

Einführung in die Programmierung

Wintersemester 2018/19

Prof. Dr. Günter Rudolph

Lehrstuhl für Algorithm Engineering

Fakultät für Informatik

TU Dortmund

Inhalt

- Zeiger
- Zeigerarithmetik
- Zeiger für dynamischen Speicher
- Anwendungen

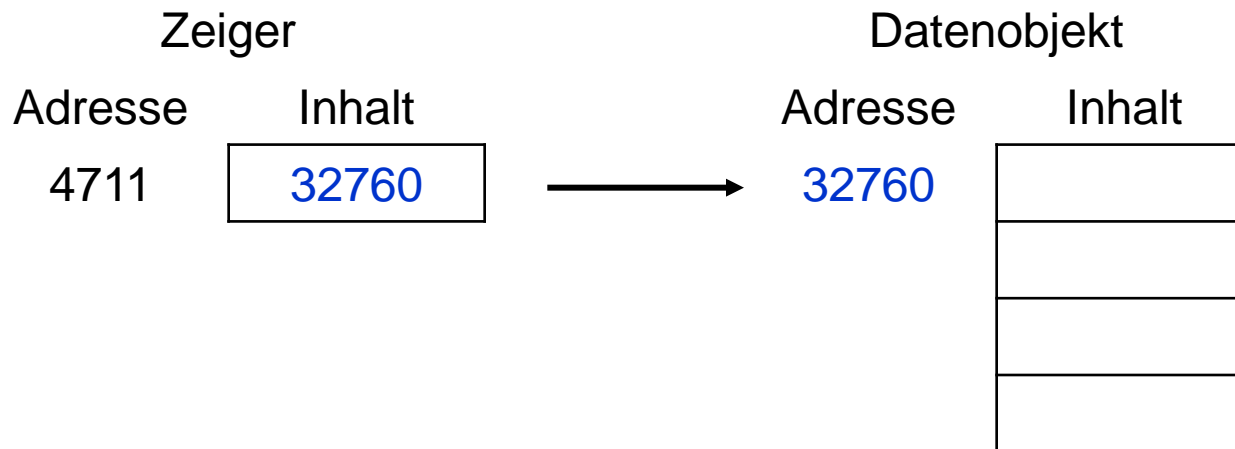
Caveat!

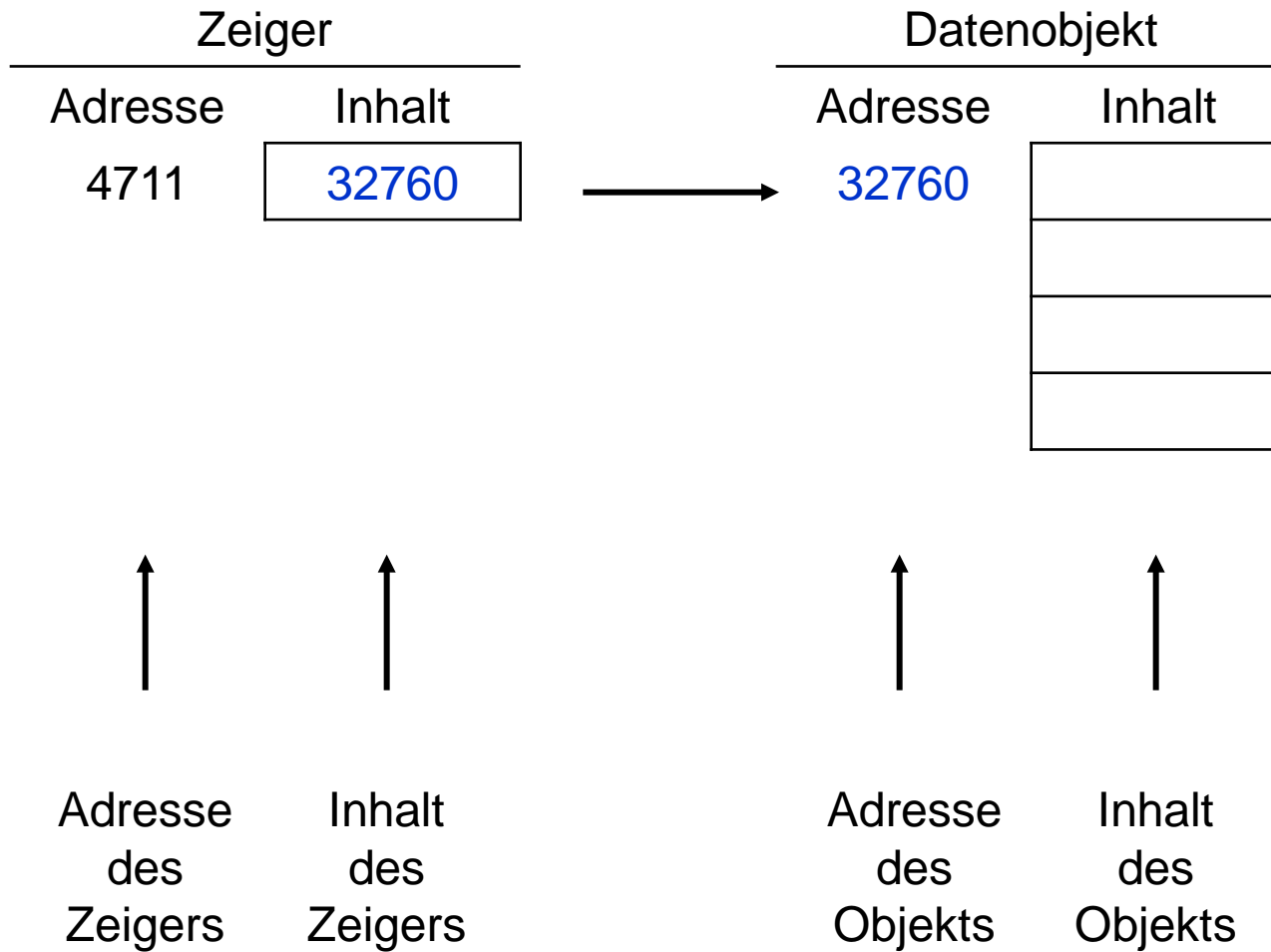
- Fehlermöglichkeiten immens groß!
- Falsch gesetzte Zeiger \Rightarrow Programm- und zuweilen Rechnerabstürze!

