

Datenstrukturen in C

- ▶ Aus den einfachen Datentypen lassen sich komplexere konstruieren
- ▶ Array und struct: zusammengesetzte Datentypen *→ Array ~ struct*
→ struct ~ Array
- ▶ union: Zugriff auf gleichen Speicherbereich über unterschiedliche Identifier
- ▶ (Speicher-)Objekt: Speicherbereiche eines bestimmten Typs
 - ▶ Variablen, Parameter, etc.

sizeof

Der sizeof-Operator

- ▶ wird wie eine Funktion genutzt
- ▶ ermittelt die Größe des als Argument übergebenen Datentyps in Byte
- ▶ kann auch auf Variablen aufgerufen werden
- ▶ ermittelte Werte plattformabhängig (Ausnahme: sizeof(char) == 1)

```
1 size_t size;  
2 size = sizeof(char);           // --> 1  
3 size = sizeof(size_t);        // --> 8  
4 size = sizeof(void *);        // --> 8  
5  
6 size_t a = sizeof(size_t);  
7 size_t b = sizeof(a);  
8 // Nun gilt: a == b, da 'a' vom Typ 'size_t' ist.
```

(die Größenangaben sind Beispielwerte auf einem üblichen LP64-System)

Alignment

- ▶ Anforderung an Ausrichtung der Speicheradresse eines Objektes
Speicheradresse muss ein Vielfaches vom Alignment sein
- ▶ Abhängig vom Datentyp
- ▶ Größe eines Datentyps ist Vielfaches des Alignments
- ▶ Beispiel: int
 - ▶ Größe: 4 Byte
 - ▶ Alignment entweder 1, 2, oder 4 Byte
 - ▶ Üblicherweise 4 Byte Alignment

Pointer

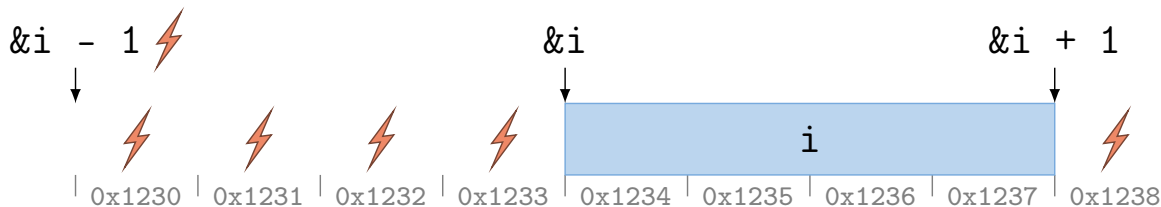
- ▶ Pointer: Adresse eines Speicherobjektes, “zeigt” auf das Objekt
- ▶ Arrays: zusammenhängender Speicherbereich, enthält Datenobjekte gleichen Typs direkt aufeinanderfolgend
- ▶ Arrays können ebenfalls über Pointer genutzt werden!
- ▶ Operator &: nimmt Adresse eines Objekts
- ▶ Operator *: Dereferenzieren eines Pointers (Speicherzugriff)

```
1 int i = 0;
2 int* i_ptr = &i;
3 int i_new = *i_ptr;    // i_new == i
```

↓
用*解密

Pointerarithmetik

```
1 // Annahme: sizeof(int) == 4
2 int i = 0;
3 int* i_ptr = &i; // z.B. 0x1234
4 i_ptr += 1; // -> 0x1238 (= 0x1234 + 4)
5 i_ptr -= 2; // -> 0x1230 (= 0x1238 - 8)
6
7 // Achtung: die letzte Operation ist in diesem Fall UB, da der
8 // resultierende Pointer nicht mehr auf ein Element
9 // im "Array" zeigt.
```



Pointerarithmetik: Arraysubscript

- ▶ $\text{ptr}[0] \hat{=} \text{*ptr}$
- ▶ $\text{ptr}[3] \hat{=} \text{*(ptr + 3)}$
- ▶ $\text{ptr}[\textit{index}] \hat{=} \textit{index}[\text{ptr}]$
(Alte Syntax...)

Valide Pointer zeigen immer auf...

