7. Zeiger

Prof. Dr. Markus Gross

Informatik I für D-ITET (WS 03/04)

- Zeiger (Pointers)
- Dynamische Speicherverwaltung
- **`new`** und **`delete`**

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Zeiger (Pointers) und Adressen

- Bei der Datenspeicherung muss dreierlei Information gespeichert werden
  - Wo ist das Datum gespeichert
  - Welchen Wert hat es
  - Welchen Typ hat es

- Zur Ermittlung der Speicheradresse eines Datums dient der *Adressoperator* **&**
- Beispiel:
  - `int value = 5; //`
  - `&value; // liefert die Adresse (hexadezimal)`
- Adressen können je nach Implementierung verschieden gross sein
  - Typischerweise 32 Bit (**`0x1234ac3d`**)

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Pointers

- Eine *Pointervariable* speichert die Adresse eines Datentyps
- Sie kann zur *Referenzierung* einer Variablen herangezogen werden
- Sehr mächtiges Werkzeug in C/C++
- Syntax zur Definition verwendet den *Dereferenzierungsoperator* ***

```
int value = 5; // int Variable
int *p_value; // Pointer auf int
p_value = &value; // Initialisierung auf
                  // Adresse von value
int new_value = *p_value; // Zugriff auf Inhalt
// der Speicheradresse durch Dereferenzierung
```

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Beispiel 4: Adressen

```
// pointer.cpp _ our first pointer variable

#include <iostream>
using namespace std;

int main()
{
    int updates = 6;          // declare a variable
    int * p_updates;          // declare pointer to an int

    p_updates = &updates;   // assign address of int to pointer

    // express values two ways

    cout << "Values: updates = " << updates;
    cout << ", *p_updates = " << *p_updates << "\n";

    // express address two ways

    cout << "Addresses: &updates = " << &updates;
    cout << ", p_updates = " << p_updates << "\n";

    // use pointer to change value

    *p_updates = *p_updates + 1;
    cout << "Now updates = " << updates << "\n";
    return 0;
}
```