Aber:

- Machtvolles Konzept!
- Deshalb genaues Verständnis unvermeidlich!
- Dazu müssen wir etwas ausholen ...

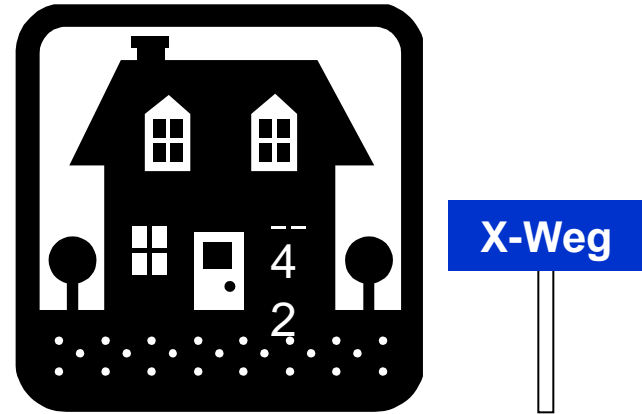
- Speicherplätzen sind fortlaufende Nummern (= Adressen) zugeordnet
- Datentyp legt Größe eines Datenobjektes fest
- Lage eines Datenobjektes im Speicher bestimmt durch Anfangsadresse
- **Zeiger** = Datenobjekt mit Inhalt (4 Byte)
- Inhalt interpretiert als Adresse eines **anderen** Datenobjektes





Beispiel: Visitenkarte

Hugo Hase
X-Weg 42



Zeiger

Objekt

Inhalt: Adresse X-Weg 42

Inhalt: Hugo Hase

Zeiger: Wofür?

- Zeiger weiterreichen einfacher als Datenobjekt weiterreichen
- Zeiger verschieben einfacher / effizienter als Datenobjekt verschieben
- etc.

