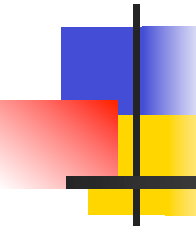
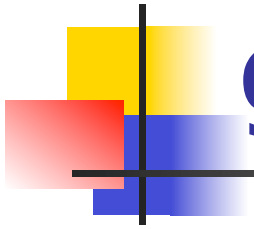


Dynamische Datentypen

Listen; Funktionalität, Copy-Konstruktor, Zuweisungsoperator, Destruktor, Konzept Dynamischer Datentyp

Container für eine Folge gleichartiger Daten

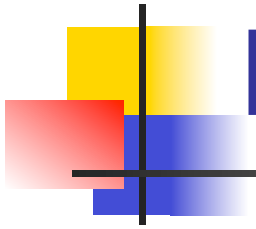


- Bisher: Felder (`T[]`, `std::array<T>`, `std::vector<T>`)

Container für eine Folge gleichartiger Daten

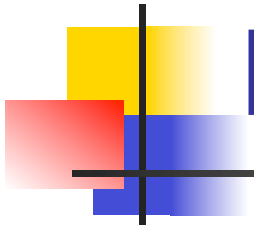
- Bisher: Felder (`T[]`, `std::array<T>`, `std::vector<T>`)
- Zusammenhängender Speicherbereich, wahlfreier Zugriff (auf i-tes Element)

1	5	6	2	9	7	7	0



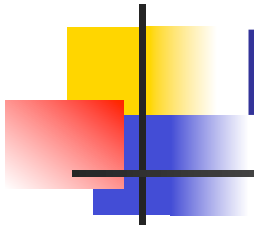
Probleme mit Feldern

- Man kann sie nicht direkt kopieren und zuweisen



Probleme mit Feldern

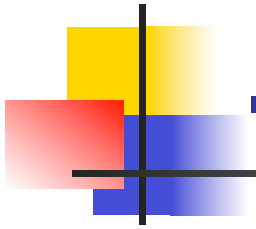
- Man kann sie nicht direkt kopieren und zuweisen
- Falls Länge nicht zur Kompilierungszeit bekannt, muss Speicher explizit mit **`new`** geholt und mit **`delete[]`** wieder freigegeben werden (fehleranfällig)



Probleme mit Feldern

- Man kann sie nicht direkt kopieren und zuweisen
- Falls Länge nicht zur Kompilierungszeit bekannt, muss Speicher explizit mit **`new`** geholt und mit **`delete[]`** wieder freigegeben werden (fehleranfällig)
- Sie können nicht wachsen/schrumpfen

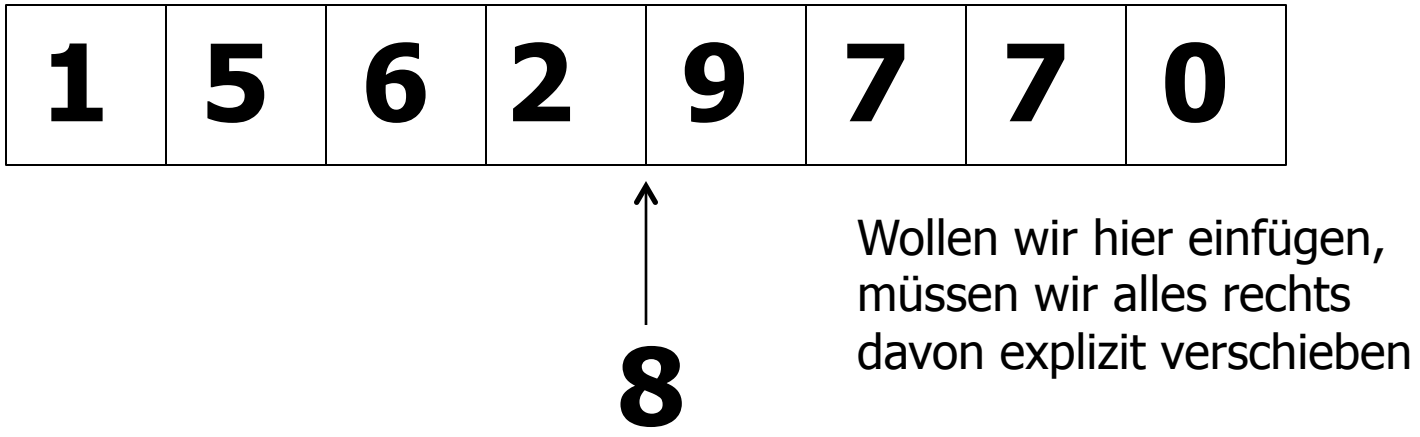
Probleme mit Feldern… …aber nicht mit std::vector



- Man kann sie nicht direkt kopieren und zuweisen
- Falls Länge nicht zur Kompilierungszeit bekannt, muss Speicher explizit mit **`new`** geholt und mit **`delete[]`** wieder freigegeben werden (fehleranfällig)
- Sie können nicht wachsen/schrumpfen

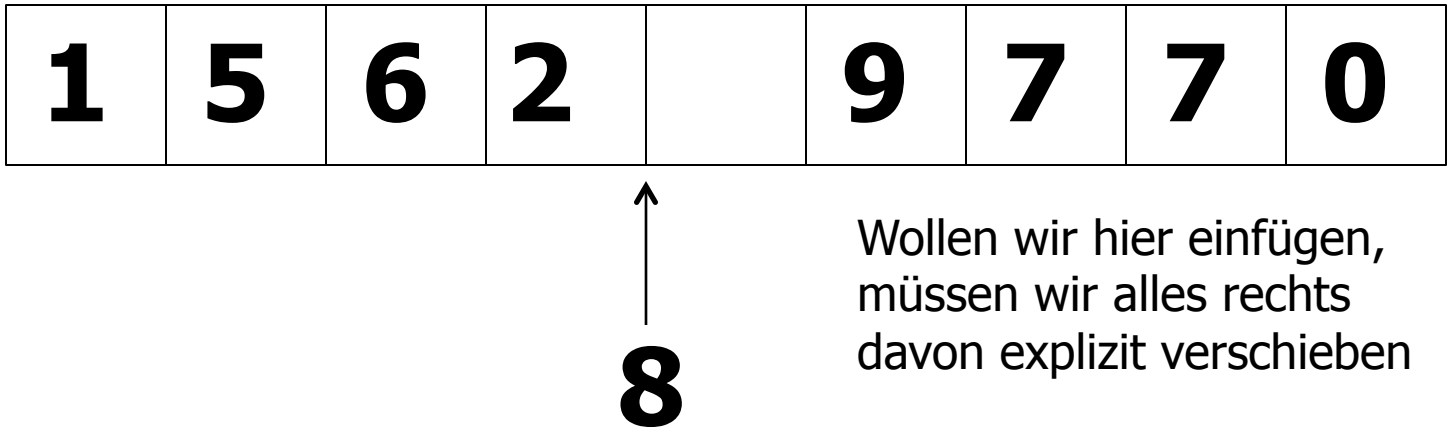
Probleme mit Feldern… … **und** auch std::vector

- Man kann keine Elemente “in der Mitte” einfügen oder “in der Mitte” löschen



Probleme mit Feldern… … **und** auch std::vector

- Man kann keine Elemente “in der Mitte” einfügen oder “in der Mitte” löschen



Probleme mit Feldern…
… **und** auch std::vector

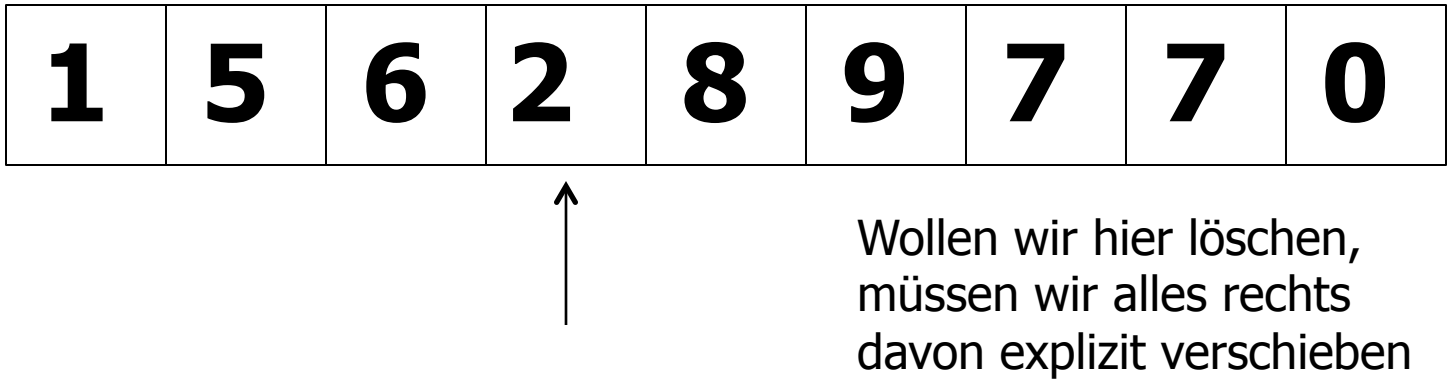
- Man kann keine Elemente “in der Mitte” einfügen oder “in der Mitte” löschen

1	**5**	**6**	**2**	**8**	**9**	**7**	**7**	**0**

Wollen wir hier einfügen, müssen wir alles rechts davon explizit verschieben

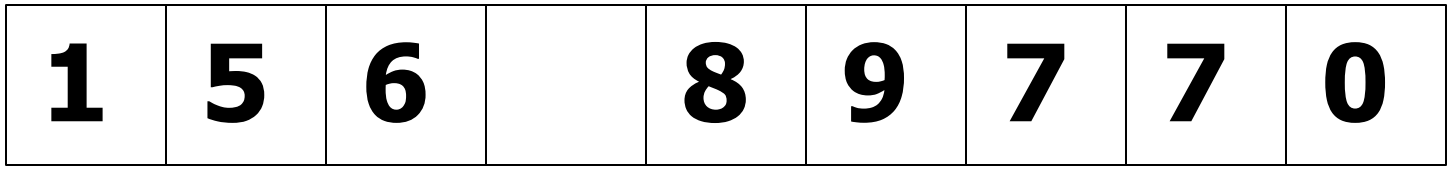
Probleme mit Feldern… … **und** auch std::vector

- Man kann keine Elemente “in der Mitte” einfügen oder “in der Mitte” löschen



Probleme mit Feldern… … **und** auch std::vector

- Man kann keine Elemente “in der Mitte” einfügen oder “in der Mitte” löschen



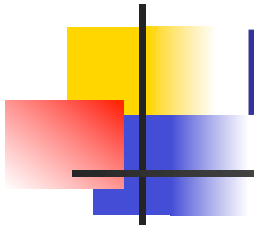
Wollen wir hier löschen, müssen wir alles rechts davon explizit verschieben

Probleme mit Feldern… … **und** auch std::vector

- Man kann keine Elemente “in der Mitte” einfügen oder “in der Mitte” löschen

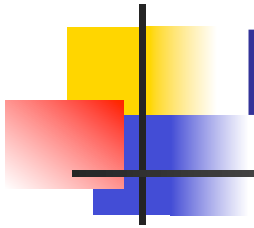
1	5	6	8	9	7	7	0

Wollen wir hier löschen, müssen wir alles rechts davon explizit verschieben



Lösung: Listen

- Container für eine Folge von Daten gleichen Typs

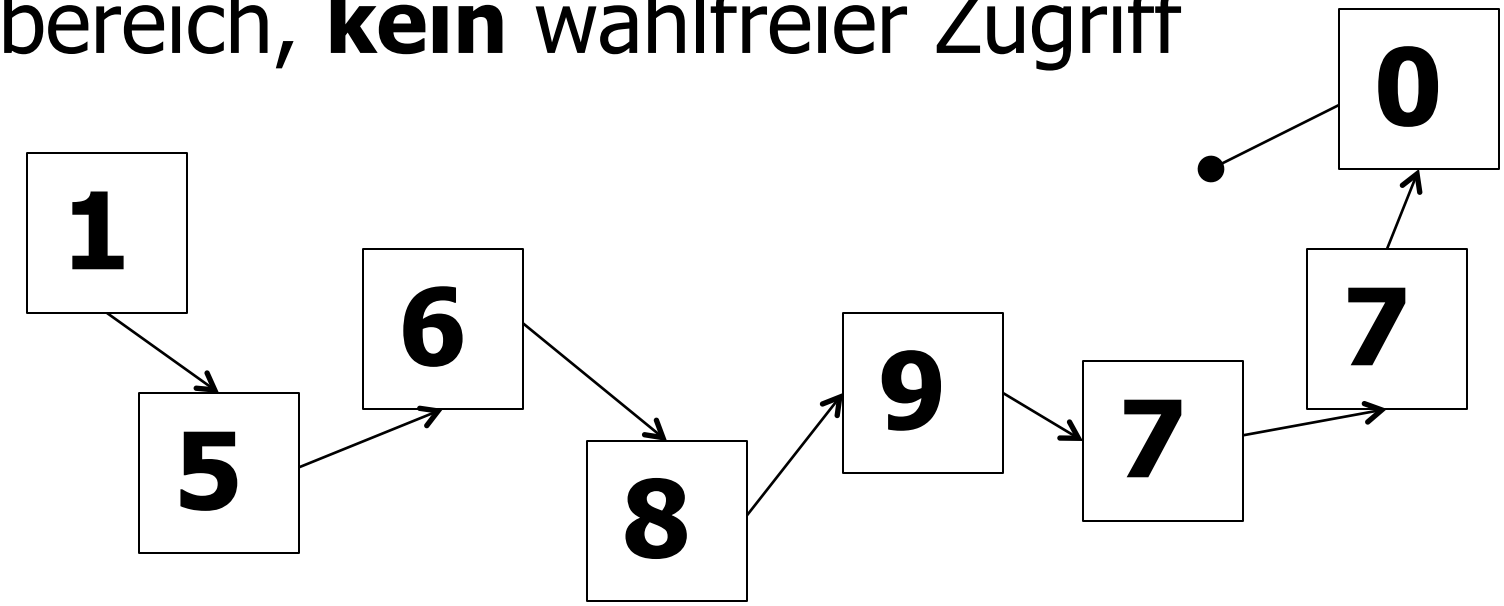


Lösung: Listen

- Container für eine Folge von Daten gleichen Typs
- **Kein** zusammenhängender Speicher-bereich, **kein** wahlfreier Zugriff

