Objektorientierte Programmierung

Prof. Dr. Uwe Kastens

WS 2013 / 2014

Ziele

Die Studierenden sollen lernen,

- Konzepte und Konstrukte objektorientierter Sprachen **planvoll in der Programmentwicklung einzusetzen**,
- **höhere Paradigmen** zur objektorientierten Programmierung anzuwenden und
- **Probleme und Grenzen** objektorientierter Programmierung zu erkennen.

Durchführung

- Die in der Vorlesung vermittelten Methoden und Techniken werden in **Übungen praktisch erprobt**.
- Als Programmiersprache wird **Java** verwendet.
- Es werden **Fallstudien** durchgeführt und vorgegebene Programme untersucht und weiterentwickelt.
- Es wird **unter Anleitung in kleinen Gruppen** an vorbereiteten Aufgaben gearbeitet.

Inhalt

Thema	Semesterwoche	Buch
1. Grundlagen		1, 2, 3, 12
Allgemeine OO-Konzepte	1, 2	[Bruce]
Statische Typisierung in OO-Sprachen, Generik	3 - 5	
2. Einsatz von Vererbung	6 - 8	8 - 11
Spezialisierung, Klassifikation,		
Rollen, Eigenschaften, inkrementelle Weiterentwicklung		
3. Entwurfsmuster zur Entkopplung von Modulen	9	Gamma
Factory Method, Bridge, Observer, Strategy		
4. Programmbausteine, Bibliotheken, Programmgerüste	10	Budd[2]
Kopplung von Bausteinen,		P-H
Strukturkonzepte von Bibliotheken		
5. Entwurfsfehler	11	
Missbrauch der Vererbung, Antipatterns, OO-Überraschungen		
6. Jenseits von Java	12, 13	Budd[2]
Mehrfachvererbung, konsequent OO,		
kontrollierte Vererbung, prototypbasiert		

Literatur

Elektronisches Skript:

- **http://ag-kastens.upb.de/lehre/material/oop**

Buch zur Vorlesung:

- **Timothy Budd: Understanding Object-Oriented Programming with Java, Updated Edition, Addison-Wesley, 2000**
- Timothy Budd: An Introduction to Object-Oriented Programming, Third Edition, Addison-Wesley, 2002
- **Kim B. Bruce: Foundations of Object-Oriented Languages, MIT Press, 2002**

Weitere Bücher zu Thema:

- Timothy Budd: Object-Oriented Programming, Addison-Wesley, 1991
- Arnd Poetzsch-Heffter: Konzepte Objektorientierter Programmierung, Springer, 2000
- E.Gamma, R. Helm, R. Johnson, J. Vlissides: Design Patterns, Elements of Reusable Object-Oriented Software, Addison-Wesley, 1995
- Arnold, Ken / Gosling, James: The Java programming language, Addison-Wesley, 1996
- Antero Taivalsaari: On the Notion of Inheritance, ACM Computing Surveys, Vol. 28, No. 3, September 1996
- Peter Coad, David North, Mark Mayfield: Object Models: Strategies, Patterns & Applications, 2nd ed., Yourdon Press, Prentice Hall, 1997

Weitere Hinweise im Vorlesungsmaterial unter *Internet*

Elektronisches Skript

Organisation

Personen

Sprechstunde Uwe Kastens:

- Mi 16:00 - 17:00 Uhr
- Die 11:00 - 12:00 Uhr

Übungsbetreuer:

- Peter Pfahler

Termine

Vorlesung

- Di, 9:15 - 10:45 Uhr F0.530

Beginn: Di, 15. Oktober 2013 um 9:15 Uhr

Übungen

Die Übungen werden im 14-tägigen Abstand 2-stündig angeboten. Das Vorlesungsverzeichnis sieht 4 Übungsgruppen vor:

- **G1**: Dienstag 11:00 Uhr, *ungerade Wochen*, Beginn 22.10.2013, erst in F0.530, dann im Rechner-Pool F1 (hinterer Teil)
- **G2**: Dienstag 11:00 Uhr, *gerade Wochen*, Beginn 15.10.2013, erst in F0.530, dann im Rechner-Pool F1 (hinterer Teil)
- **G3**: Donnerstag 09:15 Uhr, *ungerade Wochen*, Beginn 24.10.2013, erst in F2.211, dann im Rechner-Pool F1 (hinterer Teil)
- **G4**: Freitag 09:15 Uhr, *gerade Wochen*, Beginn 18.10.2013, erst in F2.211, dann im Rechner-Pool F1 (hinterer Teil)

Prüfungstermine

Mündliche Prüfungen von ca 30 min Dauer im Rahmen von Modulprüfungen; für Studierende anderer Studiengänge als Informatik auch Einzelprüfungen.
Es werden zwei Prüfungszeiträume angeboten:

1. 12.-14. Februar 2014
2. 01.-03. April 2014

Zu Anmeldung in PAUL und Terminvergabe siehe http://www.cs.uni-paderborn.de/studierende/pruefungswesen/pruefungsanmeldung.html

1. Grundlagen, 1.1 Allgemeine OO-Konzepte
Objektorientierte Denkweise

- Modellierung und Entwurf von **Systemen interagierender Objekte**
  statt Programmabläufe mit passiven Daten

- handelnde Objekte mit **Eigenschaften**, veränderlichem **Zustand** und eigenen **Operationen** darauf
  statt Funktionen auf passiven Daten

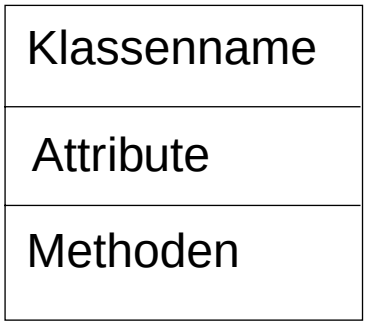
- Objekt bestimmt, wie es einen Methodenaufruf ausführt:
  Aufrufer schickt Nachricht (message) an Empfänger-Objekt (receiver)
  Objekt führt Methode zu der Nachricht im Objektzustand aus
  Eigenverantwortlichkeit, **Selbständigkeit der Objekte**

- **Schnittstelle** (Protokoll):
  von außen beobachtbare Eigenschaften, benutzbare Methoden des Objektes
  Schnittstelle **beschreibt das Was und verbirgt das Wie.**

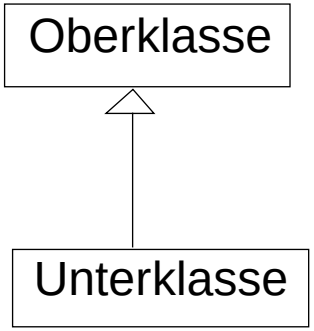
Klassen-basierter Entwurf

- Jedes **Objekt** gehört einer **Klasse** an.
- Klasse **definiert das Verhalten** ihrer Objekte
- Klasse als **abstrakter Datentyp** mit Implementierung
- **Klassen-Hierarchie**:
  Unterklasse **erbt** Eigenschaften und Methoden von ihrer Oberklasse, erweitert und verändert sie, z. B. zur Spezialisierung
- **Polymorphie:**
  allgemeine Variable enthält spezielles Objekt;
  Typ der Variable erlaubt Methodenaufruf mit bestimmter Signatur, Klassenzugehörigkeit des Objektes bestimmt wie der Aufruf ausgeführt wird: dynamische Methodenbindung (zur Laufzeit)
- **dynamische Methodenbindung:**
  Software-Module können **unabhängig entwickelt** werden,
  zur Laufzeit umkonfiguriert werden

