

Betriebssystemtechnik

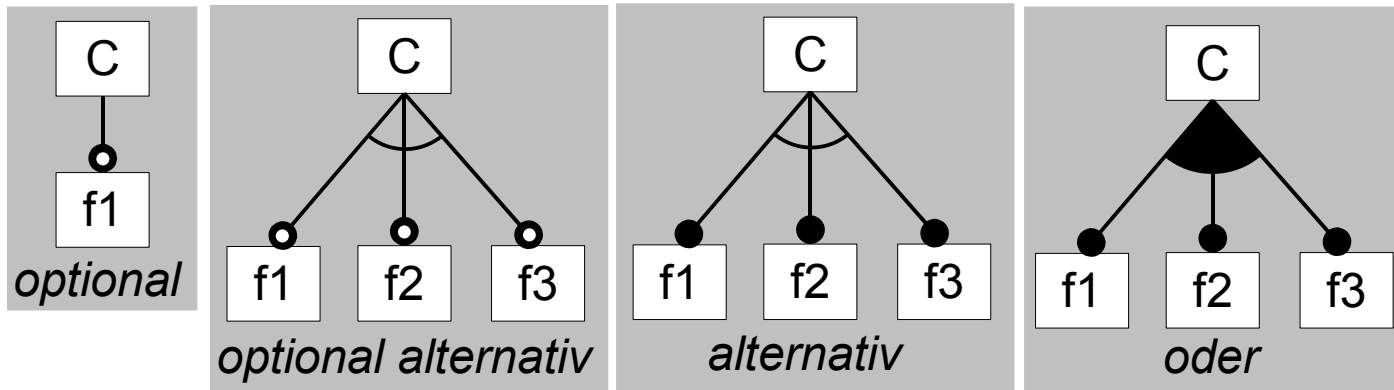
Operating System Engineering (OSE)

**Trennung der Belange
mittels
OO oder AO Entwurf**



Umsetzung von Variabilität

... in wiederverwendbaren Plattformkomponenten auf Basis von objekt- und aspektorientierten Sprachmitteln (OO und AO).



OO oder AO
Technik?

Bedingung: **Trennung der Belange**

Komponenten

Minimierung:
Ressourcenverbrauch



Was macht Objektorientierung aus?

Klassifizierung nach P. Wegner [1]:

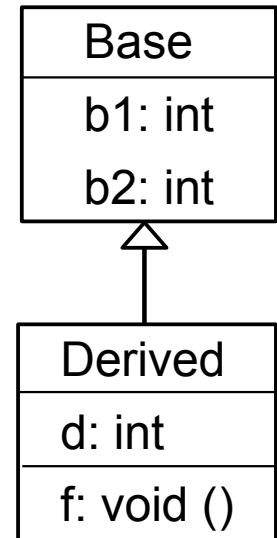
object-oriented = *data abstraction*
+ *abstract data types*
+ *type inheritance*

- wesentliches Alleinstellungsmerkmal: **Vererbung**
- **im Fall von C++** sind zu untersuchen:
 - einfach/mehrfach Vererbung
 - virtuelles Vererben
 - dynamisches Binden



(Einfach-)Vererbung

- eine **abgeleitete Klasse** erbt von einer **Basisklasse**
 - geerbt werden Attribute, Methoden, ...
- statt einer Instanz der Basisklasse kann immer auch eine Instanz der abgeleiteten Klasse verwendet werden
 - gilt nicht umgekehrt!
 - möglichst kompatibles Objekt-*Layout*
 - Liskov'sches Substitutionsprinzip [2]
- Methoden können hinzugefügt oder überdefiniert werden

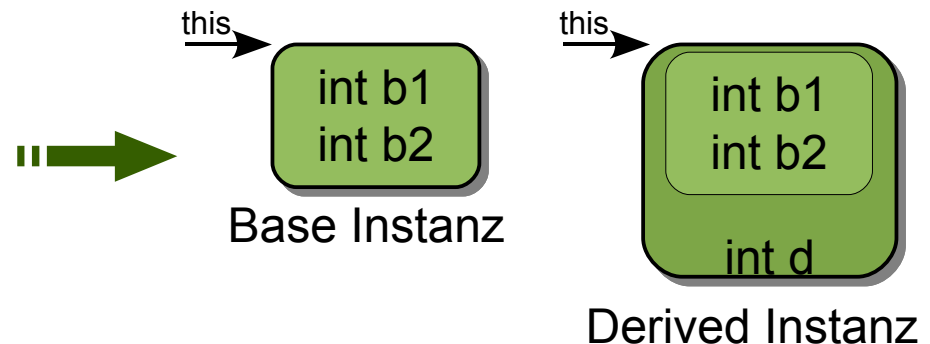


(Einfach-)Vererbung – Ressourcen (1)

C++ Code der Klassen

```
struct Base {  
    int b1, b2;  
};  
  
struct Derived : Base {  
    int d;  
    void f ();  
};
```

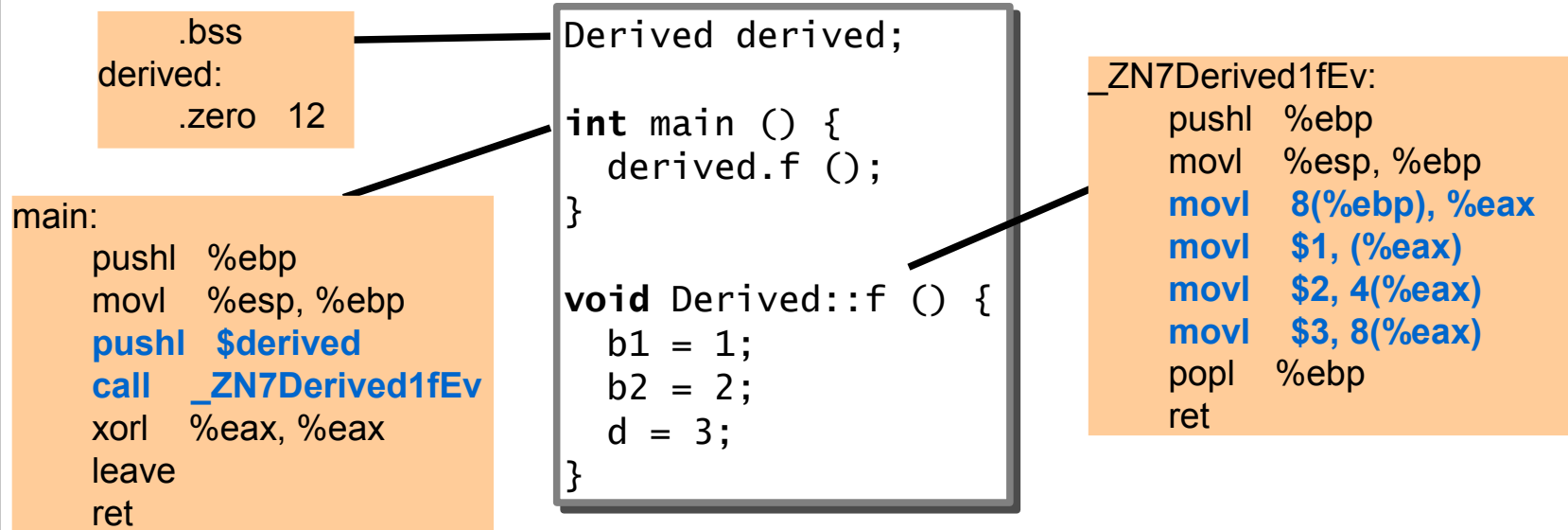
Objekt-Layout [3]