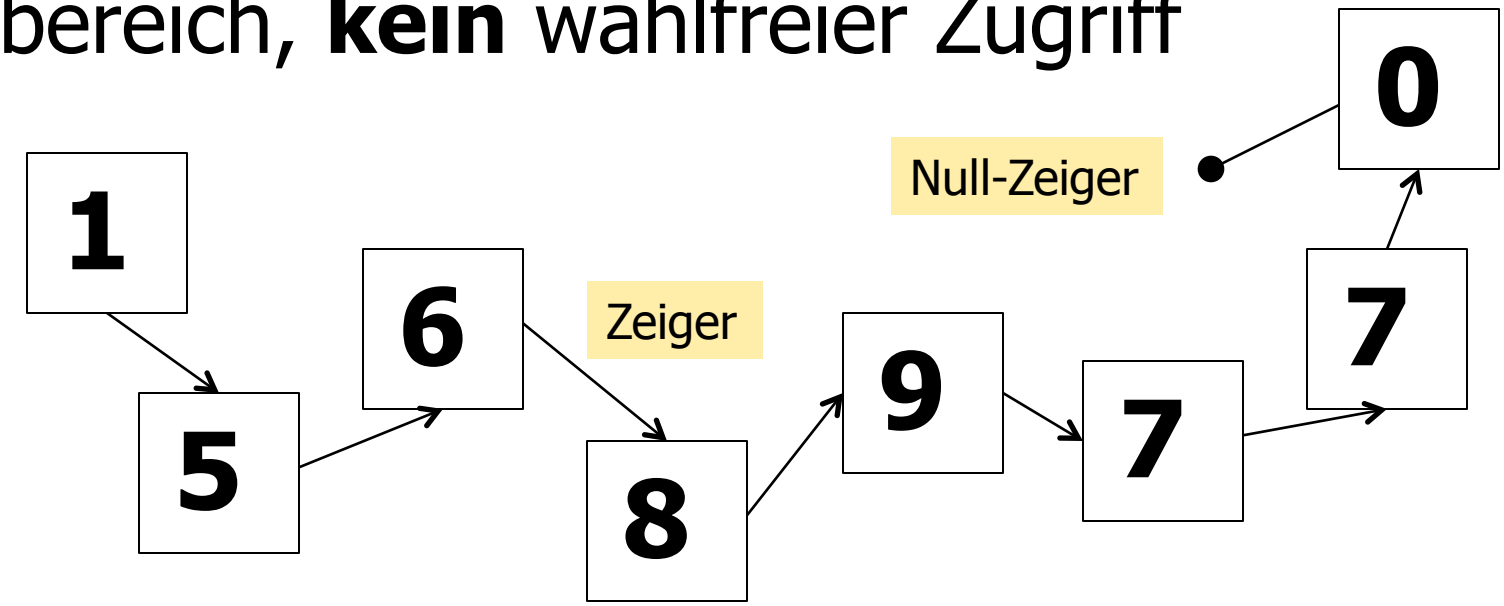
Lösung: Listen

- Container für eine Folge von Daten gleichen Typs
- **Kein** zusammenhängender Speicher-bereich, **kein** wahlfreier Zugriff

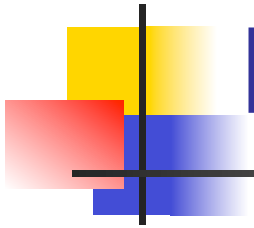


Lösung: Listen

- Container für eine Folge von Daten gleichen Typs
- **Kein** zusammenhängender Speicher-bereich, **kein** wahlfreier Zugriff



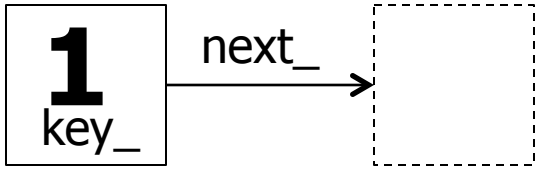
Eine Klasse für Listen: Daten-Mitglieder, Default-Konstruktor



```
class List {
public:
   // default constructor:
   // POST: *this is an empty list
   List();
   …
private:
   Node* head_;
   …
};

class Node {
…
private:
  int key_;
  Node* next_;
};
```

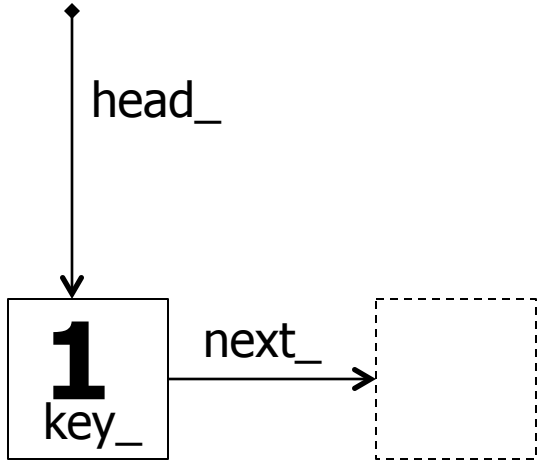
Eine Klasse für Listen: Daten-Mitglieder, Default-Konstruktor

```
class List {
public:
    // default constructor:
    // POST: *this is an empty list
    List();
    …
private:
    Node* head_;
    …
};

class Node {
…
private:
   int key_;
   Node* next_;
};
```



Eine Klasse für Listen: Daten-Mitglieder, Default-Konstruktor

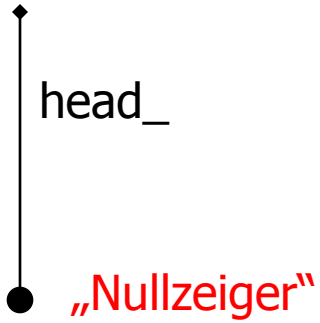
```
class List {
public:
    // default constructor:
    // POST: *this is an empty list
    List();
    …
private:
    Node* head_;
    …
};

class Node {
…
private:
  int key_;
  Node* next_;
};
```



Eine Klasse für Listen: Daten-Mitglieder, Default-Konstruktor

```
class List {
public:
    // default constructor:
    // POST: *this is an empty list
    List();
    …
private:
    Node* head_;
    …
};
```

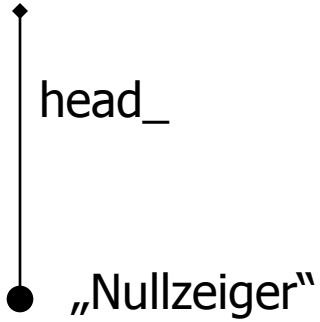
```
List::List()
  : head_(0)
{}
```



Eine Klasse für Listen: Daten-Mitglieder, Default-Konstruktor

MyList.h

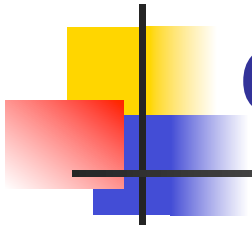
```
class List {
public:
   // default constructor:
   // POST: *this is an empty list
   List();
   …
private:
   Node* head_;
   …
};
```



MyList.cpp

```
List::List()
  : head_(0)
{}
```

Eine Klasse für Listen: Vorne einfügen und Ausgabe



- Gewünschter Anwendungscode:

```
#include "MyList.h"
#include<iostream>

int main() {
  List l1;
  l1.push_front (1);
  l1.push_front (3);
  l1.push_front (2);
  std::cout << l1 << std::endl;
```

Eine Klasse für Listen: Vorne einfügen und Ausgabe

- Gewünschter Anwendungscode:

```
#include "MyList.h"
#include<iostream>

int main() {
  List l1;
  l1.push_front (1);                    // l1 == 1
  l1.push_front (3);                    // l1 == 3 1
  l1.push_front (2);                    // l1 == 2 3 1
  std::cout << l1 << std::endl;         // 2 3 1
```

Eine Klasse für Listen: Vorne einfügen und Ausgabe

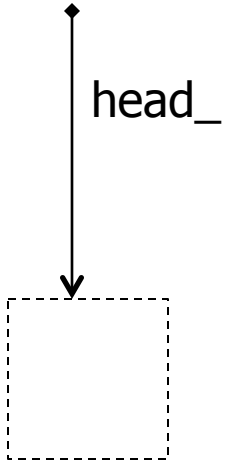
- Vorne einfügen:

MyList.h

```
// POST: key was added before first
//       element of *this
void push_front(int key);
```

MyList.cpp

```
void List::push_front (int key)
{
  head_ = new Node (key, head_);
}
```



Eine Klasse für Listen: Vorne einfügen und Ausgabe

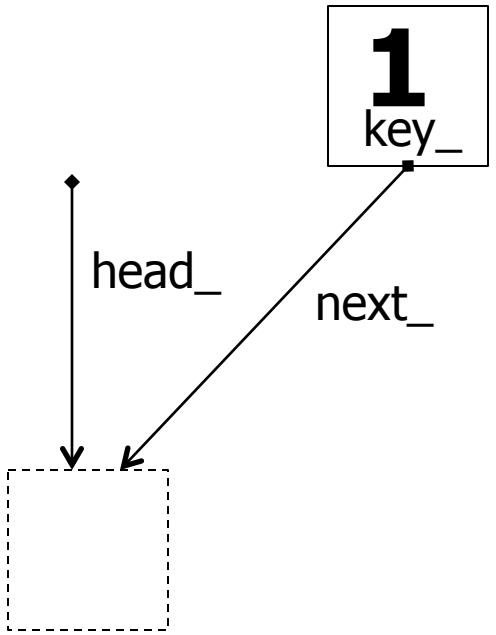
- Vorne einfügen:

MyList.h

```
// POST: key was added before first
//       element of *this
void push_front(int key);
```

MyList.cpp

```
void List::push_front (int key)
{
  head_ = new Node (key, head_);
}
```



Eine Klasse für Listen: Vorne einfügen und Ausgabe

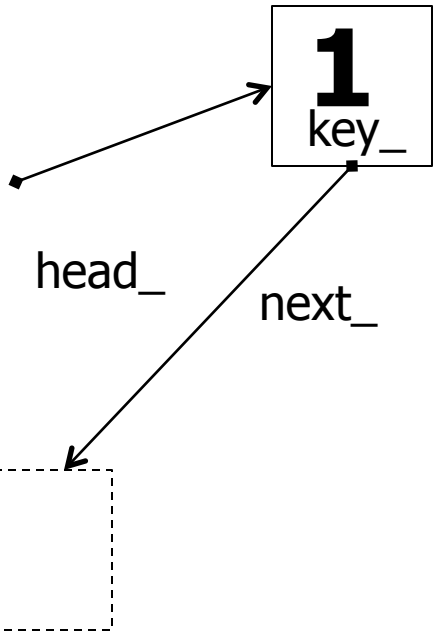
- Vorne einfügen:

MyList.h

```
// POST: key was added before first
//       element of *this
void push_front(int key);
```

MyList.cpp

```
void List::push_front (int key)
{
  head_ = new Node (key, head_);
}
```



Eine Klasse für Listen: Vorne einfügen und Ausgabe

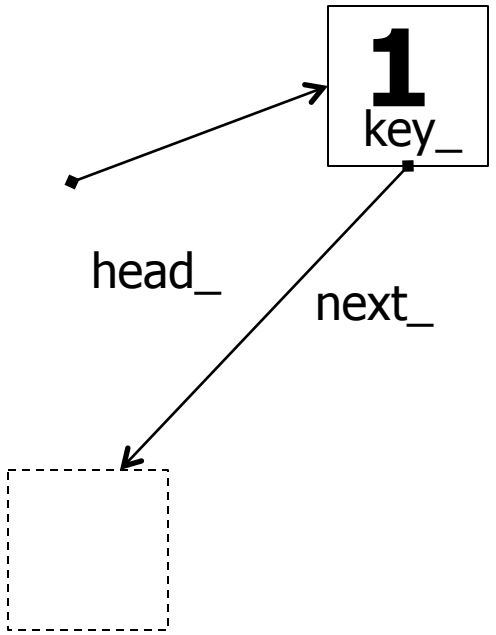
- Vorne einfügen:

MyNode.cpp

```
// Constructor
Node::Node (int key, Node* next)
   : key_(key), next_(next)
{}
```

MyList.cpp

```
void List::push_front (int key)
{
  head_ = new Node (key, head_);
}
```

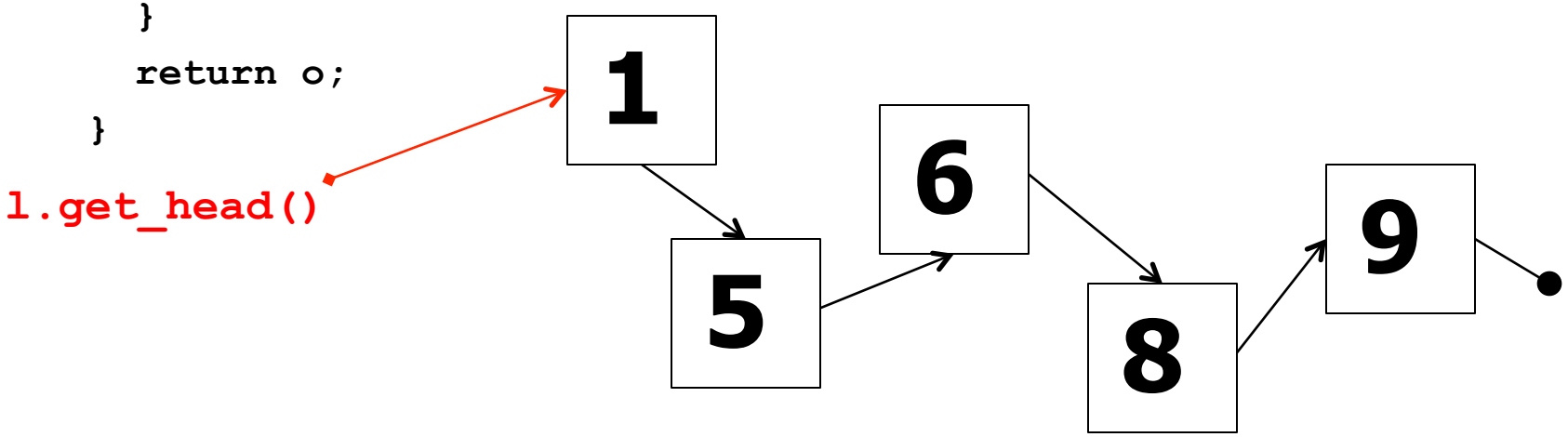


Eine Klasse für Listen: Vorne einfügen und Ausgabe

- Ausgabe:

MyList.cpp

```
// POST: *this is written to std::cout
std::ostream& operator<< (std::ostream& o, const List& l) {
  const Node* p = l.get_head();
  while (p != 0) {
    o << p->get_key() << " ";
    p = p->get_next();
  }
  return o;
}
```