Datendefinition

Datentyp *Bezeichner;

→ reserviert 4 Byte für einen Zeiger, der auf ein Datenobjekt vom Typ des angegebenen Datentyps verweist

Beispiel

- `double Umsatz;` ← „Herkömmliche“ Variable vom Type `double`
- `double *pUmsatz;` ← Zeiger auf Datentyp `double`

Was passiert genau?

```
double Umsatz;
```

reserviert 8 Byte für Datentyp `double`;
symbolischer Name: `Umsatz`;
Rechner kennt jetzt Adresse des Datenobjektes

```
double *pUmsatz;
```

reserviert 4 Byte für einen Zeiger,
der auf ein Datenobjekt vom Type `double` zeigen kann;
symbolischer Name: `pUmsatz`

```
Umsatz = 122542.12;
```

Speicherung des Wertes `122542.12` an Speicherort
mit symbolischer Adresse `Umsatz`

```
pUmsatz = &Umsatz;
```

holt Adresse des Datenobjektes,
das an symbolischer Adresse `Umsatz` gespeichert ist;
speichert Adresse in `pUmsatz`

```
*pUmsatz = 125000.;
```

indirekte Wertzuweisung:
Wert `125000.` wird als Inhalt an den Speicherort gelegt,
auf den `pUmsatz` zeigt

Zwei Operatoren: * und &

- *-Operator:

- mit Datentyp: Erzeugung eines Zeigers

```
double *pUmsatz;
```

- mit Variable: Inhalt des Ortes, an den Zeiger zeigt

```
*pUmsatz = 10.24;
```

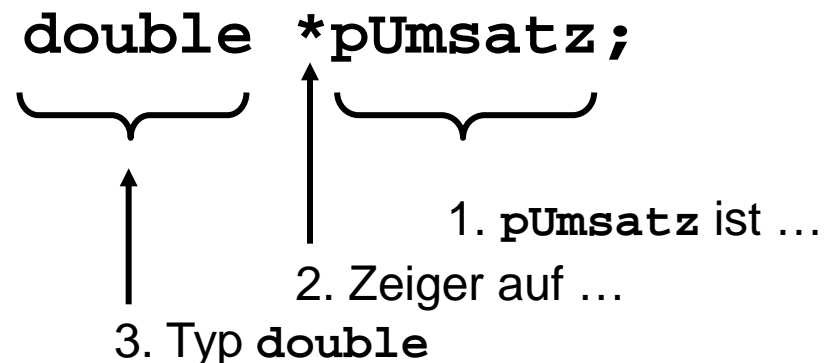
- &-Operator:

ermittelt Adresse des Datenobjektes

```
pUmsatz = &Umsatz;
```

Wie interpretiert man Datendefinition richtig?

Man lese von rechts nach links!



Initialisierung

Sei bereits `double Umsatz;` vorhanden:

```
double *pUmsatz = &Umsatz;
```

```
int *pINT = nullptr; // C++11
```

oder in „altem“ C++

```
int *pINT = 0; // C++98
```

oder in C

```
int *pINT = NULL; // C99
```

Nullpointer!

Symbolisiert Adresse, auf der **niemals** ein Datenobjekt liegt!

Verwendung Nullzeiger: Zeiger zeigt auf Nichts! Er ist „leer“! Leerer Zeiger.

Beispiele:

```
double a = 4.0, b = 5.0, c;  
c = a + b;  
double *pa = &a, *pb = &b, *pc = &c;  
*pc = *pa + *pb;
```

```
double x = 10.;  
double y = *&x;
```

Typischer Fehler

- `double *widerstand;`
`*widerstand = 120.5;`

Dem Zeiger wurde **keine Adresse** zugewiesen!

Er zeigt also irgendwo hin:

- a) Falls in geschützten Speicher, dann **Abbruch** wg. Speicherverletzung! 😊
- b) Falls in nicht geschützten Speicher, dann Veränderung anderer Daten!
Folge: Seltsames Programmverhalten! Schwer zu erkennender Fehler! ☹️

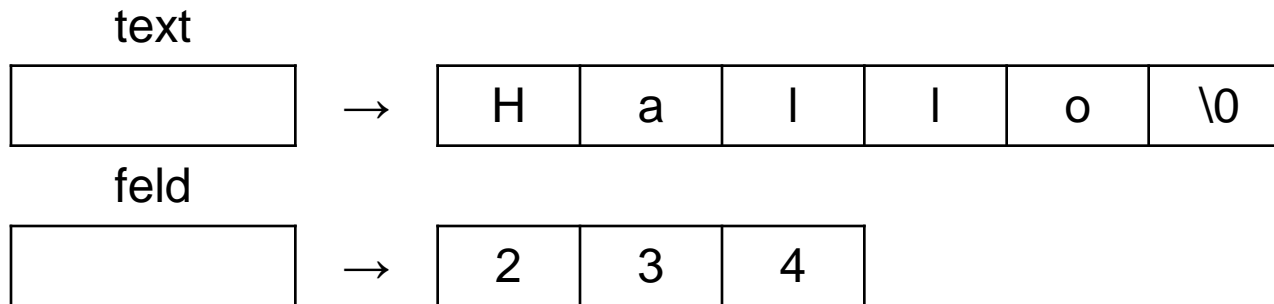
Unterscheidung

- **Konstante Zeiger**

```
char *text = "Hallo";  
int feld[] = { 2, 3, 4 };
```

zeigt auf feste Adresse im Speicher,
auf die Programmierer nicht verändernd zugreifen kann!

