



# Einführung in die Programmierung

Prof. Dr. Bertrand Meyer

Lektion 11: Einführung in die Konzepte der Vererbung und Generizität



Zwei fundamentale Mechanismen für mehr Ausdruckskraft und Verlässlichkeit:

- Generizität (*genericity*)
- Vererbung (*inheritance*)

Mit den dazugehörigen (genauso wichtigen) Begriffen:

- Statische Typisierung (*static typing*)
- Polymorphie (*polymorphism*)
- Dynamisches Binden (*dynamic binding*)

# Aus der zweiten Vorlesung

---



class

*PREVIEW*

inherit

*TOURISM*

feature

*explore*

-- Infos zu Stadt und Route anzeigen

do

*Paris.display*

*Louvre.spotlight*

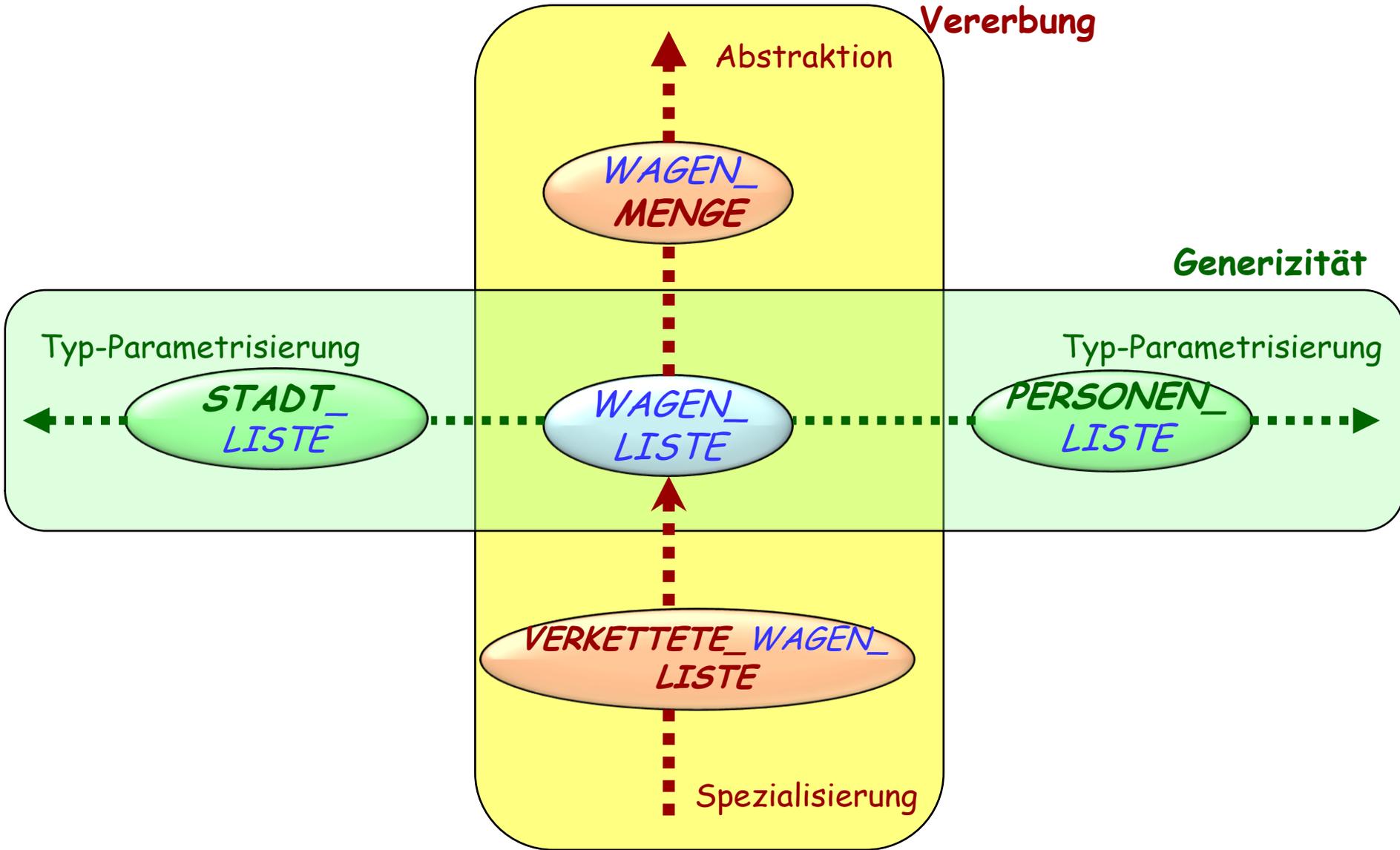
*Line8.highlight*

*Route1.animate*

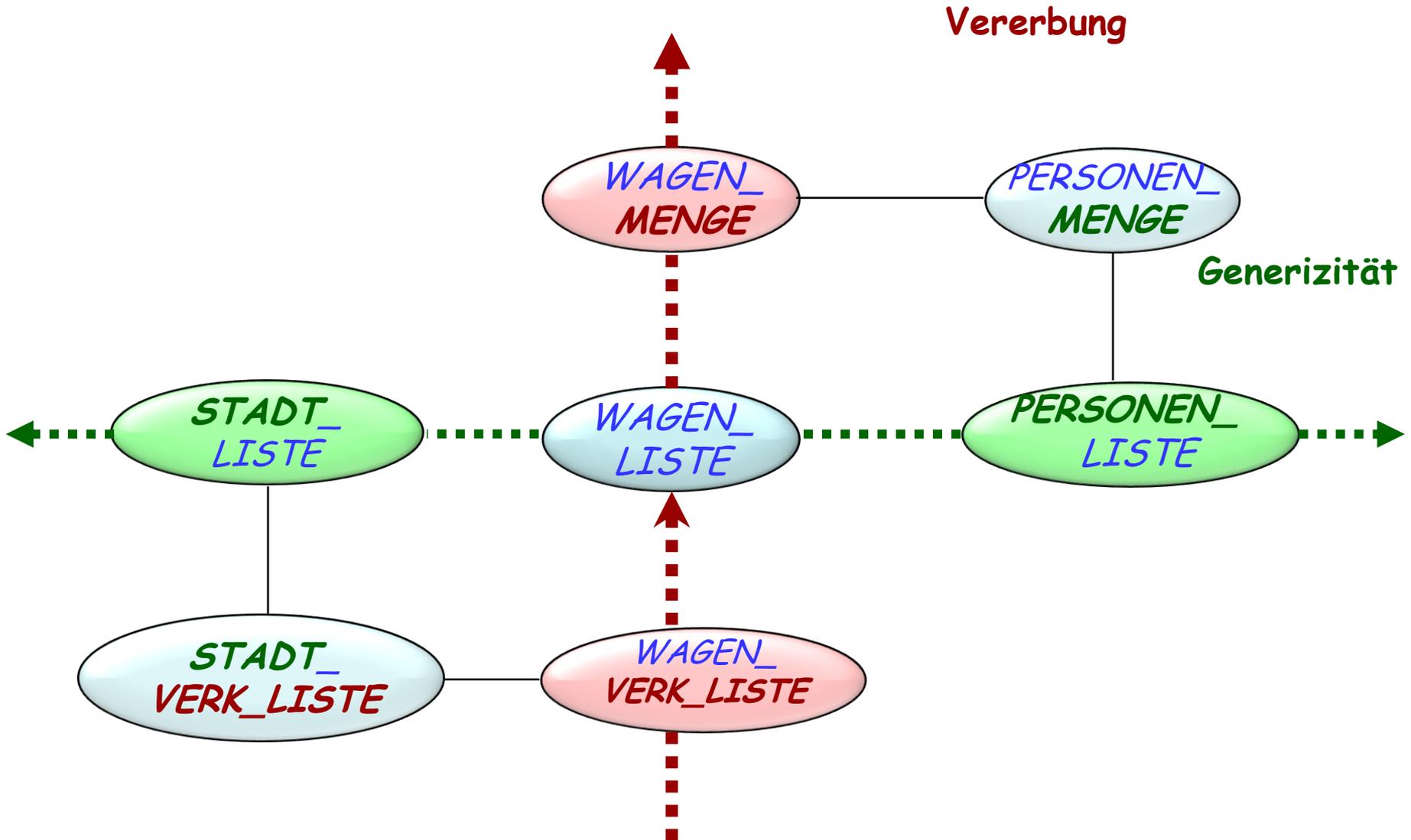
end

end

# Den Begriff einer Klasse erweitern



# Den Begriff einer Klasse erweitern



Uneingeschränkt:

*LIST[G]*

e.g. *LIST[INTEGER], LIST[PERSON]*

Eingeschränkt:

*HASH\_TABLE[G → HASHABLE]*

*VECTOR[G → NUMERIC]*

# Generizität: Typ-Sicherheit gewährleisten



Wie können wir konsistente „Container“-Datenstrukturen definieren, z.B. eine Liste von Konten oder eine Liste von Punkten?

Ohne Generizität vielleicht so:

*c : STADT; p : PERSON*

*städte : LIST ...*

*leute : LIST ...*

Aber: Was passiert bei einer falschen Zuweisung?

---

*leute.extend (p)*

*städte.extend (c)*

*c := städte.last*

*c.stadt\_operation*



1. Den Code duplizieren, von Hand oder mit Hilfe eines Makroprozessors.
2. Bis zur Laufzeit warten; falls die Typen nicht passen, werfe eine Laufzeitausnahme. (Smalltalk)
3. Konvertieren („cast“) aller Werte zu einem universalen Typ, wie z.B. „Void-Zeiger“ in C.
4. Parametrisieren der Klasse, indem ein expliziter Name *G* für den Typ der Containerelemente angegeben wird. Dies ist der Ansatz von Eiffel. Auch die neusten Versionen von Java, .NET und andere Sprachen verwenden diesen Ansatz.

# Eine generische Klasse



Formaler generischer Parameter

```
class LIST[ G ] feature
  extend(x: G) ...
  last: G ...
end
```

Um die Klasse zu verwenden: Benutzen Sie eine **generische Ableitung** (*generic derivation*), z.B.

Tatsächlicher generischer Parameter

```
städte: LIST[ STADT ]
```

*städte* : LIST[STADT]

*leute* : LIST[PERSON]

*c* : STADT

*p* : PERSON

...

*städte.extend* (*c*)

*leute.extend* (*p*)

*c := städte.last*

*c.stadt\_operation*

## STATISCHE TYPISIERUNG

Folgendes wird der Compiler zurückweisen:

➤ *leute.extend* (*c*)

➤ *städte.extend* (*p*)



## Typsicherer Aufruf (*type-safe call*):

Während der Ausführung: ein Featureaufruf  $x.f$ , so dass das an  $x$  gebundene Objekt ein Feature hat, das  $f$  entspricht.

[Verallgemeinerung: Mit Argumenten,  $x.f(a, b)$ ]

## Überprüfer für statische Typen (*type checker*):

Ein auf ein Programm anwendbares Werkzeug (z.B. ein Compiler) das — für alle Programme, die es akzeptiert — garantiert, dass jeder Aufruf in jeder Ausführung *typsicher* ist.

## Statisch typisierte Sprache:

Eine Programmiersprache, für die es möglich ist, einen *Überprüfer für statische Typen* zu schreiben.



*LIST [STADT]*

*LIST [LIST [STADT]]*

...

Ein Typ ist nicht länger das Gleiche wie eine Klasse!

(Aber ein Typ **basiert** weiterhin auf einer Klasse.)

# Was ist ein Typ?



(Um die ganze Sache etwas einfacher zu halten, nehmen wir an, dass jede Klasse keinen oder genau einen generischen Parameter hat.)

Ein **Typ** ist von einer der folgenden zwei Arten:

- $C$ , wobei  $C$  der Name einer **nicht-generischen** Klasse ist
- $D[T]$ , wobei  $D$  der Name einer **generischen** Klasse und  $T$  ein **Typ** ist

# Eine generische Klasse



Formaler generischer Parameter

```
class LIST[ G ] feature  
  extend(x: G) ...  
  last: G ...  
end
```

Um die Klasse zu verwenden: Benutzen Sie eine generische Ableitung, z.B.

Tatsächlicher generischer Parameter

```
städte: LIST[ STADT ]
```



Eine Klasse ist ein Modul.

Eine Klasse ist ein Typ\*.

\* Oder ein Typ-Muster  
(*template*)  
(siehe Generizität)

Eine Klasse als Modul:

- Gruppiert Menge von verwandten **Diensten**
- Erzwingt das **Geheimnisprinzip** (nicht jeder Dienst kann von ausserhalb genutzt werden)
- Hat **Klienten** (Module, die sie benutzen) und **Versorger** (Module, die sie benutzt)

Eine Klasse als Typ:

- Bezeichnet mögliche **Laufzeitwerte** (Objekte und Referenzen), die **Instanzen** des Typs
- Kann für Deklaration von **Entitäten** benutzt werden (die solche Werte repräsentieren)



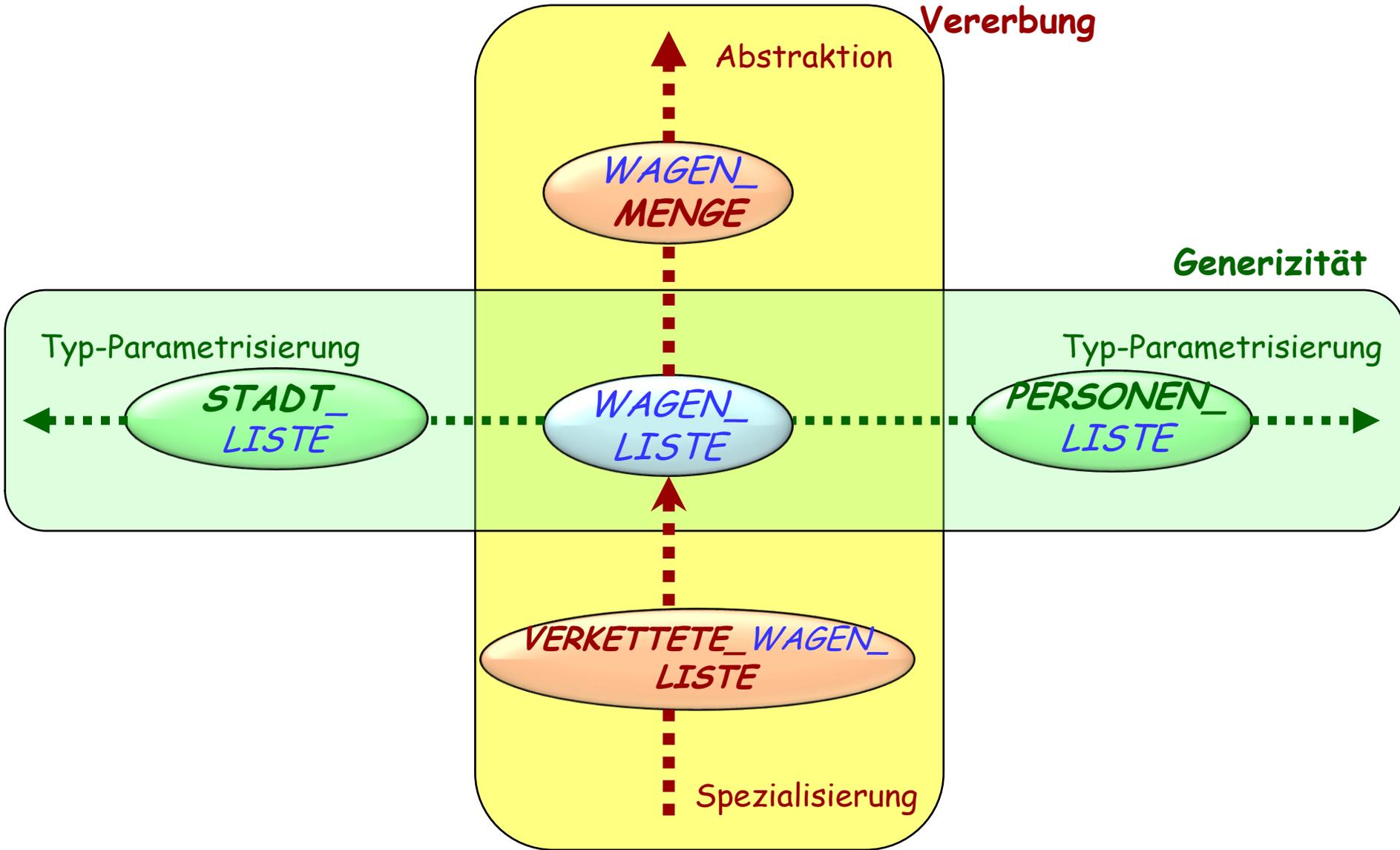
Die Klasse, als *Modul* gesehen:

gruppiert eine Menge von Diensten (die **Features** der Klasse),

die genau den auf die Instanzen der Klasse (als *Typ* gesehen) anwendbaren Operationen entsprechen.

