Vererbung, Polymorphie

Paul Raffer

2021-04-11

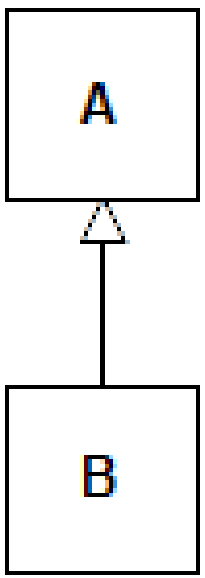
Datenkapselung

Zugriffs-modifikator	**UML**	**Eigene Klasse**	**Abgeleitete Klasse**	**Außerhalb**
öffentlich	+	sichtbar	sichtbar	sichtbar
geschützt	#	sichtbar	sichtbar	nicht sichtbar
privat	-	sichtbar	nicht sichtbar	nicht sichtbar

Quelle: Ausarbeitung von N. M.

Vererbung

- Meist in Kombination mit Polymorphie
- Eigenschaften und Methoden der Basisklasse A werden in abgeleitete Klasse B übernommen
- Doppelter Code und Schreibarbeit werden vermieden
- UML: Pfeil von abgeleiteter Klasse zu Basisklasse



Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Vererbung_(Programmierung)

Datenkapselung im Rahmen der Vererbung

Sichtbarkeit in ...			
Basisklasse	**abgeleiteter Klasse (erbt ... von Basisklasse)**		
	öffentlich (“ist-ein”)	**geschützt** (“ist-implementiert-mit”)	**privat** (“ist-implementiert-mit”)
öffentlich →	öffentlich	geschützt	privat
geschützt →	geschützt	geschützt	privat
privat →	nicht vererbt	nicht vererbt	nicht vererbt

- Layering: “hat-ein”-/”ist-implementiert-mit”-Beziehung

Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Vererbung_(Programmierung)#Datenkapselung_im_Rahmen_der_Vererbung

Beispiel:

```
struct Point2d {
    int x;
    int y;
};
```

Vollständiger Code: `https://godbolt.org/z/neqhe7GsG`

Beispiel:

```
struct Point2d {
    int x;
    int y;
};
```

Lösung ohne Vererbung:

```
struct Point3d {
    int x;
    int y;
    int z;
};
```

Vollständiger Code: `https://godbolt.org/z/neqhe7GsG`

Beispiel:

```
struct Point2d {
    int x;
    int y;
};
```

Lösung ohne Vererbung:

```
struct Point3d {
    int x;
    int y;
    int z;
};
```

Lösung mit öffentlicher Vererbung:

```
struct Point3d : Point2d {
    int z;
};
```

Vollständiger Code: `https://godbolt.org/z/neqhe7GsG`

Beispiel:

```
struct Point2d {
    int x;
    int y;
};
```

Lösung ohne Vererbung:

```
struct Point3d {
    int x;
    int y;
    int z;
};
```

Lösung mit öffentlicher Vererbung:

```
struct Point3d : Point2d {
    int z;
};

Point2d* point = new Point3d; // Moeglich, aber nicht erwuenscht!
```

Vollständiger Code: `https://godbolt.org/z/neqhe7GsG`

Beispiel:

```
struct Point2d {
    int x;
    int y;
};
```

Lösung ohne Vererbung:

```
struct Point3d {
    int x;
    int y;
    int z;
};
```

Lösung mit öffentlicher Vererbung:

```
struct Point3d : Point2d {
    int z;
};

Point2d* point = new Point3d; // Moeglich, aber nicht erwuenscht!
```

Lösung mit privater Vererbung:

```
struct Point3d : private Point2d {
    int z;
    // Eigenschaften aus Point2d wieder oeffenlich machen:
    public: using Point2d::x;
    public: using Point2d::y;
};
```

Vollständiger Code: `https://godbolt.org/z/neqhe7GsG`

Schnittstellenvererbung

- Nur Methodensignatur, aber keine Standardimplementierung, wird vererbt
- Java: Interface
- C++: abstrakte Klasse, die nur rein virtuelle Methoden enthält

Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Vererbung_(Programmierung)#Schnittstellenvererbung

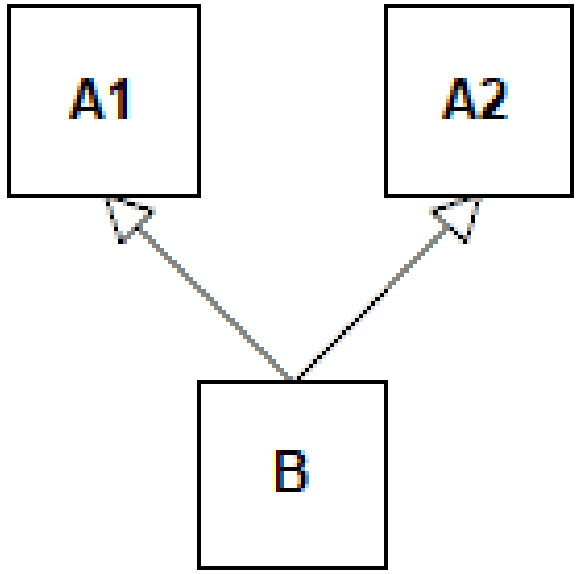
Implementierungsvererbung

- Methodensignatur und Standardimplementierung werden vererbt
- Standardimplementierung kann aber von abgeleiteter Klasse überschrieben werden

Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Vererbung_(Programmierung)#Implementierungsvererbung

Mehrfachvererbung

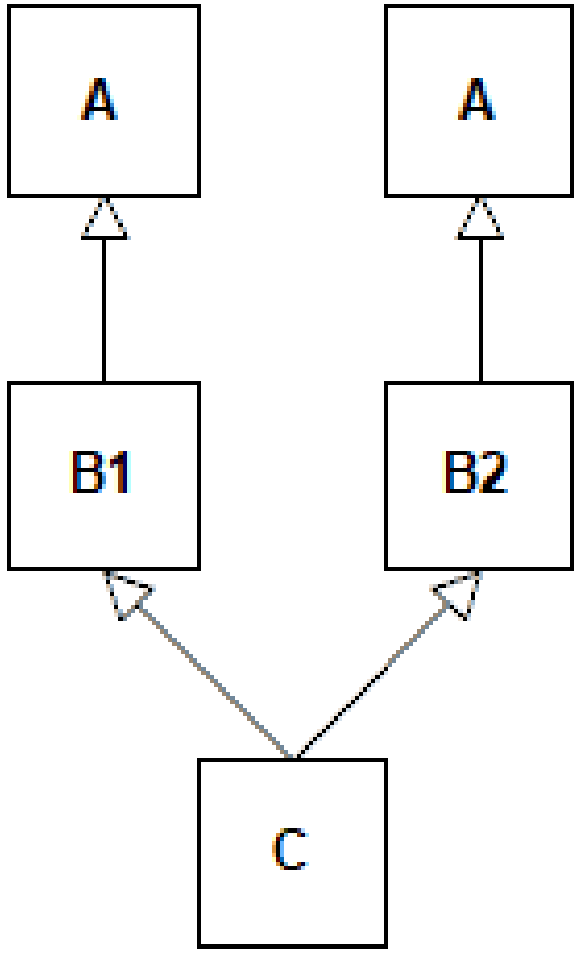
- Eine abgeleitet Klasse erbt von mehreren Basisklassen
- Mehrfachinterfacevererbung problemlos möglich
- Mehrfachimplementierungsvererbung führt oft zu fehleranfälligem und unübersichtlichem Code



