IMS
Institut für Mikroelektronische Systeme
Leibniz Universität Hannover

Leibniz Universität Hannover

Programmierpraktikum Technische Informatik (C++)

19.5.2022

Überblick

- Vererbung in C++
- Tutorial zum Thema Polymorphie

Vererbung

Vererbung

- Häufig teilen sich verschiedene Klassen identische Funktionalität
  - Ansprechen über gemeinsames Interface wünschenswert
  - Wiederverwendung von identischen Codepfaden

Vererbung

- Häufig teilen sich verschiedene Klassen identische Funktionalität
  - Ansprechen über gemeinsames Interface wünschenswert
  - Wiederverwendung von identischen Codepfaden
- In objektorientierter Programmierung über Vererbung gelöst

Vererbung

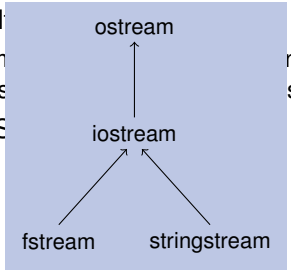
- Häufig teilen sich verschiedene Klassen identische Funktionalität
  - Ansprechen über gemeinsames Interface wünschenswert
  - Wiederverwendung von identischen Codepfaden
- In objektorientierter Programmierung über Vererbung gelöst
- Definiert ein **is-a**-(ist-ein)-Verhältnis
  - Abgeleitete Klassen übernehmen alle Member (Daten und Funktionen) ihrer Basisklasse
  - Instanz der abgeleiteten Klasse als Instanz der Basisklasse verwendbar

Vererbung

- Häufig teilen sich verschiedene Klassen identische Funktionalität
  - Ansprechen über gemeinsames Interface wünschenswert
  - Wiederverwendung von identischen Codepfaden
- In objektorientierter Programmierung über Vererbung gelöst
- Definiert ein **is-a**-(ist-ein)-Verhältnis
  - Abgeleitete Klassen übernehmen alle Member (Daten und Funktionen) ihrer Basisklasse
  - Instanz der abgeleiteten Klasse als Instanz der Basisklasse verwendbar
- Bereits bekannt in Form von IOStreams
  - `fstream` ist ein `iostream` ist ein `ostream`

Vererbung

- Häufig teilen sich verschiedene Klassen identische Funktionalität
  - Ansprechen über gemeinsames Interface wünschenswert
  - Wiederverwendung von identischen Codepfaden
- In objektorientierter Programmierung über Vererbung gelöst
- Definiert ein **is-a**-(ist-ein)-Verhäl
  - Abgeleitete Klassen übernehm nd Funktionen) ihrer Basisklasse
  - Instanz der abgeleiteten Klass sse verwendbar
- Bereits bekannt in Form von IOS
  - `fstream` ist ein `iostream` ist



Vererbung und Sichtbarkeit

- Abgeleitete Klassen erben alle Member der Basisklasse
- Bedeutet nicht, dass sie auch auf alle zugreifen können

Vererbung und Sichtbarkeit

- Abgeleitete Klassen erben alle Member der Basisklasse
- Bedeutet nicht, dass sie auch auf alle zugreifen können
- Methoden aus abgeleiteten Klassen gehören **nicht** zur Basisklasse

Vererbung und Sichtbarkeit

- Abgeleitete Klassen erben alle Member der Basisklasse
- Bedeutet nicht, dass sie auch auf alle zugreifen können
- Methoden aus abgeleiteten Klassen gehören **nicht** zur Basisklasse
- Kapselung
  - Kein Zugriff auf `private`-Daten der Basisklasse
  - Kapselung von Basisklasseninterna gegenüber der abgeleiteten Klassen

Vererbung und Sichtbarkeit

- Abgeleitete Klassen erben alle Member der Basisklasse
- Bedeutet nicht, dass sie auch auf alle zugreifen können
- Methoden aus abgeleiteten Klassen gehören **nicht** zur Basisklasse
- Kapselung
  - Kein Zugriff auf `private`-Daten der Basisklasse
  - Kapselung von Basisklasseninterna gegenüber der abgeleiteten Klassen
- Zugriff auf Interna einer Basisklasse aus abgeleiteter Klasse manchmal notwendig
  - Kann über `friend` gelöst werden, ist aber keine skalierende Lösung

Vererbung und Sichtbarkeit

- Abgeleitete Klassen erben alle Member der Basisklasse
- Bedeutet nicht, dass sie auch auf alle zugreifen können
- Methoden aus abgeleiteten Klassen gehören **nicht** zur Basisklasse
- Kapselung
  - Kein Zugriff auf `private`-Daten der Basisklasse
  - Kapselung von Basisklasseninterna gegenüber der abgeleiteten Klassen
- Zugriff auf Interna einer Basisklasse aus abgeleiteter Klasse manchmal notwendig
  - Kann über `friend` gelöst werden, ist aber keine skalierende Lösung
- Die Sichtbarkeit `protected` ist für diesen Zweck vorgesehen

protected

- `protected` wie `private` mit einer Ausnahme:
  Memberfunktionen abgeleiteter Klassen dürfen auf `protected` Member der Basisklasse zugreifen
- Nützlich, um abgeleiteten Klassen die Anpassung von Interna der Basisklasse zu erlauben

protected

- `protected` wie `private` mit einer Ausnahme:
  Memberfunktionen abgeleiteter Klassen dürfen auf `protected` Member der Basisklasse zugreifen
- Nützlich, um abgeleiteten Klassen die Anpassung von Interna der Basisklasse zu erlauben

	Zugriff aus			
Sichtbarkeit	der Klasse selbst	Friends	Abgeleiteter Klasse	Sonstigem Code
`private`	ja	ja	nein	nein
`protected`	ja	ja	ja	nein
`public`	ja	ja	ja	ja

Beispiel für Vererbung

```
class Expression {
private:
    std::string type;
public:
    using Ptr = std::unique_ptr<Expression>;
    const std::string& getType() const { return this->type; }
    Expression(std::string type): setType{std::move(type)} {}
    virtual int evaluate() const = 0;
    virtual ~Expression(){}
};

class Addition: public Expression {
private:
    Expression::Ptr left;
    Expression::Ptr right;
public:
    Addition(Expression::Ptr l, Expression::Ptr r)
        : Expression{"Add"}, left{std::move(l)}, right{std::move(r)}
    {}
    int evaluate() const override
    { return this->left->evaluate() + this->right->evaluate(); }
};
```

