Kapitel 3

Typen und Speicher

> The primary purpose of the DATA statement is to give names to constants; instead of referring to pi as 3.141592653589793 at every appearance, the variable PI can be given that value with a DATA statement and used instead of the longer form of the constant. This also simplifies modifying the program, should the value of pi change.
>
> *(Early FORTRAN manual for Xerox Computers)*

3.1 Typen

In diesem Kapitel werden einige für C grundlegende Konzepte diskutiert, wie Typ, Variable und Zeiger. Man findet diese Konzepte aber nicht nur in C, sondern auch in anderen Programmiersprachen.

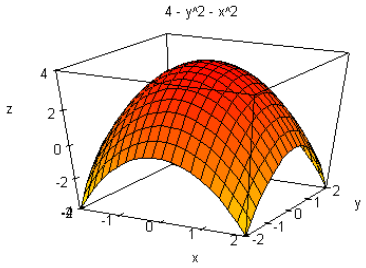
Typen sind z.B. ein allgemeines Konzept, das in vielen Programmiersprachen[1] vorkommt. Man unterscheidet getypte Sprachen (wie z.B. C), bei denen ein einmal festgelegter Typ unveränderlich bleibt, und ungetypte Sprachen (wie z.B. Python), bei denen ein Typ veränderlich ist.

Variablen sind typisch für das zustandsorientierte Programmiermodell. Sie kommen in rein funktionalen Programmiersprachen (z.B. Haskell) nicht vor.

Zeiger sind schließlich ein Konzept, welches nur in einer begrenzten Anzahl von Sprachen wie C, C++ oder Delphi vorkommt. Allerdings gibt es das abstraktere Konzept einer **Referenz**, wie in Java oder Python. Man kann Zeiger als eine spezielle Implementierung von Referenzen ansehen.

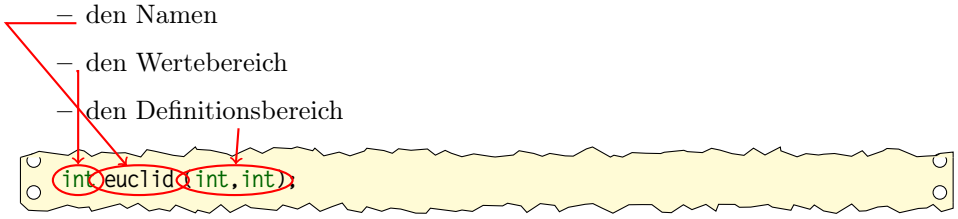
[1] eigentlich in allen, aber in manchen ist es praktisch nicht wahrnehmbar

- Erinnerung an Mathematik-Unterricht: Jede Funktion hat einen **Definitionsbereich**[2] und einen **Wertebereich**[3]
- Beides sind definierte **Mengen**
- **Beispiel**: die Funktion $z = f(x, y) = 4 - x^2 - y^2$, wie sie (auszugsweise) im Graph zu sehen ist, hat einen Definitionsbereich $D \subseteq \mathbb{R} \times \mathbb{R}$ und einen Wertebereich $C \subset \mathbb{R}$
- **Schreibweise**: $f : \mathbb{R} \times \mathbb{R} \to \mathbb{R}$



Deklarierung von Funktionen

- Auch in C haben Funktionen einen Definitions- und einen Wertebereich
  - Wir haben bereits das Schlüsselwort `int` für die Menge der ganzen Zahlen kennengelernt
- Zur Erinnerung: Eine Funktion in C muss **deklariert** werden
  - Ausnahme: Sie wird **vor** ihrer ersten Nutzung definiert
- Ein Deklaration enthalten
  - den Namen
  - den Wertebereich
  - den Definitionsbereich



  - Darüber hinaus **kann** die Deklaration noch andere Dinge enthalten (später mehr)
- Mathematisch ausgedrückt: `euclid: int×int → int`

Typ und Signatur

- „`int×int → int`“ ist der **Typ** der Funktion „`euclid`“

[3] auch: Quellmenge, Domain
[3] auch Zielmenge, Codomain

Achtung!

Unter C-Programmierern hat es sich eingebürgert, **nur** den **Wertebereich** als Typ zu betrachten.

Das ist vollständig okay für C, da bestimmte Aspekte von Typen in C keine Rolle spielen.

In anderen Sprachen ist dieser Unterschied aber wesentlich.

- Im verkürzendem C-Jargon hätte „`euclid`“ also den Typ „`int`“, korrekter wäre der Begriff „**Rückgabetyp**“
- Der Typ bildet zusammen mit dem Namen die **Signatur** einer Funktion

  ➡ Die Deklaration macht also den Compiler mit der Signatur einer Funktion bekannt

Wofür braucht man Typen und Signaturen überhaupt?

1. Viele Operationen (z.B. Addition ➡ „+“) sehen zwar immer gleich aus, werden aber unterschiedlich durchgeführt, je nachdem welchen Typ man betrachtet
   - Beispiel: natürliche vs. komplexe Zahlen

   Typisierung hilft dem Compiler, die richtige Methode zu finden
2. Typen können dem Programmierer helfen, Denkfehler zu verhindern

- Nicht alle Programmiersprachen verlangen Deklarierung von Typen ➡ andere Sprachen können Typen automatisch ableiten (**Typinferenz**)
- C ist relativ nachlässig mit den Konsequenzen aus der Typisierung
  andere Sprachen sind da konsequenter (**stark typisiert**)

Grundtypen

- In C sind nur wenige Möglichkeiten für die Beschreibung von Definitions- und Wertebereich (Grundtypen) enthalten
  - Allerdings bietet C die Möglichkeit, weitere Typen „zu bauen“
- Die Mengen, die durch Typen beschrieben werden, sind in C nicht unendlich, bilden also z.B. nur eine Teilmenge der Menge natürlichen Zahlen ($\mathbb{N}$)
- C99 kennt folgende Grundtypen
  - Teilmengen der **Ganzzahlwerte** ($\mathbb{Z}$)
  - Teilmengen der **rationalen Zahlenwerte** ($\mathbb{Q}$)

  - Menge der **booleschen Werte** (vollständig! 😎)
  - Teilmengen der **komplexen Zahlenwerte** ($\mathbb{C}$)
  - leere Menge
  - Speicheradressen[4]

- Im Sprachumfang von C90 gab es weder boolesche noch komplexe Zahlen, sie ließen sich aber leicht „nachbauen“ und waren in Bibliotheken vorhanden.

Quelle: xkcd - A webcomic of romance, sarcasm, math, and language
http://xkcd.com/607/

- Warum gibt es für z.B. Ganzzahlen unterschiedliche Typen?

➡ Unterschiedlich große Werte brauchen unterschiedlich viel Speicherplatz

- Wieviel?

➡ Der Computer speichert Werte mit Hilfe von Bits (=*binary digits*)

  - In n Bits können also 2^n verschiedene Werte gespeichert werden
  - Typischerweise ist die kleinste adressierbare Einheit ein **Byte** (=8 Bit)
  - Werte werden deshalb in einem oder mehreren Bytes gespeichert

- Die Wahl des „richtigen“ Typs ist deshalb immer ein Kompromiss zwischen der **benötigten Anzahl** unterschiedlicher Werte und dem **Speicherverbrauch** (und der Zugriffsgeschwindigkeit)

[4] Präziser: Adressen sind abgeleitete Typen.

Ganze Zahlen

- C stellt folgende Schlüsselwörter zur Beschreibung von Ganzzahltypen zur Verfügung:

Basis	Größe	Vorzeichen
`int`	`short`	`signed`
`char`	`long`	`unsigned`

- `int` kann durch die Schlüsselwörter `short`, `long`, `signed` und `unsigned` modifiziert werden
- `char` kann durch die Schlüsselwörter `signed` und `unsigned` modifiziert werden
- Wenn `int` modifiziert wird, kann das Schlüsselwort `int` selbst weggelassen werden
- Insgesamt lassen sich die folgenden Ganzzahl-Typen bilden:
  `char`, `unsigned char`, `signed char`,
  `int`, `unsigned int`, `signed int`,
  `short int`, `unsigned short int`, `signed short int`,
  `short`, `unsigned short`, `signed short`,
  `long int`, `unsigned long int`, `signed long int`,
  `long`, `unsigned long`, `signed long`,
  `long long int`[5], `long long`[5]

Es gelten folgende Regeln:

- Alle Typen mit `unsigned` im Namen sind vorzeichenlos (d.h., der Wertebereich fängt bei 0 an)
- Alle Typen mit `signed` im Namen sind vorzeichenbehaftet
- Bei `int` entspricht der Typ ohne Vorzeichen-Modfikation einem vorzeichenbehafteten Typ
- Bei `char` ist dies dem Compiler überlassen
- *Es sind **keine** feste Wertebereiche für die meisten Typen definiert!*
  - Allerdings gilt:[6]
    - $card($`char`$) = 256$
    - $card($`short int`$) \geq 65536$
    - $card($`int`$) \geq \max(65536, card($`short int`$))$
    - $card($`long int`$) \geq \max(4294967296, card($`int`$))$
    - $card($`long long int`$) \geq \max(18446744073709551616, card($`long int`$))$
- Seit C99 gibt es die Headerdatei „`stdint.h`“

[5] nicht vor C99
[6] $card(\mathbf{X})$ steht für die Kardinalität von $\mathbf{X}$, also der Anzahl der Elemente in $\mathbf{X}$

- Darin sind Ganzahltypen mit fester Bitbreite definiert, so sie auf der jeweiligen Plattform zur Verfügung stehen:
  - `int8_t` und `uint8_t`: vorzeichenbehaftete und vorzeichenlose Ganzzahlen mit genau 8 Bit (d.h., die Kardinalität ist 256)
  - `int16_t` und `uint16_t`: vorzeichenbehaftete und vorzeichenlose Ganzzahlen mit genau 16 Bit (d.h., die Kardinalität ist 65536)
  - `int32_t` und `uint32_t`: vorzeichenbehaftete und vorzeichenlose Ganzzahlen mit genau 32 Bit (d.h., die Kardinalität ist 4294967296)
  - `int64_t` und `uint64_t`: vorzeichenbehaftete und vorzeichenlose Ganzzahlen mit genau 64 Bit (d.h., die Kardinalität ist 18446744073709551616)

Darstellung

- Der C90-Standard legt nicht fest, wie ein Wert im Speicher „aussieht“, d.h., welches Bit-Muster welchem Wert entspricht
- Allerdings nutzen alle gängige Plattformen ein **binäres Positionssystem**, mit **Zweierkomplement** für die Darstellung negativer Zahlen

$$\text{vorzeichenlos:} \qquad \text{Wert} = \sum_{i=1}^{n} b_i \cdot 2^{i-1}$$

$$\text{vorzeichenbehaftet:} \qquad \text{Wert} = \begin{cases} \sum_{i=1}^{n-1} b_i \cdot 2^i & \text{wenn } b_n = 0 \\ \left(-\sum_{i=1}^{n-1} (1 - b_i) \cdot 2^i \right) - 1 & \text{wenn } b_n = 1 \end{cases}$$

  b_i ist dabei das i. Bit
- Mehr in ➡ LV „Grundlagen Technische Informatik“ (Kapitel 2) oder „Einführung in die Funktion von Computern“ (Kapitel 1)

Zeichen

Warum heißt ein Ganzzahltyp „`char`“?