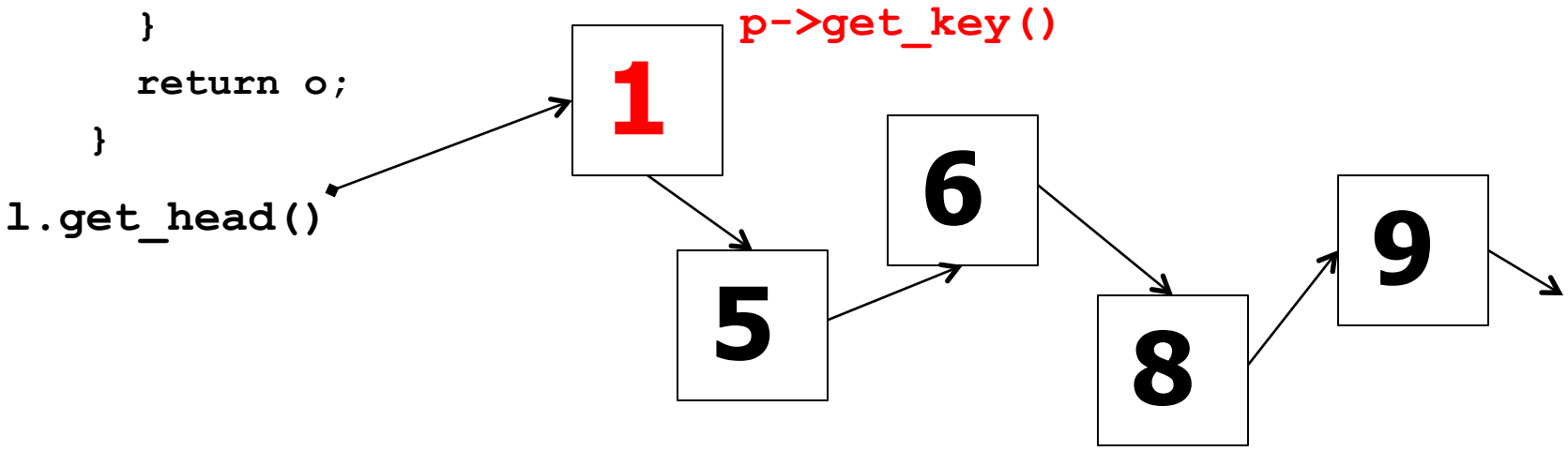


Eine Klasse für Listen: Vorne einfügen und Ausgabe

- Ausgabe:

MyList.cpp

```
// POST: *this is written to std::cout
std::ostream& operator<< (std::ostream& o, const List& l) {
  const Node* p = l.get_head();
  while (p != 0) {
    o << p->get_key() << " ";
    p = p->get_next();
  }
  return o;
}
```



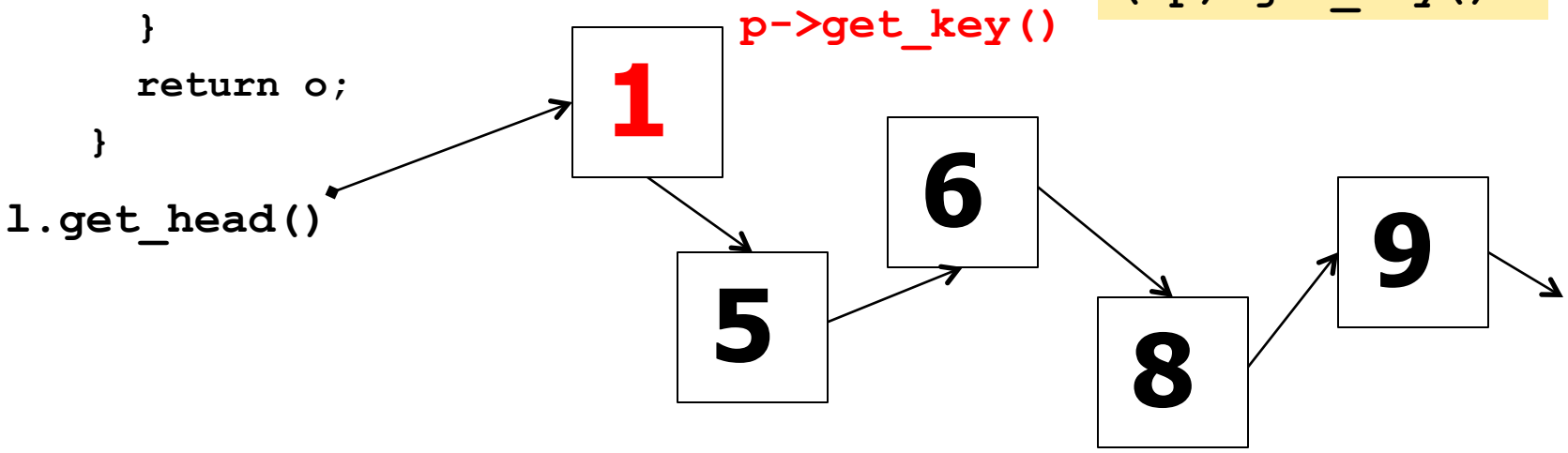
Eine Klasse für Listen: Vorne einfügen und Ausgabe

- Ausgabe:

MyList.cpp

```
// POST: *this is written to std::cout
std::ostream& operator<< (std::ostream& o, const List& l) {
  const Node* p = l.get_head();
  while (p != 0) {
    o << p->get_key() << " ";
    p = p->get_next();
  }
  return o;
}
```

Abkürzung für `(*p).get_key()`

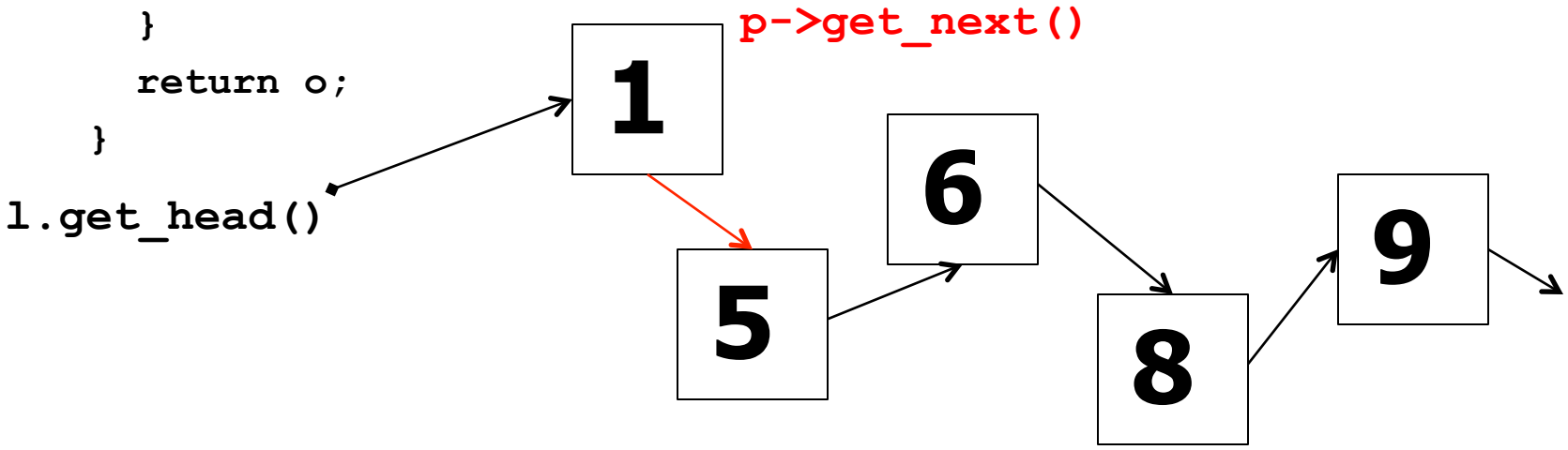


Eine Klasse für Listen: Vorne einfügen und Ausgabe

- Ausgabe:

MyList.cpp

```
// POST: *this is written to std::cout
std::ostream& operator<< (std::ostream& o, const List& l) {
  const Node* p = l.get_head();
  while (p != 0) {
    o << p->get_key() << " ";
    p = p->get_next();
  }
  return o;
}
```



Eine Klasse für Listen: Hinten einfügen

MyList.h

```
// POST: key was added after last
// element of *this
void push_back (int key);
```

MyList.cpp

```
void List::push_back (int key)
{
  if (head_ == 0)
    head_ = new Node (key);
  else {
    Node* p = head_;
    while (p->get_next() != 0)
      p = p->get_next();
    p->set_next (new Node (key));
  }
}
```

Eine Klasse für Listen: Hinten einfügen

MyList.h

```
// POST: key was added after last
// element of *this
void push_back (int key);
```

MyList.cpp

```
void List::push_back (int key)
{
  if (head_ == 0)
    head_ = new Node (key);
  else {
    Node* p = head_;
    while (p->get_next() != 0)
      p = p->get_next();
    p->set_next (new Node (key));
  }
}
```

Eine Klasse für Listen: Hinten einfügen

MyList.h

```
// POST: key was added after last
// element of *this
void push_back (int key);
```

MyList.cpp

```
void List::push_back (int key)
{
  if (head_ == 0)
    head_ = new Node (key);
  else {
    Node* p = head_;
    while (p->get_next() != 0)
      p = p->get_next();
    p->set_next (new Node (key));
  }
}
```

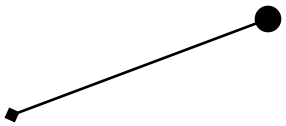
Eine Klasse für Listen: Hinten einfügen

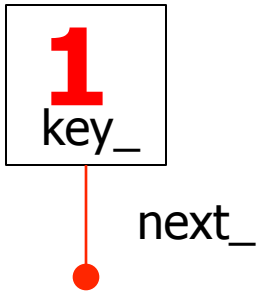
MyList.h

```
// POST: key was added after last
// element of *this
void push_back (int key);
```

MyList.cpp

```
void List::push_back (int key)
{
  if (head_ == 0)
    head_ = new Node (key);
  else {
    Node* p = head_;
    while (p->get_next() != 0)
      p = p->get_next();
    p->set_next (new Node (key));
  }
}
```





Zweites Argument ist 0 per Default

MyNode.h

```
// Constructor
Node(int key, Node* next = 0);
```

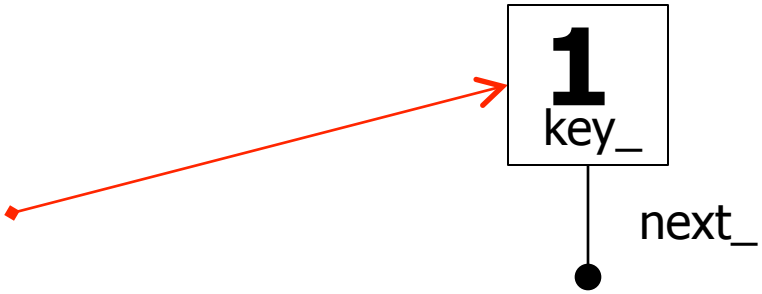
Eine Klasse für Listen: Hinten einfügen

MyList.h

```
// POST: key was added after last
// element of *this
void push_back (int key);
```

MyList.cpp

```
void List::push_back (int key)
{
  if (head_ == 0)
    head_ = new Node (key);
  else {
    Node* p = head_;
    while (p->get_next() != 0)
      p = p->get_next();
    p->set_next (new Node (key));
  }
}
```



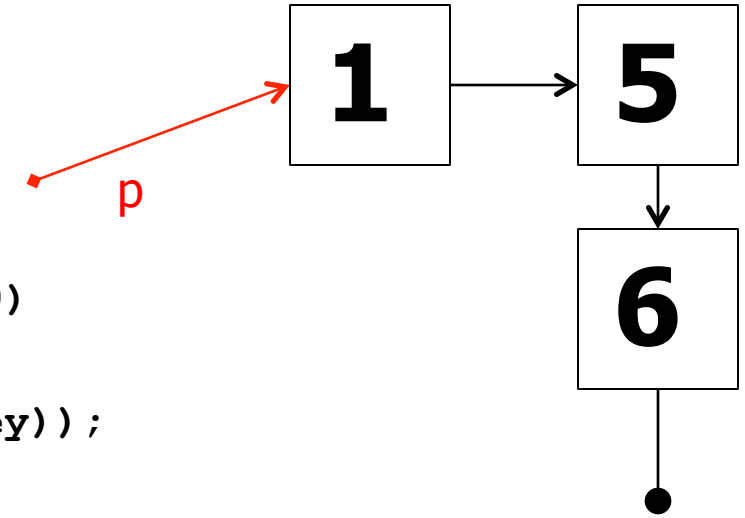
Eine Klasse für Listen: Hinten einfügen

MyList.h

```
// POST: key was added after last
// element of *this
void push_back (int key);
```

MyList.cpp

```
void List::push_back (int key)
{
  if (head_ == 0)
    head_ = new Node (key);
  else {
    Node* p = head_;
    while (p->get_next() != 0)
      p = p->get_next();
    p->set_next (new Node (key));
  }
}
```



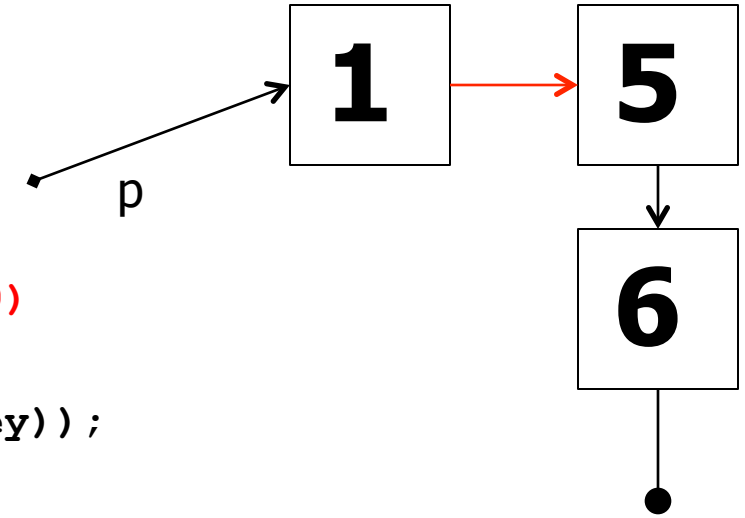
Eine Klasse für Listen: Hinten einfügen

MyList.h

```
// POST: key was added after last
// element of *this
void push_back (int key);
```

MyList.cpp

```
void List::push_back (int key)
{
  if (head_ == 0)
    head_ = new Node (key);
  else {
    Node* p = head_;
    while (p->get_next() != 0)
      p = p->get_next();
    p->set_next (new Node (key));
  }
}
```



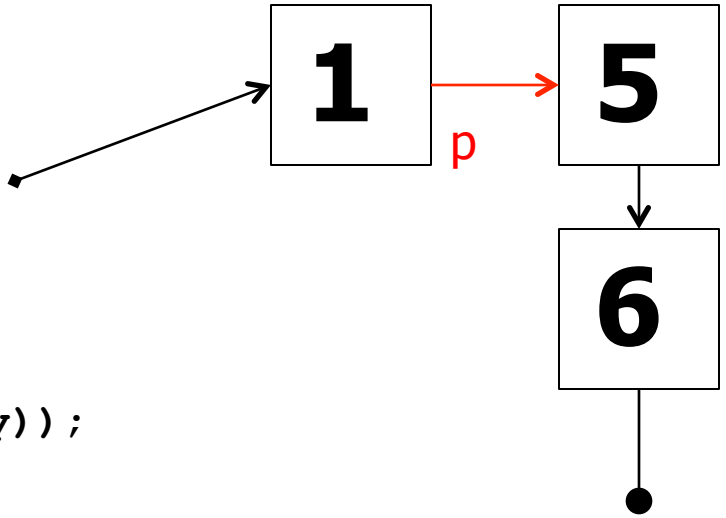
Eine Klasse für Listen: Hinten einfügen

MyList.h

```
// POST: key was added after last
// element of *this
void push_back (int key);
```