- die Attribute der Basisklasse liegen im Speicher am Anfang des Objekts
- keine Zeigeranpassung bei Typumwandlung von `Base*` in `Derived*` oder `Derived*` in `Base*` nötig



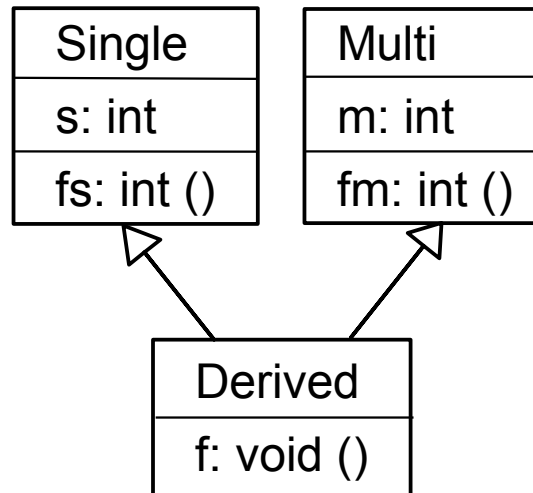
(Einfach-)Vererbung – Ressourcen (2)



- Methoden erhalten den *this*-Pointer als unsichtbaren ersten Parameter
- Zugriff auf eigene Attribute und Basisklassenattribute kosten gleich viel.
- Kein *Overhead* durch (Einfach-)Vererbung.



Mehrfachvererbung



- eine abgeleitete Klasse erbt von **mehreren Basisklassen**
 - eine auf dem „Einfachvererbungspfad“
 - 1-N auf dem „Mehrfachvererbungspfad“
- Vererbungshierarchie ist keine Baumstruktur mehr
- mehrfaches Erben von der selben Klasse möglich!



Mehrfachvererbung – Ressourcen (1)

C++ Code der Klassen

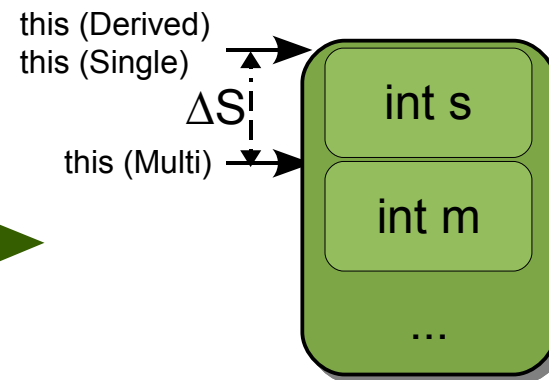
```
struct Single {
    int s;
    int fs();
};

struct Multi {
    int m;
    int fm();
};

struct Derived :
    Single, Multi /*, ...*/ {
    int f ();
};
```



Objekt-Layout [3]



Derived Instanz

- die Attribute der Basisklassen liegen nacheinander im Speicher am Anfang des Objekts
- bei der Typumwandlung von `Derived*` in einen Zeiger auf eine Klasse im Mehrfachvererbungspfad muss ein *Offset* addiert werden



Mehrfachvererbung – Ressourcen (2)

```
void Derived::f () {  
    fs ();  
    fm ();  
}
```

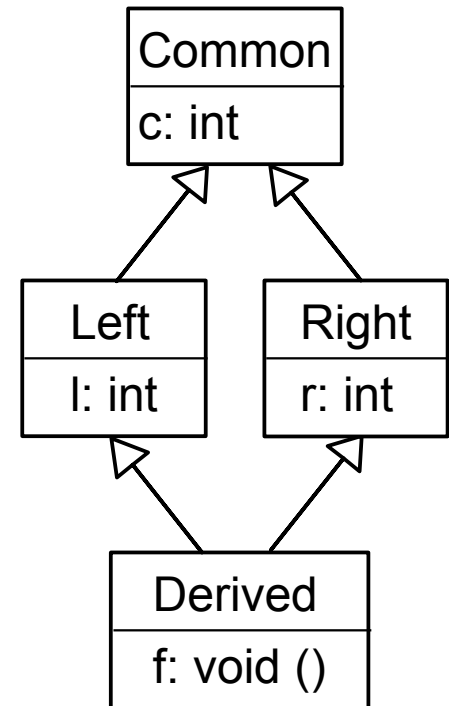
```
_ZN7Derived1fEv:  
    pushl   %ebp  
    movl   %esp, %ebp  
    pushl   %ebx  
    movl   8(%ebp), %ebx  
    pushl   %ebx  
    call   _ZN6Single2fsEv  
    addl   $4, %ebx  
    pushl   %ebx  
    call   _ZN5Multi2fmEv  
    popl   %eax  
    movl   -4(%ebp), %ebx  
    popl   %edx  
    leave  
    ret
```

- Beim Aufruf einer Methode der Klasse im Einfachvererbungspfad kann der *this*-Pointer einfach durchgereicht werden
- Beim Zugriff auf `Multi` muss *this* angepasst werden (+ 4)
- Bei *inline*-Methoden tritt das Problem nicht auf
- Geringer *Overhead* bei Mehrfachvererbung