Beispiel für Vererbung

```
class Constant: public Expression {
private:
    int value;
public:
    Constant(int val): Expression{"Constant"}, value{val} {}
    int evaluate() const override { return this->value; }
};
void printType(std::ostream& os, const Expression& expr)
{ os<<expr.getType(); }
//...
Constant c{5};
printType(std::cout, c);
std::cout<<" "<<c.getType()<<std::endl;
```

Beispiel für Vererbung

```
class Constant: public Expression {
private:
    int value;
public:
    Constant(int val): Expression{"Constant"}, value{val} {}
    int evaluate() const override { return this->value; }
};
void printType(std::ostream& os, const Expression& expr)
{ os<<expr.getType(); }
//...
Constant c{5};
printType(std::cout, c);
std::cout<<" "<<c.getType()<<std::endl;
```

- Basisklassen werden in der Klassendefinition mit
  : *Sichtbarkeit Basisklassenname* angegeben
- Entspricht Angabe als `extends` in Java
- Im Gegensatz zu Java wird in C++ eine Sichtbarkeit für die Basisklasse angegeben

Zugriffskontrolle bei Vererbung

- Angegebene Sichtbarkeit bestimmt, mit welcher Sichtbarkeit geerbte Member übernommen werden

```
class A {...};
class B: public A
{...};
class C: protected A
{...};
class D: private A
{...};
```

Zugriffskontrolle bei Vererbung

- Angegebene Sichtbarkeit bestimmt, mit welcher Sichtbarkeit geerbte Member übernommen werden

```
class A {...};
class B: public A
{...};
class C: protected A
{...};
class D: private A
{...};
```

Ist Member in A	public	protected	private
so wird es in B	public	protected	private
so wird es in C	protected	protected	private
so wird es in D	private	private	private

Zugriffskontrolle bei Vererbung

- Angegebene Sichtbarkeit bestimmt, mit welcher Sichtbarkeit geerbte Member übernommen werden

```
class A {...};
class B: public A
{...};
class C: protected A
{...};
class D: private A
{...};
```

Ist Member in A	`public`	`protected`	`private`
so wird es in B	`public`	`protected`	`private`
so wird es in C	`protected`	`protected`	`private`
so wird es in D	`private`	`private`	`private`

- **Achtung:** Nur `public`-Vererbung definiert eine `is-a`-Beziehung
- `protected` und `private` Vererbung nur sinnvoll, wenn Zugriff auf `protected`-Member der Basisklasse notwendig, ohne dass eine `is-a`-Beziehung vorliegt
  - Für änderbare Basisklassen ist möglicherweise `friend` sinnvoller

Zugriffskontrolle bei Vererbung

- Angegebene Sichtbarkeit bestimmt, mit welcher Sichtbarkeit geerbte Member übernommen werden

```
class A {...};
class B: public A
{...};
class C: protected A
{...};
class D: private A
{...};
```

Ist Member in A	public	protected	private
so wird es in B	public	protected	private
so wird es in C	protected	protected	private
so wird es in D	private	private	private

- **Achtung:** Nur `public`-Vererbung definiert eine `is-a`-Beziehung
- `protected` und `private` Vererbung nur sinnvoll, wenn Zugriff auf `protected`-Member der Basisklasse notwendig, ohne dass eine `is-a`-Beziehung vorliegt
  - Für änderbare Basisklassen ist möglicherweise `friend` sinnvoller

Üblicherweise `public`-Vererbung verwenden, andere nur in Ausnahmefällen!

Beispiel für Vererbung

```
class Constant: public Expression {
private:
    int value;
public:
    Constant(int val): Expression{"Constant"}, value{val} {}
    int evaluate() const override { return this->value; }
};
void printType(std::ostream& os, const Expression& expr)
{ os<<expr.getType(); }
//...
Constant c{5};
printType(std::cout, c);
std::cout<<" "<<c.getType()<<std::endl;
```

- Aufruf des Konstruktors der Basisklasse wie für Member in der Initialisierungsliste
  - Ohne expliziten Basiskonstruktoraufruf wird Defaultkonstruktor (falls vorhanden) aufgerufen
- Basis ist vor allen anderen Membern definiert, daher erstes Element der Initialisierungsliste

Beispiel für Vererbung

```
class Constant: public Expression {
private:
    int value;
public:
    Constant(int val): Expression{"Constant"}, value{val} {}
    int evaluate() const override { return this->value; }
};
void printType(std::ostream& os, const Expression& expr)
{ os<<expr.getType(); }
//...
Constant c{5};
printType(std::cout, c);
std::cout<<" "<<c.getType()<<std::endl;
```

- Objekt vom Typ `Constant` ist auch Instanz von `Expression`
- Kann als `Expression` verwendet werden
  - Übergabe an Funktion, die ein Objekt der Basisklasse erwartet

Beispiel für Vererbung

```
class Constant: public Expression {
private:
    int value;
public:
    Constant(int val): Expression{"Constant"}, value{val} {}
    int evaluate() const override { return this->value; }
};
void printType(std::ostream& os, const Expression& expr)
{ os<<expr.getType(); }
//...
Constant c{5};
printType(std::cout, c);
std::cout<<" "<<c.getType()<<std::endl;
```

- Objekt vom Typ `Constant` ist auch Instanz von `Expression`
- Kann als `Expression` verwendet werden
  - Übergabe an Funktion, die ein Objekt der Basisklasse erwartet
  - Direkter Zugriff auf Member der Basisklasse über eine abgeleitete Klasse

Polymorphie

```
class Expression {
    //...
    virtual int evaluate() const = 0;
    virtual ~Expression(){}
};
class Addition: public Expression {
    //...
    int evaluate() const override
    { return this->left->evaluate() + this->right->evaluate(); }
};
class Constant: public Expression {
    //...
    int evaluate() const { return this->Value; }
};
```

- Manchmal ist in abgeleiteten Klassen eine Änderung des Verhaltens von geerbten Methoden wünschenswert
  - Wird als Polymorphie bezeichnet
- In abgeleiteter Klasse Methode mit identischem Namen und gleicher Signatur erstellen
  - Erreicht nicht ganz das gewünschte Verhalten

Virtuelle Methoden

- Methoden normalerweise statisch an den jeweiligen Typ gebunden
  - Aufruf über Pointer auf Basisklasse ruft Methode der Basisklasse und nicht die Methode der abgeleiteten Klasse auf

Virtuelle Methoden

- Methoden normalerweise statisch an den jeweiligen Typ gebunden
  - Aufruf über Pointer auf Basisklasse ruft Methode der Basisklasse und nicht die Methode der abgeleiteten Klasse auf
- Als `virtual` deklarierte Methoden sind dynamisch gebunden
  - Methode wird immer aus der abgeleiteten Klasse genommen
  - **Ausnahme:** In Konstruktoren
    (In Konstruktoren keine virtuellen Methoden aufrufen!)

