D Einführung in die Programmiersprache C

D.1 C vs. Java

- Java: objektorientierte Sprache
  - ➤ zentrale Frage: aus welchen Dingen besteht das Problem
  - ➤ Gliederung der Problemlösung in Klassen und Objekte
  - ➤ Hierarchiebildung: Vererbung auf Klassen, Teil-Ganze-Beziehungen
  - ➤ Ablauf: Interaktion zwischen Objekten
- C: imperative / prozedurale Sprache
  - ➤ zentrale Frage: welche Aktivitäten sind zur Lösung des Problems auszuführen
  - ➤ Gliederung der Problemlösung in Funktionen
  - ➤ Hierarchiebildung: Untergliederung einer Funktion in Teilfunktionen
  - ➤ Ablauf: Ausführung von Funktionen

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

D.1 C vs. Java

1 C hat nicht

- Klassen und Vererbung
- Objekte
- umfangreiche Klassenbibliotheken

2 C hat

- Zeiger und Zeigerarithmetik
- Präprozessor
- Funktionsbibliotheken

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

D.2 Sprachüberblick

1 Erstes Beispiel (C-Programm unter Linux)

- Die Datei **`hello.c`** enthält die folgenden Zeilen:

```
/* say "hello, world" */
int main()
{
    printf("hello, world\n"); return 0;
}
```

- Die Datei wird mit dem Kommando **`cc`** übersetzt:

```
% cc hello.c
```
(C-Compiler)

oder

```
% gcc hello.c
```
(GNU-C-Compiler)

dadurch entsteht eine Datei **`a.out`**, die das ausführbare Programm enthält.

➤ ausführbares Programm liegt in Form von Maschinencode des Zielprozessors vor (kein Byte- oder Zwischencode)!

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Erstes Beispiel (2)

- Mit der Option **`-o`** kann der Name der Ausgabedatei auch geändert werden – z. B.

```
% cc -o hello hello.c
```

- Das Programm wird durch Aufruf der Ausgabedatei ausgeführt:

```
% ./hello
hello, world
%
```

- Kommandos werden so in einem Fenster mit UNIX/Linux-Kommandointerpreter (Shell) eingegeben

➤ es gibt auch integrierte Entwicklungsumgebungen (z. B. Eclipse)

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Erstes Beispiel (C-Programm für AVR-Mikrocontroller)

- Die Datei **`red.c`** enthält die folgenden Zeilen:

```
/* switch red led on */
#include <led.h>
void main()
{
    sb_led_on(RED0); while(1);
}
```

- Die Datei wird mit dem Kommando **`avr-gcc`** übersetzt:

```
% avr-gcc -o red.elf -ffreestanding -mmcu=atmega32 ... red.c
```

  - ➤ im Gegensatz zur Übersetzung eines Programms für Linux muss hier
    – die Zielplattform angegeben werden *(Cross-Compilation)*
    – Angaben über Bibliotheken und include-Dateien angegeben werden (...)

- Vereinfachung über "Makefile"

```
% make -f /proj/i4spic/pub/debug.mk red.elf
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Erstes Beispiel (C-Programm für AVR-Mikrocontroller) (2)

- In der Datei **`red.elf`** liegt der ausführbare Programmcode für den Mikrocontroller vor

- dieser muss anschliessend auf den Mikrocontroller geladen werden
  - ➤ Mikrocontroller über USB-Schnittstelle an Entwicklungs-PC anschließen
  - ➤ Programm zum Übertragen des Codes (*Flashen*) starten

```
% make -f /proj/i4spic/pub/debug.mk red.elf.flash
```

- Weitere Details in den Übungen!

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3 Aufbau eines C-Programms

- frei formulierbar **- *Zwischenräume*** *(Leerstellen, Tabulatoren, Newline und Kommentare*) werden i. a. ignoriert - sind aber zur eindeutigen Trennung direkt benachbarter Worte erforderlich
- ***Kommentar*** wird durch `/*` und `*/` geklammert
  keine Schachtelung möglich
- ***Identifier*** (Variablennamen, Marken, Funktionsnamen, ...) sind aus Buchstaben, gefolgt von Ziffern oder Buchstaben aufgebaut
  - "_" gilt hierbei auch als Buchstabe
  - Schlüsselwörter wie **`if`**, **`else`**, **`while`**, usw. können nicht als *Identifier* verwendet werden
  - ***Identifier*** müssen vor ihrer ersten Verwendung ***deklariert*** werden
- Anweisungen werden generell durch `;` abgeschlossen

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4 Allgemeine Form eines C-Programms:

```
/* globale Variablen */
     ...

