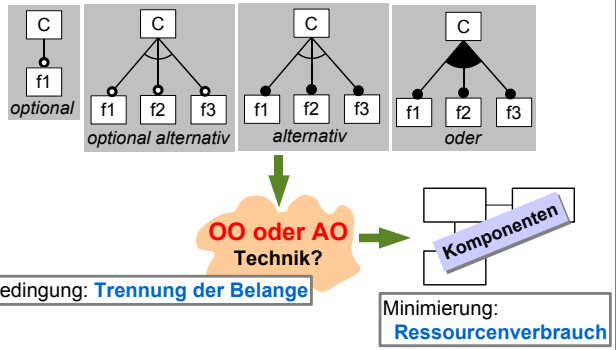
Betriebssystemtechnik

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).



Was macht Objektorientierung aus?

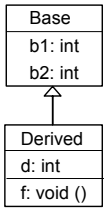
Klassifizierung nach P. Wegner [1]:

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 hingefügt oder überdefiniert werden

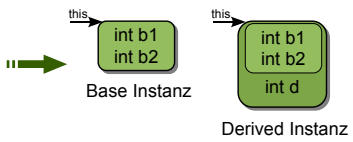


(Einfach-)Vererbung – Ressourcen (1)

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)

```
.bss
derived:
.zero 12
```

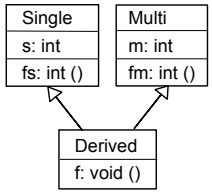
```
Derived derived;

int main () {
  derived.f ();
}

void Derived::f () {
  b1 = 1;
  b2 = 2;
  d = 3;
}
```

```
main:
pushl %ebp
movl %esp, %ebp
pushl $derived
call _ZN7Derived1fEv
xorl %eax, %eax
leave
ret
```

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

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

Mehrfachvererbung



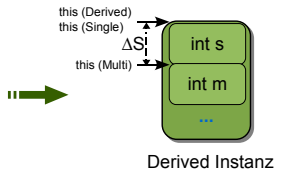
- eine abgeleitete Klasse erbt von **mehreren Basisklassen**
  - eine auf dem „Einfachvererbungspfad
  - 1-N auf dem „Mehrvererbungspfad“
- Vererbungshierarchie ist keine Baumstruktur mehr
- mehrfaches Erben von der selben Klasse möglich!

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]



- 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)

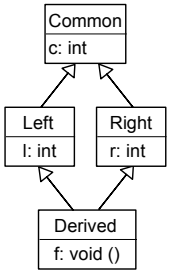
```
void Derived::f () {
    fs ();
    fm ();
}
```

```
_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 Einfach-vererbungspfad 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 Namens-auflösung werden vermieden

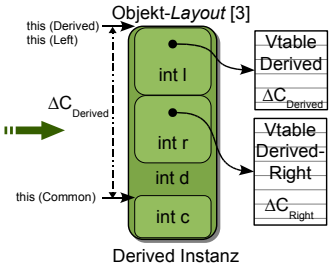


- Wo werden die Instanzen der virtuellen Basisklasse Common abgelegt?

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)

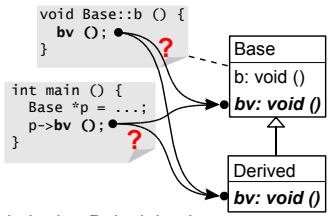
```
void Derived::f () {
  c = 1;
  l = 2;
  r = 3;
  d = 4;
}
```

```
_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!
  - inbesondere, 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

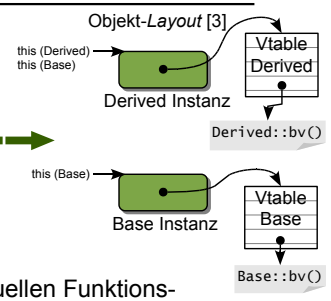


  - wäre `bv()` nicht virtuell, würde in den Beispielen immer `Base::bv()` ausgeführt werden
  - ob `Base::bv()` oder `Derived::bv()` ausgeführt wird, hängt vom Objekttyp (nicht vom Zeigertyp) ab
  - da `Base::b()` sowohl auf `Base` als auch `Derived` Objekten ausgeführt werden kann, muss der Objekttyp 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 Funktions-tabellen 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**“* [4]
>
> R.E. Filman and D.P. Friedman

- 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" : int c;
public:
  advice "C" : 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 Laufzeitereignisse

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*
  - zur Zeit kein *inlining* mit ac++ bei *around-Advice*
- 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

Bewertung

Ziel: Entwurf mit geringstem Ressourcenverbrauch finden

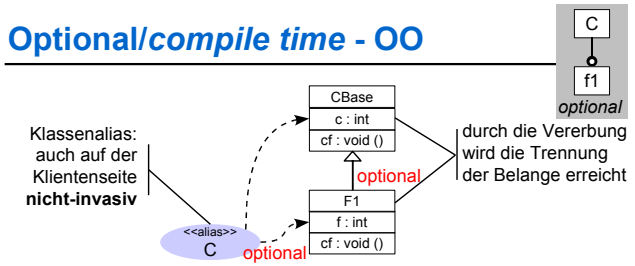
Dimensionen:

- 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, -

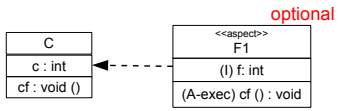
Optional/*compile time* - OO



- 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!