Virtuelle Vererbung

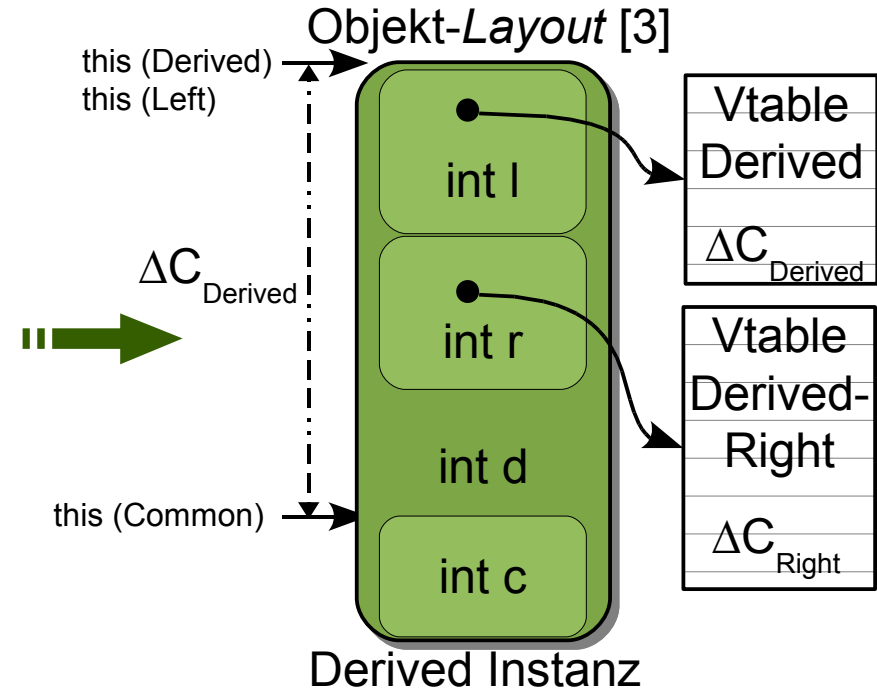
- durch virtuelle Vererbung wird vermieden, dass eine mehrfach geerbte Basis mehr als einmal instanziiert wird.
- Speicherplatz im Objekt wird eingespart
- Mehrdeutigkeiten bei der Namensauflösung werden vermieden
- Wo werden die Instanzen der virtuellen Basisklasse Common abgelegt?



Virtuelle Vererbung – Ressourcen (1)

C++ Code der Klassen

```
struct Common { int c; };  
  
struct Left : virtual Common {  
    int l;  
};  
  
struct Right : virtual Common {  
    int r;  
};  
  
struct Derived : Left, Right {  
    int d;  
    void f ();  
};
```



- die Attribute virtueller Basisklassen liegen am Ende
- der Objekttyp-spezifische *Offset* macht die Typkonvertierung kompliziert
 - (mindestens) eine virtuelle Funktionstabelle wird benötigt!



Virtuelle Vererbung – Ressourcen (2)

```
void Derived::f () {  
    c = 1;  
    l = 2;  
    r = 3;  
    d = 4;  
}
```

```
_ZN7Derived1fEv:  
    pushl   %ebp  
    movl   %esp, %ebp  
    movl   8(%ebp), %eax  
    movl   (%eax), %edx  
    movl   -12(%edx), %edx  
    movl   $1, (%edx,%eax)  
    movl   $2, 4(%eax)  
    movl   $3, 12(%eax)  
    movl   $4, 16(%eax)  
    popl   %ebp  
    ret
```

- Der Zugriff auf ein Attribut einer virtuellen Basisklasse ist erheblich komplizierter
- Dazu kommen noch (in diesem Beispiel):
 - 90 Byte für Tabellen
 - Konstruktor-Code zum Initialisieren der Vtable Zeiger
- Deutlicher *Overhead* bei virtueller Vererbung!
 - insbesondere, wenn die beteiligten Klassen sonst keine Vtable benötigen würden