(Beispiel: die Klasse *BUS*, Features *stop*, *move*, *speed*, *passenger\_count*)

# Den Begriff einer Klasse erweitern





Prinzip:

Beschreibung einer neuen Klasse als Erweiterung oder Spezialisierung einer existierenden Klasse.

(Oder mehreren, mit Hilfe von *Mehrfachvererbung*)

Falls *B* von *A* erbt:

➤ Als *Module*: Alle Dienste von *A* sind in *B* verfügbar.  
(Möglicherweise mit unterschiedlicher Implementation)

➤ Als *Typen*: Immer, wenn eine Instanz von *A* erwartet wird, ist auch eine Instanz von *B* erlaubt.  
("ist eine Art von"-Beziehung (is-a relationship))

# Terminologie



Wenn  $B$  von  $A$  erbt (indem Klasse  $B$  Klasse  $A$  in ihrer **inherit**-Klausel auflistet):

- $B$  ist ein **Erbe** von  $A$
- $A$  ist ein **Vorgänger** von  $B$

Für eine Klasse  $A$ :

- Die **Nachkommen** von  $A$  sind  $A$  selbst und (rekursiv) die Nachkommen von  $A$ 's Erben.
- **Echte Nachkommen** sind obige ohne  $A$ .

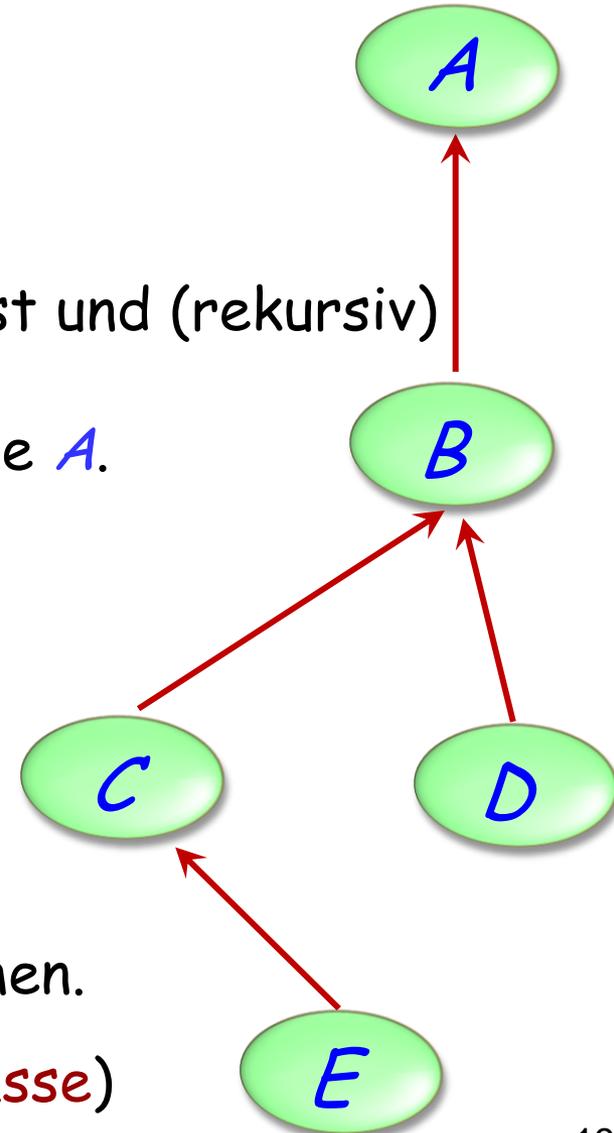
Umgekehrte Notation:

- **Vorfahre**
- **Echter Vorfahre**

Genauerer Begriff der Instanz:

- **Direkte Instanzen** von  $A$
- **Instanzen** von  $A$ : Die direkten Instanzen von  $A$  und ihren Nachkommen.

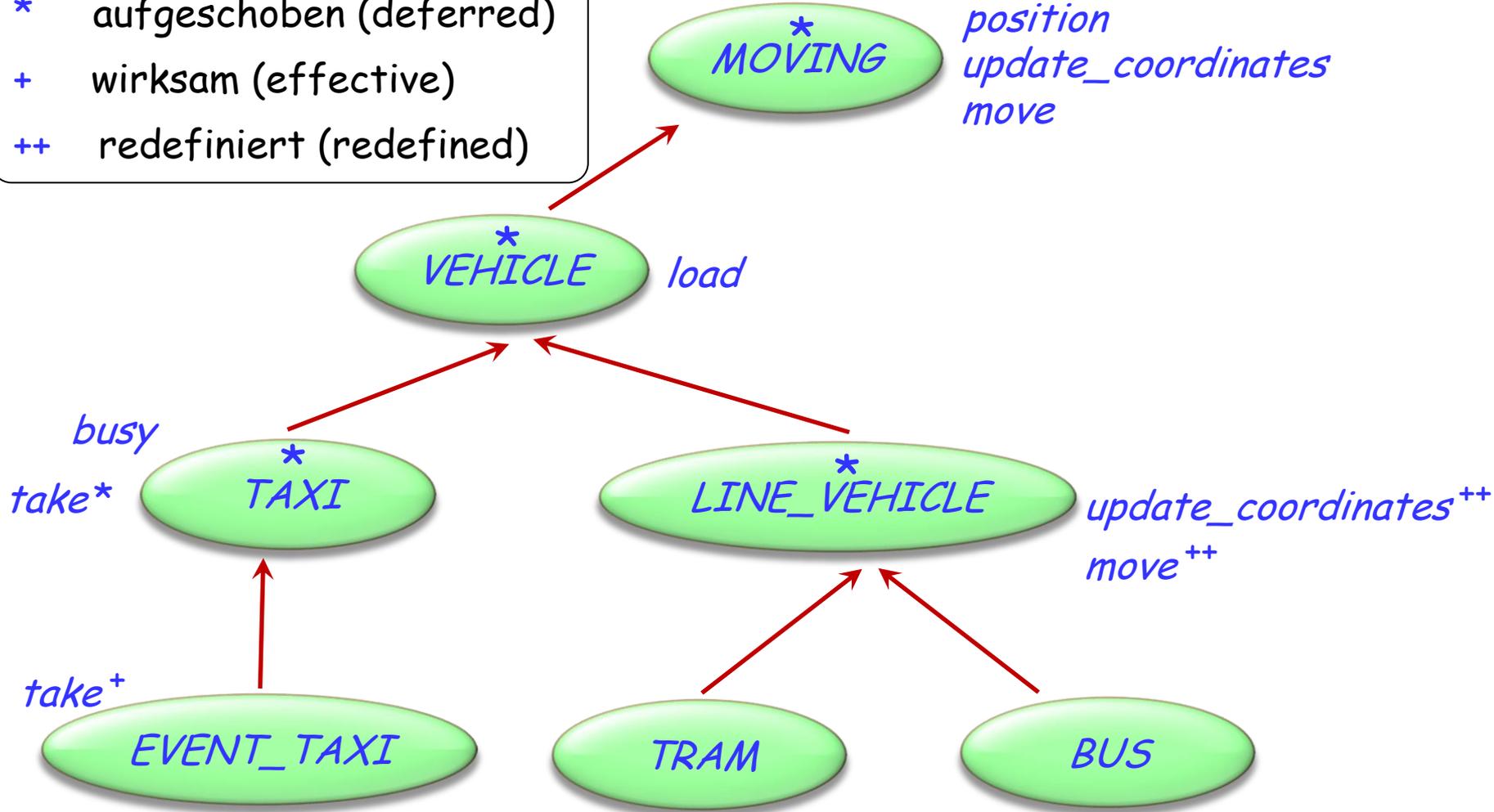
(Andere Terminologien: **Unterklasse, Oberklasse**)



# Beispielshierarchie (in Traffic)



- \* aufgeschoben (deferred)
- + wirksam (effective)
- ++ redefiniert (redefined)



# Features im Beispiel

## Feature

*take (from\_location,  
to\_location: COORDINATE)*

- Bringe Passagiere
- von *from\_location*
- nach *to\_location*.

*busy: BOOLEAN*

- Ist das Taxi besetzt?

*load(q: INTEGER)*

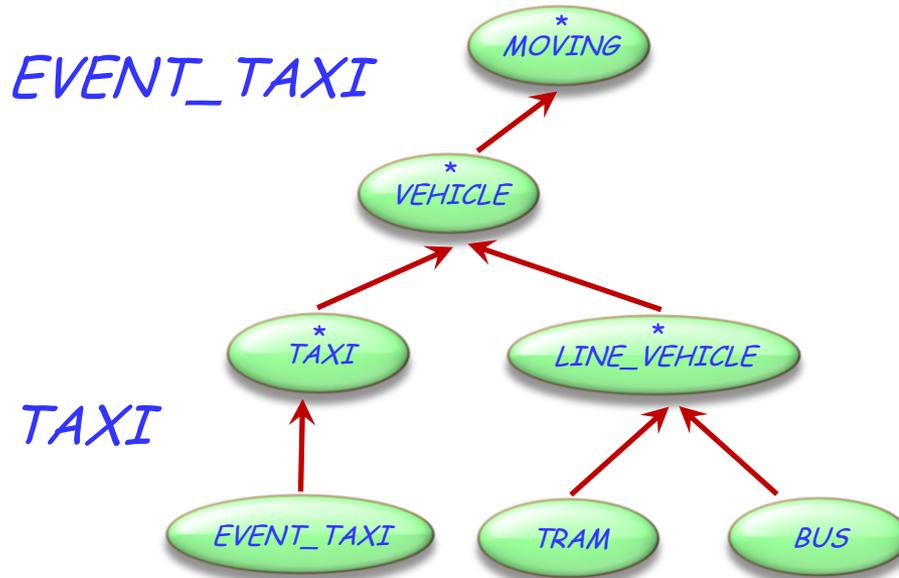
- Lade *q* Passagiere auf.

*position: COORDINATE*

- Aktuelle Position auf
- der Karte.

## Aus der Klasse:

*EVENT\_TAXI*



*TAXI*

*VEHICLE*

*MOVING*

# Features vererben



```
deferred class
  VEHICLE
inherit
  MOVING
feature
  [... Rest of class ...]
end
```

Alle Features von *MOVING* sind auch in *VEHICLE* verfügbar.

```
deferred class
  TAXI
inherit
  VEHICLE
feature
  [... Rest of class ...]
end
```

Alle Features von *VEHICLE* sind auch in *TAXI* verfügbar.

```
class
  EVENT_TAXI
inherit
  TAXI
feature
  [... Rest of class ...]
end
```

Alle Features von *TAXI* sind auch in *EVENT\_TAXI* verfügbar.

# Vererbte Features



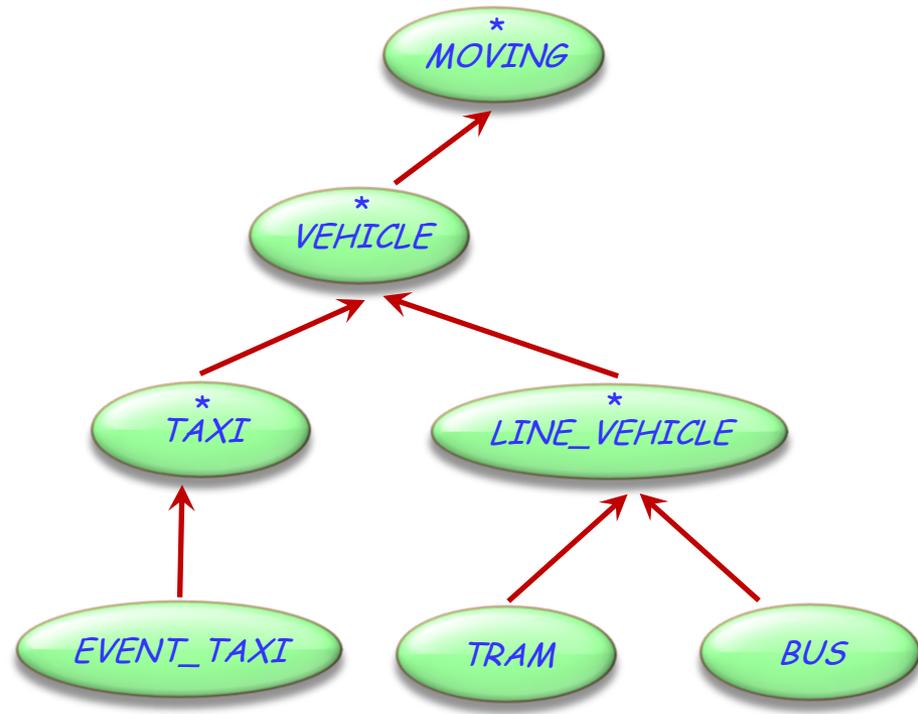
*m: MOVING; v: VEHICLE; t: TAXI; e: EVENT\_TAXI*

*v.load(...)*  
*e.take(...)*  
*m.position*  
*t.busy*

-- Ein Ausdruck  
-- Ein Ausdruck

*e.load(...)*  
*e.take(...)*  
*e.position*  
*e.busy*

-- Ein Ausdruck  
-- Ein Ausdruck





Ein "**Feature einer Klasse**" ist:

- Ein **vererbtes** Feature, falls es ein Feature eines Vorfahrens ist, oder
- Ein **direktes** Feature, falls es in der Klasse selbst definiert und nicht vererbt ist. In diesem Fall sagt man, dass die Klasse das Feature **eingführt**.

# Polymorphe Zuweisung

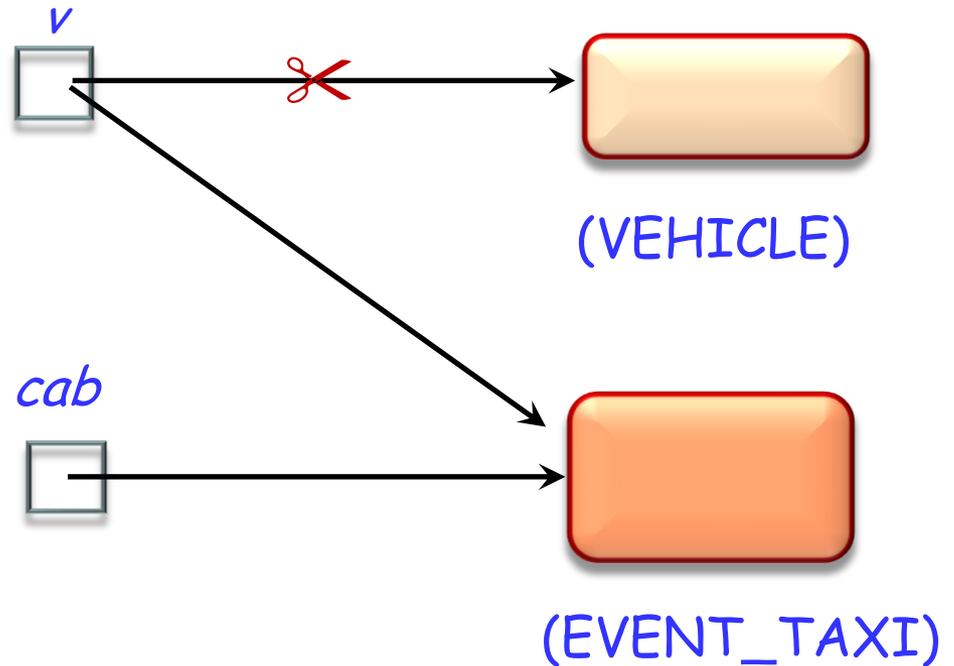


*v: VEHICLE*  
*cab: EVENT\_TAXI*  
*tram: TRAM*

Ein **echter Nachkomme**  
des ursprünglichen Typs

*v := cab*

Interessanter:  
*if bedingung then*  
    *v := cab*  
*else*  
    *v := tram*  
*...end*





Zuweisung:

*ziel* := *ausdruck*

Bis jetzt (ohne Polymorphie):

*ausdruck* war immer vom **gleichen Typ** wie *ziel*

Mit Polymorphie:

Der Typ von *ausdruck* ist ein **Nachkomme** des  
Typs von *ziel*

# Polymorphie gilt auch für Argumente



```
reise_anmelden (v: VEHICLE)  
do ... end
```

Ein spezifischer Aufruf:

```
register_trip (cab)
```

Der Typ des eigentlichen Arguments ist ein **echter Nachkomme** des Typs des formalen Argumentes



Eine **Bindung** (Zuweisung oder Argumentübergabe) ist **polymorph**, falls ihre Zielvariable und der Quellausdruck verschiedene Typen haben.