Virtuelle Methoden

- Methoden normalerweise statisch an den jeweiligen Typ gebunden
  - Aufruf über Pointer auf Basisklasse ruft Methode der Basisklasse und nicht die Methode der abgeleiteten Klasse auf
- Als `virtual` deklarierte Methoden sind dynamisch gebunden
  - Methode wird immer aus der abgeleiteten Klasse genommen
  - **Ausnahme:** In Konstruktoren
    (In Konstruktoren keine virtuellen Methoden aufrufen!)
- In Java sind alle Methoden `virtual`

Virtuelle Methoden

- Methoden normalerweise statisch an den jeweiligen Typ gebunden
  - Aufruf über Pointer auf Basisklasse ruft Methode der Basisklasse und nicht die Methode der abgeleiteten Klasse auf
- Als `virtual` deklarierte Methoden sind dynamisch gebunden
  - Methode wird immer aus der abgeleiteten Klasse genommen
  - **Ausnahme:** In Konstruktoren
    (In Konstruktoren keine virtuellen Methoden aufrufen!)
- In Java sind alle Methoden `virtual`
- Warum nicht auch in C++?
  - Performancegründe
  - `virtual` erzeugt zusätzliche Kosten pro Aufruf, verhindert inlining
  - Dynamische Typinformationen kosten zusätzlichen Speicher

Virtuelle Methoden

- Methoden normalerweise statisch an den jeweiligen Typ gebunden
  - Aufruf über Pointer auf Basisklasse ruft Methode der Basisklasse und nicht die Methode der abgeleiteten Klasse auf
- Als `virtual` deklarierte Methoden sind dynamisch gebunden
  - Methode wird immer aus der abgeleiteten Klasse genommen
  - **Ausnahme:** In Konstruktoren
    (In Konstruktoren keine virtuellen Methoden aufrufen!)
- In Java sind alle Methoden `virtual`
- Warum nicht auch in C++?
  - Performancegründe
  - `virtual` erzeugt zusätzliche Kosten pro Aufruf, verhindert inlining
  - Dynamische Typinformationen kosten zusätzlichen Speicher
  - Eiserner Grundsatz von C++: Don't pay for what you don't need

Polymorphie

```
class Expression {
    //...
    virtual int evaluate() const = 0;
    virtual ~Expression(){}
};
class Addition: public Expression {
    //...
    int evaluate() const override
    { return this->left->evaluate() + this->right->evaluate(); }
};
class Constant: public Expression {
    //...
    int evaluate() const { return this->Value; }
};
```

- Mit `virtual` wird eine Methode in der Basisklasse als virtuell markiert
- In abgeleiteter Klasse wird `virtual` nicht explizit angegeben
  - Methode mit gleicher Signatur und gleichem Namen überschreibt automatisch die virtuelle Basismethode
  - Signatur muss exakt übereinstimmen

Polymorphie

```
class Expression {
    //...
    virtual int evaluate() const = 0;
    virtual ~Expression(){}
};
class Addition: public Expression {
    //...
    int evaluate() const override
    { return this->left->evaluate() + this->right->evaluate(); }
};
class Constant: public Expression {
    //...
    int evaluate() const { return this->Value; }
};
```

- Bei Änderungen können sich Signaturen unbeabsichtigt unterscheiden
  - Kompiliert meistens, führt aber zu unerwartetem Verhalten zur Laufzeit
- Dafür `override`: Signalisiert, dass virtuelle Basisklassenmethode überschrieben wird
  - Kompilierfehler, falls nicht erfüllt
  - Verwendung von `override` ist optional, aber empfohlen

Polymorphie

```
class Expression {
    //...
    virtual int evaluate() const = 0;
    virtual ~Expression(){}
};
class Addition: public Expression {
    //...
    int evaluate() const override
    { return this->left->evaluate() + this->right->evaluate(); }
};
class Constant: public Expression {
    //...
    int evaluate() const { return this->Value; }
};
```

- Normalerweise müssen auch virtuelle Methoden definiert sein (sonst Linkerfehler)
- Häufig ist in der Basisklasse aber keine sinnvolle Implementation möglich
  - Mit `= 0;` wird eine **virtuelle** Methode als abstrakt gekennzeichnet
  - Bedeutet, dass in der Basisklasse keine Implementation vorliegt
  - Entspricht dem `abstract`-Keyword in Java
  - Basisklasse wird automatisch abstrakt und kann nicht instantiiert werden

Polymorphie

```
class Expression {
    //...
    virtual int evaluate() const = 0;
    virtual ~Expression(){}
};
class Addition: public Expression {
    //...
    int evaluate() const override
    { return this->left->evaluate() + this->right->evaluate(); }
};
class Constant: public Expression {
    //...
    int evaluate() const { return this->Value; }
};
void printEval(const Expression& expr) {  std::cout<<expr.evaluate()<<"\n"; }
//...
printEval(Addition{...});
printEval(Constant{...});
```

- `Expression` ist Basisklasse und soll polymorph verwendet werden
- Es wird deshalb ein virtueller Destruktor benötigt

Destruktoren

- Aus der letzten Vorlesung bekannt:
  Objekte können am Ende ihrer Lebenszeit hinter sich aufräumen