Quelle: https://en.wikipedia.org/wiki/Multiple_inheritance

Diamond-Problem

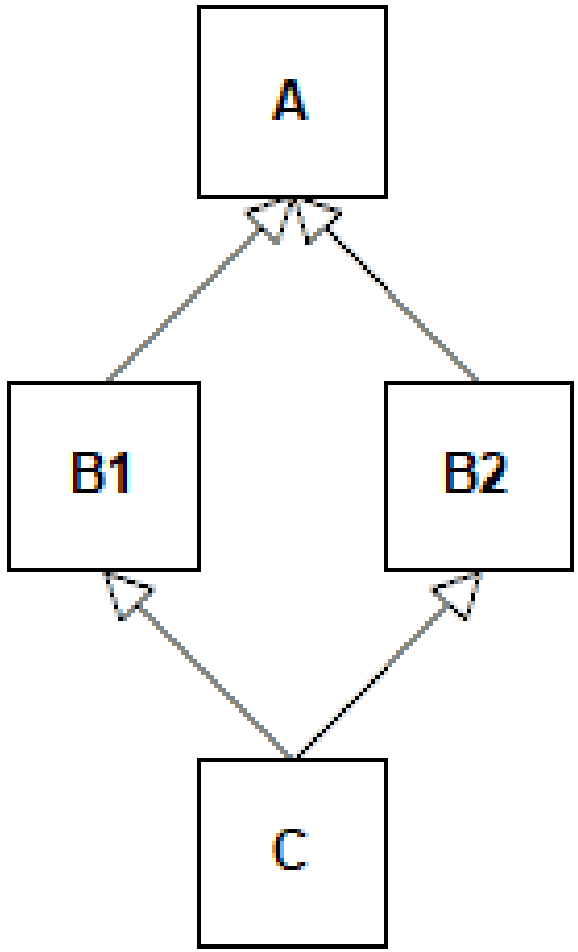
- Eine abgeleitete Klasse erbt über mehr als einen Pfad von derselben Basisklasse
- Eigenschaften und Methoden werden mehrfach vererbt



Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Diamond-Problem

Virtuelle Vererbung (C++)

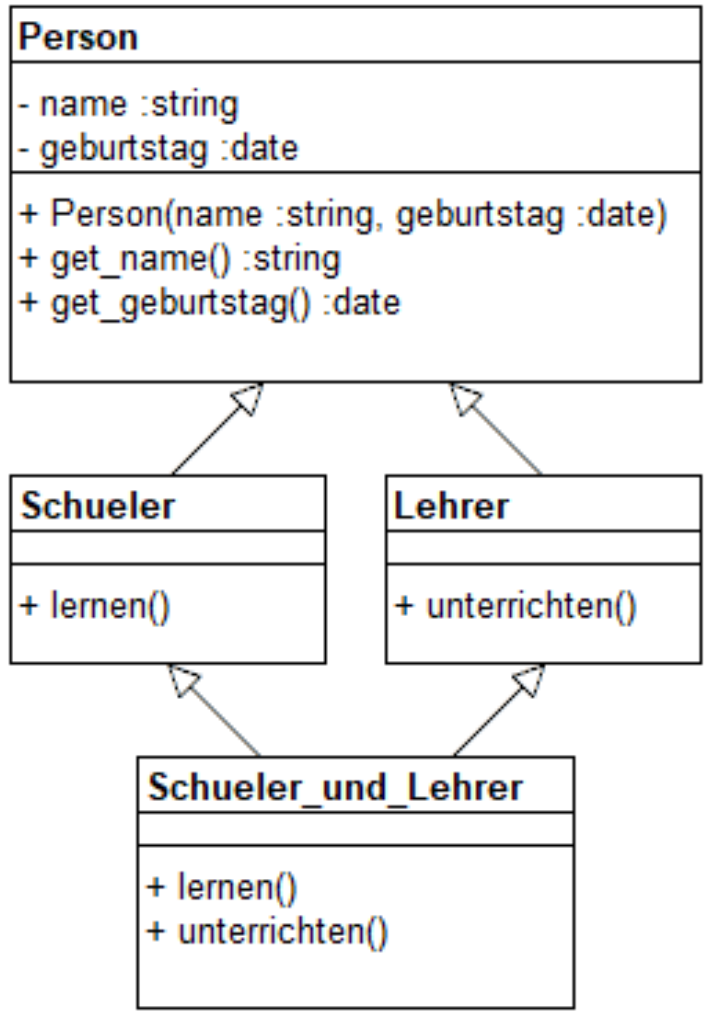
- B1 und B2 erben von A virtuell
- abgeleitete Klassen teilen sich eine gemeinsame Instanz



Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Diamond-Problem#Modellierung_in_C++

Beispiel – Schüler/Lehrer

- Schüler und Lehrer erben von Person
- Es gibt auch Schüler, die anderen Schülern Nachhilfe geben



Abstrakte Klassen

- Von abstrakten Klassen können keine Objekte erzeugt werden
- Es wird geerbt und von der abgeleiteten Klasse ein Objekt erzeugt

Java:

```
abstract class Abstrakte_klasse {
public:
    void virtuelle_methode();
};
```

C++:

```
class Abstrakte_klasse {
public:
    virtual void rein_virtuelle_methode() = 0;
};
```

Vollständiges Beispiel: `https://godbolt.org/z/5Kqe1cG93`

Abstrakte Klassen

- Von abstrakten Klassen können keine Objekte erzeugt werden
- Es wird geerbt und von der abgeleiteten Klasse ein Objekt erzeugt

Java:

```
abstract class Abstrakte_klasse {
public:
    void virtuelle_methode();
};
```

C++:

```
class Abstrakte_klasse {
public:
    virtual void rein_virtuelle_methode() = 0;
};

Abstrakte_klasse* obj = new Abstrakte_klasse{}; // Error! :)
```

Vollständiges Beispiel: `https://godbolt.org/z/5Kqe1cG93`

Abstrakte Klassen

- Von abstrakten Klassen können keine Objekte erzeugt werden
- Es wird geerbt und von der abgeleiteten Klasse ein Objekt erzeugt

Java:

```
abstract class Abstrakte_klasse {
public:
    void virtuelle_methode();
};
```

C++:

```
class Abstrakte_klasse {
public:
    virtual void rein_virtuelle_methode() = 0;
};

Abstrakte_klasse* obj = new Abstrakte_klasse{}; // Error! :)

class Abgeleitete_klasse : public Abstrakte_klasse {
public:
    virtual void rein_virtuelle_methode() override { /*...*/ }
    // ...
};

Abstrakte_klasse* obj = new Abgeleitete_klasse{}; // Funktioniert! :)
```

Vollständiges Beispiel: `https://godbolt.org/z/5Kqe1cG93`

Endgültige Klassen

- Kann keine Basisklasse sein

```
class Endgueltige_klasse final {
    //...
};

class Abgeleitete_klasse : public Endgueltige_klasse { // Error! :)
    //...
};
```

Vollständiges Beispiel: `https://godbolt.org/z/fnbKh1Pr9`

Polymorphie

- wird auch Vielgestaltigkeit oder Polymorphismus genannt
- Gleiches Interface für Objekte von verschiedenen Typen
- Ein Bezeichner kann Objekte unterschiedlicher Typen annehmen
- Gegenteil: Monomorphie

	universell unendlich viele Typen eine Implementierung	**ad-hoc** endliche Anzahl an Typen unterschiedliche Implementierungen
dynamisch Laufzeit langsamer	Inklusionspolymorphie/ Vererbungspolymorphie	
statisch Kompilezeit schneller	parametrische Polymorphie	Überladung, Coercion

Quelle: `https://de.wikipedia.org/wiki/Polymorphie_(Programmierung)`

universelle Polymorphie

- Gleiches Interface für unendlich viele Typen
- Eine Implementierung
- “echte Vielgestaltigkeit”
- Unterarten:
  - Inklusionspolymorphie
  - Vererbungspolymorphie
  - Parametrische Polymorphie

Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Polymorphie_(Programmierung)#Universelle_und_Ad-hoc-Polymorphie