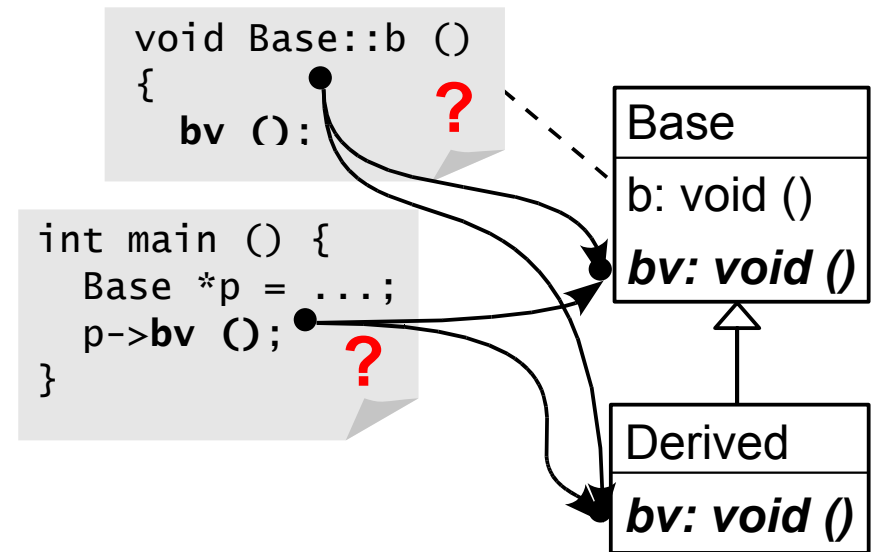
Dynamisches Binden

- dynamisches Binden erfolgt bei **virtuellen Funktionen**

- C++ Schlüsselwort **virtual**

- die Zielfunktion eines Aufrufs wird dabei zur Laufzeit ermittelt

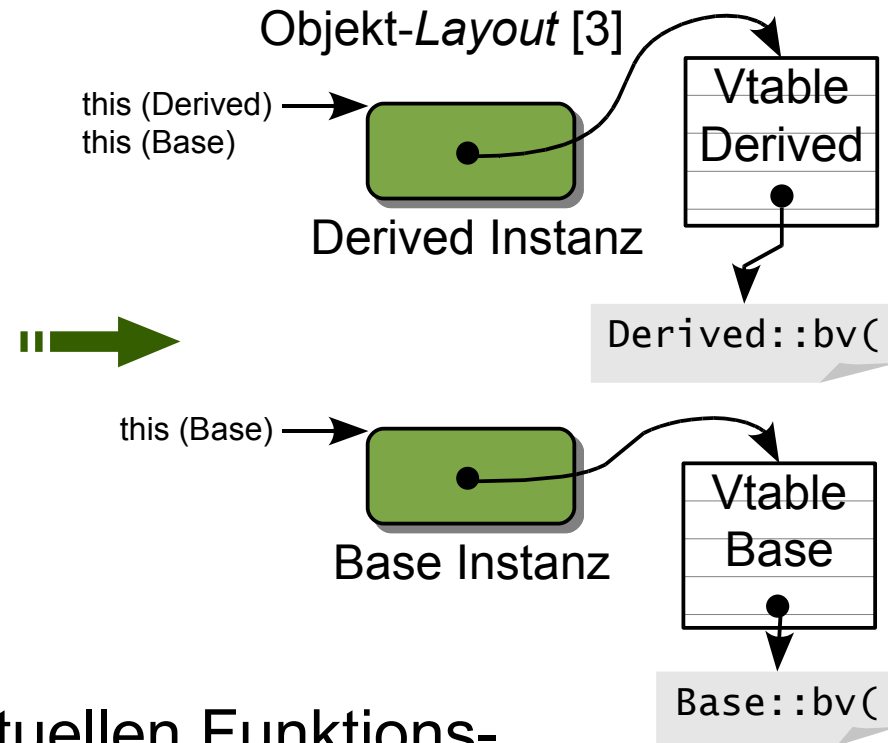
- wäre `bv()` nicht virtuell, würde in den Beispielen immer `Base::bv()` ausgeführt werden
- ob `Base::bv()` oder `Derived::bv()` ausgeführt wird, hängt vom Objekttyp (nicht vom Zeigertyp) ab
- da `Base::b()` sowohl auf `Base` als auch `Derived` Objekten ausgeführt werden kann, muss der Objekttyp ermittelt werden
- da nicht immer zur Übersetzungszeit bestimmt werden kann, worauf `p` in `main()` zeigt, muss auch hier der Typ ermittelt werden



Dynamisches Binden – Ressourcen (1)

C++ Code der Klassen

```
struct Base {  
    void b ();  
    virtual void bv () {}  
};  
  
struct Derived : Base {  
    void bv () {} // virtuell  
};
```



- die klassenspezifischen virtuellen Funktionstabellen enthalten Zeiger auf den passenden Code
- der Konstruktor muss den Vtable Zeiger eintragen!
 - ggf. sogar mehrfach überschreiben!



Dynamisches Binden – Ressourcen (2)

```
int main () {  
    Base *p = new Derived;  
    p->bv();  
}
```

```
void Base::b () {  
    bv ();  
}
```

```
_ZN4Base1bEv:  
    pushl   %ebp  
    movl   %esp, %ebp  
    movl   8(%ebp), %eax  
    movl   (%eax), %edx  
    pushl   %eax  
    call  *(%edx)  
    popl   %eax  
    leave  
    ret
```

```
main:  
    pushl   %ebp  
    movl   %esp, %ebp  
    pushl   $4  
    call   _Znwj  
    movl   $_ZTV7Derived+8, (%eax)  
    movl   %eax, (%esp)  
    call  *_ZTV7Derived+8  
    xorl   %eax, %eax  
    leave  
    ret
```

```
_ZN4Base2bvEv:  
    pushl   %ebp  
    movl   %esp, %ebp  
    popl   %ebp  
    ret
```

- Virtuelle Funktionsaufrufe wie in `Base::b()` und `main()` bedingen eine Indirektion
 - kein *Inlining* solcher Aufrufe möglich!
 - selbst leere virtuelle Funktionen müssen angelegt werden
- Dynamisches Binden kostet deutlich mehr als statisches!



OO Techniken - Zusammenfassung

- Einfachvererbung
 - praktisch keine zusätzlichen Kosten
- Mehrfachvererbung
 - Zeigerkonvertierung Mehrfachvererbungspfad, geringer Aufwand
- Virtuelle Vererbung
 - Vtable Speicher, Objektinitialisierung, indirekter Zugriff, **Aufwand!**
- Dynamisches Binden
 - Vtable Speicher, Objektinitialisierung, indirekter Aufruf, **Aufwand!**
- Faustregel: In ressourcenbeschränkten Domänen das virtual Schlüsselwort nur verwenden, wenn es wirklich nötig ist



Was macht Aspektorientierung aus?

„*Aspect-Oriented Programming is Quantification and Obliviousness*“

R.E. Filman and D.P. Friedman

[4]

- Quantification
 - ein **Aspekt** wirkt auf **viele Komponenten**
- Obliviousness
 - die Komponenten müssen für die Einwirkung durch Aspekte nicht vorbereitet werden (umstritten!)
- Mit welchen Mitteln wirken Aspekte auf Komponenten?
 - Einfügungen (*Introductions*)
 - *Advice* für Laufzeitereignisse, z.B. Funktionsaufrufe, Konstruktion, ...
- Was kosten Aspekte im Hinblick auf Ressourcen?



Einfügungen

AspectC++ Code

```
class C {  
};  
  
aspect A {  
  advice "C" : slice class {  
    int c;  
  public:  
    int get_c () {  
      return c;  
    }  
  };  
};
```

C++ Code (ag++ --keep_acc --no_line)

```
class C {  
  friend class ::A;  
  
private:  
  int c;  
private:  
  
public:  
  int get_c () {  
    return c;  
  }  
private:  
};
```

- in AspectC++ beschreibt ein *Pointcut*-Ausdruck die Menge der Zielklassen einer Einfügung
 - Achtung: sehr leicht sind viele Klassen und Objekte betroffen
- der Ressourcenverbrauch entspricht dem der „Handimplementierung“



Advice für Laufzeitergebnisse

AspectC++ Code

```
#include <stdio.h>

aspect A {
  advice call("% f()") : before() {
    puts ("calling f()");
  }
};

void f ();
void g () { f (); }
```

```
_Z1gv:
  pushl  %ebp
  movl   %esp, %ebp
  subl   $20, %esp
  pushl  $.LC0
  call   puts
  addl   $16, %esp
  leave
  jmp    _Z1fv
```

- einfacher *Advice-Code* führt bei ac++ zu *Inlining*
 - Voraussetzung: Aktivierung der Optimierung beim C++ *Compiler*
- *Advice-Code* wird i.d.R. wie eine *Inline-Funktion* übersetzt
 - Risiko der *Code-Duplikation*
- der *Ressourcenverbrauch* ist normalerweise dicht an dem der *Handimplementierung*