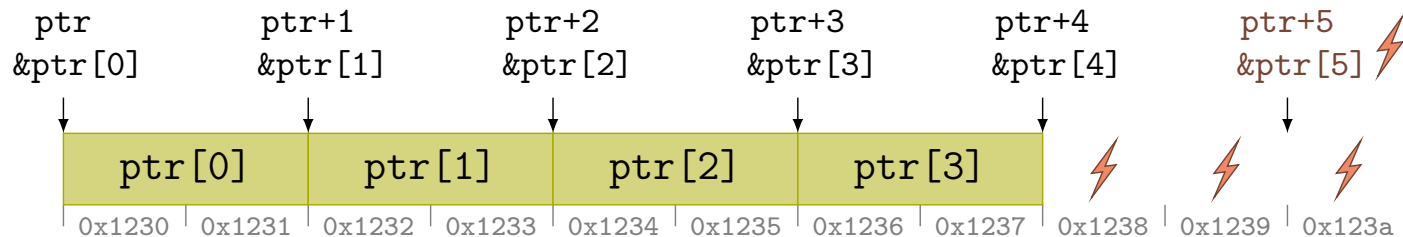


...ein Objekt (z.B. eine Variable),

...eine Stelle in einem Array, oder

...an das Ende eines Arrays
(dann nicht dereferenzierbar)

Andernfalls: Verhalten undefiniert!



Quiz: Pointer und Pointerarithmetik (1)

Seien `ptr` und `ptr2` vom Typ `int*` und `sizeof(int) == 4`.
Welche Aussagen treffen zu?

☐

`ptr++` inkrementiert den Wert der Speicher-
adresse um 1.

4

☒

`ptr++` inkrementiert den Wert der Speicher-
adresse um 4.

☐

`ptr + ptr2` addiert die beiden Speicher-
adressen.

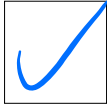
☒

`ptr2 - ptr` subtrahiert den Wert von `ptr`
vom Wert von `ptr2`.

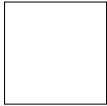
自动!

Quiz: Pointer und Pointerarithmetik (2)

Seien `ptr` und `ptr2` vom Typ `int*` und `sizeof(int) == 4`.
Welche Aussagen treffen zu?



\circ `*(ptr + 5)` ist äquivalent zu `ptr[5]`.
↓ 172



`ptr & 0x2` verundet den Wert der Speicher-
adresse mit `0x2`.



`ptr2 -= *ptr` zieht $4 * (*ptr)$ vom Wert
der Speicheradresse von `ptr2` ab.

void-Pointer und implizite Pointer-Casts

- ▶ void-Pointer nicht dereferenzierbar → 类型 因为尺寸都没有
- ▶ Dekrementieren oder Inkrementieren eines void-Pointers ist undefiniert
- ▶ Casting zw. void-Pointers und anderem Pointer-Typ ist implizit

```
1 int* i_ptr = /* ... */;  
2 void* v_ptr = i_ptr;  
3 int* i_ptr2 = v_ptr;
```

Explizite Pointer-Casts

- ▶ Explizite Typumwandlung
- ▶ Neuer Datentyp darf keine strengeres Alignment fordern
- ▶ Derenferenzierung von umgewandelten Pointern: *undefined behavior!*
(Einzige Ausnahme: char-Pointer)
- ▶ Explizite Casts daher vermeiden

```
1 int* i_ptr = /* ... */;  
2 char* c_ptr = (char*) i_ptr; // Zugriff möglich  
3 short* s_ptr = (short*) i_ptr; // Zugriff undefined behavior  
4 long* l_ptr = (long*) i_ptr; // Cast undefined behavior, da  
5 // long strengere Alignment-  
6 // anforderungen hat als int!
```

Quiz: void-Pointer und Pointer-Casts (1)

Welchen Wert (dezimal) hat die Variable c am Ende des folgenden Codeausschnittes?

```
1 int i = 42;  
2 char c = *(&i);
```

二進制
char
byte
⇒ i

☐

Pointer-Casts sind *undefined behavior*.

☐

8

☒

42

☐

Es kommt zu einem Compilerfehler

Quiz: void-Pointer und Pointer-Casts (2)

Welchen Wert (dezimal) hat die Variable `c` am Ende des folgenden Codeauschnittes?
(Annahme: `sizeof(int) == 4`, `CHAR_BIT == 8` und Little Endian)

```
1 int i = 123456789;  
2 char* c_ptr = (char*) &i;  
3 char c = c_ptr[2];
```

char Typus

低位开始



91



Der Pointer-Cast ist *undefined behavior*.



Es kommt zu einem Compilerfehler.



Der Zugriff auf das dritte Element des Arrays, auf das `c_ptr` zeigt, ist *undefined behavior*, da das Array nur ein Element enthält.



Die Dereferenzierung von `c_ptr` ist *undefined behavior*, weil `c_ptr` aus dem Cast eines `int`-Pointers hervorging.