Eine **Entität** oder ein **Ausdruck** ist **polymorph**, falls sie zur Laufzeit — in Folge einer polymorphen Bindung — zu einem Objekt eines anderen Typs gebunden werden.

**Polymorphie** ist die Existenz dieser Möglichkeiten.



Der **statische Typ** einer Entität ist der Typ ihrer Deklaration im zugehörigen Klassentext.

Falls der Wert einer Entität während einer Ausführung an ein Objekt gebunden ist, ist der Typ dieses Objekts der **dynamische Typ** der Entität zu dieser Zeit.

# Statischer und dynamischer Typ



*v: VEHICLE*  
*cab: EVENT\_TAXI*

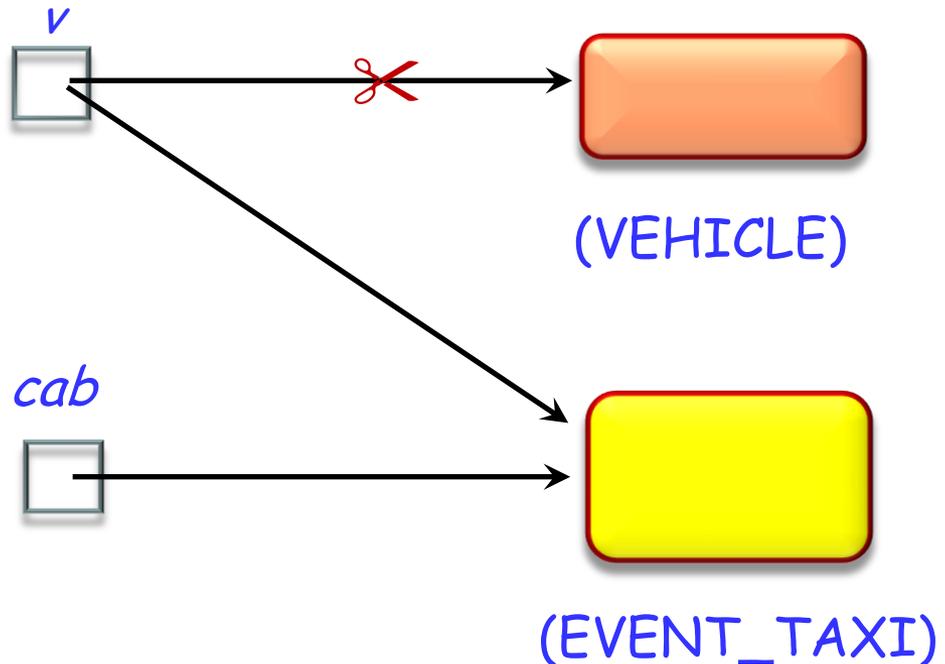
*v := cab*

Statischer Typ von *v*:

*VEHICLE*

Dynamischer Typ nach dieser Zuweisung:

*EVENT\_TAXI*





## Statischer und dynamischer Typ

Der dynamische Typ einer Entität ist immer konform zu ihrem statischem Typ.

(Vom Typ-System garantiert)



## Typ-sicherer Aufruf (während der Ausführung):

Ein Featureaufruf  $x.f$ , so dass das an  $x$  gebundene Objekt ein Feature hat, das  $f$  entspricht.

[Verallgemeinerung: Mit Argumenten,  $x.f(a, b)$  ]

## Überprüfer für statische Typen:

Ein auf ein Programm anwendbares Werkzeug (z.B. ein Compiler) das - für alle Programme, die es akzeptiert - garantiert, dass jeder Aufruf in jeder Ausführung *typsicher* ist.

## Statisch typisierte Sprachen:

Eine Programmiersprache, für die es möglich ist, einen *Überprüfer für statische Typen* zu schreiben.



## Elementare Typisierungsregel bei Vererbung

Eine polymorphe Bindung ist nur dann gültig, wenn der Typ der Quelle mit dem Typ des Ziels **konform** ist.

**konform: Grunddefinition**

*Referenztypen* (nicht generisch):  $U$  ist **konform** zu  $T$  falls  $U$  ein Nachkomme von  $T$  ist.

Ein *expandierter* Typ ist nur zu sich selbst konform.



Ein Referenztyp  $U$  ist zu einem Referenztyp  $T$  **konform**, falls:

- Sie den gleichen generischen Parameter haben und  $U$  ein Nachkomme von  $T$  ist, oder
- Sie beide generische Ableitungen mit der gleichen Anzahl tatsächlicher Parameter sind, der Vorfahre von  $U$  ein Nachkomme der Klasse  $T$  ist und jeder tatsächliche Parameter von  $U$  (rekursiv) zum jeweiligen tatsächlichen Parameter von  $T$  konform ist.

Ein expandierter Typ ist nur zu sich selbst konform.

## Typ-sicherer Aufruf (während der Ausführung):

Ein Featureaufruf  $x.f$ , so dass das an  $x$  gebundene Objekt ein Feature hat, das  $f$  entspricht.

[Verallgemeinerung: Mit Argumenten,  $x.f(a, b)$  ]

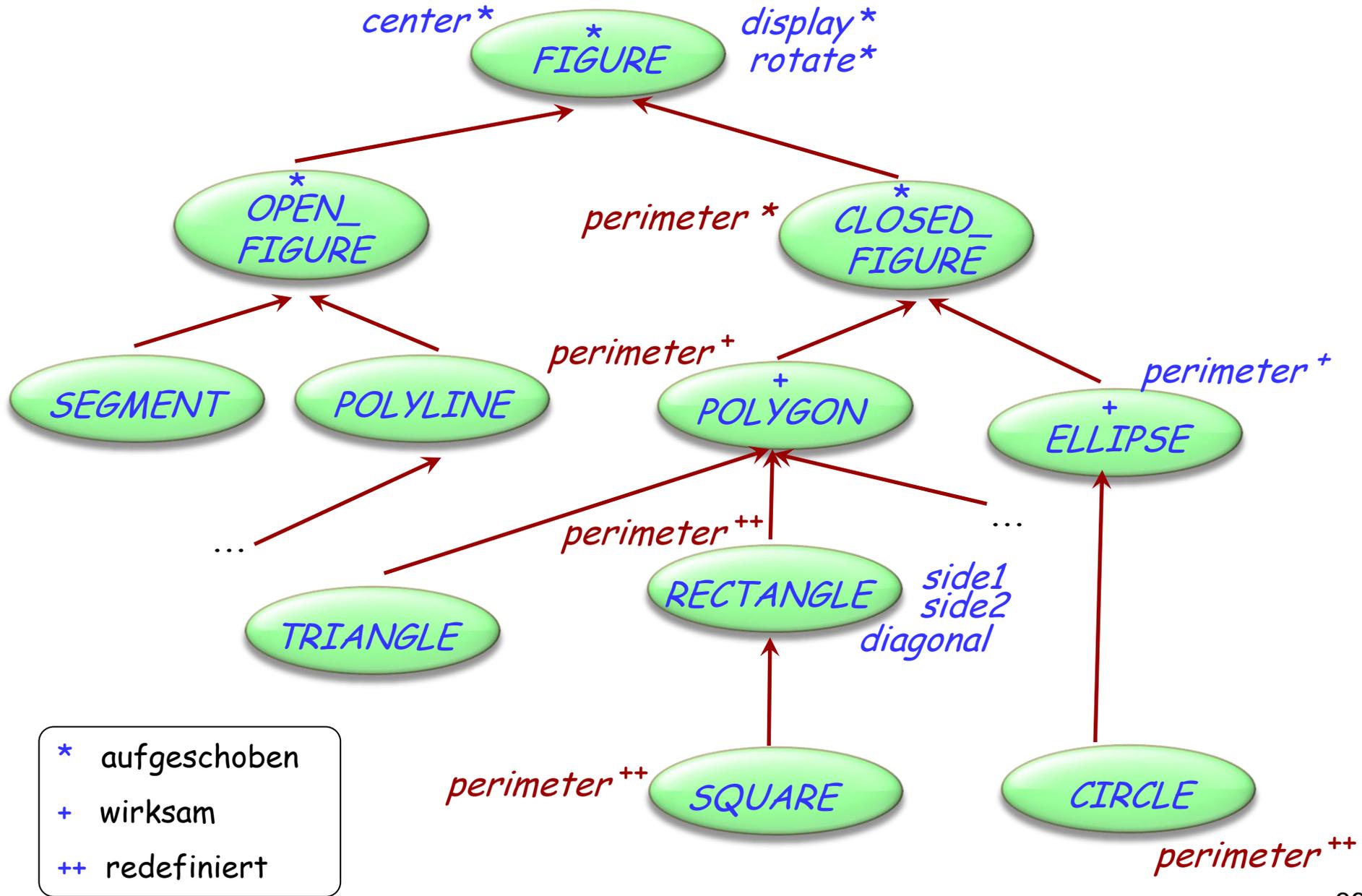
## Überprüfer für statische Typen:

Ein auf ein Programm anwendbares Werkzeug (z.B. ein Compiler) das - für alle Programme, die es akzeptiert - garantiert, dass jeder Aufruf in jeder Ausführung *typsicher* ist.

## Statisch typisierte Sprachen:

Eine Programmiersprache, für die es möglich ist, einen *Überprüfer für statische Typen* zu schreiben.

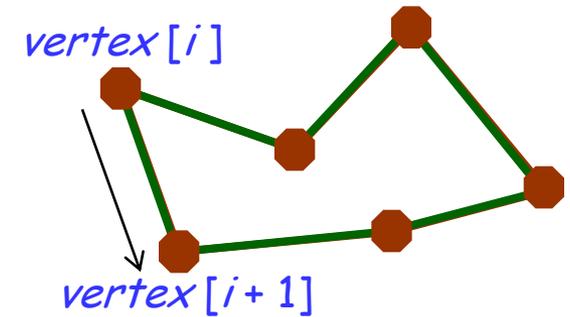
# Noch eine Beispielshierarchie



# Redefinition 1: Polygone



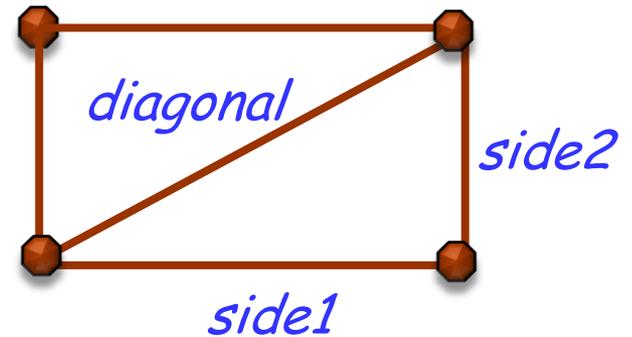
```
class POLYGON inherit
  CLOSED_FIGURE
create
  make
feature
  vertex: ARRAY [POINT]
  vertex_count: INTEGER
  perimeter: REAL
    -- Länge des Umfangs.
  do
    from ... until ... loop
      Result := Result + vertex[i].distance(vertex[i+1])
    ...
  end
end
invariant
  vertex_count >= 3
  vertex_count = vertex.count
end
```



# Redefinition 2: Rechtecke



```
class RECTANGLE inherit
  POLYGON
  redefine
    end perimeter
create
  make
feature
  diagonal, side1, side2: REAL
  perimeter: REAL
  -- Länge des Umfangs.
  do Result := 2 * (side1 + side2) end
invariant
  vertex_count = 4
end
```



# Vererbung, Typisierung und Polymorphie



Annahme:

$p$ : POLYGON ;  $r$ : RECTANGLE ;  $t$ : TRIANGLE  
 $x$ : REAL

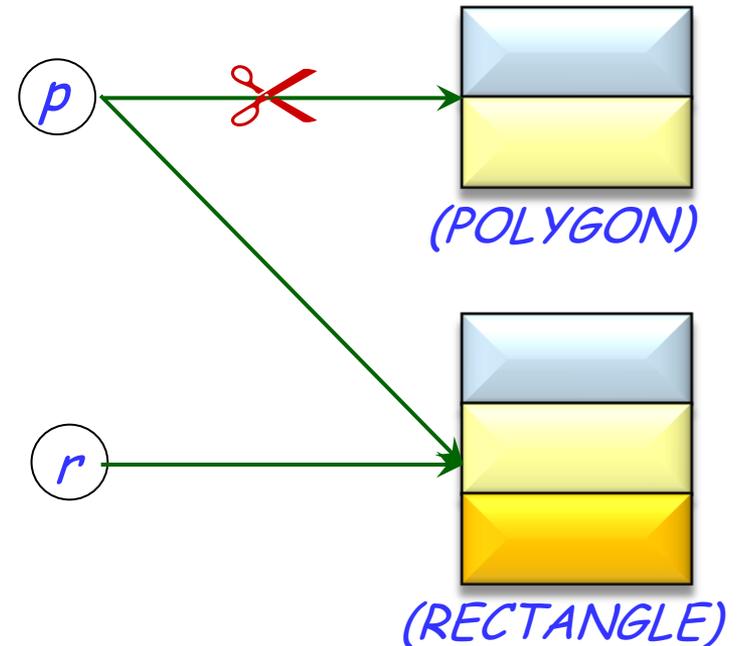
Erlaubt:

$x := p.perimeter$

$x := r.perimeter$

$x := r.diagonal$

$p := r$



NICHT erlaubt:

$x := p.diagonal$

$r := p$

-- Auch gerade nach  $p := r$  !

Was ist hier das Resultat (falls *some\_test* wahr ist)?

if *some\_test* then

*p := r*

else

*p := t*

end

*x := p.perimeter*

**Redefinition:** Eine Klasse kann ein geerbtes Feature ändern. Beispiel: *RECTANGLE* redefiniert *perimeter*.

**Polymorphie:** *p* kann zur Laufzeit mehrere Formen haben.

**Dynamisches Binden:** Das Resultat von *p.perimeter* hängt vom der Laufzeitform von *p* ab.



**Dynamisches Binden** (eine semantische Regel):

- Jede Ausführung eines Featureaufrufs ruft das am besten zum Typ des Zielobjekts adaptierte Feature auf.



(Für einen Aufruf  $x.f$ )

Statische Typisierung: Die Garantie, dass es **mindestens eine Version** von  $f$  gibt.

Dynamisches Binden: Die Garantie, dass jeder Aufruf die **geeignetste Version** von  $f$  aufruft.



```
display (f: FIGURE)
  do
    if "f ist ein CIRCLE" then
      ...
    elseif "f ist ein POLYGON" then
      ...
    end
  end
end
```

Und ähnlich für alle Routinen!

Lästig; muss immer wieder geändert werden, wenn es einen neuen Figurentyp gibt.



Mit:

```
f: FIGURE  
c: CIRCLE  
p: POLYGON
```

und:

```
create c.make (...)  
create p.make (...)
```

Initialisieren:

```
if ... then  
    f := c  
else  
    f := p  
end
```

Danach einfach:

```
f.move (...)  
f.rotate (...)  
f.display (...)  
-- und so weiter für  
-- jede Operation von f!
```



Typenmechanismus: Erlaubt es, Datenabstraktionen zu klassifizieren.

Modul-Mechanismus: Erlaubt es, neue Klassen als Erweiterung von existierenden Klassen zu erstellen.

Polymorphie: Flexibilität *mit* Typ-Sicherheit.

Dynamisches Binden: Automatische Adaption der Operation auf das Ziel für modularere Softwarearchitekturen.

# Redefinition



deferred class *MOVING* feature

*origin: COORDINATE*

*destination: COORDINATE*

*position: COORDINATE*

*polycursor: LIST[COORDINATE]*

*update\_coordinates*

-- Ursprung und Destination updaten.

do

[...]

*origin := destination*

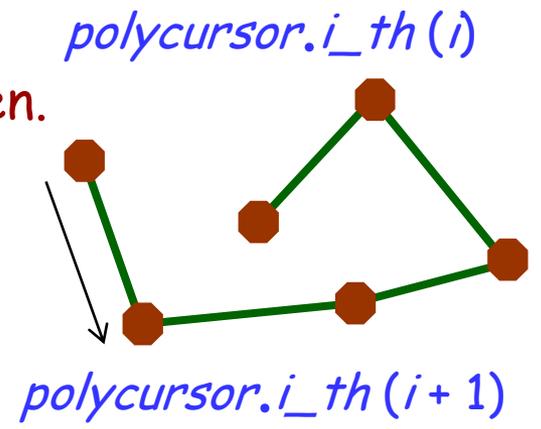
*polycursor.forth*

*destination := polycursor.item*

[...]

end

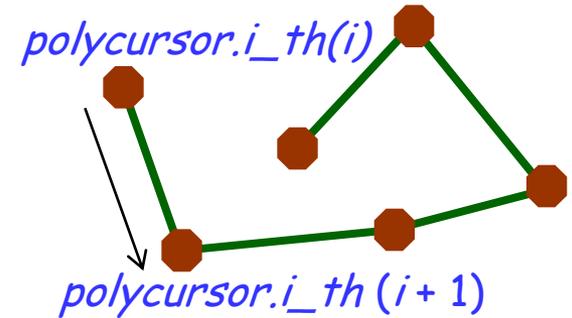
end [...]