- Ursprünglich gedacht für Werte im Bereich des **ASCII-Codes** (7 Bit) bzw. des **ANSI-Codes** (8 Bit) ➡ *Character*
- C kennt (anders als andere Sprachen) **keinen** expliziten Typ für Zeichen
  - Verwendung liegt **ausschließlich** in der **Interpretation** des Wertes einer Ganzzahl bei der Ausgabe, z.B. entsprechend einem Code

  - Je nach Plattform kann daher der gleiche Wert für unterschiedliche Zeichen stehen
- Heute sollte für Zeichen vorwiegend der Typ `wchar_t` benutzt werden
  - Vereinfacht Internationalisierung
  - Einbindung über Headerdatei `wchar.h`
- Wir werden aber zur Vereinfachung bis auf Weiteres von ACSII/ANSI-Code ausgehen

```c
/* char.c -- interpretation of char type */
#include<stdio.h>

char addchar(char c1, char c2)
{
  return c1+c2;
}

int main()
{
  printf("Ergebnis ist %c mit dem Code %d\n",
         addchar('a',1),addchar('a',1));
  return 0;
}
```

Interpretation

```
> ./char  Ergebnis ist b mit dem Code 98
```

Rationale Zahlen

- Durch die interne Darstellung kann C nur rationale Zahlen ($\mathbb{Q}$) beschreiben, keine reellen Zahlen ($\mathbb{R}$)
- Diese Zahlentypen werden nach der verbreiteten „wissenschaftlichen Schreibweise“ auch **Gleitkommazahlen** (*floating point numbers*) genannt

$$1234{,}5 = 1{,}2345 \cdot 10^3 = 1{,}2345E3$$

- C stellt folgende Typen zur Beschreibung von Gleitkommazahlen zur Verfügung:
  - `float`
  - `double`

  - `long double`

- Rationale Zahlen in C haben außer einem beschränkten Wertebereich eine beschränkte Präzision
- Wieder wird offiziell nichts festgelegt, außer Mindestwerten
  - `float` besitzt einen Wertebereich von mindestens $\pm 10^{\pm 37}$ und eine Präzision von mindestens 6 Dezimalstellen
  - `double` besitzt mindestens den Wertebereich von `float` und eine Präzision von mindestens 10 Dezimalstellen
  - `long double` ist wenigstens so „gut“ wie `double`
- De facto folgen aber praktisch alle Compiler dem IEEE-754-Standard, der binäre Darstellungen für Gleitkommazahlen spezifiziert

Der Typ `void`

- C kennt den Basistyp `void` („void“ ➡ *engl.* leer, nichtig)
- `void` ist eigentlich ein Anti-Typ: er wird dann genutzt, wenn man **keinen** Typ haben will ➡ leere Menge
- **Wozu ist das gut?**
  - C kennt nur **Funktionen** als Einheiten der Ausführung, also eine Abbildung von einer Menge (➡ Funktionsparameter) in eine andere (➡ Rückgabewert)
  - Mitunter kommt es nur auf die **Ausführung** an, und Parameter oder/und Rückgabewert wird nicht gebraucht.

```c
#include<stdio.h>

void say_something(void)
{
  printf("Something!\n");
  return;
}

int main()
{
  say_something();
  return 0;
}
```

- Bei Funktionen mit Rückgabetyp `void` kann `return` weggelassen werden.

- Ist das einzige Element der Parameterliste `void`, so kann es weggelassen werden

Typenkonvertierung

- In Ausdrücken (z.B. `a + b`) können verschieden Teilausdrücke verschiedene Typen haben, z.B. `unsigned char` und `signed int`
- In diesen Fällen werden Teilausdrücke **automatisch konvertiert**
  - Allgemein gilt: es wird stets auf den höher auflösenden Wert konvertiert, mindestens auf `int`
- Neben der automatischen Konvertierung kann auch eine Konvertierung erzwungen werden, indem der Zieltyp in Klammern vor den Ausdruck gesetzt wird
  - Man spricht von einem **Cast-Operator** (*to cast* = in eine Form gießen)
  - Dabei kann auch ein kleinerer Wert erzwungen werden

Man betrachte den folgenden Code:

```
1  /* cast.c -- type cast */
2  int printf(const char*,...);
3  long ladd(long, long);
4
5  int main()
6  {
7    printf("Ergebnis: %d\n", ladd(23,42));
8    return 0;
9  }
10
11 long ladd(long x, long y)
12 {
13   return x+y;
14 }
```

- Bei der Übersetzung gibt es folgende Warnung:

```
 > cc -std=C99 -Wall -pedantic -Wall -Wextra cast.c -o cast
cast.c:7:28: warning: format specifies type 'int' but the argument has type 'long' [-Wformat]
```

- Die Warnung verschwindet, wenn man in Zeile 7 den Compiler anweist, den Wert als `int` zu interpretierten

```
7   printf("Ergebnis: %d\n", (int)ladd(23,42));
```

Literale

- Häufig kommen im Programmtext **Werte** eines bestimmten Typs vor
- Einen solchen direkten Wert nennt man ein **Literal**[7]
- Literale eines bestimmten Typs verlangen eine bestimmte Schreibweise, sonst wird eine (unnötige) Konvertierung vorgenommen

`int`: Ganzahlwerte können im **Dezimal-**, **Oktal-** oder **Hexadezimalsystem** geschrieben werden, jeweils ggf. mit Vorzeichen

- **Dezimalwert**: nur Ziffern `0...9`, **nicht** mit `0` beginnend
  - z.B. `42`
- **Oktalwert**: Präfix `0`, dann nur Ziffern `0...7`
  - z.B. `052`
- **Hexadezimalsystem**: Präfix `0x` dann nur Ziffern `0...9` und Buchstaben `a...f` bzw. `A...F`
  - z.B. `0x2a`

`char`: Als **Zeichen** in Hochkommata

- z.B. `'*'`

`unsigned int`: Wie `int`, aber mit Suffix „`u`“ bzw. „`U`“

- z.B. `123U`

`long/unsigned long`: Wie `int/unsigned int` mit Suffix „`L`“ bzw. „`l`“

- z.B. `123L`, `123UL`

`long long/unsigned long long`: Wie `int/unsigned int` mit Suffix „`LL`“ bzw. „`ll`“

- z.B. `123LL`, `123ULL`

`wchar_t`: Wie `char` mit Präfix „`L`“

- z.B. `L'a'`

`double`: Nur als Dezimalzahl mit Ganzzahlteil, Dezimalpunkt, Nachkommateil, Buchstabe „`e`“ oder „`E`“ und Exponent

[7] Häufig werden diese Werte auch „Konstanten“ genannt. Da dieser Begriff in C noch zwei(!) weitere Bedeutungen hat, sollte er hier vermieden werden.

- Ganz- oder Nachkommateil (nicht beides) kann ausgelassen werden
- Dezimalpunkt oder Buchstabe+Exponent (nicht beides) kann ausgelassen werden
- z.B. `1.23e10`, `.23` oder `1e10`

`float`: Wie `double` mit Suffix „`f`“ oder „`F`“

- z.B. `1.23e5f`, `.23F` oder `1e5f`

`long double`: Wie `double` mit Suffix „`l`“ oder „`L`“

- z.B. `1.23e5L`, `.23l` oder `1e5L`

Achtung

Bei Gleitkommazahlen wird (entsprechend der englischen Sprache) ein Punkt „`.`“ als Dezimalzeichen benutzt, nicht (wie im Deutschen) ein Komma „`,`“.

Der Code `double pi; pi=3,14;` ist in C syntaktisch korrekt (und gibt daher i.d.R. keine Warnung), bewirkt aber, dass `pi` den Wert 3 erhält.