Quiz: void-Pointer und Pointer-Casts (3)

Welchen Wert (dezimal) hat die Variable `i` am Ende des folgenden Codeausschnittes? (Annahme: `sizeof(int) == 4`, `CHAR_BIT == 8` und Little Endian)

```
1 char c = 42;  
2 int* i_ptr = (int*) &c;  
3 int i = *i_ptr;
```

① 能否
转

② 能否
解

- ☐ 8387882
- ☐ Es kommt zu einem Compilerfehler.
- ☐ 42
- ☒ Der Pointer-Cast ist *undefined behavior*.
- ☒ Die Pointer-Dereferenzierung ist *undefined behavior*.

Quiz: void-Pointer und Pointer-Casts (4)

Welchen Wert (dezimal) hat die Variable i am Ende des folgenden Codeausschnittes?

```
1 char c = 42;  
2 void* v_ptr = &c;  
3 int i = *v_ptr;
```

☐

8387882

☒

Es kommt zu einem Compilerfehler.

空指针无解

☐

Es fehlt ein expliziter Cast des char-Pointers zum void-Pointer.

☒

42

Quiz: void-Pointer und Pointer-Casts (5)

Welchen Wert (dezimal) hat die Variable j am Ende des folgenden Codeausschnittes? (Annahme: `sizeof(int) == 4`, `CHAR_BIT == 8` und Little Endian)

```
1  int i = 42;  
2  void* v_ptr = &i;  
3  int* i_ptr = v_ptr;  
4  int j = *i_ptr;
```

void* 的
隐式转换

- ☐ 8387882
- ☐ Es kommt zu einem Compilerfehler.
- ☐ Es fehlt ein expliziter Cast des int-Pointers zum void-Pointer.
- ☒ 42
- ☐ Die Pointer-Dereferenzierung ist *undefined behavior*.

Arrays: Deklaration und Definition

- ▶ Speicherbereich mit Datenobjekten gleichen Typs direkt aufeinanderfolgend
- ▶ Zugriff: syntaktisch analog zu Pointern (Bsp: `arr[0]` oder `*arr`)

- ▶ Deklaration mit impliziter Größenangabe:

```
int arr[3];
```

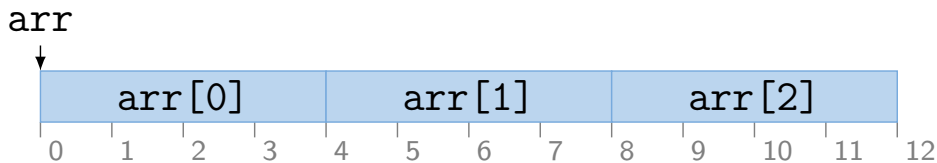
- ▶ Deklaration und Definition in einem Statement mittels "Compound Literal":

```
int arr[3] = {1, 2, 3};
```



- ▶ Verzicht auf explizite Größenangabe:

```
int arr[] = {1, 2, 3};
```

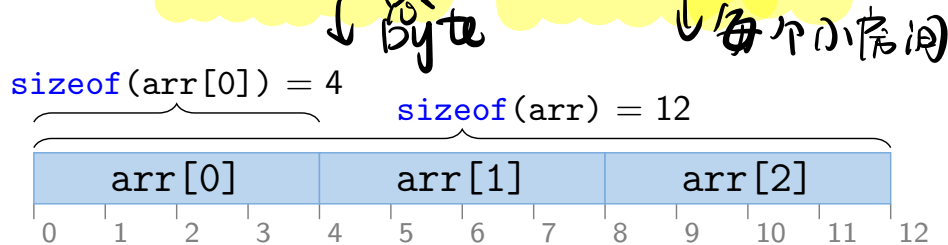


Arrays: Größe

- Bestimmung der Größe durch den sizeof-Operator

Achtung: gesamte Größe muss durch Elementgröße dividiert

```
1 int arr[3] = {1, 2, 3};  
2 size_t arr_len = sizeof(arr) / sizeof(arr[0]); // --> 3
```



- variable Größe:

```
1 void func(size_t size) {  
2     char buf[size];  
3     // ...  
4 }
```

Arrays als Parameter (1)

*int *arr;
int arr[3];*

```
1 void func(int* arr, size_t arr_length) {  
2     for (size_t i = 0; i < arr_length; i++) {  
3         printf("%d\n", arr[i]);  
4     }  
5 }  
6  
7 int main(void) {  
8     int arr[3] = {1,2,3};  
9     func(arr, sizeof(arr) / sizeof(arr[0]));  
10    // ...  
11 }
```

► Achtung! sizeof von Array vs. sizeof von Pointer

Arrays als Parameter (2)

