18. 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;
  }
  // POST: return value is the denominator of *this
  int denominator () const {
    return d;
  }
private:
   int n;
   int d; // INV: d!= 0
};
```

öffentlicher Bereich

Memberfunktion

Memberfunktionen haben Zugriff auf private Daten

Gültigkeitsbereich von Membern in einer Klasse ist die ganze Klasse, unabhängig von der Deklarationsreihenfolge

Memberfunktionen: Aufruf

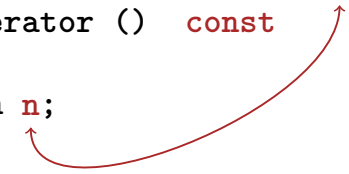
```
// Definition des Typs
class rational {
    ...
};
...
// Variable des Typs
rational r;

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)
    {
        assert (den != 0);
    }
...
};
...
rational r (2,3); // r = 2/3
```

Initialisierung der Membervariablen

Funktionsrumpf.

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)
    {}
...
};
...
rational r (2);    // Explizite Initialisierung mit 2
rational s = 2;    // Implizite Konversion
```

Leerer Funktionsrumpf

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:
    ...
    rational ()
       : n (0), d (1)
    {}
...
};
...
rational r;     // r = 0
```

Leere Argumentliste

⇒ Es gibt keine uninitialisierten Variablen vom Typ rational 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:
  // none of my business
};
```

- 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` → `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

rational.h

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

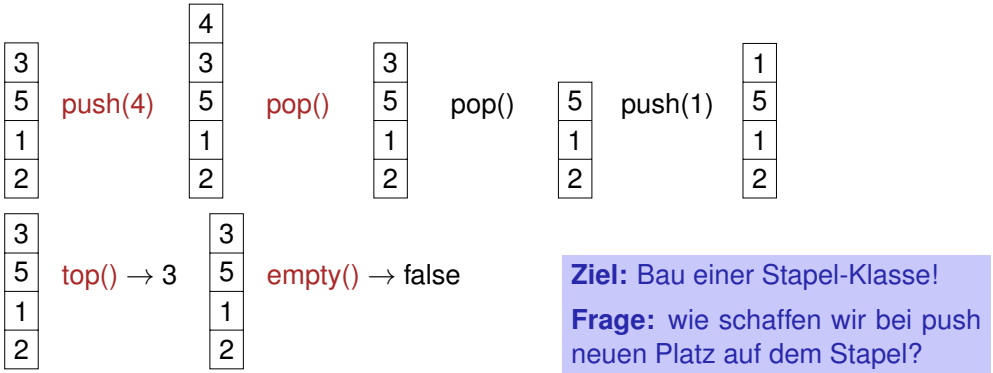
rational.cpp

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

Klassenname :: Membername

Motivation: Stapel

Motivation: Stapel (`push, pop, top, empty`)



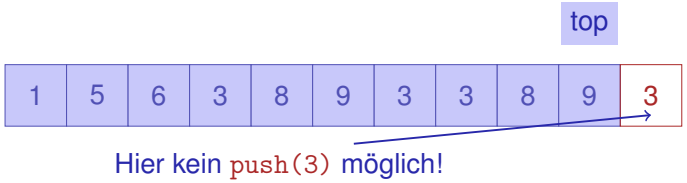
Ziel: Bau einer Stapel-Klasse!

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

Wir brauchen einen neuen Container!

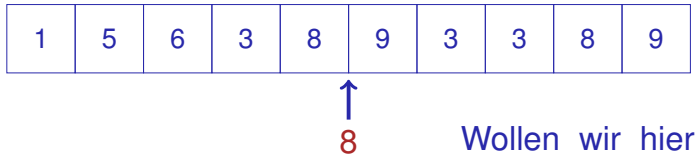
Unser Haupt-Container bisher: Array (`T[]`)

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



Arrays können wirklich nicht alles...

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



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

Arrays können wirklich nicht alles...

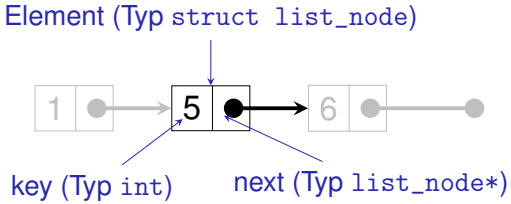
- Einfügen oder Löschen von Elementen „in der Mitte” ist aufwändig.

