



Wintersemester 2007/08

**Einführung in die Informatik für  
Naturwissenschaftler und Ingenieure  
(alias Einführung in die Programmierung)  
(Vorlesung)**

Prof. Dr. Günter Rudolph

Fakultät für Informatik

Lehrstuhl für Algorithm Engineering





---

## Kapitel 15: Schablonen

---

### Inhalt

- Motivation: Hashen von beliebigen Objekten
- Einführung von Schablonen / Templates
- ADT Liste (... schon wieder: jetzt aber wirklich als ADT)
- ADT HashTable mit Schablonen



## Kapitel 15: Schablonen

### Beispiel

Aufgabe:

- Hashen von komplexen Zahlen

Was ist zu tun?

- |                         |   |          |  |
|-------------------------|---|----------|--|
| 1. ADT Complex          | → | OK       | } Immer die gleichen Operationen, nur mit anderen Typen/Klassen! |
| 2. ADT ComplexList      | → | Gähn ... |  |
| 3. ADT ComplexHashTable | → | Gähn ... |  |

⇒ Wie beim „richtigen“ abstrakten Datentyp müsste der Typ / die Klasse der Anwendungsdaten ein **Parameter** der Klasse sein!





## Kapitel 15: Schablonen

### Auf die Schnelle ... → ADT Complex

```
class Complex {
protected:
    int fRe, fIm;
public:
    Complex() : fRe(0), fIm(0) { }
    Complex(int aRe) : fRe(aRe), fIm(0) { }
    Complex(int aRe, int aIm) : fRe(aRe), fIm(aIm) { }

    int Re() { return fRe; }
    int Im() { return fIm; }

    void Print() { std::cout << fRe << "+" << fIm << "*I"; }

    bool operator==(const Complex& c) {
        return fRe == c.fRe && fIm == c.fIm;
    }
}
```

← überladener  
Operator

*Fortsetzung nächste Folie*



## Kapitel 15: Schablonen

### Auf die Schnelle ... → ADT Complex

*Fortsetzung ...*

```
Complex operator+ (const Complex& c) {  
    return Complex(fRe + c.fRe, fIm + c.fIm);  
}  
Complex operator- (const Complex& c) {  
    return Complex(fRe - c.fRe, fIm - c.fIm);  
}  
Complex operator- () {  
    return Complex(-fRe, -fIm);  
}  
Complex operator* (const Complex& c) {  
    int re = fRe * c.fRe - fIm * c.fIm;  
    int im = fIm * c.fRe + fRe * c.fIm;  
    return Complex(re, im);  
}  
};
```

überladene  
Operatoren



## Kapitel 15: Schablonen

```
class IntList {
private:
    int elem;
    IntList *head;
    IntList *next;

    bool Contains(IntList *aList, int aElem);
    IntList *Delete(IntList *aList, int aElem);
    void Delete(IntList *aList);
    void Print(IntList *aList);

public:
    IntList();
    IntList(int aElem);

    void Insert(int aElem);
    bool Contains(int aElem);
    void Delete(int aElem);
    void Print();

    ~IntList();
};
```

### ADT ComplexList?

→ Wir analysieren  
erst einmal  
class IntList

**int** : Typ / Klasse  
der Nutzinformation



ersetzen durch  
**Complex**



ersetzen durch  
generischen Typ **T**



## Kapitel 15: Schablonen

Wie drückt man so etwas in C++ sprachlich aus?

```
template <class T>
class List {
protected:
    T        elem;
    List<T> *head;
    List<T> *next;

    bool Contains(List<T> *aList, T& aElem);
    List<T> *Delete(List<T> *aList, T& *aElem);
    void Delete(List<T> *aList);
    void Print(List<T> *aList);

public:
    /* und so weiter */
};
```

→ **Bedeutung:**  
Nachfolgende  
Konstruktion hat  
Klasse **T** als  
Parameter!

Nachfolgende  
Konstruktion ist  
**keine Klasse**,  
sondern Muster /  
Schablone einer  
Klasse.

Schablonen  
bzgl. Vererbung  
wie Klassen.

→ Echte Klassen werden **bei Bedarf** vom Compiler aus der Schablone erzeugt!



## Kapitel 15: Schablonen

### Was ändert sich bei der Implementierung?

Muss vor jeder  
Definition stehen!