/* Hauptprogramm */
main(...)
{
     /* lokale Variablen */
          ...
     /* Anweisungen */
          ...
}

/* Unterprogramm 1 */
function1(...)
{
     /* lokale Variablen */
          ...
     /* Anweisungen */
          ...
}

/* Unterprogramm n */
functionN(...)
{
     /* lokale Variablen */
          ...
     /* Anweisungen */
          ...
}
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 wie ein C-Programm nicht aussehen sollte:

```
#define o define
#o ___o write
#o ooo (unsigned)
#o o_o_ 1
#o _o_ char
#o _oo goto
#o _oo_ read
#o o_o for
#o o_ main
#o o__ if
#o oo_ 0
#o _o(_,__,___)(void)___o(_,__,ooo(___))
#o __o(o_o_<<((o_o_<<(o_o_<<o_o_))+(o_o_<<o_o_)))
+(o_o_<<(o_o_<<(o_o_<<o_o_)))
o_(){_o_ _=oo_,__,___,____[__o];_oo _______;______:___=__o-o_
_______:
_o(o_o_,____,__=(_-o_o_<___?_-
o_o_:___));o_o(;__;_o(o_o_,"\b",o_o_),__--);
_o(o_o_," ",o_o_);o__(--___)_oo
_______;_o(o_o_,"\n",o_o_);______:o__(_=_oo_(
oo_,____,__o))_oo _____;}
```

sieht eher wie Morse-Code aus, ist aber ein **gültiges** C-Programm.

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

D.3 Datentypen

- Datentypen
  - ➤ Konstanten
  - ➤ Variablen

→

- ◆ Ganze Zahlen
- ◆ Fließkommazahlen
- ◆ Zeichen
- ◆ Zeichenketten

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Was ist ein Datentyp?

- Menge von Werten
  +
  Menge von Operationen auf den Werten
  - **Konstanten** Darstellung für einen konkreten Wert (`2`, `3.14`, `'a'`)
  - **Variablen** Namen für Speicherplätze, die einen Wert aufnehmen können

  ➥ Konstanten und Variablen besitzen einen Typ

- Datentypen legen fest:
  - Repräsentation der Werte im Rechner
  - Größe des Speicherplatzes für Variablen
  - erlaubte Operationen

- Festlegung des Datentyps
  - implizit durch Verwendung und Schreibweise (Zahlen, Zeichen)
  - explizit durch **Deklaration** (Variablen)

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Standardtypen in C

- Eine Reihe häufig benötigter Datentypen ist in C vordefiniert

`char`	Zeichen (im ASCII-Code dargestellt, 8 Bit)
`int`	ganze Zahl (16 oder 32 Bit)
`float`	Gleitkommazahl (32 Bit) etwa auf 6 Stellen genau
`double`	doppelt genaue Gleitkommazahl (64 Bit) etwa auf 12 Stellen genau
`void`	ohne Wert

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Standardtypen in C (2)

- Die Bedeutung der Basistypen kann durch vorangestellte ***Typ-Modifier*** verändert werden

`short`, **`long`**

legt für den Datentyp **`int`** die Darstellungsbreite (i. a. 16 oder 32 Bit) fest.
Das Schlüsselwort **`int`** kann auch weggelassen werden

`long double`

`double`-Wert mit erweiterter Genauigkeit (je nach Implementierung) – mindestens so genau wie **`double`**