Zeichenliterale

Für nichtdruckbare Zeichen gibt es (sowohl für `char` als auch für `wchar_t`) Ersatzsequenzen:

Newline	`\n`	horizontaler Tabulator	`\t`
Backspace	`\b`	vertikaler Tabulator	`\v`
Wagenrücklauf	`\r`	Seitenvorschub	`\f`
Hochkomma (')	`\'`	Anführungsstiche (")	`\"`
Piep	`\a`	Rückstrich (\)	`\\`

Dynamische Typen und Typinferenz

- Eine Deklaration wie in C ist nicht in allen Sprachen notwendig
  - In andere Sprachen mit statischen Typen kann der Compiler den Typ ableiten (Typinferenz) ➡ z.B. Haskell, ML
  - Andere Sprachen besitzen **dynamische Typen**, die zur Laufzeit bestimmt werden ➡ z.B. Python

```
>>> def foo(x):
...   return 2*x
...
```

```
>>> type(42)
<type 'int'>
>>> type(foo)
<type 'function'>
>>> type(foo(42))
<type 'int'>
>>> type(foo(4.2))
<type 'float'>
>>> type(foo('Hallo'))
<type 'str'>
>>>
```

Python

- Python kennt auch Ganzahlen und Gleitkommazahlen
- Darüber hinaus besitzt es Grundtypen, die es in C nicht gibt, z.B.:
  - Zahlen mit beliebiger Größe und Genauigkeit
  - Zeichenketten (Strings)

Merke

Falls es nicht auf Geschwindigkeit ankommt, eignet sich Python bei Problemen wie Textmanipulation oft besser als C.

- Größer sind die Unterschiede bei den abgeleiteten Typen ➡ später

3.2 Speicher

- Bisher folgten unsere C-Programme im Wesentlichen dem Funktionsmodell ➡ **zustandsfrei**
- Zur Realisierung des Zustandsmodell ist die Speicherung von Daten notwendig
- Prinzipiell zwei Möglichkeiten:
  - Speicherung im **Dateisystem** (gut für große Datenmengen, aber langsam)
  - Speicherung im **Hauptspeicher** (schneller, aber beschränkter)
- Betrachten hier letzteren Ansatz

Achtung!

C verlangt, dass man sich vielen Fällen explizit Gedanken über Speicherung macht.

Bei anderen Sprachen ist dies nicht so, da sie

- eine automatische Speicherverwaltung besitzen (Logo, Python) und/oder
- das Zustandsmodell gar nicht erst unterstützen (Haskell, ML)

Variablen

- Prinzipiell kann in C jede Stelle des Hauptspeichers gelesen und geschrieben werden
- ***Dies ist jedoch gefährlich und wird von vielen Betriebssystemen verhindert***
- Daher gibt es Möglichkeiten, Speicher(bereiche) zu **reservieren**
- Drei prinzipielle Ansätze:
  - **benannten Speicher**, Reservierung zur Übersetzungszeit
  - **anonymen Speicher**, Reservierung zur Laufzeit[8]
  - Parameter, Reservierung zur Laufzeit

Variablen und Konstanten

Soll der Speicherinhalt eines reservierten Speicherbereichs geändert werden (was genau Sinn des Zustandsmodells ist), nennt man den Speicherbereich eine (benannte oder anonyme) **Variable**.

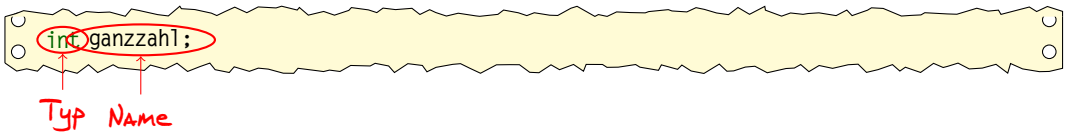
Soll der Speicherinhalt dagegen unverändert bleiben, spricht man von einer (Laufzeit-)**Konstanten**[9] .

3.2.1 Benannte Variablen

- Benannte Variablen müssen in C deklariert werden
- Deklaration einer Variable erfolgt analog zur Deklaration einer Funktion
- Die Deklaration **muss** enthalten:

[8] Genau genommen gibt es auch anonymen Speicher, der zur Übersetzungszeit reserviert wird.
[9] Der Begriff „Konstante“, kann verschiedene Bedeutungen haben: Z.B. werden Literale (siehe Seite 78) als (Übersetzungszeit-)Konstanten bezeichnet.

  - Typ der Variablen
  - Name der Variablen



- Mehrere Variablen des gleichen Typs können gemeinsam deklariert werden

```
int x, y, z;
```

Deklaration und Definition

- Bei einer Variablen-Deklaration **kann** zusätzlich eine **Speicherklasse** (*storage class*) und/oder **Speicherattribute** (*type qualifer*) für die Variable angeben
- Speicherklasse wird durch eines der Schlüsselwörter
  - `auto`, `static`, `extern` oder `register`

  deklariert
- Die Speicherklasse hat Auswirkungen auf **Lebensdauer** und **modulübergreifende Verwendbarkeit** (*linkage*)
  - Wird keine Speicherklasse angegeben, wird „`auto`“ angenommen ➡ automatische Variable
  - Später mehr...
- Speicherattribute werden durch die Schlüsselwörter

  - `const`, `volatile` oder `restrict`[10]

  deklariert
- Speicherattribute gibt dem Compiler Hinweise über die **Verwendung** der Variablen
  - Auch hier später mehr...
- Die Deklaration einer Variablen kann erfolgen:
  - **Außerhalb** jeder Funktion ➡ **globale Variable**

[10] erst ab C99

  - Innerhalb[11] jedes **Blockes** aus geschweiften Klammern „{ ... }“ ➡ **lokale Variable**

- Mit Ausnahme von Deklarationen, die die Speicherklasse „`extern`“ tragen, werden benannte Variablen bei der Deklaration auch **definiert**, d.h. Speicherplatz reserviert
- Ist bei einer Deklaration einer Variablen die Speicherklasse „`extern`“ angegeben, so wird die Variable **nur deklariert** (dem Compiler bekannt gegeben)
  - Sie muss dann noch woanders (in einem anderen Modul, vergleiche Kapitel 11) **global** definiert werden

Bezeichner

Bezeichner

Die Namen von Funktionen, Variablen und Typen werden **Bezeichner** (**Identifier**) genannt.

Jeder Bezeichner darf global oder innerhalb eines Blockes jeweils **nur einmal** definiert sein.

Ein Bezeichner muss mit einem Buchstaben oder dem Unterstrich „_“ anfangen, dem eine beliebige Kombination aus Buchstaben, Zahlen oder Unterstrichen folgen kann.

Ein Schlüsselwort darf nicht als Bezeichner verwendet werden. Auch empfiehlt es sich nicht, Bezeichner aus der Standardbibliothek zu benutzen.

Achtung!

Es gibt Sprachen, bei denen es auf Groß-/Kleinschreibung nicht ankommt. In C sehr wohl: `abc`, `Abc`, `ABC` und `aBC` sind **unterschiedliche** Bezeichner.

Zuweisung

- Einer Variable kann man mit dem „=“-Operator einen Wert zuweisen
- Dies geht auch schon bei der Deklarierung ➡ **Initialisierung**

[11] Bis C90 dürfen Variablendeklarationen nur an **Beginn** eines Blocks stehen, d.h. **vor** allen anderen Anweisungen in diesem Block.

```
int x=0;
x=42;
```

- Bei der Zuweisung kann auch auf den vorherigen Wert der Variable Bezug genommen werden

Sichtbarkeit

- Jede benannte Variable ist ab der Stelle, an der sie deklariert ist, **sichtbar**
- Sie verliert ihre Sichtbarkeit, wenn
  - der Block, in dem sie deklariert wurde, endet
  - wenn in einem tiefer verschachtelten Block ein gleichlautender Bezeichner deklariert wird ➡ **Überdeckung**

```
#include<stdio.h>

int global=42;

int main()
{
  int local1,local2;
  local1=111;
  local2=222;
  {
    int local1=23;
    printf("global=%d, local1=%d, local2=%d \n", global,local1,local2);
  }
  printf("global=%d, local1=%d, local2=%d \n", global,local1,local2);
  return 0;
}
```

Lebensdauer

Jede benannte Variable hat eine **Lebensdauer** (**Gültigkeit**), in der sie den jeweils letzten zugewiesenen Wert behält

Die Lebensdauer...

- ... einer **globalen Variable** ist die gesamte Laufzeit des Programms
- ... einer **automatischen lokalen Variable** die Zeit, in dem sich das Programm in dem Block befinden, in dem sie deklariert ist
- ... einer lokalen Variable der Speicherklasse „`static`“ (➡ **statische Variable**) die gesamte Laufzeit des Programms

Achtung!

Statische lokale Variablen „überleben“ das Verlassen einer Funktion.

Wird eine statische Variable bei der Deklarierung initialisiert, so wird diese Initialisierung ***nur einmal*** vorgenommen.

```c
/* static.c -- lifetime of static variables */
#include<stdio.h>

void count(void){
  static int remember=1;
  printf("remember=%d\n",remember);
  remember=remember+1;
}

int main()
{
  count();
  count();
  count();
  return 0;
}
```

```
> ./static
remember=1
remember=2
remember=3
```

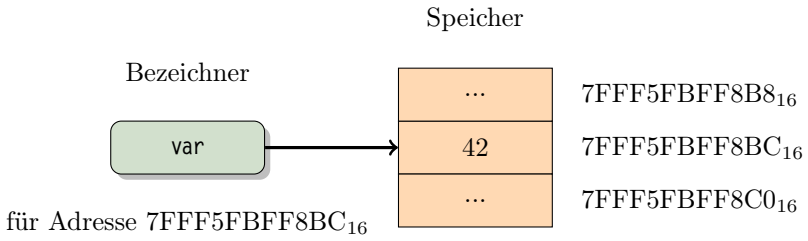
Adressen

- Jede Variable hat eine **Adresse**
- Der Operator `&` gibt die Adresse einer Variablen zurück

```c
/* addr.c -- address of a variable */
#include<stdio.h>

int main()
{
  int var=42;
  printf("Variable var has the address %p and the value %d\n",
          &var,var);
  return 0;
}
```

```
> cc -std=c99 -Wall addr.c -o addr
> ./addr
Variable var has the address 0x7fff5fbff8bc and the value 42
```

- Tatsächlich ist der Bezeichner einer Variablen nur ein Synonym für eine Adresse