Destruktoren

- Aus der letzten Vorlesung bekannt:
  Objekte können am Ende ihrer Lebenszeit hinter sich aufräumen
- Dazu wird der sog. Destruktor aufgerufen
- Membermethode mit speziellem Namen: `~`*`ClassName()`*
  - Nichtinline-Definition: *`ClassName`*`::~`*`ClassName()`*
  - Muss für die Zerstörung sichtbar sein, also nicht `private` deklarieren

Destruktoren

- Aus der letzten Vorlesung bekannt:
  Objekte können am Ende ihrer Lebenszeit hinter sich aufräumen
- Dazu wird der sog. Destruktor aufgerufen
- Membermethode mit speziellem Namen: `~ClassName()`
  - Nichtinline-Definition: `ClassName::~ClassName()`
  - Muss für die Zerstörung sichtbar sein, also nicht `private` deklarieren
- Wird automatisch aufgerufen, sobald die Lebenszeit eines Objektes endet
  - Manueller Aufruf möglich, aber nur in Ausnahmefällen korrekt

Destruktoren

- Aus der letzten Vorlesung bekannt:
  Objekte können am Ende ihrer Lebenszeit hinter sich aufräumen
- Dazu wird der sog. Destruktor aufgerufen
- Membermethode mit speziellem Namen: `~ClassName()`
  - Nichtinline-Definition: `ClassName::~ClassName()`
  - Muss für die Zerstörung sichtbar sein, also nicht `private` deklarieren
- Wird automatisch aufgerufen, sobald die Lebenszeit eines Objektes endet
  - Manueller Aufruf möglich, aber nur in Ausnahmefällen korrekt
- Destruktoren dürfen keine Parameter haben
  - Könnten sonst nicht automatisch aufgerufen werden

Destruktoren

- Aus der letzten Vorlesung bekannt:
  Objekte können am Ende ihrer Lebenszeit hinter sich aufräumen
- Dazu wird der sog. Destruktor aufgerufen
- Membermethode mit speziellem Namen: `~ClassName()`
  - Nichtinline-Definition: `ClassName::~ClassName()`
  - Muss für die Zerstörung sichtbar sein, also nicht `private` deklarieren
- Wird automatisch aufgerufen, sobald die Lebenszeit eines Objektes endet
  - Manueller Aufruf möglich, aber nur in Ausnahmefällen korrekt
- Destruktoren dürfen keine Parameter haben
  - Könnten sonst nicht automatisch aufgerufen werden
- Destruktor wird direkt vor der Zerstörung eines Objektes aufgerufen
  - Zugriff auf Member und Methoden ist im Destruktor noch möglich

Destruktoren II

- Aufruf der Destruktoren von Memberobjekten nach Ausführung des Destruktors der Klasse
  - Automatisch in umgekehrter Reihenfolge der Deklaration am Ende des Destruktoraufrufs

Destruktoren II

- Aufruf der Destruktoren von Memberobjekten nach Ausführung des Destruktors der Klasse
  - Automatisch in umgekehrter Reihenfolge der Deklaration am Ende des Destruktoraufrufs
- Destruktoren werden bei automatischen Objekten immer in umgekehrter Reihenfolge der Konstruktoren aufgerufen

Destruktoren II

- Aufruf der Destruktoren von Memberobjekten nach Ausführung des Destruktors der Klasse
  - Automatisch in umgekehrter Reihenfolge der Deklaration am Ende des Destruktoraufrufs
- Destruktoren werden bei automatischen Objekten immer in umgekehrter Reihenfolge der Konstruktoren aufgerufen
- Ist kein Destruktor deklariert, wird er automatisch vom Compiler generiert
  - Compilergenerierter Destruktor führt keine Operationen aus
  - Destruktoren von Membern werden normal aufgerufen

Destruktoren II

- Aufruf der Destruktoren von Memberobjekten nach Ausführung des Destruktors der Klasse
  - Automatisch in umgekehrter Reihenfolge der Deklaration am Ende des Destruktoraufrufs
- Destruktoren werden bei automatischen Objekten immer in umgekehrter Reihenfolge der Konstruktoren aufgerufen
- Ist kein Destruktor deklariert, wird er automatisch vom Compiler generiert
  - Compilergenerierter Destruktor führt keine Operationen aus
  - Destruktoren von Membern werden normal aufgerufen
- Manuelle Implementation selten notwendig
  - Nur wenn die Klasse manuell Ressourcen managed
  - Und für Klassen, deren Desktruktoren Seiteneffekte haben

Destruktoren und Exceptions

- Aufruf von Destruktoren immer beim Verlassen des jeweiligen Scopes
  - Auch wenn der Scope über Exceptions verlassen wurde

Destruktoren und Exceptions

- Aufruf von Destruktoren immer beim Verlassen des jeweiligen Scopes
  - Auch wenn der Scope über Exceptions verlassen wurde
- Können somit während der Exceptionbehandlung ausgeführt werden
- Was passiert wenn ein Destruktor während der Behandlung einer Exception eine weitere wirft?

Destruktoren und Exceptions

- Aufruf von Destruktoren immer beim Verlassen des jeweiligen Scopes
  - Auch wenn der Scope über Exceptions verlassen wurde
- Können somit während der Exceptionbehandlung ausgeführt werden
- Was passiert wenn ein Destruktor während der Behandlung einer Exception eine weitere wirft?
- In C++ über einfache Regel gelöst:
  Destruktoren dürfen keine Exceptions werfen
  - Bei Missachtung wird das Programm abrubt beendet
  - Aufruf von werfenden Funktionen ist erlaubt, Exceptions müssen aber im Destruktor gefangen werden
  - Einhaltung ist Aufgabe des Entwicklers

Virtuelle Destruktoren

- Destruktoren sind wie normale Methoden statisch gebunden
  - Problematisch bei polymorpher Verwendung:
    `delete` bei einem Pointer auf die Basisklasse zerstört nur den Basisklassenanteil

Virtuelle Destruktoren

- Destruktoren sind wie normale Methoden statisch gebunden
  - Problematisch bei polymorpher Verwendung:
    `delete` bei einem Pointer auf die Basisklasse zerstört nur den Basisklassenanteil
- Destruktoren können auch als `virtual` deklariert werden
  - Muss in dem Fall auch manuell definiert werden
  - In abgeleiteten Klassen wird der Destruktor automatisch `virtual`, falls dies in der Basisklasse gilt
  - Manuelle Implementation in abgeleiteten Klassen in der Regel nicht notwendig