Inklusionspolymorphie

- Liskovsches Substitutionsprinzip ist erfüllt
  - Objekt des Typ A kann problemlos, durch Objekt des Typ B ersetzt werden, ohne dass sich das Verhalten ändert

Quelle: `https://en.wikipedia.org/wiki/Subtyping`

Vererbungspolymorphie

- Dynamisch
- Kann Inklusionspolymorphie ausdrücken
- Sollte auch das Liskovsche Substitutionsprinzip befolgen, muss aber nicht
- Virtuelle Methoden

Quelle: `https://de.wikipedia.org/wiki/Vererbung_(Programmierung)`

Beispiel – Fahrzeug: Mehrfache Auswahl

```
enum Fahrzeugtyp {
    Auto,
    Fahrrad,
};

struct Fahrzeug {
    Fahrzeugtyp typ;
    // ...
};

void rechts_abbiegen(Fahrzeug* fahrzeug)
{
    switch (fahrzeug->typ) {
        case Auto:
            // <Implementierung fuer Autos>
            break;
        case Fahrrad:
            // <Implementierung fuer Fahrraeder>
            break;
        default:
            // Fehler: Ungueltiger Typ!
            break;
    }
}

auto main() -> int
{
    Fahrzeug fahrzeug{Auto};
    rechts_abbiegen(&fahrzeug);
}
```

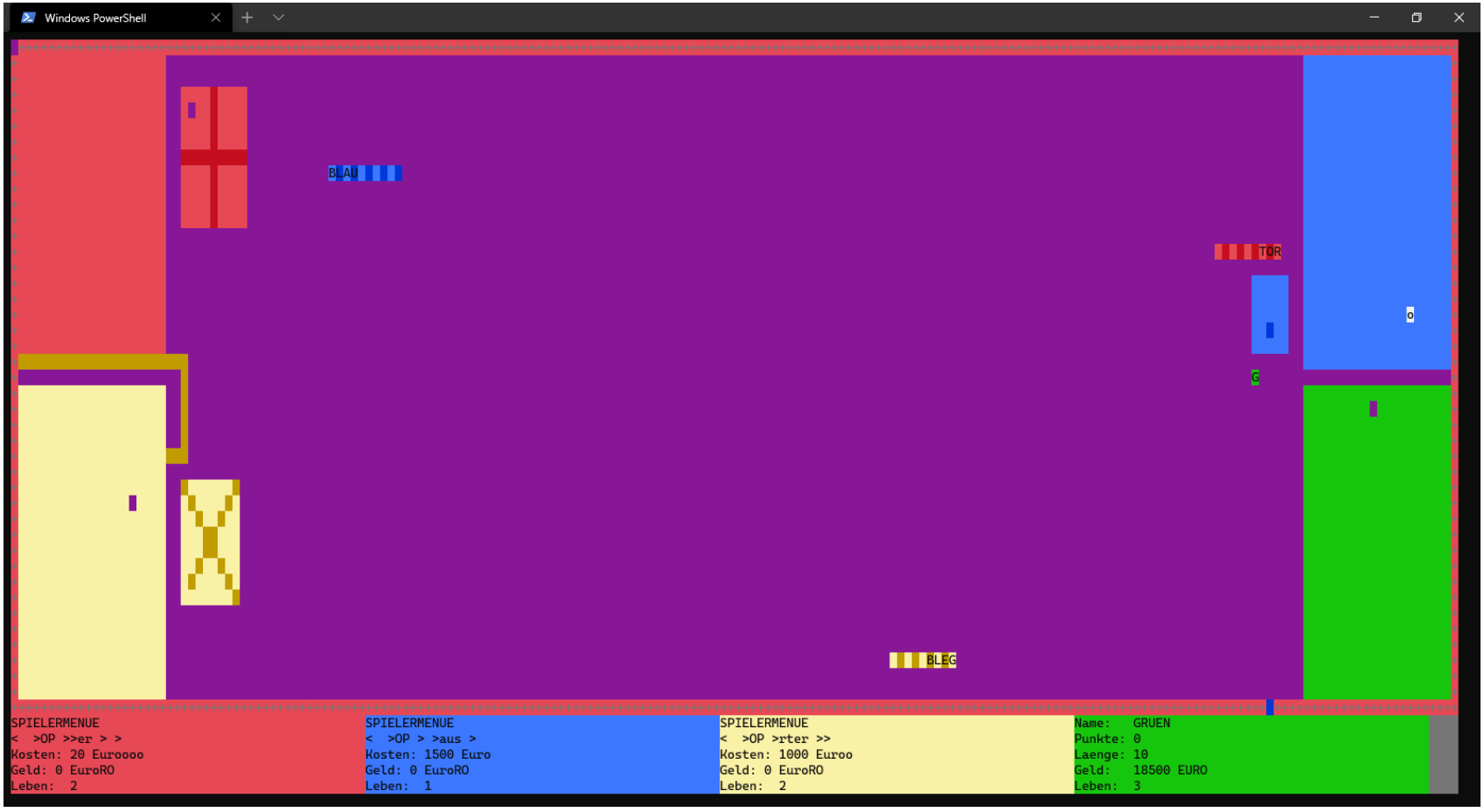
Vollständiges Beispiel: `https://godbolt.org/z/WaG3z5s4d`