- Konkret wird in C ein Variablenbezeichner als (evtl. noch durch andere Operanden modifizierte) Adresse gesehen und wie folgt behandelt:
  - Er steht **links** eines Gleichheitszeichens ➡ der Wert des Ausdrucks rechts des „=“ wird in die Speicherstelle mit dieser Adresse **geschrieben**
  - Sonst ➡ der **Inhalt** (Wert) der Speicherstelle wird **gelesen** und weiterverarbeitet
  - Da C mehrere Gleichheitszeichen in einem Ausdruck erlaubt, kann auch beides geschehen

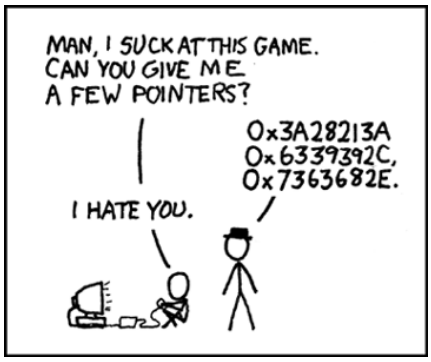
Zeiger

- Variablen können auch selbst Adressen beinhalten
- Durch den Präfix „*“ vor dem Bezeichner wird eine Variable zu einer Adressvariablen (**Zeiger**, **Pointer**)
- Es ist für den Compiler wesentlich, wovon eine Adresse gebildet wird
- Entsprechend ist ein Zeiger immer ein Zeiger auf einen **bestimmten** anderen Typ
- Z.B.:
  - `int *p;` ➡ Zeiger auf eine Ganzzahl
  - `float *p;` ➡ Zeiger auf eine Gleitkommazahl
  - `unsigned int *p;` ➡ Zeiger auf eine natürliche Zahl
- Wenn nur allgemein eine Speicheradresse (ohne speziellen Typ) gemeint ist, wird als Grundtyp „`void`“ verwendet, z.B.
  - `void *p;` ➡ Zeiger auf eine Adresse
  - Bei **Zuweisungen** sind `void`-Zeiger zu allen anderen Zeiger-Typen kompatibel ➡ keine Warnung

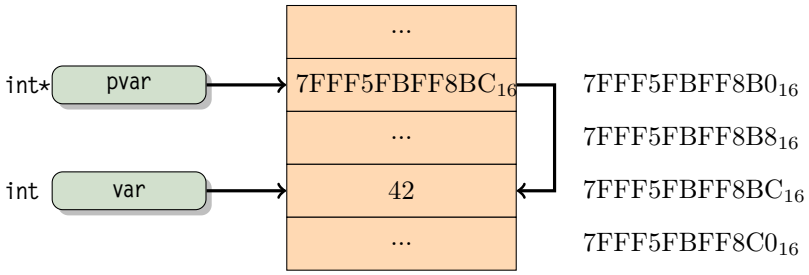
```c
/* addr2.c -- pointer to a variable */
#include<stdio.h>

int main()
{
  int var=42, *pvar;
  pvar= &var ;
  printf("Variable var has the address %p and the value %d\n",
          pvar,var);
  printf("Variable pvar has the address %p and the value %p\n",
          &pvar,pvar);
  return 0;
}
```

- Nach Ignorieren von Warnungen erhält man bei Aufruf beispielsweise:

```
 > ./addr2
Variable var has the address 0x7fff5fbff8bc and the value 42
Variable pvar has the address 0x7fff5fbff8b0 and the value 0x7fff5fbff8bc
```



Quelle: xkcd - A webcomic of romance, sarcasm, math, and language
http://xkcd.com/138/



Achtung!

Ein Typ und dessen abgeleiteter Zeigertyp (z.B. `int` und `int*`) sind **unterschiedliche** Typen!

Dereferenzierung

- Ein Zeiger kann durch den „*“-Operator vor dem Zeiger **dereferenziert** werden
- Damit wird der Inhalt der Speicherstelle angesprochen, auf die der Zeiger zeigt
- Für dereferenzierte Zeiger gelten in Zuweisungen die gleichen Regeln wie für einfache Bezeichner

```c
/* deref.c -- deref a pointer */
#include<stdio.h>

int main()
{
  int y=23, *py=&y;
```

```c
  printf("y=%d\n",*py);  /* same effect as printf("y=%d\n",y); */
  *py=42;                /* same effect as y=42 */

  printf("y=%d\n",y);
  return 0;
}
```

L-Value

- Bezeichner und Zeiger sind zwei Möglichkeiten, Speicheradressen von Variablen in C auszudrücken
- Wir werden noch mehr Möglichkeiten kennenlernen
- Daher gibt es ein allgemeines Konzept: L-Value

Definition 3.1: L-Value

Jeder Ausdruck, der eine gültige **getypte** Adresse ergibt, wird **L-Value** (**L-Wert**, **Linkswert**) genannt.

- Die Bezeichnung steht für „*left value*“, da links einer Zuweisung solch ein Ausdruck stehen muss
- Eine ungetypte Adresse ist kein L-Value

```c
/* lvalue.c -- this program does not compile! */
int main()
{
  int   i,j;
  int  *pi;
  void *pv;

  i   =  42;   /* correct     */
  pi  =  &j;   /* correct     */
  pv  =  pi;   /* correct     */
  *pi =  23;   /* correct     */
  *pv =  23;   /* NOT correct */
  42  =   j;   /* NOT correct */

  return 0;
}
```

- Bei diesem Programm gibt es Compilerfehler, da zweimal keine L-Values auf der linken Seite einer Zuweisung stehen

Python

- Die Regeln für Bezeichner sind die gleichen wie in C (allerdings andere Schlüsselwörter)
- Python besitzt eine **automatische Speicherverwaltung**
- Variablen müssen nicht deklariert werden
- Sie existieren, sobald ihnen ein Wert zugewiesen wird
- Sie sind stets lokal (und überdecken damit ggf. andere), können aber als global vereinbart werden

```
global var
```

- Python nutzt (wie z.B. auch C++) das Konzept von **Namensräumen** (*name spaces*), die eine feingranulare Nutzung auch gleicher Bezeichner erlauben

Beispiel für lokale und globale Variablen in Python:

```
var1=42
var2=23
var3=4711

def func():
  global var1
  var1=1
  var2=2
  print("var1=",var1," var2=",var2," var3=",var3)
  return

print("var1=",var1," var2=",var2," var3=",var3)
func()
print("var1=",var1," var2=",var2," var3=",var3)
```

Die Ausführung dieses Codes führt zu:

```
var1= 42 var2= 23 var3= 4711
var1= 1 var2= 2 var3= 4711
var1= 1 var2= 23 var3= 4711
```

3.2.2 Anonyme Variablen

Zurück zu C

- **Anonyme Variablen** haben keinen Namen; es wird aber Speicherplatz reserviert
- Sie werden mit Hilfe von Funktionen der C-Standardbibliothek **zur Laufzeit** angelegt
- Anonyme Variablen werden **nicht** deklariert
- Nutzung folgender Funktionen, in `stdlib.h` deklariert
  - `void *malloc(size_t size)`
    Reserviert `size` Bytes im Speicher
  - `void *calloc(size_t count, size_t size)`
    Reserviert `count`×`size` Bytes im Speicher und initialisiert sie mit dem Wert 0
- Beide Funktionen geben eine **Adresse** der anonymen Variable zurück

Der `sizeof`-Operator

- **Frage:** Wieviel Platz soll denn bei der Reservierung angefordert werden?
- **Antwort**: Soviel, wie der Typ eines Wertes, der dort gespeichert werden soll, braucht.
- **Frage:** Ich will eine anonyme Variable vom Typ `int` in einem portierbaren Code. Die Größe von `int` ist nicht immer gleich. Woher weiß ich denn, wieviel Speicher `int` braucht?
- **Antwort**: Dafür gibt es den `sizeof`-Operator.

`sizeof`

„`sizeof`“ ist ein Schlüsselwort in C.

Der `sizeof`-Operator kann sowohl auf einen Typ als auch auf eine Variable angewendet werden.

Beispielsweise hat `sizeof(int)` auf MacOSX auf Intel den Wert 4.

Verwaltung anonymer Variablen

Die Verwaltung einer anonymen Variable obliegt dem Programm

- **Lebensdauer**: solange der Programmierer will ➡ Freigabe zur gegebenen Zeit
- **Sichtbarkeit**: keine ➡ der Programmierer muss dafür sorgen, dass die Existenz „gemerkt“ wird
- Freigabe über die Funktion `void free(void*)`, der die Adresse der anonymen Variablen übergeben wird

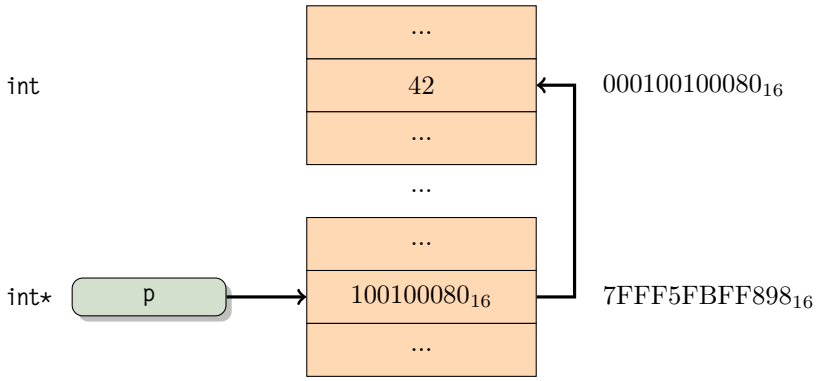
Man beachte

Die Adresse einer anonymen Variable sollte **stets** in einer anderen (ggf. anonymen) Zeigervariable gespeichert werden!

