

14. Klassen

Klassen, Memberfunktionen, Konstruktoren, Stapel, verkettete Liste, dynamischer Speicher, Copy-Konstruktor, Zuweisungsoperator, Destruktor, Konzept Dynamischer Datentyp

Datenkapselung: public / private

```
class rational {  
    int n;  
    int d; // INV: d != 0  
};
```

Gute Nachricht: `r.d = 0` aus Versehen geht nicht mehr

Schlechte Nachricht: Der Kunde kann nun gar nichts mehr machen...

Anwendungscode:

... und wir auch nicht
(kein operator+,...)

```
rational r;  
r.n = 1; // error: n is private  
r.d = 2; // error: d is private  
int i = r.n; // error: n is private
```

Memberfunktionen: Deklaration

```
class rational {  
public:  
    // POST: return value is the numerator of *this  
    int numerator () const {  
        return n; Memberfunktion  
    }  
    // POST: return value is the denominator of *this  
    int denominator () const {  
        return d; Memberfunktionen haben Zugriff auf private Daten  
    }  
private:  
    int n;  
    int d; // INV: d != 0 Gültigkeitsbereich von Mem-  
bern in einer Klasse ist die  
ganze Klasse, unabhängig  
von der Deklarationsreihen-  
folge  
};
```

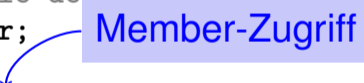
öffentlicher Bereich

Memberfunktionen: Aufruf

```
// Definition des Typs
class rational {
    ...
};
...
// Variable des Typs
rational r;

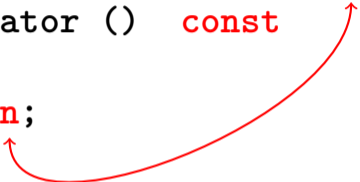
int n = r.numerator(); // Zaehler
int d = r.denominator(); // Nenner
```

Member-Zugriff



Memberfunktionen: Definition

```
// POST: returns numerator of *this
int numerator () const
{
    return n;
}
```



- Eine Memberfunktion wird für einen Ausdruck der Klasse aufgerufen. In der Funktion: `*this` ist der Name dieses impliziten Arguments. `this` selbst ist ein Zeiger darauf.
- Das `const` bezieht sich auf `*this`, verspricht also, dass das implizite Argument nicht im Wert verändert wird.
- `n` ist Abkürzung in der Memberfunktion für `(*this).n`

This rational vs. dieser Bruch

So würde es aussehen ...

```
class rational {
    int n;
    ...

    int numerator () const
    {
        return (*this).n;
    }
};

rational r;
...
std::cout << r.numerator();
```

... ohne Memberfunktionen

```
struct bruch {
    int n;
    ...
};

int numerator (const bruch* dieser)
{
    return (*dieser).n;
}

bruch r;
..
std::cout << numerator(&r);
```

Member-Definition: In-Class vs. Out-of-Class

```
class rational {  
    int n;  
    ...  
  
    int numerator () const  
    {  
        return n;  
    }  
    ....  
};
```

- Keine Trennung zwischen Deklaration und Definition (schlecht für Bibliotheken)

```
class rational {  
    int n;  
    ...  
  
    int numerator () const;  
    ...  
};  
  
int rational::numerator () const  
{  
    return n;  
}
```

- So geht's auch.

Konstruktoren

- sind spezielle *Memberfunktionen* einer Klasse, die den Namen der Klasse tragen.
- können wie Funktionen überladen werden, also in der Klasse mehrfach, aber mit verschiedener *Signatur* vorkommen.
- werden bei der Variablendeklaration wie eine Funktion aufgerufen. Der Compiler sucht die „naheliegendste“ passende Funktion aus.
- wird kein passender Konstruktor gefunden, so gibt der Compiler eine *Fehlermeldung* aus.