Virtuelle Destruktoren

- Destruktoren sind wie normale Methoden statisch gebunden
  - Problematisch bei polymorpher Verwendung:
    `delete` bei einem Pointer auf die Basisklasse zerstört nur den Basisklassenanteil
- Destruktoren können auch als `virtual` deklariert werden
  - Muss in dem Fall auch manuell definiert werden
  - In abgeleiteten Klassen wird der Destruktor automatisch `virtual`, falls dies in der Basisklasse gilt
  - Manuelle Implementation in abgeleiteten Klassen in der Regel nicht notwendig
- Erlaubt sicheres Löschen polymorpher Objekte

Destruktoren von Basisklassen

- Vermutung: Basisklassen sollten immer virtuelle Destruktoren haben
  - Aber: Viele Basisklassen sehen keine polymorphe Verwendung vor
  - Und: Objekte werden durch dynamische Typinformationen größer

Destruktoren von Basisklassen

- Vermutung: Basisklassen sollten immer virtuelle Destruktoren haben
  - Aber: Viele Basisklassen sehen keine polymorphe Verwendung vor
  - Und: Objekte werden durch dynamische Typinformationen größer
- Nachteil von nicht-virtuellen Destruktoren:
  Mögliche direkte Aufrufe des Basisklassendestruktors
  - Gilt nur für sichtbare Destruktoren
  - `private`-Destruktoren verbieten den (notwendigen) Aufruf aus abgeleiteten Klassen
  - Als `protected` deklarierter Destruktor umgeht diese Probleme

Destruktoren von Basisklassen

- ~~Vermutung: Basisklassen sollten immer virtuelle Destruktoren haben~~
  - Aber: Viele Basisklassen sehen keine polymorphe Verwendung vor
  - Und: Objekte werden durch dynamische Typinformationen größer
- Nachteil von nicht-virtuellen Destruktoren:
  Mögliche direkte Aufrufe des Basisklassendestruktors
  - Gilt nur für sichtbare Destruktoren
  - `private`-Destruktoren verbieten den (notwendigen) Aufruf aus abgeleiteten Klassen
  - Als `protected` deklarierter Destruktor umgeht diese Probleme
- Regel:
  Eine Basisklasse sollte entweder einen virtuellen Destruktor oder einen als `protected` deklarierten Destruktor besitzen
  - Virtueller Destruktor bei polymorph zu verwendenden Klassen
  - Sonst `protected` (insbesondere für Mixin-Klassen)

Polymorphie

```
class Expression {
    //...
    virtual int evaluate() const = 0;
    virtual ~Expression(){}
};
class Addition: public Expression {
    //...
    int evaluate() const override
    { return this->left->evaluate() + this->right->evaluate(); }
};
class Constant: public Expression {
    //...
    int evaluate() const { return this->Value; }
};
void printEval(const Expression& expr) {  std::cout<<expr.evaluate()<<"\n"; }
//...
printEval(Addition{...});
printEval(Constant{...});
```

- `Expression` ist Basisklasse und soll polymorph verwendet werden
- Es wird deshalb ein virtueller Destruktor benötigt

Das Non Virtual Interface Pattern (NVI)

- Manchmal sollen in einer virtuellen Methode bestimmte Operationen für alle Implementationen gleich ausgeführt werden
  - Beispiel: Eintrag in eine Logdatei zu Debugzwecken
  - Überprüfung der Argumente auf Gültigkeit

Das Non Virtual Interface Pattern (NVI)

- Manchmal sollen in einer virtuellen Methode bestimmte Operationen für alle Implementationen gleich ausgeführt werden
  - Beispiel: Eintrag in eine Logdatei zu Debugzwecken
  - Überprüfung der Argumente auf Gültigkeit
- Virtuelle Methoden können nur komplett überschrieben werden
  - Wiederholung des Codes in allen abgeleiteten Klassen ist fehleranfällig

Das Non Virtual Interface Pattern (NVI)

- Manchmal sollen in einer virtuellen Methode bestimmte Operationen für alle Implementationen gleich ausgeführt werden
  - Beispiel: Eintrag in eine Logdatei zu Debugzwecken
  - Überprüfung der Argumente auf Gültigkeit
- Virtuelle Methoden können nur komplett überschrieben werden
  - Wiederholung des Codes in allen abgeleiteten Klassen ist fehleranfällig
- Elegantere Lösung: Das Non Virtual Interface Pattern
  - Die virtuelle Methode ist `private` oder `protected`
  - Wird von nicht virtueller `public`-Methode der Basisklasse aufgerufen
  - Basisklasse kann beliebige Operationen vor und nach dem virtuellen Aufruf einfügen

Das Non Virtual Interface Pattern (NVI)

- Manchmal sollen in einer virtuellen Methode bestimmte Operationen für alle Implementationen gleich ausgeführt werden
  - Beispiel: Eintrag in eine Logdatei zu Debugzwecken
  - Überprüfung der Argumente auf Gültigkeit
- Virtuelle Methoden können nur komplett überschrieben werden
  - Wiederholung des Codes in allen abgeleiteten Klassen ist fehleranfällig
- Elegantere Lösung: Das Non Virtual Interface Pattern
  - Die virtuelle Methode ist `private` oder `protected`
  - Wird von nicht virtueller `public`-Methode der Basisklasse aufgerufen
  - Basisklasse kann beliebige Operationen vor und nach dem virtuellen Aufruf einfügen
- Leichtes Erstellen von Methoden mit gleicher Basisimplementierung
  - Beispiel: Laden aus einer Datei, ein Overload akzeptiert einen Stream, der andere einen Dateinamen

Beispiel für NVI

```
class ContainerBase {
private:
    virtual bool tryGetItemImpl(size_t id, Item& result) const= 0;
public:
    std::tuple<Item, bool> tryGetItem(size_t id) const {
        Item result;
        bool success = this->tryGetItemImpl(id, result);
        return std::make_tuple(result, success);
    }
    Item getItem(size_t id) const {
        Item result;
        if(!this->tryGetItemImpl(id, result))
            throw std::runtime_error("illegal id detected in ContainerBase::GetItem");
        return result;
    }
    virtual ~ContainerBase(){}
};

class ActualContainer: public ContainerBase {
private:
    bool tryGetItemImpl(size_t id, Item& result) const override {
        //... implementation
    }
};
```