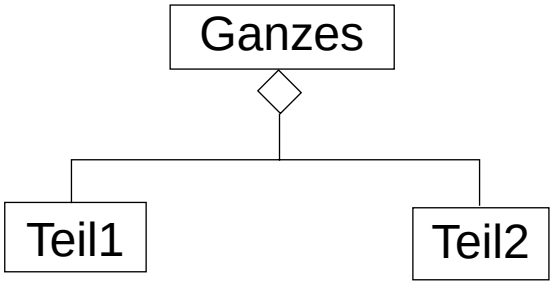
Entwurfsnotation UML Klassendiagramme



Klasse



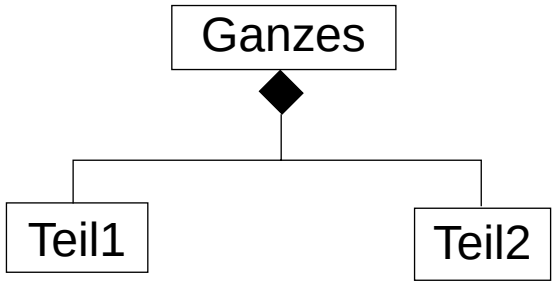
Vererbung



Aggregation

Teile existieren auch unabhängig

Assoziation



Komposition

Teile existieren nicht unabhängig

Objektorientierte Programmiersprachen

1966	**Simula**	Klassenhierarchie mit Einfachvererbung, statisch typisiert, dynamische Methodenbindung, diskrete Simulation, Algol 60 ist Teilsprache
1980	**Smalltalk**	Klassenhierarchie mit Einfachvererbung, dynamisch typisiert, dynamische Methodenbindung, konsequent objektorientiert, interpretierte Zwischensprache
1986	**C++**	Klassenhierarchie mit Mehrfachvererbung, statisch typisiert, dynamische Methodenbindung, generische Klassen, ANSI-C ist Teilsprache
1988	**Eiffel**	Klassenhierarchie mit Mehrfachvererbung, statisch typisiert, dynamische Methodenbindung, generische Klassen, explizite Vererbung
1994	**Java**	Klassenhierarchie mit Einfachvererbung, Interfaces, statisch typisiert, dynamische Methodenbindung, Internet-Bezüge, Prozesse, interpretierte Zwischensprache, umfassende Bibliotheken
1995	**PHP**	Skriptsprache; Server-seitige Web-Progr.; Klassen-basierte Vererbung
1995	**JavaScript**	Skriptsprache; Client-seitige Web-Progr.; Objekt-basierte Vererbung
2001	**C#**	Microsoft; Eigenschaften wie Java

Grundlegende objektorientierte Sprachkonstrukte
Klassen und Objekte

Eine Klasse definiert **gleichartige Objekte**: Daten mit Operationen (**Methoden**) darauf. Operationen abstrahieren von der Implementierung.

Klasse

Attribute

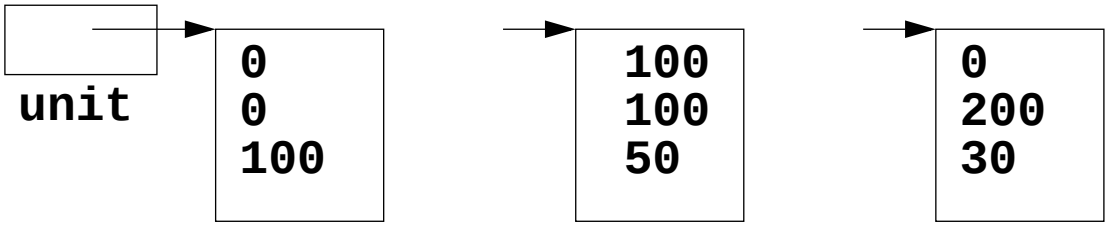
Methoden

Konstruktormethode

```
Ball
---
Rectangle location
double dx, dy
Color color
---
getX ()
getY ()
getRadius ()
move ()
paint (...)

Ball (int x, int y, int r)
```

3 Objekte der Klasse **Ball**




```
Ball unit = new Ball (0, 0, 100);
```

```
unit.move();
```

Verwendung von Attributen

Objektbezogene Attribute: Variable oder Konstante eines jeden Objektes

- Eigenschaft des Objektes, unveränderlich oder explizit veränderlich — `Color color;`
- Zustand des Objektes, veränderlich, auch durch andere Operationen — `boolean visible;`
- Teil des Objektes — `Flap leftFlap, rightFlap;`
- Bezug zu anderem Objekt — `Monitor registers;`

Klassenbezogene Attribute: Information für alle Objekte der Klasse gemeinsam

- feste Codierung von Werten — `final static int CLUBS = 1;`
- globale Information für oder über Objekte der Klasse — `static int ballCount = 0;`

Zugriffsrechte für Attribute und Methoden

Regeln schränken ein, **wo** Zugriffe auf Attribute/Methoden **welcher Klasse** stehen dürfen:

`private`: `class C { private int x; ... }`

Zugriff nur **im Rumpf der Klasse `C`**,
unqualifiziert (**`x`**) auf **`x`** des „eigenen“ **`C`**-Objektes und
qualifiziert (**`q.x`**) auf **`x`** eines beliebigen **`C`**-Objektes

Package-weit (default): `class C { int x; ... }`

Zugriff in jeder Klasse des **Package**, in dem **`C`** deklariert ist;
unqualifiziert in **`C`** und seinen Unterklassen oder
qualifiziert auf Attribute/Methoden beliebiger **`C`**-Objekte