Wird Name  
der Klasse.

```
template <class T> void List<T>::Insert(T& aElem) {  
    if (Contains(aElem)) return;  
    List<T> *newList = new List<T>(aElem);  
    newList->next = head;  
    head = newList;  
}
```

Konstruktor

⇒ auf diese Weise muss der gesamte Code von `IntList` verallgemeinert werden!





## Kapitel 15: Schablonen

### Was ändert sich bei der Implementierung?

öffentliche Methode:

```
template <class T> void List<T>::Print() {  
    Print(head);  
}
```

private überladene Methode:

```
template <class T> void List<T>::Print(List<T> *aList) {  
    static int cnt = 1;        // counter  
    if (aList != 0) {  
        Print(aList->elem); // war: cout << aList->elem;  
        cout << (cnt++ % 4 == 0) ? "\n" : "\t";  
        Print(aList->next);  
    }  
    else {  
        cnt = 1;  
        cout << "(end of list)" << endl;  
    }  
}
```

Print() ist  
überladene  
Hilfsfunktion

→ später



## Kapitel 15: Schablonen

### Was ändert sich bei der Implementierung?

öffentliche Methode:

```
template <class T>
bool List<T>::Contains(T& aElem) {
    return Contains(head, aElem);
}
```

private überladene Methode:

```
template <class T>
bool List<T>::Contains(List<T> *aList, T &aElem) {
    if (aList == 0) return false;
    if (Equal(aList->elem, aElem)) return true;
    return Contains(aList->next, aElem);
}
```

U.S.W.

**Equal(.,.)** ist überladene Hilfsfunktion! Alternative: Operator **==** überladen!



## Kapitel 15: Schablonen

### Anwendung

```
class IntList : public List<int> {  
public:  
    IntList() : List<int>() { }  
};
```

```
class ComplexList : public List<Complex> {  
public:  
    ComplexList() : List<Complex>() { }  
};
```

```
class StringList : public List<string> {  
public:  
    StringList() : List<string>() { }  
};
```

Wie funktioniert das?

Der Compiler erzeugt aus obigen Angaben und zugehöriger Schablone **automatisch** die Klassendeklaration und –definition!



## Kapitel 15: Schablonen

Was fehlt noch? → Hilfsfunktionen `Print` und `Equal`

```
void Print(int x) { cout << x; }  
void Print(float x) { cout << x; }  
void Print(string x) { cout << x; }  
void Print(Complex x) { x.Print(); }
```

} Operator <<  
ist überladen!

Ebenso ==

```
bool Equal(int x, int y) { return x == y; }  
bool Equal(float x, float y) { return x == y; }  
bool Equal(string x, string y) { return x == y; }  
bool Equal(Complex x, Complex y) { return x.Equal(y); }
```

Man könnte auch Operator `==` für `Complex` überladen!

⇒ Dann bräuchte Code in `Contains` etc. nicht geändert zu werden!



## Kapitel 15: Schablonen

---

### Erstes Fazit:

- + Code für Liste muss nur einmal formuliert werden: Wiederverwertbarkeit!
- + Mit dieser Technik kann man Listen für jeden Typ formulieren.
  - Man muss nur Konstruktor definieren und
  - ggf. die Hilfsfunktionen `Print` und `Equal` hinzufügen.
  - Anmerkung: copy-Konstruktor wäre auch sinnvoll. Warum?
  
- Verallgemeinerung des Codes kann mühsam werden.
- Operatoren müssen entweder überladen oder durch (überladene) Hilfsfunktionen ersetzt werden.



### ADT ComplexHashTable?

```
class AbstractHashTable {
private:
    IntList **table;
protected:
    int maxBucket;
public:
    AbstractHashTable(int aMaxBucket);
    virtual int Hash(int aElem) = 0;
    bool Contains(int aElem);
    void Delete(int aElem);
    void Insert(int aElem);
    void Print();
    ~AbstractHashTable();
};
```

→ Wir analysieren erst  
einmal die Klasse  
**AbstractHashTable**

**int / IntList** :  
spezialisierte Klassen  
der Nutzinformation



ersetzen durch  
**Schablonen**



**int** → **T&**  
**IntList** → **List<T>**



### HashTable als Schablone: Deklarationsschablone

```
template <class T>
class HashTableTemplate {
private:
    List<T> **table;
protected:
    int maxBucket;
public:
    HashTableTemplate(int aMaxBucket);
    virtual int Hash(T& aElem) = 0;
    bool Contains(T& aElem);
    void Delete(T& aElem);
    void Insert(T& aElem);
    void Print();
    ~HashTableTemplate();
};
```



