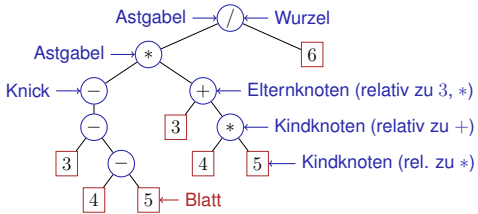
20. Vererbung und Polymorphie

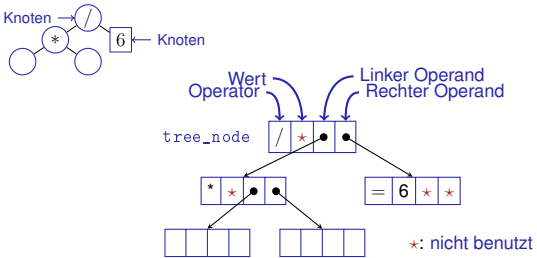
Ausdrucksbäume, Vererbung, Code-Wiederverwendung, virtuelle Funktionen, Polymorphie, Konzepte des objektorientierten Programmierens

(Ausdrucks-)Bäume

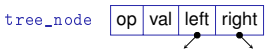
```
-(3-(4-5))*(3+4*5)/6
```



Astgabeln + Blätter + Knicke = Knoten



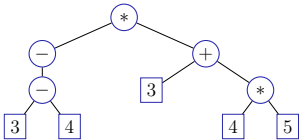
Knoten (`struct tree_node`)




```
struct tree_node {
  char op; // leaf node: op is '='
           // internal node: op is '+', '-', '*' or '/'
  double val;
  tree_node* left; // == nullptr for unary minus
  tree_node* right;

  tree_node(char o, double v, tree_node* l, tree_node* r)
    : op(o), val(v), left(l->copy()), right(r->copy()) {}
    // Copy constructor:  previous lecture; handout/Codeboard
  ...
};
```

Grösse = Knoten in Teilbäumen zählen



- Grösse eines Blattes: 1
- Grösse anderer Knoten: 1 + Gesamtgrösse aller Kindknoten
- Z.B. Grösse des „+“-Knoten ist 5

Knoten in Teilbäumen zählen

```
// POST: returns the size (number of nodes) of
//       the subtree with root *this
int tree_node::size () const {
    int s=1;
    if (left) // shortcut for left != nullptr
        s += left->size();
    if (right)
        s += right->size();
    return s;
}
```

op | val | left | right

Teilbäume auswerten

```
// POST: evaluates the subtree with root *this
double tree_node::eval () const {
  if (op == '=') return val;
  double l = 0;
  if (left) l = left->eval();
  double r = right->eval();
  if (op == '+') return l + r;
  if (op == '-') return l - r;
  if (op == '*') return l * r;
  if (op == '/') return l / r;
  return 0;
}
```

op | val | left | right

Blatt...

...oder Astgabel:

op unär, oder linker Ast

rechter Ast

Teilbäume klonen

```
// POST: a copy of the subtree with root *this is
//       made, and a pointer to its root node is
//       returned
tree_node* tree_node::copy () const {
  tree_node* to = new tree_node (op, val, nullptr, nullptr);
  if (left) to->left = left->copy();
  if (right) to->right = right->copy();
  return to;
}
```

op | val | left | right

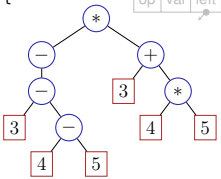
Teilbäume klonen - Kompaktere Schreibweise

```
// POST: a copy of the subtree with root *this is
//       made, and a pointer to its root node is
//       returned
tree_node* tree_node::copy () const {
    return new tree_node (op, val,
          left ? left->copy() : nullptr,
          right ? right->copy() : nullptr);
}
```

cond ? expr1 : expr 2 hat Wert *expr1*, falls *cond* gilt, *expr2* sonst

Teilbäume fällen

```
// POST: all nodes in the subtree with root
// *this are deleted
void tree_node::clear() {
  if (left) {
    left->clear();
  }
  if (right) {
    right->clear();
  }
  delete this;
}
```