`protected`: `class C { protected int x; ... }`

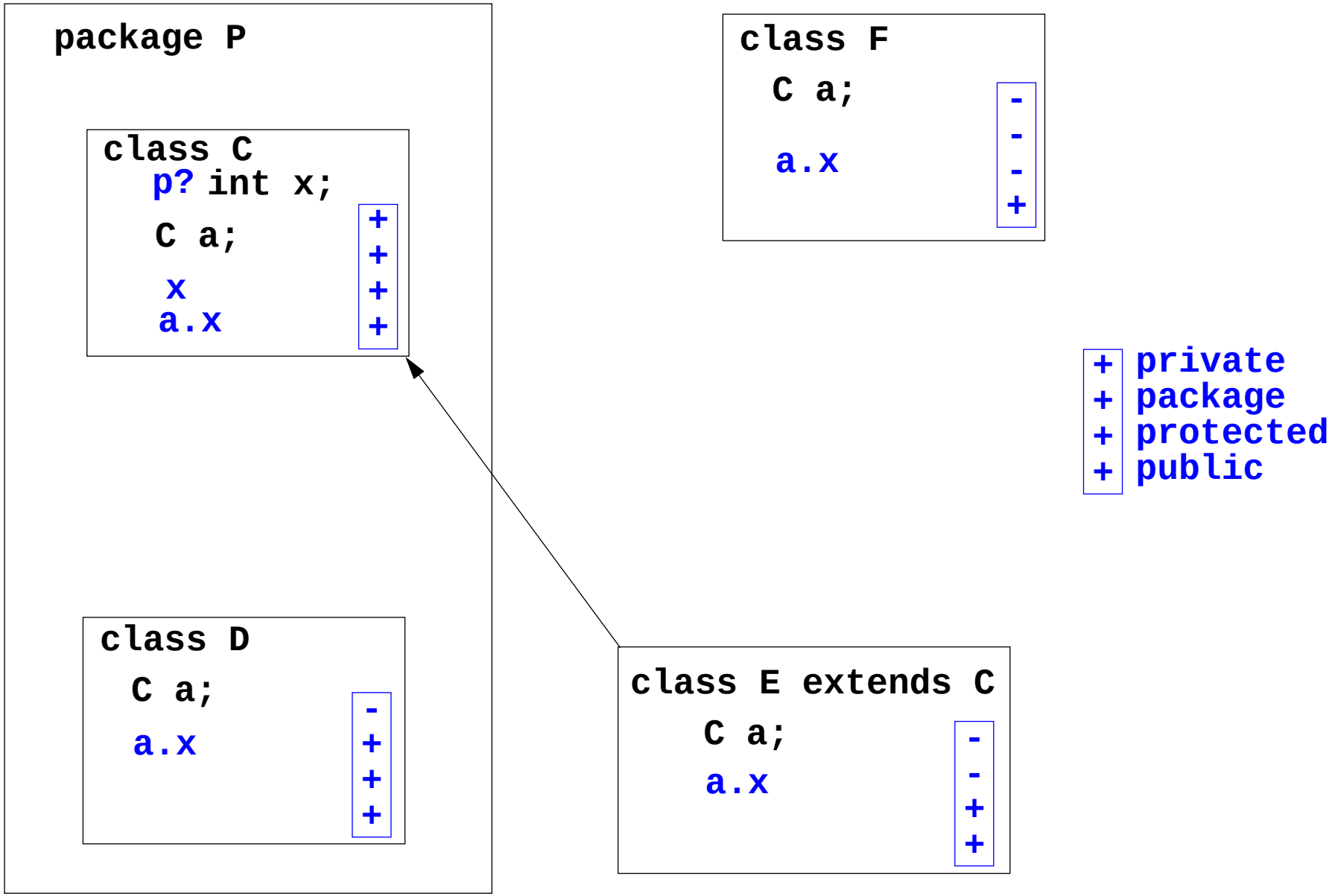
Zugriff **Package-weit und zusätzlich auch in Unterklassen** von **`C`**,
die nicht zum Package von **`C`** gehören

`public`: `class C { public int x; ... }`

unbeschränkter Zugriff

qualifizierter Name:	**`a.x`**	mit **`a`** als Ausdruck vom Typ **`C`** oder einer Unterklasse von **`C`**
unqualifizierter Name:	**`x`**	im Rumpf der Klasse **`C`** oder einer Unterklasse von **`C`**, entspricht **`this.x`**

Beispiel zu Zugriffsrechten in Java



Zugriff auf Attribute

Attribute in der Regel **`private`**:

- **keine unkontrollierte Zustandsänderung**,
- keine Verpflichtung, das Attribut nicht zu ändern

Vorsicht mit **`protected`**: Package-weit sichtbar, Verpflichtung gegen Unterklassen

Attribute lesen und zuweisen nur mit **get- und set-Methoden**
diese mit passenden Rechten versehen

Zustandsattribute meist nicht von außen zugänglich,
werden von Methoden benutzt und zugewiesen

unveränderliche Objekte
kein Attribut wird nach der Initialisierung verändert (auch nicht in Unterklassen),
z.B. **`java.lang.String`**;
Kopien sind nicht unterscheidbar, referenzielle Transparenz

Konstruktor-Methoden

Konstruktor-Methode dient der **Initialisierung der Attribute** bei der Objekterzeugung. Danach muss das Objekt in einem benutzbaren Zustand sein.

Der **Hauptkonstruktor** hat alle einstellbaren Werte als Parameter.

```
public Ball (int x, int y, int r, Color c)
{  location = new Rectangle (x-r, y-r, 2*r, 2*r);
   color = c;
   dx = 0; dy = 0; // initially no motion
}
```

Weitere Konstruktoren setzen einige Attribute mit default-Werten (überladene Konstruktoren):

```
public Ball (int x, int y, int r)
{  this (x, y, r, Color.blue);
}
```

Alle Konstruktoren rufen den Hauptkonstruktor auf:
zentrale Stelle, wo jedes Objekt initialisiert wird.

Klasse und Objekte - Typ und Werte

1. **Klasse** definiert die Eigenschaften ihrer **Objekte**
2. Objekte **existieren im Speicher**
3. Objekte haben **Identität,** ihre Objektreferenz
4. **new** erzeugt ein **neues Objekt** verschieden von allen anderen
5. **Objekte werden** nicht kopiert sondern **geklont**.
6. **Klasse als Typ von Variablen**: Variable kann eine Referenz auf ein Objekt derKlasse aufnehmen
7. **Klasse als Typ von Ausdrücken**: Auswertung des Ausdrucks liefert eine Referenz auf ein Objekt der Klasse
8. **Typanpassung** verändert weder das Objekt noch seine Referenz; erlaubt dem Übersetzer, die Referenz, als Referenz eines anderen Typs zu behandeln

1. **Typ** definiert die Eigenschaften seiner **Werte**
2. Werte können **Speicherinhalte** sein
3. Werte haben keinen Speicher, **keine Identität**
4. zwei **gleiche Werte** sind **nicht unterscheidbar**
5. **Werte werden kopiert**.
6. **Typ von Variablen**: Variable kann Wert des Typs aufnehmen
7. **Typ von Ausdrücken**: Auswertung des Ausdrucks liefert einen Wert eines Typs.
8. **Typanpassung** Verändert ggf. die Repräsentation des Wertes, z.B. von **`int`** nach **`float`**

Methoden

Operationen einer Klasse:

```
public void setMotion (double ndx, double ndy)
   {dx = ndx; dy = ndy;}
```

Typen der Parameter und des Ergebnis ist die **Signatur** der Methode
(in Java: nur Typen der Parameter - ohne Ergebnistyp)

`setMotion: double` x **`double -> void`**

Aufruf kann als Seiteneffekt den **Objektzustand ändern**;
hier: Geschwindigkeit zuweisen.