Beispiel

```c
/* malloc.c -- anonymous variables */
#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>

int main()
{
  int *p;

  p= malloc(sizeof(int)); /* reserves memory */
  *p=42;                  /* set value       */
  printf("Pointer p has address %p and points to %p\n",
         (void*)&p,(void*)p);
  printf("Anonymous variable has the value %d\n",*p);
  free(p);                /* releases memory */
  return 0;
}
```

```
> ./malloc
Pointer p has address 0x7fff5fbff898 and points to 0x100100080
Anonymous variable has the value 42
```



Fehlerquellen

- Die Nutzung anonymer Variablen hat sich als eine der wesentlichsten Fehlerquellen in C erwiesen
- Daher zwei Warnungen:

Warnung I

Das „**Vergessen**“ und eine in Folge nicht mehr mögliche Freigabe einer anonymen Variable ist eine häufige Fehlerquelle ➡ **memory leak**.

Warnung II

Die Nutzung einer **bereits freigegebenen** anonymen Variable ist ebenfalls eine häufige Fehlerquelle ➡ **dangling pointer**

Quelle: xkcd - A webcomic of romance, sarcasm, math, and language
http://xkcd.com/379/

Zwei Regeln helfen, diese Fehler zu vermeiden:

1. Wenn Sie Code zur Reservierung (z.B. `malloc`) schreiben, schreiben sie **sofort** auch den entsprechenden Freigabecode
2. Wenn Sie eine anonyme Variable freigeben, weisen Sie ihrem Zeiger den (symbolischen) Wert `NULL` zu, der ebenfalls in „`stdlib.h`“ definiert ist
   - Es ist garantiert, dass nie eine Variable an der durch `NULL` beschriebenen Adresse liegt
   - Zur Laufzeit führt die Dereferenzierung von `NULL` zu einem Fehler
   - Falls Bibliotheksfunktionen wie `malloc` aus irgendeinen Grund scheitern, geben sie ebenfalls `NULL` zurück
   - Im Zweifel empfiehlt es sich daher, Zeiger vor dem Gebrauch gegen den Wert `NULL` zu testen

3.2.3 Parameter

- Neben den benannten – zur Übersetzungszeit reservierten – und den anonymen – zur Laufzeit reservierten – Variablen gibt es noch eine dritte Sorte von Variablen, die wir schon ständig benutzt haben ➡ **Parameter**
- Parameter sind Variablen, die automatisch beim Aufruf einer Funktion **angelegt** und **initialisiert** werden
  - **Lebendauer**: Verweilzeit des Programms in der Funktions**instanz**
  - **Sichtbarkeit**: kompletter Funktionskörper (falls nicht überdeckt)
- Parametervariablen werden mit der Funktionsdefinition deklariert und definiert
- Sie dürfen keine **Speicherklasse**, aber **Speicherattribute** haben

Parameterübergabe

Definition 3.2: Formale und tatsächliche Parameter

Die Parameter, die innerhalb eines Funktionsrumpfes verwendet werden, heißen **formale Parameter**.

Die Parameter, die beim Aufruf der Funktion verwendet werden, heißen **tatsächliche Parameter**[12] oder **Argumente**.

- Bei der Verwendung von Parametern in Programmiersprachen gibt es zwei Probleme zu klären:

[12] Mitunter findet man in der (älteren) Literatur die Bezeichnung „aktueller Parameter“, die von der falschen Übersetzung des englischen Ausdrucks „*actual parameter*“ stammt.

- Welche **Zuordnung** gibt es zwischen tatsächlichen und formalen Parametern?
- Wie erfolgt die **Übergabe** zwischen tatsächlichen und formalen Parametern?

Es gibt in Programmiersprachen verschiedene Varianten der Zuordnung von tatsächlichen und formalen Parametern

- **Positionsparameter**: Die Zuordnung ergibt sich aus der Position eines tatsächlichen Parameters bei Funktionsaufruf
- **Namensparameter**: Die Zuordnung ergibt sich aus beim Funktionsaufruf benutzten Namen

C

C benutzt **ausschließlich** Positionsparameter.

Python

In Python können sowohl Positions- als auch Namensparameter benutzt werden.

Es gibt in Programmiersprachen verschiedene Varianten der **Übergabe** von tatsächlichen zu formalen Parametern:

- **Call by value**: Der tatsächliche Parameter wird ausgewertet und der formale Parameter erhält diesen Wert ➡ **Wertübergabe**
- **Call by name**: Der formale Parameter wird durch den Namen des tatsächlichen Parameters ersetzt ➡ **Namensersetzung**
- **Call by reference**: Der formale Parameter wird zu einem „Stellvertreterobjekt“ für den tatsächlichen Parameter, so dass alle Änderungen sofort außerhalb der Funktion wirksam werden ➡ **Referenzübergabe**
- **Call by copy/return**[13]: Der tatsächliche Parameter wird ausgewertet und der formale Parameter erhält diesen Wert zu Beginn der Funktion; bei Beendigung erhält der tatsächliche Parameter den Wert des formalen Parameters

C

In C gibt es **ausschließlich** eine Form der Parameterübergabe: „Call by value“ (Wertübergabe).

Python

Python kennt (eigentlich) ausschließlich Referenzparameter[14] (call by reference).

[13] In der Literatur auch: „call by value/return“, „call by value and result“ oder „copy in/copy out“

Jedoch unterscheidet Python zwischen „**unveränderlichen**“ (*immutable*) Typen (wie z.B. Ganzzahlen oder Zeichenketten) und „**veränderlichen**“ (*mutable*) Typen. Erstere werden bei der Funktionsübergabe wie Werteparameter behandelt.

Ersatz von Referenzparametern

- C kennt **keine** Referenzparameter

➡ Konzept von **Prozeduren** (wie z.B. `var`-Parameter in Pascal) **nicht** (ohne Weiteres) realisierbar

- **Idee:** Statt eines Referenzparameters wird ein **Zeiger auf das Argument** übergeben
  - Durch Dereferenzierung können Änderungen von Daten **außerhalb** der Funktion erreicht werden
  - ➡ Wirkung entspricht (im Wesentlichen) Referenzparametern
  - Die Nutzung von Zeigern statt Referenzvariablen ist eine **häufige Praxis** in C

Definition 3.3: Seiteneffekt

Eine Speicherveränderung außerhalb der lokalen Variablen einer Funktion (zu der auch die Parameter zählen) oder eine Ein-/Ausgabe nennt man einen **Seiteneffekt**.

- Dieser Begriff „Seiteneffekt“ stammt von der inkorrekten Übersetzung des Begriffes „*side effect*“

```c
/* sideeffect.c -- simulated reference parameter */
#include<stdio.h>

void sideeffect(int *);

int main()
{
  int x=42;
  printf("x=%d\n",x);
  sideeffect(&x);
  printf("x=%d\n",x);
  return 0;
}
```

[14] Die Wirklichkeit ist etwas komplizierter, siehe Exkurs etwas später in diesem Abschnitt.

```
void sideeffect(int *p)
{
  *p=23;
}
```

```
x=42
x=23
```

`scanf()`

- Ein Einsatzfall, bei dem man Referenzparameter braucht, ist die Eingabe von mehr als einem Wert
- Die Funktion `scanf()` aus der Standardbibliothek übernimmt genau diese Funktion
- Ähnlich wie `printf()` beginnen die Parameter mit einem Formatstring, gefolgt von einer Liste von Zeigern auf die Variablen
- Rückgabewert ist die Anzahl der korrekt gelesenen Variablen

Formatierung

Welchen Typ ein einzulesender Wert ist, wird durch ein Ausdruck bestimmt, der mit einem Prozentzeichen beginnt, u.a.:

`%d`	ganzzahliger Dezimalwert	`%i`	Ganzahl, Basis hängt vom Präfix ab
`%f`	Gleitkommazahl	`%s`	Zeichenkette

Die %-Ausdrücke können auf verschiedene Arten modifiziert werden. Eine Übersicht gibt Anhang B.4.

```
/* scanf.c -- input via scanf */

int scanf(char*,...);
int printf(char*, ...);

int main(){
  int x,y;
  printf("Give the point as \"(x,y)\": ");
  if(scanf("(%d,%d)",&x,&y) == 2){
    printf("You provided: (%d,%d).\n",x,y);
  }
  return 0;
```

```
}
```

```
./scanf
Give the point as "(x,y)": (10,4)
You provided: (10,4).
```

Exkurs: Variablen und Referenzen in Python

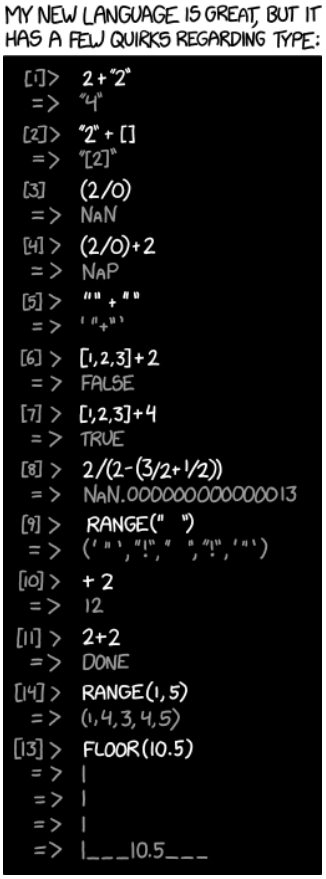
> Das Folgende stellt einen Exkurs dar und ist erst im Rahmen des Konzepts der Objektorientierung (➡ Vorlesung Algorithmen und Datenstrukturen) relevant.
>
> Falls Sie Probleme beim Verständnis haben, können Sie zum Abschnitt 3.3 weitergehen.