Pointer Variable

Initialisierung des Pointers

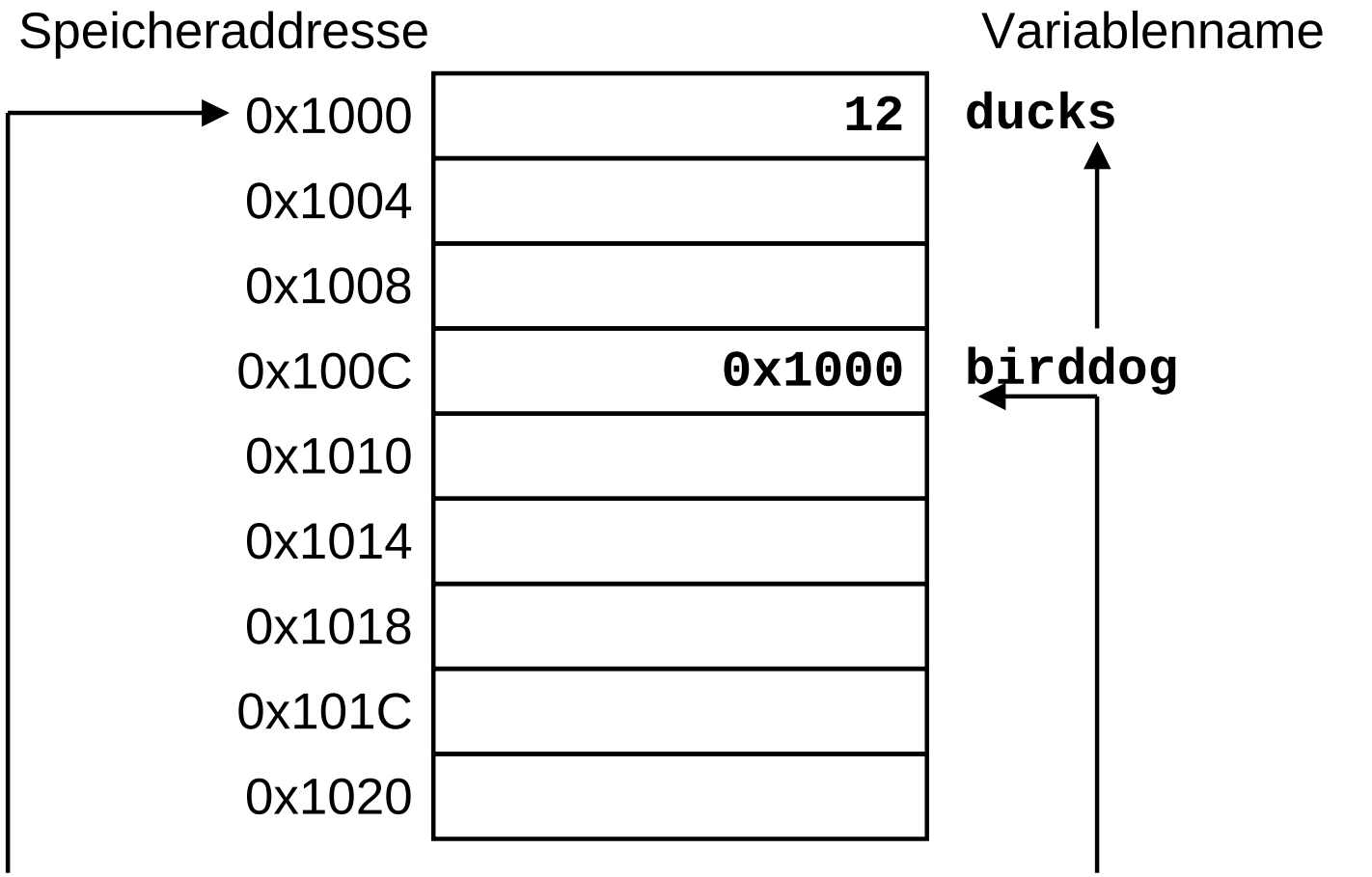
Zugriff auf Members

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Definition und Initialisierung

- Typ der Variablen, auf die der Pointer zeigt, muss bei der Initialisierung mit angegeben werden
  - `double *p_value;`
  - `double* p_value; // ebenfalls möglich`
  - `double *p1, p2; // Vorsicht !!!!`
- Pointer ist ein von **`int`** verschiedener Typ
- Daher kann man einem Pointer keinen Integer zuweisen
- Es wird eine *explizite Typenumwandlung* (*explicit typecast*) benötigt
  - `int *p1;`
  - `p1 = 0x4356ff0c; // type mismatch`
  - `p1 = (int *) 0x4356ff0c; // type cast`

Situation im Speicher




```
int ducks = 12;

// enthaelt den Wert 12
```

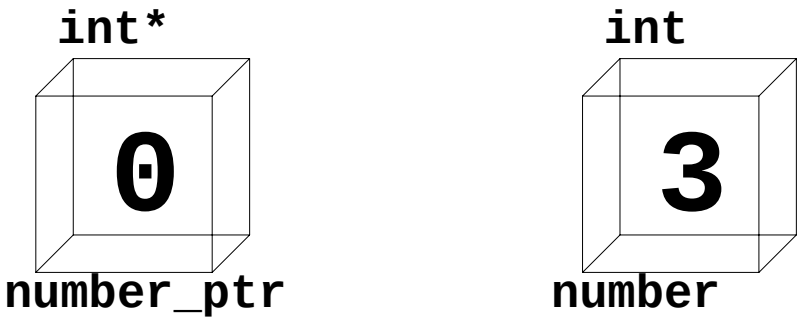
```
int *birddog = &ducks;

// enthaelt die
   Adresse von ducks
```

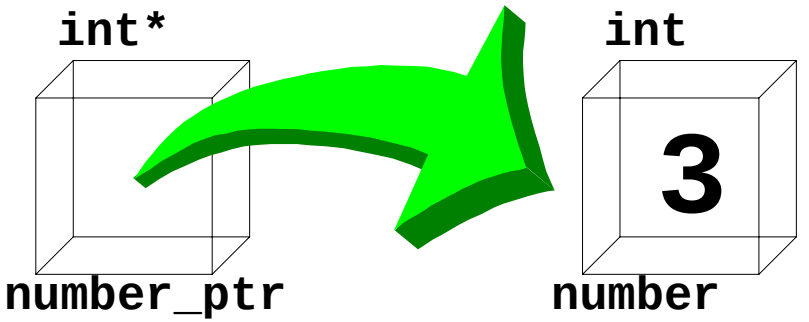
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Illustration (I)

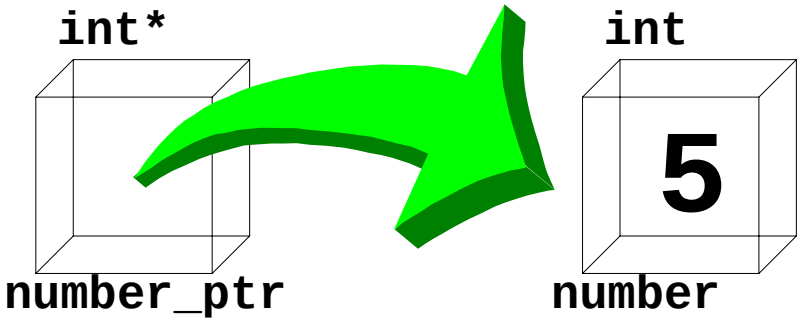
```
int number = 3;
int* number_ptr = NULL;
```



```
number_ptr = &number;
```



