Systemprogrammierung

Teil 2: C Daten

Literale, Variablen, Typen

C Literale: Ganze Zahlen

Schreibweisen für ganze Zahlen *(Integers)*:

- **dezimal** `1` `23` `456` `7890`
- **oktal** `01` `023` `045670`
- **hexadezimal** `0x1` `0x23` `0x456` `0x789a` `0xbcdef0`

Typ des Literals ist je nach Schreibweise der jeweils kleinste passende Typ:

- dezimal **`int`**, **`long int`**, **`long long int`**
- oktal oder hexadezimal **`int`**, **`unsigned int`**, **`long int`**, **`unsigned long int`**, **`long long int`**, **`unsigned long long int`**
- mit Suffix **`L`** z.B. `12345L` mindestens **`long int`**
- mit Suffix **`LL`** z.B. `12345LL` mindestens **`long long int`** *(erst ab C99)*
- mit Suffix **`U`** z.B. `12345U` mit Zusatz **`unsigned`**

Nicht vergessen: der Compiler wandelt alle Schreibweisen in Binärzahlen!

Beispielprogramm ganzzahlige Literale

- Quellcode

```
#include <stdio.h>

int main(void)
{
    printf("%x\n", 12);
    printf("%d\n", 012);
    printf("%o\n", 0x12);
    printf("%u\n", 34U);
    printf("%ld\n", 56L);
    printf("%lld\n", 78LL);
    return 0;
}
```

`%x` ist hexadezimales Format
`%d` ist dezimales Format
`%o` ist oktales Format
`%u` ist dezimales Format für Zahlen ohne Vorzeichen
`\n` ist Zeilenwechsel

Konsolenausgabe des Programms:

```
c
10
22
34
56
78
```

`l` ist Längenanpassung für `long`
`ll` ist Längenanpassung für `long long`

C Literale: Gleitkomma-Zahlen

Schreibweisen für Gleitkomma-Zahlen *(Floating Point Numbers)*:

- nur **dezimal** `1.` `.23` `0.456` `78.9` `.789e2` `789e-1`

  `.789e2` *steht für* $0{,}789 \cdot 10^2$

Typ des Literals abhängig vom Suffix:

- ohne Suffix **`double`**
- mit Suffix **`L`** **`long double`**
  z.B. `1.2345L`
- mit Suffix **`F`** **`float`**
  z.B. `1.2345F`

Nicht vergessen: Gleitkomma-Zahlen sind ungenau!

Auch bei Gleitkomma-Literalen wandelt der Compiler alle Schreibweisen in ein Binärformat (je nach Zielhardware z.B. IEEE 754)

Beispielprogramm Gleitkomma-Literale

- Quellcode:

```
#include <stdio.h>

int main(void)
{
      printf("%g\n", (1e-30 + 1e30) - 1e30);
      printf("%g\n", 1e-30 + (1e30 - 1e30));
      printf("%f\n", 12.3456789);
      printf("%Lf\n", 1234567.89L);
      printf("%e\n", 12.3456789);
      printf("%Le\n", 1234567.89L);
      return 0;
}
```

Konsolenausgabe des Programms:

```
0
1e-30
12.345679
1234567.890000
1.234568e+01
1.234568e+06
```

Ausgabe bei %f und %e standardmäßig mit 6 Nachkommastellen

%g *ist Fest- oder Gleitkommaformat nach Bedarf*
%f *ist Festkommaformat*
%e *ist Gleitkommaformat*
L *ist Längenanpassung für* ***long double***

C Literale: Einzelzeichen (1)

Schreibweisen für Einzelzeichen *(Characters)*:

- in **Einfach-Hochkommas**

`'a'` `'A'` `'1'` `'.'` `' '`	Buchstaben, Ziffern, Satzzeichen, Leerstelle, ...
`'\0'`	das **NULL**-Zeichen (Code-Nummer 0)
`'\ooo'`	Codenummer oktal (1 bis 3 Oktalziffern ***o***)
`'\xhh'`	Codenummer hexadezimal (mindestens eine Hex-Ziffer ***h***)
`'\c'`	Ersatzdarstellung für Steuerzeichen (***c*** ist a, b, f, n, r oder t)
`'\''`	das Einfach-Hochkomma
`'\"'`	das Doppel-Hochkomma
`'\\'`	der Backslash

Der Compiler wandelt alle Schreibweisen in binäre Zeichencode-Nummern (je nach Plattform z.B. ASCII).

Typ des Literals ist `int` *(in C++* ***`char`****)*

C Literale: Einzelzeichen (2)

- Bedeutung der Ersatzdarstellungen für Steuerzeichen:

`'\a'`	Alarm
`'\b'`	Rückschritt *(Backspace)*
`'\f'`	Seitenvorschub *(Formfeed)*
`'\n'`	Zeilenende *(Newline)*
`'\r'`	Wagenrücklauf *(Carriage-Return)*
`'\t'`	Horizontal-Tabulator
`'\v'`	Vertikal-Tabulator

Nicht vergessen: der Compiler wandelt alle Schreibweisen in binäre Zeichencode-Nummern (je nach Plattform z.B. ASCII)

C Literale: Zeichenketten

Schreibweise für Zeichenketten (**Strings**):

- in **Doppel-Hochkommas**

  `"Hallo"`

  `""` *leerer String*

  zwischen den Doppelhochkommas sind alle Schreibweisen für Einzelzeichen erlaubt, wobei die Einfach-Hochkommas entfallen, z.B. ***`"Hallo\n"`***

- nur durch Zwischenraum *(Whitespace)* getrennte Zeichenketten fasst der Compiler zu einer Zeichenkette zusammen:

  `"Hal"` `"lo"` *das gleiche wie* ***`"Hallo"`***

Typ des Literals ist **`char[]`** *(in C++* ***`const char[]`****)*

Beispielprogramm Zeichen-Literale

- Quellcode:

```
#include <stdio.h>

int main(void)
{
    printf("%s\n", "Hallo");
    printf("%s\n", "Hal" "lo");
    printf("Hallo\n");
    printf("%c%c%c%c%c\n", 'H', 'a', 'l', 'l', 'o');
    return 0;
}
```

Konsolenausgabe des Programms:

```
Hallo
Hallo
Hallo
Hallo
```

`%s` *ist Zeichenkettenausgabe*
`%c` *ist Einzelzeichenausgabe*

C Literale: Symbolische Konstanten 

Der C-Präprozessor erlaubt es, **symbolische Namen** für Literale zu vergeben.