- Die nutzersichtbaren Variablen in Python sind eigentlich **Referenzen** auf **anonyme** Variablen (Objekte), die wiederum vom Python-Laufzeitsystem verwaltet werden
- Es gibt eine zum &-Operator ähnliche Funktion, die die Identität eines Objektes zurückgibt: `id()`
  - In manchen Implementationen (z.B. CPython) ist es tatsächlich die Speicheradresse
  - Wird `id()` auf eine (Nutzer-)Variable (also Referenz) angewendet, gibt es die Identität des referenzierten Objekts, nicht die der Referenz
- Man betrachte folgenden Code:

```
a=23
print("a=",a,", id(a)=",id(a))
b=42
print("b=",b,", id(b)=",id(b))
a=a+19
print("a=",a,", id(a)=",id(a))
```

Bei der Ausführung erhält man:

```
a= 23 , id(a)= 4298184952
b= 42 , id(b)= 4298186472
a= 42 , id(a)= 4298186472
```



Quelle: xkcd - A webcomic of romance, sarcasm, math, and language, http://xkcd.com/1537/
Wer eine Erklärung braucht, siehe http://www.explainxkcd.com/wiki/index.php/1537

- Bei **unveränderlichen** (*immutable*) Objekten (z.B. Ganzzahlen) wird bei einer Variablenzuweisung (z.B. `a=a+19`) **nicht** das Objekt geändert, sondern es wird entweder
  - ein **neues Objekt** erzeugt und referenziert
    oder
  - falls ein derartiges Objekt **bereits existiert**, dieses ggf. referenziert
- Im letzten Beispiel gab es schon ein Objekt, das der Ganzzahl 42 entsprach und von `b` referenziert wurde
- Einige komplexere Objekte sind **veränderlich** (*mutable*)
  - Bei Operationen mit ihnen werden sie verändert und kein neues Objekt angelegt
  - Die Referenz bleibt erhalten

- Beim Parameteraufruf wird die Referenz des Objekts übergeben
  - *De facto*: Kopie der bei Aufruf verwendeten Referenz
- Bei unveränderlichen Objekten führen Berechnungen in der Funktion zu Referenzierung **anderer** Objekte
- Außerhalb wird noch das gleiche Objekt referenziert ➡ Wirkung ist wie bei **Werteübergabe**
- Bei veränderlichen Objekten wird keine neue Referenz gebildet ➡ **Referenzübergabe** bleibt sichtbar

3.3 Abgeleitete Typen

- C kennt sogenannte **abgeleitete Typen**
- Eine Art von abgeleiteten Typen haben wir schon kennengelernt: Zeiger
- Andere Typen sind:
  - Verbund-Datentypen (`struct` und `union`)
  - Aufzählungstypen (`enum`)
  - Felddatentypen (*arrays*)
- Abgeleitete Typen werden manchmal auch „komplexe Typen“ genannt

Verbundtyp `struct`

- Mit Hilfe des `struct`-Typs können mehrere Variablen (Elemente, *members*) unterschiedlichen Typs im Zusammenhang behandelt werden
- Eine Deklaration besteht aus dem Schlüsselwort `struct`, einem **Namen** (Tag), einer Liste von **Deklarationen** von Elementen bereits bekannter Typen in einem Block aus geschweiften Klammern

```
struct point{
  int x;
  int y;
};
```

- Für Pascal-Kenner: Der `struct`-Typ entspricht etwa dem `record`
- Mit der Deklaration ist der **Typ** bekannt – mit ihm können auf die übliche Weise Variablen deklariert/definiert werden:

```
struct point pt;
```

- Typen- und Variablendeklaration kann auch zusammen geschehen:

```
struct point{
  int x;
  int y;
} pt;
```

- In diesem Fall kann der Tag (Name) entfallen

Vorsicht

Wenn der Tag weggelassen wird...

- ... kann keine weitere Variable dieses Typs deklariert werden
- ... ist selbst ein strukturell identischer Typ **nicht** kompatibel

- Auf ein Element eines `struct` kann mit dem „.“-Operator zugegriffen werden
- Form: `variable_name.member_name`
- Beispiel:

```
/* struct.c -- access to members */
#include<stdio.h>

struct point{
  int x;
  int y;
} pt;

int main()
{
  pt.x=42;
  pt.y=23;
  printf("member of pt: x=%d, y=%d\n",
         pt.x,pt.y);
  return 0;
}
```

- Eine `struct`-Variable kann mit einer Liste von konstanten Ausdrücken initialisiert werden, die in geschweiften Klammern steht

```c
/* struct2.c -- initialization of a struct */
#include<stdio.h>

struct point{
  int x;
  int y;
} pt = { 42, 25-2};

int main()
{
  printf("member of pt: x=%d, y=%d\n",
         pt.x,pt.y);
  return 0;
}
```

- Elemente können auch[15] über ihren Namen (mit vorgesetztem Punktoperator) angesprochen werden, so dass eine nur teilweise Initialisierung oder eine andere Reihenfolge der Elemente möglich ist:

```c
/* struct2a.c -- C99 initialization */
#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>

struct point{
  int x;
  int y;
};

int main()
{
  struct point pt = { .y=23, .x=42 };

  printf("member of pt: x=%d, y=%d\n",
         pt.x,pt.y);
  return 0;
}
```

- Für eine struct-Variable sind nur wenige Operationen erlaubt:
  - Sie darf zugewiesen/kopiert werden („=“-Operator)
  - Ihre Adresse darf ermittelt werden („&“-Operator)

[15] ab C99

– Auf ihre Elemente darf zugegriffen werden („.“-Operator)

Zeiger auf struct

In C kommt es häufig vor, dass Zeiger auf (in der Regel anonyme) `struct`-Variablen benutzt werden.

Diese Konstruktion ist die Basis fast aller abstrakter Datentypen (ADT) in C, die im nächsten Semester genauer betrachtet werden.

Anmerkung: C++ kennt noch ein wesentlich eleganteres Mittel für ADT: Templates.

Betrachten die Nutzung von Zeigern auf Strukturen:

```c
/* struct3.c --  anonymous struct */
#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>

struct point{
  int x;
  int y;
};

int main()
{
  struct point *ppt = malloc(sizeof(struct point));
  (*ppt).x=42;
  (*ppt).y=23;
  printf("member of pt: x=%d, y=%d\n",
         (*ppt).x,(*ppt).y);
  return 0;
}
```

- Für das Konstrukt `(*pointer).member` gibt es einen Extraoperator: „`->`“
- Der folgende Code ist also äquivalent zu `struct3.c`:

```c
/* struct4.c -- -> operator */
#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>

struct point{
  int x;
  int y;
};
```

```c
int main()
{
  struct point *ppt = malloc(sizeof(struct point));
  ppt->x=42;
  ppt->y=23;
  printf("member of pt: x=%d, y=%d\n",
         ppt->x,ppt->y);
  return 0;
}
```

Typenalias mit `typedef`

- Die ständige Nutzung des Schlüsselworts `struct` kann umgangen werden, indem ein Typenalias definiert wird
- Dazu gibt es das Schlüsselwort `typedef`
- Allgemeine Form: `typedef type alias_name;`

```c
/* typedef.c --  define alias types */
#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>

typedef unsigned short int usint_t;
typedef struct {
  usint_t x;
  usint_t y;
} point_t;

int main()
{
  point_t pt={42,23};

  printf("member of pt: x=%d, y=%d\n", pt.x,pt.y);
  return 0;
}
```

Verbundtyp `union`

- Der Verbundstyp `union` ist ähnlich zum Typ `struct`
- **Unterschied**: *Alle Elemente liegen an der **gleichen**(!) Adresse*

➡ Das Schreiben eine Elements **zerstört** den Inhalt der anderen

- Wird nur selten gebraucht (typischerweise zur Optimierung oder für hardwarenahe Programmierung) und wird hier nicht weiter betrachtet

Aufzählungstyp

- Mit Hilfe von **Aufzählungstypen** können Typen mit diskreten benannten Werten definiert werden
- Schlüsselwort: `enum` (für *enumeration*)
- Beispiel:

```
enum card_suit {club, spade, heart, diamond};
```

- Für alle praktischen Belange ist ein Aufzählungstyp ein `int`
- Man kann gezielt Werte zuweisen:

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

```
enum escape {NL='\n', BACKSPACE='\b', TAB='\t', RETURN='\r', BELL='\a'};
```

- `enum`-Werte werden zur **Übersetzungszeit** festgelegt und bilden damit eine Möglichkeit, **Konstanten** zu definieren

Arrays

- Häufig werden zusammengehörige gleichartige Werte benötigt
- In der Mathematik mit Index: $x_1, x_2, \ldots$
- Beispiele:
  - Komponenten eines Vektors (Index: Dimension)
  - Die jeweiligen Tagesumsätze eines Monats (Index: Tag)
  - Die Pixel eines Bildschirms (Indizes: x-Achse, y-Achse)
  - ...
- C stellt dafür den abgeleiteten **Arraytyp** (häufig auch: **Feldtyp**) zur Verfügung
- Ähnlich zum Pascal-Typ „array“

- Deklaration benötigt kein Schlüsselwort, sondern geschieht mit Hilfe des **Indexoperators** (eckige Klammern), der die Elementzahl enthält und hinter den Variablenbezeichner[16] geschrieben wird
- Deklaration eines Arrays von 10 Ganzzahlen:

```
int xa[10];
```

- Auch der Zugriff auf Element eines Array erfolgt über den Indexoperator

```
int x1=xa[0];
```

Achtung!

Eine Array mit n Elementen hat **immer** die Indizes 0 bis $n-1$.

Der Zugriff auf das Element n ist ein **Fehler**!

- Der Grundtyp eines Arrays können beliebige andere Typen sein
- Betrachte folgende Deklarationen:

```
int     xa[10]; /* Array of 10 integers                */
int   *pxa[10]; /* Array of 10 pointers to integers   */
double   f[10]; /* Array of 10 floating point numbers */
struct point{
 int x;
 int y;
} pt[10];       /* Array of 10 point structs          */
```

- Auch mehrdimensionale Arrays sind möglich
- Konzept: Array eines anderen Array-Typs:

```
int xa[4][3]; /*declares a 4x3 array */
```

- Das Beispiel deklariert ein 4×3-Array
- Genauer: Es wird ein Array mit 4 Elementen deklariert, wobei jedes Element ein Array mit 3 Elementen ist
- Dies Prinzip lässt sich auf beliebig viele Dimensionen ausweiten

[16] Für Java-Programmierer: Achtung, nicht dem Typ!