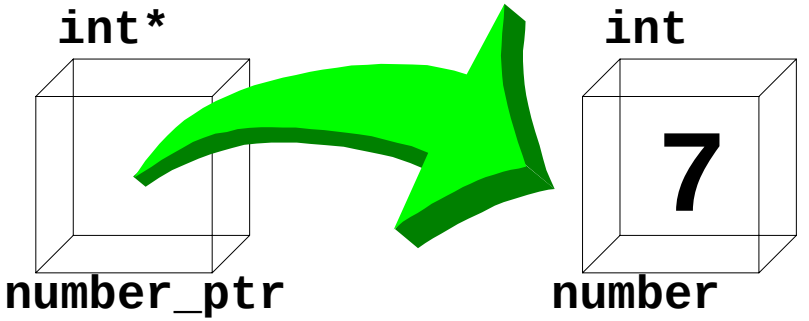
```
number = 5;
```



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

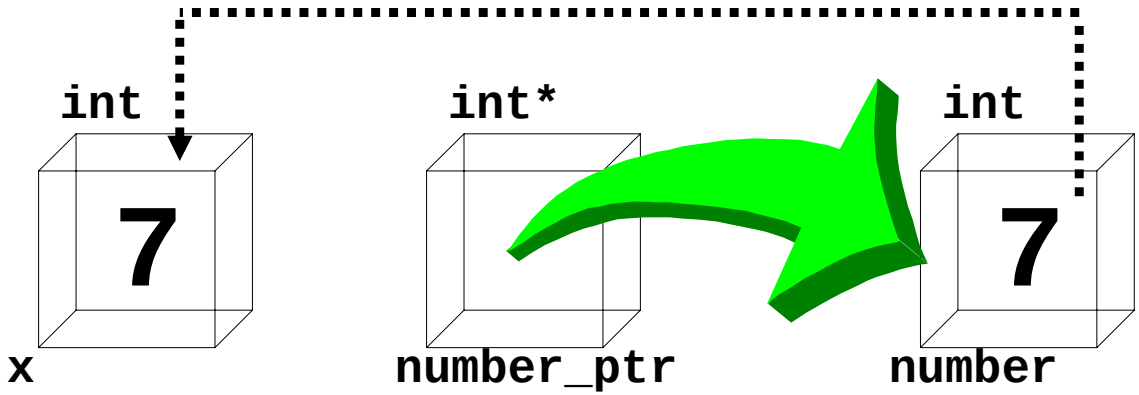
Pointers (II)

```
*number_ptr = 7;
```



```
*number = 8;          // FEHLER!! number ist kein Pointer
```

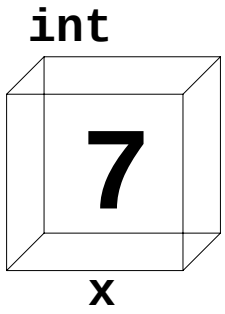
```
int x = *number_ptr;
```

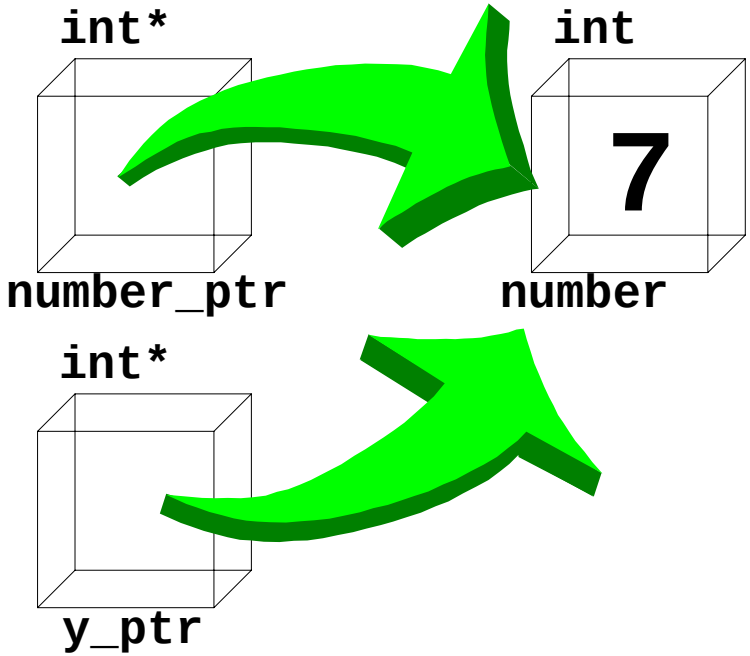


Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Pointers (III)

```
int* y_ptr = number_ptr;
```