AO Techniken - Zusammenfassung

- Einfügungen
 - kein *Overhead*, entspricht der Handimplementierung
- Advice für Laufzeitereignisse
 - durch *Inlining* i.d.R. kein *Overhead*
 - nur wenige *Pointcut*-Funktionen erfordern Laufzeitüberprüfungen: *that*, *target*, *cflow*
- Vorsicht bei „*Match*-Ausdrücken“ ist geboten, um zu viele Einfügungen und zu viel Advice zu vermeiden
- *Advice-Code* sollte bei mehr als einem „*Match*“ nicht zu groß sein, um *Code-Duplikation* zu vermeiden
 - Verlagern des Codes in *non-inline Member* Funktionen des Aspekts



Bewertung

Ziel: Entwurf mit geringstem Ressourcenverbrauch finden

Dimensionen:

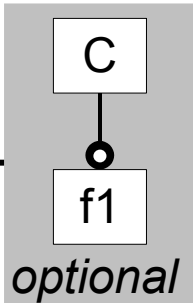
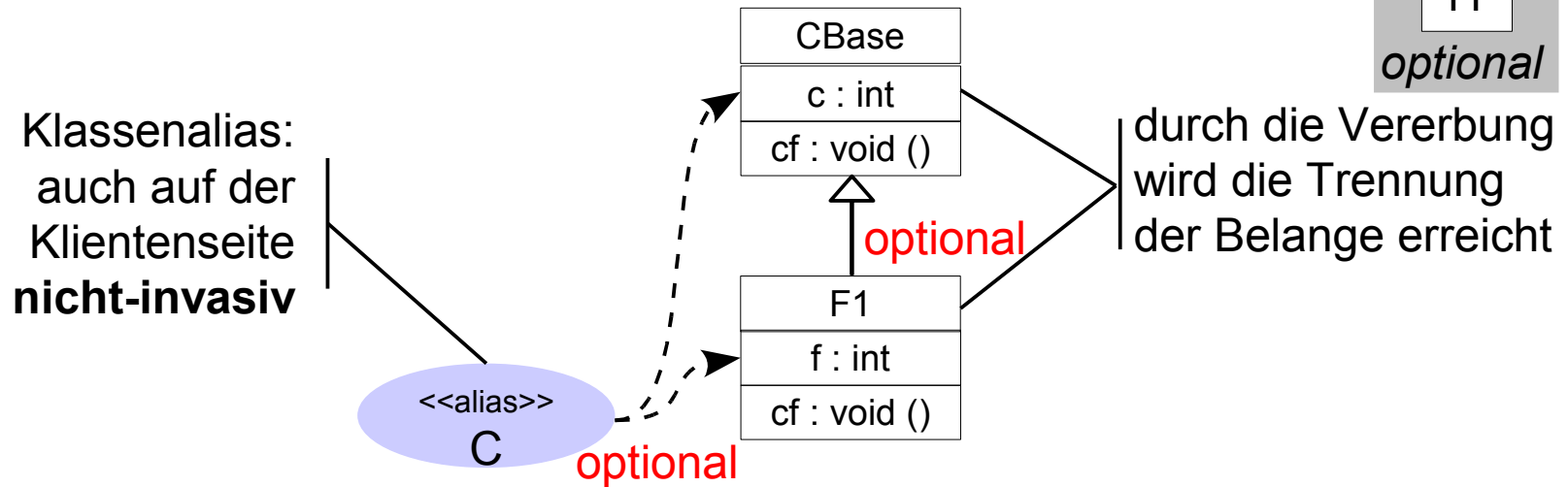
- **Art der Variabilität**
(hier Beschränkung auf Variabilität entsprechend der Merkmaldiagramme)
 - optional, [optional] alternativ, oder
- **Bindungszeitpunkt**
(prinzipiell domänenspezifisch, hier Beschränkung auf ...)
 - Übersetzung/Konfigurierung des Systems (*compile time*)
 - beliebig zur Laufzeit (*runtime*)

3 x 2 Vergleiche von OO und AO Entwurf

- **Bewertung:** (Kosten/Sonstige Eigenschaften) je +, 0, -



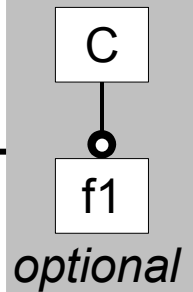
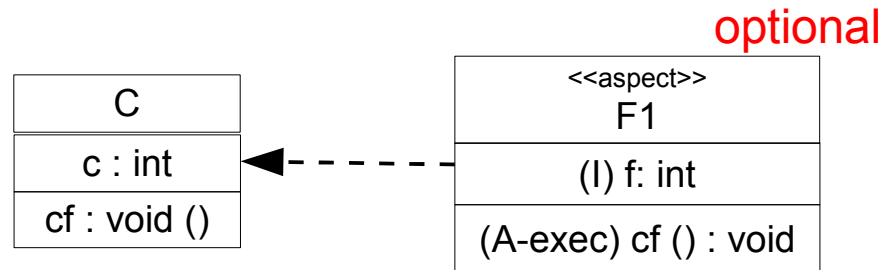
Optional/compile time - OO



- keine besonderen Kosten durch die Einfachvererbung
- Klassenalias für klientenseitige Transparenz nötig
- wenn Aufrufe von cf() in CBase auch F1::cf() erreichen sollen, muss cf() virtuell sein!



Optional/compile time - AO

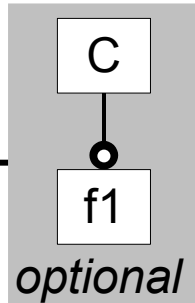
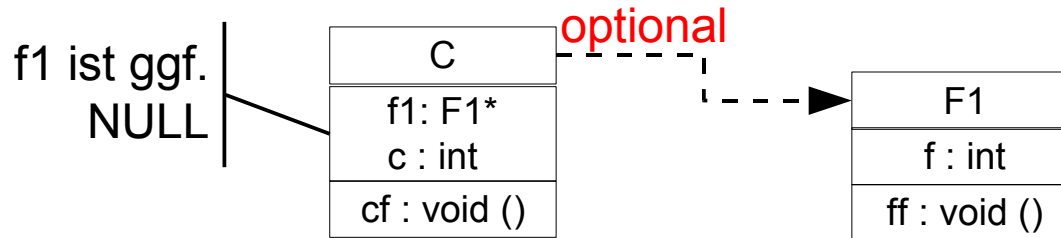


- Aspekt statt optionaler abgeleiteter Klasse
- kein Klassenalias nötig
- kein Overhead
- keine virtuellen Funktionen
- beliebig viele solcher optionalen Erweiterungen können koexistieren (siehe oder-Merkmale ...)

