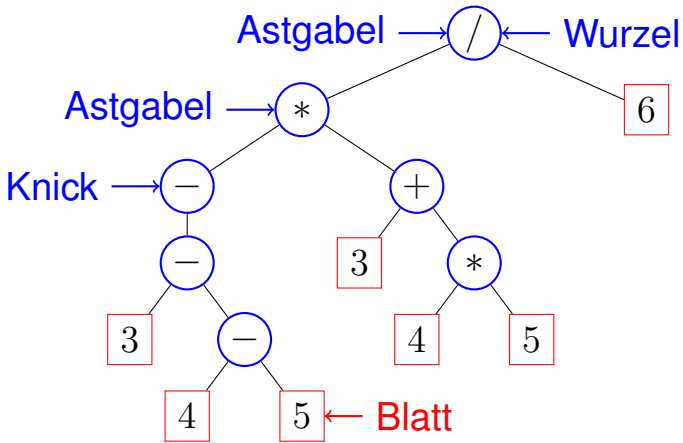
# 18. Vererbung und Polymorphie

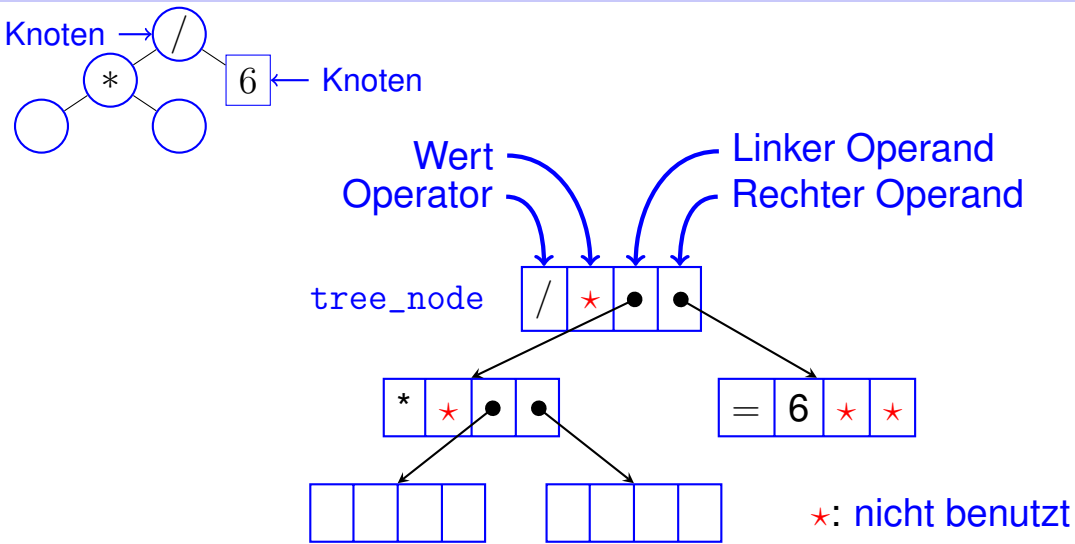
Ausdrucksbäume, Vererbung, Code-Wiederverwendung, virtuelle Funktionen, Polymorphie, Konzepte des objektorientierten Programmierens