Beispiel – Fahrzeug: Vererbungspolymorphie

```
class Fahrzeug {
    // ...
    public: virtual void rechts_abbiegen() = 0;
    // ...
};

class Auto : public Fahrzeug {
    // ...
    public: virtual void rechts_abbiegen() override
    {
        // <Implementierung fuer Autos>
    }
    // ...
};

class Fahrrad : public Fahrzeug {
    // ...
    public: virtual void rechts_abbiegen() override
    {
        // <Implementierung fuer Fahrraeder>
    }
    // ...
};

auto main() -> int
{
    Fahrzeug* fahrzeug = new Auto;
    fahrzeug->rechts_abbiegen();
}
```

Vollständiges Beispiel: `https://godbolt.org/z/zx4jqErf6`

Beispiel – Snake



Vollständiger Code: `https://github.com/PaulRaffer/Snake`

Beispiel – Snake

- Unterschiedliche Arten von Gebäuden (Kanonen, Mauern, Geldlager, Krankenhäuser, ...)
- Unterschiedliche Arten von Punkten (normale Punkte, Geld, Leben, ...)

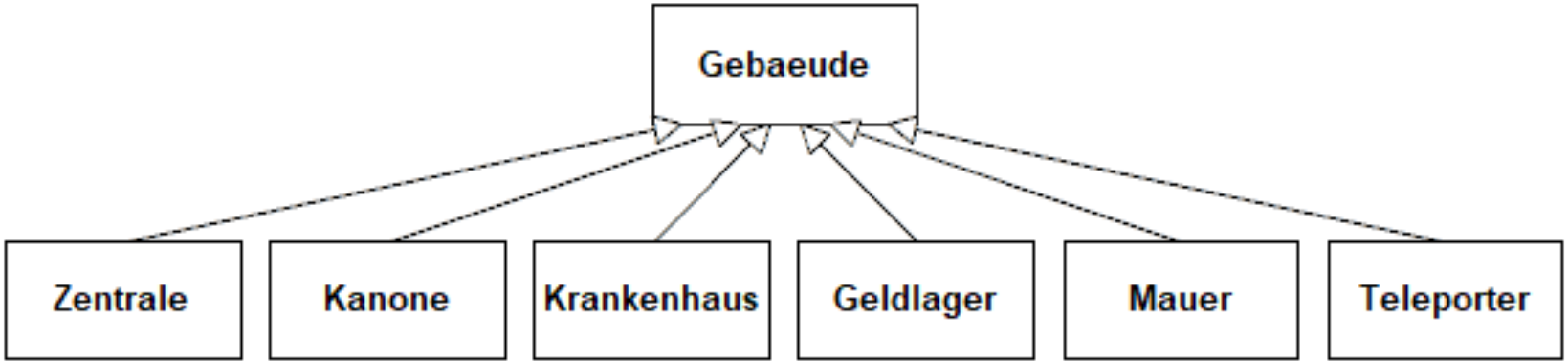
Vollständiger Code: `https://github.com/PaulRaffer/Snake`