- Definition einer symbolischen Konstanten:

  `#define` *Name Literal*

  *Präprozessor-Anweisungen sind Zeilen, die mit **#** beginnen*

  der Name sollte nur aus Großbuchstaben bestehen
  (und eventuell Ziffern und Unterstriche, allerdings nicht als erstes Zeichen)

- Benutzung einer symbolischen Konstanten:

  nach der Definition kann der Name anstelle des Literals geschrieben werden

  der Name wird beim Übersetzen vom Präprozessor durch das Literal ersetzt

- Beispiel:

```
#define PI 3.14159265358979323846
```

C Literale: Vergleich mit Java

Schreibweise der Literale ist in C und Java weitgehend gleich

Wichtige Unterschiede:

- in C gibt es ganze Zahlen ohne Vorzeichen
- in C ist der Zeichencode plattformabhängig (nicht fest UTF-16)
- in C Verkettung von String-Literalen ohne **+**
- in C keine Literale **`true`** und **`false`**
  aber seit C99 über die Standardbibliothek symbolische Namen
- in C gibt es symbolische Namen für Literale

C Literale: Empfehlungen

Zahlen-Literale:

- echte Zahlen immer dezimal schreiben
- Bitmuster immer oktal oder noch besser hexadezimal schreiben

Zeichen-Literale:

- die oktale und hexadezimale Angabe von Code-Nummern (ausser **'\0'**) vermeiden

  Es drohen sonst Überraschungen auf Rechnern mit verschiedenen Zeichencodes.

symbolische Konstanten:

- Literale in der Regel nur zum Initialisieren von Variablen verwenden, ansonsten symbolische Konstanten bevorzugen

  Kommt ein bestimmtes Literal an mehreren Stellen im Programm vor, ist nicht erkennbar, ob zwischen diesen Stellen ein logischer Zusammenhang besteht

C Variablen: Eigenschaften

Variablen dienen dazu, Werte im Hauptspeicher abzulegen und anzusprechen.

- eine Variable hat einen **Namen**:
  Besteht aus Buchstaben, Ziffern und Unterstrichen.
  Darf nicht mit einer Ziffer beginnen und darf kein C Schlüsselwort sein.
- eine Variable hat einen **Typ**:
  Legt fest, welche Art von Werten die Variable aufnehmen kann (z.B. nur ganze Zahlen).
  Legt fest, welche Operationen erlaubt sind (z.B. Addition usw.).
- eine Variable hat einen **Wert**:
  Steht in binärer Zahlendarstellung im Hauptspeicher.
- eine Variable hat eine **Adresse**:
  Die Anfangsadresse des Werts im Hauptspeicher.
- eine Variable hat einen **Platzbedarf**:
  Anzahl Bytes, die der Wert im Hauptspeicher belegt. Hängt vom Typ und der Plattform ab.

C Variablen: Syntax

- **Variablen-Definition** legt **Typ** und **Name** fest:

  Erst nach ihrer Definition ist eine Variable benutzbar `Typ Name;`

  Definition lokaler Variablen bei ANSI-C, C90, C95 nur am Anfang eines `{}`-Blocks

- **Wert**:

  definierter Anfangswert nur mit Initialisierung `Typ Name = Wert;`

  Wertänderung per Zuweisung `Name = Wert;`

  bei Konstanten Initialisierungspflicht und keine Zuweisung `const Typ Name = Wert;`

- **Adresse**:

  der Adressoperator liefert die Adresse einer Variablen `&Name`

  *i.d.R. müssen Variablen eine durch `sizeof(Typ)` teilbare Adresse haben (**Alignment**)*

- **Platzbedarf**:

  der **sizeof**-Operator liefert den Platzbedarf einer Variablen `sizeof Name`

  bzw. den Platzbedarf eines Typs in Anzahl Byte. `sizeof (Typ)`

  ein Byte hat normalerweise 8 Bit, darf nach C-Standard aber auch mehr als 8 Bit haben

C Datentypen: Übersicht

Grundtypen *(elementare Datentypen)*

- Arithmetische Typen
  - Ganzzahlige Typen: `char`, `int`, ...
  - Gleitkommatypen: `float`, `double`, ...
  - Logischer Typ: `_Bool` *(erst ab C99, Aliasname* **`bool`** *aus <stdbool.h> bevorzugen)*
- Anonymer Typ: `void`

Abgeleitete Typen

- Zeiger: `*`
- Arrays: `[]`

Benutzerdefinierte Typen

- Aufzählungen: `enum`
- Strukturen: `struct`, `union`

C Grundtypen: int

- **Variablen-Definition**:

```
int zahl = 123;
short int zahl = 123;
long int zahl = 123L;
long long int zahl = 123LL;
unsigned int bytefolge = 0xffffffffU;
unsigned short int bytefolge = 0xffffU;
... // usw. mit long und long long
```

*Kurzschreibweise: hinter **short**, **long**, **unsigned** kann **int** weggelassen werden*

- **Wert**: ganze Zahl mit Vorzeichen, mit **unsigned** Bitmuster (ganze Zahl ohne Vorzeichen)
- **Platzbedarf**: unterschiedlich je nach Rechner bzw. Compiler

sizeof (short) ≤ sizeof (int) ≤ sizeof (long) ≤ sizeof (long long)

auf den üblichen Plattformen mit 1 Byte gleich 8 Bit gilt außerdem:
2 ≤ sizeof (short)** und **4 ≤ sizeof (long)** und **8 ≤ sizeof (long long)

typisch: **short** 2 Byte, **int** 4 Byte, **long** und **long long** 8 Byte *(LP64-Rechner)*

*Zusatz **unsigned** ist ohne Einfluss auf den Platzbedarf*

Beispielprogramm int-Variablen

- Quellcode:

```
#include <stdio.h>
int main(void)
{
    int n = 0;
    int m = 1;
    // print variable values
    printf("n = %d\n", n);
    printf("m = %d\n", m);
    // print variable addresses
    printf("&n = %p\n", (void*) &n);
    printf("&m = %p\n", (void*) &m);
    // print type and variable sizes
    printf("sizeof (int) = %zu\n", sizeof (int));
    printf("sizeof n = %zu\n", sizeof n);
    return 0;
}
```

Konsolenausgabe des Programms:

```
n = 0
m = 1
&n = 0x7fff65240c9c
&m = 0x7fff65240c98
sizeof (int) = 4
sizeof n = 4
```

*z ist Längenanpassung für **sizeof**-Werte (ab C99)*

C Grundtypen: float und double

- **Variablen-Definition**:

```
float zahl = 3.14F;
double zahl = 3.14;
long double zahl = 3.14L;
```

- **Wert**:

bei `float`	einfach genaue Gleitkommazahlen *(single precision)*
bei `double`	doppelt genaue Gleitkommazahlen *(double precision)*
bei `long double`	erweitert genaue Gleitkommazahlen *(extended precision)*