- Seit C90 können lokale Arrays angelegt werden, deren Größe erst zur Laufzeit ermittelt wird (*variable length array* = **VLA**)


```c
int func(int s){
  double a[s];
  // ...
```

- Jedoch wird diese Möglichkeit in C11 nur noch als optional zugelassen, so dass man sich nicht unbedingt darauf verlassen sollten, wenn Portabilität angestrebt wird

- VLA haben einige Einschränkungen:
  - Sie können nicht statisch (Schlüsselwort `static`) sein
  - Der Steuerfluss darf niemals **hinter** die Deklaration eines VLA in dessen Gültigkeitsbereich gelangen
  - VLAs können nicht Teil einer `struct` sein

Initialisierung

- **Initialisierung**: wie `struct`-Typen können Arrays über über Listen nicht-variabler Ausdrücke in geschweiften Klammern initialisiert werden:

```c
int xa[4]={0,1,2,3}; /*initialize elements with their indices */
```

- Dies funktioniert auch bei mehrdimensionalen Arrays:

```c
int xa[3][4]={
   {0,1,2,3},
   {1,2,3,4},
   {2,3,4,5}}; /* initialize elements with sum of their indices */
```

- Wenn ein Array bei der Definition initialisiert wird, kann die letzte Dimension weggelassen werden
- Das folgende Beispiel ist äquivalent zum ersten:

```c
int xa[]={0,1,2,3}; /*initialize elements with their indices */
```

- Seit C90 ist auch eine teilweise Initialisierung möglich

- Die Reihenfolge ist dabei egal

```c
int a[10] = { [3]=42,[2]=23 };
```

- Alle nicht explizit initialisierte Elemente sind dann 0
- Beide Initialisierungsarten lassen sich mischen
- Wie bei `enum` wird die indexlose Initialisierung für das nächst Element fortgesetzt

```c
int a[8] = { [3]=42,4,5, [0]=23 };
```

- ...ergibt: $23, 0, 0, 42, 4, 5, 0, 0$

Array als Parameter

- Arrays sind gegenüber anderen Typen benachteiligt: Sie lassen sich **nicht** an Funktionen übergeben
- **Genauer**: Man kann zwar Parameter als Array deklarieren, in Wirklichkeit wird aber ein **Zeiger auf** den **Grundtyp** des Arrays übertragen!
- Man sagt: Das Array „zerfällt“

```c
/* array2.c -- an array decays */
#include<stdio.h>

typedef int myarray[10];

void func(myarray a){
  printf("Size of a: %ld\n",sizeof(a));
}

int main() {
  myarray x;
  printf("Size of x: %ld\n",sizeof(x));
  func(x);
  return 0;
}
```

```
> ./array2
Size of x: 40
Size of a: 8
```

- Zum Glück funktioniert der Indexoperator (eckige Klammern) auch mit Zeigern

- Deshalb kann (ähnlich wie bei der Initialisierung) die Größe (der letzten Dimension) eines Arrays bei der Übergabe weggelassen werden, oder gleich ein Zeiger übergeben werden
- Die folgenden Deklarationen sind äquivalent:

```
void func(double[]); // parameter is array of double
void func(double*);  // parameter is pointer to double
```

- **Problem**: Es besteht keine Möglichkeit herauszufinden, wie groß das Array vor der Übergabe war
- Deshalb benötigen viele Funktionen, die Array als Parameter haben, als zusätzlichen Parameter die Anzahl der Elemente

Beispiel:

```
/* array_param.c -- auxiliary parameter */
#include<stdio.h>

void print_int_array(int,int[]);

int main() {
  int xa[3]={1,2,3};
  print_int_array(3,xa);
  return 0;
}

void print_int_array(int count,int array[]) {
  int i=1;
  printf("(%d",array[0]);
  while(i<count) {
    printf(",%d",array[i]);
    i=i+1;
  }
  printf(")\n");
}
```

```
>./array_param.c
(1,2,3)
>
```

- *Achtung!* Falsche Annahmen über Array-Größen sind ein häufiger Programmierfehler

Spezialfall Zeichenarray

- Wie schon erwähnt, kennt C keine Zeichenketten
- Daher werden `char`-Arrays als Zeichenketten missbraucht
- Dafür kennt C einen Spezialfall der Initialisierung

```
char str[]="Hallo!";
```

ist äquivalent zu

```
char str[]={'H','a','l','l','o','!',0};
```

- Der Wert 0 (oder `'\0'`) wird als End-Marke genutzt

  ➡ Er darf in keiner Zeichenkette enthalten sein
- **Genauer**: `"Hallo!"` ist ein **Stringliteral**, der in der internen Darstellung mit einer 0 endet

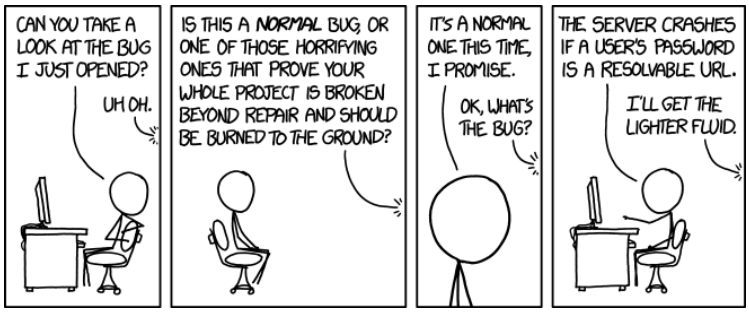
Stringfunktionen

- Die Null am Ende ist eine **Konvention**
- Viele Funktionen der Standardbibliothek verlassen sich darauf, dass `char`-Array sogenannte **C-Strings** sind
- Wir haben schon zwei kennengelernt:
  - `int printf(char*,...)`
  - `int atoi(char*)`
- Eine Konvention kann man brechen ➡ ***Gefahr***

```
/* printf-failure -- danger of C strings */
#include<stdio.h>

char str[]={'H','a','l','l','o','!'};
char bla[]="\nDas ist top secret.\n";

int main(){
  printf(str);
```

```
    return 0;
}
```

```
> ./print-failure
Hallo!
Das ist top secret.
```



Quelle: xkcd - A webcomic of romance, sarcasm, math, and language
http://xkcd.com/1700/

Parameter von `main()`

- Nun haben wir alles zusammen, die Parameter der `main()`-Funktion zu betrachten
- Ihr werden die Befehlszeilenparameter als C-String übergeben
- Die korrekte Signatur von `main()` ist[17]:

```
int main(int argc, char *args[]);
```

- Rückgabetype `int`: wird an aufrufendes Programm oder Betriebssystem gegeben, Konvention ein Fehlercode
- `int argc`: Anzahl der Parameter des Programms
  - Da immer der Aufrufname des Programms mit übergeben wird, ist `argc` mindestens 1
- `char *args[]`: Array von Zeigern auf C-Strings
  - Jeder dieser C-Strings enthält ein Komandozeilenargument (inklusive Programmname)

[17] Die eigentliche Deklaration ist noch etwas komplizierter.

```c
/* main.c -- gives command line arguments */
#include<stdio.h>

int main(int argc, char *args[])
{
  printf("Program name: %s\n",args[0]);
  if (argc>1) { printf("1. argument: %s\n",args[1]); }
  if (argc>2) { printf("2. argument: %s\n",args[2]); }
  if (argc>3) { printf("3. argument: %s\n",args[3]); }
  if (argc>4) { printf("4. argument: %s\n",args[4]); }
  if (argc>5) { printf("5. argument: %s\n",args[5]); }
  if (argc>6) { printf("There are even more arguments.\n"); }
  return 0;
}
```

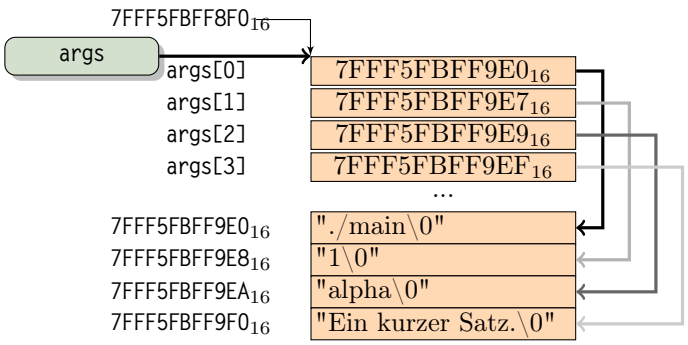
```
> ./main 1 alpha "Ein kurzer Satz."
Program name:./main
1. argument: 1
2. argument: alpha
3. argument: Ein kurzer Satz.
```

Die Deklaration...

```c
char *args[]
```

... bedeutet Array von Zeigern auf `char`.

Beim obigen Aufruf ergibt sich (beispielsweise) folgendes Speicherlayout:



Nochmals Speicherklassen und -attribute

- Nachdem wir alle C-Typen beisammen haben, betrachten wir nochmals die Speicherklassen und -attribute
- Schon betrachtet: **Speicherklassen** „`static`“ und „`extern`“[18]

  `static`: Macht Lebensdauer unabhängig von Stand der Abarbeitung; schränkt Sichtbarkeit nach „außen“ ein

  `extern`: Nur Deklaration, verlangt zusätzliche Definition, evtl. „außerhalb“ ➡„**Außerhalb**“ heißt Bibliothek oder Modul, wird bei der Modularisierung genauer betrachtet
- Speicherklasse `register`: Compiler soll den Zugriff auf Variable beschleunigen
  - Nur „Hinweis“, Compiler entscheidet
  - Bei CPUs mit Universalregistern wird Variable in einem Register gehalten ➡ daher der Name
  - Programmierer darf von `register`-Variable **keine** Adresse ermitteln
  - Einsatz bei **zeitkritischen** Funktionen, z.B. Treibern

```c
/* register.c -- program does not compile */
#include<stdio.h>

int main()
{
  register int fast=42;
  int pf;

  pf = &fast;
  printf("fast= %d\n", fast);
  return 0;
}
```

```
cc -std=c99 -pedantic -Wall register.c -o register
register.c: In function 'main':
register.c:9: error: address of register variable 'fast' requested
make: *** [register] Error 1
```

- Speicherattribut „`const`“: Wert der Variablen soll nicht verändert werden ➡ Variable bleibt **konstant**

[18] ... und „`auto`“ 🙂

- Ermöglicht Compiler Optimierung
- Compiler **unterbindet Zuweisung** an `const`-Variable, außer bei Initialisierung
- Variable wird jedoch sonst wie jede andere Variable behandelt, eignet sich insbesondere **nicht** für Angaben von Array-Größen oder Initialisierung von Verbundtypen oder Arrays

  * **Aber**: Seit C99 sind dort Variablen erlaubt

Achtung!