### HashTable als Schablone: Definitionsschablone

Konstruktor

```
template <class T>
HashTableTemplate<T>::HashTableTemplate(int aMaxBucket) {
    maxBucket = aMaxBucket;
    table = new List<T> *[maxBucket];
    for (int i = 0; i < maxBucket; i++)
        table[i] = new List<T>();
}
```

Destruktor

```
template <class T>
HashTableTemplate<T>::~~HashTableTemplate() {
    for (int i = 0; i < maxBucket; i++)
        delete table[i];
    delete[] table;
}
```





### HashTable als Schablone: Definitionsschablone

```
template <class T>
void HashTableTemplate<T>::Insert(T& aElem) {
    table[Hash(aElem)]->Insert(aElem);
}
template <class T>
void HashTableTemplate<T>::Delete(T& aElem) {
    table[Hash(aElem)]->Delete(aElem);
}
template <class T>
bool HashTableTemplate<T>::Contains(T& aElem) {
    return table[Hash(aElem)]->Contains(aElem);
}
template <class T>
void HashTableTemplate<T>::Print() {
    for (int i = 0; i < maxBucket; i++)
        table[i]->Print();
}
```



### Instantiierung der Schablone

```
class IntHashTable : public HashTableTemplate<int> {
public:
    IntHashTable(int aMaxBucket);
    int Hash(int& aElem);
};

class ComplexHashTable : public HashTableTemplate<Complex> {
public:
    ComplexHashTable(int aMaxBucket);
    int Hash(Complex& aElem);
};
```



### Instantiierung der Schablone

```
IntHashTable::IntHashTable(int aMaxBucket)
    : HashTableTemplate<int>(aMaxBucket) {}

int IntHashTable::Hash(int& aElem) {
    return aElem % maxBucket;
}

/*****/

ComplexHashTable::ComplexHashTable(int aMaxBucket)
    : HashTableTemplate<Complex>(aMaxBucket) {}

int ComplexHashTable::Hash(Complex& aElem) {
    int h1 = aElem.Re() % maxBucket;
    int h2 = aElem.Im() % maxBucket;
    return (h1 + 19 * h2) % maxBucket;
}
```