(+ / +)



Optional/run time - OO

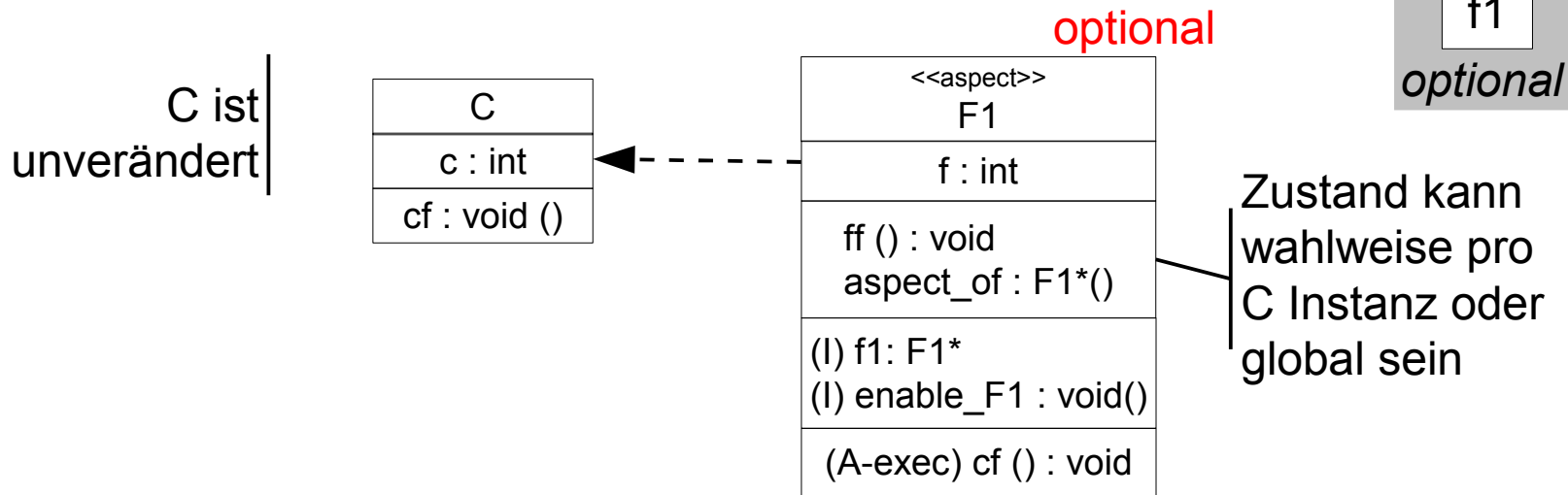


- F1 und C sind getrennt, der Aufruf erfolgt aber explizit
 - ein querschneidender Belang, Positionen hängen von F1 ab
 - wird bei vielen optionalen Merkmalen unübersichtlich
- bei jedem Aufruf muss geprüft werden ob $f1 \neq 0$ ist
 - Alternative: siehe optionale alternative Merkmale
- der Klient muss die F1 Instanzen selbst verwalten
- keine virtuellen Funktionen nötig

(+ / -)



Optional/run time - AO



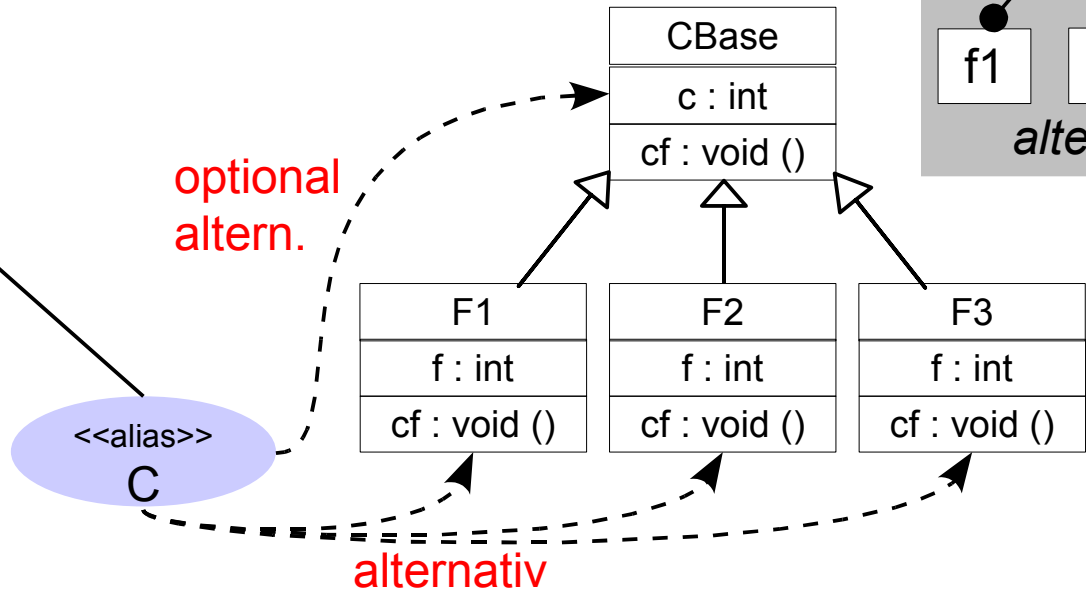
- F1 und C sind getrennt, auch die Aktivierung von F1
 - nur möglich, wenn die Aktivierungspunkte in der Aspektsprache beschreibbar sind
- die Prüfung, ob $f1 \neq 0$ ist, erfolgt im *Advice*
- der Klient muss keine F1 Instanzen verwalten
- Ressourcenbedarf entspricht der OO-Lösung

(+ / 0)