# (Ausdrucks-)Bäume

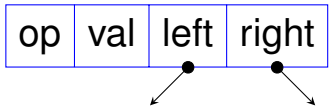
```
-(3-(4-5))*(3+4*5)/6
```



# Astgabeln + Blätter + Knicke = Knoten

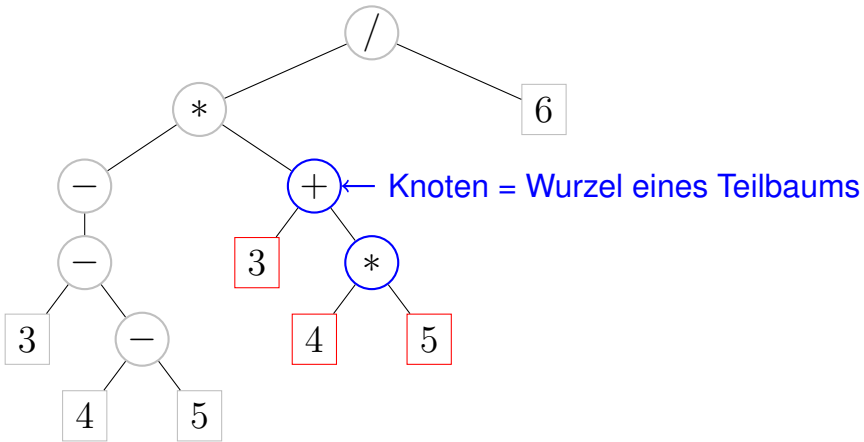


# Knoten (`struct tree_node`)




```
struct tree_node {
  char op;
  // leaf node (op: '=')
  double val;
  // internal node ( op: '+, '-', '*', '/')
  tree_node* left;
  tree_node* right;
  // constructor
  tree_node (char o, double v, tree_node* l, tree_node* r)
    : op (o), val (v), left (l), right (r)
  {}
};
```

# Knoten und Teilbäume



# Knoten in Teilbäumen zählen


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

# Teilbäume auswerten


```
struct tree_node {
  ...
  // POST: evaluates the subtree with root *this
  double 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;
  }
};
```

Blatt...

...oder Astgabel:

`op` unär, oder linker Ast

rechter Ast

# Teilbäume klonen


```
struct tree_node {
  ...
  // POST: a copy of the subtree with root *this is
  //       made, and a pointer to its root node is
  //       returned
  tree_node* copy () const {
    tree_node* to = new tree_node (op, val, 0, 0);
    if (left)
        to->left = left->copy();
    if (right)
        to->right = right->copy();
    return to;
  }
};
```

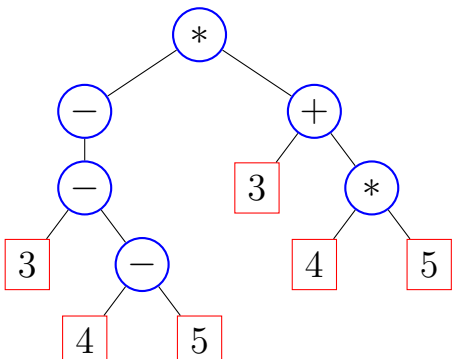
# Teilbäume klonen - Kompaktere Schreibweise


```
struct tree_node {
  ...
  // POST: a copy of the subtree with root *this is
  //       made, and a pointer to its root node is
  //       returned
  tree_node* copy () const {
     return new tree_node (op, val,
                           left ? left->copy() : 0,
                           right ? right->copy() : 0);
  }
};
```

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

# Teilbäume fällen

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

# Bäumige Teilbäume

```
struct tree_node {
  ...
  // constructor
  tree_node (char o, tree_node* l,
             tree_node* r, double v)

  // functionality
  double eval () const;
  void print (std::ostream& o) const;
  int size () const;
  tree_node* copy () const;
  void clear ();
};
```