# Redefinition 2: LINE\_VEHICLE



```
deferred class LINE_VEHICLE inherit
    VEHICLE
    redefine update_coordinates end
feature
    linecursor : LINE_CURSOR
    update_coordinates
        -- Ursprung und Destination updaten.
    do
        [...]
        origin := destination
        polycursor.forth
        if polycursor.after then
            linecursor.forth
            create polycursor.make (linecursor.item.polypoints)
            polycursor.start
        end
        destination := polycursor.item
    end
end
```



Was ist hier das Resultat (falls *some\_test* wahr ist)?

*m: MOVING, l: LINE\_VEHICLE, t: TAXI*

```
if some_test then
```

```
    m := l
```

```
else
```

```
    m := t
```

```
end
```

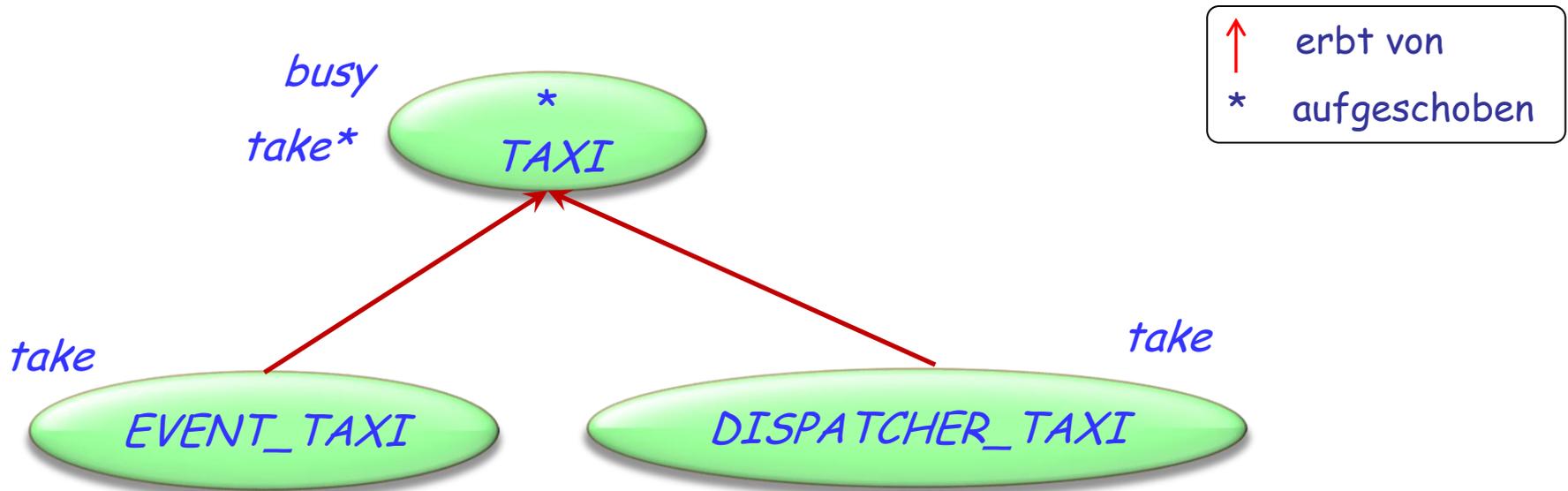
```
m.update_coordinates
```

**Redefinition:** Eine Klasse kann ein geerbtes Feature ändern. Beispiel: *LINE\_VEHICLE* redefiniert *update\_coordinates*.

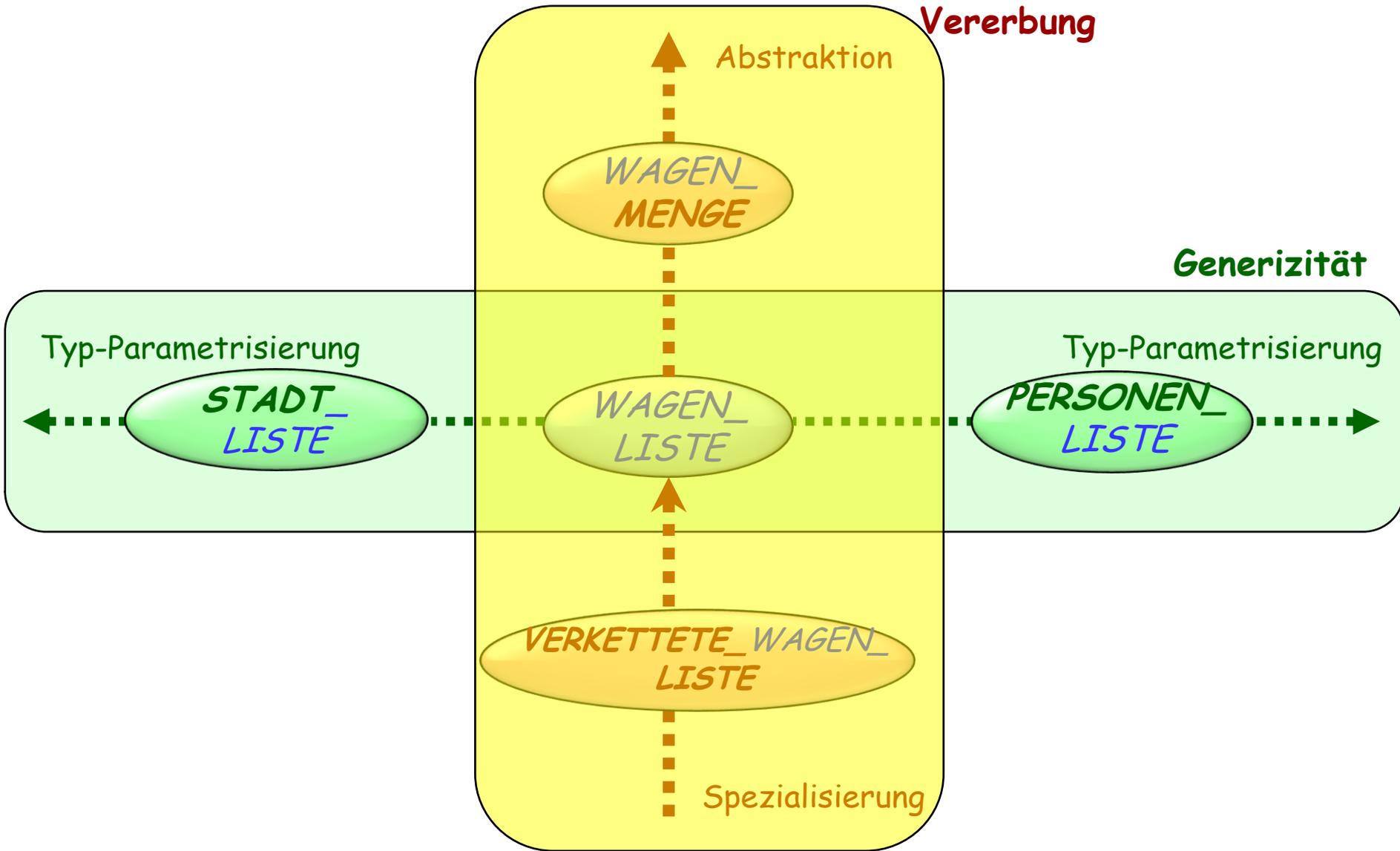
**Polymorphie:** *m* kann zur Laufzeit mehrere Formen haben.

**Dynamisches Binden:** Das Resultat von *m.update\_coordinates* hängt vom der Laufzeitform von *m* ab.

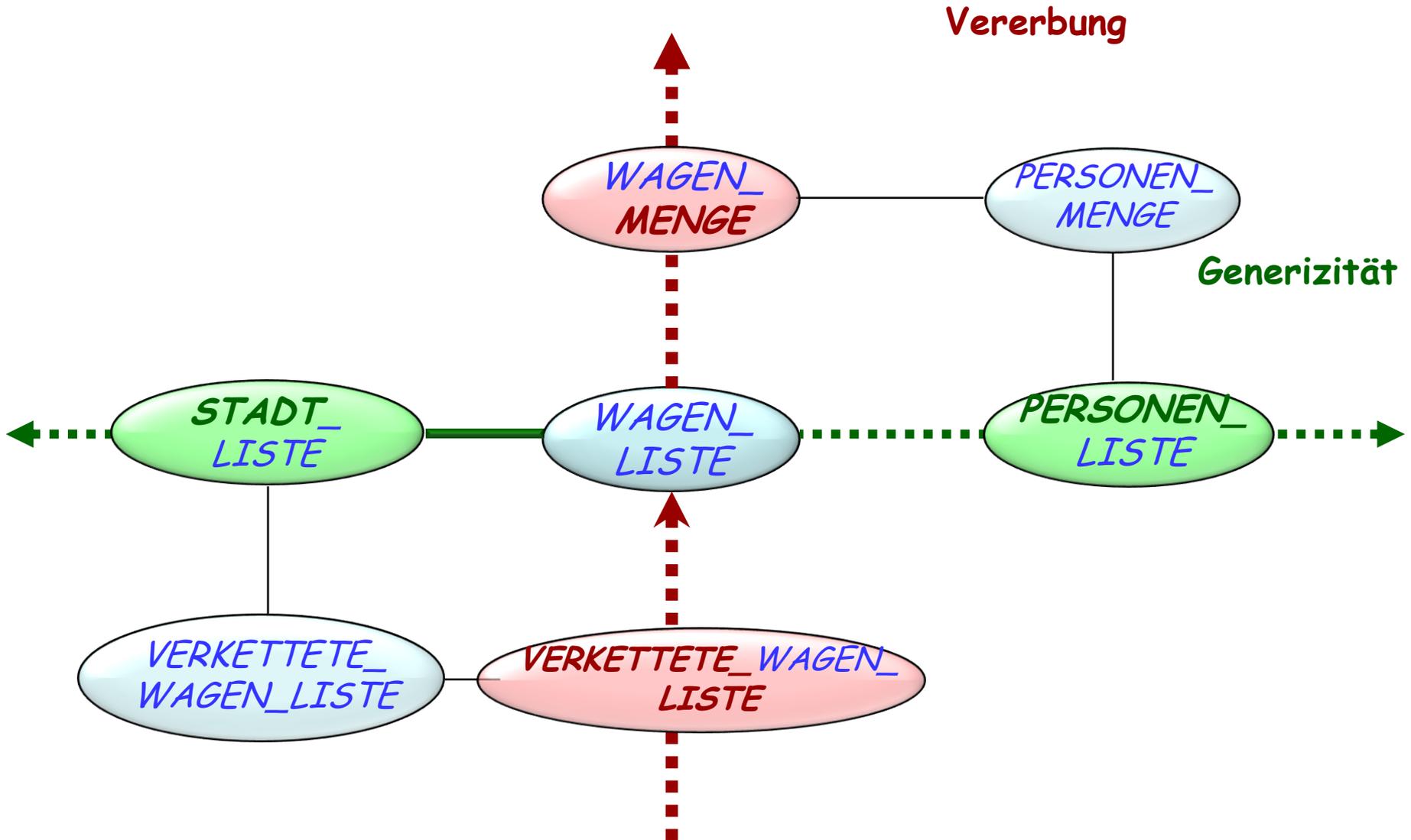
Es gibt mehrere Versionen von *take*.



# Den Begriff einer Klasse erweitern



# Den Begriff einer Klasse erweitern





Vorher definiert für nicht-generisch abgeleitete Typen:



Die fundamentalen O-O Mechanismen:

- Vererbung
- Polymorphie
- Dynamisches Binden
- Statische Typisierung
- Generizität



Erinnerung zu (eingeschränkter) Generizität

Vererbung: aufgeschobene Klassen

Vererbung: Was passiert mit den Verträgen?

Vererbung: Wie können wir den **tatsächlichen** Typ eines Objektes bestimmen?

Nicht in dieser Stunde, aber später: Mehrfachvererbung, Umbenennungen etc.



## Ohne Einschränkung

*LIST*[*G*]

e.g. *LIST*[*INTEGER*], *LIST*[*PERSON*]

## Eingeschränkt

*HASH\_TABLE*[*G* → *HASHABLE*]

*VECTOR*[*G* → *NUMERIC*]

# Eine generische Klasse (Erinnerung)



Formaler generischer Parameter

```
class LIST[ G ] feature  
  extend(x: G) ...  
  last: G ...  
end
```

Um die Klasse zu verwenden: Benutzen Sie eine generische Ableitung, z.B.

Tatsächlicher generischer Parameter

```
städte: LIST[ STADT ]
```

# Gebrauch generischer Ableitungen (Erinnerung)

*städte* : LIST[STADT]

*leute* : LIST[PERSON]

*c* : STADT

*p* : PERSON

...

*städte.extend* (*c*)

*leute.extend* (*p*)

*c := städte.last*

*c.stadt\_operation*

## STATISCHE TYPISIERUNG

Folgendes wird der Compiler zurückweisen:

➤ *leute.extend* (*c*)

➤ *städte.extend* (*p*)



- Mechanismus zur Typerweiterung
- Vereint Typ-Sicherheit und Flexibilität
- Ermöglicht parametrisierte Klassen
- Besonders nützlich für Container-Datenstrukturen, wie z.B. Listen, Arrays, Bäume, ...
- "Typ" ist nun ein wenig allgemeiner als „Klasse“

# Definition: Typ

---



Wie benutzen Typen, um Entitäten zu deklarieren:

*x: SOME\_TYPE*

Mit dem bisherigen Mechanismus ist ein **Typ**:

- Entweder eine nicht-generische Klasse, z.B.

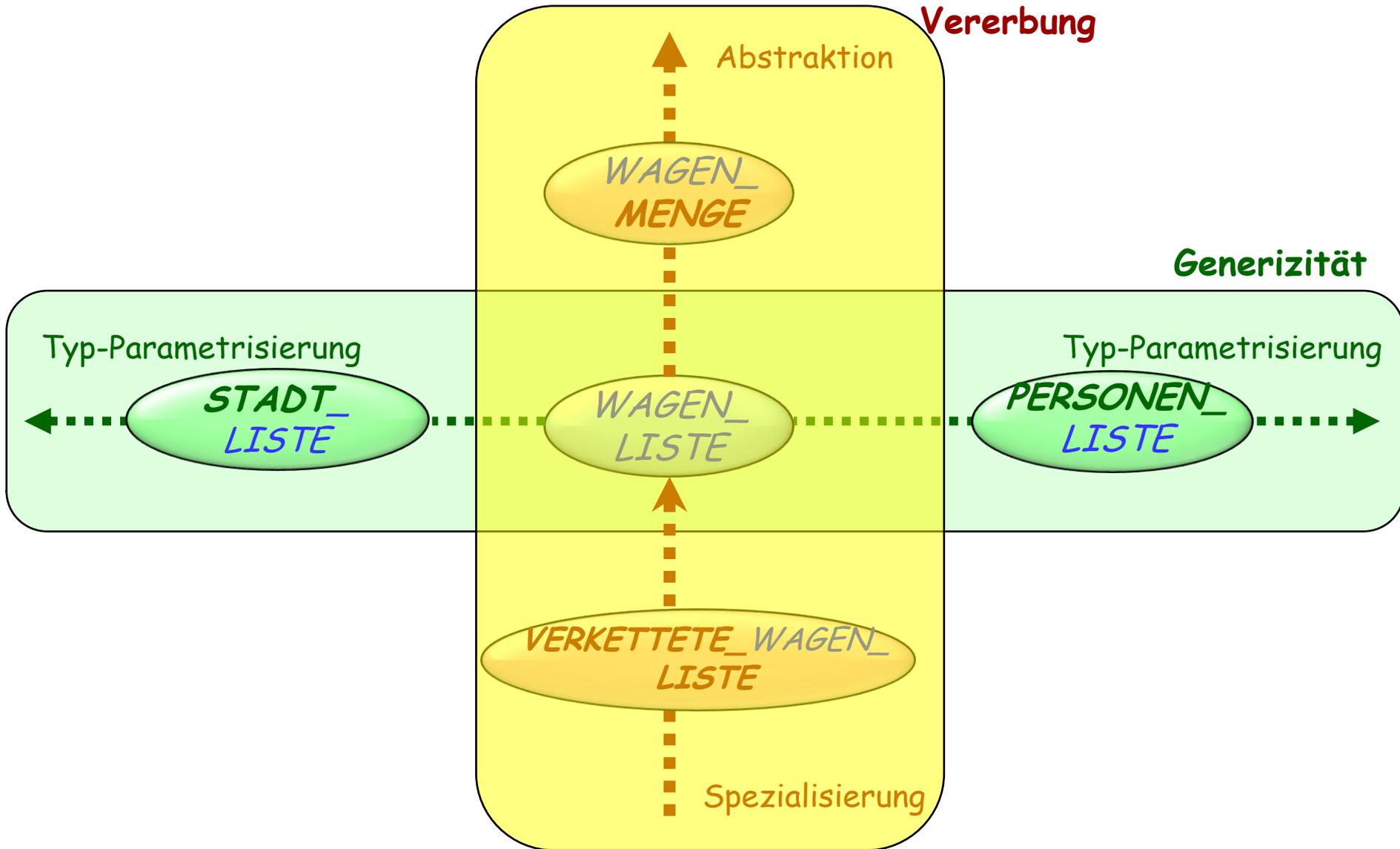
*METRO\_STATION*

- Oder eine **generische Ableitung**, z.B. der Name einer Klasse, gefolgt von einer Liste von **Typen**, die **tatsächlichen generischen Parameter**, in Klammern, z.B.