Alternativ/compile time - OO

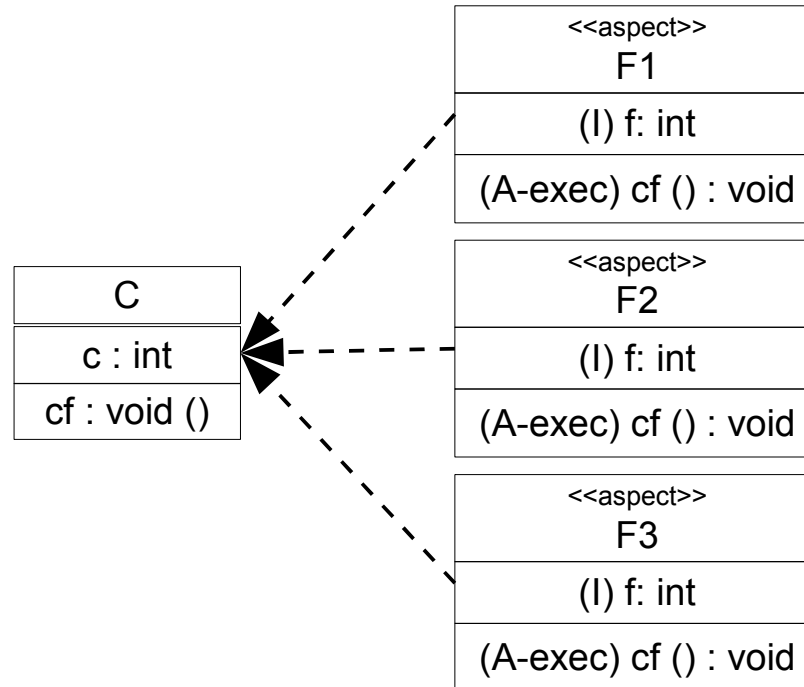
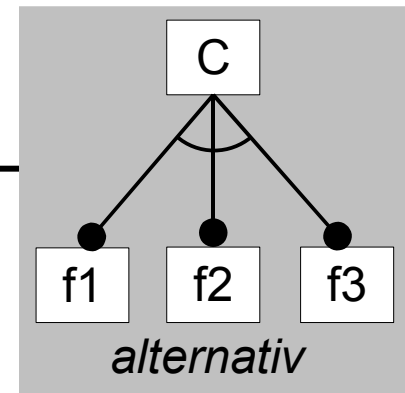
Klassenalias:
auch auf der
Klientenseite
nicht-invasiv



- keine besonderen Kosten durch die Einfachvererbung
- Klassenalias für klientenseitige Transparenz nötig
- wenn Aufrufe von `cf()` in **CBase** auch `F1::cf()` erreichen sollen, muss `cf()` virtuell sein!



Alternativ/compile time - AO



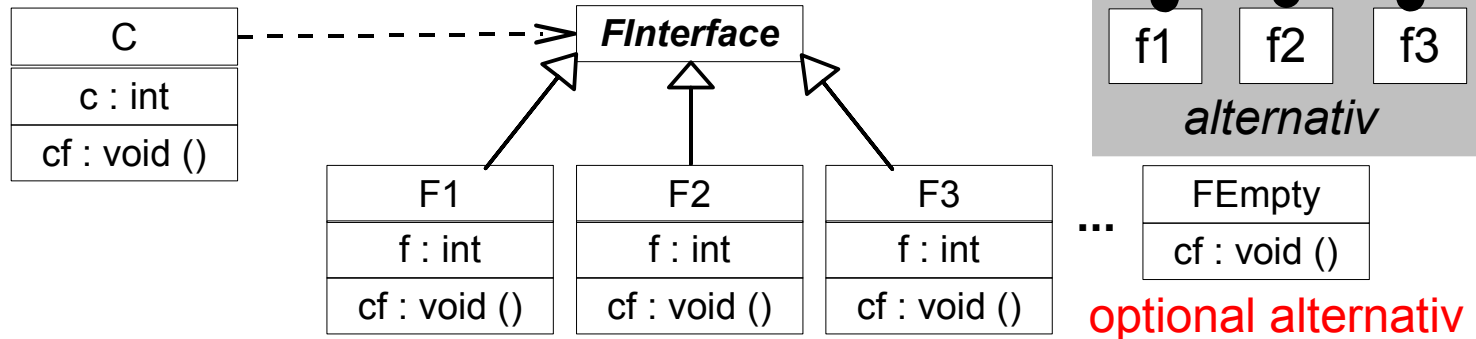
Auswahl von 0 bzw.
1 aus N Aspekten

- Entspricht der Implementierung optionaler Merkmale
- die Einschränkung auf 0 bzw. 1 aus N Aspekten sollte das Konfigurierungswerkzeug erledigen
- kein nennenswerter Ressourcenverbrauch

(+ / +)



Alternativ/run time - OO

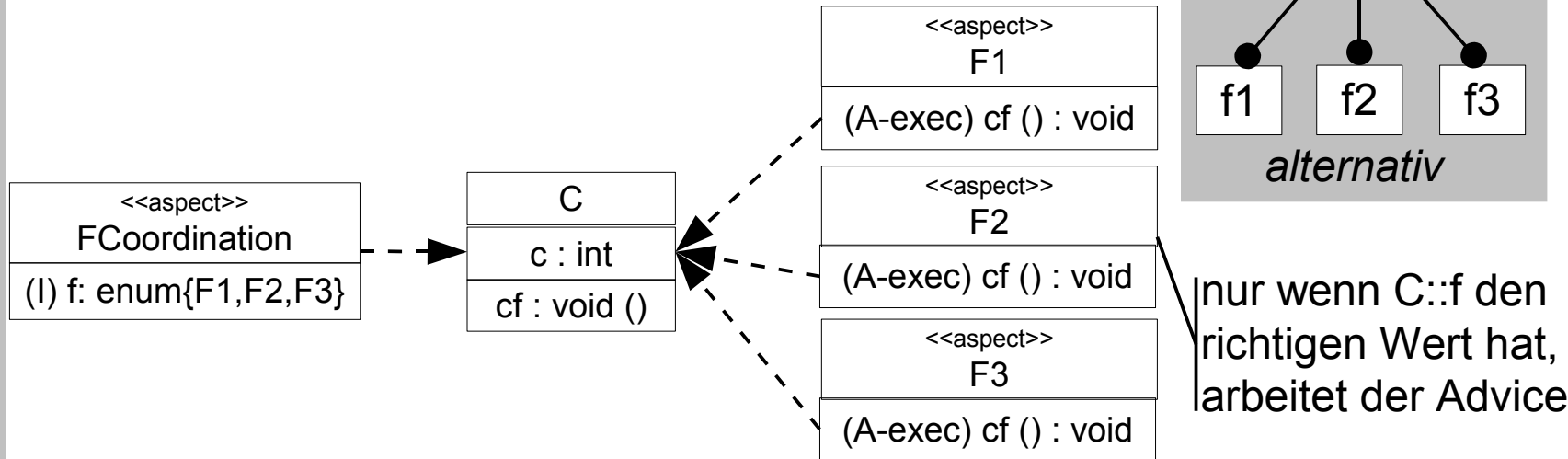


- durch die abstrakte Schnittstelle kann man zur Laufzeit die Bindung von einem C zu einem Fx Objekt umsetzen
 - Struktur entspricht dem *Strategy Design Pattern*
- die Aufrufe in C erfolgen explizit (nicht bedingt)
 - für den Zugriff auf den Zustand von C muss eine Referenz mitgegeben werden
- der Klient muss die Fx Objekte selbst verwalten
- jede Methode in Finterface ist virtuell!