Beispiel für NVI

```
class ContainerBase {
private:
    virtual bool tryGetItemImpl(size_t id, Item& result) const= 0;
public:
    std::tuple<Item, bool> tryGetItem(size_t id) const {
        Item result;
        bool success = this->tryGetItemImpl(id, result);
        return std::make_tuple
    }
    Item getItem(size_t id) co
        Item result;
        if(!this->tryGetItemIm
            throw std::runtime
        return result;
    }
    virtual ~ContainerBase(){}
};

class ActualContainer: public ContainerBase {
private:
    bool tryGetItemImpl(size_t id, Item& result) const override {
        //... implementation
    }
};
```

Als `private` deklarierte virtuelle Methoden können in abgeleiteten Klassen überschrieben, aber nicht (direkt) aufgerufen werden.

Optimal für NVI.

Beispiel für NVI

```
class ContainerBase {
private:
    virtual bool tryGetItemImpl(size_t id, Item& result) const= 0;
public:
    std::tuple<Item, bool> tryGetItem(size_t id) const {
        Item result;
        bool success = this->tryGetItemImpl(id, result);
        return std::make_tuple
    }
    Item getItem(size_t id) co
        Item result;
        if(!this->tryGetItemIm
            throw std::runtime
        return result;
    }
    virtual ~ContainerBase(){}
};

class ActualContainer: public ContainerBase {
private:
    bool tryGetItemImpl(size_t id, Item& result) const override {
        //... implementation
    }
};
```

Als `private` deklarierte virtuelle Methoden können in abgeleiteten Klassen überschrieben, aber nicht (direkt) aufgerufen werden.

Optimal für NVI.

Deklaration des Destruktors als virtuell nicht vergessen!

Slicing

```
class Base {
    virtual void print()
    { std::cout<<"Base Print\n"; }
    virtual ~Base(){}
};
class Derived: public Base {
    void print() override
    { std::cout<<"Derived Print\n"; }
};
void printObj(Base b)
{ b.print(); }

int main() {
   Derived d;
   printObj(d);
}
```

- Was ist die Ausgabe des Programmes?

Slicing

```
class Base {
    virtual void print()
    { std::cout<<"Base Print\n"; }
    virtual ~Base(){}
};
class Derived: public Base {
    void print() override
    { std::cout<<"Derived Print\n"; }
};
void printObj(Base b)
{ b.print(); }

int main() {
   Derived d;
   printObj(d);
}
```

- Was ist die Ausgabe des Programmes?
  - Antwort: `Base Print`

Slicing II

- In dem gezeigten Beispiel tritt als Slicing bezeichnetes Verhalten auf

Slicing II

- In dem gezeigten Beispiel tritt als Slicing bezeichnetes Verhalten auf
- `printObj` wird eine **Kopie** von `d` übergeben
  - Genauer: Eine Kopie des `Base`-Teils von `d`
  - `Derived`-Teil wird weggesliced

Slicing II

- In dem gezeigten Beispiel tritt als Slicing bezeichnetes Verhalten auf
- `printObj` wird eine **Kopie** von `d` übergeben
  - Genauer: Eine Kopie des `Base`-Teils von `d`
  - `Derived`-Teil wird weggesliced
- Es wird nur der dem Zieltyp entsprechende Teil einer polymorphen Klasse kopiert
  - Bei Kopie der Basisklasse gehen Informationen verloren
  - Für abstrakte Basisklassen nicht möglich, da Erzeugung einer Instanz der Klasse illegal ist

Slicing II

- In dem gezeigten Beispiel tritt als Slicing bezeichnetes Verhalten auf
- `printObj` wird eine **Kopie** von `d` übergeben
  - Genauer: Eine Kopie des `Base`-Teils von `d`
  - `Derived`-Teil wird weggesliced
- Es wird nur der dem Zieltyp entsprechende Teil einer polymorphen Klasse kopiert
  - Bei Kopie der Basisklasse gehen Informationen verloren
  - Für abstrakte Basisklassen nicht möglich, da Erzeugung einer Instanz der Klasse illegal ist

Polymorphe Objekte immer als Reference oder als Pointer (eventuell als Smartpointer) übergeben!

dynamic_cast

- Zum Casten von Pointern auf polymorphe Basisklassen in Pointer auf abgeleitete Klassen
  - ```
    Expression* x;
    Constant* c = dynamic_cast<Constant*>(x);
    ```
  - Nur, wenn die Klasse polymorph ist, also virtuelle Methoden besitzt
    ```

dynamic_cast

- Zum Casten von Pointern auf polymorphe Basisklassen in Pointer auf abgeleitete Klassen
  - ```
    Expression* x;
    Constant* c = dynamic_cast<Constant*>(x);
    ```
  - Nur, wenn die Klasse polymorph ist, also virtuelle Methoden besitzt
- Überprüft, ob das Objekt auch wirklich Instanz der Zielklasse
  - Rückgabewert ist ein Nullpointer, falls dies nicht gilt
    ```