Beispiel – Snake: Mein Code (nicht nachmachen!)

```
// ...

gebaeude_verschieben(spielfeld, spieler, spieler.at(s).gebaeude.zentrale, s, v);
gebaeude_verschieben(spielfeld, spieler, spieler.at(s).gebaeude.kanone, s, v);
gebaeude_verschieben(spielfeld, spieler, spieler.at(s).gebaeude.krankenhaus, s, v);
gebaeude_verschieben(spielfeld, spieler, spieler.at(s).gebaeude.geldlager, s, v);
gebaeude_verschieben(spielfeld, spieler, spieler.at(s).gebaeude.mauer, s, v);
gebaeude_verschieben(spielfeld, spieler, spieler.at(s).gebaeude.teleporter, s, v);

// ...

gebaeude_gameover(spielfeld, spieler, spieler.at(sp).gebaeude.kanone, s, sp);
gebaeude_gameover(spielfeld, spieler, spieler.at(sp).gebaeude.krankenhaus, s, sp);
gebaeude_gameover(spielfeld, spieler, spieler.at(sp).gebaeude.geldlager, s, sp);
gebaeude_gameover(spielfeld, spieler, spieler.at(sp).gebaeude.mauer, s, sp);
gebaeude_gameover(spielfeld, spieler, spieler.at(sp).gebaeude.teleporter, s, sp);

// ...
```

Vollständiger Code: `https://github.com/PaulRaffer/Snake`

Beispiel – Snake: Vererbungspolymorphie




```
// ...

for (auto & g : spieler.at(s).gebaeude) {
    // Welchen Typ g hat, und somit auch welche Methode 'verschieben'
    // aufgerufen wird, wird erst zur Laufzeit bestimmt.
    g.verschieben(spielfeld, spieler, s, v);
}

// ...

for (auto & g : spieler.at(sp).gebaeude) {
    g.gameover(spielfeld, spieler, s, sp);
}

// ...
```

Vollständiger Code: `https://github.com/PaulRaffer/Snake`

Kreis-Ellipse-Problem

- Problem:
  - Basisklasse 'Form' hat die Methoden 'zeichnen' und 'flaeche'
  - Ellipsen und Kreise sollen erstellt werden können
  - 'Kreis' erbt von 'Ellipse' erbt von 'Form'
  - Es gibt die Setter 'set_x' und 'set_y' zum skalieren
  - Bei Kreisen können nicht beide Dimensionen unabhängig voneinander skaliert werden
  - Liskovsches Substitutionsprinzip nicht erfüllt
- Lösungsvorschläge:
  - Fehler bei Größenänderung
  - 'Ellipse' erbt von 'Kreis'
  - Keine Klasse 'Kreis'
  - Keine Vererbungsbeziehung zwischen 'Ellipse' und 'Kreis'
  - Einführen neuer Basisklasse
- Keiner der Lösungsvorschläge ist ideal
- Nicht jede "ist-ein"-Beziehung sollte durch öffentliche Vererbung dargestellt werden!

Quelle: `https://de.wikipedia.org/wiki/Kreis-Ellipse-Problem`

Parametrische Polymorphie

- Vor allem in funktionalen Sprachen verbreitet
- Algorithmen bzw. Klassen werden allgemein beschrieben, damit sie mit Objekten unterschiedlicher Typen funktionieren
- Generics, Templates, ...