Aufruf kann als Seiteneffekt den **Zustand von Parameterobjekten ändern,**
z. B. **`Wand.reflektiere (ball);`**

Zugriffsrechte für Methoden wie für Attribute

Methodenaufrufe

Notation von Methodenaufrufen

in der Klasse, in der die Methode deklariert ist, **unqualifiziert**

```
setMotion (1.0, 1.0);
```

qualifiziert für „fremdes“ Objekt

```
theBall.setMotion (1.0, 1.0);
```

Ausführung eines Aufrufs **`a.m(p)`**:

1. Ausdruck **`a`** auswerten, Ergebnis ist eine Referenz auf ein Objekt **`obj`**;
   mit dem (dynamischen) Typ des **`obj`** die aufzurufende Methode **`m`** bestimmen
   (dynamische Methodenbindung)
   (Überladung wird anhand der Signatur schon zur Übersetzungszeit aufgelöst)
2. In der Umgebung von **`obj`** eine Schachtel **`s`** für einen Aufruf der Methode **`m`** von **`obj`** bilden;
   statischer Vorgänger braucht nicht auf dem Laufzeitkeller zu liegen;
   Werte der aktuellen Parameter **`p`** berechnen und an formale Parameter in **`s`** zuweisen;
3. Rumpf der Methode mit der Schachtel **`s`** ausführen;
   ggf Ergebnis an die Aufrufstelle liefern; hinter die Aufrufstelle zurückkehren

Schnittstelle und Implementierung

Abstraktion: Außensicht **Was**; Innensicht **Wie**

Schnittstelle einer Methode:

Signatur: **`setMotion: double x double -> void`**

Sprachkonstrukt:

abstrakte Methode, die in Unterklassen implementiert wird:

```
abstract void setMotion (double, double);
```

Schnittstelle einer Klasse:

Menge der Signaturen der von außen aufrufbaren Methoden (**`public`**)

Implementierung einer Klasse:

Implementierung der Methoden der Schnittstelle
mit Methodenrümpfen und
dazu notwendige Attribute und Hilfsmethoden

Schnittstelle als selbständiges Sprachkonstrukt

in Java: **`interface`**,
in C++: rein abstrakte Klasse,
in SML und Haskell: **`signature`**

benannte Menge von Methoden-Signaturen

```
public interface Enumeration
{  boolean hasMoreElements();
   Object nextElement()
      throws NoSuchElementException;
}
```

Klasse **`C` implementiert ein Interface `Intf`**,
d. h. **`C`** implementiert alle Methoden aus **`Intf`**

Schnittstelle `Intf` als Abstraktion für Objekte von Klassen,
die **`Intf`** implementieren:

Schnittstelle als Typ, z. B.

```
Enumeration e = new A();
while (e.hasMoreElements())
{  Object x = e.nextElement();
   ...
}
```

Oberklassen und Vererbung

Klasse als **Unterklasse einer Oberklasse** definieren.
(verschiedene Zwecke siehe Kapitel 2)

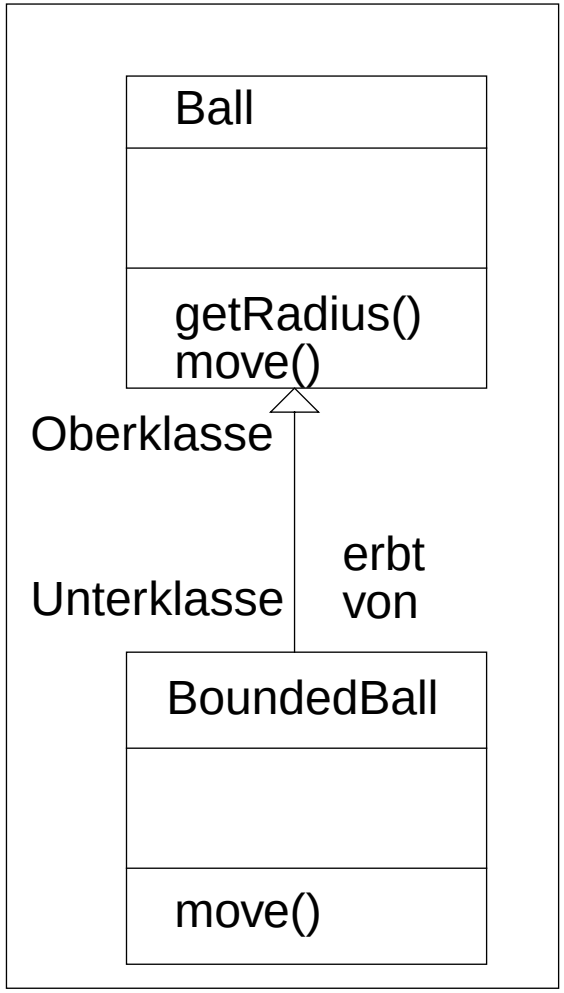
Unterklasse **erbt** von der Oberklasse
Attribute, Methoden,
Implementierungsverpflichtungen (d. h. abstrakte Methode)

Unterklasse **definiert zusätzliche**
Attribute, Methoden, Implementierungsverpflichtungen

Unterklasse **überschreibt** Methoden der Oberklasse
bei gleichem Methodennamen und -signatur.
Unterklassenobjekt führt Methodenaufruf mit seiner
statt der überschriebenen Methode aus
(dynamische Methodenbindung)

Klasse als **Typabstraktion**:
Variable vom Oberklassentyp können Referenzen von
Unterklassenobjekten aufnehmen

```
Ball b = new Bounded Ball (...); ...b.move();
```



Vererbung und verwandte Konzepte

Sei **A** eine Oberklasse von **B** und in **A** sei eine Methode m implementiert, z. B.

```
class A { C m (String s) {...} ...}   class B extends A {...}
```

1. Wenn **m** in **B** nicht definiert ist, **erbt B** die Methode **m**.
2. Wenn in **B** eine Methode **m** mit gleichen Parametertypen definiert ist, **überschreibt** sie das **m** aus **A**. Seit Java 5 muss der Ergebnistyp gleich **C** oder eine Unterklasse von **C** sein (Java: substitutable); kovariante Ergebnistypen.
3. Wenn in **B** eine Methode **m** definiert ist, deren Parametertypen sich von denen von **m** in **A** unterscheiden, dann sind die beiden Methoden in **B überladen**.
   Ebenso, wenn in **A** eine weitere Methode **m** mit anderen Parametertypen definiert wird.
4. Wenn in **B** eine Klassenmethode (**static**) **m** definiert ist, deren Parametertypen mit denen von **m** in **A** übereinstimmen und die Ergebnistypen kovariant sind, dann **verdeckt m** in **B** die Methode **m** in **A**, d. h. **m** aus **A** ist in **B** nicht sichtbar. **m** in **A** muss dann auch **static** sein.