↑ 数组. 还要定长

```
1 void func1(int arr[arr_length], size_t arr_length) {  
2     for (size_t i = 0; i < arr_length; i++) {  
3         printf("%d\n", arr[i]);  
4     }  
5 }  
6 }  
7 void func2(int arr[3]) {  
8     for (size_t i = 0; i < 3; i++) {  
9         printf("%d\n", arr[i]);  
10    }  
11 }  
12 int main(void) {  
13     int arr[3] = {1,2,3};  
14     func1(arr, sizeof(arr) / sizeof(arr[0]));  
15     func2(arr); // ...  
16 }
```

IN

Quiz: Arrays (1)

Was ist der Wert von a nach folgendem Codeauschnitt?

```
1 int arr[4] = {1,2,3};  
2 int a = arr[3];
```

allowed. / 3
is 0

☐

3

☒

0

☐

Es kommt zu einem Compilerfehler

Quiz: Arrays (2)

Was ist der Wert von a nach folgendem Codeauschnitt?

```
1 int arr[3];  
2 arr = (int [3]) {1,2,3};  
3 int a = arr[1];
```

☐

2

☐

0

☒

Es kommt zu einem Compilerfehler

Array 在声明后
不可被整体
赋值,只能
单独修改

Quiz: Arrays (3)

Was ist der Wert von a nach folgendem Codeauschnitt?

```
1 int a = ((const int [3]) {1,2,3}) [0];
```

new in 感觉

☒

1

☐

0

☐

Es kommt zu einem Compilerfehler

Quiz: Unterschiede zwischen Arrays und Pointern

Welche der folgenden Aussagen sind korrekt?



Ein Array lässt sich immer wie ein Pointer verwenden.

除了 sizeof &. 变量名可当 Pointer 用



Ein Pointer lässt sich immer wie ein Array verwenden.

of course Not!



Arrays können als [Funktionsargument] by-value übergeben werden.

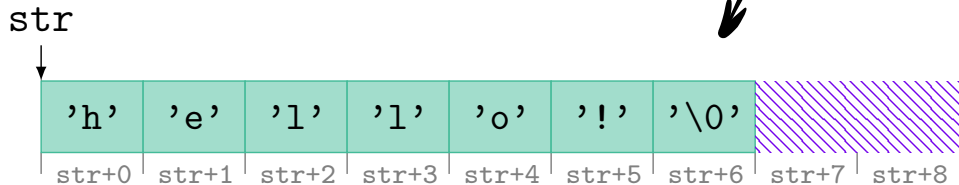
指针不行



Der sizeof-Operator ist sowohl für Arrays als auch für Pointer definiert.

Strings

- ▶ Repräsentation als **char-Array**
- ▶ Länge implizit: 0-Byte als Terminal *c: 0作为结束*
- ▶ Üblicherweise: ASCII-Zeichensatz bzw. -Kodierung (man 3 ascii)



Strings: Definitionsmöglichkeiten

- ▶ Array mit explizitem null-Byte:

```
char str[] = {'t', 'u', 'x', '\0'};
```

- ▶ mit Hexadezimalwerten (siehe man 3 ascii):

```
char str[] = {0x68, 0x75, 0x68, 0x75, 0};
```

- ▶ Mittels eines String-Literals mit implizitem null-Byte:

① `char str[] = "tux";`
(äquivalent zur vorigen Variante)

- ▶ Über einen Pointer statt einem Array:

② `char* str = "tux";`
(String hier nicht modifizierbar!)

↓
因为数组本质是指针

Quiz: Strings (1)

Was ist der Unterschied zwischen den folgenden Möglichkeiten, einen String zu erstellen?

1 `char str1[] = "tux";`
2 `char str2[4] = "tux";`
3 `char str3[] = {'t', 'u', 'x', '\0'};`
4 `char str4[4] = {'t', 'u', 'x', '\0'};`

是4不是3!



Mindestens eine Möglichkeit ist falsch.



Bei den ersten beiden fehlt das terminierende null-Byte.



Die ersten beiden Strings können nicht verändert werden.



Es gibt keinen Unterschied, das Resultat ist in allen Fällen identisch.

Quiz: Strings (2)

Welchen Wert haben len und size am Ende dieses Codeabschnittes?

```
1 char str[] = "tux";  
2 size_t len = strlen(str);  
3 size_t size = sizeof(str);
```

☐

len: 3, size: 3

☒

len: 3, size: 4

☐

len: 4, size: 3

☐

len: 4, size: 4

Handwritten notes:
len: 7 + Null-Byte
sizeof: 2 + 5 + Null-Byte

Quiz: Strings (3)

Was könnte ein mögliches Problem bei folgendem String sein?

```
1 char str[3] = "tux";
```

- ☐ Bei Strings darf es keine explizite Größenangabe für den Array geben.
- ☒ Im resultierenden Array wird das terminierende null-byte fehlen.
- ☐ Es gibt kein Problem.
- ☐ Es kommt zum Compiler-Fehler.