- **Platzbedarf** je nach Rechner bzw. Compiler:

`sizeof (float)` ≤ `sizeof (double)` ≤ `sizeof (long double)`

typisch: 4 Byte für `float`
8 Byte für `double`
16 Byte für `long double`

C Grundtypen: char

- **Variablen-Definition**:

```
char zeichen = 'a';
signed char byte = -1;
unsigned char byte = 0xff;
```

- **Wert**:

bei `char`	Einzelzeichen im Standard-Zeichensatz (normalerweise ASCII)
bei `signed char`	ganze Zahl mit Vorzeichen
bei `unsigned char`	Bitmuster (ganze Zahlen ohne Vorzeichen)

- **Platzbedarf** ist 1 Byte:

```
1  ≡  sizeof (char)
1  ≡  sizeof (signed char)  ≡  sizeof (unsigned char)
```

C Grundtypen: _Bool bzw. bool

- **Variablen-Definition**: `_Bool ja = 1;`

  `bool ja = true;` *// mit Aliasnamen aus <stdbool.h>*

  *In C++ funktioniert nur **bool**, der Typ **_Bool** ist dort unbekannt*
  deshalb in C den Aliasnamen bevorzugen

- **Wert**:

  Entweder die Zahl **1** (Aliasname **true**) oder die Zahl **0** (Aliasnamen **false**)

- **Platzbedarf** ist im Sprachstandard offengelassen

C Grundtypen: void

- **Variablen-Definition**:

  entfällt — es gibt keine Variablen vom Typ **`void`**

- **Wert**:

  entfällt

- **Platzbedarf**:

  entfällt — **`sizeof`**-Operator auf **`void`** nicht anwendbar

Verwendung des Typs **`void`**:

- zur Definition abgeleiteter Typen

  `void*` *Zeiger auf "irgendwas" (allgemeinster Zeigertyp)*

- bei Funktions-Definitionen

  `void f(void);` *Funktion ohne Rückgabewert und ohne Parameter*

C Grundtypen: Vergleich mit Java

Grundtypen und Schreibweise der Variablendefinition sind in C und Java sehr ähnlich

Wichtige Unterschiede:

- in C gibt es zwar seit C99 einen Typ **`_Bool`** (bzw. **`bool`**),
  Ergebnistyp der Vergleichsoperatoren ist aber weiterhin **`int`**
- in C gibt es ganze Zahlen ohne Vorzeichen
- in C lassen sich Platzbedarf und Speicheradresse von Variablen mit Operatoren **`sizeof`** bzw. **`&`** ermitteln
- in C sind Platzbedarf und damit Wertebereiche der Zahltypen plattformabhängig

C Grundtypen: Empfehlungen

- in der Regel die Grundtypen **`char`**, **`int`**, **`double`** verwenden, die übrigen Varianten nur mit zwingendem Grund

  *Als oft bessere Alternative zu den ganzzahligen Grundtypen gibt es in der Standardbibliothek Typnamen mit garantierten Zahlbereichen **`int32_t`**, **`int64_t`** usw., die der Compiler plattformabhängig auf die Grundtypen abbildet.*

- Zusatz **`const`** verwenden, wenn eine Variable ihren Wert nach der Initialisierung nicht mehr ändern soll:

```
const double pi = 3.14159265358979323846;
```

- Achtung - die Mischung unterschiedlich großer Zahltypen sowie von Zahltypen mit und ohne Vorzeichen kann zu überraschenden Ergebnissen führen:

```
double x = 8.5 + 1 / 2;  // setzt x auf 8.5 statt 9

unsigned a = 1;
int b = -2;
if (a + b > 0) ...  // Summe ist 4 294 967 295 statt -1
```

C Abgeleitete Typen: Zeiger (1)

Zu jedem Typ kann ein Zeigertyp *(Pointertyp)* abgeleitet werden, indem man in der Variablen-Definition einen Stern `*` vor den Variablen-Namen schreibt.

- **Variablen-Definition**: *Typ Name = Wert;*

  *Typ *Zeigername_1 = &Name;*

  *Typ **Zeigername_2 = &Zeigername_1;*

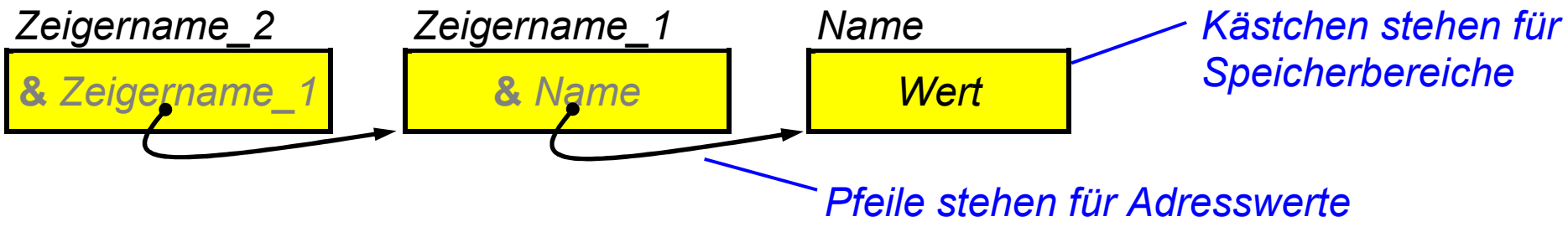
- **Wert**:

  Die Adresse eines Speicherbereichs *(Wert 0 bedeutet, der Zeiger zeigt nirgendwohin)*

- **Platzbedarf** je nach Rechner bzw. Compiler:

  `sizeof (int)` ≤ **`sizeof (`***Typ* **`*)`** typisch: 8 Byte

- Grafische Darstellung:



C Abgeleitete Typen: Zeiger (2)

- Zeiger auf konstanten Wert:

```
const Typ Name = Wert;
Typ *Zeigername = &Name; // Fehler
const Typ *Zeigername = &Name;
```

Der Wert einer Konstanten kann auch auf dem Umweg über Zeiger nicht geändert werden.

- konstanter Zeiger:

```
Typ Name = Wert;
Typ * const Zeigername = &Name;
```

Ein konstanter Zeiger zeigt während des ganzen Programmlaufs auf denselben Speicherbereich.