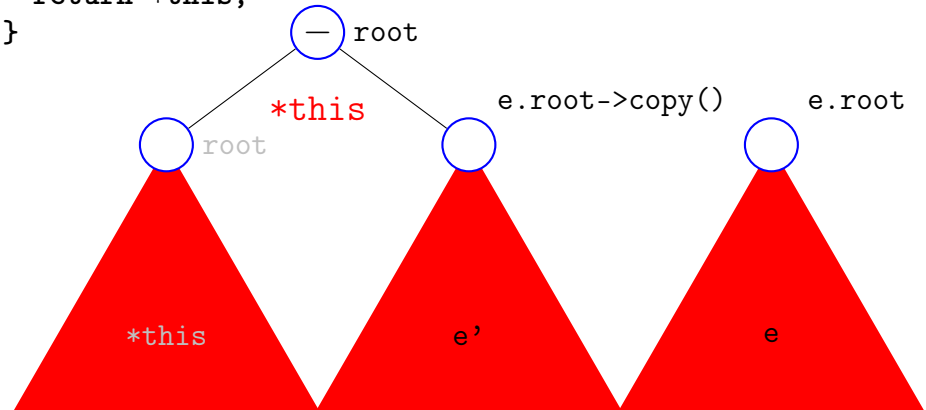
# Bäume pflanzen

```
class texpression {
private:
    tree_node* root;
public:
    ...
    texpression (double d)
        : root (new tree_node ('=', d, 0, 0)) {}
    ...
};
```

erzeugt Baum mit einem Blatt

# Bäume wachsen lassen

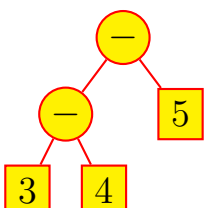
```
texpression& operator−= (const texpression& e)
{
  assert (e.root);
  root = new tree_node ('−', 0, root, e.root−>copy());
  return *this;
}
```



# Bäume züchten

```
texpression operator- (const texpression& l,
                       const texpression& r)
{
    texpression result = l;
    return result -= r;
}

texpression a = 3;
texpression b = 4;
texpression c = 5;
texpression d = a-b-c;
```



# Bäume züchten

Es gibt für `texpression` auch noch

- Default-Konstruktor, Copy-Konstruktor, Assignment-Operator, Destruktor
- die arithemtischen Zuweisungen `+=`, `*=`, `/=`
- die binären Operatoren `+`, `*`, `/`
- das unäre `-`

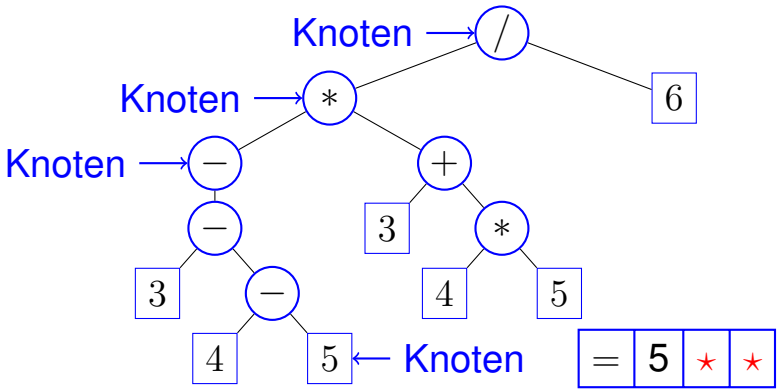
# Werte zu Bäumen!

```
typedef texpression value;
```

```
// term = factor | factor "*" term | factor "/" term.
value term (value v, char sign, std::istream& is){
  if (sign == '*')
    v *= factor(is);
  else if (sign == '/')
    v /= factor(is);
  else
    v = factor(is);
  char c = lookahead (is);
  if (c == '*' || c == '/')
    return term (v, c, is >> c);
  return v;
}
```

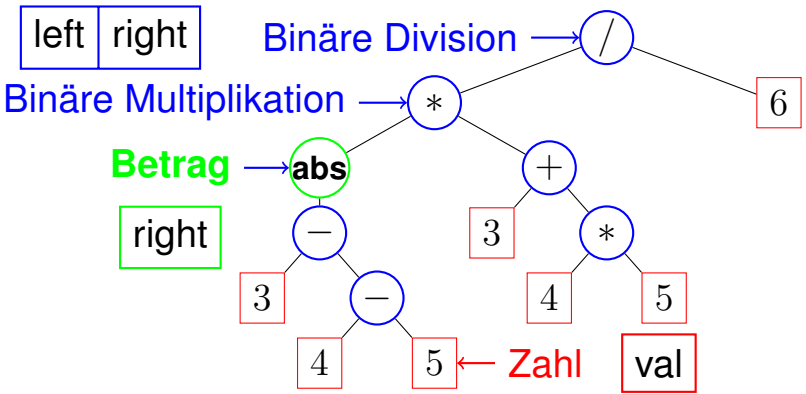
`calculator_1.cpp`
(Ausdruckswert)
$\rightarrow$
`texpression_calculator_1.cpp`
(Ausdrucksbaum)