Wollen wir hier löschen, müssen wir alles rechts davon verschieben

Der neue Container: Verkettete Liste

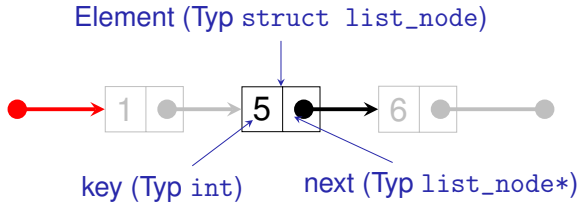
- *Kein* zusammenhängender Speicherbereich und *kein* wahlfreier Zugriff
- Jedes Element “kennt” seinen Nachfolger
- Einfügen und Löschen beliebiger Elemente ist einfach, *auch am Anfang der Liste*
- $\Rightarrow$ Ein Stapel kann als verkettete Liste realisiert werden

Verkettete Liste: Zoom




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

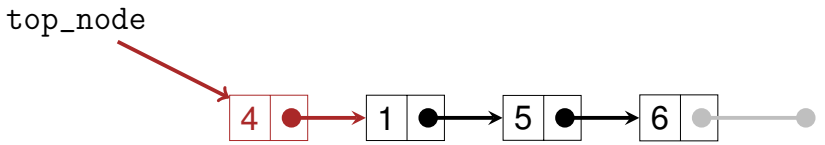
Stapel = Zeiger aufs oberste Element




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


Sneak Preview: push(4)

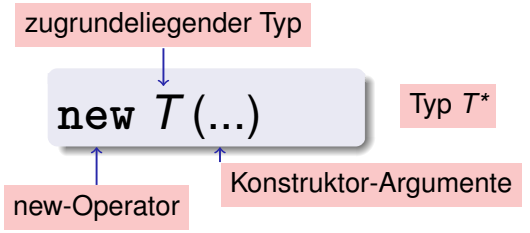
```
void push (int value)
{
  top_node = new list_node (value, top_node);
}
```



Dynamischer Speicher

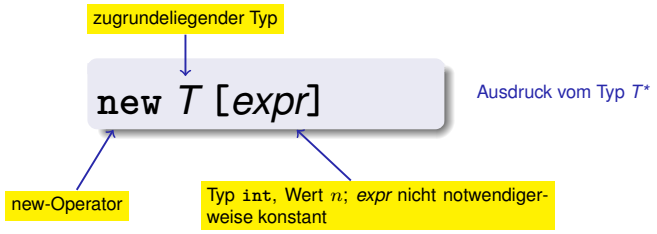
- Für dynamische Datenstrukturen wie Listen benötigt man *dynamischen Speicher*
- Bisher wurde die Grösse des Speicherplatzes für Variablen zur *Compilezeit* festgelegt
- Zeiger erlauben das Anfordern neuen Speichers zur *Laufzeit*
- Dynamische Speicherverwaltung in C++ mit Operatoren `new` und `delete`

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

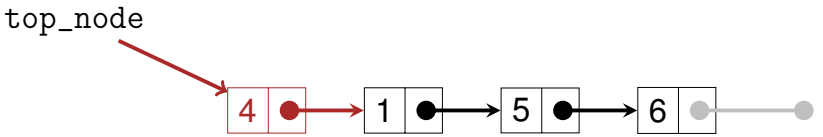


- Neuer Speicher für ein Feld der Länge n mit zugrundeliegendem Typ *T* wird angelegt
- Wert des Ausdrucks ist Adresse des ersten Elements des Feldes

Der `new`-Ausdruck: `push(4)`

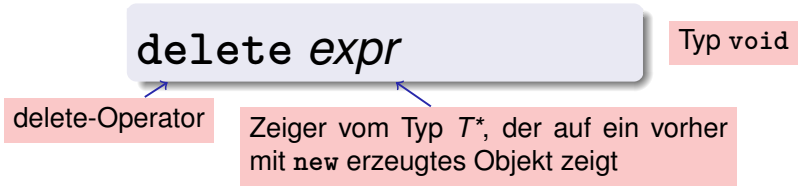
- **Effekt:** Neues Objekt vom Typ *T* wird im Speicher angelegt ...
- ... und mit Hilfe des passenden Konstruktors initialisiert.
- **Wert:** Adresse des neuen Objekts

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



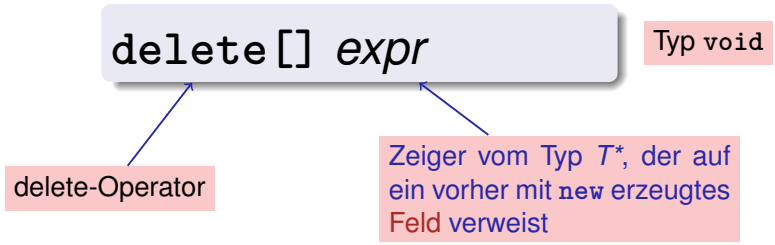
Der `delete`-Ausdruck

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



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

Aufpassen mit `new` und `delete`!

```
rational* t = new rational;
rational* s = t;
delete s;
int nominator =  (*t).denominator();
```

Speicher für t wird angelegt

Auch andere Zeiger können auf das Objekt zeigen..