- konstanter Zeiger auf konstanten Wert:

```
const Typ * const Zeigername = &Name;
```

- **Inhaltsoperator** `*` macht vom Zeiger adressierten Speicherbereich zugreifbar:

```
*Zeigername
```

Achtung: Programm-Absturz, wenn der Zeiger den Wert 0 hat

Inhaltsoperator ist Gegenstück zum Adressoperator:

`*&Name` ist das gleiche wie `Name`

C Abgeleitete Typen: Zeiger (3)

void-Pointer

- **Variablen-Definition**: *Typ Name = Wert;*

  ```
  void *void_pointer = &Name;
  ```

- **Wert**:

  Adresse eines Speicherbereichs beliebigen Typs (aber Inhalt nicht zugreifbar)

- **Platzbedarf**:

  wie andere Zeiger auch

- **Typecast-Operator** `(T)` wandelt einen **`void`**-Pointer in einen konkreten Pointer:

  ```
  Typ *typ_pointer = (Typ *) void_pointer;
  ```

  *Achtung: zeigt der **`void`**-Pointer nicht auf einen Speicherbereich des angegeben Typs, kommt es zu Laufzeitfehlern durch Fehlinterpretation des Speicherinhalts*

C Abgeleitete Typen: Zeiger (4)

Verwendung von Zeigern z.B. bei dynamischer Spreicherverwaltung:

- die Funktion **malloc** reserviert Speicher für Werte eines Typs und liefert die Adresse des Speicherbereichs:

```
Typ *Zeigername = (Typ*) malloc(sizeof (Typ));
if (Zeigername == NULL)
{
    ... // Fehlerbehandlung
}
```

Anzahl benötigte Bytes

malloc hat Rückgabetyp `void*`

malloc liefert die ungültige Adresse 0 (in C als NULL geschrieben), wenn die angeforderte Menge Speicher nicht verfügbar ist.

Achtung: malloc reserviert nur Speicher, initialisiert ihn aber nicht

- mit der Funktion **free** kann (und sollte!) per malloc reservierter Speicher irgendwann wieder freigegeben werden:

```
free (Zeigername);
```

`#include <stdlib.h>` erforderlich, damit malloc und free bekannt sind

Beispielprogramm Zeiger-Variable

- Quellcode:

```
#include <stdio.h>
int main(void)
{
    int n = 3082;
    int *p = &n;
    // print pointer value
    printf("p = %p\n", (void*) p);
    // print pointer address
    printf("&p = %p\n", (void*) &p);
    // print pointer size
    printf("sizeof p = %zu\n", sizeof p);
    // print dereferenced pointer value
    printf("*p = %d\n", *p);
    return 0;
}
```

Konsolenausgabe des Programms:

```
p = 0x7fffcea7d8ec
&p = 0x7fffcea7d8e0
sizeof p = 8
*p = 3082
```

C Abgeleitete Typen: Arrays (1)

Zu jedem Typ kann ein Arraytyp abgeleitet werden, indem man in der Variablen-Definition eine Arraygröße in Klammern `[]` angibt.

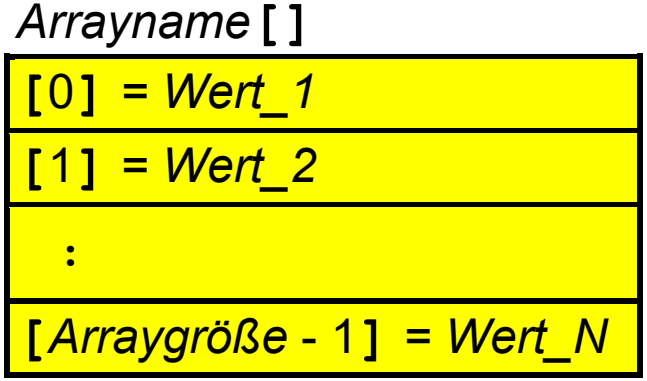
- **Variablen-Definition**: *Typ Arrayname*`[`*Arraygröße*`] = {`*Wert_1*`, `*Wert_2*`, ...};`

  Die Arraygröße muss ein ganzzahliges Literal sein (oder eine symbolischer Name dafür).
  Die Arraygröße kann entfallen, wenn eine Initialisierung angegeben ist.

- **Wert**: Folge von Werten gleichen Typs
  (Zugriff nur elementweise mit Indexoperator)

- **Platzbedarf**: `sizeof` *Arrayname* ≡ *Arraygröße* `* sizeof (`*Typ*`)`

- Grafische Darstellung:



C Abgeleitete Typen: Arrays (2)

- **Indexoperator** `[]` macht die Array-Elemente zugreifbar:

  Arrayname `[` *Index* `]`

  Der Index muss ganzzahlig sein und zwischen 0 und Arraygröße − 1 liegen.
  Indices außerhalb dieses Bereichs führen zu undefinierten Laufzeitfehlern!

  der Arrayname ohne `[]` ist Kurzschreibweise für die Adresse des ersten Arrayelements:

  Arrayname ist das gleiche wie `&`*Arrayname* `[0]`

  Der Arrayname ist also keine Name für den Speicherbereich des Arrays,
  sondern ein Name für die Anfangsadresse des Arrays!

- der Indexoperator ist Kurzschreibweise für Inhaltsoperator und **Zeigerarithmetik**:

  Typ `*`*Zeigername* `= ...`
  Zeigername `[` *Index* `]` ist das gleiche wie `*(`*Zeigername* `+` *Index*`)`

  Zeigerarithmetik arbeitet mit der Einheit `sizeof (`*Typ*`)`:

  Zeigername `+` *Index* bedeutet *Adresse* `+` *Index* `* sizeof (`*Typ*`)`

C Abgeleitete Typen: Arrays (3)

Arrays und dynamischer Spreicherverwaltung:

- die Funktion **calloc** reserviert Speicher für ein Array von Werten eines Typs und liefert die Adresse des Speicherbereichs:

```
Typ *Zeigername = (Typ*) calloc(Arraygröße, sizeof (Typ));
if (Zeigername == NULL)
{
    ... // Fehlerbehandlung
}
```

- calloc initialisiert den reservierten Speicher mit 0

  wird die Initialisierung nicht gebraucht, kann malloc verwendet werden:

```
Typ *Zeigername = (Typ*) malloc(Arraygröße * sizeof (Typ));
```

- Speicher auch bei calloc mit free wieder freigegeben:

```
free(Zeigername);
```

Beispielprogramm Array-Variable

- Quellcode:

```
#include <stdio.h>

int main(void)
{
    int a[] = {3421, 3442, 3635, 3814};
    const int n = (int)(sizeof a / sizeof (int));

    // print array values and addresses
    printf("&a = %p, &a+1 = %p\n", (void*) &a, (void*) (&a + 1));
    printf("a = %p, a+1 = %p\n", (void*) a, (void*) (a + 1));

    for (int i = 0; i < n; ++i)
    {
       printf("%d: %p %d\n", i, (void*) &a[i], a[i]);
    }

    // print array size
    printf("sizeof a = %zu\n", sizeof a);

    return 0;
}
```

Was gibt das Programm auf der Konsole aus?