Aber: Es gibt
Compiler-
spezifische
Unterschiede!



```
int *const cpFeld = feld;
```

v.r.n.l.: **cpFeld** ist **constanter** Zeiger auf Datentyp **int**

Schlüsselwort `const` gibt an, dass Werte nicht verändert werden können!

Leider gibt es 2 Schreibweisen:

```
const int a = 1;
```

identisch zu

```
int const a = 1;
```

→ konstanter Integer

→ da Konstanten kein Wert zuweisbar, Wertbelegung bei Initialisierung!

verschiedene Schreibweisen können zu Verwirrungen führen ...

(besonders bei **Zeigern** !)

⇒ am besten konsistent bei einer Schreibweise bleiben!

Fragen:

1. Was ist konstant?
2. Wo kommt das Schlüsselwort `const` hin?

```
char* s1          = "Zeiger auf char";  
char const* s2    = "Zeiger auf konstante char";  
char* const s3    = "Konstanter Zeiger auf char";  
char const* const s4 = "Konstanter Zeiger auf konstante char";
```

Sinnvolle Konvention / Schreibweise:

Konstant ist, was vor dem Schlüsselwort `const` steht!

⇒ Interpretation der Datendefinition / Initialisierung von rechts nach links!

	Zeiger	Inhalt	
<code>char* s1 = "1";</code>	V	V	
<code>char const* s2 = "2";</code>	V	K	V: veränderlich
<code>char* const s3 = "3";</code>	K	V	K: konstant
<code>char const* const s4 = "4";</code>	K	K	

```
*s1 = 'a';
*s2 = 'b'; // Fehler: Inhalt nicht veränderbar
*s3 = 'c';
*s4 = 'd'; // Fehler: Inhalt nicht veränderbar
```

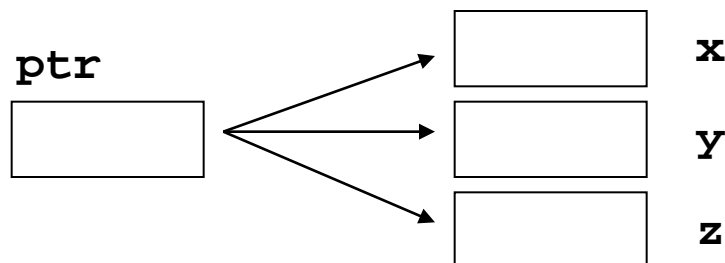
```
char* s0 = "0";
s1 = s0;
s2 = s0;
s3 = s0; // Fehler: Zeiger nicht veränderbar
s4 = s0; // Fehler: Zeiger nicht veränderbar
```


Unterscheidung

- Veränderliche Zeiger

```
double x = 2.0, y = 3.0, z = 7.0, s = 0.0, *ptr;  
ptr = &x;  
s += *ptr;  
ptr = &y;  
s += *ptr;  
ptr = &z;  
s += *ptr;
```

`ptr` nimmt nacheinander verschiedene Werte (Adressen) an
`s` hat am Ende den Wert 12.0



Zeigerarithmetik

Sei T ein beliebiger Datentyp in der Datendefinition `T *ptr;`
und `ptr` ein Zeiger auf ein Feldelement eines Arrays von Typ T

Dann bedeutet:

`ptr = ptr + 1;` oder `++ptr;`

dass der Zeiger `ptr` auf das nächste Feldelement zeigt.

Analog:

`ptr = ptr - 1;` oder `--ptr;`

Zeiger `ptr` zeigt dann auf das vorherige Feldelement

Zeigerarithmetik

Achtung:

```
T val;
```

```
T *ptr = &val;
```

```
ptr = ptr + 2;
```

In der letzten Zeile werden **nicht** 2 Byte zu `ptr` hinzugezählt, sondern 2 mal die Speichergröße des Typs `T`.