Initialisierung? Konstruktoren!

```
class rational
{
public:
    rational (int num, int den)
        : n (num), d (den) ← Initialisierung der
                               Membervariablen
    {
        assert (den != 0); ← Funktionsrumpf.
    }
    ...
};
...
rational r (2,3); // r = 2/3
```

Konstruktoren: Aufruf

- direkt

```
rational r (1,2); // initialisiert r mit 1/2
```

- indirekt (Kopie)

```
rational r = rational (1,2);
```

Initialisierung “rational = int”?

```
class rational
{
public:
    rational (int num)
        : n (num), d (1)
    {} ← Leerer Funktionsrumpf
    ...
};
...
rational r (2); // Explizite Initialisierung mit 2
rational s = 2; // Implizite Konversion
```

Benutzerdefinierte Konversionen


sind definiert durch Konstruktoren mit genau *einem* Argument

```
rational (int num) ←  
    : n (num), d (1)  
    {}
```

Benutzerdefinierte Konversion von `int` nach `rational`. Damit wird `int` zu einem Typ, dessen Werte nach `rational` konvertierbar sind.

```
rational r = 2; // implizite Konversion
```

Der Default-Konstruktor

```
class rational
{
public:    Leere Argumentliste
    ...
    rational () 
        : n (0), d (1)
    {}

    ...
};

...
rational r;    // r = 0
```

⇒ Es gibt keine uninitialisierten Variablen mehr!

Der Default-Konstruktor

- wird automatisch aufgerufen bei Deklarationen der Form `rational r;`
- ist der eindeutige Konstruktor mit leerer Argumentliste (falls existent)
- muss existieren, wenn `rational r;` kompilieren soll
- wenn in einem Struct keine Konstruktoren definiert wurden, wird der Default-Konstruktor automatisch erzeugt (wegen der Sprache C)

RAT PACK[®] Reloaded ...

Kundenprogramm sieht nun so aus:

```
// POST: double approximation of r
double to_double (const rational r)
{
    double result = r.numerator();
    return result / r.denominator();
}
```

- Wir können die Memberfunktionen zusammen mit der Repräsentation anpassen. ✓

RAT PACK[®] Reloaded ...

vorher

```
class rational {  
    ...  
private:  
    int n;  
    int d;  
};
```

```
int numerator () const  
{  
    return n;  
}
```

nachher

```
class rational {  
    ...  
private:  
    unsigned int n;  
    unsigned int d;  
    bool is_positive;  
};
```

```
int numerator () const{  
    if (is_positive)  
        return n;  
    else {  
        int result = n;  
        return -result;  
    }  
}
```


RAT PACK[®] Reloaded ?

```
class rational {  
    ...  
private:  
    unsigned int n;  
    unsigned int d;  
    bool is_positive;  
};
```

```
int numerator () const  
{  
    if (is_positive)  
        return n;  
    else {  
        int result = n;  
        return -result;  
    }  
}
```

- Wertebereich von Zähler und Nenner wieder wie vorher
- Dazu noch möglicher Überlauf

Datenkapselung noch unvollständig

Die Sicht des Kunden (rational.h):

```
class rational {
public:
    // POST: returns numerator of *this
    int numerator () const;
    ...
private:
    // soll mich nicht interessieren
};
```

- Wir legen uns auf Zähler-/Nennertyp `int` fest.
- Lösung: Nicht nur Daten, auch **Typen** kapseln (Handout).

Fix: “Unser” Typ `rational::integer`

Die Sicht des Kunden (`rational.h`):

```
public:  
    typedef int integer; // might change  
    // POST: returns numerator of *this  
    integer numerator () const;
```

- Wir stellen einen eigenen Typ zur Verfügung!
- Festlegung nur auf **Funktionalität**, z.B.:
 - implizite Konversion `int` \rightarrow `rational::integer`
 - Funktion `double to_double (rational::integer)`

RAT PACK[®] Revolutions

Endlich ein Kundenprogramm, das stabil bleibt:

```
// POST: double approximation of r
double to_double (const rational r)
{
    rational::integer n = r.numerator();
    rational::integer d = r.denominator();
    return to_double (n) / to_double (d);
}
```

Deklaration und Definition getrennt

```
class rational {  
public:  
    rational (int num, int denum);  
    typedef int integer;  
    integer numerator () const;  
    ...  
private:  
    ...  
};
```

```
rational::rational (int num, int den):  
    n (num), d (den) {}  
rational::integer rational::numerator () const  
{  
    return n;  
}
```

rational.h

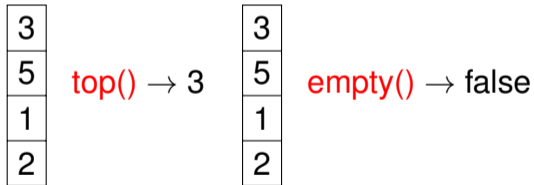
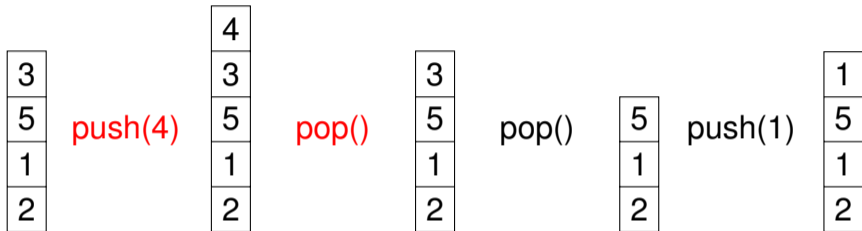
rational.cpp

Klassenname

::

Membername

Stapel (push, pop, top, empty)



Ziel: Bau einer
Stapel-Klasse!