Quiz: Strings (4)

Was könnte an folgendem Codeauschnitt problematisch sein?

```
1 char str[] = "tux"; ✓  
2 char* str_ptr = str; "tux"  
3 str_ptr[3] = 'i'; 7.10.
```

- ☐ Nichts, alles in Ordnung.
- ☐ Eine Modifikation eines Strings über einen Pointer ist immer *undefined behavior*.
- ☐ Der Zugriff auf das vierte Element des Arrays ist out of bounds, da der String nur aus drei Zeichen besteht.
- ☒ Das terminierende null-byte wird überschrieben.
- ☐ str_ptr zeigt auf die Array-Variable und nicht direkt auf den Array, somit ist der Zugriff semantisch falsch und zudem out of bounds.

Quiz: Strings (5)

Inwiefern könnte folgender Codeauschnitt problematisch sein?

```
1 char* str = "tux";  
2 str[0] = 'l';
```

- ☒ Modifikationen von String Literals sind Undefined Behavior.
- ☐ Gar nicht, alles in Ordnung.
- ☒ Es kann zu einem Segmentation Fault kommen.
- ☒ str sollte als const char* deklariert werden.
- ☐ Auf einem Linux-System ist es nicht möglich, den String "tux" zu verändern.
- ☐ Ein String kann nicht auf diese Weise erstellt werden, es wird ein Array benötigt, kein Pointer.

Quiz: Strings (6)

Welche Aussagen bezüglich des Codes sind korrekt?

```
1 void fn(/* ... */) {  
2     char str1[] = "abcd";  
3     const char* str2 = "abcd";  
4     /* ... */  
5 }
```

☐

str2 zeigt auf den Stack.

☒

str2 ermöglicht Speicherplatzoptimierungen.

☒

Der Wert von str1 muss bei jedem Funktionsaufruf neu auf den Stack kopiert werden.

☐

str2 kann auf str1 zeigen.

☒

str2 ist zu bevorzugen, wenn der String nicht verändert wird.

Quiz: Strings (7)

Was ergibt der Ausdruck `"1234" + 1`?

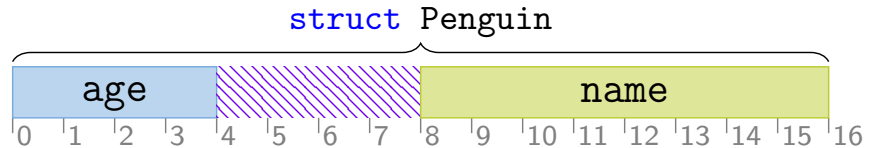
↓ 指针 ↓ 1234

- ☐ Einen Pointer auf den String "1235" (D) *1235*
- ☒ Einen Pointer auf den String "12341"
- ☐ Einen Pointer auf den String "234"
- ☐ Den Integer 1235
- ☐ Einen Compiler-Fehler

struct

- ▶ Zusammengesetzter Datentyp mit Elementen verschiedenen Typs
- ▶ Elemente liegen aufeinanderfolgend (ggf. mit Padding) im Speicher

```
1 struct Penguin {  
2     int age;  
3     char* name;  
4 };
```



const char = "I am";*

- ▶ Zugriff direkt oder über einen Pointer

```
1 penguin.age = 0;           // penguin ist vom Typ  
2                             // struct Penguin  
3 penguin_ptr->age = 0;      // penguin_ptr ist vom Typ  
4                             // struct Penguin*
```

struct: Initialisierung

► Initialisierung über "Compound Literal":

```
1 struct Penguin penguin1 = { this.age = 0, this.name = "Tux" };  
2  
3 // Implizit: penguin2.name = NULL  
4 struct Penguin penguin2 = { .age = 0 };  
5  
6 // Initialisierung mit festgelegter Reihenfolge  
7 struct Penguin penguin3 = { 0, "Tux" };
```

► Initialisierung aller Elemente zu 0:

```
1 struct Penguin penguin4 = { 0 };
```

struct als Parameter

```
1 struct Penguin {
2     char* name;
3     unsigned age;
4 };
5 void print_penguin_name1(struct Penguin *penguin) {
6     printf("name: %s\n", penguin->name);
7 }
8 void print_penguin_name2(struct Penguin penguin) {
9     printf("name: %s\n", penguin.name);
10 }
11 int main(void) {
12     struct Penguin penguin = { "tux", 5 };
13     print_penguin_name1(&penguin);
14     print_penguin_name2(penguin);
15 }
```