... und zur Freigabe verwendet werden.

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`!

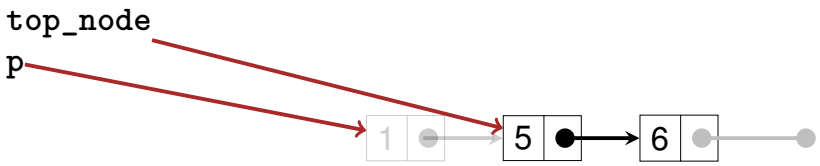
Nichtbeachtung führt zu *Speicherlecks*:

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

Weiter mit dem Stapel: `pop()`

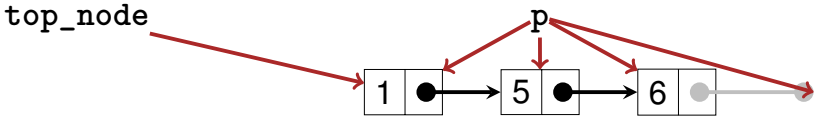
```
void pop()
{
    assert (!empty());
    list_node* p = top_node;
    top_node = top_node->next;
    delete p;
}
```

Abkürzung für `(*top_node).next`



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 constructor
   : top_node (0)
{}

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

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


Stapel fertig? Offenbar noch nicht...

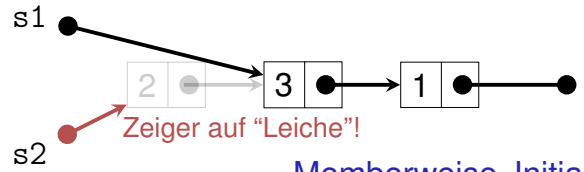
```
stack s1;
s1.push (1);
s1.push (3);
s1.push (2);
std::cout << s1 << "\n"; // 2 3 1

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?



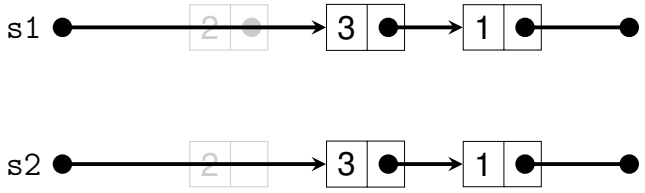
Memberweise Initialisierung: kopiert nur den top_node-Zeiger

```
...
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 (`const` *T*`&` x);
- wird automatisch aufgerufen, wenn Werte vom Typ *T* mit Werten vom Typ `T` *initialisiert* werden

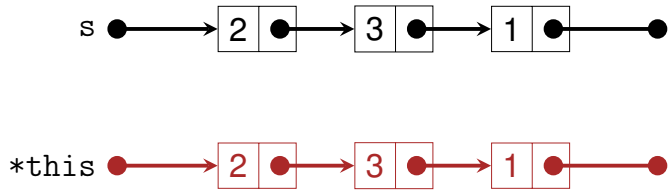
  T `x = t;` (t vom Typ T)

  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!

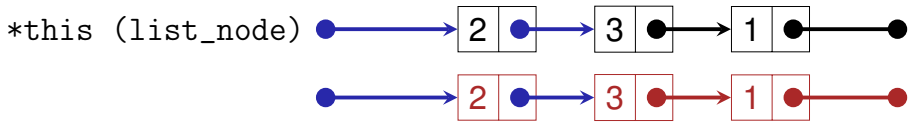
Hier wird eine Kopierfunktion des `list_node` benutzt:

```
// POST: *this is initialized with a copy of s
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 (left operand) is getting a copy of s (right operand)
stack& operator= (const stack& s)
{
  if (top_node != s.top_node) { // keine Selbtszuweisung!
    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; // local variable
  s1.push (1);
  s1.push (3);
  s1.push (2);
  std::cout << s1 << "\n"; // 2 3 1
}
// s1 has died (become invalid)...
```

- ... 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: the dynamic memory of *this is deleted
~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!