MyList.cpp

```
void List::push_back (int key)
{
  if (head_ == 0)
    head_ = new Node (key);
  else {
    Node* p = head_;
    while (p->get_next() != 0)
      p = p->get_next();
    p->set_next (new Node (key));
  }
}
```



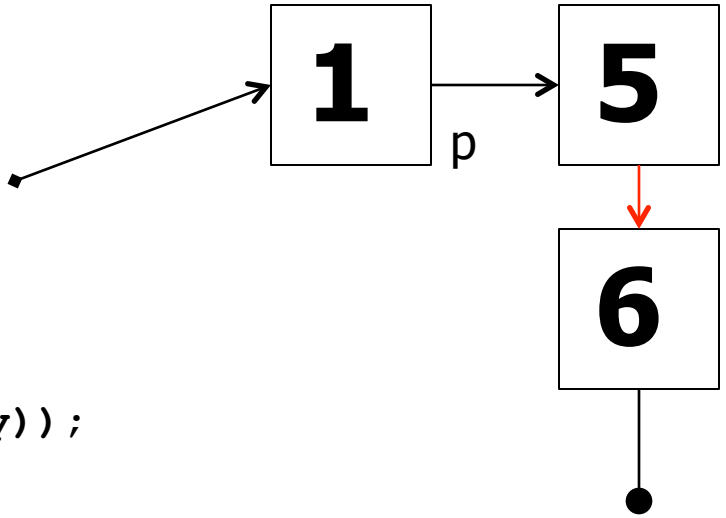
Eine Klasse für Listen: Hinten einfügen

MyList.h

```
// POST: key was added after last
// element of *this
void push_back (int key);
```

MyList.cpp

```
void List::push_back (int key)
{
  if (head_ == 0)
    head_ = new Node (key);
  else {
    Node* p = head_;
    while (p->get_next() != 0)
      p = p->get_next();
    p->set_next (new Node (key));
  }
}
```



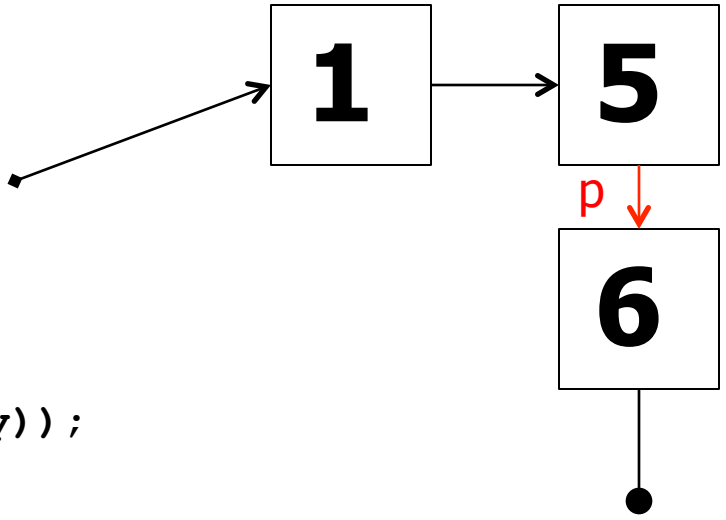
Eine Klasse für Listen: Hinten einfügen

MyList.h

```
// POST: key was added after last
// element of *this
void push_back (int key);
```

MyList.cpp

```
void List::push_back (int key)
{
  if (head_ == 0)
    head_ = new Node (key);
  else {
    Node* p = head_;
    while (p->get_next() != 0)
      p = p->get_next();
    p->set_next (new Node (key));
  }
}
```



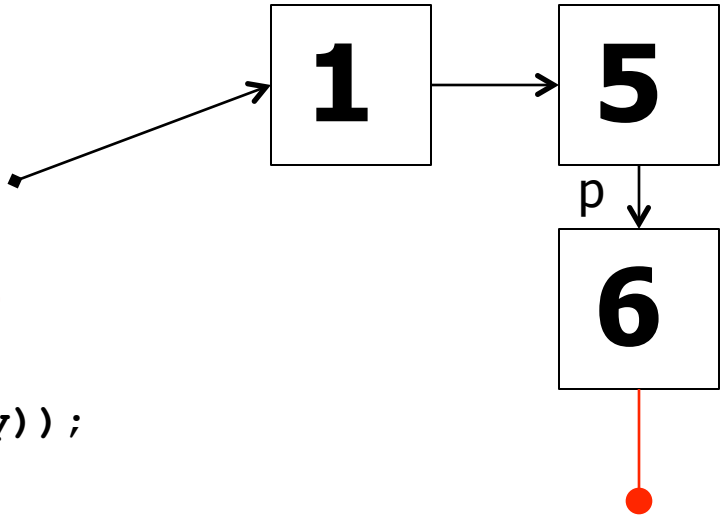
Eine Klasse für Listen: Hinten einfügen

MyList.h

```
// POST: key was added after last
// element of *this
void push_back (int key);
```

MyList.cpp

```
void List::push_back (int key)
{
  if (head_ == 0)
    head_ = new Node (key);
  else {
    Node* p = head_;
    while (p->get_next() != 0)
      p = p->get_next();
    p->set_next (new Node (key));
  }
}
```



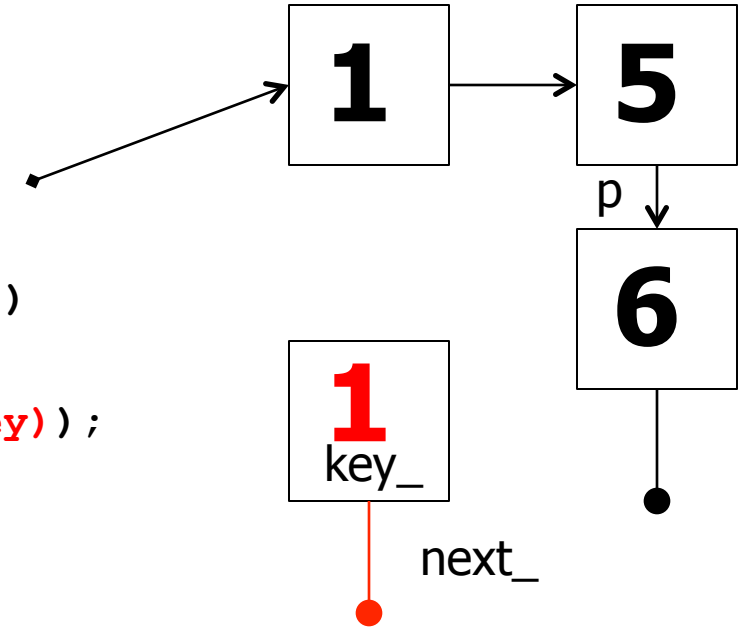
Eine Klasse für Listen: Hinten einfügen

MyList.h

```
// POST: key was added after last
// element of *this
void push_back (int key);
```

MyList.cpp

```
void List::push_back (int key)
{
  if (head_ == 0)
    head_ = new Node (key);
  else {
    Node* p = head_;
    while (p->get_next() != 0)
      p = p->get_next();
    p->set_next (new Node (key));
  }
}
```



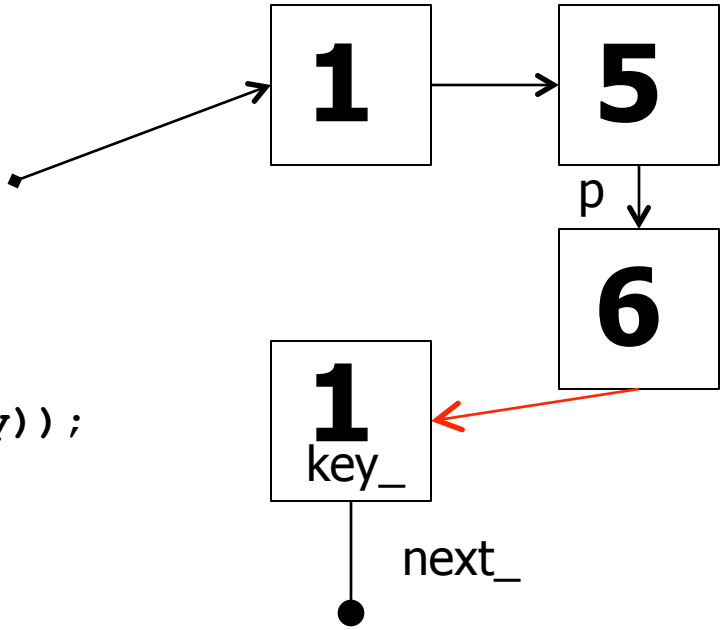
Eine Klasse für Listen: Hinten einfügen

MyList.h

```
// POST: key was added after last
// element of *this
void push_back (int key);
```

MyList.cpp

```
void List::push_back (int key)
{
  if (head_ == 0)
    head_ = new Node (key);
  else {
    Node* p = head_;
    while (p->get_next() != 0)
      p = p->get_next();
    p->set_next (new Node (key));
  }
}
```



Eine Klasse für Listen: Der Copy-Konstruktor

- Was passiert hier?

```
int main() {
  List l1;
  l1.push_front (1);                // l1 == 1
  l1.push_front (3);                // l1 == 3 1
  l1.push_front (2);                // l1 == 2 3 1
  std::cout << l1 << std::endl;     // 2 3 1

  List l2 = l1;
  std::cout << l2 << std::endl;
  l1.push_back(5);
  l1.push_back(6);
  std::cout << l2 << std::endl;
}
```

Eine Klasse für Listen: Der Copy-Konstruktor

- Was passiert hier?

```
int main() {
  List l1;
  l1.push_front (1);                  // l1 == 1
  l1.push_front (3);                  // l1 == 3 1
  l1.push_front (2);                  // l1 == 2 3 1
  std::cout << l1 << std::endl;       // 2 3 1

  List l2 = l1;                       // Kopiere l1 nach l2
  std::cout << l2 << std::endl;
  l1.push_back(5);
  l1.push_back(6);
  std::cout << l2 << std::endl;
}
```

Eine Klasse für Listen: Der Copy-Konstruktor

- Was passiert hier?

```
int main() {
  List l1;
  l1.push_front (1);                // l1 == 1
  l1.push_front (3);                // l1 == 3 1
  l1.push_front (2);                // l1 == 2 3 1
  std::cout << l1 << std::endl;     // 2 3 1

  List l2 = l1;                     // Kopiere l1 nach l2
  std::cout << l2 << std::endl;     // 2 3 1
  l1.push_back(5);
  l1.push_back(6);
  std::cout << l2 << std::endl;
}
```

Eine Klasse für Listen: Der Copy-Konstruktor

- Was passiert hier?

```
int main() {
  List l1;
  l1.push_front (1);                  // l1 == 1
  l1.push_front (3);                  // l1 == 3 1
  l1.push_front (2);                  // l1 == 2 3 1
  std::cout << l1 << std::endl;       // 2 3 1

  List l2 = l1;                       // Kopiere l1 nach l2
  std::cout << l2 << std::endl;       // 2 3 1
  l1.push_back(5);                    // l1 == 2 3 1 5
  l1.push_back(6);                    // l1 == 2 3 1 5 6
  std::cout << l2 << std::endl;
}
```

Eine Klasse für Listen: Der Copy-Konstruktor

- Was passiert hier?

```
int main() {
  List l1;
  l1.push_front (1);                // l1 == 1
  l1.push_front (3);                // l1 == 3 1
  l1.push_front (2);                // l1 == 2 3 1
  std::cout << l1 << std::endl;     // 2 3 1

  List l2 = l1;                     // Kopiere l1 nach l2
  std::cout << l2 << std::endl;     // 2 3 1
  l1.push_back(5);                  // l1 == 2 3 1 5
  l1.push_back(6);                  // l1 == 2 3 1 5 6
  std::cout << l2 << std::endl;     // 2 3 1 5 6
}
```

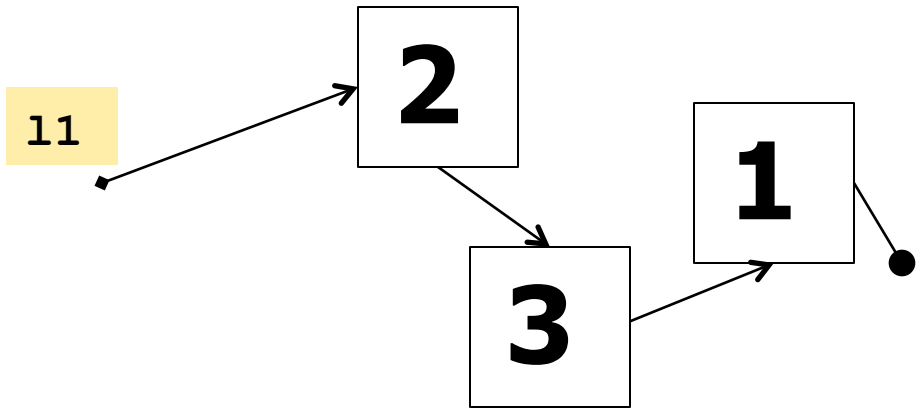
Eine Klasse für Listen: Der Copy-Konstruktor

- Was passiert hier?

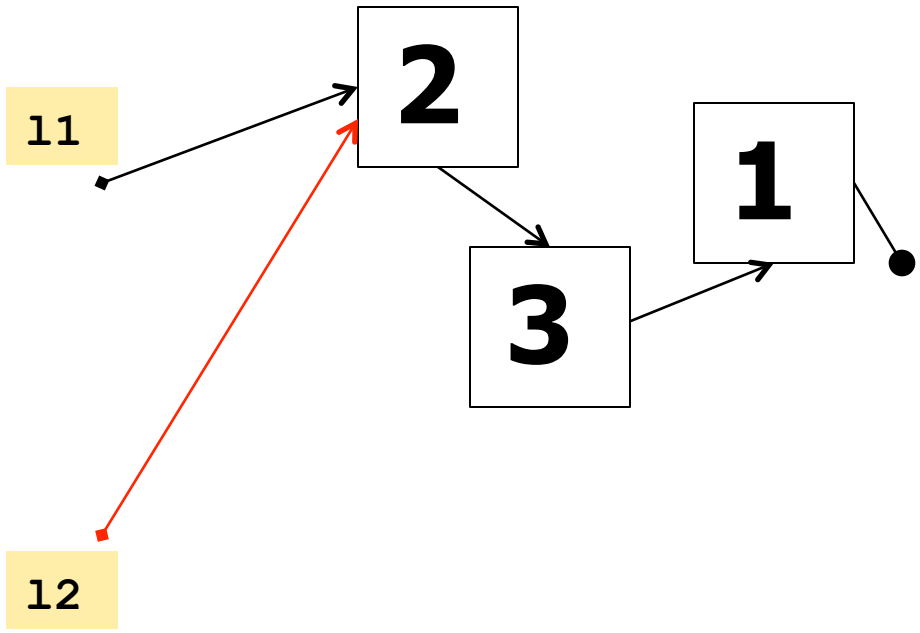
```
int main() {
  List l1;
  l1.push_front (1);                  // l1 == 1
  l1.push_front (3);                  // l1 == 3 1
  l1.push_front (2);                  // l1 == 2 3 1
  std::cout << l1 << std::endl;       // 2 3 1

  List l2 = l1;                       // Kopiere l1 nach l2
  std::cout << l2 << std::endl;       // 2 3 1
  l1.push_back(5);                    // l1 == 2 3 1 5
  l1.push_back(6);                    // l1 == 2 3 1 5 6
  std::cout << l2 << std::endl;       // 2 3 1 5 6
}
```

`l1` wurde verändert, aber die gleichen Aenderungen passieren auch mit `l2`. Warum?