Ausdrucksbäume benutzen

```
// Construct a tree for 1 - (-(3 + 7))
tree_node* n1 = new tree_node('=', 3, nullptr, nullptr);
tree_node* n2 = new tree_node('=', 7, nullptr, nullptr);
tree_node* n3 = new tree_node('+', 0, n1, n2);
tree_node* n4 = new tree_node('-', 0, nullptr, n3);
tree_node* n5 = new tree_node('=', 1, nullptr, nullptr);
tree_node* root = new tree_node('-', 0, n5, n4);

// Evaluate the overall tree
std::cout << "1 - (-(3 + 7)) = " << root->eval() << '\n';

// Evaluate a subtree
std::cout << "3 + 7 = " << n3->eval() << '\n';
```


Beobachtungen

- Klasse `tree_node` ist die „Summe“ aller benötigten Knoten (Konstanten, Addition, ...)
- Gilt für die Datenrepräsentation ...

```
struct tree_node {
  char op;
  double val;
  tree_node* left;
  tree_node* right;
  ...
}
```

Beobachtungen I

- Klasse `tree_node` ist die „Summe“ aller benötigten Knoten
- ... und den Code

```
double tree_node::eval () const {
  if (op == '=') ...
  if (op == '+') ...
  ...
}
```

- Aber: Jedes *Objekt* (Instanz der Klasse) repräsentiert genau *einen* Knoten
- Objekte „spezialisieren sich selbst“ mittels `if`-Anweisungen

Nachteile I

- Datenrepräsentation: Speicherverschwendung
- Code: Implementierung der verschiedenen `eval`s (und `size`s, `copy`s, ...) in einer Memberfunktion

⇒ Erhöhte Komplexität macht den Code umständlicher und somit fehleranfälliger

Beobachtungen II

Szenario: Erweiterung des Ausdrucksbaumes um mathematische Funktionen, z.B. `abs`, `sin`, `avg`:

- Erweiterung der Klasse `tree_node` um noch mehr Membervariablen

```
struct tree_node {
    char op; // new: op = 'f' -> function
    ...
    std::string name; // function name;
    std::vector<tree_node*> children; // for avg
    ...
}
```


Beobachtungen II

Szenario: Erweiterung des Ausdrucksbaumes um mathematische Funktionen, z.B. `abs`, `sin`, `avg`:

- Anpassung jeder einzelnen Memberfunktion member function

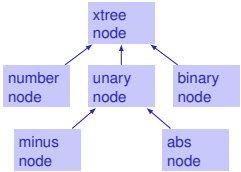
```
double eval () const
{   ...
    else if (op == 'f')
        if (name == "abs")
            return std::abs(right->eval());
    ...
}
```

Nachteile II

- Neue Knotentypen erfordern Modifikation des bereits existierenden Codes
- Konsequenzen:
  - ⇒ Code wird noch komplexer und fehleranfälliger
  - ⇒ Quellcode muss Kunden/Nutzern vorliegen (eigentlich: Verteilen einer Bibliothek als Headerdatei plus Objektdatei)

Vererbung: Die Idee

- Aufspaltung von `tree_node`
- „ist-ein“-Relation: `number_node` ist ein `xtree_node`
- Spezialisierung von oben nach unten: eine *abgeleitete Klasse*[1] darf mehr Funktionalität anbieten als ihre *Basisklasse*[2]
- Gemeinsame Eigenschaften verbleiben in allgemeineren („höheren“) Klassen



1) auch: Kind-/Unter-/Subklasse
2) auch: Eltern-/Ober-/Superklasse

Vererbung: Der Code

```
struct xtree_node {
  ...
  virtual int size() const = 0;
  virtual double eval() const = 0;
};

struct number_node : public xtree_node {
  double val;

  int size () const;
  double eval () const;
};
```

Erzwingt Impl. in Kindklassen

erbt von

Vererbung sichtbar

nur für `number_node`

Mitglieder von `xtree_node` werden von `number_node` implementiert

Vererbung: Nomenklatur

```
class A {
    ...
}

class B: public A{
    ...
}

class C: public B{
    ...
}
```

Basisklasse (Elternklasse, Superklasse)

Abgeleitete Klasse (Kindklasse, Subklasse)

„B und C *erben von* A“
„C erbt von B“

Aufgabenteilung: Der Zahlknoten

```
struct number_node: public xtree_node {
  double val;

  number_node (double v) : val (v) {}

  double eval () const {
    return val;
  }

  int size () const {
      return 1;
  }
};
```


Ein Zahlknoten ist ein Baumknoten...

