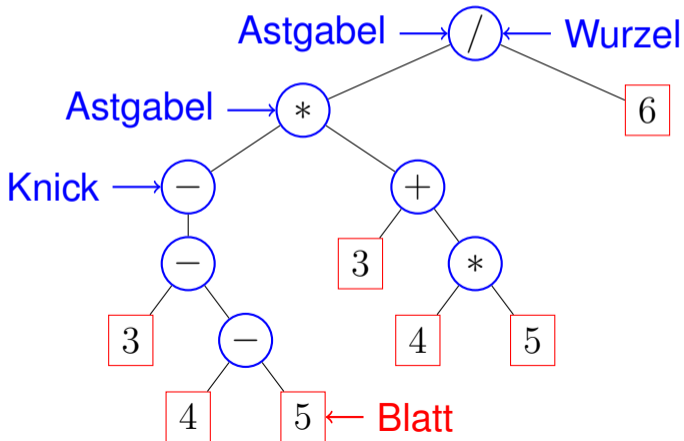


7. Vererbung und Polymorphie

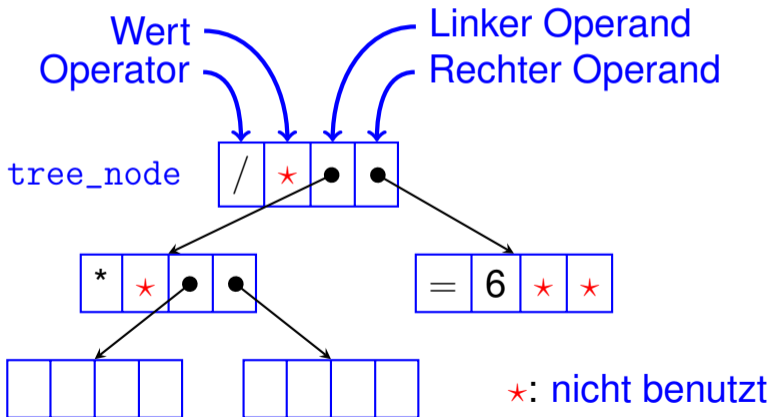
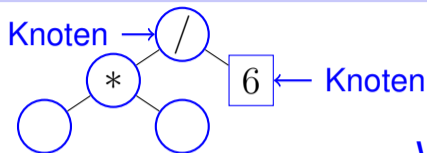
Ausdrucksbäume, Vererbung, Code-Wiederverwendung,
virtuelle Funktionen, Polymorphie, Konzepte des
objektorientierten Programmierens

(Ausdrucks-)Bäume

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

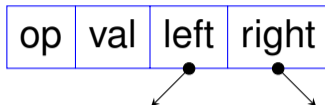


Astgabeln + Blätter + Knicke = Knoten



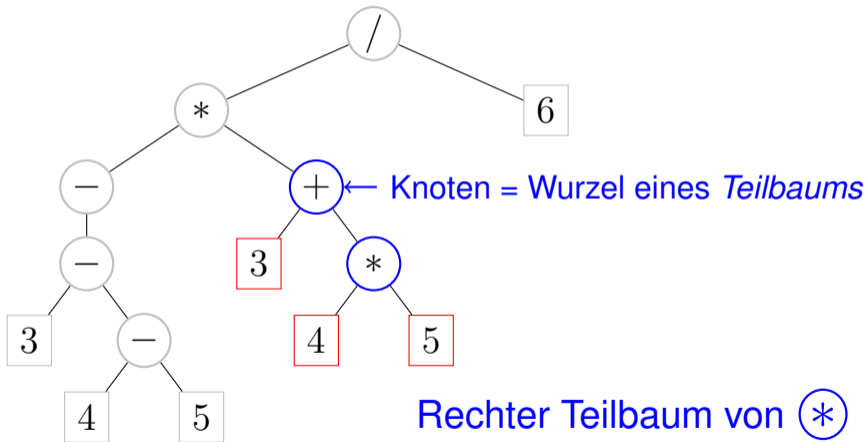
Knoten (struct tree_node)

tree_node



```
struct tree_node {
    char op;
    // leaf node (op: '=')
    double val;
    // internal node ( op: '+', '-', '*', '/')
    tree_node* left; // == 0 für unäres Minus
    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) // kurz für left != 0  
            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; ← Blatt...
```

```
    double l = 0;
```