## Kapitel 15: Schablonen

### Test

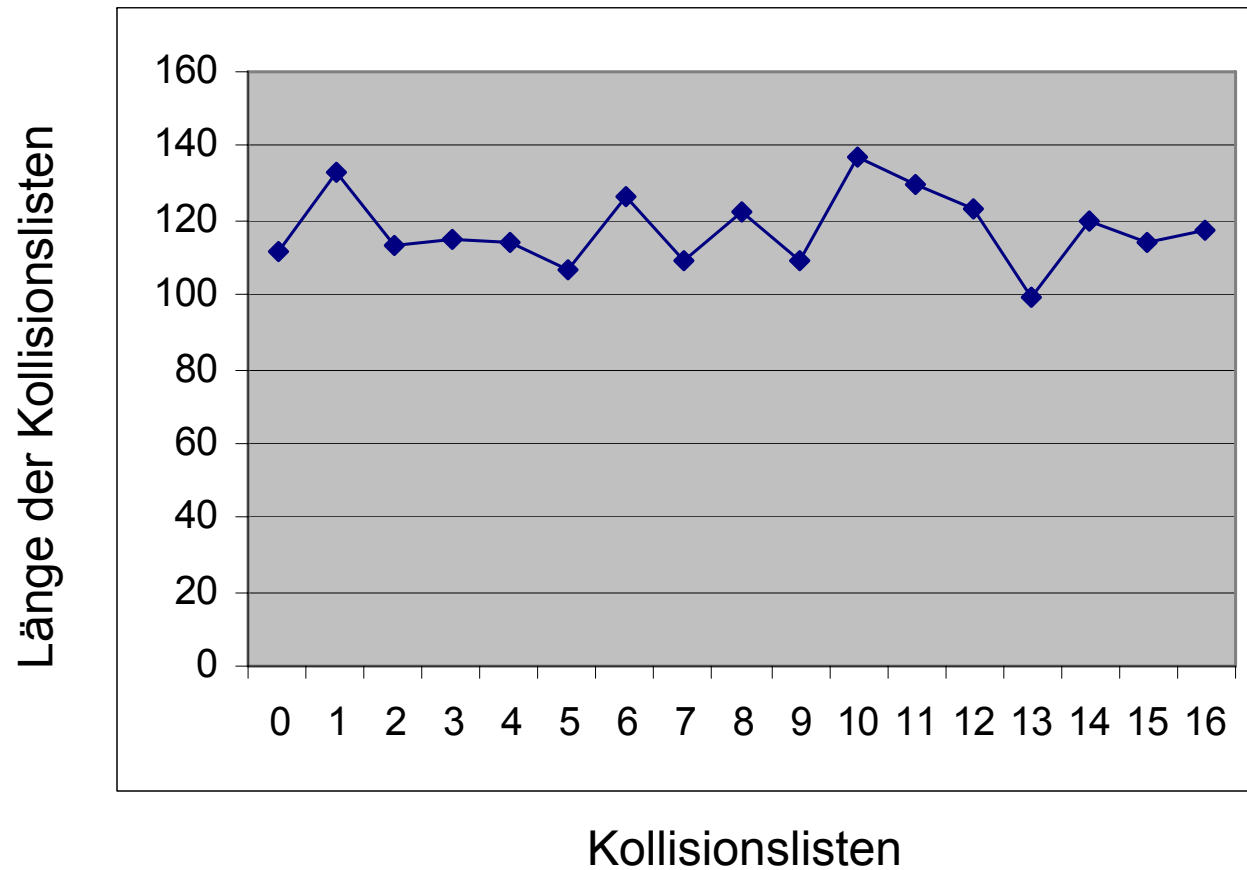
```
int main() {
    ComplexHashTable cht(17);
    Complex a[400];
    int k = 0;
    for (int i = 0; i < 2000; i++) {
        Complex elem(rand(), rand());
        if (i % 5 == 0) a[k++] = elem;
        cht.Insert(elem);
    }
    int hits = 0;
    for (int i = 0; i < 400; i++)
        if (cht.Contains(a[i])) hits++;
    cout << "Treffer: " << hits << endl;
}
```

Ausgabe: Treffer: 400



## Kapitel 15: Schablonen

### Test





### Rückblick

- Wir haben spezielle Klassen `IntList` und `HashTable` (für `int`) analysiert und
- verallgemeinert für beliebige Typen mit der Technik der Schablonen.
- Eine Hashtabelle für einen beliebigen Typ erhält man jetzt durch
  - Ableiten von der Schablone,
  - Angabe des Konstruktors (und ggf. des Destruktors),
  - Spezifikation der typ-spezifischen Hash-Funktion.



## Kapitel 15: Schablonen

### Achtung:

Eine Schablone muss in einer Übersetzungseinheit **definiert** (oder inkludiert) werden, wenn dort diese Schablone instantiiert wird ...

... natürlich **vor** der Instantiierung!

⇒ Organisation des Codes (insbesondere die Inklusionen) gut überdenken!

### Beispiel:

`main.cpp`

`Complex.h`

`ListCollection.*`

`HashCollection.*`

`List.*`

`HashTable.*`

Hauptprogramm

Komplexe Zahlen (`inline`)