Eine Klasse für Listen: Der Copy-Konstruktor



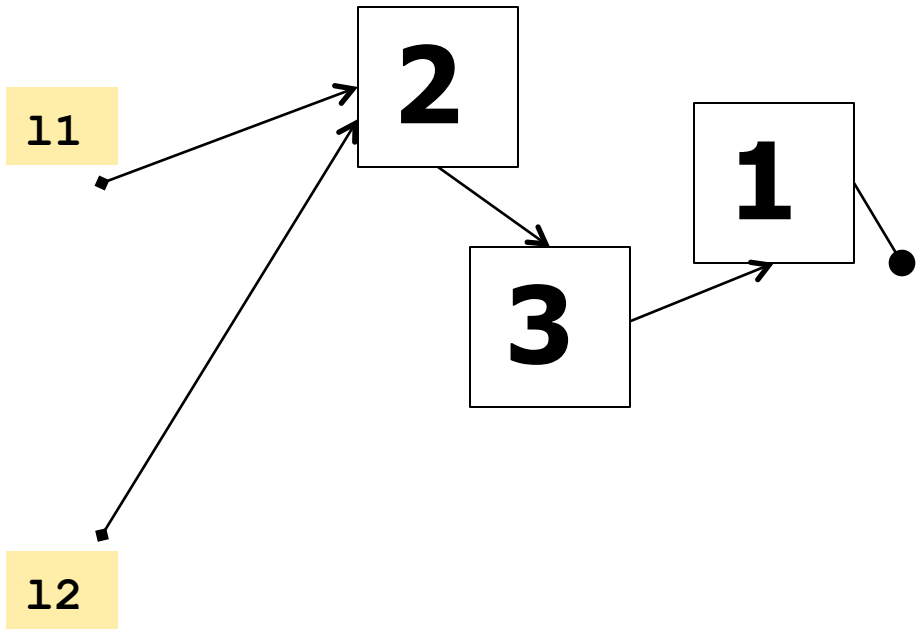
Eine Klasse für Listen: Der Copy-Konstruktor




```
List l2 = l1;
```

Initialisierung erfolgt mitgliedsweise, also `l2.head_ = l1.head_` (nicht die Liste wird kopiert, sondern nur der Zeiger auf das erste Element; `l1` und `l2` teilen sich nun die Liste.

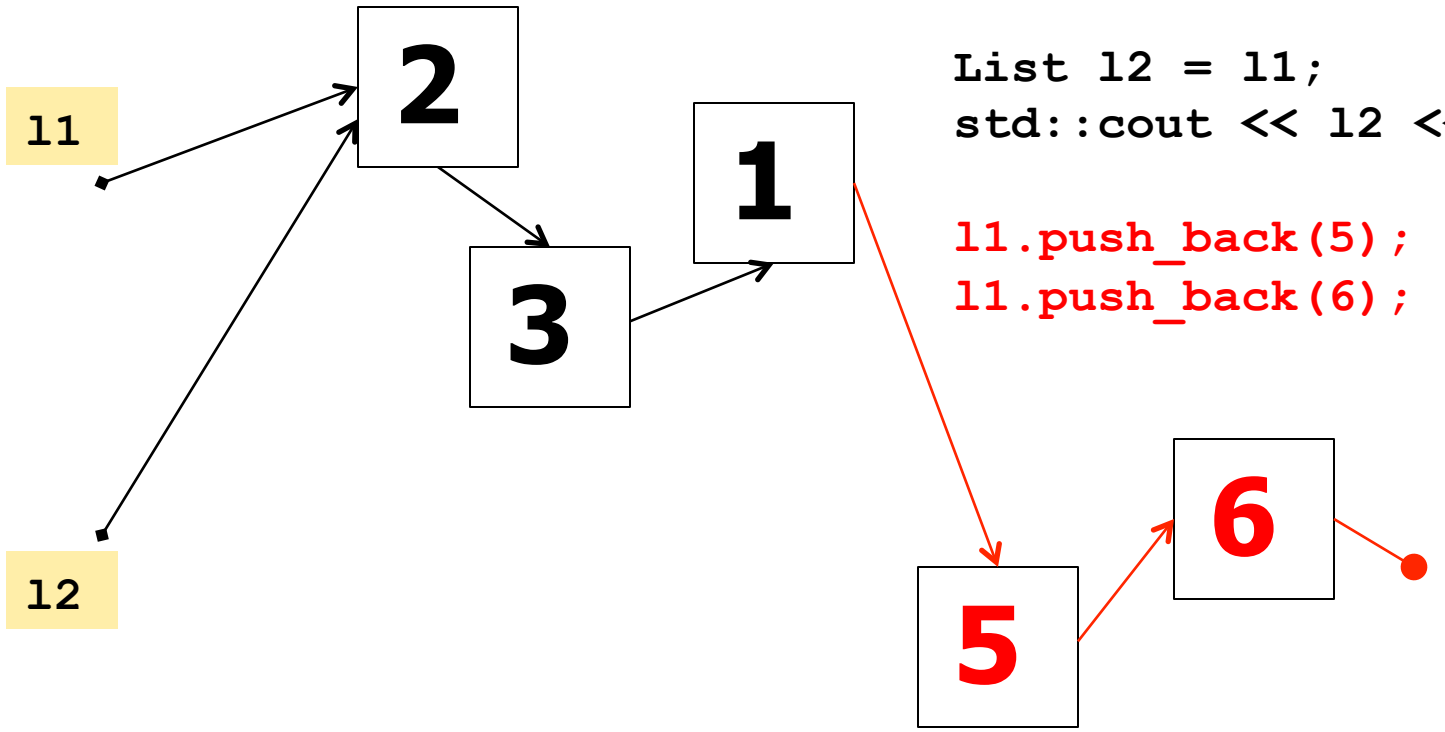
Eine Klasse für Listen: Der Copy-Konstruktor




```
List l2 = l1;
std::cout << l2 << std::endl;
```

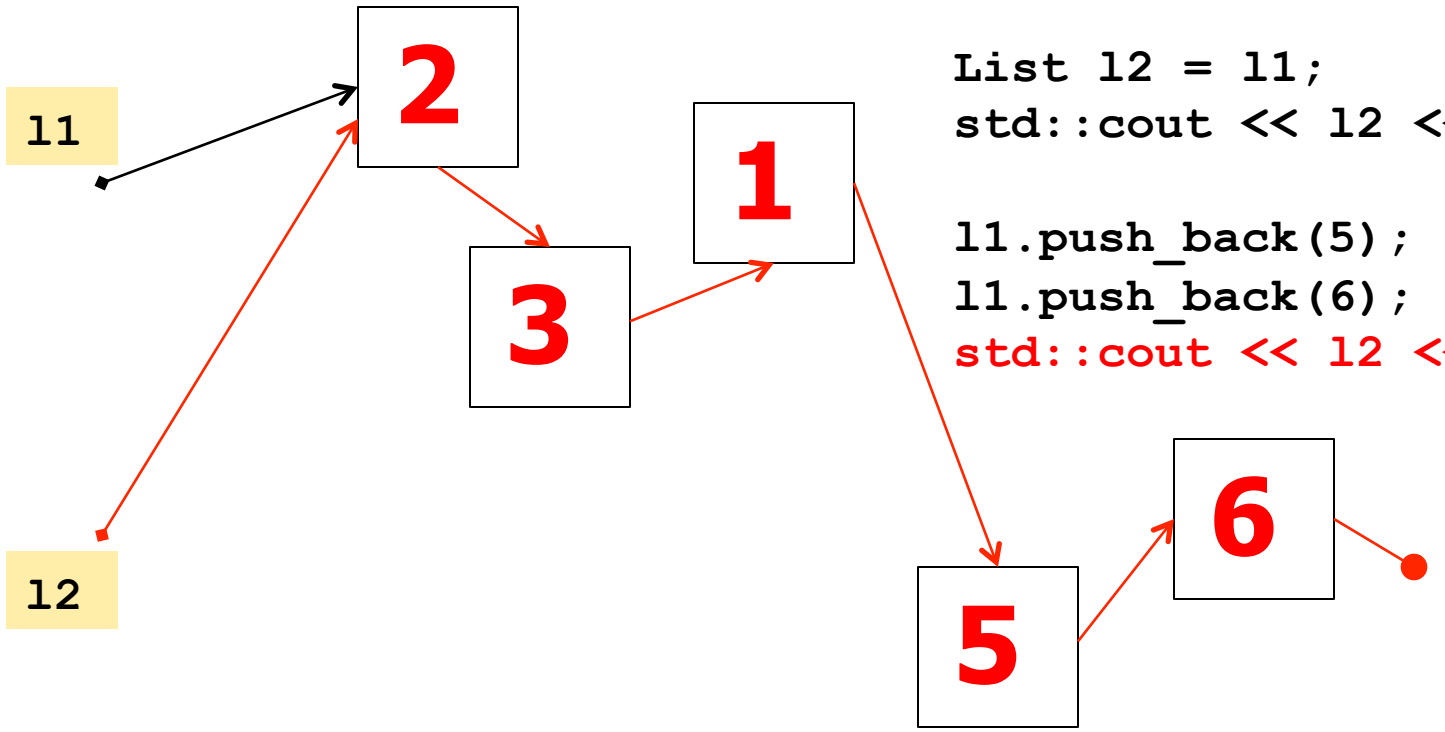
Ausgabe `2 3 1`

Eine Klasse für Listen: Der Copy-Konstruktor




```
List l2 = l1;
std::cout << l2 << std::endl;

l1.push_back(5);
l1.push_back(6);
```

Eine Klasse für Listen: Der Copy-Konstruktor

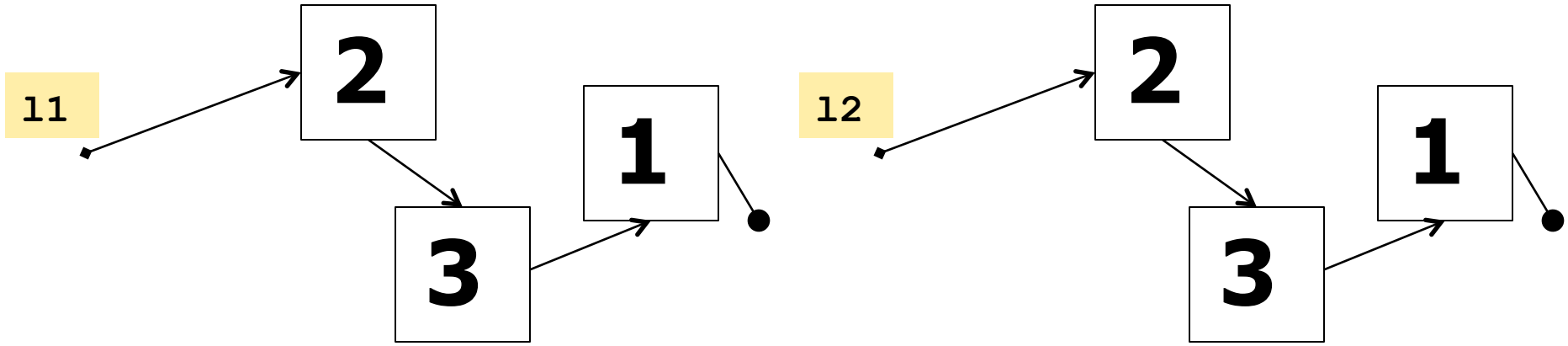



```
List l2 = l1;
std::cout << l2 << std::endl;

l1.push_back(5);
l1.push_back(6);
std::cout << l2 << std::endl;
```

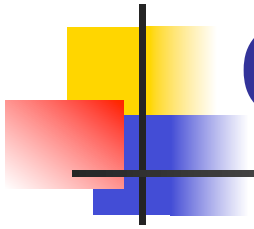
Ausgabe 2 3 1 5 6

Eine Klasse für Listen: Der Copy-Konstruktor

- Wir wollen eine „echte“ Kopie, wenn wir `List l2 = l1` schreiben!



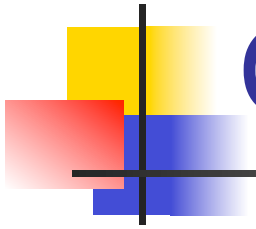
Eine Klasse für Listen: Der Copy-Konstruktor



- ...der Klasse *T* ist der eindeutige Konstruktor mit Deklaration

  T **`(const T& x);`**

Eine Klasse für Listen: Der Copy-Konstruktor

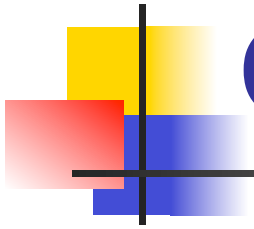


- ...der Klasse *T* ist der eindeutige Konstruktor mit Deklaration

  T **`(const T& x);`**

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

Eine Klasse für Listen: Der Copy-Konstruktor

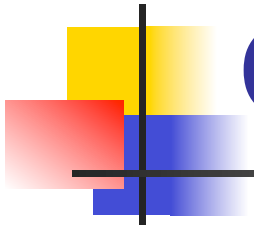


- ...der Klasse *T* ist der eindeutige Konstruktor mit Deklaration

  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`**

Eine Klasse für Listen: Der Copy-Konstruktor

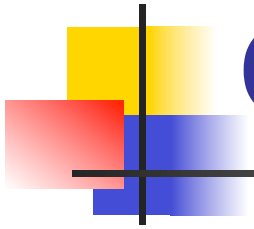


- ...der Klasse *T* ist der eindeutige Konstruktor mit Deklaration

  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`**

Eine Klasse für Listen: Der Copy-Konstruktor



- ...der 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
  - Initialisierung von formalen Funktions-Argumenten und Rückgabewerten

Eine Klasse für Listen: Der Copy-Konstruktor

MyList.cpp

```
// copy constructor
List::List (const List& l)
  : head_ (0)
{
  copy (l.head_);
}
```

MyList.h

```
public:
   List (const List& l);
   …
private:
   // PRE: *this is empty
   // POST: list starting at from was copied to *this
   void copy (const Node* from);
```

Eine Klasse für Listen: Der Copy-Konstruktor

MyList.cpp

```
// copy constructor
List::List (const List& l)
   : head_ (0)
{
   copy (l.head_);
}
```

Warum ist `const List& l` hier zwingend notwendig, während `List l` nicht geht ?