Sei **A** eine Oberklasse von **B** und in **A** sei eine Methode **m** spezifiziert, z. B.

```
abstract class A { abstract C m (String s); ...}
class B extends A {...}
```

5. Wenn **B** nicht abstract ist, muss **m** in **B** mit denselben Parametertypen und einem kovarianten Ergebnistyp **implementiert** werden.

Objektorientierte Polymorphie

Polymorph: vielgestaltig; hier im Sinne der Typen von Sprachkonstrukten

Referenzen auf **Objekte unterschiedlicher Klassen** können
in einer Variable enthalten sein oder
Ergebnis der Auswertung eines Ausdruckes sein.

Wird darauf eine Methode aufgerufen, so bestimmt
die **Klassenzugehörigkeit des Objektes (zur Laufzeit)**
welche Methode ausgeführt wird: **dynamische Methodenbindung**.

Der **statische Typ der Variable** (des Ausdruckes) garantiert zur
Übersetzungszeit, dass eine Methode mit passender Signatur existiert.

Einsatz zur

- Abstraktion
- Entkopplung von Programmmodulen
- Umkonfigurierung während der Ausführung
  (z. B. Erscheinungsbild der GUI-Komponenten)

Taxonomy of type systems

[Luca Cardelli and Peter Wegner. On understanding types, data abstraction, and polymorphism. ACM Computing Surveys, 17(4):471–523, 1985.]

monomorphism: Every entity has a unique type. Consequence: different operators for similar operations (e.g. for **`int`** and **`float`** addition)

polymorphism: An operand may belong to several types.

ad hoc polymorphism:

overloading: a construct may different meanings depending on the context in which it appears (e.g. + with 4 different signatures in Algol 60)

coercion: implicit conversion of a value into a corresponding value of a different type, which the compiler can insert wherever it is appropriate (only 2 add operators)

universal polymorphism: operations work uniformly on a range of types that have a common structure

inclusion polymorphism: sub-typing as in object-oriented languages

parametric polymorphism: a type denotation may have formal type parameters, e.g. **`('a x 'a)`**; they are substituted by type **inference** (e.g. in SML) or by **generic instantiation** (C++, Java)

Monomorphism and ad hoc polymorphism

monomorphism (1)
polymorphism
- **ad hoc polymorphism**
  - **overloading** (2)
  - **coercion** (3)
- **universal polymorphism**
  - **inclusion polymorphism** (4)
  - **parametric polymorphism** (5)

monomorphism (1):
4 different names for addition:

```
addII: int   x int   -> int
addIF: int   x float -> float
addFI: float x int   -> float
addFF: float x float -> float
```

overloading (2):
1 name for addition **+**;
4 signatures are distinguished by actual operand and result types:

```
+: int   x int   -> int
+: int   x float -> float
+: float x int   -> float
+: float x float -> float
```

coercion (3):
`int` is acceptableAs **`float`**,
2 names for two signatures:

```
addII: int   x int   -> int
addFF: float x float -> float
```

Dynamische Methodenbindung in Java

3 verschiedene Situationen für dynamische Methodenbindung in Java:

1. Schnittstellentyp:

```
interface Enumeration { boolean hasMoreElements(); ... }
Enumeration enum; .... enum.hasMoreElements() ...
```

2. Überschriebene Methode:

```
class Ball { public void move (){...} }
class BoundedBall extends Ball { public void move (){...} }
Ball b; .... b = new BoundedBall (...); ... b. move(); ...
```

3. Implementierung abstrakter Methode:

```
Class Animal { abstract void makeNoise(); ...}
Class Frog extends Animal
  {void makeNoise(){ System.out.print("QuakQuak");} }
Animal which; ... which.makeNoise();
```

Überladene Methoden

Überladene (overloaded) Methoden:

Mehrere Methoden mit **gleichem Namen**, aber **unterschiedlicher Anzahl** oder **Typen der formalen Parameter** sind an einer Aufrufstelle gültig.

Die **Typen der aktuellen Parameter** im Aufruf bestimmen, welche Methode aufgerufen wird.

Methoden einer Klasse können untereinander überladen sein.

Methoden einer Unterklasse können mit geerbten Methoden überladen sein (ohne sie zu überschreiben!).

Konstruktoren können überladen sein.

Operatoren (+, /, usw.) sind meist überladen.

Überladen wird häufig auch als **Variante der Polymorphie** bezeichnet.

1.2 Statische Typisierung in OO-Sprachen

Dieser Abschnitt folgt dem Buch

F.O.O.L von Kim B. Bruce, Kap 2, 3, 5, 6.

Darin werden Eigenschaften von OO-Sprachen, insbesondere die Typisierung, allgemeiner und konsequenter dargestellt als sie aus gängigen Sprachen wie C++, Java, C# bekannt sind. Diese Darstellung soll das Verständnis und die kritische Beurteilung von OO-Konzepten vertiefen.

Folgende Begriffe werden hier gegenüber dem vorigen Abschnitt verfeinert oder verschärft:

- Typen getrennt von Klassen
- Untertypen (subtyping) getrennt von Unterklassen (subclassing)
- Typisierungsdefekte in gängigen OO-Sprachen rigoros hergeleitet

Begriffe zu Klassen am Beispiel

Es sollte verschiedene Namen geben für

- Klasse **`CellClass`**
- Typ der Objekte **`CellType`**
- Konstruktor

Zunächst werden alle

- Instanzvariablen als **`private`**
- Methoden als **`public`**

angesehen.

Bruce verwendet eine Notation, die daran erinnern soll, dass es sich nicht um Java, C++, etc handelt

```
class CellClass {
   x: Integer := 0;

   function get (): Integer is
   { return self.x }

   function set (nuVal: Integer): Void is
   { self.x := nuVal }

   function bump (): Void is
   { self <= set(self <= get()+1) }
}
```

Um die besondere Operation ***Senden einer Botschaft an ein Objekt*** (d.h. Aufruf einer Methode) hervorzuheben notiert Bruce **`o <= m(x)`** statt **`o.m(x)`**

`self` benennt das Objekt, für das ein Aufruf der Methode ausgeführt wird - **`this`** in Java.

In den meisten Sprachen kann **`x`** statt **`self.x`** und **`get()`** statt **`self<=get()`** geschrieben werden

Objekttypen

Ein **Typ** ist eine Menge von Werten und den darauf anwendbaren Operationen.

Alle **Objekte**, auf die die **gleichen Operationen anwendbar** sind, sollten **denselben Typ** haben.

Anwendbarkeit einer Methode wird durch die Signatur (= Typ) der Methode bestimmt

```
get: Void -> Integer
```

Der Typ der Objekte, die zur Klasse **`CellClass`** erzeugt werden, ist die Menge der Methoden-Signaturen. (Instanzvariablen tragen nicht zum Objekttyp bei, da sie außen nicht sichtbar sind):

```
CellType = ObjectType {get: Void -> Integer,
                       set: Integer -> Void,
                       bump: Void -> Void }
```

Konsequenz:

Verschiedene Klassen können **Objekte desselben (bzw. äquivalenten) Typs** erzeugen, sofern die **Methoden paarweise dieselbe Signatur** haben! (Strukturäquivalenz der Typen)

In **verbreiteten OO-Sprachen werden Klassen als Typen** aufgefasst: Alle Objekte einer Klasse C haben denselben Typ - verschieden vom Typ der Objekte jeder anderen Klasse D (Namensäquivalenz) - auch wenn die Mengen der Methodensignaturen übereinstimmen.