Das wird auch dann durchgeführt wenn `ptr` nicht auf Array zeigt.

Zeigerarithmetik

```
int a[] = { 100, 110, 120, 130 }, *pa, sum = 0;
pa = &a[0];
sum += *pa + *(pa + 1) + *(pa + 2) + *(pa + 3);
```

```
struct KundeT {
    double umsatz;
    float skonto;
};

KundeT Kunde[5], *pKunde;
pKunde = &Kunde[0];
int i = 3;

*pKunde = *(pKunde + i);
```

Größe des Datentyps KundeT:

$8 + 4 = 12$ Byte

Sei `pKunde == 10000`

Dann `(pKunde + i) == 10036`

Zeigerarithmetik

```
char *quelle = "Ich bin eine Zeichenkette";
int const maxZeichen = 100;
char ziel[maxZeichen] , *pz = &ziel[0];

// Länge der Zeichenkette
char *pq = quelle;
while (*pq != '\\0') pq++;
int len = pq - quelle;

if (len < maxZeichen) {
    // Kopieren der Zeichenkette
    pq = quelle;
    while (*pq != '\\0') {
        *pz = *pq;
        pz++; pq++;
    }
}
*pz = '\\0';
```

← Kommentar

← Kommentar

Das geht
„kompakter“!

später!

Zeiger auf Datenverbund (struct)

```
struct punktT { int x , y; };  
punktT punkt[1000];  
punktT *ptr = punkt;
```

```
punkt[0].x = 10;  
punkt[2].x = 20;  
punkt[k].x = 100;
```

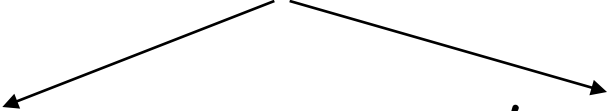


```
ptr->x = 10;  
(ptr + 2)->x = 20;  
(ptr + k)->x = 100;
```

`(*ptr).x` ist identisch zu `ptr->x`

Aufgabe:

Lese zwei Vektoren reeller Zahlen der Länge n ein.


$$a = (a_1, \dots, a_n)' \quad b = (b_1, \dots, b_n)'$$

Berechne das Skalarprodukt ... $\sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i$

... und gebe den Wert auf dem Bildschirm aus!

Lösungsansatz:

Vektoren als Arrays von Typ `double`.

n darf höchstens gleich der Arraygröße sein! Testen und ggf. erneute Eingabe!

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
    unsigned int const nmax = 100;
    unsigned int i, n;
    double a[nmax], b[nmax];

    // Dimension n einlesen und überprüfen
    do {
        cout << "Dimension ( n < " << nmax << " ): ";
        cin >> n;
    } while (n < 1 || n > nmax);
```

(Fortsetzung folgt ...)

Datendefinition `double a[nmax]` OK,
weil `nmax` eine Konstante ist!

Ohne `const`: Fehlermeldung!
z.B. „Konstanter Ausdruck erwartet“

Der aktuelle GNU C++
Compiler erlaubt folgendes:

```
#include <iostream>

int main() {

    int n;
    std::cin >> n;
    double a[n];
    a[0] = 3.14;
    return 0;
}
```

Aber: Der Microsoft C++ Compiler
(VS 2003) meldet einen Fehler!

Variable Arraygrenzen sind nicht
Bestandteil des C++ Standards!

Verwendung von Compiler-spezifischen
Spracherweiterungen führt zu Code, der
nicht portabel ist! ☹️ 💣 ☠️

Das ist nicht wünschenswert!