Insbesondere bei Zeigern ist die Deklaration z.T. verwirrend. Man beachte den Unterschied:

`const int * p;` Deklariert einen **variablen** Zeiger auf eine **konstante** Ganzzahlvarible

`int * const p;` Deklariert einen **konstanten** Zeiger auf eine **variable** Ganzzahlvarible

- Das Speicherattribut „`volatile`“ ist das Gegenteil von „`const`“
- „volatile“ ➡ (*engl.*) flüchtig, sprunghaft
- **Hinweis** an Compiler: Wert kann sich seit dem letzten Schreiben **verändert** haben
- Nur bei **nebenläufigen** Programmen relevant

Hinweis

Eine Deklaration wie

```
extern const volatile int rt_clock;
```

ist durchaus sinnvoll. Der Wert wird von „außen“ (z.B. durch einen Treiber) gesetzt und kann vom aktuellen Programm nur gelesen, aber nicht geändert werden.

- Speicherattribut „`restrict`“ ist neu in C99
- Nur bei Zeigervariablen (und daraus abgeleitet bei Arrays)
- Zusicherung an den Compiler, dass das Speicherobjekt, auf das der Zeiger zeigt, nur (direkt oder indirekt) über diesen Zeiger zugegriffen wird
- Konkrete Definition ist etwas umfangreicher ➡ Interessierte lesen bitte §6.7.3.1 der ISO/IEC 9899
- Dient zur Programmoptimierung durch den Compiler

Komplexe Typen in Python

- Es gibt in Python eine Reihe von vordefinierten Typen, die ähnliche (und weitere) Fähigkeiten wie die besprochenen abgeleiteten C-Typen haben

> Merke:
>
> Da „Ableitung“ in der Objektorientierung etwas anderes bedeutet und die hier besprochenen Typen auch keine Ableitungsbeziehung im Sinne von C haben, wird nur der Begriff „komplexe Typen“ verwendet.

- Betrachten (kurz):
  - Strings (Zeichenketten)
  - Listen
  - Tupels
  - Mengen
  - Dictionaries

Python Strings

- **Strings** sind eine Zeichen-Sequenz fester Länge
- Genau genommen **kein** komplexer Typ
- String-Literale werden in einfache (`'`) oder doppelte (`"`) Anführungszeichen gesetzt[19]
- Ausnahmezeichen sind die gleichen wie in C-Literalen
  - Beginnt ein Literal mit einem `r` oder `R`, so werden Ausnahmezeichen nicht interpretiert ➡ **rohe Strings** (*raw strings*)
- Strings sind **unveränderlich** ➡ String-Operationen erzeugen also neue Strings

  (Auch wenn man es als Programmierer nicht unbedingt merkt)

[19] Es gibt für Spezialzwecke noch dreifache Quotes.

Python Listen

- Listen sind das, was den C-Arrays am nächsten kommt ➡ eine geordnete Sammlung anderer „Objekte“
  - **Unterschied**: Elemente in der Liste können **unterschiedliche** Typen besitzen
- Die Elemente einer Liste werden in in eckige Klammern geschrieben und durch Kommata getrennt
- **Indizierung**:
  - Klammeroperator wie in C, beginnend mit 0
  - Negative Indizes zählen von rechts (beginnend mit -1)

```
L=[]                                # empty list
L=[1,2,3,4]                         # list of numbers
L=['John','Paul','Georg','Ringo'] # list of string
L=[42,'a',3.14]                     # list of different types
```

- Listen sind veränderlich, wie der folgende Code demonstriert

```
# list1.py -- list examples

L=['John','Paul','Georg','Pete'] # list of string
print("list:",L)
print("first element:",L[0])
print("next to last element:",L[-2])
L[-1]='Ringo'
print("list:",L)
L.append('Brian')
print("list:",L)
```

```
list: ['John', 'Paul', 'Georg', 'Pete']
first element: John
next to last element: Georg
list: ['John', 'Paul', 'Georg', 'Ringo']
list: ['John', 'Paul', 'Georg', 'Ringo', 'Brian']
```

Python Tupels

- **Tupels** sind sehr ähnlich zu Listen
  - Unterschied: Tupels sind **unveränderlich**
- **Schreibweise**: Statt eckigen werden runde Klammern verwendet
  - Sonderfall: Einertuples werden mit abschließenden Komma geschrieben, um sie von „normalen“ Klammerausdrücken unterscheiden zu können

```
T1=()                 # empty tuple
T2=(0,)               # one element
T3=(1,'a',[42,'z'])   # mixed types
```

- Da Tupels unveränderlich sind, gibt es keine `append()` Funktion
- Allerdings können Tupels verkettet werden ➡ ein neuer Tupel entsteht

```
# tuple2.py -- concatenation
T=(1,2)
print("tuple:",T," with id:",id(T))
T=T+(3,4)
print("tuple:",T," with id:",id(T))
```

```
tuple: (1, 2) with id: 4299594352
tuple: (1, 2, 3, 4) with id: 4299405632
```

Mengen in Python

- Seit Python 2.6 gibt es **Mengentypen**
- Zwei Ausprägungen:
  - `set` ➡ veränderlich
  - `frozenset` ➡ unveränderlich, darf auch nur unveränderliche Elemente besitzen
- **Schreibweise:** Nach dem Wort[20] `set` oder `frozenset` folgt im Klammern eine Sequenz/-Menge
- Jedes Element wird der Menge nur **einmal** eingefügt
- Es wird keine Ordnung bewahrt

[20] „set“ ist **kein** Schlüsselwort, sondern ein Typname.

```
# set.py -- set types
s1 = set([1, 2, -9, 0, 10, 2])
s2 = frozenset("Python")
print("s1=",s1)
print("s2=",s2)
```

```
s1= set([0, 1, 2, 10, -9])
s2= frozenset(['h', 'o', 'n', 'P', 't', 'y'])
```

- Für Mengen sind verschiedene aus der Mengenlehre bekannte Operationen definiert, u.a.:
  - `len(s)`: gibt Mächtigkeit der Menge `s`
  - `s1 | s2`: Vereinigungsmenge von `s1` und `s2`
  - `s1 & s2`: Schnittmenge von `s1` und `s2`
  - `s1 - s2`: Differenzmenge von `s1` und `s2`
  - `s1 ^ s2`: Symmetrische Differenzmenge von `s1` und `s2`

```
s1=set("Python")
s2=set("Monty")
print("s1|s2=",s1|s2)
print("s1&s2=",s1&s2)
print("s1-s2=",s1-s2)
print("s1^s2=",s1^s2)
```

```
s1|s2= set(['h', 'M', 'o', 'n', 'P', 't', 'y'])
s1&s2= set(['y', 't', 'o', 'n'])
s1-s2= set(['h', 'P'])
s1^s2= set(['h', 'M', 'P'])
```

Python Dictionaries

- **Dictionaries** sind (ungeordnete) Mengen von Zweier-Tupeln[21].
  - Ungeordnet ➡ nicht über Index zugreifbar
- Das erste Element dient als **Schlüssel** (*key*), über die ein Tupel auffindbar ist

[21] Hier ist das mathematische „Tupel“ gemeint, nicht das Python-Tupel.

- Dictionaries sind **veränderlich**
- Die Nutzung ist aus folgendem Beispiel ersichtlich

```
# dictionary.py -- demonstrate dictionaries

mlength = {'jan': 31, 'feb': 28,
           'mar': 31, 'apr': 30,
           'may': 31, 'jun': 30,
           'jul': 31, 'aug': 31,
           'sep': 30, 'oct': 31,
           'nov': 30, 'dec': 31}

print("March has", mlength['mar'],"days")
print("February has", mlength['feb'],"days")

mlength['feb'] = 29  # leap  year
print("February has", mlength['feb'],"days")
```

Aufgaben

Aufgabe 3.1

Was ist der Unterschied zwischen den C-Ausdrücken `int (*x)[10];` und `int *x[10];`? Zeichen Sie eine Skizze zum jeweiligen Speicherlayout!

Aufgabe 3.2

Überlegen Sie, wie Sie die Funktionalität einer auf maximal 10 Elemente beschränkten Python-Liste mit einem C-Array realisieren können.

Berücksichtigen Sie, dass sich in der Liste Elemente unterschiedlicher Typen befinden können!

Aufgabe 3.3

Für eine Abbildung $\mathcal{A}$ gilt:

$8809 \mapsto 6$	$7111 \mapsto 0$	$2172 \mapsto 0$	$6666 \mapsto 4$
$1111 \mapsto 0$	$3213 \mapsto 0$	$7662 \mapsto 2$	$9312 \mapsto 1$
$0000 \mapsto 4$	$2222 \mapsto 0$	$3333 \mapsto 0$	$5555 \mapsto 0$
$8193 \mapsto 3$	$8096 \mapsto 5$	$7777 \mapsto 0$	$9999 \mapsto 4$
$7746 \mapsto 2$	$6855 \mapsto 3$	$9881 \mapsto 5$	$5531 \mapsto 0$

Welchen Wert hat x in $2581 \mapsto x$?