Unterklassen und Vererbung

Eine Unterklasse erbt Instanzvariablen und Methoden der Oberklasse und kann Methoden zufügen und überschreiben, z. B.

modifies set verhindert versehentliches Überschreiben.

super macht die überschriebene Methode der Oberklasse zugänglich

```
class ClrCellClass inherits CellClass modifies set {
   color: ColorType := blue;

   function getColor (): ColorType is
   { return self.color }

   function set (nuVal: Integer): Void is
   {  super <= set (nuVal);
      self.color := red }
}
```

Typ der Objekte von **ClrCellClass:**

```
ClrCellType = ObjectType {get: Void -> Integer,
                          set: Integer -> Void,
                          bump: Void -> Void,
                          getColor: Void -> ColorType }
```

Wird **bump** für ein Objekt der Klasse **ClrCellClass** aufgerufen, dann führt **self <= set(self <= get()+1)** im Rumpf von **bump** zum Aufruf von **set** aus **ClrCellClass**.

Untertypen (Subtyping)

S ist ein **Untertyp (subtype)** von T, notiert als **S `<:` T**, wenn **ein Wert vom Typ S in jedem Kontext verwendet werden kann, wo ein Wert vom Typ T erwartet wird.** T heißt dann auch Obertyp von S.

Z.B. **`ClrCellType <: CellType`**

`<:` braucht **nicht für die Objekte jedes Paares von Unter- und Oberklasse** zu gelten, z.B. wenn die Unterklasse Methoden der Oberklasse löschen oder umbenennen kann (wie in Eiffel).

Hier sind **Untertypen anhand der Typeigenschaften definiert** (welche Methoden-Signaturen enthalten sie). Das ist ***structural subtyping***.
In den meisten OO-Sprachen wird die **Untertyprelation durch die Unterklassenrelation** festgelegt; diese wird durch die Klassen**namen** bestimmt.

In Sprachen mit **Subtyping** kann **ein Wert zu mehreren Typen gehören**, die in Untertyprelation stehen. Deshalb spricht man von ***subtype polymorphism***.

Untertypen von Record-Typen

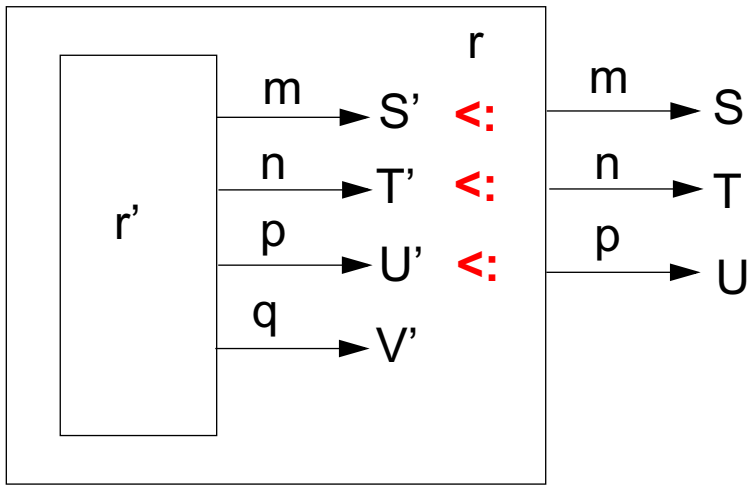
Betrachten wir die **Typen von unveränderlichen Record-Werten**: Komponenten werden **nur gelesen**, d.h. Typen der Werte müssen **paarweise die <: Relation** erfüllen

Sei **`CheeseType <: FoodType`**, dann ist **`CheeseSandwichType <: SandwichType`**. Werte vom Typ **`CheeseSandwichType`** können die Rolle von Werten des Typs **`SandwichType`** spielen:

```
SandwichType = {          bread: BreadType;
                          filling: FoodType }

CheeseSandwichType = {    bread: BreadType;
                          filling: CheeseType;
                          sauce: SauceType }
```

← tiefes
← breites
Subtyping



allgemein: r' **<:** r, d.h.
{ m: S'; n: T'; p: U'; q: V' } **<:** { m: S; n: T; p: U }

wenn es zu jeder Komponenete **m: S aus r** eine Komponente **m: S' aus r'** gibt mit **S' <: S**

Untertypen von Funktionstypen

Betrachten wir die **Typen mit Signaturen P -> R (Parametertyp P und Resultattyp R)**.
Hat f die Signatur P -> R, dann kann g: P' -> R' die Rolle von f spielen, falls **P' -> R' <: P -> R**.
Die Parameterübergabe sei call-by-value.

Sei **`CheeseType <: FoodType`**, und **`Integer <: Long`**:

`Integer -> CheeseType <: Integer -> FoodType`

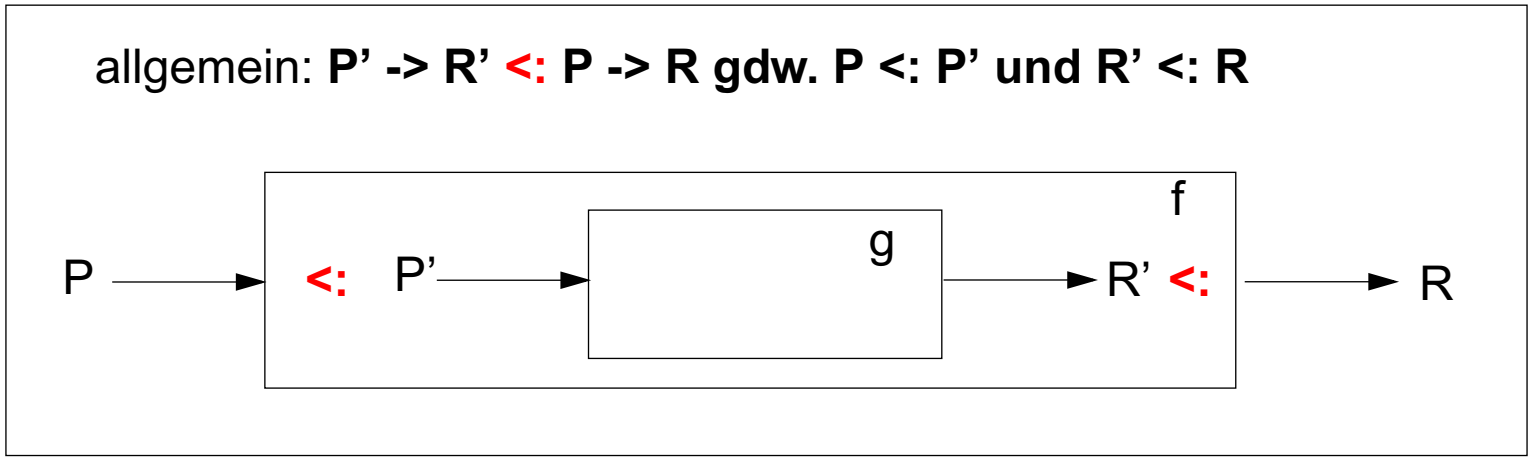
kovariante Ergebnistypen

speziellere Resultate der ersetzenden Funktion sind als allgemeinere Resultate akzeptabel

`FoodType -> Integer <: CheeseType -> Integer`
`CheeseType -> Integer </: FoodType -> Integer`

kontravariante Parametertypen

Die ersetzende Funktion muss **mindestens so allgemeine Parameter** akzeptieren wie die ersetzte.