Frage: wie schaffen wir bei
push neuen Platz auf dem
Stapel?

Wir brauchen einen neuen Container!

Container bisher: Felder (`T []`, `std::vector<T>`)

- Zusammenhängender Speicherbereich, wahlfreier Zugriff (auf i -tes Element)
- Simulation eines Stapels durch ein Feld?
- Nein, irgendwann ist das Feld “voll.”

top



Hier hört vielleicht ein anderes Feld auf, kein `push(3)` möglich!

Felder können wirklich nicht alles...

- Einfügen oder Löschen von Elementen „in der Mitte“ ist aufwändig.

1	5	6	3	8	9	3	3	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

↑
8

Wollen wir hier einfügen, müssen wir alles rechts davon verschieben (falls da überhaupt noch Platz ist!)

Felder können wirklich nicht alles...

- Das Einfügen oder Löschen von Elementen „in der Mitte“ ist aufwändig.

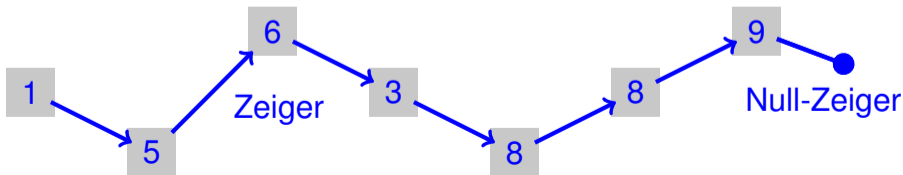
1	5	6	3	8	8	9	3	3	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



Wollen wir hier löschen,
müssen wir alles rechts
davon verschieben

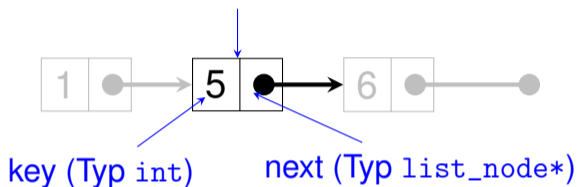
Der neue Container: Verkettete Liste

- *Kein* zusammenhängender Speicherbereich und *kein* wahlfreier Zugriff
- Jedes Element “kennt” seinen Nachfolger
- Einfügen und Löschen beliebiger Elemente ist einfach, *auch am Anfang der Liste*
- \Rightarrow Ein Stapel kann als Liste realisiert werden



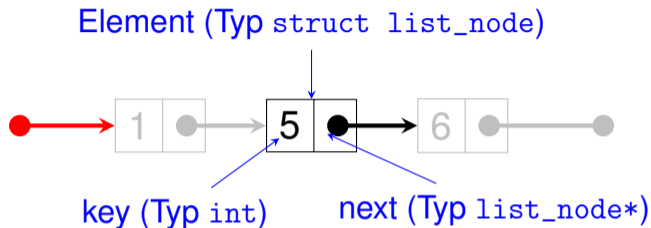
Verkettete Liste: Zoom

Element (Typ struct list_node)



```
struct list_node {  
    int          key;  
    list_node*  next;  
    // constructor  
    list_node (int k, list_node* n)  
        : key (k), next (n) {}  
};
```

Stapel = Zeiger aufs oberste Element

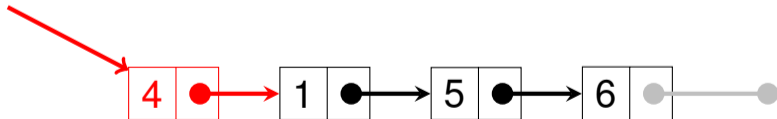


```
class stack {  
public:  
    void push (int value) {...}  
    ...  
private:  
    list_node* top_node;  
};
```

Sneak Preview: push(4)

```
void push (int value)
{
    top_node = new list_node (value, top_node);
}
```