*LIST [METRO\_STATION]*

*LIST [ARRAY [METRO\_STATION]]*

# Vererbung und Generizität verbinden

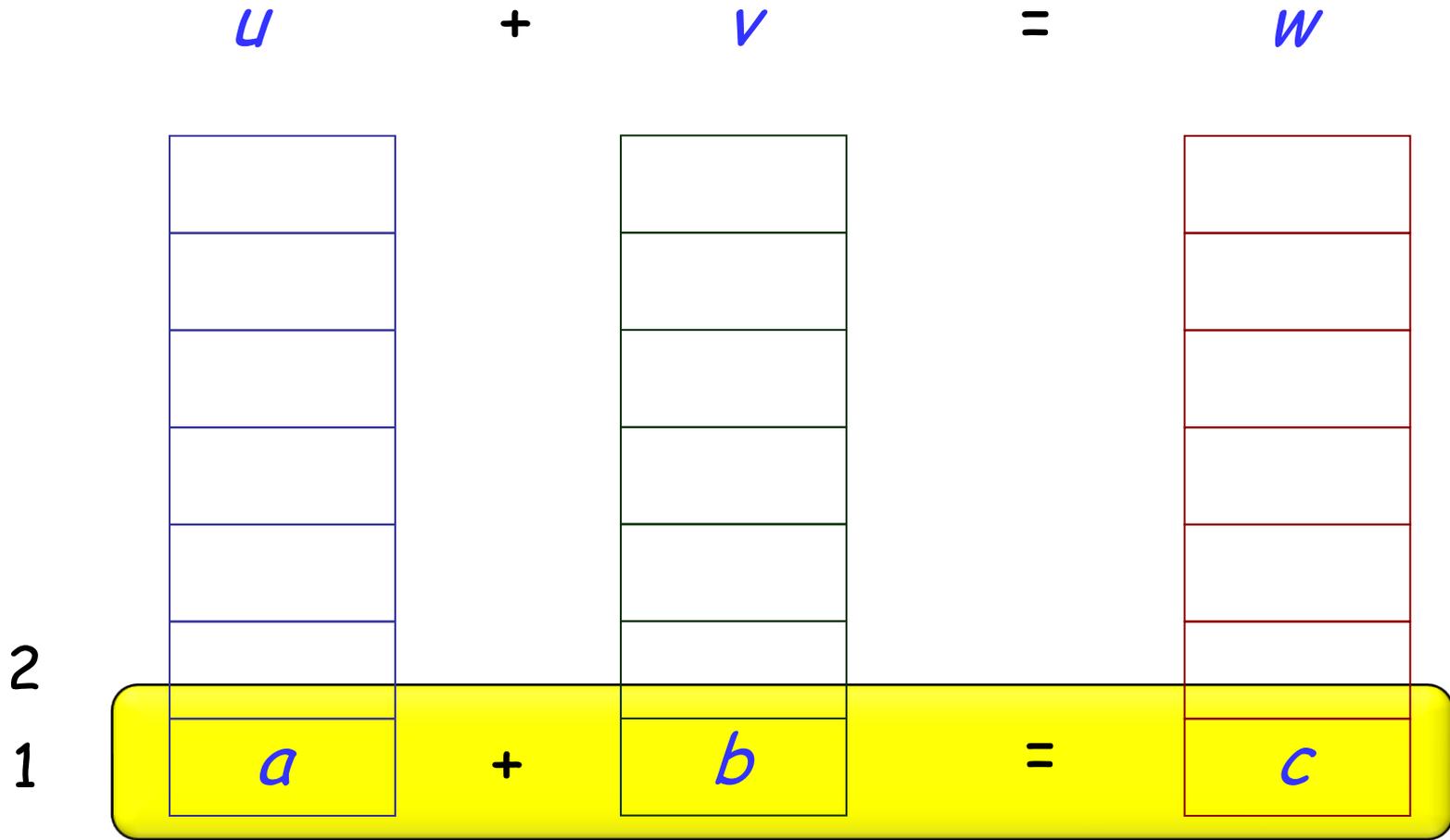


# Generizität + Vererbung 1: eingeschränkte Generizität

---

```
class VECTOR [G          ] feature
  plus alias "+" (other: VECTOR [G]): VECTOR [G]
    -- Summe des aktuellen Vektors und other.
  require
    lower = other.lower
    upper = other.upper
  local
    a, b, c: G
  do
    ... Siehe nachher...
  end
  ... andere Features ...
end
```

# Addieren zweier Vektoren





Rumpf von *plus* alias "+":

```
create Result.make (lower, upper)
```

```
from
```

```
    i := lower
```

```
until
```

```
    i > upper
```

```
loop
```

```
    a := item (i)
```

```
    b := other.item (i)
```

```
    c := a + b -- Benötigt "+" Operation auf G!
```

```
    Result.put (c, i)
```

```
    i := i + 1
```

```
end
```

Deklarieren Sie die Klasse *VECTOR* als

```
class VECTOR[G  NUMERIC] feature  
    ... Der Rest wie zuvor ...  
end
```

Die Klasse *NUMERIC* (von der Kernel-Bibliothek) enthält die Features *plus alias "+"*, *minus alias "-"* etc.

Machen Sie aus *VECTOR* selbst ein Nachkomme von *NUMERIC*:

```
class VECTOR [G -> NUMERIC] inherit  
    NUMERIC
```

```
feature
```

```
    ... Rest wie vorher, einschliesslich infix "+" ...
```

```
end
```

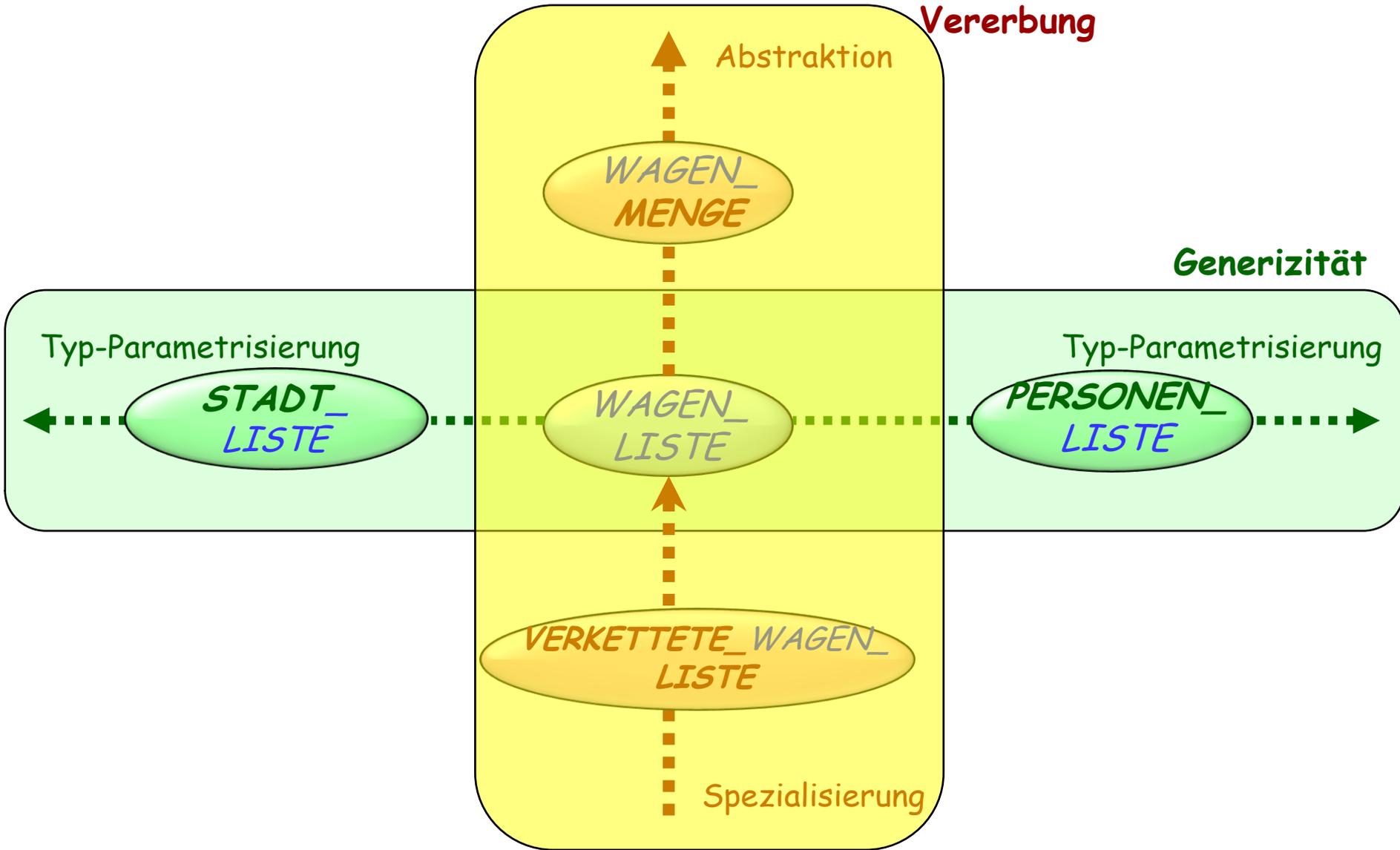
Dies ermöglicht die folgenden Definitionen:

```
v: VECTOR [INTEGER]
```

```
vv: VECTOR [VECTOR [INTEGER]]
```

```
vvv: VECTOR [VECTOR [VECTOR [INTEGER]]]
```

# Vererbung und Generizität verbinden



# Generizität + Vererbung 2: Polymorphe Datenstrukturen

*fleet: LIST [VEHICLE]*

*v: VEHICLE*

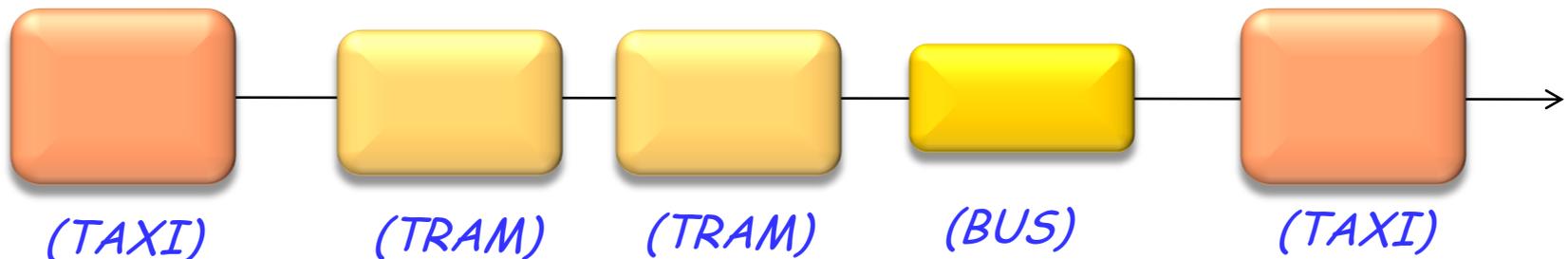
*extend(v: G)*

-- Ein neues Vorkommen von *v* hinzufügen.

...

*fleet.extend(v)*

*fleet.extend(cab)*



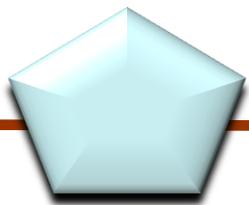
# Polymorphe Datenstrukturen



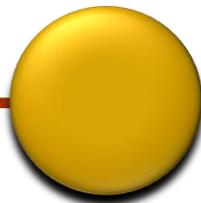
```
bilder: LIST [FIGURE]  
p1, p2: POLYGON  
c1, c2: CIRCLE  
e: ELLIPSE
```

```
class LIST[G] feature  
  extend(v: G) do ...  
end  
  last: G  
  ...  
end
```

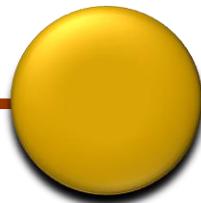
```
bilder.extend(p1); bilder.extend(c1); bilder.extend(c2)  
bilder.extend(e); bilder.extend(p2)
```



(POLYGON)



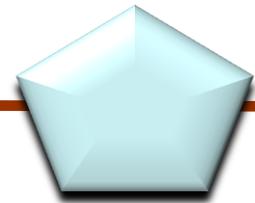
(CIRCLE)



(CIRCLE)

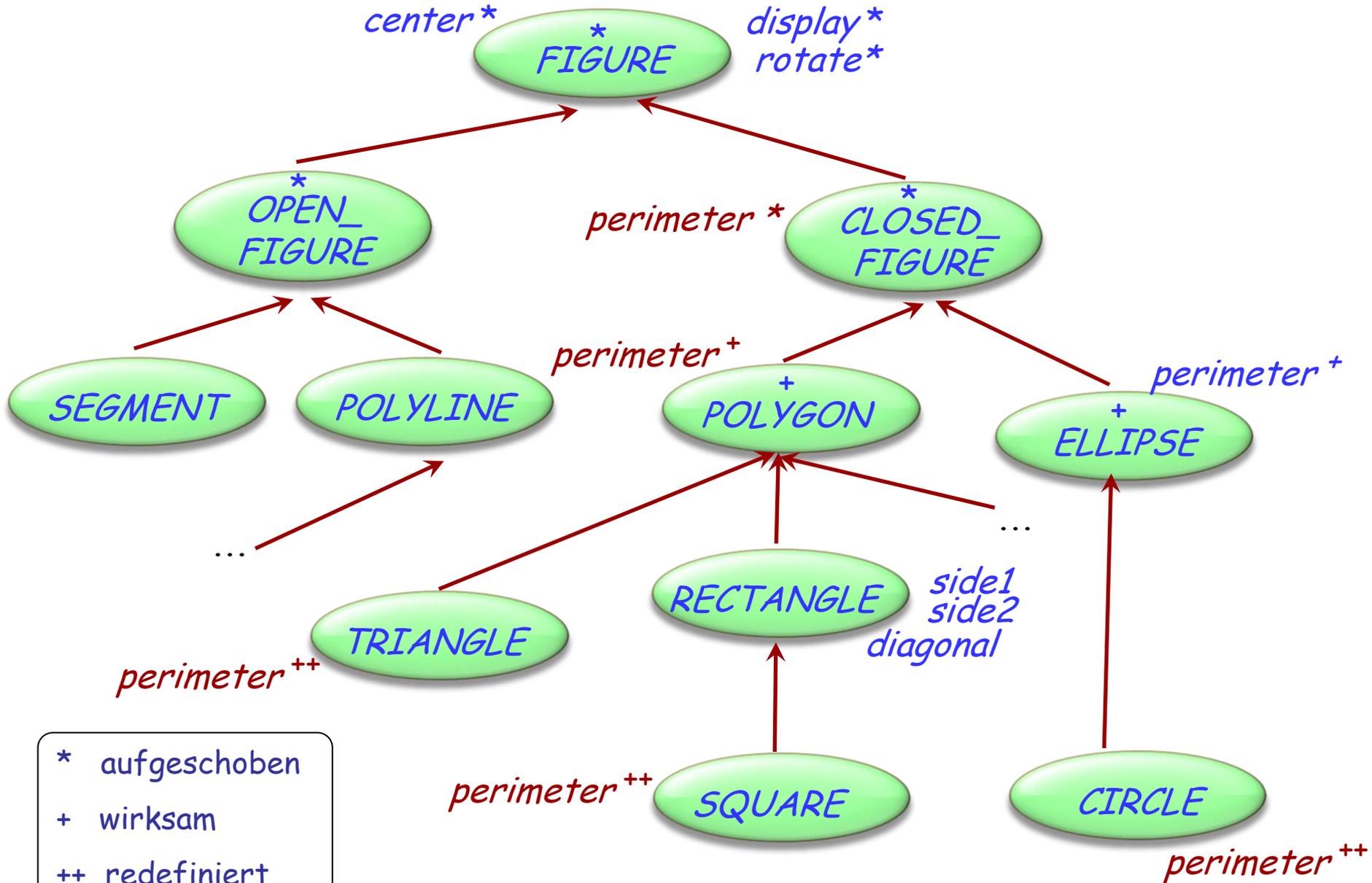


(ELLIPSE)



(POLYGON)

# Beispielhierarchie



# Mit polymorphen Datenstrukturen arbeiten



*bilder: LIST [FIGURE]*

...