Untertypen von Typen von Variablen

Unter welchen Umständen kann eine **Variable vom Typ T' die Rolle einer Variablen vom Typ T spielen**?

Mit einer Variable können **Lese- und Schreiboperationen** ausgeführt werden.

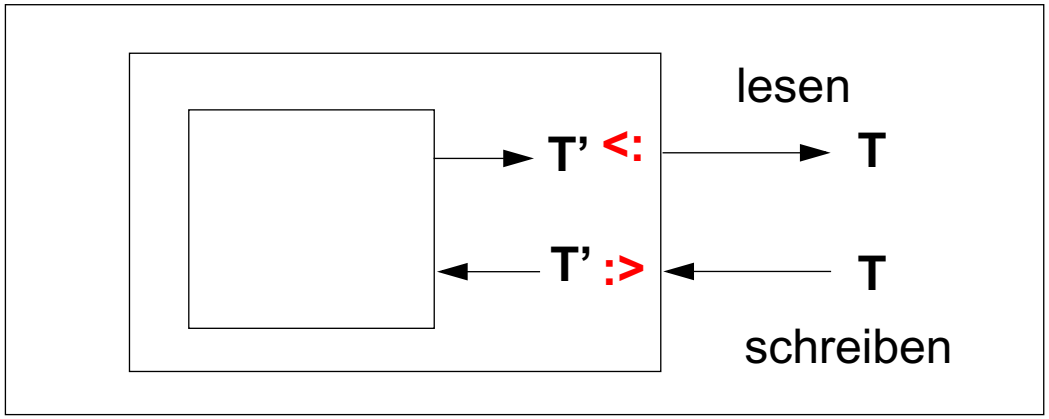
Sei **v'** vom Typ T' und **v** vom Typ T und T'**<:** T.

Für die **Leseoperation** kann v' die Rolle von v spielen: Jeder Wert aus v' ist auch ein Wert des Typs von v. Für das **Lesen wird Kovarianz** benötigt, T'**<:** T.

Für die **Schreiboperation** kann v' nicht die Rolle von v spielen: Nicht alle Werte des Typs von v können an v' zugewiesen werden. Es wird **Kontravarianz für das Schreiben** benötigt!

Insgesamt: T' **<:** T und T **<:** T', d.h. T' **~** T.

Es gibt **keine nicht-trivialen Untertypen von Variablen**. Sie können einander nur dann ersetzen, wenn ihre **Typen äquivalent** sind.



Keine nicht-trivialen Untertypen von Variablen: Konsequenzen

Es gibt **keine nicht-trivialen Untertypen von Variablen**.
Sie können einander nur ersetzen, wenn ihre **Typen äquivalent** sind.

Untertyprelation für **Records mit veränderlichen Komponenten**:

Für jede Komponente **n: T des Obertyps** muss es eine Komponente **n: T' mit T ~ T' im Untertyp** geben, d.h. nur **breite nicht tiefe Untertypen**.

Untertyprelation für **Arrays mit unveränderlichen Elementen [Ind] of El:**

Ind ist der Indextyp, El der Elementtyp.
[Ind'] of El' <: [Ind] of El wenn **Ind <: Ind'** (kontravariant) und **El' <: El** (kovariant)

Untertyprelation für **Arrays mit veränderlichen Elementen [Ind] of El:**

[Ind'] of El' <: [Ind] of El wenn **Ind <: Ind'** (kontravariant) und **El' ~ El** (äquivalent)
Missachtung hat in Java eine Lücke in der statischen Typisierung verursacht, die durch dynamische Prüfung geschlossen wurde:

```
class Node { ... }
class Leaf extends Node { ... }
...
Node[] arr = new Leaf[42];


arr[0] = new Node();
```

Erlaubt in Java, obwohl nicht gilt
Leaf-Array <: Node-Array

statisch korrekte Zuweisung verursacht Laufzeitfehler:
java.lang.ArrayStoreException: Node

Untertyprelation für Objekttypen: Präzisierung

- **Keine Änderung der Typen von Instanzvariablen** durch Überschreiben.
- **Zufügen von Methoden im Untertyp**: breite Untertyprelation wie bei Records.
- **Überschreiben von Methoden**:
  Signaturen brauchen nicht äquivalent zu sein (wie in Java):
  kontravariante Parametertypen und kovariante Resultattypen - wie bei Funktionen.
  (Eiffel erlaubt kovariante Parametertypen: Lücke in der Typsicherheit.)

```
A a;   X x;  P p;                    C c; B b;

    a = x.m (p);
```

Übersetzer prüft Typen gegen Signatur von m in X und Methoden-Untertyp zwischen m in Y und m in X

```
class X { C m (Q q) { use of q;... return c; }

      v¨   v¨    ^¨

 class Y { B m (R r) { use of r;... return b; } }
```

Beispiel für Änderung des Resultattyps

Überschreiben der einer Methode **deepClone**, die einen Klon des Unterklassenobjektes bildet, benötigt **Änderung des Resultattyps**:

```
class CClass {
   var Cvar: XType;
   function deepClone (): CType is
   {  var newClone: CType := self<=clone (); -- shallow clone
      newClone<=setCVars ();
      return newClone;
   }
   function setCVars (): void is {self.Cvar<=deepClone();}
}

class SCClass inherits CClass modifies deepClone {
   var SCvar: YType;
   function deepClone (): SCType is
   {  var newClone: SCType := self<=clone (); -- shallow clone
      newClone<=setSCVars ();
      return newClone;
   }
   function setSCVars (): void is
      {  self<=setCVars (); self.SCvar<=deepClone(); }
}
```

Typisierungsproblem: binäre Methode

Methode soll Operation mit Operanden gleichen Typs realisieren, z.B. equals.
Überschreiben in Unterklasse würde kovariante Änderung des Parametertyps erfordern:

```
class CClass {
   function equals (other: CType): Bool is
   { ... }
}

class SCClass inherits CClass modifies equals {
   function equals (other: CType): Bool is
   {  ... (SCType) other <= ... }
}
```

Wird teilweise durch parametrisierte Typen gelöst.