结构体 类 → 实例的指针

类 → 实例

Quiz: struct (1)

Was ist der Wert (dezimal) von size nach folgendem Codeauschnitt? (Wir nehmen an, dass `sizeof(int) == 4` und dass ein `int` ein 4-Byte Alignment erfordert.)

char 2 byte

```
1 struct Penguin {  
2     char id_bytes[5];  
3     int id;  
4 };  
5 size_t size = sizeof(struct Penguin);
```

5 ↑

☐

9

☐

15

☒

12

☐

16

Quiz: struct (2)

Ist am Ende dieses Codeausschnitts der Wert von size1 gleich dem von size2? (Wir nehmen an, dass sizeof(int) == 4 und dass ein int ein 4-Byte Alignment

```
1 struct Penguin1 {  
2     int id;  
3     unsigned char age;  
4     char color;  
5 };  
6 struct Penguin2 {  
7     unsigned char age;  
8     int id;  
9     char color;  
10 };  
11 size_t size1 = sizeof(struct Penguin1);  
12 size_t size2 = sizeof(struct Penguin2);
```

☐

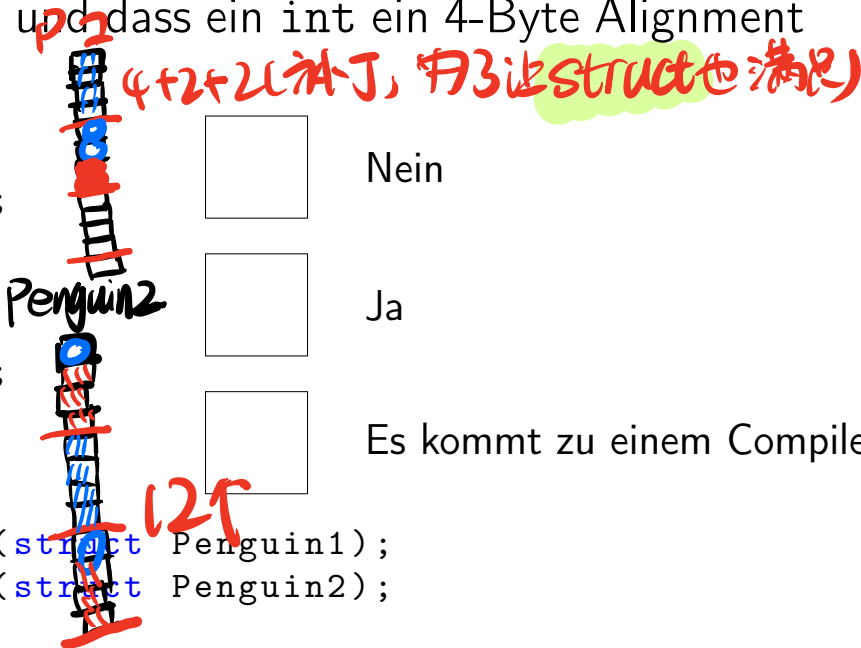
Nein

☐

Ja

☐

Es kommt zu einem Compilerfehler



Code zu Quiz: struct (3)

```
1 struct Penguin {
2     char *name; unsigned age;
3 };
4 struct Penguin * create_penguin1(void) {
5     struct Penguin penguin = { .name = "tux", .age = 5 };
6     return &penguin;
7 }
8 struct Penguin create_penguin2(void) {
9     struct Penguin penguin = { .name = "tux", .age = 5 };
10    return penguin;
11 }
12 int main(void) {
13     struct Penguin *penguin1 = create_penguin1();
14     struct Penguin penguin2 = create_penguin2();
15     printf("name1: %s, name2: %s\n", penguin1->name, penguin2.
        name);
16 }
```

Quiz: struct (3)

Was ist der Unterschied zwischen den beiden auf der vorigen Folie zu sehenden Ansätzen, ein struct als Rückgabewert zu nutzen?

☐

Es gibt keinen Unterschied.

☒

Variante 1 führt zu einem Segmentation Fault.

☐

Variante 2 führt zu einer Compilerwarnung, da ein struct nur über einen Pointer zurückgegeben werden kann.

☒

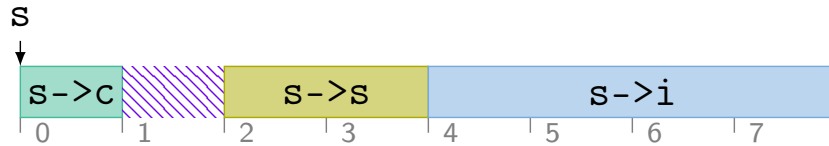
Variante 1 führt zu einer Compilerwarnung.

