibt es neben Operationen weitere Konzepte, die Verhalten beschreiben

- ▶ **Message (Botschaft, Nachricht):** eine Nachricht an ein Objekt, um eine Operation auszuführen oder ein externes Ereignis mitzuteilen
- ▶ **Methode:** "the implementation of an operation (the "how" of an operation)"
 - "In den Methoden wird all das programmiert, was geschehen soll, wenn das Objekt die betreffende Botschaft erhält."
[Middendorf/Singer]
 - **Prozedur:** gibt keinen Wert zurück, verändert aber Zustand
 - **Funktion:** gibt einen Wert oder ein Objekt zurück
 - **synchrone Methode:** der Sender wartet auf die Beendigung des Service
 - **asynchrone Methode:** ein Service mit Verhalten aber ohne Rückgabe, d.h. der Sender braucht nicht zu warten
- **Kanal (channel):** Ein Objekt hat einen Ein- und einen Ausgabekanal (input, output channel), über den die Botschaften gesendet werden.
 - Das Objekt lauscht also an seinem Eingabekanal auf Nachrichten und führt sie synchron oder asynchron aus.

- ▶ **Definition:** Die *Spezifikation* einer Operation legt das Verhalten der Operation fest („was“), ohne einen Algorithmus („wie“) festzuschreiben.

Eine Spezifikation beschreibt das **„Was“** eines Systems, aber noch nicht das **„Wie“**.

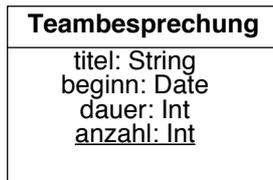
- ▶ Häufigste Formen von Spezifikationen:
 - **informell** (in der Analyse, aUML)
 - **Text** in natürlicher Sprache (oft mit speziellen Konventionen), oft in Programmcode eingebettet (Kommentare)
 - Werkzeugunterstützung zur Dokumentationsgenerierung, z.B. "javadoc"
 - Pseudocode (programmiersprachenartiger Text)
 - Tabellen, spezielle Notationen
 - **formal** (im Entwurf und Implementierung, dUML, jUML)
 - **Signaturen** (Typen der Parameter und Rückgabewerte)
 - **Vor- und Nachbedingungen** (Verträge, contracts)
 - **Protokolle mit Zustandsmaschinen**, Aktivitätendiagrammen

Klassenattribut (Statisches Attribut)

- ▶ Ein **Klassenattribut** A beschreibt ein Datenelement, das genau einen Wert für die gesamte Klasse annehmen kann.
 - Es ist also ein Attribut des Klassenprototypen, i.G. zu einem Attribut eines Objekts
- ▶ **Notation:** Unterstreichung

© Prof. U. Altmann

jUML:



aUML für Analyse:



Klassenoperation (Statische Operation)

- ▶ **Definition** Eine *Klassenoperation* A einer Klasse K ist die Beschreibung einer Aufgabe, die nur unter Kenntnis der aktuellen Gesamtheit der Instanzen der Klasse ausgeführt werden kann.
 - (Gewöhnliche Operationen heißen auch *Instanzoperationen*.)
 - Klassenoperationen bearbeiten i.d.R. *nur* Klassenattribute, *keine* Objektattribute.
- ▶ **Notation UML:** Unterstreichung analog zu Klassenattributen
- ▶ **Java:** Die Methode `main()` ist statisch, und kann vom Betriebssystem aus aufgerufen werden
 - Klassenattribute und -operationen: Schlüsselwort `static`
- ▶ Jede Klasse hat eine Klassenoperation `new()`, den Allokator

© Prof. U. Altmann

Besprechungsraum
raumNr kapazität
reservieren() freigeben() <u>freienRaumSuchen()</u> <u>new()</u>

```
class Steuererklaerung {  
    public static main (String[] args) {  
        Steuerzahler hans =  
            new Steuerzahler();  
        ...  
    }  
}
```



- ▶ Detaillierungsgrad in der Analysephase gering
 - meist Operationsname ausreichend
 - Signatur kann angegeben werden
 - Entwurfsphase und Implementierungsmodell: vollständige Angaben sind nötig.
- ▶ **jUML Notation:**
Operation (Art Parameter: ParamTyp=DefWert, ...): ResTyp
 - *Art* (des Parameters): **in**, **out**, oder **inout** (weglassen heißt **in**)
 - *DefWert* legt einen Default-Parameterwert fest, der bei Weglassen des Parameters im Aufruf gilt.
- ▶ **Beispiel** (Klasse Teambesprechung):
raumFestlegen (in wunschRaum: Besprechungsraum): Boolean



freienRaumSuchen ist eine Klassenoperation und deshalb unterstrichen.