MyList.h

```
public:
    List (const List& l);
    …
private:
   // PRE: *this is empty
   // POST: list starting at from was copied to *this
   void copy (const Node* from);
```

Eine Klasse für Listen: Der Copy-Konstruktor

MyList.cpp

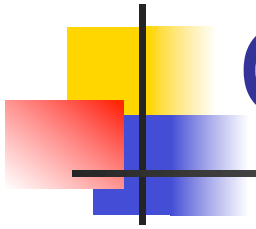
```
// copy constructor
List::List (const List& l)
   : head_ (0)
{
   copy (l.head_);
}
```

Aufruf eines Copy-Konstruktors mit Deklaration `List (List l);` müsste zuerst den Copy-Konstruktor aufrufen (Initialisierung des formalen Arguments!); unendliche Rekursion!

MyList.h

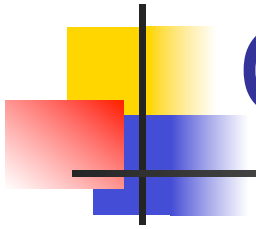
```
public:
    List (const List& l);
    …
private:
   // PRE: *this is empty
   // POST: list starting at from was copied to *this
   void copy (const Node* from);
```

Eine Klasse für Listen: Der Copy-Konstruktor



- Falls kein Copy-Konstruktor deklariert ist, so wird er automatisch erzeugt (und initialisiert mitgliedsweise)

Eine Klasse für Listen: Der Copy-Konstruktor



- Falls kein Copy-Konstruktor deklariert ist, so wird er automatisch erzeugt (und initialisiert mitgliedsweise)

Das ist für unsere Klasse **`List`** genau nicht das, was wir wollen (es wird nur der Zeiger **`head_`** kopiert, *nicht* jedoch die dahinterliegende Liste – wir erhalten Alias-Semantik)!

Eine Klasse für Listen: Die (private) Copy-Funktion

```
// private copy method
void List::copy (const Node* from)
{
  assert (head_ == 0);
  if (from != 0) {
    // copy first element to head
    head_ = new Node (from->get_key());
    Node* p = from->get_next();
    Node* q = head_;
    // copy remaining elements
    while (p != 0) {
      q->set_next (new Node (p->get_key()));
      p = p->get_next();
      q = q->get_next();
    }
  }
}
```

```
// copy consructor
List::List (const List& l)
  : head_ (0)
{
  copy (l.head_);
}
```

Eine Klasse für Listen: Die (private) Copy-Funktion

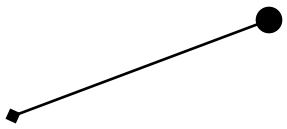
```
// private copy method
void List::copy (const Node* from)
{
  assert (head_ == 0);
  if (from != 0) {
    // copy first element to head
    head_ = new Node (from->get_key());
    Node* p = from->get_next();
    Node* q = head_;
    // copy remaining elements
    while (p != 0) {
      q->set_next (new Node (p->get_key()));
      p = p->get_next();
      q = q->get_next();
    }
  }
}
```

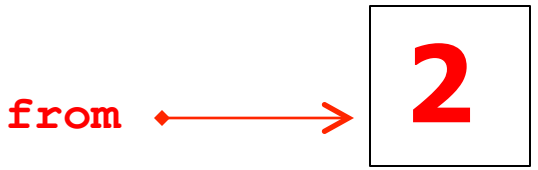
```
// copy consructor
List::List (const List& l)
  : head_ (0)
{
  copy (l.head_);
}
```

Eine Klasse für Listen: Die (private) Copy-Funktion

```
// private copy method
void List::copy (const Node* from)
{
  assert (head_ == 0);
  if (from != 0) {
    // copy first element to head
    head_ = new Node (from->get_key());
    Node* p = from->get_next();
    Node* q = head_;
    // copy remaining elements
    while (p != 0) {
      q->set_next (new Node (p->get_key()));
      p = p->get_next();
      q = q->get_next();
    }
  }
}
```

```
// copy constructor
List::List (const List& l)
  : head_ (0)
{
  copy (l.head_);
}
```

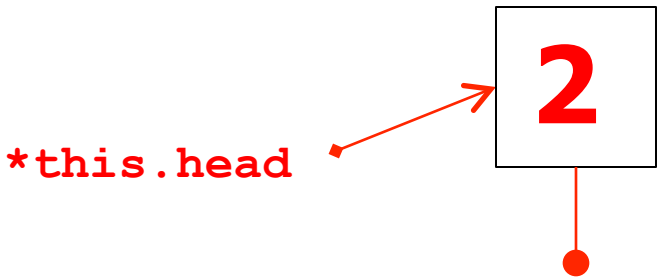


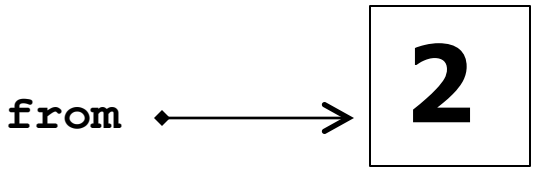


Eine Klasse für Listen: Die (private) Copy-Funktion

```
// private copy method
void List::copy (const Node* from)
{
  assert (head_ == 0);
  if (from != 0) {
    // copy first element to head
    head_ = new Node (from->get_key());
    Node* p = from->get_next();
    Node* q = head_;
    // copy remaining elements
    while (p != 0) {
      q->set_next (new Node (p->get_key()));
      p = p->get_next();
      q = q->get_next();
    }
  }
}
```

```
// copy constructor
List::List (const List& l)
  : head_ (0)
{
  copy (l.head_);
}
```

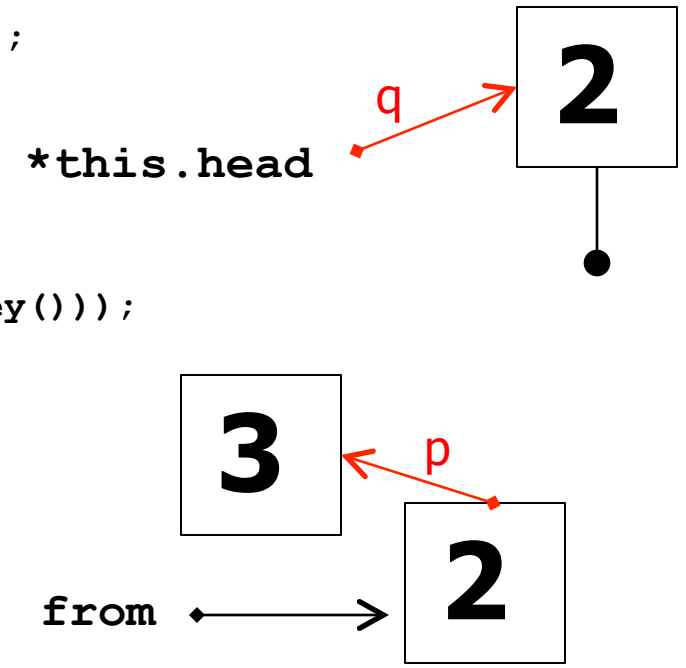




Eine Klasse für Listen: Die (private) Copy-Funktion

```
// private copy method
void List::copy (const Node* from)
{
  assert (head_ == 0);
  if (from != 0) {
    // copy first element to head
    head_ = new Node (from->get_key());
    Node* p = from->get_next();
    Node* q = head_;
    // copy remaining elements
    while (p != 0) {
      q->set_next (new Node (p->get_key()));
      p = p->get_next();
      q = q->get_next();
    }
  }
}
```

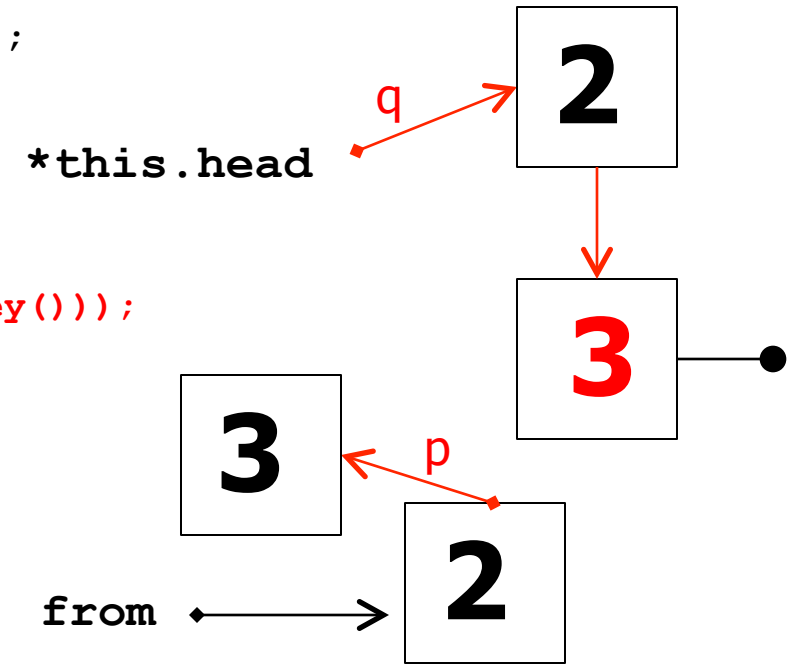
```
// copy constructor
List::List (const List& l)
  : head_ (0)
{
  copy (l.head_);
}
```



Eine Klasse für Listen: Die (private) Copy-Funktion

```
// private copy method
void List::copy (const Node* from)
{
  assert (head_ == 0);
  if (from != 0) {
    // copy first element to head
    head_ = new Node (from->get_key());
    Node* p = from->get_next();
    Node* q = head_;
    // copy remaining elements
    while (p != 0) {
      q->set_next (new Node (p->get_key()));
      p = p->get_next();
      q = q->get_next();
    }
  }
}
```

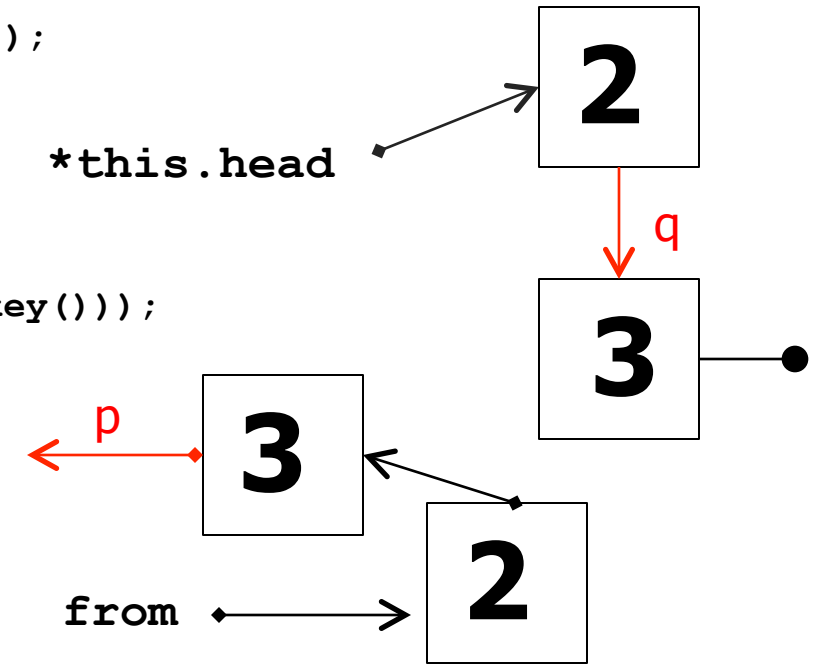
```
// copy constructor
List::List (const List& l)
  : head_ (0)
{
  copy (l.head_);
}
```



Eine Klasse für Listen: Die (private) Copy-Funktion

```
// private copy method
void List::copy (const Node* from)
{
  assert (head_ == 0);
  if (from != 0) {
    // copy first element to head
    head_ = new Node (from->get_key());
    Node* p = from->get_next();
    Node* q = head_;
    // copy remaining elements
    while (p != 0) {
      q->set_next (new Node (p->get_key()));
      p = p->get_next();
      q = q->get_next();
    }
  }
}
```

```
// copy constructor
List::List (const List& l)
  : head_ (0)
{
  copy (l.head_);
}
```

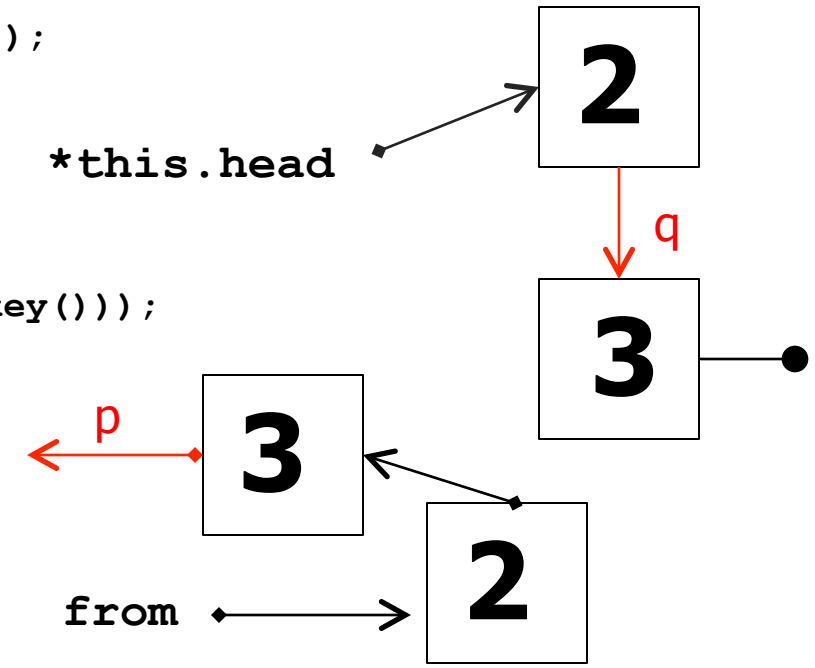


Eine Klasse für Listen: Die (private) Copy-Funktion

```
// private copy method
void List::copy (const Node* from)
{
  assert (head_ == 0);
  if (from != 0) {
    // copy first element to head
    head_ = new Node (from->get_key());
    Node* p = from->get_next();
    Node* q = head_;
    // copy remaining elements
    while (p != 0) {
      q->set_next (new Node (p->get_key()));
      p = p->get_next();
      q = q->get_next();
    }
  }
}
```

und so weiter...

```
// copy constructor
List::List (const List& l)
  : head_ (0)
{
  copy (l.head_);
}
```