Instantiierungen der Schablone `List`

Instantiierungen der Schablone `HashTable`

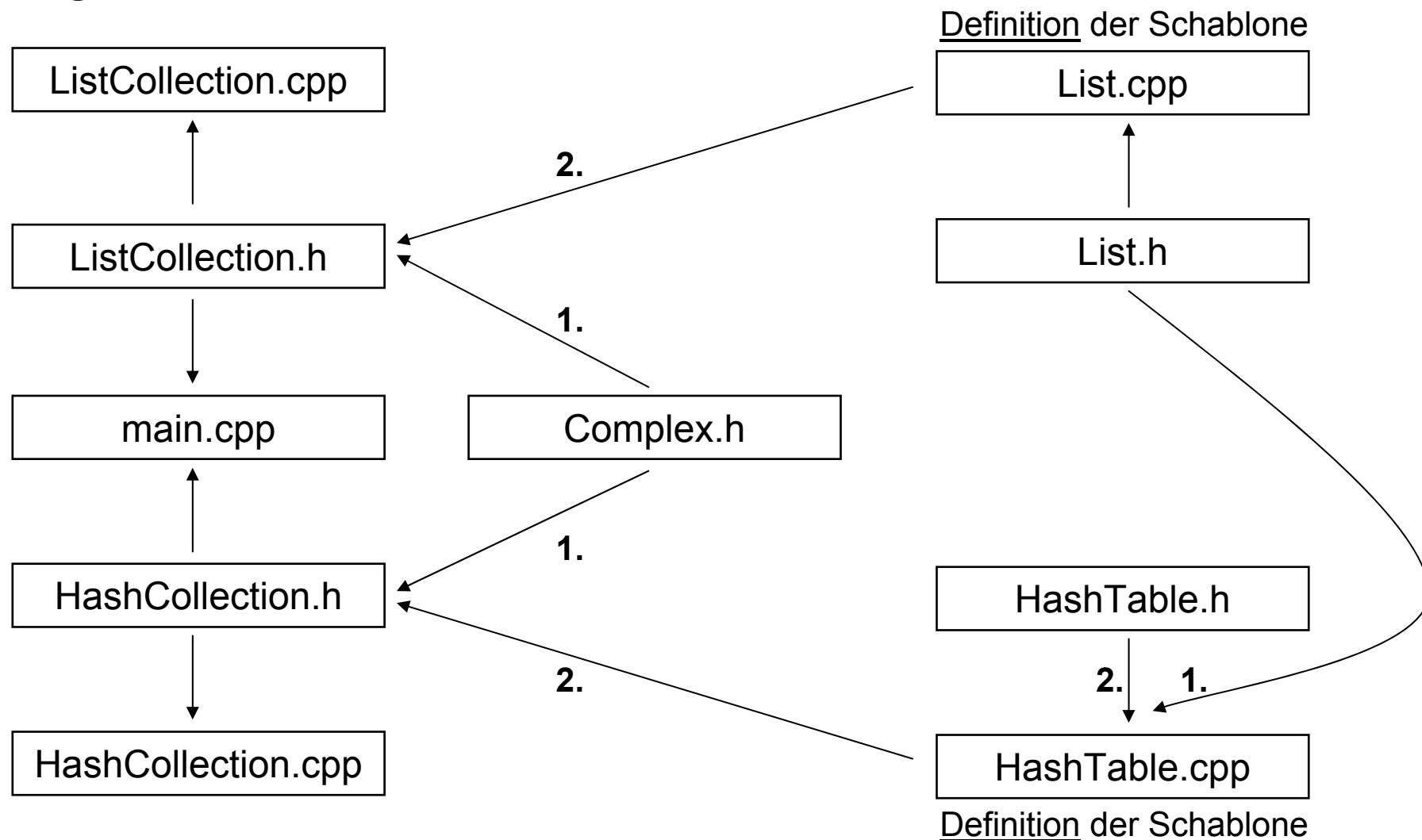
Schablone `List`

Schablone `HashTable`



## Kapitel 15: Schablonen

### Organisation des Codes







### Hashing von Binärbäumen

⇒ sinnvoll, da totale Ordnung auf Binärbäumen nicht offensichtlich

```
class BST {
protected:
    BST *fRoot;
private:
    BST *Insert(BST*, int);
public:
    BST() { fRoot = 0; }
    int fValue;
    BST *fLeft, *fRight;
    void Insert(int aValue) {
        fRoot = Insert(fRoot, aValue);
    }
};
```

#### Annahme:

Die Klasse `BST`  
(**binary search tree**)  
ist in Bibliothek gegeben.

⇒ Nicht veränderbar!

#### Aber:

Für Hash-Schablone  
werden Methoden  
`Equal` und `Print`  
benötigt!



### Implementierung (zur Erinnerung)

```
BST *BST::Insert(BST* aTree, int aValue) {
    if (aTree == 0) {
        BST *node = new BST;
        node->fValue = aValue;
        node->fLeft = node->fRight = 0;
        return node;
    }

    if (aTree->fValue > aValue)
        aTree->fLeft = Insert(aTree->fLeft, aValue);
    else if (aTree->fValue < aValue)
        aTree->fRight = Insert(aTree->fRight, aValue);

    return aTree;
}
```

} rekursiv



## Kapitel 15: Schablonen

### Wie können Methoden `Equal` und `Print` hinzugefügt werden?

1. Erweiterung der Klasse `BST` um diese Methoden.

⇒ Geht nicht, da als Bibliotheksklasse unveränderbar!