`signed`, **`unsigned`**

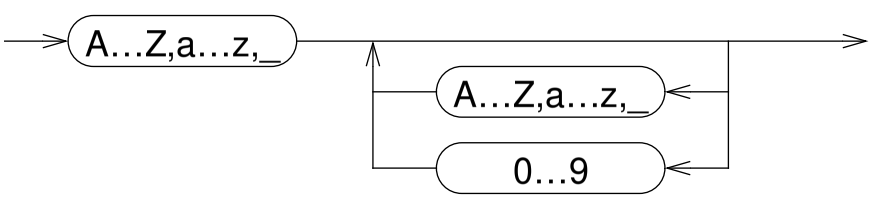
legt für die Datentypen **`char`**, **`short`**, **`long`** und **`int`** fest, ob das erste Bit als Vorzeichenbit interpretiert wird oder nicht

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3 Variablen

- Variablen haben:
  - **Namen** (Bezeichner)
  - Typ
  - zugeordneten Speicherbereich für einen Wert des Typs
    Inhalt des Speichers (= **aktueller Wert** der Variablen) ist veränderbar!
  - **Lebensdauer**
    wann wird der Speicherplatz angelegt und wann freigegeben

- Bezeichner

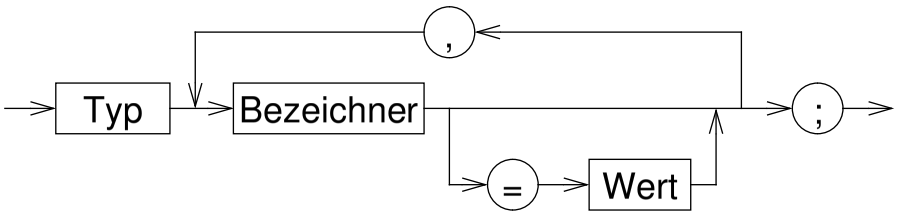


(Buchstabe oder _ ,
evtl. gefolgt von beliebig vielen Buchstaben, Ziffern oder _)

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3 Variablen (2)

- Typ und Bezeichner werden durch eine **Variablen-Deklaration** festgelegt (= dem Compiler bekannt gemacht)
  - ◆ reine Deklarationen werden erst in einem späteren Kapitel benötigt
  - ◆ vorerst beschränken wir uns auf Deklarationen in **Variablen-Definitionen**
- eine **Variablen-Definition** deklariert eine Variable und reserviert den benötigten Speicherbereich



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3 Variablen (3)

- Variablen-Definition: Beispiele

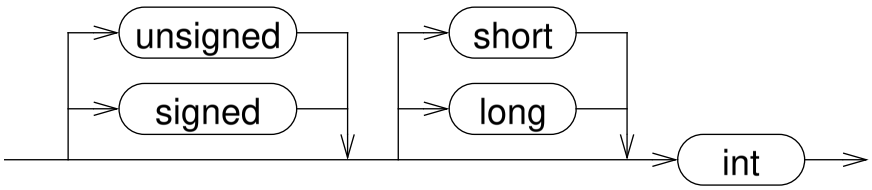
```
int a1;
float a, b, c, dis;
int anzahl_zeilen=5;
char Trennzeichen;
```

  - ◆ Position im Programm:
    - ➤ nach jeder "{"
    - ➤ außerhalb von Funktionen
    - ➤ neuere C-Standards und der GNU-C-Compiler erlauben Definitionen an beliebiger Stelle im Programmcode: Variable ab der Stelle gültig
- Wert kann bei der Definition initialisiert werden
- Wert ist durch Wertzuweisung und spezielle Operatoren veränderbar
- Lebensdauer ergibt sich aus der Programmstruktur