```
#include <iostream>

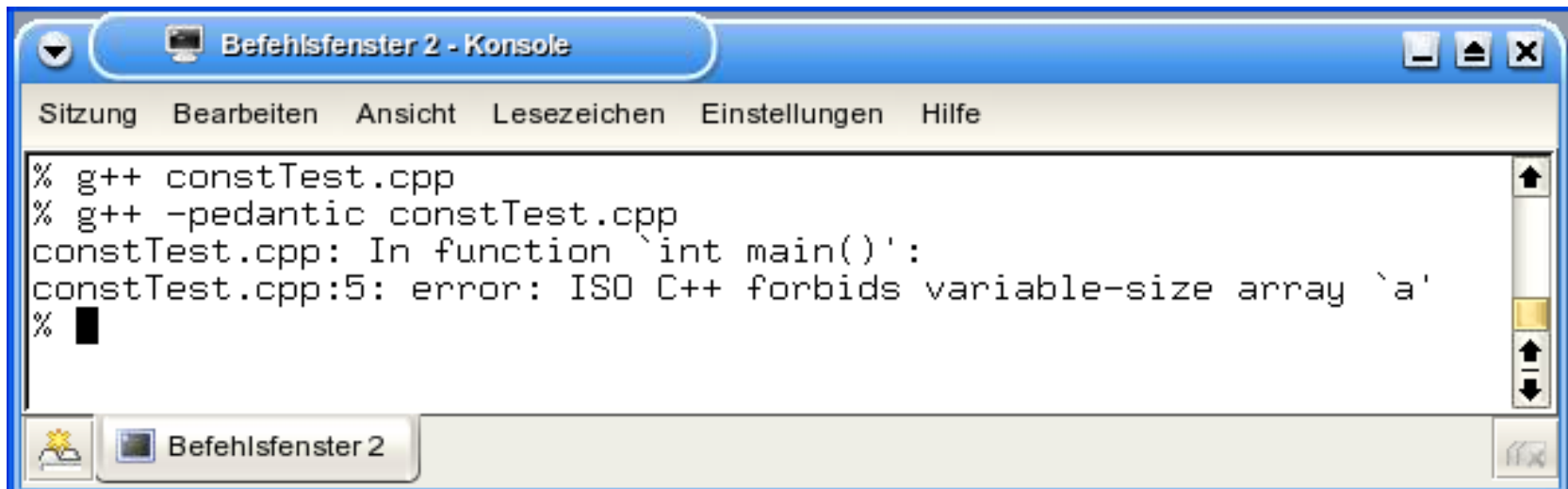
int main() {

    int n;
    std::cin >> n;
    double a[n];
    a[0] = 3.14;
    return 0;
}
```

Also: Bei Softwareentwicklung nur Sprachelemente des C++ Standards verwenden!

Bei GNU Compiler: Option `-pedantic`

C++ Standard ISO/IEC 14882-2003
z.B. als PDF-Datei erhältlich für 30\$
<http://webstore.ansi.org/>



The screenshot shows a terminal window titled "Befehlsfenster 2 - Konsole". The terminal output is as follows:

```
% g++ constTest.cpp
% g++ -pedantic constTest.cpp
constTest.cpp: In function `int main()':
constTest.cpp:5: error: ISO C++ forbids variable-size array `a'
% █
```

(... Fortsetzung)

```
// Vektor a einlesen
for (i = 0; i < n; i++) {
    cout << "a[" << i << "] = ";
    cin >> a[i];
}
// Vektor b einlesen
for (i = 0; i < n; i++) {
    cout << "b[" << i << "] = ";
    cin >> b[i];
}
// Skalarprodukt berechnen
double sp = 0.;
for (i = 0; i < n; i++)
    sp += a[i] * b[i];
// Ausgabe
cout << "Skalarprodukt = " << sp << endl;
return 0;
}
```

Anmerkung:

Fast identischer Code!

Effizienter mit Funktionen!

→ nächstes Kapitel!

Unbefriedigend bei der Implementierung:

Maximale festgelegte Größe des Vektors!

→ Liegt an der unterliegenden Datenstruktur Array:

Array ist **statisch**, d.h.

Größe wird zur Übersetzungszeit **festgelegt**

und ist **während** der **Laufzeit** des Programms **nicht veränderbar!**

Schön wären **dynamische** Datenstrukturen, d.h.

Größe wird zur Übersetzungszeit **nicht festgelegt**

und ist **während** der **Laufzeit** des Programms **veränderbar!**

Das geht mit **dynamischem Speicher** ...

... und **Zeigern!**

Erzeugen und Löschen eines Objekts zur Laufzeit:

1. Operator `new` erzeugt Objekt
2. Operator `delete` löscht zuvor erzeugtes Objekt

Beispiel: (Erzeugen)

```
int *xp      = new int;
double *yp  = new double;

struct PunktT {
    int x, y;
};

PunktT *pp = new PunktT;
```

Beispiel: (Löschen)