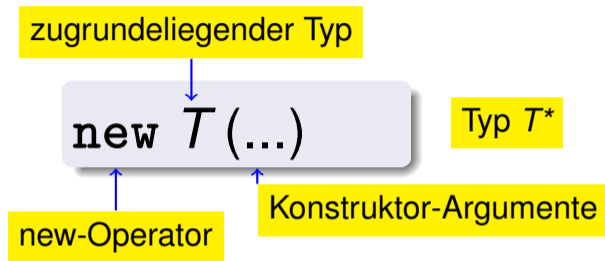
top_node



Dynamischer Speicher

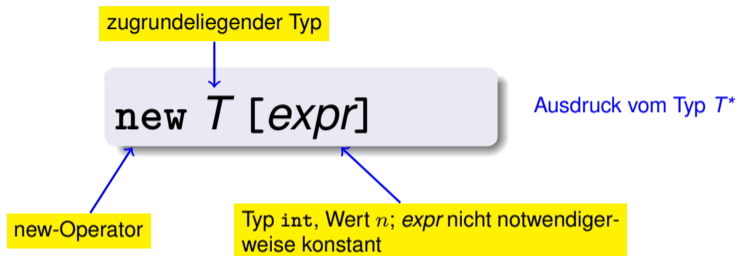
- Für dynamische Datenstrukturen wie Listen benötigt man *dynamischen Speicher*
- Bisher wurde die Grösse des Speicherplatzes für Variablen zur *Compilezeit* festgelegt
- Zeiger erlauben das Anfordern neuen Speichers zur *Laufzeit*
- Dynamische Speicherverwaltung in C++ mit Operatoren `new` und `delete`

Der `new`-Ausdruck



- **Effekt:** Neues Objekt vom Typ T wird im Speicher angelegt
...
- ... und mit Hilfe des passenden Konstruktors initialisiert.
- **Wert:** Adresse des neuen Objekts

Der `new`-Ausdruck für Felder

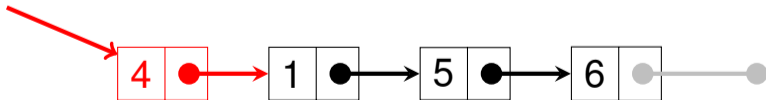


- Neuer Speicher für ein Feld der Länge n mit zugrundeliegendem Typ T wird angelegt
- Wert des Ausdrucks ist Adresse des ersten Elements des Feldes

- **Effekt:** Neues Objekt vom Typ T wird im Speicher angelegt
...
- ... und mit Hilfe des passenden Konstruktors initialisiert.
- **Wert:** Adresse des neuen Objekts

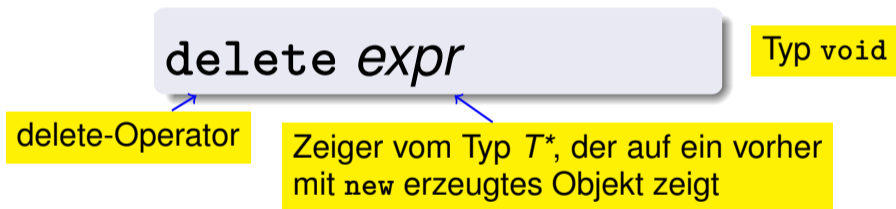
```
top_node = new list_node (value, top_node);
```

top_node



Der delete-Ausdruck

Objekte, die mit `new` erzeugt worden sind, haben *dynamische Speicherdauer*: sie “leben”, bis sie explizit *gelöscht* werden.



- **Effekt:** Objekt wird gelöscht, Speicher wird wieder freigegeben

Der delete-Ausdruck für Felder

`delete [] expr`

Typ `void`

delete-Operator

Zeiger vom Typ T^* , der auf ein vorher mit `new` erzeugtes **Feld** verweist

- **Effekt:** Feld wird gelöscht, Speicher wird wieder freigegeben

Aufpassen mit `new` und `delete`!

```
rational* t = new rational; ← Speicher für t wird angelegt
rational* s = t; ← Auch andere Zeiger können auf das Objekt zeigen..
delete s; ← ... und zur Freigabe verwendet werden.
int nominator = (*t).denominator(); ← Fehler: Speicher freigegeben!
```

↑
Dereferenzieren eines „dangling pointers“

- Zeiger auf freigegebene Objekte: hängende Zeiger (*dangling pointers*)
- Mehrfache Freigabe eines Objektes mit `delete` ist ein ähnlicher schwerer Fehler.
- `delete` kann leicht vergessen werden: Folge sind Speicherlecks (*memory leaks*). Kann auf Dauer zu Speicherüberlauf führen.