Der 'transiente Parameter' raum (Art **inout**) wird so benutzt, dass er mit einem Raumwunsch vorbelegt wird und ggf. mit einem anderen Raum überschrieben wird.

reservieren hat ein Ergebnis von Booleschem Typ, um den Erfolg der Operation mitteilen zu können (da ein Raum zwischen seiner Freimeldung und einer Reservierung anderweitig vergeben werden kann).

Die Parameter raum und für (sowie auch dauer) sind Parameter mit Klassentyp (jeder Klassenname ist ja ein zulaessiger Datentyp). Zulässige Werte sind Referenzen auf Objekte der betreffenden Klasse. Eine Besonderheit von Referenztypen ist, daß jederzeit der Wert **null** zulässig ist.

Bei reservieren wurde absichtlich ein allgemeinerer Typ als Terminbesprechung angegeben, nämlich Termin. Damit wird die Operation auf Objektreferenzen jeder Unterklasse von Termin anwendbar, auch evtl. später hinzugefügten. Die Typanpassung von Unter- auf Oberklasse ist immer möglich (*upcast*).

Überladung von Operationen

- ▶ Zwei Methoden heissen *überladen*, wenn sie gleich heissen, sich aber in ihrer Signatur (Zahl oder Typisierung der Parameter) unterscheiden
 - Auswahl aus mehreren gleichnamigen Operationen nach Anzahl und Art der Parameter.

- ▶ Klassisches Beispiel: Arithmetik

+: (Nat,Nat)Nat, (Int,Int)Int, (Real,Real)Real

- ▶ Java-Operationen:

```
int f1 (int x, y) {...}
```

```
int f1 (int x) {...}
```

```
int x = f1(f1(1,2));
```

Arithmetic
raumNr kapazität
plus(Nat, Nat):Nat plus(Int, Int):Int plus(Real, Real):Real



Überladen vs. Polymorphismus

- ▶ Überladung wird vom Java-Übersetzer statisch aufgelöst. Aus

```
int f1 (int x, y) {...}
int f1 (int x) {...}
int x = f1(f1(1,2));
```

 - macht der Übersetzer

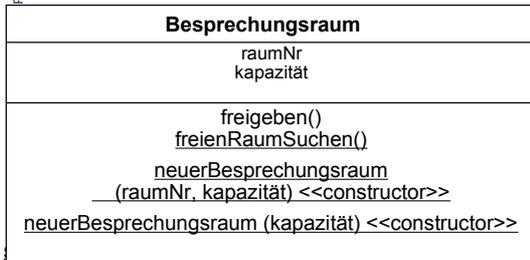
```
int f1_2_int_int (int x, y) {...}
int f1_1_int (int x) {...}
int x = f1_1_int( f1_2_int_int(1,2) );
```
 - indem er die Stelligkeit und die Typen der Parameter bestimmt und den Funktionsnamen in der .class-Datei expandiert
- ▶ Polymorphie dagegen kann nicht zur Übersetzungszeit aufgelöst werden
 - Der Merkmalsuchalgorithmus muss dynamisch laufen, da dem Übersetzer nicht klar ist, welchen Unterklassentyp ein Objekt besitzt (es können alle Typen unterhalb der angegebenen Klasse in Frage kommen)



Konstruktor-Operation

- ▶ **Definition:** Ein **Konstruktor (-operation)** C einer Klasse K ist eine Klassenoperation, die eine neue Instanz der Klasse erzeugt und initialisiert.
 - Ergebnistyp von C ist immer implizit die Klasse K.
- ▶ Explizite Konstruktoroperationen werden in UML mit einem Stereotyp "`<<constructor>>`" markiert.
- ▶ **Default-Konstruktor:** Eine Konstruktoroperationen ohne Parameter wird implizit für jede Klasse angenommen
- ▶ Konstruktoren sind i.d.R. überladen, d.h. können mit mehreren Parametersätzen definiert werden

Prof. U. Abmann



```
class Teammitglied {  
    ... // ohne Konstruktor  
}
```

```
Teammitglied m = new Teammitglied();
```

```
__ (raumNr, kapazität) <<constructor>>  
neuerBesprechungsraum (kapazität) <<constructor>>
```

```
Teammitglied m = new Teammitglied();
```