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4 Ganze Zahlen

- Definition



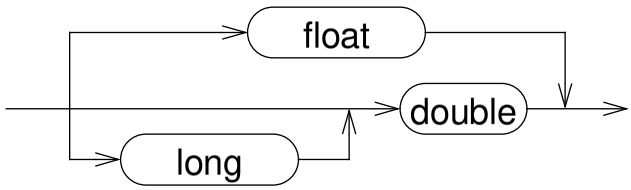
- Speicherbedarf(**`short int`**) ≤ Speicherbedarf(**`int`**) ≤ Speicherbedarf(**`long int`**)
- Speicherbedarf(**`int`**): meist 32 Bit
- Konstanten (Beispiele):

```
42, -117
035          (oktal = 29_10)
0x10         (hexadezimal = 16_10)
0x1d         (hexadezimal = 29_10)
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 Fließkommazahlen

- Definition



- Speicherbedarf(**`float`**) ≤ Speicherbedarf(**`double`**) ≤ Speicherbedarf(**`long double`**)
- Speicherbedarf(**`float`**): 32 Bit
- Konstanten (Beispiele):
  - normale Dezimalpunkt-Schreibweise

    `3.14`, **`-2.718`**, **`368.345`**, **`0.003`**

    `1.0` aber nicht einfach **`1`** (wäre eine **`int`**-Konstante!)
  - 10er-Potenz Schreibweise ($368.345 = 3.68345 \cdot 10^2$, $0.003 = 3.0 \cdot 10^{-3}$)

    `3.68345e2`, **`3.0e-3`**

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6 Zeichen

- Bezeichnung: **`char`**
- Speicherbedarf: 1 Byte
- Repräsentation: ASCII-Code
  zählt damit zu den ganzen Zahlen
- Konstanten: Zeichen durch `' '` geklammert
  - Beispiele: **`'a', 'X'`**
  - Sonderzeichen werden durch **Escape-Sequenzen** beschrieben

Tabulator:	**`'\t'`**	Backslash:	**`'\\'`**
Zeilentrenner:	**`'\n'`**	Backspace:	**`'\b'`**
Apostroph:	**`'\''`**		

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6 Zeichen (2)

American Standard Code for Information Interchange (ASCII)

NUL 00	**SOH** 01	**STX** 02	**ETX** 03	**EOT** 04	**ENQ** 05	**ACK** 06	**BEL** 07
BS 08	**HT** 09	**NL** 0A	**VT** 0B	**NP** 0C	**CR** 0D	**SO** 0E	**SI** 0F
DLE 10	**DC1** 11	**DC2** 12	**DC3** 13	**DC4** 14	**NAK** 15	**SYN** 16	**ETB** 17
CAN 18	**EM** 19	**SUB** 1A	**ESC** 1B	**FS** 1C	**GS** 1D	**RS** 1E	**US** 1F
SP 20	**!** 21	**"** 22	**#** 23	**$** 24	**%** 25	**&** 26	**'** 27
(28	**)** 29	***** 2A	**+** 2B	**,** 2C	**-** 2D	**.** 2E	**/** 2F
0 30	**1** 31	**2** 32	**3** 33	**4** 34	**5** 35	**6** 36	**7** 37
8 38	**9** 39	**:** 3A	**;** 3B	**<** 3C	**=** 3D	**>** 3E	**?** 3F
@ 40	**A** 41	**B** 42	**C** 43	**D** 44	**E** 45	**F** 46	**G** 47
H 48	**I** 49	**J** 4A	**K** 3B	**L** 3C	**M** 3D	**N** 3E	**O** 3F
P 50	**Q** 51	**R** 52	**S** 53	**T** 54	**U** 55	**V** 56	**W** 57
X 58	**Y** 59	**Z** 5A	**[** 5B	**** 5C	**]** 5D	**^** 5E	**_** 5F
` 60	**a** 61	**b** 62	**c** 63	**d** 64	**e** 65	**f** 66	**g** 67
h 68	**i** 69	**j** 6A	**k** 6B	**l** 6C	**m** 6D	**n** 6E	**o** 6F
p 70	**q** 71	**r** 72	**s** 73	**t** 74	**u** 75	**v** 76	**w** 77
x 78	**y** 79	**z** 7A	**{** 7B	**|** 7C	**}** 7D	**~** 7E	**DEL** 7F

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

7 Zeichenketten (Strings)

- Bezeichnung: **`char *`**
- Speicherbedarf: (Länge + 1) Bytes
- Repräsentation: Folge von Einzelzeichen,
  letztes Zeichen: 0-Byte (ASCII-Wert 0)
- Werte: alle endlichen Folgen von **`char`**-Werten
- Konstanten: Zeichenkette durch `" "` geklammert
  - Beispiel: **`"Dies ist eine Zeichenkette"`**
  - Sonderzeichen wie bei char, `"` wird durch `\"` dargestellt
- Beispiel für eine Definition einer Zeichenkette:

```
char *Mitteilung = "Dies ist eine Mitteilung\n";
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