Wer geboren wird, muss sterben...

Richtlinie “Dynamischer Speicher”

Zu jedem `new` gibt es ein passendes `delete`!

Nichtbeachtung führt zu *Speicherlecks*:

- “Alte” Objekte, die den Speicher blockieren...
- ... bis er irgendwann voll ist (**heap overflow**)

Weiter mit dem Stapel:

pop()

```
void pop()
{
    assert (!empty());
    list_node* p = top_node;
    top_node = top_node->next;
    delete p;
}
```

Abkürzung für `(*top_node).next`

top_node

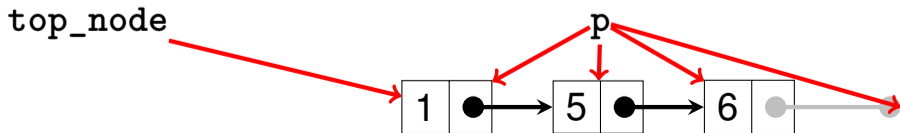
p



Stapel traversieren:

print()

```
void print (std::ostream& o) const
{
    const list_node* p = top_node;
    while (p != 0) {
        o << p->key << " "; // 1 5 6
        p = p->next;
    }
}
```



Stapel ausgeben:

operator<<

```
class stack {
public:
    void push (int value) {...}
    ...
    void print (std::ostream& o) const {...}
private:
    list_node* top_node;
};

// POST: s is written to o
std::ostream& operator<< (std::ostream& o, const stack& s)
{
    s.print (o);
    return o;
}
```


Leerer Stapel , empty(), top()

```
stack()      // Default-Konstruktor
    : top_node (0)
{}

bool empty () const
{
    return top_node == 0;
}

int top () const
{
    assert (!empty());
    return top_node->key;
}
```

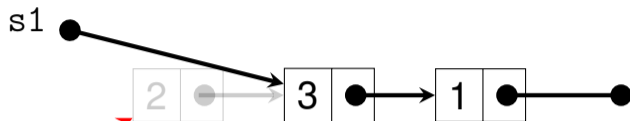
```
stack s1;  
s1.push (1);  
s1.push (3);  
s1.push (2);  
std::cout << s1 << "\n"; // 2 3 1
```

```
stack s2 = s1;  
std::cout << s2 << "\n"; // 2 3 1
```

```
s1.pop ();  
std::cout << s1 << "\n"; // 3 1
```

```
s2.pop (); // Oops, Programmabsturz!
```

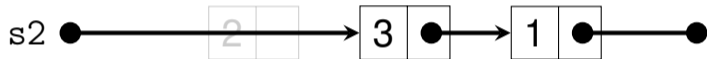
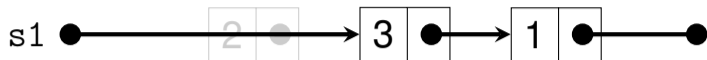
Was ist hier schiefgegangen?



Memberweise Initialisierung: kopiert nur den `top_node`-Zeiger

```
...  
stack s2 = s1;  
std::cout << s2 << "\n"; // 2 3 1  
  
s1.pop ();  
std::cout << s1 << "\n"; // 3 1  
  
s2.pop (); // Oops, Programmabsturz!
```

Wir brauchen eine echte Kopie!



...

```
stack s2 = s1;
```

```
std::cout << s2 << "\n"; // 2 3 1
```

```
s1.pop ();
```

```
std::cout << s1 << "\n"; // 3 1
```

```
s2.pop (); // ok
```

Der Copy-Konstruktor

- Der Copy-Konstruktor einer Klasse T ist der eindeutige Konstruktor mit Deklaration

$$T(\text{const } T\& x);$$

- wird automatisch aufgerufen, wenn Werte vom Typ T mit Werten vom Typ T *initialisiert* werden

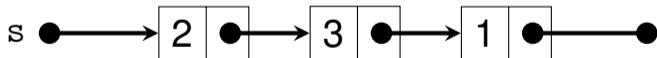
$$T\ x = t; \quad (t \text{ vom Typ } T)$$
$$T\ x(t);$$

- Falls kein Copy-Konstruktor deklariert ist, so wird er automatisch erzeugt (und initialisiert memberweise – Grund für obiges Problem)

Mit dem Copy-Konstruktor klappt's!