2. Ableiten von Klasse `BST` und Methoden hinzufügen.

⇒ **Gute Idee!**

### **Bemerkung:**

Hier werden nur Methoden und keine Attribute hinzugefügt.



## Kapitel 15: Schablonen

### Die neue Klasse BinTree

```
class BinTree : public BST {
private:
    bool Equal(BinTree*, BinTree*);

public:
    BinTree() : BST() { }

    bool Equal(BinTree *aTree) {
        return Equal((BinTree*) fRoot, aTree->GetRoot());
    }

    void Print() { /* to do */ };

    BinTree *GetRoot() { return (BinTree*) fRoot; }
};
```

cast-Operation:

fRoot ist Typ BST\*,  
wird durch cast  
zum Typ BinTree\*



## Kapitel 15: Schablonen

### Die neue Klasse BinTree

```
bool BinTree::Equal(BinTree* L, BinTree* R) {  
    if (L == 0) return (R == 0);  
    if (R == 0) return false;  
    if (L->fValue != R->fValue) return false;  
  
    BinTree *LL, *LR, *RR, *RL;  
    LL = (BinTree*) L->fLeft;  
    LR = (BinTree*) L->fRight;  
    RL = (BinTree*) R->fLeft;  
    RR = (BinTree*) R->fRight;  
    return Equal(LL, RL) && Equal(LR, RR);  
}
```

Abbruch-  
bedingungen

cast

Rekursion



## Kapitel 15: Schablonen

### Die neue Klasse `BinTree`: Nachtrag

⇒ Eine Methode, die einen Hashwert für einen Baum liefert, wäre nützlich!

public:

```
int Hash() { return Hash((BinTree*)fRoot); }
```



private:

```
int BinTree::Hash(BinTree* B) {  
    const c = 275604541; // large prime number  
    if (B == 0) return 0;  
    int hl = Hash((BinTree*)B->fLeft);  
    int hr = Hash((BinTree*)B->fRight);  
    int h = (hl * 17 + hr) % c;  
    return (h * 23 + B->fValue) % c;  
}
```



## Kapitel 15: Schablonen

### Instantiierung der Schablone List und HashTable

```
class BinTreeList : public List<BinTree> {  
public:  
    BinTreeList();  
};
```

ListCollection.h

```
BinTreeList::BinTreeList() : List<BinTree>() {}
```

ListCollection.cpp

```
class BinTreeHashTable : public HashTableTemplate<BinTree> {  
public:  
    BinTreeHashTable(int aMaxBucket);  
    int Hash(BinTree& aElem);  
};
```

```
BinTreeHashTable::BinTreeHashTable(int aMaxBucket)  
    : HashTableTemplate<BinTree>(aMaxBucket) {}
```

```
int BinTreeHashTable::Hash(BinTree& aElem) {  
    return aElem.Hash() % maxBucket;  
}
```



### Rückblick

1. Schablonen für Listen und HashTabellen waren vorhanden
2. Klasse **BST** (binary search tree) war in Bibliothek vorhanden
3. Definition der Klasse **BinTree** durch Ableiten von **BST**
  - a) Methode **Equal**
  - b) Methode **Print**
  - c) Methode **Hash**
4. Instanzieren der Schablonen für Liste und HashTabelle
  - a) Definition der Konstruktoren
  - b) Methode **Hash** (unter Verwendung von **Hash** der Klasse **BinTree**)





### Ergänzungen

- **Anonyme Klassen**

→ Instantiierung einer Schablone ohne Ableiten

```
List<double> dblList; dblList.Insert(23.5);
```

sinnvoll, wenn nur selten oder temporär benutzt;

lästig, wenn Übergabetyp bei Parametern;

dann häufige Notlösung: `typedef`

Bsp: `typedef List<double> DoubleList;`

- **Funktions-Schablonen**

```
→ template <class T> void sort(vector<T>&);  
void f(vector<int>&vi, vector<string>& vs) {  
    sort(vi); sort(vs);  
}
```