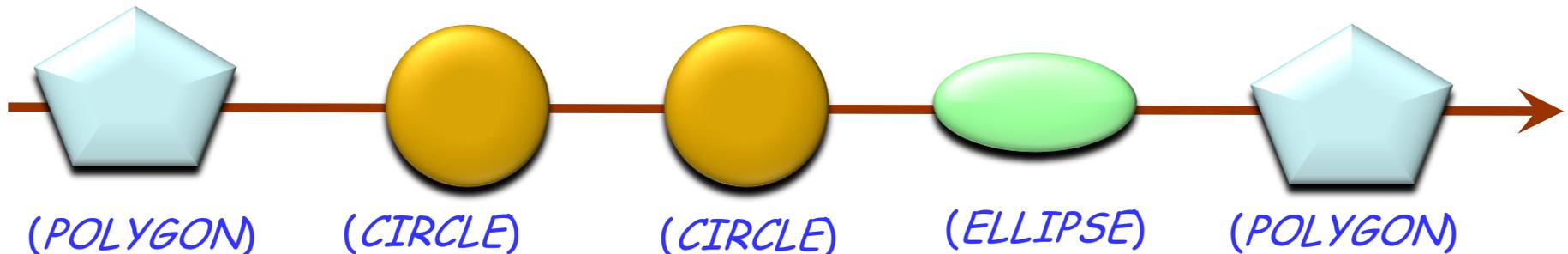
**from** *bilder.start* **until** *bilder.after* **loop**

*bilder.item*.display

*bilder.forth*

**end**

Dynamische Binden



# Definition (Polymorphie, angepasst)

---



Eine **Bindung** (Zuweisung oder Argumentübergabe) ist **polymorph**, falls ihre Zielvariable und der Quellausdruck verschiedene Typen haben.

Eine **Entität** oder ein **Ausdruck** ist **polymorph**, falls sie/er zur Laufzeit — in Folge einer polymorphen Bindung — zu einem Objekt eines anderen Typs gebunden werden.

Eine **Container-Datenstruktur** ist **polymorph**, falls sie Referenzen zu Objekten verschiedener Typen enthalten kann.

Polymorphie ist die Existenz dieser Möglichkeiten.

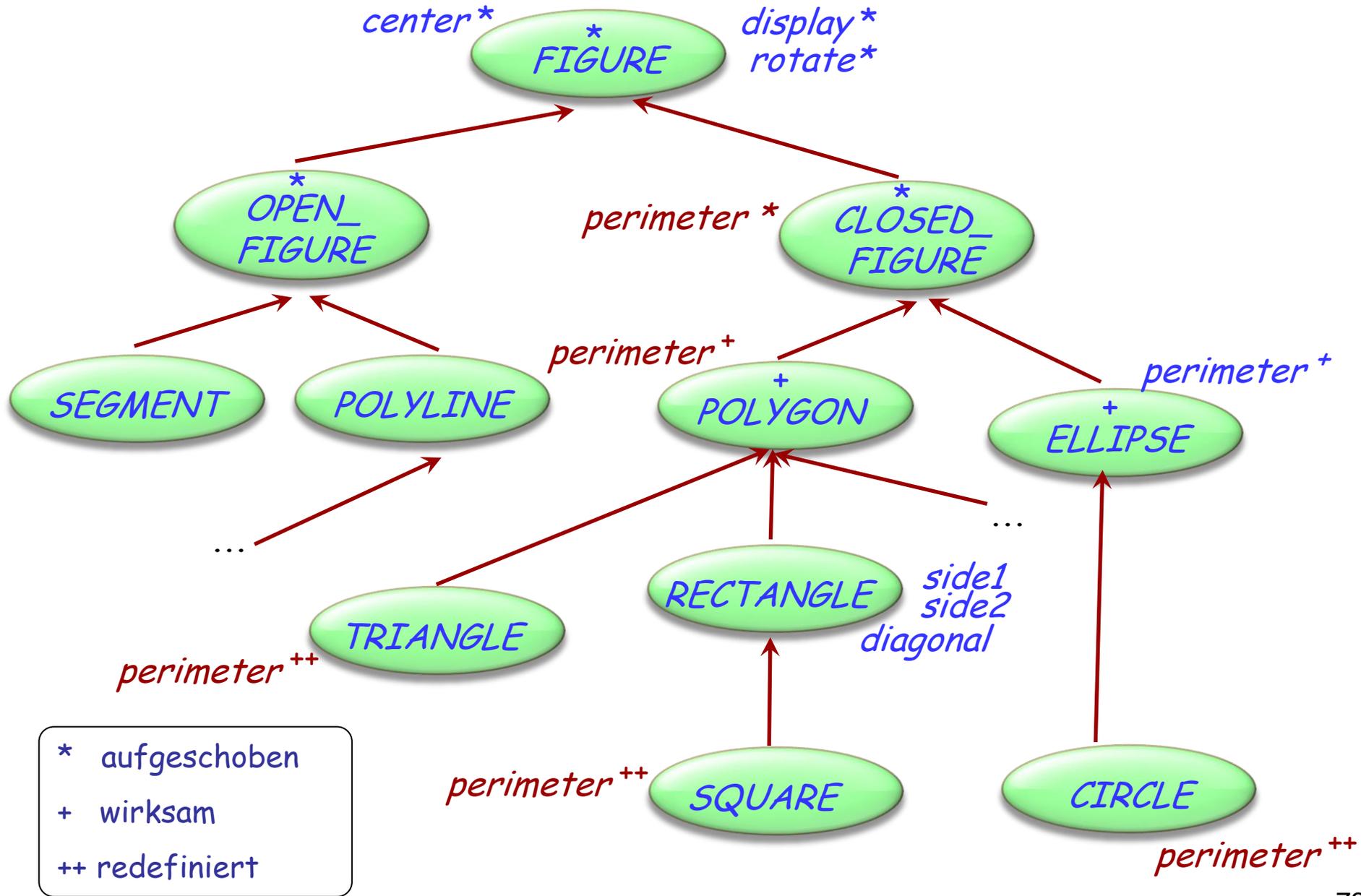


Ausdrücken von abstrakten Konzepten, unabhängig von der Implementation.

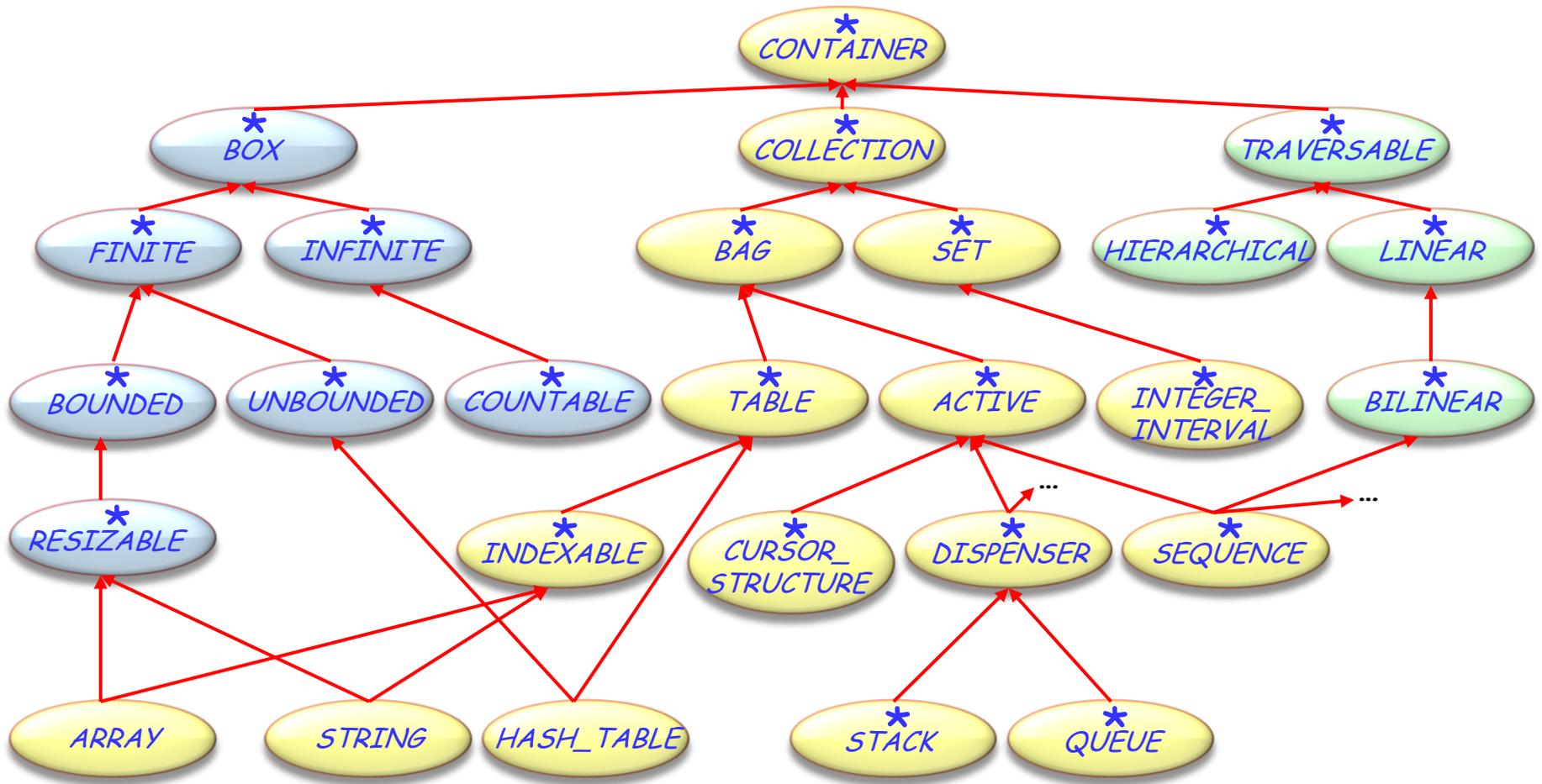
Ausdrücken von gemeinsamen Elementen von mehreren Implementationen.

Terminologie: **wirksam** = nicht aufgeschoben  
(d.h. vollständig implementiert)

# Beispielshierarchie



# Aufgeschobene Klassen in EiffelBase



\* aufgeschoben



In *LIST*:

*forth*

**require**  
*not after*

**deferred**

**ensure**  
*index = old index*

**end**

# Aufgeschobene und wirksame Features mischen

In der gleichen Klasse

wirksam!

*search(x: G)*

- Gehe zur ersten Position nach der
- aktuellen, wo *x* auftritt, oder *after*
- falls es nicht auftritt.

do

from until *after* or else *item = x* loop

*forth*

end

end

aufgeschoben

“Programme mit Lücken”

# “Rufen Sie uns nicht auf, wir rufen Sie auf!”

---



Eine mächtige Form von Wiederverwendbarkeit:

- Das wiederverwendbare Element definiert ein allgemeines Schema.
- Spezifische Fälle füllen die Lücken in diesem Schema

Kombiniert Wiederverwendung mit Adaption

# Anwendung von aufgeschobenen Klassen

---

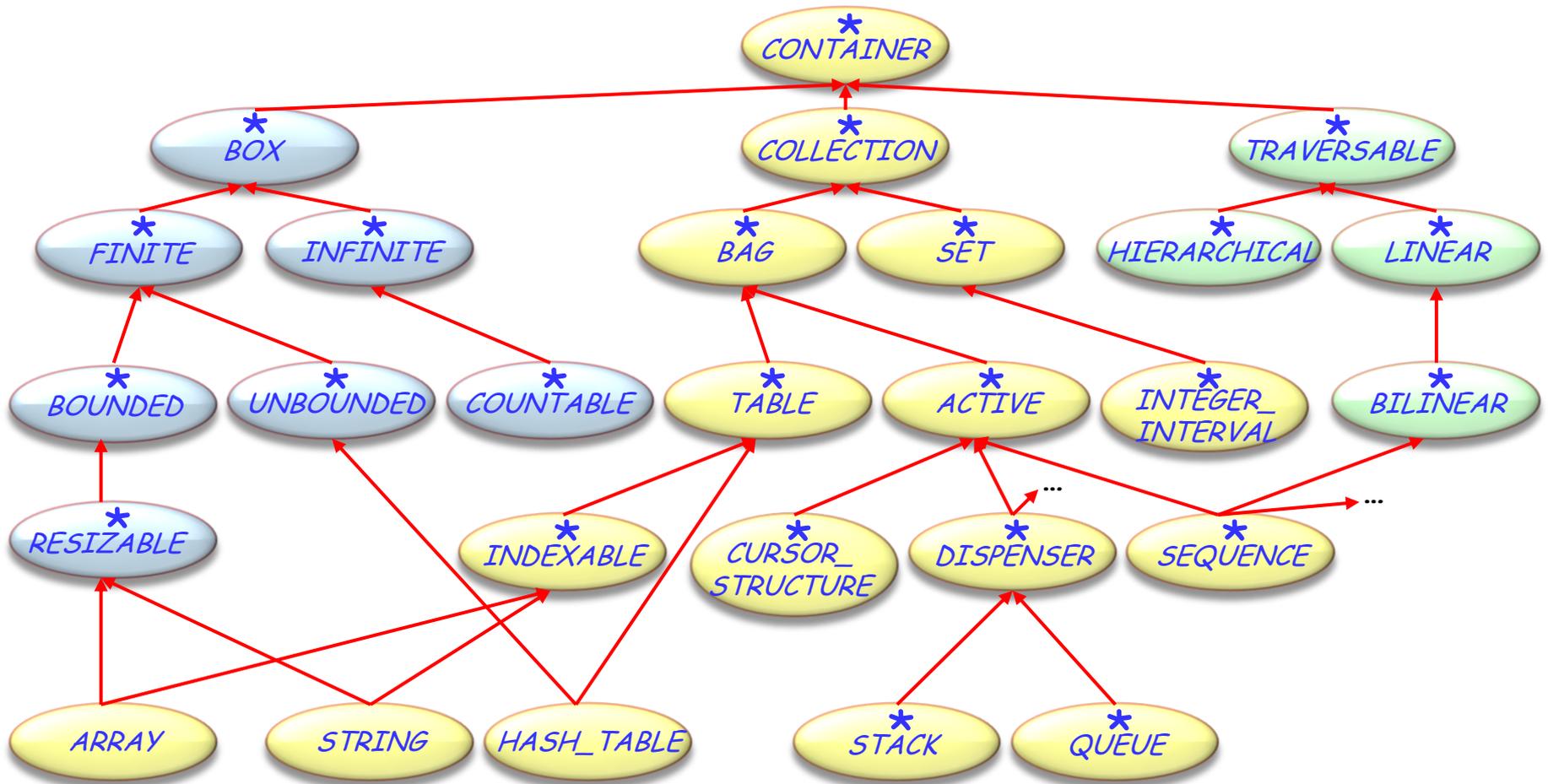


Analyse und Entwurf, von oben nach unten (top-down)

Systematik

Gemeinsames Verhalten zusammenfassen

# Aufgeschobene Klassen in EiffelBase



\* aufgeschoben



Dieses Beispiel nutzt wiederum mächtige polymorphe Datenstrukturen

Wir werden nun nur eine Skizze sehen, die Details werden in der Lektion über Agenten besprochen.