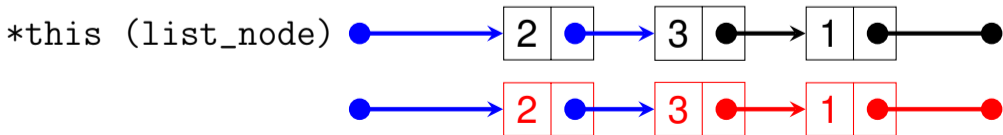
Hier wird eine Kopierfunktion des `list_node` benutzt:

```
// POST: *this wird mit einer Kopie von s initialisiert
stack (const stack& s)
: top_node (0)
{
  if (s.top_node != 0)
    top_node = s.top_node->copy();
}
```



Die (rekursive) Kopierfunktion von list_node

```
// POST: pointer to a copy of the list starting
//       at *this is returned
list_node* copy () const
{
    if (next != 0)
        return new list_node (key), next->copy();
    else
        return new list_node (key, 0);
}
```



Initialisierung \neq Zuweisung!

```
stack s1;  
s1.push (1);  
s1.push (3);  
s1.push (2);  
std::cout << s1 << "\n"; // 2 3 1
```

```
stack s2;  
s2 = s1; // Zuweisung
```

```
s1.pop ();  
std::cout << s1 << "\n"; // 3 1  
s2.pop (); // Oops, Programmabsturz!
```


Der Zuweisungsoperator

- Überladung von `operator=` als Memberfunktion
- Wie Copy-Konstruktor ohne Initialisierer, aber zusätzlich
 - Freigabe des Speichers für den „alten“ Wert
 - Prüfen auf Selbstzuweisungen (`s1=s1`), die keinen Effekt haben sollen
- Falls kein Zuweisungsoperator deklariert ist, so wird er automatisch erzeugt (und weist memberweise zu – Grund für obiges Problem)

Mit dem Zuweisungsoperator klappt's!

Hier wird eine Aufräumfunktion des `list_node` benutzt:

```
// POST: *this (linker Operand) wird zu Kopie von s (rechter Operand)
stack& operator= (const stack& s)
{
    if (top_node != s.top_node) { // keine Selbstzuweisung!
        if (top_node != 0) {
            top_node->clear(); // loesche Knoten in *this
            top_node = 0;
        }
        if (s.top_node != 0)
            top_node = s.top_node->copy(); // kopiere s nach *this
        }
    return *this; // Rueckgabe als L-Wert (Konvention)
}
```

Die (rekursive) Aufräumfunktion des list_node

```
// POST: the list starting at *this is deleted
void clear ()
{
    if (next != 0)
        next->clear();
    delete this;
}
```



Zombie-Elemente

```
{  
  stack s1; // lokale Variable  
  s1.push (1);  
  s1.push (3);  
  s1.push (2);  
  std::cout << s1 << "\n"; // 2 3 1  
}  
// s1 ist gestorben (ungueltig geworden)...
```

- ... aber die drei *Elemente* des Stapels s1 leben weiter (Speicherleck)!
- Sie sollten zusammen mit s1 aufgeräumt werden!

Der Destruktor

- Der Destruktor einer Klasse T ist die eindeutige Memberfunktion mit Deklaration

$$\sim T ();$$

- Wird automatisch aufgerufen, wenn die Speicherdauer eines Klassenobjekts endet
- Falls kein Destruktor deklariert ist, so wird er automatisch erzeugt und ruft die Destruktoren für die Membervariablen auf (Zeiger `top_node`, kein Effekt – Grund für Zombie-Elemente)

Mit dem Destruktor klappt's!

```
// POST: Der dynamische Speicher von *this wird geloescht
~stack()
{
    if (top_node != 0)
        top_node->clear();
}
```

- löscht automatisch alle Stapelemente, wenn der Stapel ungültig wird
- Unsere Stapel-Klasse befolgt jetzt die Richtlinie “Dynamischer Speicher”!

Dynamischer Datentyp

- Typ, der dynamischen Speicher verwaltet (z.B. unsere Klasse für Stapel)
 - Andere Anwendungen:
 - Listen (mit Einfügen und Löschen “in der Mitte”)
 - Bäume (nächste Woche)
 - Warteschlangen
 - Graphen
 - Mindestfunktionalität:
 - Konstruktoren
 - Destruktor
 - Copy-Konstruktor
 - Zuweisungsoperator
- Dreierregel: definiert eine Klasse eines davon, so sollte sie auch die anderen zwei definieren!