1.3 Generik

Generik: **zusätzliche Ebene der Parametrisierung zur Übersetzungszeit**

Abgrenzung:

- **Funktionsaufruf**: Funktionen mit formalen Parametern werden mit aktuellen Parameterwerten zur **Laufzeit** aufgerufen.
- **Generik**: Aus **Schemata** für Definitionen von Programmkonstrukten (z. B. Klassen, Module, Funktionen) werden zur **Übersetzungszeit** Definitionen erzeugt.
  Ein Schema hat **formale generische Parameter** für z. B. Typen, Klassen, Funktionen.
  Dafür werden bei der **Instanziierung** **aktuelle generische Parameter** eingesetzt.
- **Makro-Substitution**: Makros sind **Symbolfolgen** mit formalen Parametern. An den Anwendungsstellen werden sie nach **Substitution** der aktuellen Parameter (auch Symbolfolgen) eingesetzt.
  Substitution durch den **Präprozessor** ohne Beachtung der syntaktischen Struktur und der statischen Semantik.

```
int ggt (int a, int b)
   { ...}

ggt (m, n)
```

Java 1.5:

```
   class Stack <E>
   { void push (E e)
        {...}
      ...
   }

Stack<Kreis> kreisStk;
```

```
#define PSEL(var,fld) \
   ((var)->fld)

PSEL (a[i], next)
```

Zweck der Generik

Abstraktion durch Programmschemata, z. B.

- Kellerimplementierung mit Elementtyp als generischem Parameter
- Sortierfunktion mit Elementtyp und Vergleichsfunktion als generische Parameter

Ermöglicht **Parametrisierung** mit Programmobjekten, die **nicht als Laufzeitdaten** existieren, nicht „first class“ sind; je nach Sprache: Typen, Klassen, Module, Funktionen.

Ergebnis der Instanziierung wird auf **Einhaltung der statischen Sprachregeln** überprüft, insbes. Typregeln;
z. B. Übersetzer garantiert homogene Behälter

Konsistenzbedingungen für aktuelle generische Parameter sind formulierbar und prüfbar,
z. B. generische Sortierfunktion: Elementtyp mit passender Vergleichsfunktion

Insgesamt:
zusätzliche **Abstraktionsebene**
zusätzliche **Programmsicherheit** durch schärfere Regeln, schärfere statische Prüfungen

In Sprachen, die kaum statische Regeln haben, ist Generik nicht sinnvoll, z. B. Smalltalk.

Generische Definitionen (seit Java 1.5)

Eine **Generische Definition** hat **formale generische Parameter.** Sie ist eine **abstrakte Definition einer Klasse** oder eines Interfaces. Für jeden generischen Parameter kann ein **Typ (Klasse oder Interfce) eingesetzt** werden.
(Er kann auf Untertypen eines angegebenen Typs eingeschränkt werden.)

Beispiel in Java:
Generische Definition einer Klasse **`Stack`** mit generischem Parameter für den Elementtyp

```
class Stack<Elem>
{  private Elem [] store ;
   void push (Elem el) {... store[top]= el;...}
   ...
};
```

Eine **generische Definition wird instanziiert** durch Einsetzen von **aktuellen generischen Parametern**. Dadurch entsteht zur Übersetzungszeit eine Klassendefinition. Z. B.

```
Stack<Float> taschenRechner = new Stack<Float>();
Stack<Frame> windowMgr = new Stack<Frame>();
```

Generische Instanziierung kann im Prinzip durch **Textersetzung** erklärt werden: Kopieren der generischen Definition mit Einsetzen der generischen Parameter im Programmtext.

Der Java-Übersetzer erzeugt für jede generische Definition eine Klasse im ByteCode, in der **`Object`** für die generischen Typparameter verwendet wird. Er setzt Laufzeitprüfungen ein, um zu prüfen, dass die ursprünglich generischen Typen korrekt verwendet wurden.

Parametrisiertes Interface für binäre Methoden

Ein formaler **Typparameter im Interface** bestimmt den Typ des zweiten Operanden.
Die implementierende Klasse bindet den **eigenen Typ an den Parameter**.

```
interface Comparable <T> {
   function equals (other: T): Bool;
}


class CClass implements Comparable<CType> {
   function equals (other: CType): Bool is
   { ... }
}

class SCClass implements Comparable<SCType> {
   function equals (other: SCType): Bool is
   {  ... other <= ... }
}
```

In diesem Modell kann leider nicht **`SCClass`** Unterklasse von **`CClass`** sein und **`equals`** überschreiben.

Generik in C++

Generische Programmschemata heißen in C++ **Templates**.

Templates für Klassen, deren separat definierte **Methoden**, für eigenständige **Funktionen**.

Generische Parameter können sein:
Klassen, Typen, Templates, Funktionen, Variable, Zahlkonstante
auch Default-Werte für formale generische Parameter

Generische Parameter **nur ohne Restriktionen**:

```
template<class Elem>
class Stack
{  ...
   void push (Elem e);
   ...
}
```

```
template<class Elem>
Stack::push (Elem e)
   {...}
```

Funktion als generischer Parameter:
Klasse:

```
template<class T, void(*err_fct)()>
class List {...}
```

Funktion:

```
template<class T>
void sort(Array<T>& a) {...}
```

Instanziierungen:

```
Stack<int> s1;

List<Book, error_handl> lb;

Array<Book> ab;
sort(ab);
```

Generik in Eiffel

Eiffel hat ein **einheitliches Typkonzept**: Alle Typen sind durch Klassen definiert.

Generik: Klassendeklarationen können **Typen als generische Parameter** haben.
Instanziierung einer generischen Klasse liefert einen Typ.

Generischer Parameter **ohne Restriktionen**, z. B. für Behälterklassen:

```
class Stack [ELEM] feature
   ...
   push (e: ELEM) is ...
   ...
end -- class Stack
```

Instanziierung als Typangabe:

```
si:   Stack[INTEGER];
d:    Dictionary[Book, STRING];
```

Generische Parameter **mit Restriktionen**:

```
class Dictionary [G, KEY->Hashable]
   feature ...
end;
```

Der generische Parameter KEY ist auf Unterklassen von Hashable eingeschränkt. In der Klasse Dictionary können Hashable-Methoden für KEY-Objekte benutzt werden.

Generik in Ada 95

Ada 95 hat ein **umfangreiches Typkonzept**;
Ableitung von Typen ist mit Vererbung zwischen Klassen vergleichbar;
weitere OO-Konzepte begründen den Anspruch OO-Sprache zu sein.

Generisch deklarierbar: **Funktionen, Prozeduren und Package**s (Module).

Generische Parameter können sein
Typen, auch mit vielfältigen Restriktionen, z. B. Obertyp oder Array-Typ,
Funktionen, Variable, Konstante

Beispiel:

```
generic Type T is private
procedure Swap (X, Y: in out T);

procedure Swap (X, Y: in out T) is
   tmp: constant T := X;
begin ... end;
```

Instanziierungen:

```
procedure Swap_Int is new Swap (Integer);

procedure Swap_Vect is new Swap (Vect);
```