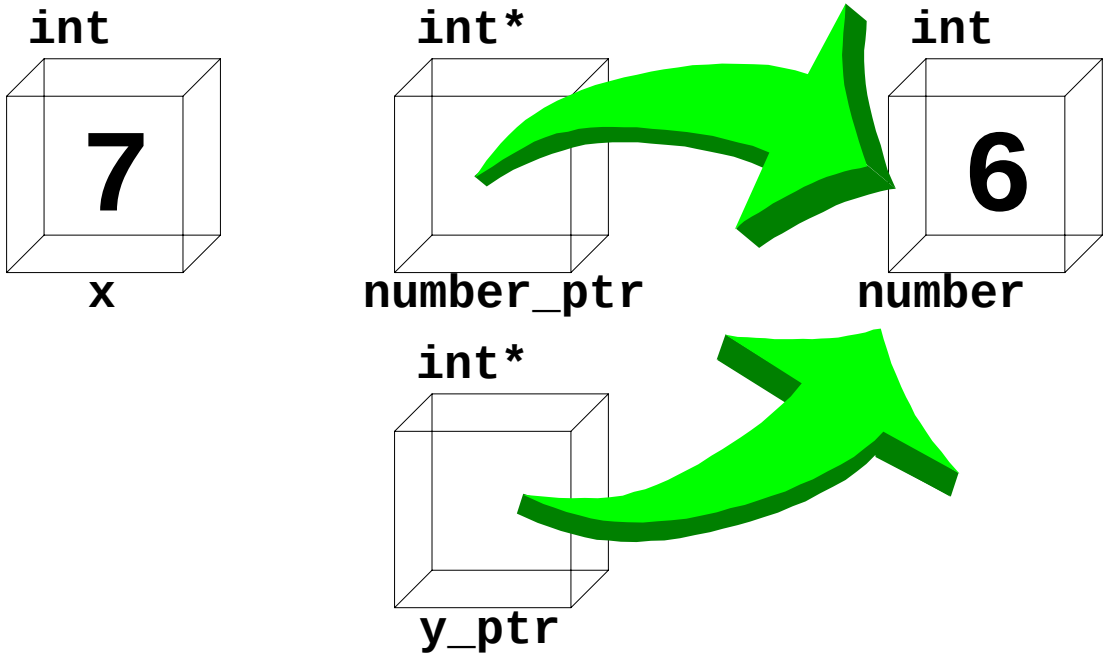




Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Pointers (IV)

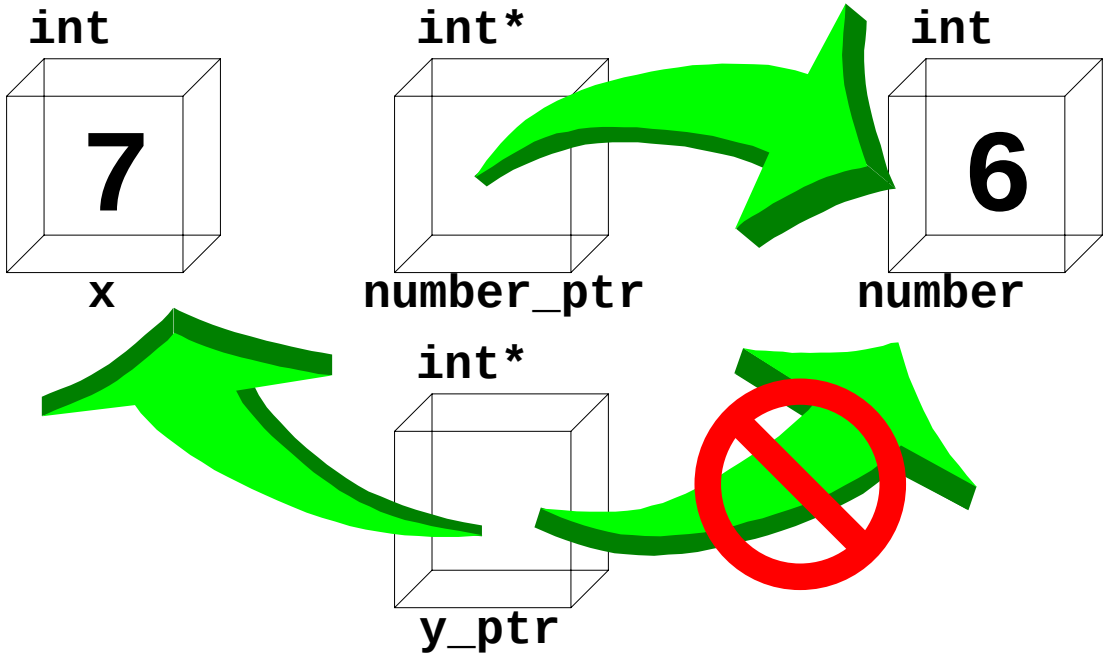
```
*y_ptr = 6;
```



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Pointers (V)