不要返回指针

struct vs. union

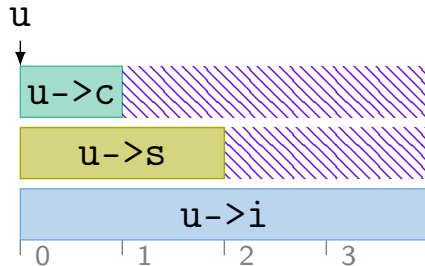
- ▶ `struct` speichert immer alle Elemente

```
struct { char c; short s; int i; }* s;
```



- ▶ `union` speichert genau ein Element – das zuletzt geschriebene

```
union { char c; short s; int i; }* u;
```



struct mit union

Kombination mit struct mit Indikator für Gültigkeit der union-Elemente:

```
1 struct Dimension { /* ... */ };
2 struct Shape {
3     int shape_kind; /* 1 = circle, 2 = rect */
4     union {
5         int circle_radius;
6         struct Dimension rect;
7     };
8 };
9
10 // ...
11
12 struct Shape my_circ =
13     { .shape_kind = 1, { .circle_radius = 10 } };
```

Enum

二选一原则

union als Parameter

```
1 void f(union Number num) {  
2     // Zugriff auf das Attribut 'a' mit 'num.a' ...  
3 }  
4  
5 void g(union Number *num) {  
6     // Zugriff auf das Attribut 'a' mit 'num->a' ...  
7 }
```

num.a

num->a

- Zugriff auf die Member einer union syntaktisch analog zu struct

Quiz: union (1)

Was ist der Wert (dezimal) von value nach folgendem Codeauschnitt? (Wir nehmen an, dass `sizeof(int) == 4` und `CHAR_BIT == 8`.)

```
1 union Number {  
2     char a;  
3     int b;  
4 };  
5 union Number num = {.b = 0x10000};  
6 int value = num.a;
```

☐

0

☐

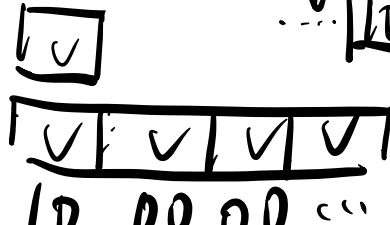
16

☐

Es kommt zu einem Compilerfehler.

☒

Das Ergebnis ist nicht spezifiziert.



Quiz: union (2)

Was ist der Wert (dezimal) von size nach folgendem Codeauschnitt? (Wir nehmen an, dass `sizeof(int) == 4` und dass ein `int` ein 4-Byte Alignment erfordert.)

```
1 union Penguin {  
2     char id_bytes[5];  
3     int id;  
4 };  
5 size_t size = sizeof(union Penguin);
```

char
int · 

☒

8

☐

5

☐

9

union 和 struct 很像，
不仅仅在清尾元素时对齐。
整体结构也要满足 4x!
公式：最小公倍数

Quiz: union (3)

Was ist der Wert (dezimal) von size nach folgendem Codeauschnitt?

```
1 union Penguin {  
2     char id_short[5];  
3     char id_long[7];  
4 };  
5 size_t size = sizeof(union Penguin);
```

03333333

☐

5

☒

7

☐

8

☐

35

Verschachtelte Datentypen

Mehrdimensionale Arrays - Iterationsreihenfolge

```
1 unsigned matrix[3][4] = {
2     { 1, 2, 3, 4 }, { 5, 6, 7, 8 }, { 9, 10, 11, 12 }
3 };
4
5 for (size_t i = 0; i < sizeof(matrix) / sizeof(*matrix); i++) {
6     for (size_t j = 0;
7         j < sizeof(matrix[i]) / sizeof(*matrix[i]);
8         j++) {
9         printf("%u ", matrix[i][j]);
10    }
11 }
12
13 printf("\n");
```

Verschachtelte Datentypen

Mehrdimensionale Arrays – implizite Größe

Auslassen der expliziten Größenangabe der “obersten Ebene”:

```
1 unsigned matrix[][4] = {  
2     { 1, 2, 3, 4 }, { 5, 6, 7, 8 }, { 9, 10, 11, 12 }  
3 };
```

Quiz: Mehrdimensionale Arrays (1)

Was ist der Wert von size nach folgendem Codeausschnitt?

```
1 char matrix[8][9];  
2 size_t size = sizeof(matrix);
```

*fn Java's
, length & by*

☐

9

☒

72

☐

8

☐

Es kommt zu einem Compilerfehler.