...oder Astgabel:

```
    if (left) l = left->eval(); ← op unär, oder linker Ast
```

```
    double r = right->eval(); ← rechter Ast
```

```
    if (op == '+') return l + r;
```

```
    if (op == '-') return l - r;
```

```
    if (op == '*') return l * r;
```

```
    if (op == '/') return l / r;
```

```
    return 0;
```

```
}
```

```
};
```


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);  
    }  
};
```

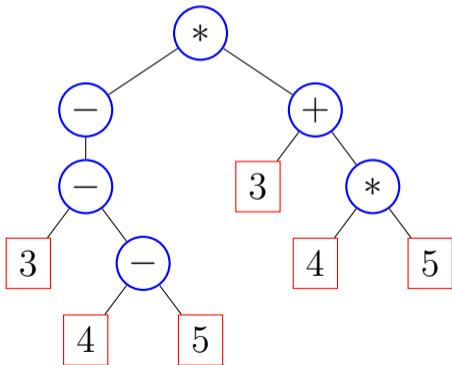


The diagram shows a horizontal box divided into four sections labeled 'op', 'val', 'left', and 'right'. Below the 'left' and 'right' sections, there are two small grey circles. From each circle, a grey arrow points downwards and outwards, representing pointers to the left and right subtrees respectively.

cond ? expr1 : expr2 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

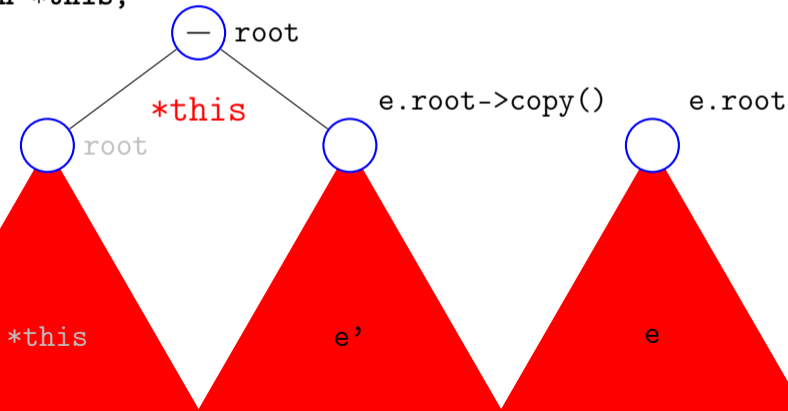
```
struct tree_node {  
    ...  
    // constructor  
    tree_node (char o, tree_node* l,  
               tree_node* r, double v)  
  
    // functionality  
    double eval () const;  
    void print (std::ostream& o) const;  
    int size () const;  
    tree_node* copy () const;  
    void clear ();  
};
```

Bäume pflanzen

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

Bäume wachsen lassen

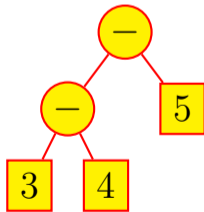
```
texpression& operator-= (const texpression& e)
{
    assert (e.root);
    root = new tree_node ('-', 0, root, e.root->copy());
    return *this;
}
```



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 arithematischen Zuweisungen `+=`, `*=`, `/=`
- die binären Operatoren `+`, `*`, `/`
- das unäre-

Werte zu Bäumen!

```
typedef texpression result_type; // Typ-Alias
```

```
// term = factor { "*" factor | "/" factor }
```

```
result_type term (std::istream& is){
```

```
{
```

```
    result_type value = factor (is);
```

```
    while (true) {
```

```
        if (consume (is, '*'))
```

```
            value *= factor (is);
```

```
        else if (consume (is, '/'))
```

```
            value /= factor (is);
```

```
        else
```

```
            return value;
```

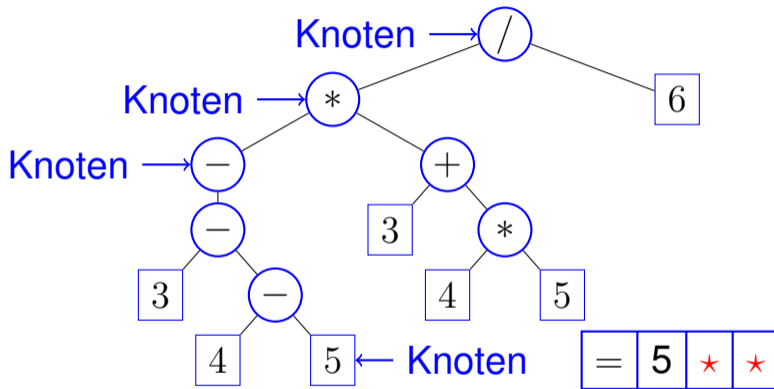
```
    }
```