- ▶ Konstruktoren werden meist überladen:

```
class Teammitglied {  
    private String name;  
    private String abteilung;  
  
    public Teammitglied (String n, String abt) {  
        name = n;  
        abteilung = abt;  
    }  
  
    public Teammitglied (String n) {  
        name = n;  
        abteilung = "";  
        ... }  
}
```

```
Teammitglied m = new Teammitglied("Max Müller", "Abt. B");  
Teammitglied m2 = new Teammitglied("Mandy Schmitt");
```

Löschen von Objekten

- ▶ In Java gibt es **keine** Operation zum Löschen von Objekten (keine "Destruktoren").
 - Andere objektorientierte Programmiersprachen kennen Destruktoren (z.B. C++)

- ▶ Speicherfreigabe in Java:
 - Sobald keine Referenz mehr auf ein Objekt besteht, *kann* es gelöscht werden.
 - Der konkrete Zeitpunkt der Löschung wird vom Java-Laufzeitsystem festgelegt ("garbage collection").
 - Aktionen, die vor dem Löschen ausgeführt werden müssen:
protected void finalize() (über)definieren

- ▶ Fortgeschrittene Technik zur Objektverwaltung (z.B. für Caches):
 - "schwache" Referenzen (verhindern Freigabe nicht)
 - Paket **java.lang.ref**



Beispiel Netzaufbau im Java-Programm

- ▶ Ein Programm auf höherer Ebene muss zunächst ein Objektnetz verdrahten, bevor die Objekte kommunizieren können (Aufbauphase). Dies kann das Hauptprogramm sein

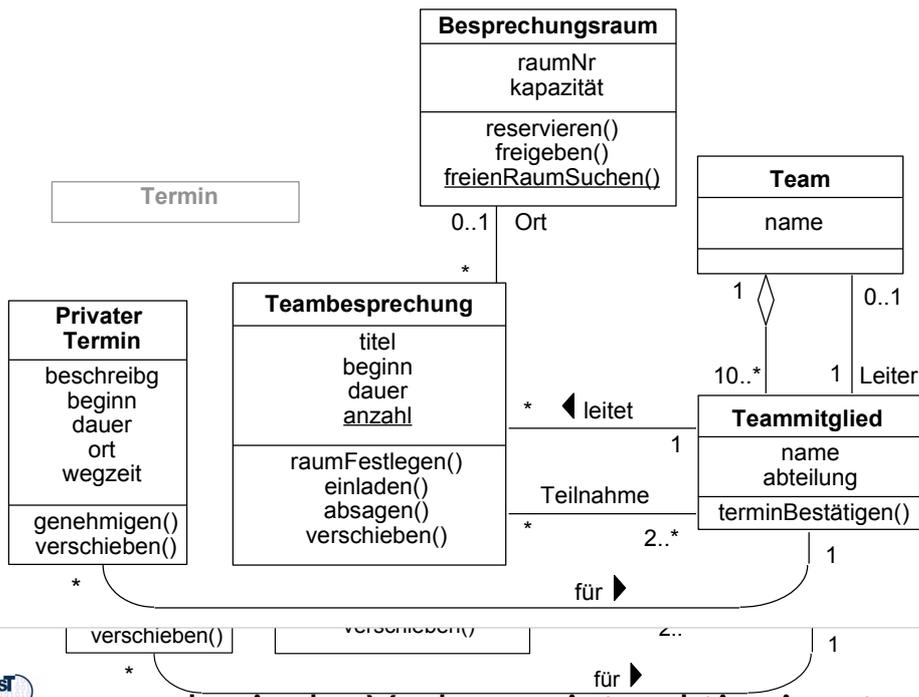
```
class Terminv {
    public static void main (String argv[] ) {
        // Aufbauphase
        Besprechungsraum r1 = new Besprechungsraum("R1", 10);
        Besprechungsraum r2 = new Besprechungsraum("R2", 20);
        Teammitglied mm = new Teammitglied("M. Mueller", "Abt. A");
        Teammitglied es = new Teammitglied("E. Schmidt", "Abt. B");
        Teammitglied fm = new Teammitglied("F. Maier", "Abt. B");
        Teammitglied hb = new Teammitglied("H. Bauer", "Abt. A");
        Hour t1s5 = new Hour(1,5); // Tag 1, Stunde 5
        Teammitglied[] t1B1 = {mm, es};
        Teambesprechung tb1 =
            new Teambesprechung("Bespr. 1", t1s5, 2, t1B1);

        // jetzt erst Arbeitsphase
        tb1.raumFestlegen();
        ...
    }
}
```



Beispiel: Operationen im Analysemodell (aUML)

© Prof. U. Altmann



Operationen werden in der Vorlesung interaktiv eingetragen.