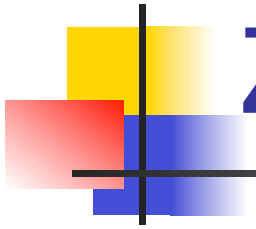


Eine Klasse für Listen: Echtes Kopieren

```
List l1;
l1.push_front (1);
l1.push_front (3);
l1.push_front (2);
std::cout << l1 << std::endl;  // 2 3 1

List l2 = l1;
std::cout << l2 << std::endl;  // 2 3 1

l1.push_back (5);
l1.push_back (6);
std::cout << l1 << std::endl; // 2 3 1 5 6
std::cout << l2 << std::endl; // 2 3 1
```

Aufruf „unseres“ Copy-Konstruktors

Eine Klasse für Listen: Der Zuweisungsoperator



- Überladung von `operator=` als Mitglieds-Funktion

Eine Klasse für Listen: Der Zuweisungsoperator

```
List l3;
l3 = l2;
```

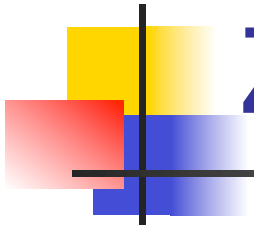
- Überladung von **`operator=`** als Mitglieds-Funktion

Eine Klasse für Listen: Der Zuweisungsoperator

```
List l3;
l3 = l2;
```

- Überladung von **`operator=`** als Mitglieds-Funktion
- ähnlich wie Copy-Konstruktor ohne Initialisierer, aber zusätzlich
  - Freigabe des Speichers für den "alten" Wert
  - Prüfen auf Selbstzuweisungen (`l3 = l3`), die keinen Effekt haben sollten

Eine Klasse für Listen: Der Zuweisungsoperator



```
List& List::operator= (const List& l)
{
  if (head_ != l.head_) {
    clear();
    copy (l.head_);
  }
  return *this;
}
```

Eine Klasse für Listen: Der Zuweisungsoperator

```
List& List::operator= (const List& l)
{
  if (head_ != l.head_) {
    clear();
    copy (l.head_);
  }
  return *this;
}
```

Prüfen auf Selbstzuweisungen

Eine Klasse für Listen: Der Zuweisungsoperator

```
List& List::operator= (const List& l)
{
  if (head_ != l.head_) {
    clear();
    copy (l.head_);
  }
  return *this;
}
```

Freigabe des Speichers für den "alten" Wert

Eine Klasse für Listen: Der Zuweisungsoperator

```
List& List::operator= (const List& l)
{
  if (head_ != l.head_) {
    clear();
    copy (l.head_);
  }
  return *this;
}
```

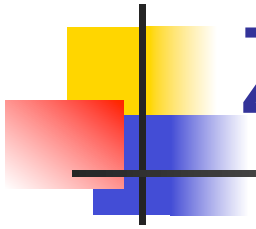
Das eigentliche Kopieren

Eine Klasse für Listen: Der Zuweisungsoperator

```
List& List::operator= (const List& l)
{
  if (head_ != l.head_) {
    clear();
    copy (l.head_);
  }
  return *this;
}
```

Konvention: Zuweisungsoperator gibt den neuen Wert als L-Wert zurück.

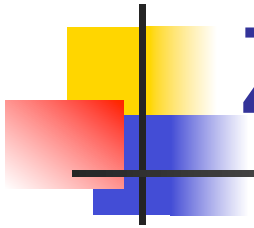
Eine Klasse für Listen: Der Zuweisungsoperator



- Falls kein Zuweisungsoperator deklariert ist, so wird er automatisch erzeugt (und weist mitgliedsweise zu)

Das ist für unsere Klasse **`List`** wiederum nicht das, was wir wollen (es wird nur der Zeiger **`head_`** kopiert, *nicht* jedoch die dahinterliegende Liste – wir erhalten Alias-Semantik)!

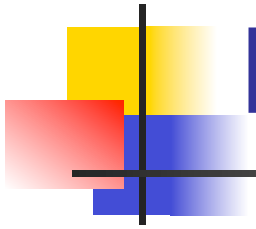
Eine Klasse für Listen: Der Zuweisungsoperator



```
…
std::cout << l1 << std::endl; // 2 3 1 5 6
std::cout << l2 << std::endl; // 2 3 1

List l3;
l3 = l1;
std::cout << l3 << std::endl; // 2 3 1 5 6
```

Aufruf „unseres“ Zuweisungsoperators

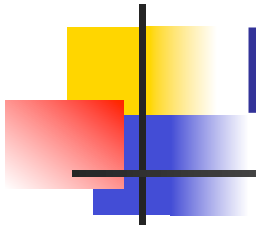
Eine Klasse für Listen: Der Destruktor



- Problem: Quelltext enthält jede Menge **`new`**'s, aber keine **`delete`**'s, das führt zu Speicherlecks

```
void List::push_front (int key)
{
  head_ = new Node (key, head_);
}
```

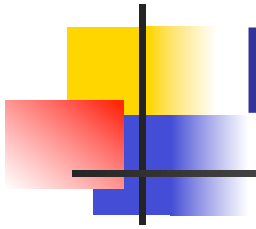
Eine Klasse für Listen: Der Destruktor



- Problem: Quelltext enthält jede Menge **`new`**'s, aber keine **`delete`**'s, das führt zu Speicherlecks
- Die **`delete`**'s sollen passieren, wenn wir die Liste nicht mehr brauchen.

```
void List::push_front (int key)
{
  head_ = new Node (key, head_);
}
```

Eine Klasse für Listen: Der Destruktor



- Problem: Quelltext enthält jede Menge **`new`**‘s, aber keine **`delete`**‘s, das führt zu Speicherlecks
- Die **`delete`**‘s sollen passieren, wenn wir die Liste nicht mehr brauchen....
- Nämlich genau dann, wenn ihre automatische Speicherdauer endet!

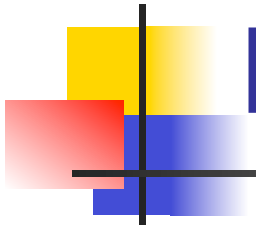
Eine Klasse für Listen: Der Destruktor

- Nämlich genau dann, wenn ihre automatische Speicherdauer endet!

```
int main() {
  List l1;
  l1.push_front (1);
  l1.push_front (3);
  l1.push_front (2);
  std::cout << l1 << std::endl;  // 2 3 1
  return 0;
}
```

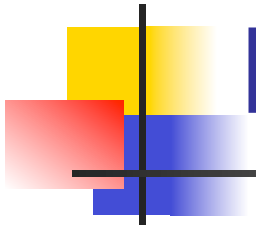
Ziel genau wie bei fundamentalen Typen: Ende des Gültigkeitsbereichs, der Speicher wird wieder freigegeben.

Eine Klasse für Listen: Der Destruktor



- Der *Destruktor* ist eine spezielle Mitgliedsfunktion, die automatisch aufgerufen wird, wenn die Speicherdauer eines Klassenobjekts endet.

Eine Klasse für Listen: Der Destruktor



- Der *Destruktor* ist eine spezielle Mitgliedsfunktion, die automatisch aufgerufen wird, wenn die Speicherdauer eines Klassenobjekts endet.
- Wird kein Destruktor deklariert, so wird er automatisch erzeugt und ruft die Destruktoren für die Datenmitglieder auf (hier: Zeiger **`head_`**, kein Effekt)

Eine Klasse für Listen: Der Destruktor

```
List::~List()
{
  clear();
}
```

Destruktor: Name wie die Klasse, mit ~ davor, und stets ohne Argumente

Eine Klasse für Listen: Der Destruktor

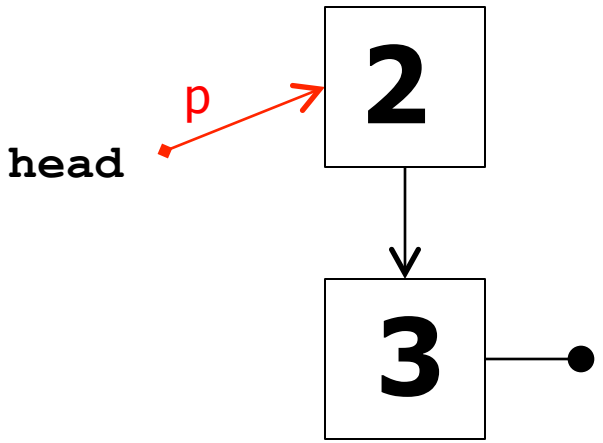
```
List::~List()
{
   clear();
}
```

Entfernt alle Elemente aus der Liste und gibt ihren Speicher frei.

Eine Klasse für Listen: Der Destruktor

```
List::~List()
{
  clear();
}
void List::clear ()
{
  Node* p = head_;
  while (p != 0) {
    p = p->get_next();
    delete head_;
    head_ = p;
  }
  assert (head_ == 0);
}
```

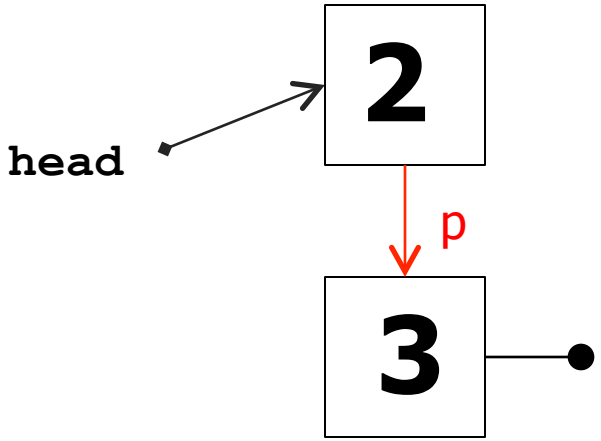
Entfernt alle Elemente aus der Liste und gibt ihren Speicher frei.



Eine Klasse für Listen: Der Destruktor

```
List::~List()
{
  clear();
}
void List::clear ()
{
  Node* p = head_;
  while (p != 0) {
    p = p->get_next();
    delete head_;
    head_ = p;
  }
  assert (head_ == 0);
}
```

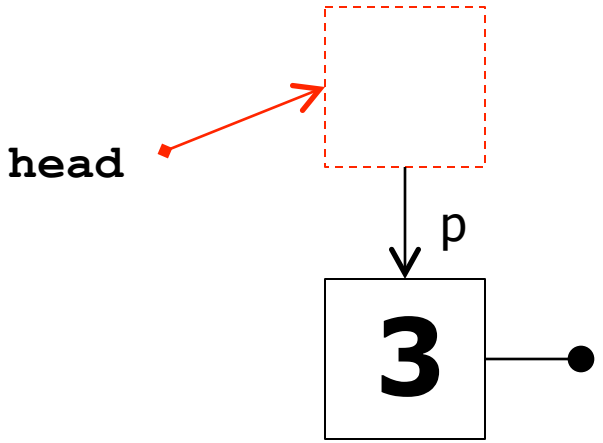
Entfernt alle Elemente aus der Liste und gibt ihren Speicher frei.



Eine Klasse für Listen: Der Destruktor

```
List::~List()
{
  clear();
}
void List::clear ()
{
  Node* p = head_;
  while (p != 0) {
    p = p->get_next();
    delete head_;
    head_ = p;
  }
  assert (head_ == 0);
}
```

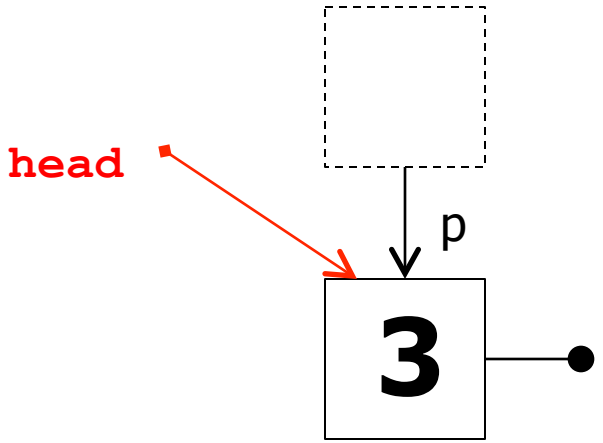
Entfernt alle Elemente aus der Liste und gibt ihren Speicher frei.



Eine Klasse für Listen: Der Destruktor

```
List::~List()
{
  clear();
}
void List::clear ()
{
  Node* p = head_;
  while (p != 0) {
    p = p->get_next();
    delete head_;
    head_ = p;
  }
  assert (head_ == 0);
}
```

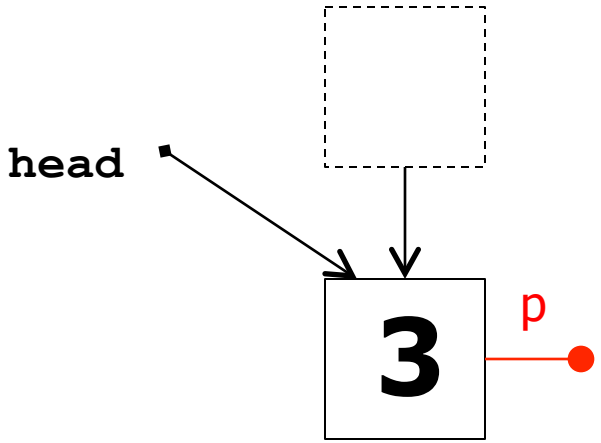
Entfernt alle Elemente aus der Liste und gibt ihren Speicher frei.



Eine Klasse für Listen: Der Destruktor

```
List::~List()
{
  clear();
}
void List::clear ()
{
  Node* p = head_;
  while (p != 0) {
    p = p->get_next();
    delete head_;
    head_ = p;
  }
  assert (head_ == 0);
}
```

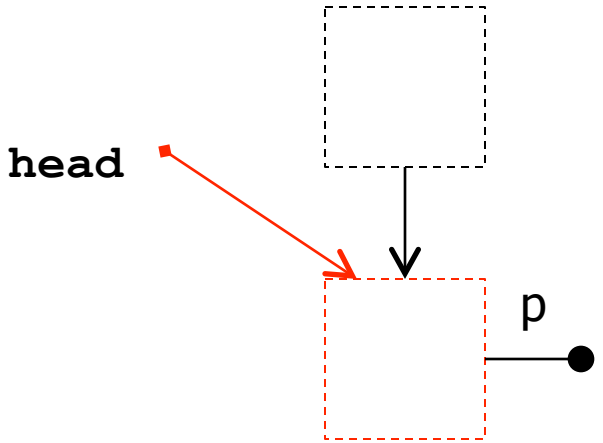
Entfernt alle Elemente aus der Liste und gibt ihren Speicher frei.



Eine Klasse für Listen: Der Destruktor

```
List::~List()
{
  clear();
}
void List::clear ()
{
  Node* p = head_;
  while (p != 0) {
    p = p->get_next();
    delete head_;
    head_ = p;
  }
  assert (head_ == 0);
}
```

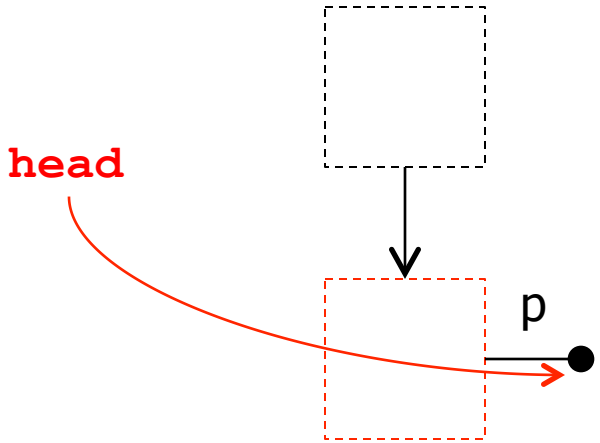
Entfernt alle Elemente aus der Liste und gibt ihren Speicher frei.