Beispielprogramm Array-Zeiger (1)

- Quellcode:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h> // calloc, malloc, free, ...
#include <stddef.h> // NULL, size_t, ...

int main(void)
{
    const int n = 4;
    int *a = (int*) calloc((size_t) n, sizeof (int));
    if (a == NULL)
    {
        printf("Speicherreservierung fehlgeschlagen!\n");
        return 1;
    }
    a[0] = 3421;
    a[1] = 3442;
    a[2] = 3635;
    a[3] = 3814;
```

oder ohne Initialisierung mit 0:
`int *a = (int*) malloc(n * sizeof(int));`

Beispielprogramm Array-Zeiger (2)

- Fortsetzung Quellcode:

```
    ...
    // print array values and addresses
    printf("&a = %p\n", (void*) &a);
    printf("a = %p\n", (void*) a);
    for (int i = 0; i < n; ++i)
    {
       printf("%d: %p %d\n", i, (void*) &a[i], a[i]);
    }
    // print array size
    printf("sizeof a = %zu\n", sizeof a); // pointer size
    printf("%d * sizeof *a = %zu\n", n, n * sizeof *a);
    free(a);
    return 0;
}
```

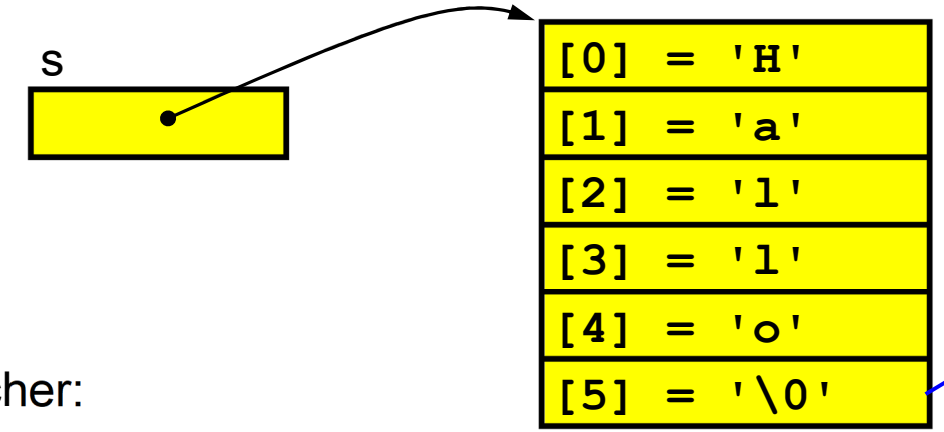
C Abgeleitete Typen: String (1)

Ein String ist ein Array von Einzelzeichen mit **'\0'** als letztem Zeichen.
Strings werden über Zeiger-Variablen benutzt.

- **Variablen-Definition**: `const char *s = "Hallo";`

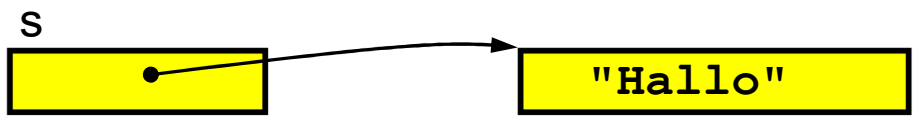
`const`, weil String-Literal nicht änderbar!

- **Wert**: Anfangsadresse eines Strings *(d.h. die Adresse seines ersten Zeichens)*
- **Platzbedarf**: `sizeof "Hallo" ≡ 6` *(Anzahl Zeichen incl. `'\0'`)*
  `sizeof s ≡ sizeof (char*)`
- Grafische Darstellung:



Zeichen `'\0'` dient in C als Endemarkierung von Strings

oder einfacher:



C Abgeleitete Typen: String (2)

String-Literale sind als Array-Initialisierer verwendbar

- **Variablen-Definition**: `char s[] = "Hallo";`

  Kurzschreibweise für:

  ```
  char s[] = {'H','a','l','l','o','\0'};
  ```

- **Wert**: Folge der Zeichen *(Kopie des String-Literals einschließlich **'\0'**)*

- **Platzbedarf**: `sizeof s` ≡ `6` *(Anzahl Zeichen einschl. '\0')*

- Grafische Darstellung:

s[]
[0] = 'H'
[1] = 'a'
[2] = 'l'
[3] = 'l'
[4] = 'o'
[5] = '\0'

C Abgeleitete Typen: String (3)

- Manipulation von C-Strings mit Bibliotheks-Funktionen:

```
char *strcpy(char *s1, const char *s2);
```

kopiert den String s2 in den Speicherbereich s1 und liefert s1 als Rückgabewert

```
char *strcat(char *s1, const char *s2);
```

hängt den String s2 an den String s1 an und liefert s1 als Rückgabewert

```
int strcmp(const char *s1, const char *s2 );
```

Vergleicht die Strings s1 und s2 und liefert 0, wenn die Strings gleich sind, eine Zahl größer 0 bei s1 > s2 bzw. eine Zahl kleiner 0 bei s1 < s2

```
size_t strlen(const char *s);
```

liefert die Länge des Strings s ohne `'\0'` als Wert vom Typ size_t
size_t steht für einen ganzzahligen Typ ohne Vorzeichen (i.d.R. `unsigned long`)

```
... // noch einige weitere str-Funktionen
```

Beispielprogramm String-Variablen (1)

- Quellcode:

Was gibt das Programm auf der Konsole aus?

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

int main(void)
{
    char a[] = "halli";
    const char *s = "hallo";
    char *t = NULL;

    // compare, copy and concatenate strings
    if (strcmp(a, s) < 0)
    {
        t = (char*) malloc(sizeof a + strlen(s));
        if (t == NULL) ... // error handling
        strcat(strcpy(t, a), s); // or: strcpy(t, a); strcat(t, s);
    }
    ...
```

*damit die **strxxx**-Funktionen bekannt sind*

***strcpy** und **strcat** allokieren keinen Speicher*

*deshalb zuerst mit **malloc** genug Speicher reservieren*

Beispielprogramm String-Variablen (2)