# Motivation Vererbung: Bisher




- Astgabeln + Blätter + Knicke = Knoten
- $\Rightarrow$ Unbenutzte Membervariablen $\star$

# Motivation Vererbung: Die Idee




- Überall nur die benötigten Membervariablen!
- Zoo-Erweiterung mit neuen Knoten!

# Vererbung – Der Hack, zum ersten...

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

- Erweiterung der Klasse `tree_node` um noch mehr Membervariablen

```
struct tree_node{
    char op; // neu: op = 'f' -> Funktion
    ...
    std::string name; // function name;
}
```

Nachteile:

- Veränderung des Originalcodes (unerwünscht)
- Noch mehr unbenutzte Membervariablen...

# Vererbung – Der Hack, zum zweiten…

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

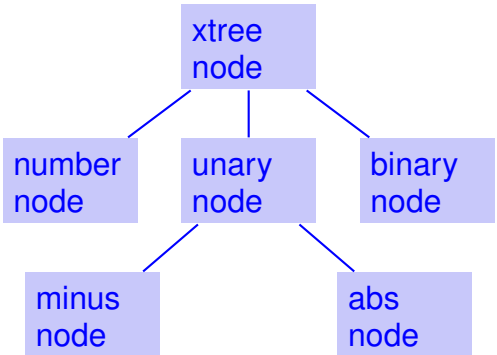
- Anpassung jeder einzelnen Memberfunktion

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

Nachteile:

- Verlust der Übersichtlichkeit
- Zusammenarbeit mehrerer Entwickler schwierig

# Vererbung – die saubere Lösung




- „Aufspaltung” von `tree_node`
- Gemeinsame Eigenschaften verbleiben in der *Basisklasse* `xtree_node` (Erklärung folgt)

# Vererbung

Klassen können Eigenschaften *(ver)erben*:

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

struct number_node : public xtree_node {
  double val;

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

erbt von

Vererbung sichtbar

nur für `number_node`

Mitglieder von `xtree_node` werden *überschrieben*

# Vererbung – Nomenklatur

```
class A {
    ...
}
```

Basisklasse
(Superklasse)

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

Abgeleitete Klasse
(Subklasse)

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

„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) abgeleitetes 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
```

# Anwendung

```
class xexpression {
private:
   xtree_node* root;
public:
    xexpression (double d)
      : root (new number_node (d)) {}

    xexpression& operator-= (const xexpression& t)
    {
      assert(t.root);
      root = new sub_node (root, t.root->copy());
      return *this;
    }
     ...
}
```

statischer Typ

dynamischer Typ

# Polymorphie

- Virtuelle Mitgliedsfunktion: der *dynamische* Typ bestimmt bei Zeigern auf abgeleitete Objekte die auszuführenden Memberfunktionen