Eine Klasse für Listen: Der Destruktor

```
List::~List()
{
  clear();
}
void List::clear ()
{
  Node* p = head_;
  while (p != 0) {
    p = p->get_next();
    delete head_;
    head_ = p;
  }
  assert (head_ == 0);
}
```

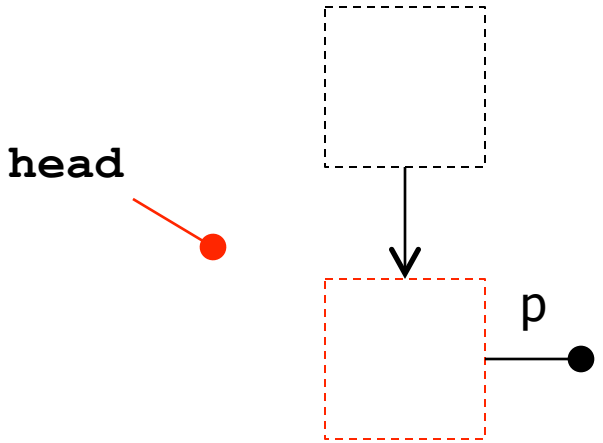
Entfernt alle Elemente aus der Liste und gibt ihren Speicher frei.

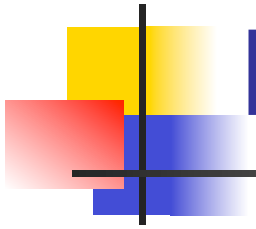


Eine Klasse für Listen: Der Destruktor

```
List::~List()
{
  clear();
}
void List::clear ()
{
  Node* p = head_;
  while (p != 0) {
    p = p->get_next();
    delete head_;
    head_ = p;
  }
  assert (head_ == 0);
}
```

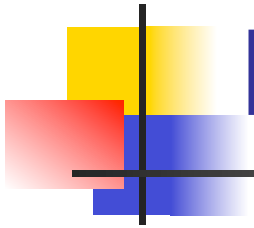
Entfernt alle Elemente aus der Liste und gibt ihren Speicher frei.





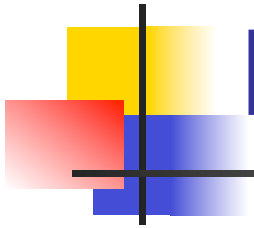
Dynamischer Datentyp

- Typ, der dynamischen Speicher verwaltet (z.B. unsere Klasse für Listen)



Dynamischer Datentyp

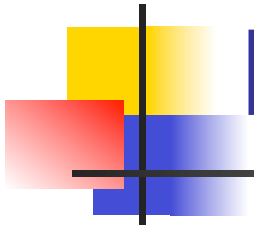
- Typ, der dynamischen Speicher verwaltet (z.B. unsere Klasse für Listen)
- andere typische Anwendungen:
  - Stapel
  - Bäume
  - Graphen



Dynamischer Datentyp

- sollte immer mindestens
  - Konstruktoren
  - Destruktor
  - Copy-Konstruktor
  - Zuweisungsoperator

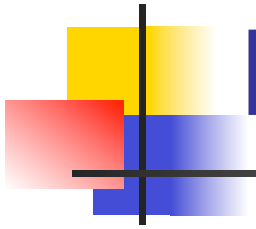
  haben.



Listen: Elemente entfernen

- Zur Erinnerung: damit haben wir Listen motiviert!

Listen: Elemente entfernen



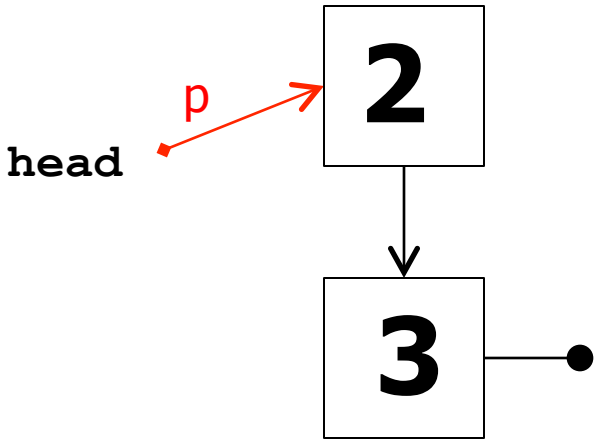
- Zur Erinnerung: damit haben wir Listen motiviert!
- Gewünschte Funktionalität:

```
// POST: the first occurrence of key was removed from *this
//       if *this does not contain key, nothing happened
void remove (int key);
```

Listen: Elemente entfernen

```
void List::remove (int key)
{
  if (head_ != 0) {
    Node* p = head_;
    if (p->get_key() == key) {
      head_ = head_->get_next();
      delete p;
    } else
      while (p->get_next() != 0) {
        Node* q = p->get_next();
        if (q->get_key() == key) {
          p->set_next(q->get_next());
          delete q;
          break;
        } else
          p = q;
      }
  }
}
```

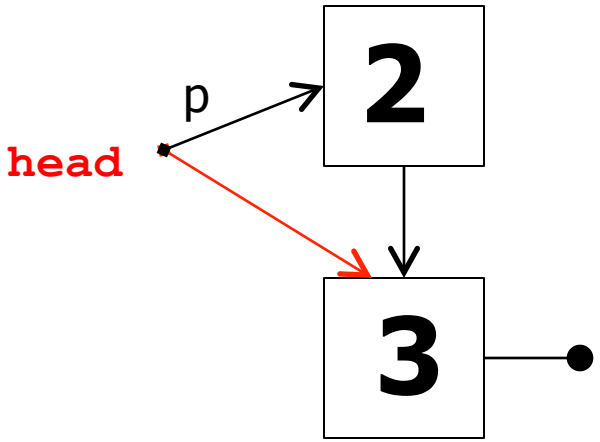
Fall 1: erstes Element wird entfernt (**`key == 2`**).



Listen: Elemente entfernen

```
void List::remove (int key)
{
  if (head_ != 0) {
    Node* p = head_;
    if (p->get_key() == key) {
      head_ = head_->get_next();
      delete p;
    } else
      while (p->get_next() != 0) {
        Node* q = p->get_next();
        if (q->get_key() == key) {
          p->set_next(q->get_next());
          delete q;
          break;
        } else
          p = q;
      }
  }
}
```

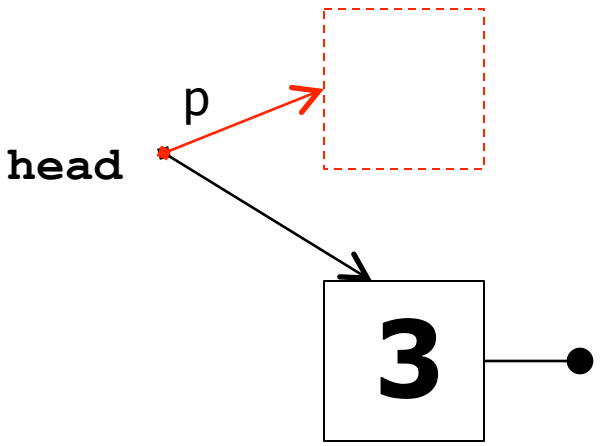
Fall 1: erstes Element wird entfernt (**`key == 2`**).



Listen: Elemente entfernen

```
void List::remove (int key)
{
  if (head_ != 0) {
    Node* p = head_;
    if (p->get_key() == key) {
      head_ = head_->get_next();
      delete p;
    } else
      while (p->get_next() != 0) {
        Node* q = p->get_next();
        if (q->get_key() == key) {
          p->set_next(q->get_next());
          delete q;
          break;
        } else
          p = q;
      }
  }
}
```

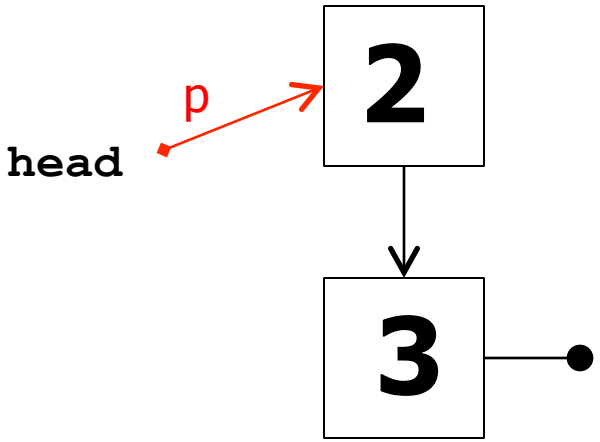
Fall 1: erstes Element wird entfernt (**`key == 2`**).



Listen: Elemente entfernen

```
void List::remove (int key)
{
  if (head_ != 0) {
    Node* p = head_;
    if (p->get_key() == key) {
      head_ = head_->get_next();
      delete p;
    } else
      while (p->get_next() != 0) {
        Node* q = p->get_next();
        if (q->get_key() == key) {
          p->set_next(q->get_next());
          delete q;
          break;
        } else
          p = q;
      }
  }
}
```

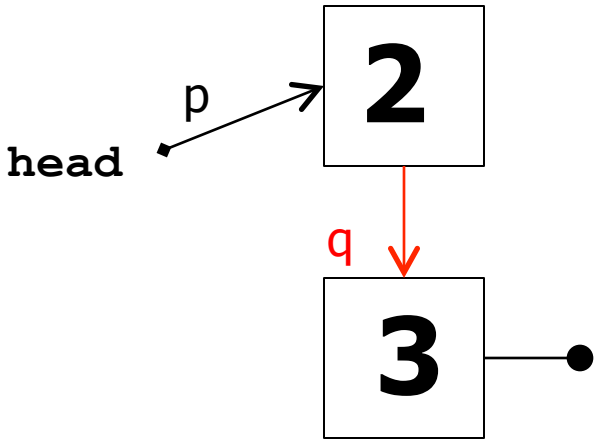
Fall 2: anderes Element wird entfernt (**`key == 3`**).



Listen: Elemente entfernen

```
void List::remove (int key)
{
  if (head_ != 0) {
    Node* p = head_;
    if (p->get_key() == key) {
      head_ = head_->get_next();
      delete p;
    } else
      while (p->get_next() != 0) {
        Node* q = p->get_next();
        if (q->get_key() == key) {
          p->set_next(q->get_next());
          delete q;
          break;
        } else
          p = q;
      }
  }
}
```

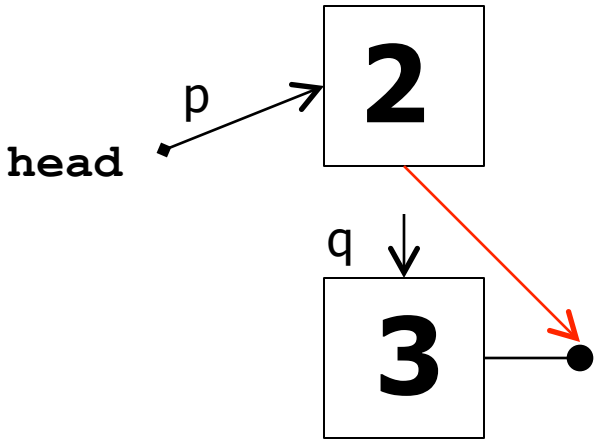
Fall 2: anderes Element wird entfernt (**`key == 3`**).



Listen: Elemente entfernen

```
void List::remove (int key)
{
  if (head_ != 0) {
    Node* p = head_;
    if (p->get_key() == key) {
      head_ = head_->get_next();
      delete p;
    } else
      while (p->get_next() != 0) {
        Node* q = p->get_next();
        if (q->get_key() == key) {
          p->set_next(q->get_next());
          delete q;
          break;
        } else
          p = q;
      }
  }
}
```

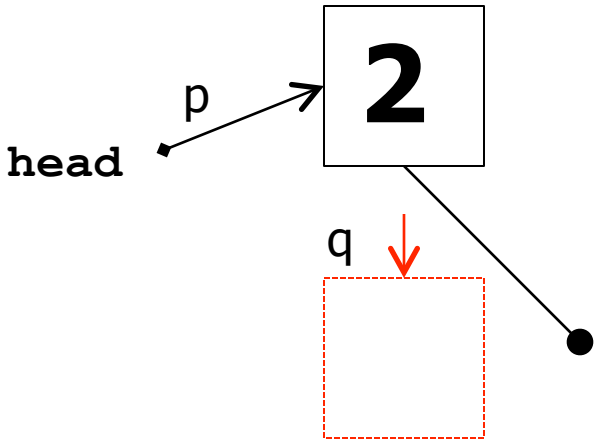
Fall 2: anderes Element wird entfernt (**`key == 3`**).



Listen: Elemente entfernen

```
void List::remove (int key)
{
  if (head_ != 0) {
    Node* p = head_;
    if (p->get_key() == key) {
      head_ = head_->get_next();
      delete p;
    } else
      while (p->get_next() != 0) {
        Node* q = p->get_next();
        if (q->get_key() == key) {
          p->set_next(q->get_next());
          delete q;
          break;
        } else
          p = q;
      }
  }
}
```

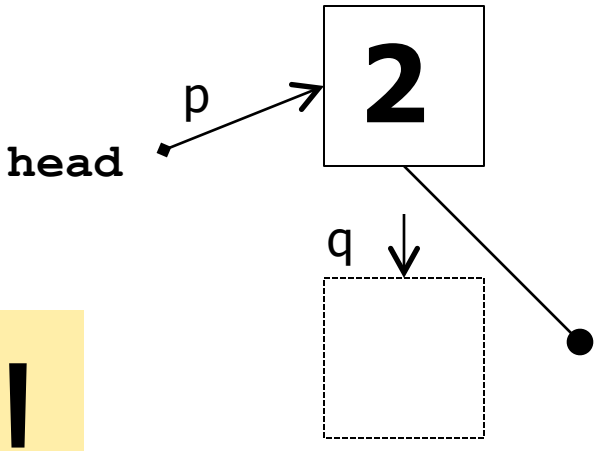
Fall 2: anderes Element wird entfernt (**`key == 3`**).



Listen: Elemente entfernen

```
void List::remove (int key)
{
  if (head_ != 0) {
    Node* p = head_;
    if (p->get_key() == key) {
      head_ = head_->get_next();
      delete p;
    } else
      while (p->get_next() != 0) {
        Node* q = p->get_next();
        if (q->get_key() == key) {
          p->set_next(q->get_next());
          delete q;
          break;
        } else
          p = q;
      }
  }
}
```

Fall 2: anderes Element wird entfernt (**`key == 3`**).



Fertig!