Quelle: `https://soundcloud.com/lambda-cast/9-polymorphism-and-abstraction`

Ad-hoc-Polymorphie

- Gleiche Schnittstelle für begrenzte Anzahl an bestimmten Typen
- Eine Implementierung pro Typ
- Unterarten:
  - Coercion
  - Überladung

Quelle: `https://en.wikipedia.org/wiki/Ad_hoc_polymorphism`

Überladung

- Statisch
- Mehrere Funktionen haben den gleichen Namen
- Operatorüberladung

C:

```c
void print_str(char const * str)
{
    printf("%s", str);
}

void print_i(int i)
{
    printf("%d", i);
}
```

C++:

```c
void print(char const * str)
{
    printf("%s", str);
}

void print(int i)
{
    printf("%d", i);
}
```

Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%9Cberladen

Coercion

- Statisch
- Implizite Typumwandlung

```
auto main() -> int
{
    // Implizite Umwandlung von int{5} zu double{5.0}
    // Output: 8.2
    std::cout << 5 + 3.2;
}
```

Quelle: https://en.wikipedia.org/wiki/Type_conversion

Coercion - Konvertierungskonstruktor (C++)

```
class Bruch {
    int zaehler_;
    int nenner_;
    // ...
};

// Konvertierungskonstruktor (int to Bruch)
Bruch::Bruch(int zaehler = 0, int nenner = 1)
    : zaehler_{zaehler}, nenner_{nenner} {}

void print(Bruch const & bruch)
{
    std::cout << '(' << bruch.zaehler() << '/' << bruch.nenner() << ')';
}

auto main() -> int
{
    // implizite Cast von int{42} zu Bruch{42, 1}
    // Output: (42/1)
    print(42);
}
```

Coercion - Konvertierungsoperator (C++)

```
Bruch::operator double() // Konvertierungsoperator (Bruch zu double)
{
    return double{this->zaehler_} / double{this->nenner_};
}

auto main() -> int
{
    // Implizite Umwandlung von Bruch{1, 4} zu double{0.25}
    // Output: 4.5
    std::cout << Bruch{1, 4} + 4.25;
}
```

Quellen

- FSST-Mitschrift der 2. und 3. Klasse
- http://lucacardelli.name/Papers/OnUnderstanding.A4.pdf
- https://www.ics.uci.edu/~jajones/INF102-S18/readings/05_stratchey_1967.pdf
- https://de.wikipedia.org/wiki/Polymorphie_(Programmierung)
- https://invidious.snopyta.org/watch?v=7PfNo-FMIf0
- https://invidious.snopyta.org/watch?v=uTxRF5ag27A
- C++: Das umfassende Handbuch
- Grundkurs C++
- C++: Die Sprache der Objekte
- Exceptional C++: 47 engineering puzzles, programming problems, and solutions
- Effektiv C++. 50 Specific Ways to Improve Your Programs and Designs
- Ausarbeitung von N. M.
- https://de.wikipedia.org/wiki/Vererbung_(Programmierung)
- https://en.wikipedia.org/wiki/Multiple_inheritance
- https://de.wikipedia.org/wiki/Diamond-Problem
- https://en.wikipedia.org/wiki/Subtyping
- https://courses.cs.washington.edu/courses/cse331/11wi/lectures/lect06-subtyping.pdf
- https://lec.inf.ethz.ch/ifmp/2019/slides/lecture14.handout.pdf
- https://invidious.snopyta.org/watch?v=7EmboKQH8lM
- https://de.wikipedia.org/wiki/Kreis-Ellipse-Problem
- https://en.wikipedia.org/wiki/Parametric_polymorphism
- https://wiki.haskell.org/Polymorphism
- https://soundcloud.com/lambda-cast
- C++ Templates: The Complete Guide
- https://invidious.snopyta.org/watch?v=HddFGPTAmtU
- https://en.wikipedia.org/wiki/Ad_hoc_polymorphism
- https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%9Cberladen
- https://en.wikipedia.org/wiki/Type_conversion
- https://stackoverflow.com/questions/66983156/is-coercion-static-or-dynamic-polymorphism
- https://www.bfilipek.com/2020/04/variant-virtual-polymorphism.html