dynamic_cast

- Zum Casten von Pointern auf polymorphe Basisklassen in Pointer auf abgeleitete Klassen
  - ```
    Expression* x;
    Constant* c = dynamic_cast<Constant*>(x);
    ```
  - Nur, wenn die Klasse polymorph ist, also virtuelle Methoden besitzt
- Überprüft, ob das Objekt auch wirklich Instanz der Zielklasse
  - Rückgabewert ist ein Nullpointer, falls dies nicht gilt
- Auch Cast von Referenz auf Basisklasse
  - `Constant& c = dynamic_cast<Constant&>(*x);`
  - Gleicher Check wie für Pointer, wirft aber `std::bad_cast` im Fehlerfall
    ```

dynamic_cast

- Zum Casten von Pointern auf polymorphe Basisklassen in Pointer auf abgeleitete Klassen
  - ```
    Expression* x;
    Constant* c = dynamic_cast<Constant*>(x);
    ```
  - Nur, wenn die Klasse polymorph ist, also virtuelle Methoden besitzt
- Überprüft, ob das Objekt auch wirklich Instanz der Zielklasse
  - Rückgabewert ist ein Nullpointer, falls dies nicht gilt
- Auch Cast von Referenz auf Basisklasse
  - ```
    Constant& c = dynamic_cast<Constant&>(*x);
    ```
  - Gleicher Check wie für Pointer, wirft aber `std::bad_cast` im Fehlerfall
- Verhält sich abgesehen von der Überprüfung wie ein `static_cast`

Multiple Vererbung

- In einigen Fällen ist es wünschenswert, von verschiedenen Basisklassen zu erben
  - Insbesondere zur Implementierung verschiedener Interfaces
  - In vielen anderen Sprachen nicht direkt möglich
  - In Java nur für Interfaces erlaubt

Multiple Vererbung

- In einigen Fällen ist es wünschenswert, von verschiedenen Basisklassen zu erben
  - Insbesondere zur Implementierung verschiedener Interfaces
  - In vielen anderen Sprachen nicht direkt möglich
  - In Java nur für Interfaces erlaubt
- C++ unterstützt echte Mehrfachvererbung, Klassen können von beliebig vielen anderen Klassen erben
  - Kann bei unbedachtem Einsatz aber leicht zu Problemen führen
  - C++ vertraut darauf, dass der Programmierer alles richtig macht

Multiple Vererbung II

```
class foo;
class bar;
class foobar: public foo, public bar
{
  foobar(const foo& f, const bar& b):foo(f), bar(b) {}
};
```

- Basisklassen stehen in kommaseparierter Auflistung

Multiple Vererbung II

```
class foo;
class bar;
class foobar: public foo, public bar
{
  foobar(const foo& f, const bar& b):foo(f), bar(b) {}
};
```

- Basisklassen stehen in kommaseparierter Auflistung
- Konstruktor wird für jede Basisklasse aufgerufen
  - Aufrufreihenfolge wie für andere Member entsprechend der Deklarationsreihenfolge

Multiple Vererbung II

```
class foo;
class bar;
class foobar: public foo, public bar
{
  foobar(const foo& f, const bar& b):foo(f), bar(b) {}
};
```

- Basisklassen stehen in kommaseparierter Auflistung
- Konstruktor wird für jede Basisklasse aufgerufen
  - Aufrufreihenfolge wie für andere Member entsprechend der Deklarationsreihenfolge
- Für mehr Details:

  http://www.cprogramming.com/tutorial/multiple_inheritance.html

Das Diamantproblem

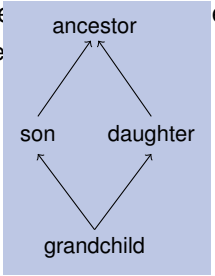
```
class ancestor;
class son: public ancestor {};
class daughter: public ancestor {};
class grandchild: public son, public daughter {};
```

- Bedeutendes Problem in multipler Vererbung:
  Abgeleitete Klasse erbt auf mehreren Wegen von einer einzelnen Basisklasse
  - Das sog. Diamant-Problem (“Inzest”)

Das Diamantproblem

```
class ancestor;
class son: public ancestor {};
class daughter: public ancestor {};
class grandchild: public son, public daughter {};
```

- Bedeutendes Problem in multipler Vererbung:
  Abgeleitete Klasse erbt auf mehrere[r] [Pfaden] [von] einer einzelnen Basisklasse
  - Das sog. Diamant-Problem (“Inze[ption]”)



Das Diamantproblem

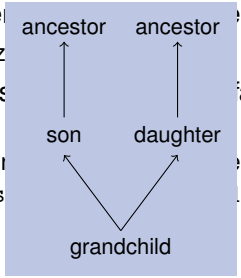
```
class ancestor;
class son: public ancestor {};
class daughter: public ancestor {};
class grandchild: public son, public daughter {};
```

- Bedeutendes Problem in multipler Vererbung:
  Abgeleitete Klasse erbt auf mehreren Wegen von einer einzelnen Basisklasse
  - Das sog. Diamant-Problem (“Inzest”)
- Standardverhalten in C++: Die Basisklasse wird mehrfach beerbt
  - `ancestor` wird “geklont”
  - Datenmember von `ancestor` sind in `grandchild` mehrfach vorhanden
  - Aufruf von Methoden von `ancestor` aus `grandchild` aufgrund von Mehrdeutigkeit nicht ohne weiteres möglich

Das Diamantproblem

```
class ancestor;
class son: public ancestor {};
class daughter: public ancestor {};
class grandchild: public son, public daughter {};
```

- Bedeutendes Problem in multipler Vererbung:
  Abgeleitete Klasse erbt auf mehre[illegible]er einzelnen Basisklasse
  - Das sog. Diamant-Problem ("Inz[illegible]
- Standardverhalten in C++: Die Bas[illegible]fach beerbt
  - `ancestor` wird "geklont"
  - Datenmember von `ancestor` si[illegible]ehrfach vorhanden
  - Aufruf von Methoden von `ances[illegible]` aufgrund von Mehrdeutigkeit nicht ohne weiteres möglich



Das Diamantproblem

```
class ancestor;
class son: public ancestor {};
class daughter: public ancestor {};
class grandchild: public son, public daughter {};
```

- Bedeutendes Problem in multipler Vererbung:
  Abgeleitete Klasse erbt auf mehreren Wegen von einer einzelnen Basisklasse
  - Das sog. Diamant-Problem (“Inzest”)
- Standardverhalten in C++: Die Basisklasse wird mehrfach beerbt
  - `ancestor` wird “geklont”
  - Datenmember von `ancestor` sind in `grandchild` mehrfach vorhanden
  - Aufruf von Methoden von `ancestor` aus `grandchild` aufgrund von Mehrdeutigkeit nicht ohne weiteres möglich
- Häufig nicht gewünschtes Verhalten

Virtuelle Vererbung

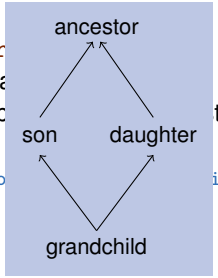
```
class ancestor;
class son: public ancestor {};
class daughter: public ancestor {};
class grandchild: public son, public daughter {};
```

- Lösung: virtuelle Vererbung
  - `class son: public virtual ancestor ...;`
    `class daughter: public virtual ancestor ...;`
  - `grandchild` bestimmt, wo die Datenmember liegen
  - Stellt sicher, dass sich alle Vererbungspfade eine Instanz von `ancestor` teilen
  - Auch hier einige Fallstricke
  - http://www.cprogramming.com/tutorial/virtual_inheritance.html

Virtuelle Vererbung