```
delete xp;
delete yp;

delete pp;
```

```
int n      = 10;
int *xap   = new int[n];
PunktT *pap = new PunktT[n];
```

```
delete[] xap;
delete[] pap;
```

variabel,
nicht
konstant!

Bauplan:

Datentyp *Variable = **new** Datentyp; (Erzeugen)

delete Variable; (Löschen)

Bauplan für Arrays:

Datentyp *Variable = **new** Datentyp[Anzahl]; (Erzeugen)

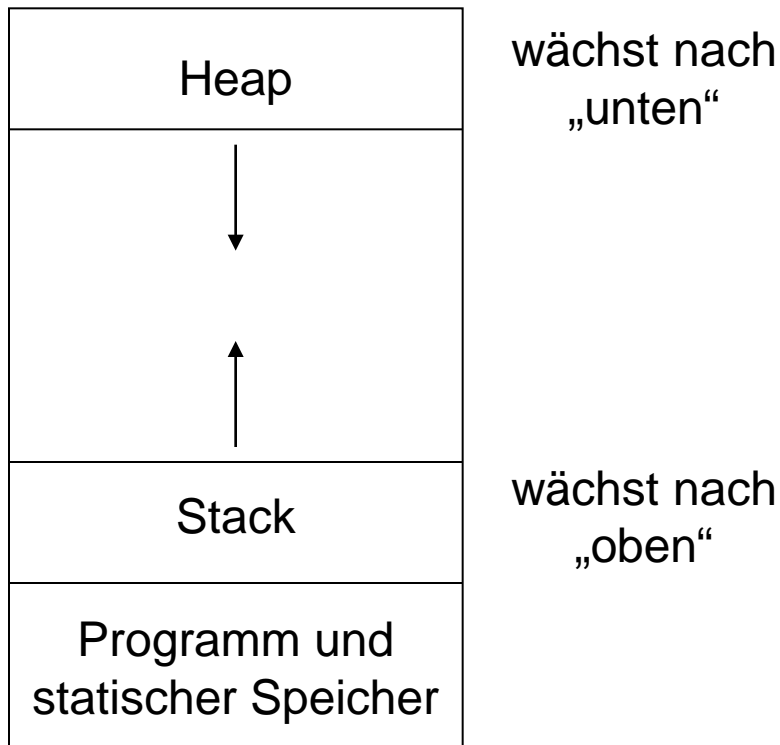
delete[] Variable; (Löschen)

Achtung:

Dynamisch erzeugte Objekte müssen auch wieder gelöscht werden!
Keine automatische Speicherbereinigung!

Wo wird Speicher angelegt?

⇒ im **Freispeicher** alias **Heap** alias **dynamischen Speicher**



wächst nach
„unten“

wächst nach
„oben“

wenn Heapgrenze
auf Stackgrenze stösst:
Out of Memory Error



Stack bereinigt sich selbst,
für Heap ist Programmierer
verantwortlich!

Zurück zur **Beispielaufgabe**:

```
unsigned int const nmax = 100;
unsigned int i, n;
double a[nmax], b[nmax];

do {
    cout << "Dimension ( n < " << nmax << " ): ";
    cin >> n;
} while (n < 1 || n > nmax);
```

vorher:

statischer
Speicher

```
unsigned int i, n;
double *a, *b;

do {
    cout << "Dimension: ";
    cin >> n;
} while (n < 1);
a = new double[n];
b = new double[n];
```

nachher:

dynamischer
Speicher

Nicht vergessen:

Am Ende angeforderten dynamische Speicher wieder freigeben!

```
delete[] a;  
delete[] b;  
  
return 0;  
}
```

Sonst „Speicherleck“!

⇒ Programm terminiert möglicherweise anormal mit Fehlermeldung!

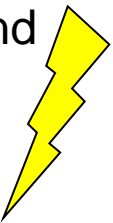
Beispiel für programmierten Absturz:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
    unsigned int const size = 100 * 1024;
    unsigned short k = 0;

    while (++k < 5000) {
        double* ptr = new double[size];
        cout << k << endl;
        // delete[] ptr;
    }
    return 0;
}
```

bei $k \approx 2500$ sind
2 GB erreicht
⇒ Abbruch!