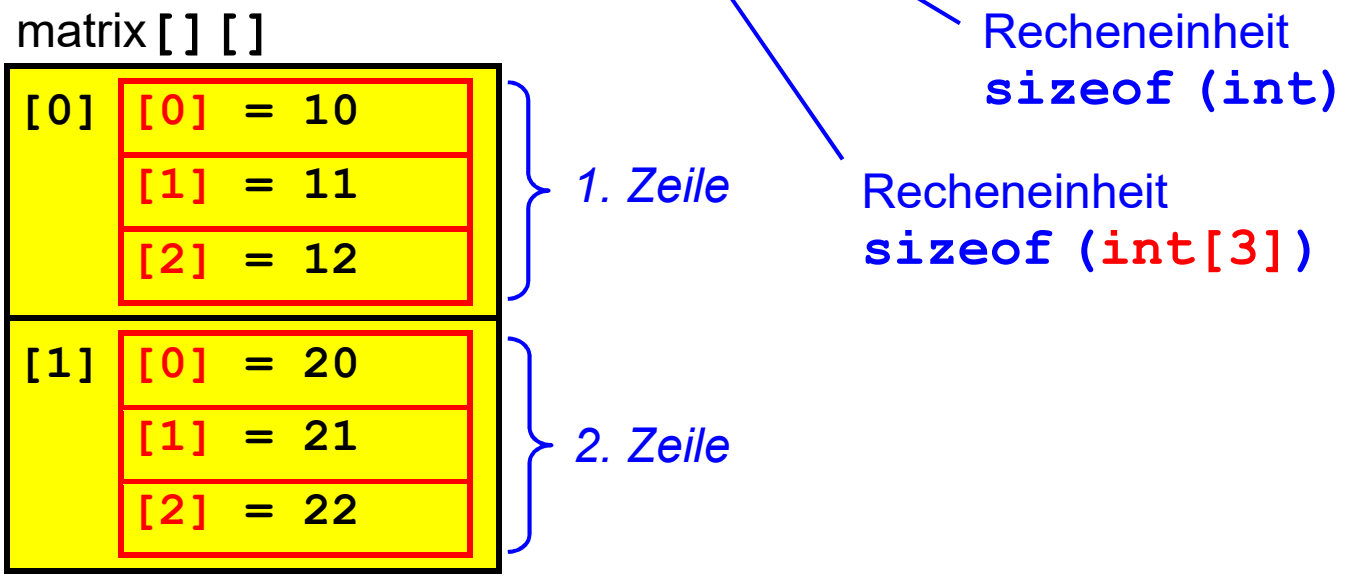
- Fortsetzung Quellcode:

```
    ...
    // print string values and addresses
    printf("a = %p %s\ns = %p %s\nt = %p %s\n",
         (void*) a, a, (void*) s, s, (void*) t, t);

    printf("sizeof a = %zu\n", sizeof a);    // 6
    printf("sizeof s = %zu\n", sizeof s);    // 4 bzw. 8
    printf("sizeof t = %zu\n", sizeof t);    // 4 bzw. 8

    printf("strlen(a) = %zu\n", strlen(a));  // 5
    printf("strlen(s) = %zu\n", strlen(s));  // 5
    printf("strlen(t) = %zu\n", strlen(t));  // 10

    s = a;  // copies the address, not the string
    // a = s;  // syntax error

    free(t);

    return 0;
}
```

C Abgeleitete Typen: Array von Arrays

Mehrdimensionales Array am Beispiel einer 2x3-Matrix

- **Variablen-Definition**: `int matrix[][3] = {{10, 11, 12}, {20, 21, 22}};`
- **Wert**: zeilenweise Folge der Matrix-Elemente
  (Zugriff nur elementweise mit Indizierungs-Operatoren)
- **Platzbedarf**: `sizeof matrix` ≡ `2 * 3 * sizeof (int)`
- Indizierung: `matrix[i][j]` ≡ `*(*(matrix + i) + j)`
- Grafische Darstellung:

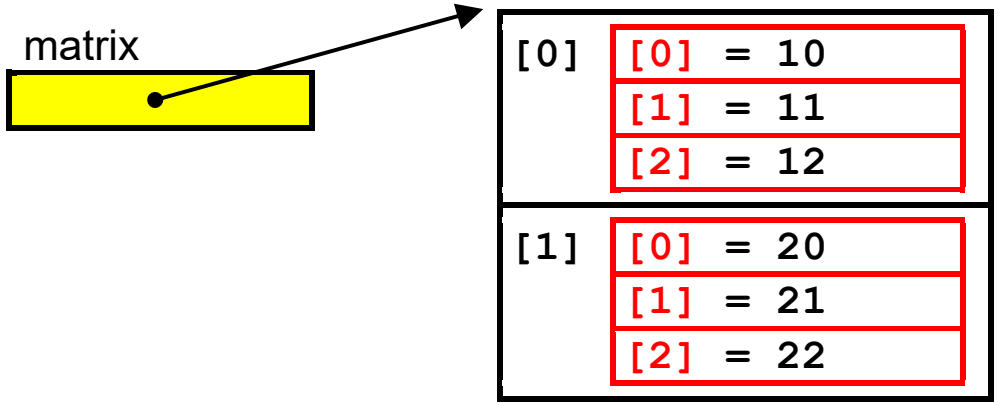


Beispielprogramm Matrix-Zeiger (1)

- Quellcode:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define M 3 // number of columns

int main(void)
{
    // allocate and initialize memory for 2x3 matrix
    const int n = 2; // number of lines
    int (*matrix)[M] = (int(*)[M]) malloc(n * sizeof (int[M]));
    if (matrix == NULL) ... // error handling

    matrix[0][0] = 10;
    matrix[0][1] = 11;
    matrix[0][2] = 12;
    matrix[1][0] = 20;
    matrix[1][1] = 21;
    matrix[1][2] = 22;

    ...
```

Spaltenanzahl muss bereits zur Übersetzungszeit feststehen!



Beispielprogramm Matrix-Zeiger (2)

- Fortsetzung Quellcode:

```
    ...
    // print matrix addresses and values
    printf("&matrix = %p\n", (void*) &matrix);
    printf("matrix = %p\n", (void*) matrix);
    for (int i = 0; i < n; ++i)
    {
        printf("[%d] %p: %p\n", i, (void*) &matrix[i], (void*) matrix[i]);
        for (int j = 0; j < M; ++j)
        {
            printf("   [%d] %p: %d\n", j, (void*) &matrix[i][j], matrix[i][j]);
        }
    }
    // print matrix size
    printf("sizeof matrix = %zu\n", sizeof matrix);
    printf("%d * sizeof *matrix = %zu\n", n, n * sizeof *matrix);
    free(matrix);
    return 0;
}
```

C Abgeleitete Typen: Array von Zeigern

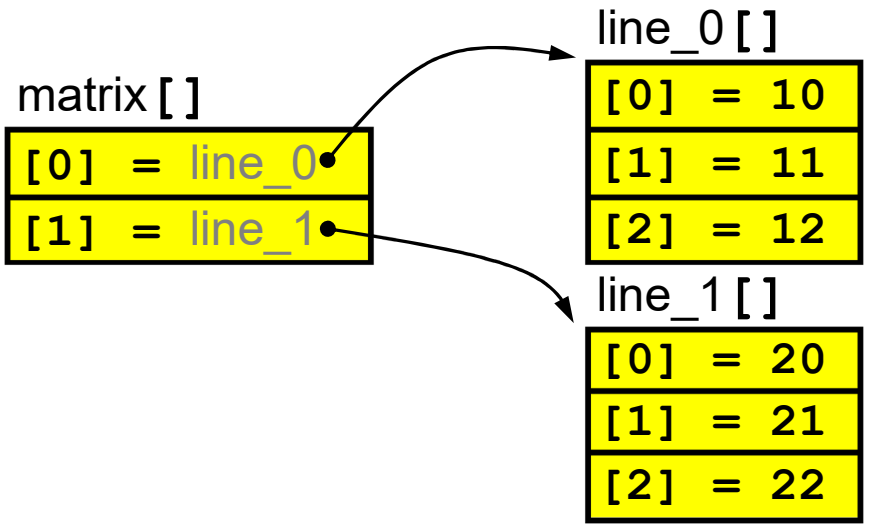
Array von Zeigern am Beispiel einer 2x3-Matrix

- **Variablen-Definition**:
```
int line_0[] = {10, 11, 12};
int line_1[] = {20, 21, 22};
int *matrix[] = {line_0, line_1};
```
- **Wert**: Folge von Zeilen-Adressen
- **Platzbedarf**: `sizeof matrix` ≡ `2 * sizeof (int*)`
- Indizierung: `matrix[i][j]` ≡ `*(*(matrix + i) + j)`

Recheneinheit `sizeof (int)`

Recheneinheit `sizeof (int*)`

- Grafische Darstellung:



Beispielprogramm Matrix-Doppelzeiger (1)

- Quellcode:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main(void)
{
    // allocate and initialize memory for 2x3-matrix
    const int n = 2; // number of lines
    const int m = 3; // number of columns
    int **matrix = (int**) malloc(n * sizeof (int*));
    if (matrix == NULL) ... // error handling

    for (int i = 0; i < n; ++i)
    {
        matrix[i] = (int*) malloc(m * sizeof (int));
        if (matrix[i] == NULL) ... // error handling
    }

    ...
```

sowohl Zeilen- als auch Spaltenanzahl brauchen erst zur Laufzeit festzustehen

Beispielprogramm Matrix-Doppelzeiger (2)

- Fortsetzung Quellcode:

```
    ...
    matrix[0][0] = 10;
    ...
    matrix[1][2] = 22;

    // print matrix addresses and values
    ...

    // free matrix memory
    for (int i = 0; i < n; ++i)
    {
        free(matrix[i]);
    }
    free(matrix);
    return 0;
}
```

wie Array von Arrays (Folie 2-39)

wie Array von Arrays (Folie 2-40), aber Variable m statt symbolische Konstante M

C Abgeleitete Typen: Vergleich mit Java

Bei abgeleiteten Typen kaum Gemeinsamkeiten zwischen C und Java:

- C Zeiger bieten sehr viel mehr Möglichkeiten als Java Referenzen

  in Java nur Referenzen auf Objekte im Heap

  in C Zeiger auf jeden beliebigen Speicherbereich, auch auf dem Stack

- C kennt keinen echten Array-Typ

  der Indexoperator ist nur eine Kurzschreibweise für Adressarithmetik
  und kann auf jede beliebige Adresse angewendet werden

  die Arraylänge wird nicht im Array hinterlegt,
  deshalb beim Arrayzugriff keine automatische Überwachung der Indexgrenzen

  in Java Arrays nur im Heap, in C auch auf dem Stack

  Arrays von Arrays gibt es in Java nicht

- C kennt keinen echten String-Typ

  nur Arrays von Zeichen mit ungültigem Zeichen `'\0'` als Endemarkierung

C Abgeleitete Typen: Empfehlungen

- Zeiger-Typen sind ein zentrales Konzept von C

- Array-Typen sind verkappte Verwandte der Zeiger

  der Name einer Array-Variablen ist kein Name für einen Speicherbereich, sondern ein Name für die Adresse eines Speicherbereichs

  an Stelle von Array-Variablen besser Zeiger auf mit **`calloc`** *bzw.* **`malloc`** *dynamisch reservierten Speicher verwenden (***`free`** *nicht vergessen!)*

  an Stelle der Arrays von Arrays besser Arrays von Zeigern verwenden

- Strings sind Arrays von Einzelzeichen

  Speicherreservierung per Array-Variable (vermeiden) oder dynamisch per **`malloc`** *(besser)*

  beim Speicherplatzbedarf das abschließende **`'\0'`***-Zeichen nicht vergessen!*

C Benutzerdefinierte Typen: enum

Eine Aufzählung *(Enumeration)* definiert Namen für **`int`**-Literale.

- **Typ-Deklaration**:

  Vorsicht:
  die Namen der Enumeratoren sind nicht lokal zur Typdeklaration!

```
enum Enumname
{
      Enumerator_1 = Wert_1,
      Enumerator_2 = Wert_2,
      ...
      Enumerator_N = Wert_N
};
```

Die Angabe der Enumerator-Werte ist optional.

Default-Wert für den ersten Enumerator ist 0, für die anderen der Vorgängerwert plus 1.

- **Variablen-Definition**:

```
enum Enumname Name = Enumerator;
```

- **Wert**:

  einer der Enumerator-Werte

  *Enumerator-Werte können überall verwendet werden, wo **`int`**-Werte verwendet werden können.*

- **Platzbedarf**:

```
sizeof (enum Enumname)  ≡  sizeof (int)
```

Beispielprogramm enum-Variable

- Quellcode:

```
#include <stdio.h>

enum month {jan = 1, feb, mar, apr, may, jun, jul, aug, sep, oct, nov, dec};

int main(void)
{
    // enum month m = 3; // funktioniert bei C, aber nicht bei C++
    enum month m = mar;

    // print variable value
    printf("m = %d\n", m);

    // print variable address
    printf("&m = %p\n", (void*) &m);

    // print variable size
    printf("sizeof m = %zu\n", sizeof m);

    return 0;
}
```

Konsolenausgabe des Programms:

```
m = 3
&m = 0x7fffeacafc6c
sizeof m = 4
```

C Benutzerdefinierte Typen: struct (1)

Eine Struktur fasst Werte beliebiger Typen zusammen.