(0 / -)

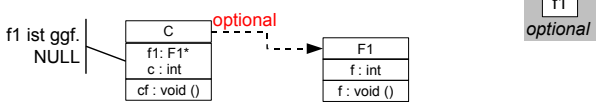
Optional/*compile time* - AO



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

(+ / +)

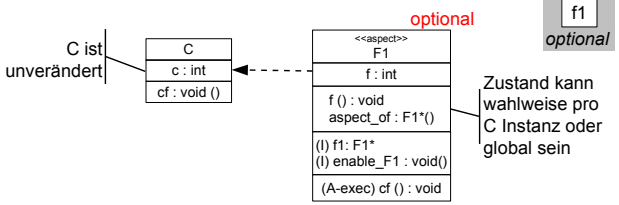
Optional/*run time* - OO

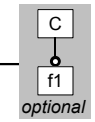


- F1 und C sind getrennt, der Aufruf erfolgt aber explizit
  - ein quer schneidender Belang, Positionen hängen von F1 ab
  - wird bei vielen optionalen Merkmalen unübersichtlich
- bei jedem Aufruf muss geprüft werden ob f1 != 0 ist
  - Alternative: siehe optionale alternative Merkmale
- der Klient muss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

(+ / -)

Optional/*run time* - AO

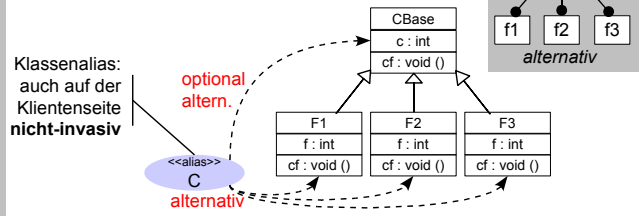


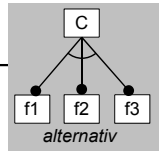


- F1 und C sind getrennt, auch die Aktivierung von F1
  - nur möglich, wenn die Aktivierungspunkte in der Aspektsprache beschreibbar sind
- die Prüfung, ob f1 != 0 ist, erfolgt im *Advice*
- der Klient muss keine F1 Instanzen verwalten
- Ressourcenbedarf entspricht der OO-Lösung

(+ / 0)

Alternativ/*compile time* - OO

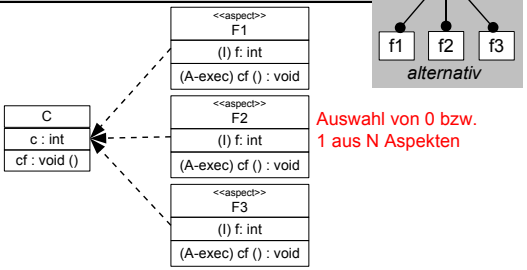




- keine besonderen Kosten durch die Einfachvererbung
- Klassenalias für klientenseitige Transparenz nötig
- wenn Aufrufe von cf() in CBase auch F1::cf() erreichen sollen, muss cf() virtuell sein!

(0 / -)

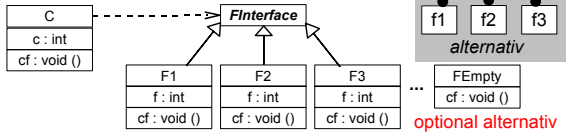
Alternativ/*compile time* - AO

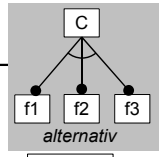


- Entspricht der Implementierung optionaler Merkmale
- die Einschränkung auf 0 bzw. 1 aus N Aspekten sollte das Konfigurierungswerkzeug erledigen
- kein nennenswerter Ressourcenverbrauch

(+ / +)

Alternativ/*run time* - OO

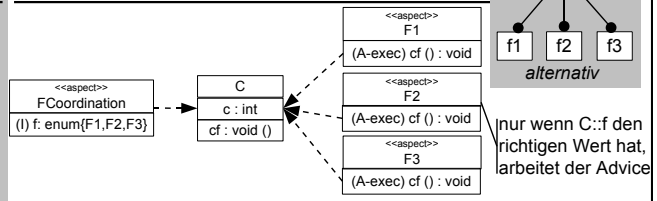




- durch die abstrakte Schnittstelle kann man zur Laufzeit die Bindung von einem C zu einem F*x* Objekt umsetzen
  - Struktur entspricht dem *Strategy Design Pattern*
- die Aufrufe in C erfolgen explizit (nicht bedingt)
  - für den Zugriff auf den Zustand von C muss eine Referenz mitgegeben werden
- der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

(- / 0)

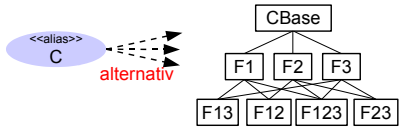
Alternativ/*run time* - AO

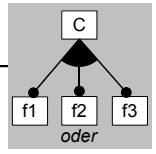


- für N Alternativen sind pro Join Point N abfragen nötig
  - keine virtuelle Funktion, aber auch teuer!
- geeignet, wenn F1 bis F*N* keine gemeinsame Schnittstelle haben
- Alternativ kann mit einem Aspekt auch das *Strategy Pattern* gewebt werden

(- / 0)

Oder/*compile time* – OO u. AO





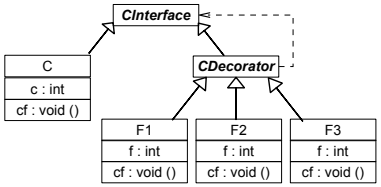
- die Vielzahl an Kombinationen führt schnell zu einer „Explosion“ der Klassenhierarchie
- ohne teure virtuelle Vererbung wären noch mehr Klassen oder *Code*-Duplikation nötig

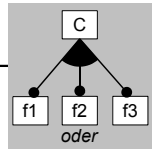
(- / -)

- 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

(- / 0)

- die AO Lösung besteht in der N-fachen Anwendung der Lösung für Optional/run time AO.

(0 / +)

OO vs. AO Techniken - Vergleich

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

- die AO Lösungen sind besonders bei der Konfigurierung zur Übersetzungszeit stark
- ingesamt 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.