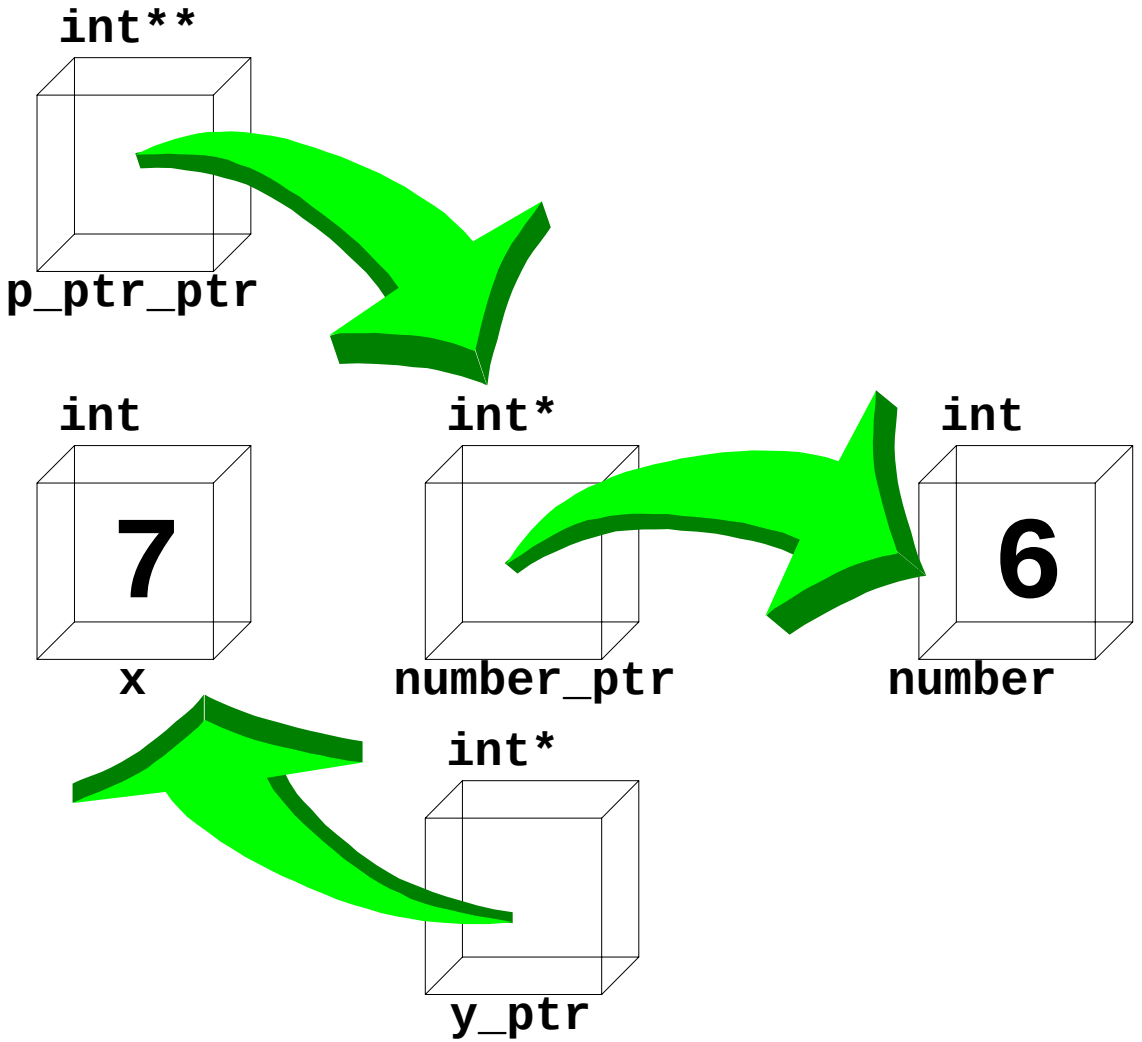
```
y_ptr = &x;
```



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Pointers (VI)