Quiz: Mehrdimensionale Arrays (2)

Was ist der Wert von size nach folgendem Codeausschnitt?

```
1 char matrix[5][];  
2 size_t size = sizeof(matrix / *matrix);
```

☐

20

0,48 char matrix [2][5] !

☐

5

☐

4

☐

Es kommt zu einem Compilerfehler.

Code zu Quiz: Mehrdimensionale Arrays (3)

char matrix[4][3];

```
1 // Loop 1 计数
2 for (size_t i = 0; i < sizeof(matrix) / sizeof(*matrix); i++) {
3     ↑
4     for (size_t j = 0; j < sizeof(matrix[i]) / sizeof(*matrix[i]); j++) {
5         用这个
6         matrix[i][j] <= 1;
7     }
8 }
9 // Loop 2
10 for (size_t i = 0; i < sizeof(matrix) / sizeof(*matrix); i++) {
11     for (size_t j = 0; j < sizeof(matrix[i]) / sizeof(*matrix[i]); j++) {
12         matrix[j][i] <= 1;
13     }
14 }
15 }
16 }
```

matrix
* matrix

⇒ 该层的层数
⇒ 该层的层数

Quiz: Mehrdimensionale Arrays (3)

Welcher Unterschied folgt aus der unterschiedlichen Iterationsreihenfolge über das zweidimensionale Array `matrix` in den beiden `for`-Loops im folgenden Codeauschnitt?

☐

Loop 2 führt zu einem Segmentation Fault.

☐

Es gibt keinen funktionalen Unterschied.

☐

Es kommt zu einem Compilerfehler.

☒

Loop 1 wird im Allgemeinen etwas schneller sein.

Quiz: Verschachtelte Datenstrukturen (1)

Was könnte an folgendem Codeauschnitt problematisch sein?

```
1 struct Penguin {  
2     struct {  
3         unsigned height;  
4         unsigned age;  
5         unsigned id;  
6     };  
7     char id[256];  
8 };
```

struct 和 union
一样，成员直接
属于上一级！

☐

Ein verschachteltes struct muss immer benannt sein.

☐

unsigned alleine ist kein valider Datentyp.

☐

Innerhalb eines structs darf ein weiteres struct nicht das erste Element sein.

☒

Es kommt zu einem Compilerfehler.

Code zu Quiz: Verschachtelte Datenstrukturen (2)

```
1 struct Penguin {  
2     char color;  
3     long id;  
4 };  
5 struct PenguinColony {  
6     char color[256];  
7     long ids[256];  
8 };  
9 struct Penguin penguin_colony1[256]; // Array of Structs  
10 struct PenguinColony penguin_colony2; // Struct of Arrays
```

~~Struct of array~~
~~color array~~ ~~ids array~~

array of struct

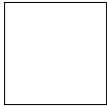


可能不行

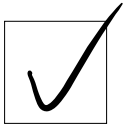
struct 本身要求
最好信息对齐
⇒ array of struct 费内存

Quiz: Verschachtelte Datenstrukturen (2)

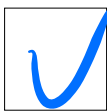
Was könnte im Allgemeinen ein wesentlicher Unterschied sein zwischen den auf der vorigen Folie zu sehenden Möglichkeiten, mit mehreren gleichartigen structs umzugehen? Sollte lieber ein separates struct mit Arrays der einzelnen Member gewählt werden oder sollte einfach ein Array des ursprünglichen structs Penguin gewählt werden?



Im Allgemeinen gibt es keinen Unterschied.



Je nach Zugriffsmuster kann es einen Performance-Unterschied geben.



Ein Struct of Arrays kann Speichereffizienter sein, da Padding innerhalb der structs entfällt.

Mini-“OOP” in C

```
1 struct Penguin {
2     char *name;
3     int age;
4     long position;
5     void (*walk)(struct Penguin* penguin);
6 };
7 void walk(struct Penguin* penguin) {
8     penguin->position++;
9 }
10 int main(void) {
11     struct Penguin penguin = {
12         .name = "tux", .age = 5, .position = 10, .walk = walk
13     };
14     penguin.walk(&penguin);
15     printf("%ld\n", penguin.position); // -> 11
16 }
```

① Struct 当类
② 用指针改attribute

Quiz: Mini-"OOP" in C

Im vorigen Beispiel wurde der walk-Funktion der Penguin per Pointer übergeben. Wie unpraktisch! Man kann ein struct doch auch in diesem Beispiel direkt als Parameter spezifizieren, oder?

☐

Ja, das wäre auch besserer Code-Stil

☒

Nein, denn dann wird in walk nur eine Kopie des ursprünglichen structs verändert.

☐

Nein, man kann ein struct nicht direkt übergeben.

C ist call-by-value ⇒ Kopie