Referenzen:

- Kapitel 21 in *Object-Oriented Software Construction*, Prentice Hall, 1997
- Erich Gamma et al., *Design Patterns*, Addison - Wesley, 1995: "Command pattern"



Dem Benutzer eines interaktiven Systems die Möglichkeit geben, die letzte Aktion rückgängig zu machen.

Bekannt als "**Control-Z**"

Soll mehrstufiges rückgängig Machen ("**Control-Z**") und Wiederholen ("**Control-Y**") ohne Limitierung unterstützen, ausser der Benutzer gibt eine maximale Tiefe an.



Begriff der „aktuellen Zeile“ mit folgenden Befehlen:

- **Löschen** der aktuellen Zeile
- **Ersetzen** der aktuellen Zeile mit einer anderen
- **Einfügen** einer Zeile vor der aktuellen Position
- **Vertauschen** der aktuellen Zeile mit der nächsten (falls vorhanden)
- „Globales Suchen und Ersetzen“ (fortan **GSE**):  
Jedes Auftreten einer gewissen Zeichenkette durch eine andere ersetzen.
- ...

Der Einfachheit halber nutzen wir eine Zeilen-orientierte Ansicht, aber die Diskussion kann auch auf kompliziertere Ansichten angewendet werden.



Sichern des gesamten Zustandes vor jeder Operation.

Im Beispiel: Der Text, der bearbeitet wird  
und die aktuelle Position im Text.

Wenn der Benutzer ein „Undo“ verlangt, stelle den zuletzt gesicherten Zustand wieder her.

Aber: Verschwendung von Ressource, insbesondere Speicherplatz.

**Intuition:** Sichere nur die Änderungen (diff) zwischen zwei Zuständen.

# Die „Geschichte“ einer Sitzung speichern



Die Geschichte-Liste:



*history: TWO\_WAY\_LIST [BEFEHL]*

# Was ist ein “Befehl” (*Command*) -Objekt?



Ein Befehl-Objekt beinhaltet genügend Informationen über eine Ausführung eines Befehls durch den Benutzer, um

- den Befehl **auszuführen**
- den Befehl **rückgängig** zu machen

Beispiel: In einem “**Löschungs**”-Objekt brauchen wir:

- Die Position der zu löschenden Zeile
- Der Inhalt dieser Zeile!

# Allgemeiner Begriff eines Befehls



deferred class *BEFEHL* feature

*done: BOOLEAN*

-- Wurde dieser Befehl ausgeführt?

*execute*

-- Eine Ausführung des Befehls ausführen.

deferred

*ensure*

*already: done*

end

*undo*

-- Eine frühere Ausführung des Befehls  
-- rückgängig machen

*require*

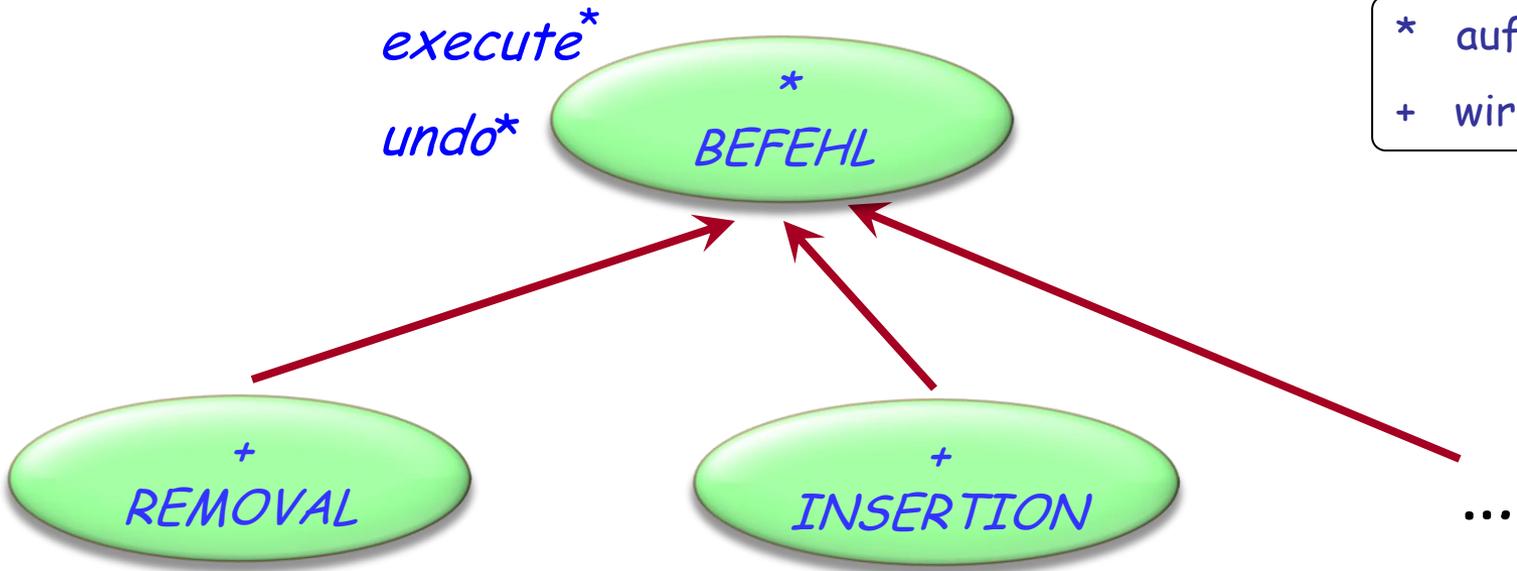
*already: done*

deferred

end

end

# Die Befehl-Klassenhierarchie



\* aufgeschoben  
+ wirksam

*execute+*  
*undo+*  
*line: STRING*  
*index: INTEGER*  
...

*execute+*  
*undo+*  
*index*  
...

# Zugrundeliegende Klasse (Aus dem Geschäftsmodell)



```
class EDIT_CONTROLLER feature
```

```
  text: TWO_WAY_LIST[STRING]
```

```
  remove
```

```
    -- Lösche Linie an aktueller Position.
```

```
    require
```

```
      not off
```

```
    do
```

```
      text.remove
```

```
    end
```

```
  put_right (line: STRING)
```

```
    -- Füge line nach der aktuellen Position ein.
```

```
    require
```

```
      not after
```

```
    do
```

```
      text.put_right (line)
```

```
    end
```

```
  ... Auch: item, index, go_ith, put_left ...
```

```
end
```

# Eine Befehlsklasse (Skizze, ohne Verträge)



```
class REMOVAL inherit BEFEHL feature
  controller: EDIT_CONTROLLER
    -- Zugriff zum Geschäftsmodell.

  line: STRING
    -- Zu löschende Linie.

  index: INTEGER
    -- Position der zu löschenden Linie.

  execute
    -- Lösche aktuelle Linie und speichere sie.
    do
      line := controller.item; index := controller.index
      controller.remove ; done := True
    end

  undo
    -- Füge vorher gelöschte Linie wieder ein.
    do
      controller.go_i_th(index)
      controller.put_left(line)
    end

end
```

# Die Geschichte-Liste

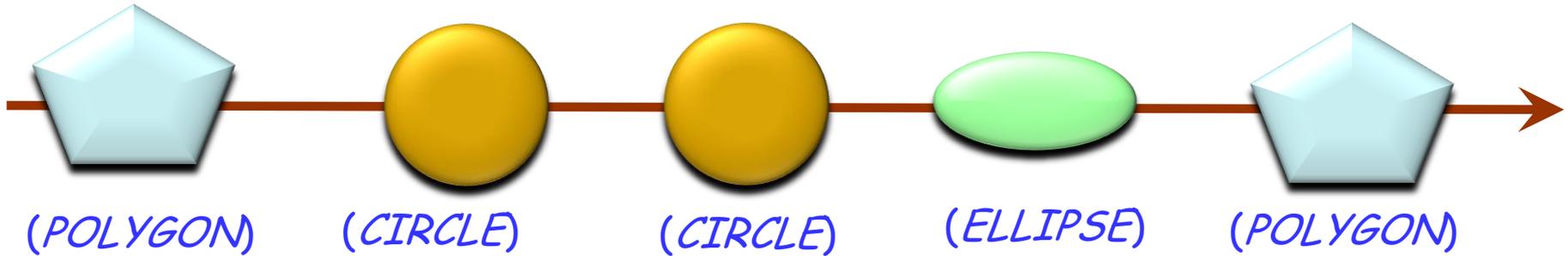


Eine polymorphe Datenstruktur



*history: TWO\_WAY\_LIST [BEFEHL]*

# Erinnerung: Liste von Figuren



```
bilder.extend(p1); bilder.extend(c1); bilder.extend(c2)  
bilder.extend(e); bilder.extend(p2)
```

```
bilder: LIST [FIGURE]  
p1, p2: POLYGON  
c1, c2: CIRCLE  
e: ELLIPSE
```

```
class LIST[G] feature  
    extend(v: G) do ...  
end  
    last: G  
    ...  
end
```

Eine polymorphe Datenstruktur



*history: TWO\_WAY\_LIST [BEFEHL]*

# Einen Benutzerbefehl ausführen



*decode\_user\_request*

if "Anfrage ist normaler Befehl" then

"Erzeuge ein Befehlsobjekt *c*, der Anforderung entsprechend"

*history.extend(c)*

*c.execute*

elseif "Anfrage ist UNDO" then

if not *history.before* then -- Ignoriere überschüssige Anfragen

*history.item.undo*

*history.back*

end

elseif "Anfrage ist REDO" then

if not *history.is\_last* then - Ignoriere überschüssige Anfragen

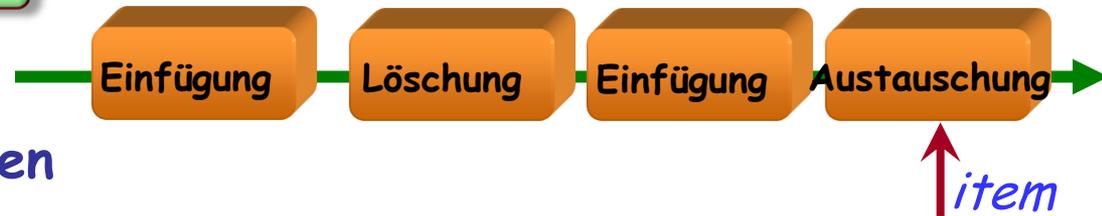
*history.forth*

*history.item.execute*

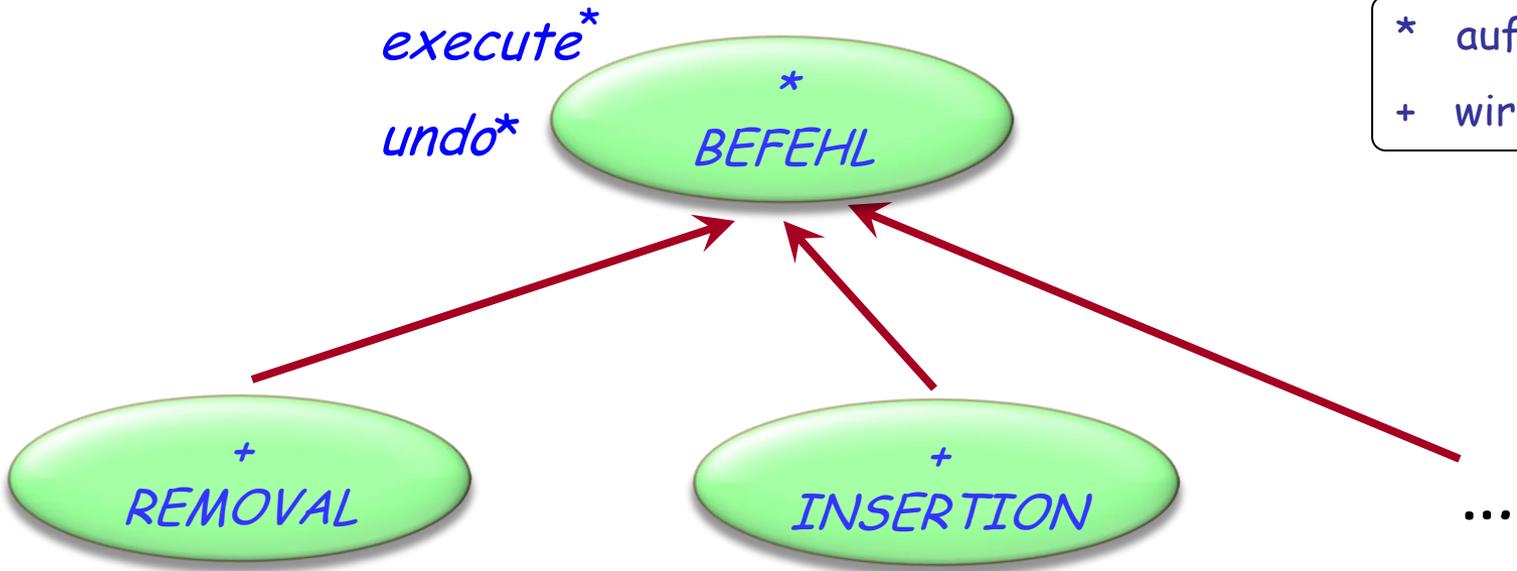
end

end

Pseudocode, siehe nächste Implementation



# Die Befehl-Klassenhierarchie

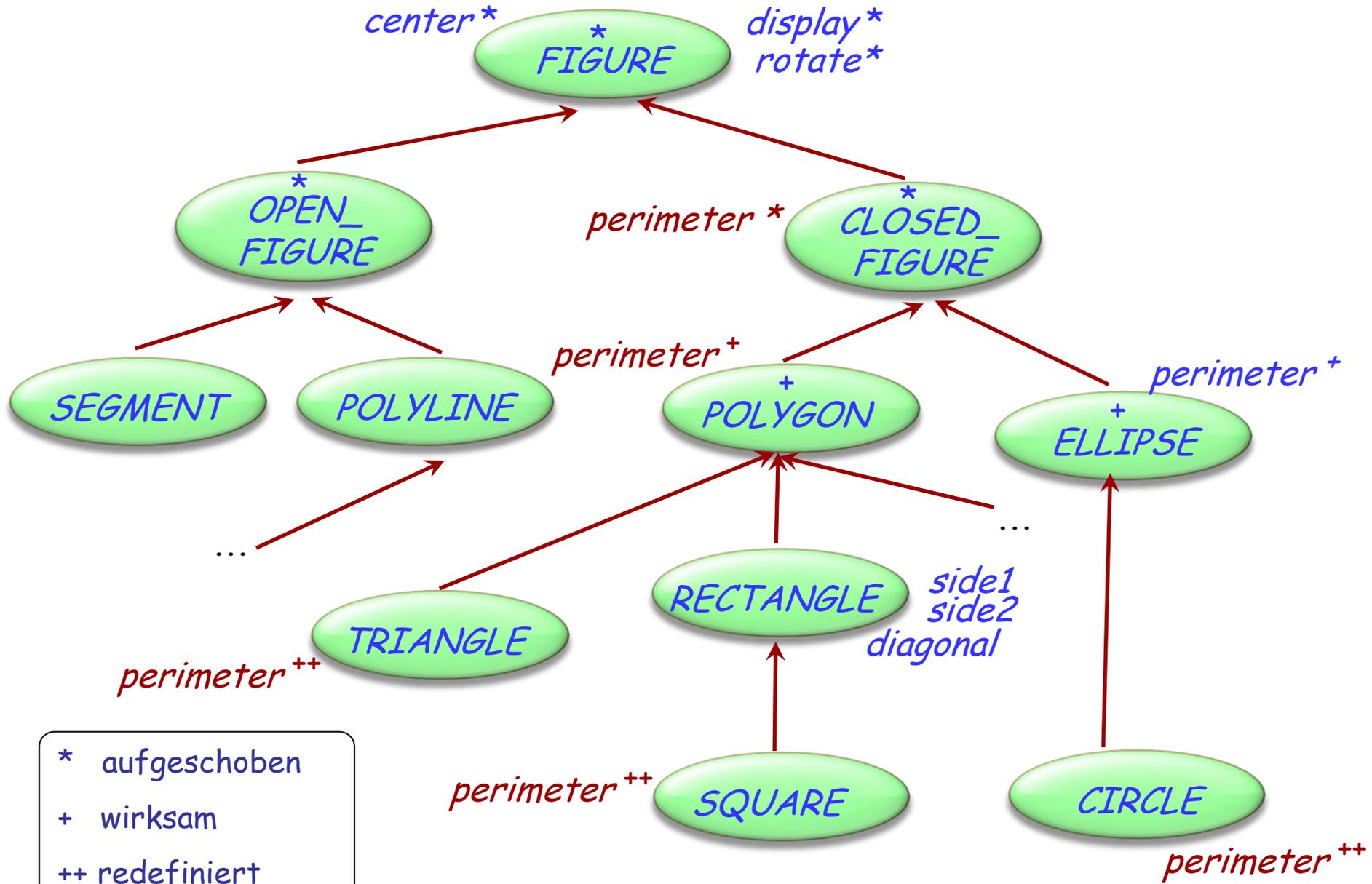


\* aufgeschoben  
+ wirksam

*execute+*  
*undo+*  
*line: STRING*  
*index: INTEGER*  
...