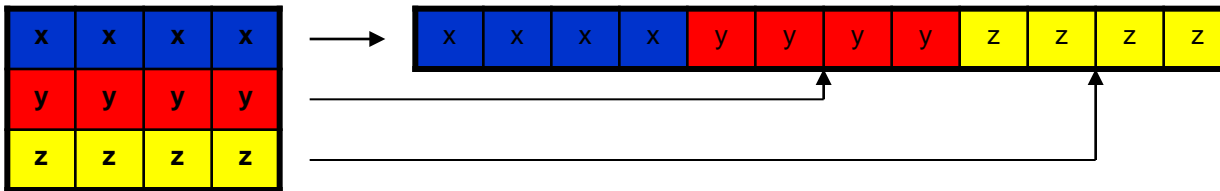


Projekt: Matrix mit dynamischem Speicher (Größe zur Laufzeit festgelegt!)

Vorüberlegungen:

Speicher im Rechner ist **linear**!

⇒ Rechteckige / flächige Struktur der Matrix linearisieren!



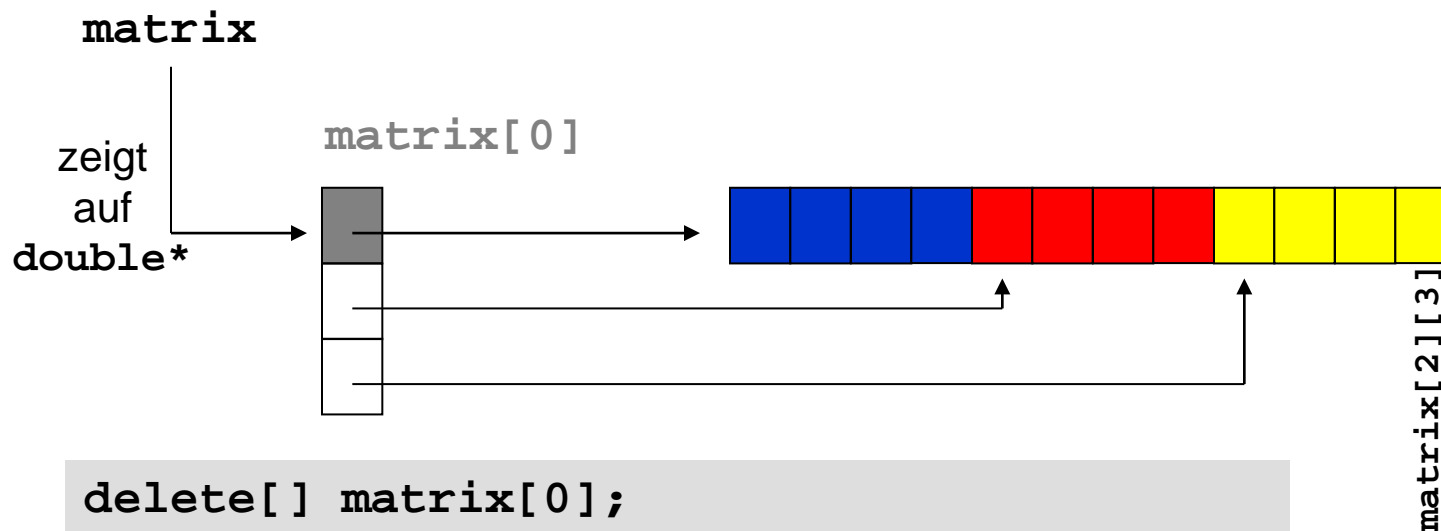
n Zeilen, m Spalten ⇒ n x m Speicherplätze!

Projekt: Matrix mit dynamischem Speicher (Größe zur Laufzeit festgelegt!)

```
double **matrix;    // double *matrix[];  
matrix = new double*[zeilen];  
matrix[0] = new double[zeilen * spalten];  
for (i = 1; i < zeilen; i++)  
    matrix[i] = matrix[i-1] + spalten;
```

Zugriff wie beim
zweidimensionalen
statischen Array:

```
matrix[2][3] = 2.3;
```



```
delete[] matrix[0];  
delete[] matrix;
```

```
int main() {
unsigned int i, zeilen, spalten;
cout << "Zeilen = "; cin >> zeilen;
cout << "Spalten = "; cin >> spalten;
double **matrix = new double*[zeilen];
matrix[0] = new double[zeilen * spalten];
for (i = 1; i < zeilen; i++)
    matrix[i] = matrix[i-1] + spalten;
for (i = 0; i < zeilen; i++)
    for (j = 0; j < spalten; j++)
        matrix[i][j] = i * spalten + j;
delete[] matrix[0];
delete[] matrix;
return 0;
}
```

Speicher anfordern

Adressen berechnen

Zugriff per Indices

Speicher freigeben