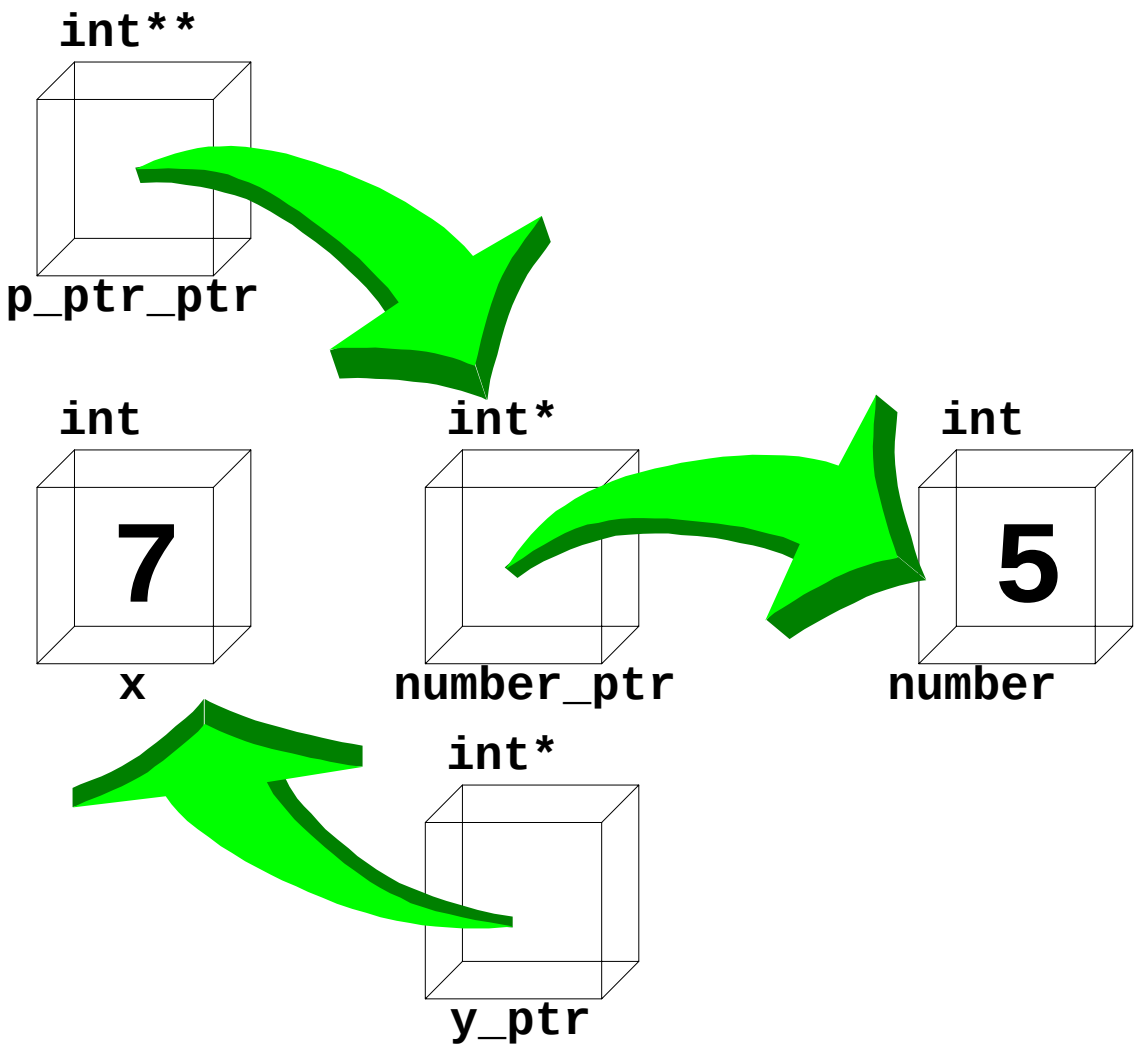
```
int* *p_ptr_ptr;
p_ptr_ptr = &number_ptr;
```



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Pointers (VII)

```
*(*p_ptr_ptr) = 5;
```



ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Dynamische Speicherverwaltung

- Bisher wurde Grösse des Speicherplatzes für Variablen zur *Compilezeit* festgelegt
- Pointers erlauben eine *dynamische* Speicherveraltung zur *Laufzeit*
- Die Definition eines Pointers reserviert nur Platz zur Speicherung einer Adresse
  - `double *p_value; // Speicher für Adresse, nicht // für den double`
- **`new`**-Operator kreiert erforderlichen Speicher
  - `double *p_value = new double; // Speicher für // Adresse UND für einen Wert vom Typ double`
- Dieser Speicher ist namenlos, kann jedoch über Pointer verwendet werden

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Beispiel_5: New

```
// use_new.cpp _ using the new operator
#include <iostream>
using namespace std;

int main()
{
    int * pi = new int;          // allocate space for an int
    *pi = 1001;                  // store a value there

    cout << "int ";
    cout << "value = " << *pi << ": location = " << pi << "\n";

    double * pd = new double;    // allocate space for a double

    *pd = 10000001.0;            // store a double there

    cout << "double ";
    cout << "value = " << *pd << ": location = " << pd << "\n";
    cout << "size of pi = " << sizeof pi;
    cout << ": size of *pi = " << sizeof *pi << "\n";
    cout << "size of pd = " << sizeof pd;
    cout << ": size of *pd = " << sizeof *pd << "\n";

    delete pi;
    delete pd;

    return 0;
}
```

Pointer Variable sowie Allokation von Speicher

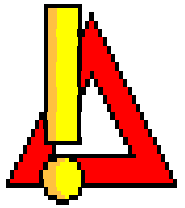
Speicherung eines Wertes

sizeof-Operator

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Dynamische Speicherverwaltung

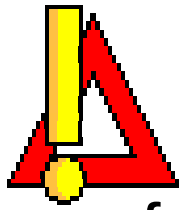
- **`new`**-Operator liefert Anfangsadresse des alloziierten Speichers
- Bei Misserfolg wird 0 zurückgeliefert (*null pointer*)
- Speicher muss explizit vom Benutzer freigegeben werden
  - Je nach Betriebssystem kann ein *Speicherloch* (*memory leak*) drohen
- **`delete`**-Operator gibt Speicher frei
  - `double *p_value = new double;`
  - `delete p_value; // Speicherfreigabe`
- Es muss dabei die gleiche Adresse verwendet werden (nicht die gleiche Pointer-Variable)



ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Dynamische Arrays

- Grosse Arrays wurden bisher *statisch* zur Compilezeit festgelegt
- Mit Pointern kann die Arrraygrösse *dynamisch* zur Laufzeit gesetzt werden
  - `int *a_ptr = new int [10]; // allocate`
  - `delete [] a_ptr; // Speicher freigeben`
- Allgemeine Form zur Allokation dynamischer Arrays:
  - ***`type_name pointer_name = new type_name [nb];`***
- Verwendung des Arrays über Pointername
- *Pointername wird als Arrayname verwendet*
- Allgemein in C/C++: Name eines Arrays = Pointer auf Anfangsadresse
- Arrays werden intern über Pointers repräsentiert



Beispiel_6: Dynamische Arrays

```
// arraynew.cpp _ using the new
      operator for arrays
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    double * p3 = new double [3];
// space for 3 doubles

    p3[0] = 0.2;
// treat p3 like an array name

    p3[1] = 0.5;
    p3[2] = 0.8;

    cout << "p3[1] is " << p3[1] <<
     ".\n";

    p3 = p3 + 1;
// increment the pointer

    cout << "Now p3[0] is " << p3[0] <<
     " and ";
    cout << "p3[1] is " << p3[1] <<
     ".\n";
    p3 = p3 - 1;
// point back to beginning
    delete [] p3;
// free the memory
     return 0;
}
```

- Zugriff durch Pointername und Arrayklammern `[]`
- `p3[0]` ist erstes Element
- Pointer können inkrementiert und dekrementiert werden
- `p3 = p3 +1` setzt pointer auf nächstes Element im Array
- Adressierung immer relativ zur Adresse von `p3`
- Vorsicht geboten!!

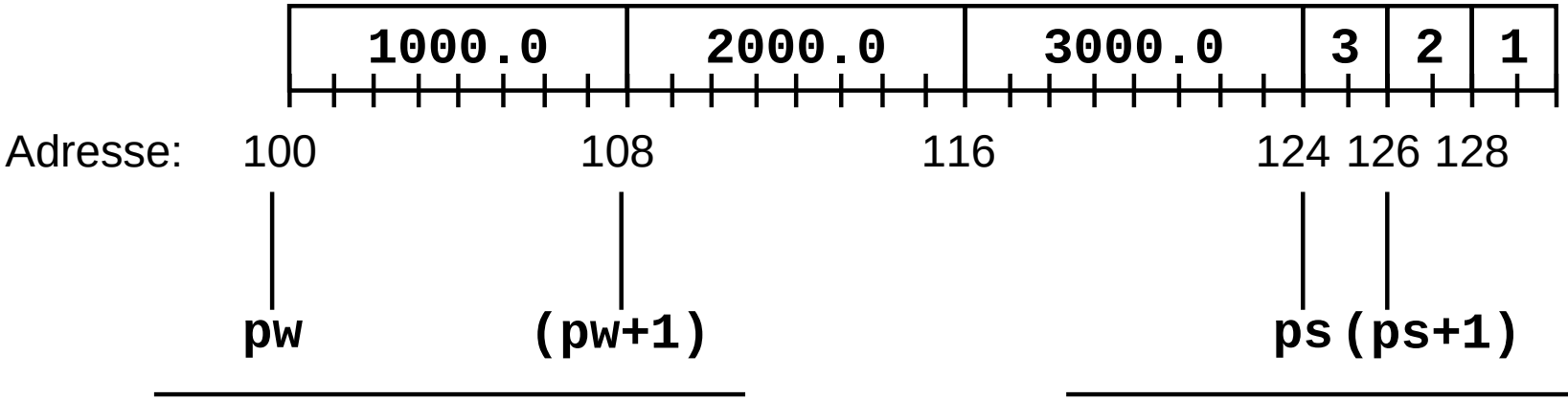
ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Pointer-Arithmetik

- Pointer erlauben eine elegante Adressierung von Array-Elementen
- Verwendung von arithmetischen Operatoren (`+`,`-`) und Dereferenzierung (`*`)
- Inkremente und Dekremente sind jeweils an Grösse des Typs aligniert
- Wird vom Compiler berechnet und kann beliebig gross sein
- Arrayname ist auch bei statischen Arrays Adresse des ersten Elementes
  - `int i_array[10]; // statisches Array`
  - `int *i_ptr = i_array; // Pointer`
- `i_array` und `&i_array[0]` sind gleich

Illustration

```
double wages[3] = {1000.0, 2000.0, 3000.0};
short stacks[3] = {3, 2, 1};
double *pw = wages;
short *ps = &stacks[0];
```



wenn man 1 zu **pw** addiert wird der Wert um 8 Bytes erhöht weil **pw** ein Pointer ist der auf ein **double** zeigt

wenn man 1 zu **ps** addiert wird der Wert um 2 Bytes erhöht weil **ps** ein Pointer ist der auf ein **short** zeigt