```
}
```

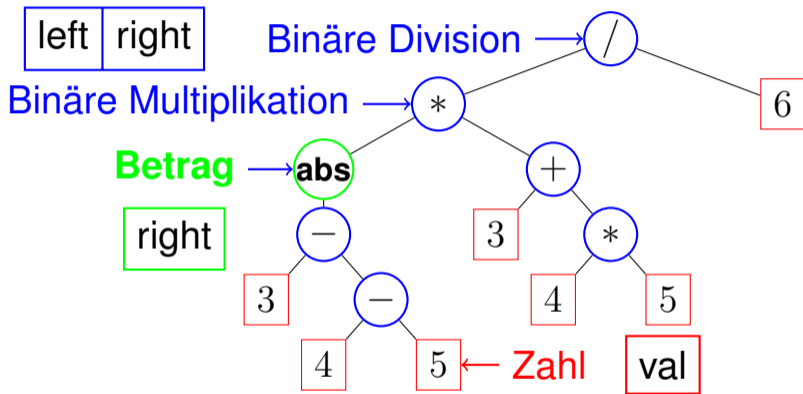
calculator.cppdouble_calculato
(Ausdruckswert)

→

texpression_calculator_1.cpp
(Ausdrucksbaum)



- Astgabeln + Blätter + Knicke = Knoten
- \Rightarrow Unbenutzte Membervariablen *



- 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`:

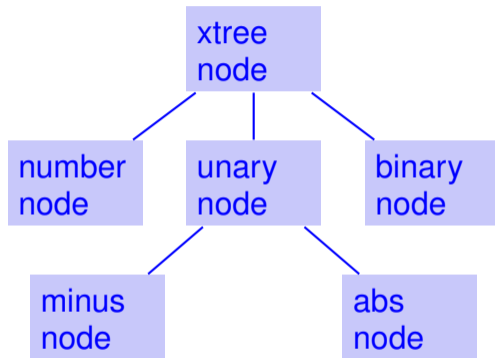
■ **Anpassung** jeder einzelnen Memberfunktion

```
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;  
};
```

erbt von

Vererbung sichtbar

```
struct number_node : public xtree_node {  
    double val; ← nur für number_node
```

```
int size () const;
```

```
double eval () const;
```

```
};
```

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. Abgeleitete Klassen (add_node, sub_node...) erben diese Funktion!

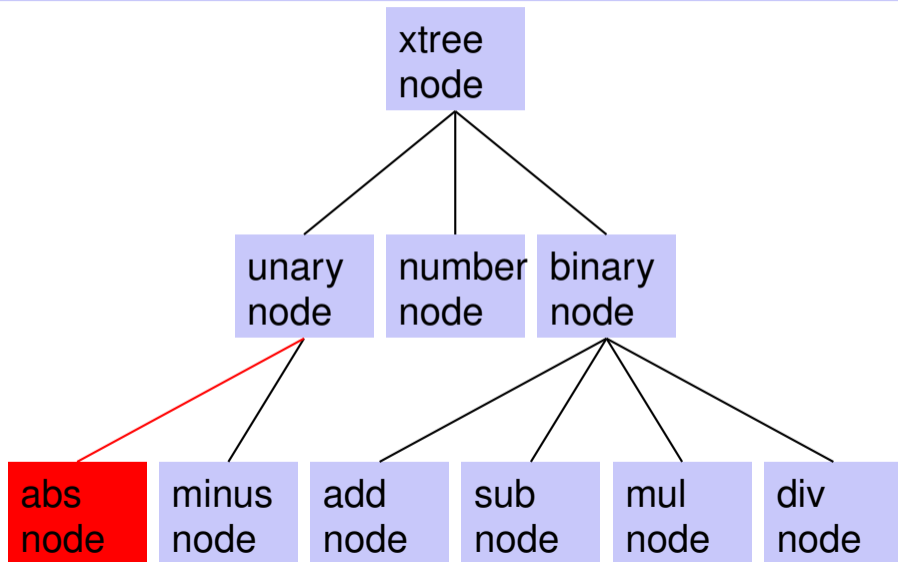


Aufgabenteilung: +, -, * ...

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

```
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.