- **Typ-Deklaration**:

```
struct Strukturname
{
    Typ_1  Komponente_1;
    ...
    Typ_N  Komponente_N;
};
```

- **Variablen-Definition**:

```
struct Strukturname Name = {Wert_1, ..., Wert_N};
```

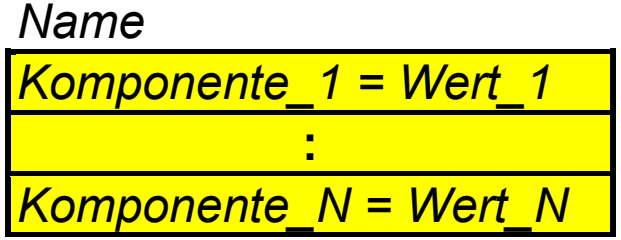
- **Wert**: Folge der Komponenten-Werte.

- **Platzbedarf**:

$$\sum_{i=1}^{N} \texttt{sizeof(}Typ\_i\texttt{)} \quad \leq \quad \texttt{sizeof (struct } Strukturname\texttt{)}$$

wegen Alignment der Komponenten

- Grafische Darstellung:



C Benutzerdefinierte Typen: struct (2)

- **Komponentenauswahl-Operatoren** (Punkt und Pfeil):

  Name . Komponente_1

  Zeigername–>Komponente_1

  Pfeil ist Kurzschreibweise für
  *(*Zeigername) . Komponente_1*

- Adresse einer Komponente:

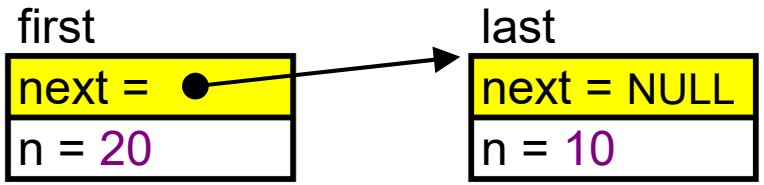
  & Name . Komponente_1

  & Zeigername–>Komponente_1

  Adresse der ersten Komponente
  ist Adresse der Struktur insgesamt

- **Verkettete Strukturen** enthalten einen Zeiger auf den eigenen Strukturtyp:

```
struct int_list
{
    struct int_list *next; // Verkettung
    int n;
};
struct int_list last = {NULL, 10};
struct int_list first = {&last, 20};
```



Beispielprogramm struct-Variable

- Quellcode:

```
#include <stdio.h>

struct date
{
     int day;
     const char *month;
     int year;
};

...
```

```
...

int main(void)
{
     struct date d = {1, "September", 2000};
     // print variable value
     printf("%d. %s %d\n", d.day, d.month, d.year);
     // print variable address
     printf("&d = %p\n", (void*) &d);
     printf("&d.day = %p\n", (void*) &d.day);
     printf("&d.month = %p\n", (void*) &d.month);
     printf("&d.year = %p\n", (void*) &d.year);
     // print variable size
     printf("sizeof d = %zu\n", sizeof d);
     return 0;
}
```

C Benutzerdefinierte Typen: union (1)

Eine Variante ist eine Struktur, bei der alle Komponenten dieselbe Adresse haben.

- **Typ-Deklaration**:

```
union Unionname
{
      Typ_1  Variante_1;
      ...
      Typ_N  Variante_N;
};
```

zu einer Zeit kann nur eine der Varianten gespeichert sein

nur die erste Variante kann initialisiert werden

- **Variablen-Definition**:

```
union Unionname Name = {Wert_1};
```

- **Wert**: der Wert einer der Varianten
- **Platzbedarf**: `sizeof (union Unionname)` $\equiv \max_{i=1}^{N}$ `sizeof (Type_i )`

- Grafische Darstellung:

Name

Variante_1 = Wert_1

C Benutzerdefinierte Typen: union (2)

- **Variantenauswahl-Operatoren** (Punkt und Pfeil):

  Name . Variante_2

  Zeigername–>Variante_2

- anonyme Varianten:

```
enum int_or_string {type_int, type_string};
struct struct_with_union
{
    enum int_or_string u_type;
    union
    {
        int i;
        char *s;
    };
};
```

hier kein Unionname

hier kein Name (ab C11)

```
struct struct_with_union x;

x.u_type = type_int;
x.i = 1;

x.u_type = type_string;
x.s = "Hallo";
```

C Benutzerdefinierte Typen: typedef

Eine typedef-Deklaration definiert einen Aliasnamen für einen Typ.

- **Deklaration**: `typedef` *Typname Aliasname;*
- **Variablen-Definition**: *Typname Name;* / *Aliasname Name;* — *beide Definitionen sind gleichwertig*

- besonders nützlich bei enum-, struct und union-Typen:

```
struct date
{
    ...
};
typedef struct date date;

date d = {1, "September", 2000}; // statt struct date d ...
```

date ist Aliasname für ***struct date*** *(gleicher Bezeichner für struct und Alias ist erlaubt und übliche Konvention)*

- Beispiel aus der C-Bibliothek: size_t *(u.a. Ergebnistyp des* ***sizeof****-Operators)*

  size_t ist ein Aliasname für einen ganzzahligen Typ ohne Vorzeichen (je nach Plattform z.B. ***unsigned long*** *oder* ***unsigned long long****)*

C Benutzerdefinierte Typen: Vergleich mit Java

Bei den benutzerdefinierten Typen große Unterschiede zwischen C und Java:

- **`enum`**-Typen sind sehr viel primitiver realisiert als in Java

  in C eigentlich nur eine nette Schreibweise für ganzzahlige Konstanten

- **`struct`**-Typen sind eine primitive Vorstufe der Java-Klassen

  nur öffentliche Instanzvariablen

  keine Methoden und Konstruktoren

  keine Vererbung

  *auch Wert-Variablen möglich (in Java nur Speicherreservierung mit **`new`**)*

- **`union`**-Typen gibt es in Java nicht

  in Java wegen Vererbung und Polymorphie überflüssig

C Benutzerdefinierte Typen: Empfehlungen

- **`enum`-Typen** sind nützlich für die Codierung nicht-numerischer Information.

  *Verarbeitung oft mit **`switch`**-Anweisungen*

- **`struct`-Typen** sind das zentrale Konzept für benutzerdefinierte Typen

  verkettete Strukturen sind oft ein guter Ersatz für Arrays

- **`union`-Typen** gefährden die Typsicherheit

  *vorzugsweise innerhalb eines **`struct`**-Typs als unbenannte Variante zusammen mit einer Typ-Komponente verwenden*

- **`typedef`-Aliasnamen** sind eine nützliche Schreibvereinfachung

  können Programme änderungsfreundlicher und plattformunabhängiger machen

C Daten: Index