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Beispiel_7: Arrays und Pointers

```
// addpntrs.cpp -- pointer addition
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
     double wages[3] = {10000.0, 20000.0, 30000.0};
     short stacks[3] = {3, 2, 1};

// Here are two ways to get the address of an array

    double *pw = wages;     // name of an array = address
    short *ps = &stacks[0]; // or use address operator
                            // with array element
    cout << "pw = " << pw << ", *pw = " << *pw << "\n";
    pw = pw + 1;
    cout << "add 1 to the pw pointer:\n";
    cout << "pw = " << pw << ", *pw = " << *pw << "\n\n";

    cout << "ps = " << ps << ", *ps = " << *ps << "\n";
    ps = ps + 1;
    cout << "add 1 to the ps pointer:\n";
    cout << "ps = " << ps << ", *ps = " << *ps << "\n\n";

    cout << "access two elements with array notation\n";
    cout << stacks[0] << " " << stacks[1] << "\n";
    cout << "access two elements with pointer notation\n";
    cout << *stacks << " " << *(stacks + 1) << "\n";

    cout << sizeof wages << " = size of wages array\n";
    cout << sizeof pw << " = size of pw pointer\n";
     return 0;
}
```

Statische Arrays

Pointer-Arithmetik

Zugriff über Name

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Pointer-Arithmetik

- Aufgrund der Prioritäten der Operatoren müssen Klammern verwendet werden

```
int i_array[10];          // statisches Array
*i_array + 5              // i_array[0] + 5
*(i_array + 5)            // i_array[5]
```

- Allgemein ist

`array_name[i]` entspricht `*(array_name + i)`

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Dynamische Strukturen

- Pointers eignen sich zur Verwaltung dynamischer Strukturen

```
struct men
{
   int good;
   int bad;
};
..........
men freshmen = {241,0};
men *m_ptr = &freshmen;
...........
int a = freshmen.good; // Zuweisung
int b = m_ptr->good;   // Zuweisung +
                       // Dereferenzierung
```

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Dynamische Strukturen

- Bei Pointern auf Strukturen erfolgt Zugriff mittels `->` Operator
- Greift auf Mitgliedsvariable zu UND dereferenziert
- Entspricht der Verwendung von `*` und `.`

  `m_ptr->good` entspricht `(*m_ptr).good`
- Name eines Arrays kann nicht verändert werden
- Arrayname ist also `const`-Pointer
- Benutzereingabe der Arraygrenzen werden möglich

```
int size;
cin >> size;
int *p_int = new int [size];
```

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Speicherklassen

- Gewöhnliche Variablen innerhalb von Funktionen haben Speicherklasse **`automatic`**
- Ihr Gültigkeitsbereich ist auf den aktuellen Block beschränkt (*block scope*)
- Werden bei Eintritt in den Block angelegt
- Erlöschen bei Austritt aus dem Block
- Werden auf dem *Stack* verwaltet
- Soll eine Variable während des gesamten Programmes Gültigkeit besitzen, so gibt es zwei Möglichkeiten
  - Definition ausserhalb von Funktionen (*globale Variable*)
  - Verwendung der Speicherklasse **`static`** (*statische Variable*)

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Speicherklassen

- Statische Variablen werden durch das zusätzliche Keyword **`static`** definiert

```
static int s = 5;
```

- Werden automatisch initialisiert und behalten ihren Wert bei Beenden der Funktion (Ausnahme **`main`**)
- Können sinnvoll zur Speicherung funktionsunabhängiger Werte verwendet werden

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Beispiel_8: Dynamische Structs

```
// newstrct.cpp _ using new with a structure
#include <iostream>
using namespace std;

struct inflatable   // structure template
{
    char name[20];
    float volume;
    double price;
};


int main()
{
    inflatable * ps = new inflatable; // allot structure space

    cout << "Enter name of inflatable item: ";
    cin.get(ps->name, 20);          // method 1 for member access

    cout << "Enter volume in cubic feet: ";
    cin >> (*ps).volume;            // method 2 for member access

    cout << "Enter price: $";
    cin >> ps->price;

    cout << "Name: " << (*ps).name << "\n";  // method 2
    cout << "Volume: " << ps->volume << " cubic feet\n";
    cout << "Price: $" << ps->price << "\n"; // method 1

    delete ps;

    return 0;
}
```

Deklaration der Struktur

Pointer auf struct

Zugriff auf Mitglied

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Beispiel_9: Dynamisches Array

```
cin >> limits;

// allocate 1D array of pointers

double **d2array = new double *[limits];

// allocate rows of array

for (int i = 0; i<limits; i++)
     d2array[i] = new double[limits];

// access array

for (i = 0; i<limits; i++)
     for (int j = 0; j<limits; j++) // i,j do not expire,
                                    // block scope
               d2array[i][j] = i*j;

cout << "Arraywerte:\n";
for (i = 0; i<limits; i++)
{
     for (int j = 0; j<limits; j++)
               cout << d2array[i][j] << " " ;
     cout << "\n";
}

cout << "\n";

// free memory using delete

for (i = 0; i<limits; i++)
     delete [] d2array[i];

// now delete array of pointers
delete [] d2array;
```

Pointer auf Pointer

Allokation in Schleife

Zugriff konventionell

Speicherfreigabe