```
struct xtree_node {
  virtual double eval();
...
};
```

- 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; // INV != 0
  xtree_node* right; // INV != 0

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

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

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

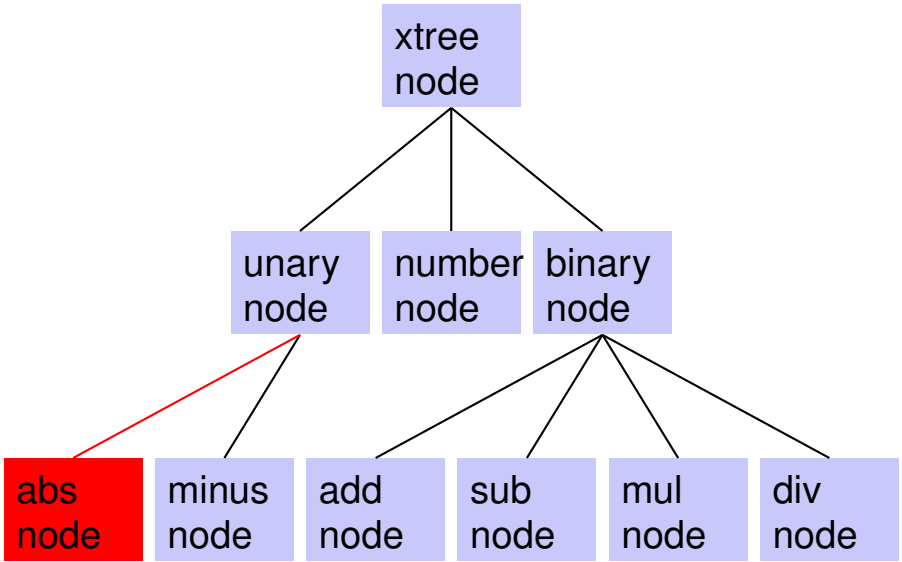
# Aufgabenteilung: +, −, * ...

```
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();
  }
};
```

`eval` spezifisch
für +, −, *, /

# Erweiterung um `abs` Funktion



# Erweiterung um `abs` Funktion

```
struct unary_node: public xtree_node
{
  xtree_node* right; // INV != 0
  unary_node (xtree_node* r);
  int size () const;
};

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

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

};
```

# Da ist noch was... Speicherbehandlung

```
struct xtree_node {
  ...
  // POST: a copy of the subtree with root
  //       *this is made, and a pointer to
  //       its root node is returned
  virtual xtree_node* copy () const;

  // POST: all nodes in the subtree with
  //        root *this are deleted
  virtual void clear () {};
};
```

# Da ist noch was...Speicherbehandlung

```
struct unary_node: public xtree_node {
  ...
  virtual void clear () {
    right->clear();
    delete this;
  }
};

struct minus_node: public unary_node {
  ...
  xtree_node* copy () const
  {
    return new minus_node (right->copy());
  }
};
```

# `xtree_node` ist kein dynamischer Datentyp ??

- Wir haben keine Variablen vom Typ `xtree_node` mit automatischer Speicherdauer
- Copy-Konstruktor, Zuweisungsoperator und Destruktor sind überflüssig
- Speicherverwaltung in der *Container-Klasse*

```
class xexpression {
  // Copy−Konstruktor
  xexpression (const xexpression& v);
  // Zuweisungsoperator
  xexpression& operator=(const xexpression& v);
  // Destruktor
  ~xexpression ();
};
```

`xtree_node::copy`

`xtree_node::clear`

# Mission: Monolithisch → modular ✓

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

  double eval () const
  {
    if (op == '=') return val;
    else {
    double l = 0;
    if (left != 0) 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;
    assert (false); // unknown operator
    return 0;
  }

  int size () const { ... }

  void clear() { ... }

  tree_node* copy () const { ... }

};
```

```
struct number_node: public xtree_node {
  double val;
  ...
  double eval () const {
  return val;
  }
};
```

```
struct minus_node: public unary_node {
  ...
  double eval () const {
    return -right->eval();
  }
};
```

```
struct minus_node : public binary_node {
  ...
  double eval () const {
    return left->eval() - right->eval();
  }
}
```

+

```
struct abs_node : public unary_node {
  ...
  double eval () const {
    return left->eval() - right->eval();
  }
}
```

# Zusammenfassung der Konzepte

.. der objektorientierten Programmierung

Kapselung

- 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 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.