*execute+*  
*undo+*  
*index*  
...

# Beispielshierarchie





```
bilder.store ("FN")
```

```
...
```

```
-- Zwei Jahre später:
```

```
bilder := retrieved ("FN") - Siehe nachher
```

```
x := bilder.last -- [1]
```

```
print (x.diagonal) -- [2]
```

Was ist daran falsch?

- Falls *x* als *RECTANGLE* deklariert ist, ist [1] ungültig.
- Falls *x* als *FIGURE* deklariert ist, ist [2] ungültig.

# Einen Typ erzwingen: Der Objekt-Test



Zu prüfender Ausdruck

"Object-Test Local"

```
if attached {RECTANGLE} bilder.retrieved("FN") as r  
then
```

```
print (r.diagonal)
```

```
-- Tu irgendwas mit r, welches garantiert nicht
```

```
-- void und vom dynamischen Typ RECTANGLE ist.
```

```
else
```

```
print ("Too bad.")
```

```
end
```

SCOPE der lokalen Variablen



*f: FIGURE*

*r: RECTANGLE*

...

*bilder.retrieve("FN")*

*f := bilder.last*

*r ?= f*

**if** *r* /= Void **then**

*print* (*r.diagonal*)

**else**

*print* ("Too bad.")

**end**

$x? = y$

mit

$x: A$

Semantik:

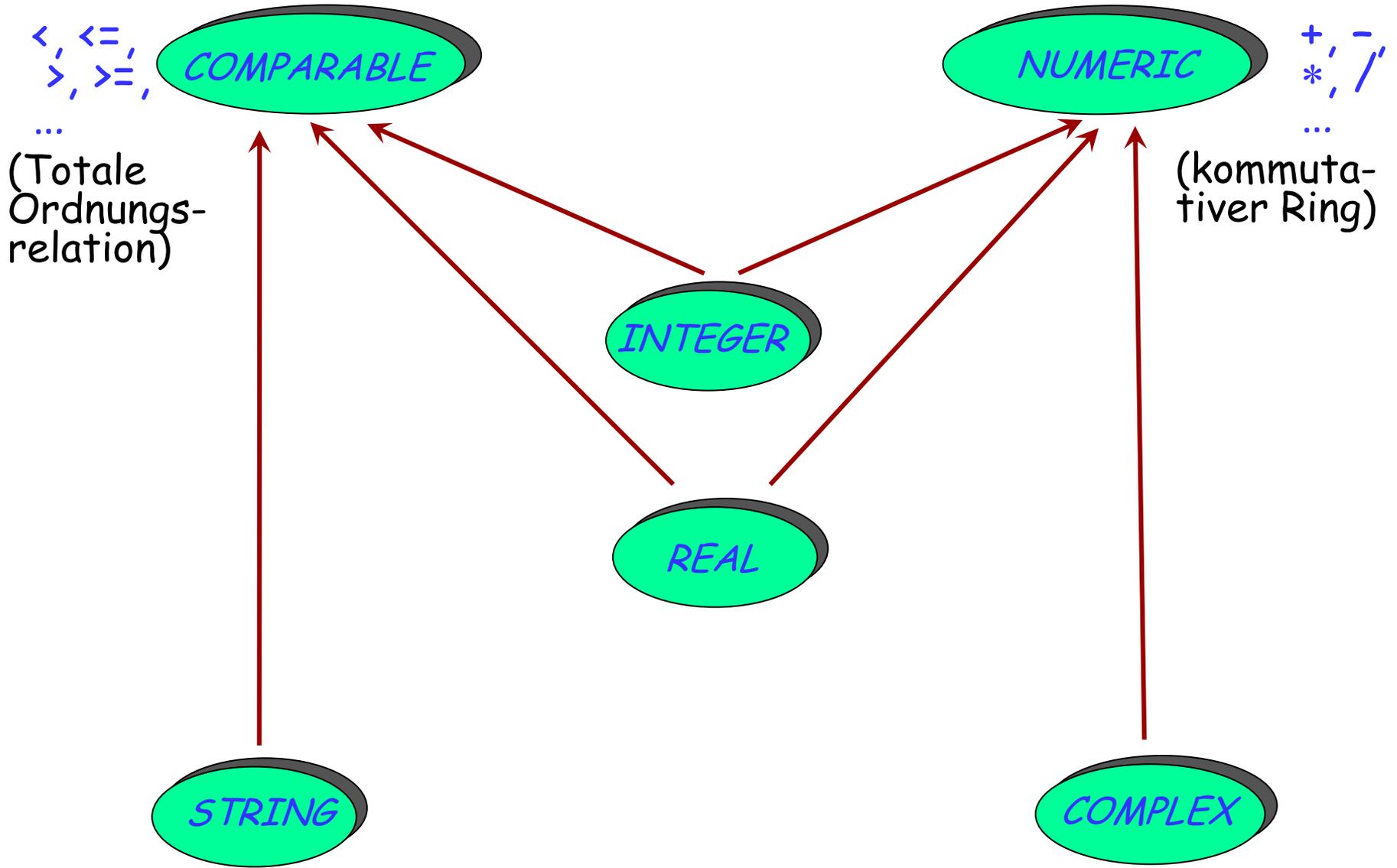
- Falls  $y$  an ein Objekt gebunden ist, dessen Typ konform zu  $A$  ist: Ausführung einer normalen Referenzzuweisung.
- Sonst: Mache  $x$  void.



Nur Einfachvererbung für Klassen  
Mehrfachvererbung von **Schnittstellen**.

Eine Schnittstelle entspricht einer vollständig aufgeschobenen Klasse, ohne Implementationen (**do** Klauseln) und Attributen (und auch ohne Verträge).

# Mehrfachvererbung: Abstraktionen kombinieren



# Wie schreiben wir *COMPARABLE*?



deferred class *COMPARABLE* feature

```
less alias "<" (x: COMPARABLE): BOOLEAN  
  deferred  
end
```

```
less_equal alias "<=" (x: COMPARABLE): BOOLEAN  
  do  
    Result := (Current < x or (Current = x))  
  end
```

```
greater alias ">" (x: COMPARABLE): BOOLEAN  
  do Result := (x < Current) end
```

```
greater_equal alias ">=" (x: COMPARABLE): BOOLEAN  
  do Result := (x <= Current) end
```

end



Schnittstellen sind „vollständig aufgeschoben“:

Nur aufgeschobene Features

Aufgeschobene Klassen können wirksame Features beinhalten, die auf aufgeschobene zugreifen, wie etwa im *COMPARABLE* Beispiel.

Flexibler Mechanismus, um Abstraktionen stufenweise zu implementieren.



Abstraktion

Systematik

Analyse und Entwurf auf einer hohen Ebene

...



```
class SCHEDULE feature  
    segments: LIST[SEGMENT]  
end
```

*Quelle: Object-Oriented Software  
Construction, 2<sup>nd</sup> edition, Prentice Hall*



**note**

*Beschreibung:*

*"24-Stunden TV Programm"*

**deferred class** *SCHEDULE* **feature**

*segments*: *LIST* [*SEGMENT*]

*-- Abfolgende Segmente.*

**deferred**

**end**

*air\_time*: *DATE*

*-- 24-Stunden-Periode*

*-- für dieses Programm.*

**deferred**

**end**

*set\_air\_time* (*t*: *DATE*)

*-- Zuweisung des Programms,*

*-- das zur Zeit t ausgestrahlt*

*-- wird.*

**require**

*t.in\_future*

**deferred**

**ensure**

*air\_time = t*

**end**

*print*

*-- Papierversion.*

**deferred**

**end**

**end**

## note

*Beschreibung: "Individuelle  
Fragmente eines Programms"*

```
deferred class SEGMENT feature
  schedule: SCHEDULE deferred
end
-- Programm, zu welchem das
-- Segment gehört.
index: INTEGER deferred end
-- Position des Segment
-- in seinem Programm.
starting_time, ending_time:
  INTEGER deferred end
-- Beginn und Ende der
-- geplanten Ausstrahlungszeit.
next: SEGMENT deferred end
-- Segment, das als nächstes
-- ausgestrahlt wird (falls vorh.).
```

```
sponsor: COMPANY deferred end
-- Hauptsponsor des Segmentes.
```

```
rating: INTEGER deferred end
-- Einstufung (geeignet für Kinder
-- etc.).
```

... Befehle wie  
*change\_next, set\_sponsor,*  
*set\_rating, omitted ...*

```
Minimum_duration: INTEGER = 30
-- Minimale Länge des Segmentes,
-- in Sekunden.
```

```
Maximum_interval: INTEGER = 2
-- Maximale Zeit zwischen zwei
-- aufeinanderfolgenden
-- Segmenten, in Sekunden.
```

## invariant

*in\_list: (1 <= index) and (index <= schedule.segments.count)*

*in\_schedule: schedule.segments.item(index) = Current*

*next\_in\_list: (next != Void) implies*

*(schedule.segments.item(index + 1) = next)*

*no\_next\_iff\_last: (next = Void) = (index = schedule.segments.count)*

*non\_negative\_rating: rating >= 0*

*positive\_times: (starting\_time > 0) and (ending\_time > 0)*

*sufficient\_duration:*

*ending\_time - starting\_time >= Minimum\_duration*

*decent\_interval :*

*(next.starting\_time) - ending\_time <= Maximum\_interval*

**end**

## note

Beschreibung:

„Werbeblock“

```
deferred class COMMERCIAL
```

```
inherit
```

```
SEGMENT
```

```
rename sponsor as advertizer end
```

## feature

```
primary: PROGRAM deferred
```

-- Programm, zu welchem die

-- Werbung gehört.

```
primary_index: INTEGER
```

```
deferred
```

-- Primärschlüssel

```
set_primary(p: PROGRAM)
```

-- Werbung zu p hinzufügen.

```
require
```

```
program_exists: p /= Void
```

```
same_schedule:
```

```
p.schedule = schedule
```

```
before:
```

```
p.starting_time <= starting_time
```

```
deferred
```

```
ensure
```

```
index_updated:
```

```
primary_index = p.index
```

```
primary_updated: primary = p
```

```
end
```



## **invariant**

meaningful\_primary\_index: *primary\_index = primary.index*

primary\_before: *primary.starting\_time <= starting\_time*

acceptable\_sponsor: *advertizer.compatible(primary.sponsor)*

acceptable\_rating: *rating <= primary.rating*

**end**

# Beispiel: Chemisches Kraftwerk



**deferred class**

*VAT*

**inherit**

*TANK*

**feature**

*in\_valve, out\_valve: VALVE*

*-- Fülle den Tank.*

**require**

*in\_valve.open*

*out\_valve.closed*

**deferred**

**ensure**

*in\_valve.closed*

*out\_valve.closed*

*is\_full*

**end**

*empty, is\_full, is\_empty, gauge, maximum, ... [Andere Features] ...*

**invariant**

*is\_full = (gauge >= 0.97 \* maximum) and (gauge <= 1.03 \* maximum)*

**end**



Problem: Was passiert bei Vererbung mit

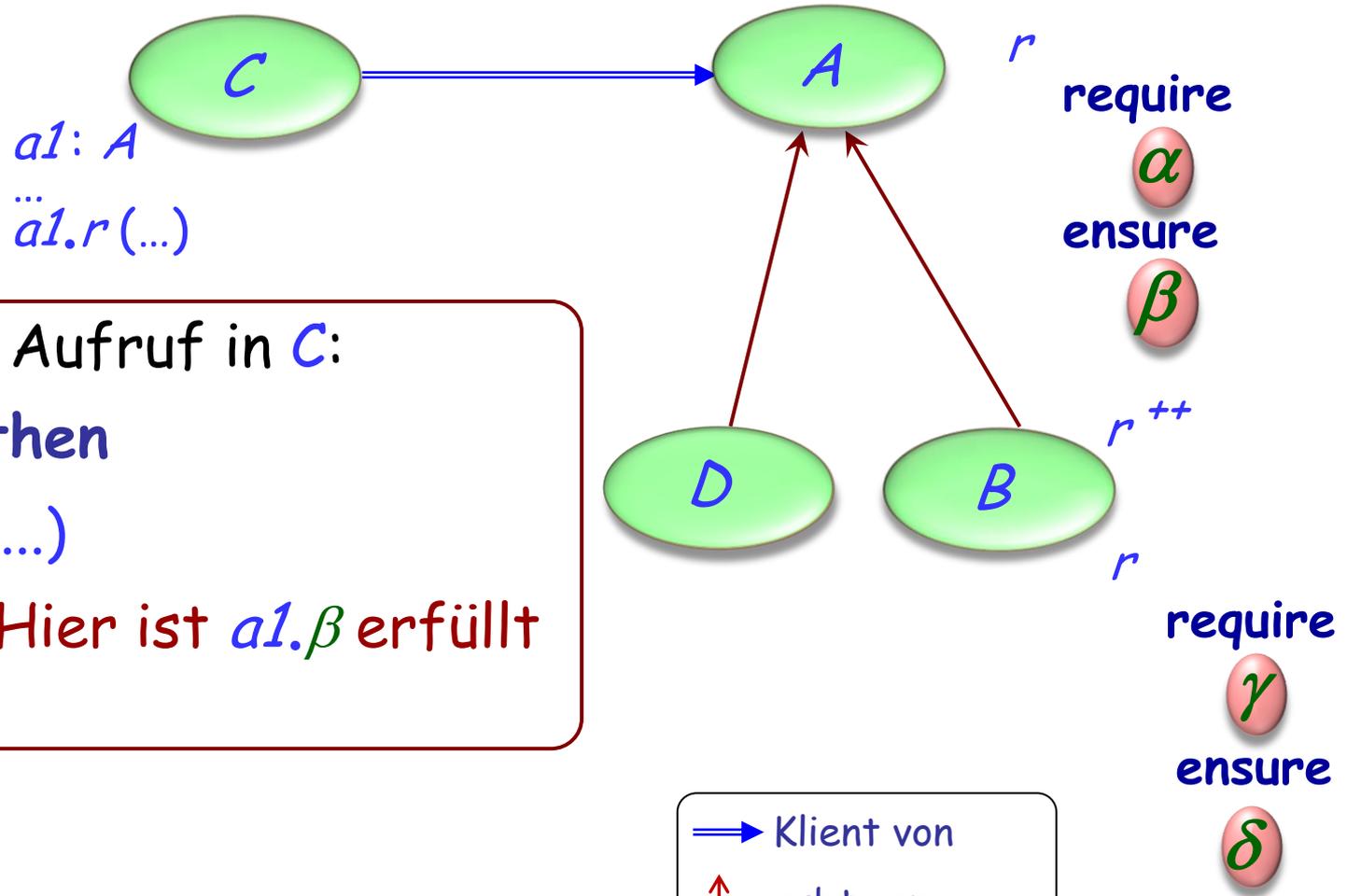
- Klasseninvarianten?
- Vor- und Nachbedingungen von Routinen?



## Vererbungsregel für Invarianten:

- Die Invariante einer Klasse beinhaltet automatisch die Invarianten von allen Vorfahren, ver"und"et.

Die kumulierten Invarianten sind in der flachen- und Schnittstellen-Ansicht in Eiffelstudio ersichtlich.



```
Korrektter Aufruf in C:  
if  $a1.\alpha$  then  
   $a1.r(\dots)$   
  -- Hier ist  $a1.\beta$  erfüllt  
end
```





Wenn eine Routine neu deklariert wird, darf man nur:

- Die Vorbedingung beibehalten oder schwächen
- Die Nachbedingung beibehalten oder stärken

# Neudeklarierungsregel für Zusicherungen in Eiffel

---

Eine simple Sprachregel genügt!

Redefinierte Versionen dürfen keine Vertragsklausel haben  
(Dann bleiben die Zusicherungen gleich) oder

*require else new\_pre*  
*ensure then new\_post*

Die resultierenden Zusicherungen sind:

- *original\_precondition or new\_pre*
- *original\_postcondition and new\_post*



Aufgeschobene Klassen in ihre Rolle in Softwareanalyse und -entwurf.

Verträge und Vererbung

Den „tatsächlichen“ Typen eines Objektes herausfinden