Die zentralen Frage der Softwaretechnologie

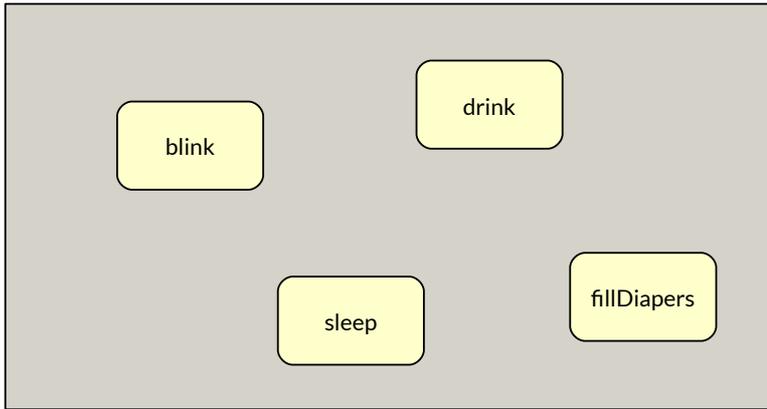
Wie kommen wir vom Problem des Kunden zum Programm (oder Produkt)?

Wie können wir die Welt möglichst einfach beschreiben?

Wie können wir diese Beschreibung im Computer realisieren?

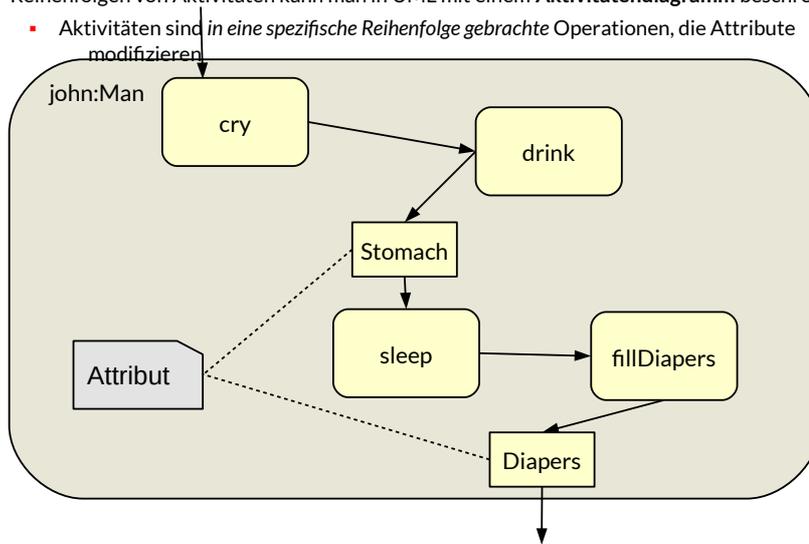


Ein Objekt besteht aus einer Menge von Operationen (in UML: Aktivitäten)



Ein Objekt besteht aus einer Menge von Aktivitäten auf einem Zustand

- ▶ Die Reihe der Aktivitäten (Operationen) eines Objektes nennt man **Lebenszyklus**.
- ▶ Reihenfolgen von Aktivitäten kann man in UML mit einem **Aktivitätendiagramm** beschreiben
 - Aktivitäten sind *in eine spezifische Reihenfolge gebrachte* Operationen, die Attribute modifizieren



Beispiel: Allokation und Aufruf eines Objektes in Java

- ▶ Objekte durchlaufen im Laufe ihres Lebens viele Zustandsveränderungen, die durch Aufrufe verursacht werden
- ▶ Das objektorientierte Programm simuliert dabei den Lebenszyklus eines Domänenobjekts

```
                // Typical life of a young man
john = new Man(); // Allokation: lege Objekt im Speicher an
                while (true) {
    john.cry();    // Yields: john.state == crying
    john.drink(); // Yields: john.state == drinking
    john.sleep(); // Yields: john.state == sleeping
    john.fillDiapers(); // Yields: john.state == fillingDiapers
                }
```