(- / 0)

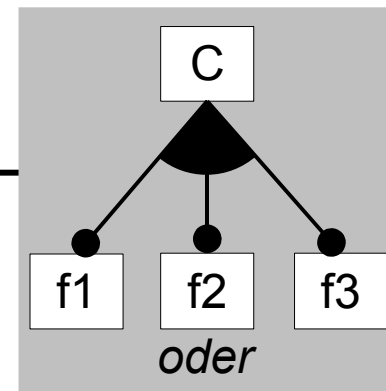
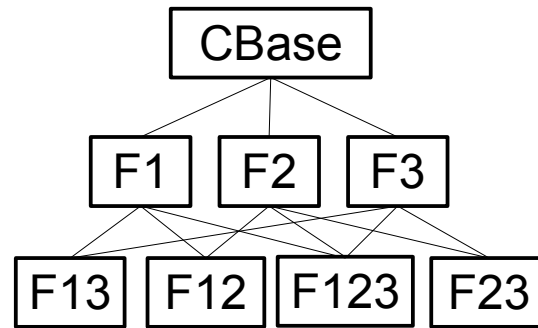
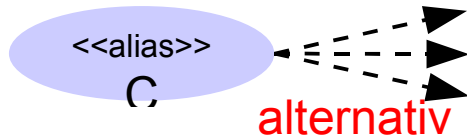


Alternativ/run time - AO



- für N Alternativen sind pro *Join Point* N Abfragen nötig
 - keine virtuelle Funktion, aber auch teuer!
- geeignet, wenn F1 bis FN keine gemeinsame Schnittstelle haben
- Alternativ kann mit einem Aspekt auch das *Strategy Pattern* gewebt werden

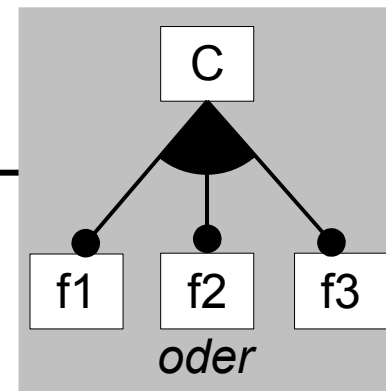
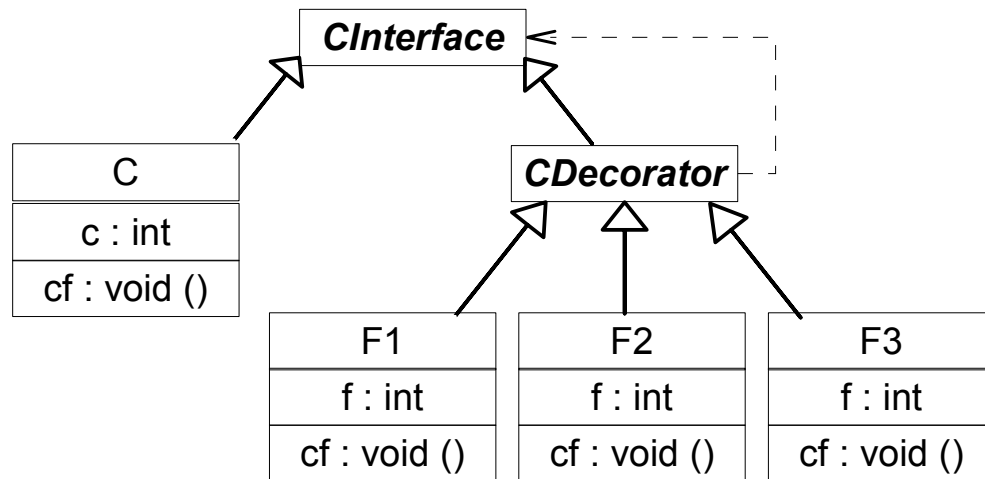
Oder/compile time – OO u. AO



- die Vielzahl an Kombinationen führt schnell zu einer „Explosion“ der Klassenhierarchie
- ohne teure virtuelle Vererbung wären noch mehr Klassen oder *Code-Duplikation* nötig (- / -)
- die AO Lösung besteht in der N-fachen und beliebig kombinierten Anwendung der Lösung für optionale Merkmale. Besser! (+ / +)



Oder/run time – OO u. AO



- durch die Anwendung des *Decorator Design Patterns* kann man flexible Objektketten erstellen
 - selbst zur Laufzeit änderbar
- alle von CInterface geerbten Methoden sind virtuell!
- mehr Flexibilität als nötig
 - kein Schutz vor dem mehrfachen Einhängen
- die AO Lösung besteht in der N-fachen Anwendung der Lösung für Optional/run time AO.

(- / 0)

(0 / +)



OO vs. AO Techniken - Vergleich

		optional	alternativ	oder
<i>compile time</i>	OO	(0 / -)	(0 / -)	(- / -)
	AO	(+ / +)	(+ / +)	(+ / +)
<i>run time</i>	OO	(+ / -)	(- / 0)	(- / 0)
	AO	(+ / 0)	(- / 0)	(0 / +)

- die AO Lösungen sind besonders bei der Konfigurierung zur Übersetzungszeit stark
- insgesamt gibt es bei den AO Lösungen viel weniger unterschiedliche Entwürfe
- im Zweifelsfall kann zur Entscheidung beitragen:
 - sind gemeinsame Schnittstellen vorhanden?
 - lassen sich die Aktivierungspunkte in der Aspektsprache beschreiben?



Literatur

- [1] P. Wegner. *Classification in Object-Oriented Systems*, ACM, SIGPLAN Notices, 21(10):173-182, 1986.
- [2] B. Liskov. *Data Abstraction and Hierarchy*, ACM, SIGPLAN Notices, 23(5), 1988.
- [3] *C++ ABI Summary*,
<http://www.codesourcery.com/cxx-abi>
- [4] R.E. Filman and D.P. Friedman. *Aspect-Oriented Programming is Quantification and Obliviousness*, Workshop on Advanced Separation of Concerns, OOPSLA 2000, Minneapolis, Oct. 2000.