- Ein (Zeiger auf ein) erbendes Objekt kann überall dort verwendet werden, wo ein (Zeiger auf ein) Basisobjekt gefordert ist, aber nicht umgekehrt.

```
number_node* num = new number_node (5);

xtree_node* tn = num; // ok, number_node is
                      // just a special xtree_node

xtree_node* bn = new add_node (tn, num); // ok

number_node* nn = tn; //error: invalid conversion
```


Polymorphie

```
struct xtree_node {
   ...
   virtual double eval() = 0;
};
...
double number_node::eval()
   {...}
```

```
xtree_node* n = new number_node(3);
std::cout << n->eval(); // 3
```

- Virtuelle Memberfunktionen: der *dynamische* Typ (Laufzeittyp) bestimmt die auszuführenden Memberfunktionen
- Ohne `virtual` wird der *statische Typ* zur Bestimmung der auszuführenden Funktion herangezogen

Wir vertiefen das nicht weiter

Aufgabenteilung: Binäre Knoten

```
struct binary_node: public xtree_node {
  xtree_node* left;
  xtree_node* right;

  binary_node (xtree_node* l, xtree_node* r)
    : left (l->copy()), right (r->copy())
  {
    assert (left);
    assert (right);
  }

  int size () const {
    return 1 + left->size() + right->size();
  }
};
```

`size` funktioniert für *alle* binären Knoten. Abgeleitete Klassen (`add_node`, `sub_node`...) *erben* diese Funktion!

Aufgabenteilung: +, −, ∗ ...

```
struct add_node: public binary_node {
  add_node (xtree_node* l, xtree_node* r)
    : binary_node(l, r) {}

  double eval () const {
    return left->eval() + right->eval();
  }
};
```

Delegiert Initialisierung an Superkonstruktor

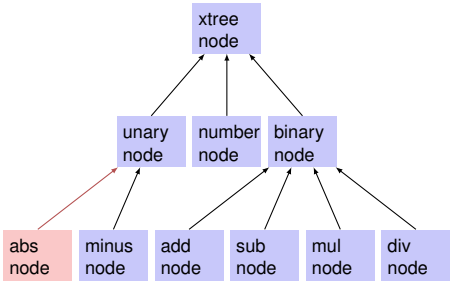
eval spezifisch für +

Aufgabenteilung: +, −, ∗ ...

```
struct sub_node: public binary_node {
  sub_node (xtree_node* l, xtree_node* r)
    : binary_node (l, r) {}

  double eval () const {
    return left->eval() - right->eval();
  }
};
```


Erweiterung um `abs` Funktion



Erweiterung um `abs` Funktion

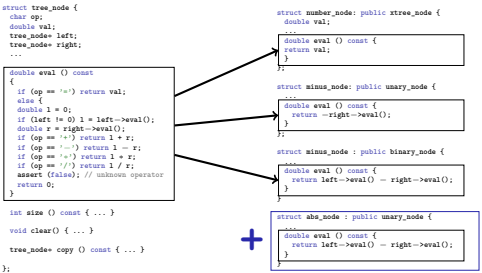
```
struct unary_node: public xtree_node {
  xtree_node* right;

  unary_node (xtree_node* r): right(r->copy()) {
    assert(right);
  }
  int size () const { return 1 + right->size(); }
};

struct abs_node: public unary_node {
  abs_node (xtree_node* arg): unary_node (arg) {}

  double eval () const {
    return std::abs (right->eval());
  }
};
```

Mission: Monolithisch $\rightarrow$ modular ✓



Zusammenfassung der Konzepte

.. der objektorientierten Programmierung

Kapselung (vorherigen beiden Vorlesungen)

- Verbergen der Implementierungsdetails von Typen (privater Bereich)
- Definition einer Schnittstelle zum Zugriff auf Werte und Funktionalität (öffentlicher Bereich)
- Ermöglicht das Sicherstellen von Invarianten und den Austausch der Implementierung

Zusammenfassung der Konzepte

.. der objektorientierten Programmierung

Vererbung

- Typen können Eigenschaften von Typen erben
- Abgeleitete Typen können neue Eigenschaften besitzen oder vorhandene überschreiben
- Macht Code- und Datenwiederverwendung möglich

Zusammenfassung der Konzepte

.. der objektorientierten Programmierung

Polymorphie

- Ein Zeiger (oder eine Referenz) kann abhängig von seiner Verwendung unterschiedliche zugrundeliegende Typen haben
- Die unterschiedlichen Typen können bei gleichem Zugriff auf ihre gemeinsame Schnittstelle verschieden reagieren
- Macht „nicht invasive“ Erweiterung von Bibliotheken möglich