```
class ancestor;
class son: public ancestor {};
class daughter: public ancestor {};
class grandchild: public son, public daughter {};
```

- Lösung: virtuelle Vererbung
  - `class son: public virtual`
    `class daughter: public vir` `..;`
  - `grandchild` bestimmt, wo die Da
  - Stellt sicher, dass sich alle Vererb tanz von `ancestor` teilen
  - Auch hier einige Fallstricke
  - `http://www.cprogramming.com/tuto` `itance.html`



Virtuelle Vererbung

```
class ancestor;
class son: public ancestor {};
class daughter: public ancestor {};
class grandchild: public son, public daughter {};
```

- Lösung: virtuelle Vererbung
  - `class son: public virtual ancestor ...;`
    `class daughter: public virtual ancestor ...;`
  - `grandchild` bestimmt, wo die Datenmember liegen
  - Stellt sicher, dass sich alle Vererbungspfade eine Instanz von `ancestor` teilen
  - Auch hier einige Fallstricke
  - http://www.cprogramming.com/tutorial/virtual_inheritance.html

Multiple (und virtuelle) Vererbung hat viele Fallstricke. Nur wenn notwendig und nach Möglichkeit nur mit einfachen Basisklassen verwenden!

Verwendung von Vererbung und Polymorphie

- Vererbung und Polymorphie sind nützliche Werkzeuge
  - Aber auch nur Werkzeuge

Verwendung von Vererbung und Polymorphie

- Vererbung und Polymorphie sind nützliche Werkzeuge
  - Aber auch nur Werkzeuge
- Häufiger Fehler: übermäßige Verwendung von Vererbung
  - Vererbung (**is-a**) weicht die Kapselung auf
  - Virtuelle Methoden kosten Performance

Verwendung von Vererbung und Polymorphie

- Vererbung und Polymorphie sind nützliche Werkzeuge
  - Aber auch nur Werkzeuge
- Häufiger Fehler: übermäßige Verwendung von Vererbung
  - Vererbung (**is-a**) weicht die Kapselung auf
  - Virtuelle Methoden kosten Performance
- Laufzeitpolymorphie häufig nicht notwendig
  - Templates bieten Polymorphie zur Compilezeit
  - Unterscheidet C++ von anderen Sprachen wie Java
  - Laufzeitpolymorphie wird durch Value-Semantik von Objekten verkompliziert

Verwendung von Vererbung und Polymorphie

- Vererbung und Polymorphie sind nützliche Werkzeuge
  - Aber auch nur Werkzeuge
- Häufiger Fehler: übermäßige Verwendung von Vererbung
  - Vererbung (**is-a**) weicht die Kapselung auf
  - Virtuelle Methoden kosten Performance
- Laufzeitpolymorphie häufig nicht notwendig
  - Templates bieten Polymorphie zur Compilezeit
  - Unterscheidet C++ von anderen Sprachen wie Java
  - Laufzeitpolymorphie wird durch Value-Semantik von Objekten verkompliziert
- Abwägen, ob Vererbung notwendig ist, oder ob Komposition reicht
  - Im Zweifelsfall Komposition bevorzugen

Verwendung von Vererbung und Polymorphie

- Vererbung und Polymorphie sind nützliche Werkzeuge
  - Aber auch nur Werkzeuge
- Häufiger Fehler: übermäßige Verwendung von Vererbung
  - Vererbung (**is-a**) weicht die Kapselung auf
  - Virtuelle Methoden kosten Performance
- Laufzeitpolymorphie häufig nicht notwendig
  - Templates bieten Polymorphie zur Compilezeit
  - Unterscheidet C++ von anderen Sprachen wie Java
  - Laufzeitpolymorphie wird durch Value-Semantik von Objekten verkompliziert
- Abwägen, ob Vererbung notwendig ist, oder ob Komposition reicht
  - Im Zweifelsfall Komposition bevorzugen
- Überprüfen, ob Compilezeitpolymorphie über Templates ausreicht
  - Implementation eigener Templates aber erst später

Allgemeines zu den Aufgaben

Weitere Regeln für die C++-Programmierung

- Für Basisklassen Destruktor als `protected` oder als `virtual` deklarieren
  - Virtuelle Destruktoren verwenden, wenn polymorphe Verwendung gewünscht
  - `protected` verwenden, wenn keine direkte Verwendung der Basisklasse vorgesehen ist

Weitere Regeln für die C++-Programmierung

- Für Basisklassen Destruktor als `protected` oder als `virtual` deklarieren
  - Virtuelle Destruktoren verwenden, wenn polymorphe Verwendung gewünscht
  - `protected` verwenden, wenn keine direkte Verwendung der Basisklasse vorgesehen ist
- Überschreiben von virtuellen Funktionen mit `override` markieren

Weitere Regeln für die C++-Programmierung

- Für Basisklassen Destruktor als `protected` oder als `virtual` deklarieren
  - Virtuelle Destruktoren verwenden, wenn polymorphe Verwendung gewünscht
  - `protected` verwenden, wenn keine direkte Verwendung der Basisklasse vorgesehen ist
- Überschreiben von virtuellen Funktionen mit `override` markieren
- Keine Exceptions aus Destruktoren werfen

Weitere Regeln für die C++-Programmierung

- Für Basisklassen Destruktor als `protected` oder als `virtual` deklarieren
  - Virtuelle Destruktoren verwenden, wenn polymorphe Verwendung gewünscht
  - `protected` verwenden, wenn keine direkte Verwendung der Basisklasse vorgesehen ist
- Überschreiben von virtuellen Funktionen mit `override` markieren
- Keine Exceptions aus Destruktoren werfen

Nichtbeachtung ohne **überzeugende** Begründung kann zu Punktabzug führen!