D.4 Ausdrücke

- Ausdruck = gültige Kombination von
  Operatoren, **Konstanten** und **Variablen**
- Reihenfolge der Auswertung
  - Die Vorrangregeln für Operatoren legen die Reihenfolge fest, in der Ausdrücke abgearbeitet werden
  - Geben die Vorrangregeln keine eindeutige Aussage, ist die Reihenfolge undefiniert
  - Mit Klammern `( )` können die Vorrangregeln überstimmt werden
  - Es bleibt dem Compiler freigestellt, Teilausdrücke in möglichst effizienter Folge auszuwerten

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

D.5 Operatoren

1 Zuweisungsoperator =

➥ Zuweisung eines Werts an eine Variable

■ Beispiel:

```
int a;
a = 20;
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Arithmetische Operatoren

➥ für alle `int` und `float` Werte erlaubt

`+`	Addition
`-`	Subtraktion
`*`	Mulitiplikation
`/`	Division
`%`	Rest bei Division, (modulo)
unäres `-`	negatives Vorzeichen (z. B. `-3`)
unäres `+`	positives Vorzeichen (z. B. `+3`)

■ Beispiel:

```
a = -5 + 7 * 20 - 8;
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3 spezielle Zuweisungsoperatoren

➥ Verkürzte Schreibweise für Operationen auf einer Variablen

a *op*= b ≡ a = a *op* b
mit ***op*** ∈ { **+, –, *, /, %, <<, >>, &, ^, |** }

- Beispiele:

```
a = -8;
a += 24;                /* -> a: 16 */
a /= 2;                 /* -> a: 8 */
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4 Vergleichsoperatoren

`<`	kleiner
`<=`	kleiner gleich
`>`	größer
`>=`	größer gleich
`==`	gleich
`!=`	ungleich

- **Beachte!** Ergebnistyp `int`: wahr (true) = 1, falsch (false) = 0

- Beispiele:

```
a > 3
a <= 5
a == 0
if ( a >= 3 ) { …
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 Logische Operatoren

➥ Verknüpfung von Wahrheitswerten (wahr / falsch)

"nicht"

!	
f	w
w	f

"und"

&&	f	w
f	f	f
w	f	w

"oder"

||	f	w
f	f	w
w	w	w

◆ Wahrheitswerte (Boole'sche Werte) werden in C generell durch int-Werte dargestellt:

➤ Operanden in einem Ausdruck: Operand = 0: falsch
Operand ≠ 0: wahr

➤ Ergebnis eines Ausdrucks: falsch: 0
wahr: 1

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 Logische Operatoren (2)

■ Beispiel:

```
a = 5; b = 3; c = 7;
a > b && a > c
```

1 *und* 0 → 0

■ Die Bewertung solcher Ausdrücke wird abgebrochen, sobald das Ergebnis feststeht!

```
(a > c) && ((d=a) > b)
```

(a > c) → 0

((d=a) > b) wird nicht ausgewertet

Gesamtergebnis=*falsch* → (d=a) wird nicht ausgeführt

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6 Bitweise logische Operatoren

- Operation auf jedem Bit einzeln (Bit 1 = wahr, Bit 0 = falsch)

"nicht"	~
"und"	&
"oder"	|

Antivalenz "exklusives oder"

^	f	w
f	f	w
w	w	f

- Beispiele:

x	1	0	0	1	1	1	0	0
~x	0	1	1	0	0	0	1	1
7	0	0	0	0	0	1	1	1
x | 7	1	0	0	1	1	1	1	1
x & 7	0	0	0	0	0	1	0	0
x ^ 7	1	0	0	1	1	0	1	1

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

7 Logische Shiftoperatoren

- Bits werden im Wort verschoben

<<	Links-Shift
>>	Rechts-Shift

- Beispiel:

x	1	0	0	1	1	1	0	0
x << 2	0	1	1	1	0	0	0	0

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

7 Inkrement / Dekrement Operatoren

`++`	inkrement
`--`	dekrement

- **linksseitiger Operator:** `++x` bzw. `--x`
  - ➤ es wird der Inhalt von `x` inkrementiert bzw. dekrementiert
  - ➤ das Resultat wird als Ergebnis geliefert
- **rechtsseitiger Operator:** `x++` bzw. `x--`
  - ➤ es wird der Inhalt von `x` als Ergebnis geliefert
  - ➤ anschließend wird `x` inkrementiert bzw. dekrementiert.
- Beispiele:

```
a = 10;
b = a++;        /* -> b: 10 und a: 11 */
c = ++a;        /* -> c: 12 und a: 12 */
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

8 Bedingte Bewertung

A ? B : C

➥ der Operator dient zur Formulierung von Bedingungen in Ausdrücken

- zuerst wird Ausdruck **A** bewertet
- ist **A ungleich 0**, so hat der gesamte Ausdruck als Wert den Wert des Ausdrucks **B**,
- sonst den Wert des Ausdrucks **C**
- Beispiel:

```
c = a>b ? a : b;                /* z = max(a,b) */
```

besser:

```
c = (a>b) ? a : b;
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

9 Komma-Operator

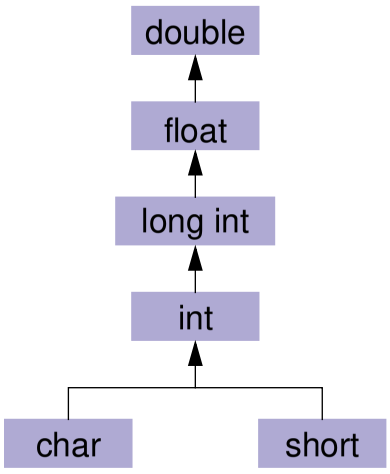
,

- der Komma-Operator erlaubt die Aneinanderreihung mehrerer Ausdrücke
- ein so gebildeter Ausdruck hat als Wert den Wert des letzten Teil-Ausdrucks

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

10 Typumwandlung in Ausdrücken

- Enthält ein Ausdruck Operanden unterschiedlichen Typs, erfolgt eine automatische Umwandlung in den Typ des in der **Hierarchie der Typen** am höchsten stehenden Operanden. (*Arithmetische Umwandlungen)*



Hierarchie der Typen (Auszug)

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

11 Vorrangregeln bei Operatoren

Operatorklasse	Operatoren	Assoziativität
unär	**! ~ ++ -- + –**	von rechts nach links
multiplikativ	*** / %**	von links nach rechts
additiv	**+ -**	von links nach rechts
shift	**<< >>**	von links nach rechts
relational	**< <= > >=**	von links nach rechts
Gleichheit	**== !=**	von links nach rechts
bitweise	**&**	von links nach rechts
bitweise	**^**	von links nach rechts
bitweise	**|**	von links nach rechts
logisch	**&&**	von links nach rechts
logisch	**||**	von links nach rechts
Bedingte Bewertung	**?:**	von rechts nach links
Zuweisung	**= op=**	von rechts nach links
Reihung	**,**	von links nach rechts

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

D.6 Einfacher Programmaufbau

- Struktur eines C-Hauptprogramms
- Anweisungen und Blöcke
- Einfache Ein-/Ausgabe
- C-Präprozessor

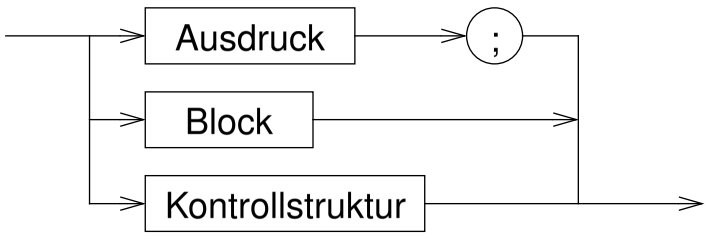
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Struktur eines C-Hauptprogramms

```
main()
{
    Variablendefinitionen
    Anweisungen
}
```

2 Anweisungen

Anweisung:



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3 Blöcke

- Zusammenfassung mehrerer Anweisungen
- Lokale Variablendefinitionen → Hilfsvariablen
- Schaffung neuer Sichtbarkeitsbereiche (***Scopes***) für Variablen
  - bei Namensgleichheit ist immer die Variable des innersten Blocks sichtbar

```
main()
{
    int x, y, z;
    x = 1;
    {
        int a, b, c;
        a = x+1;
        {
            int a, x;
            x = 2;
            a = 3;
        }
        /* a: 2, x: 1 */
    }
}
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4 Einfache Ein-/Ausgabe

- Jeder Prozess (jedes laufende Programm) bekommt unter Linux von der Shell als Voreinstellung drei Ein-/Ausgabekanäle:

  stdin als Standardeingabe

  stdout als Standardausgabe

  stderr Fehlerausgabe

- Die Kanäle **stdin**, **stdout** und **stderr** sind in UNIX auf der Kommandozeile umlenkbar:

```
% prog < EingabeDatei > AusgabeDatei
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4 Einfache Ein-/Ausgabe (2)

- Für die Sprache C existieren folgende primitive Ein-/Ausgabefunktionen für die Kanäle **stdin** und **stdout**:

  getchar zeichenweise Eingabe

  putchar zeichenweise Ausgabe

  scanf formatierte Eingabe

  printf formatierte Ausgabe

- folgende Funktionen ermöglichen Ein-/Ausgabe auf beliebige Kanäle (z. B. auch **stderr**)

  getc, **putc**, **fscanf**, **fprintf**

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 Einzelzeichen E/A

- ***getchar( ), getc( )*** ein Zeichen lesen
  - Beispiel:

```
int c;
c = getchar();
```

```
int c;
c = getc(stdin);
```

- ***putchar( ), putc( )*** ein Zeichen schreiben
  - Beispiel:

```
char c = 'a';
putchar(c);
```

```
char c = 'a';
putc(c, stdout);
```

- Beispiel:

```
#include <stdio.h>

/*
 * kopiere Eingabe auf Ausgabe
 */
main()
{
    int c;
    while ( (c = getchar()) != EOF )
    {
        putchar(c);
    }
}
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6 Formatierte Ausgabe

- Aufruf: **`printf`** **`(`** *format*, *arg***`)`**
- ***printf*** konvertiert, formatiert und gibt die **Werte *(arg)*** unter der Kontrolle des Formatstrings ***format*** aus
  - die Anzahl der Werte (*arg*) ist abhängig vom Formatstring
- sowohl für ***format***, wie für ***arg*** sind Ausdrücke zulässig
- ***format*** ist vom Typ **Zeichenkette *(string)***
- ***arg*** muss dem durch das zugehörige **Formatelement** beschriebenen Typ entsprechen

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6 Formatierte Ausgabe (2)

- die Zeichenkette ***format*** ist aufgebaut aus:
  - ➥ **einfachem Ausgabetext**, der unverändert ausgegeben wird
  - ➥ **Formatelementen**, die Position und Konvertierung der zugeordneten ***Werte*** beschreiben

- Beispiele für **Formatelemente**:

Zeichenkette:	`%[-][min][.max]s`
Zeichen:	`%[+][-][n]c`
Ganze Zahl:	`%[+][-][n][l]d`
Gleitkommazahl:	`%[+][-][n][.n]f`

`[ ]` *bedeutet optional*

- Beispiel:

```
printf("a = %d, b = %d, a+b = %d", a, b, a+b);
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

7 C-Präprozessor — Kurzüberblick

- bevor eine C-Quelle dem C-Compiler übergeben wird, wird sie durch einen Makro-Präprozessor bearbeitet
- Anweisungen an den Präprozessor werden durch ein `#`-Zeichen am Anfang der Zeile gekennzeichnet
- die Syntax von Präprozessoranweisungen ist unabhängig vom Rest der Sprache
- Präprozessoranweisungen werden nicht durch `;` abgeschlossen!
- wichtigste Funktionen:

`#define`	Definition von Makros
`#include`	Einfügen von anderen Dateien

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

8 C-Präprozessor — Makrodefinitionen

- Makros ermöglichen einfache textuelle Ersetzungen (parametrierbare Makros werden später behandelt)
- ein Makro wird durch die `#define`–Anweisung definiert
- Syntax:

```
#define Makroname Ersatztext
```

- eine Makrodefinition bewirkt, dass der Präprozessor im nachfolgenden Text der C-Quelle alle Vorkommen von ***Makroname*** durch ***Ersatztext*** ersetzt
- Beispiel:

```
#define EOF -1
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

9 C-Präprozessor — Einfügen von Dateien

- `#include` fügt den Inhalt einer anderen Datei in eine C-Quelldatei ein
- Syntax:

```
#include < Dateiname >
oder
#include "Dateiname "
```

- mit `#include` werden *Header*-Dateien mit Daten, die für mehrere Quelldateien benötigt werden einkopiert
  - ➤ Deklaration von Funktionen, Strukturen, externen Variablen
  - ➤ Definition von Makros
- wird **Dateiname** durch `< >` geklammert, wird eine **Standard-Header-Datei** einkopiert
- wird **Dateiname** durch `" "` geklammert, wird eine Header-Datei des Benutzers einkopiert (vereinfacht dargestellt!)

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

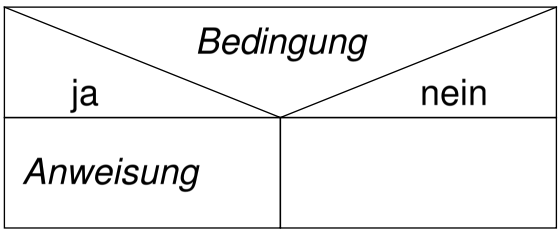
D.7 Kontrollstrukturen

Kontrolle des Programmablaufs in Abhängigkeit von dem Ergebnis von Ausdrücken

- Bedingte Anweisung
  - einfache Verzweigung
  - mehrfache Verzweigung
- Fallunterscheidung
- Schleifen
  - abweisende Schleife
  - nicht abweisende Schleife
  - Laufanweisung
  - Schleifensteuerung

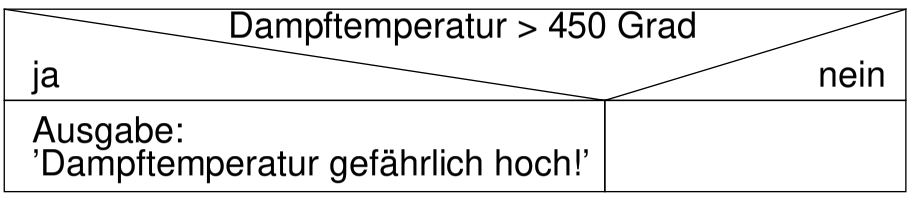
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Bedingte Anweisung




```
if ( Bedingung )
    Anweisung
```

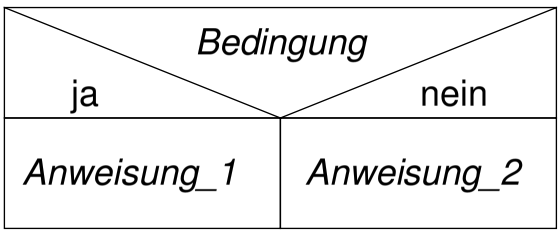
- Beispiel:




```
if (temp >= 450.0)
  printf("Dampftemperatur gefaehrlich hoch!\n");
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

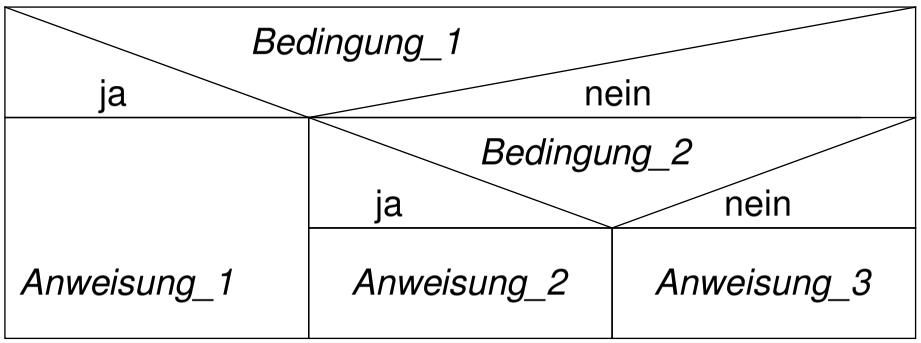
1 Bedingte Anweisung einfache Verzweigung




```
if ( Bedingung )
    Anweisung_1
else
    Anweisung_2
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Bedingte Anweisung mehrfache Verzweigung

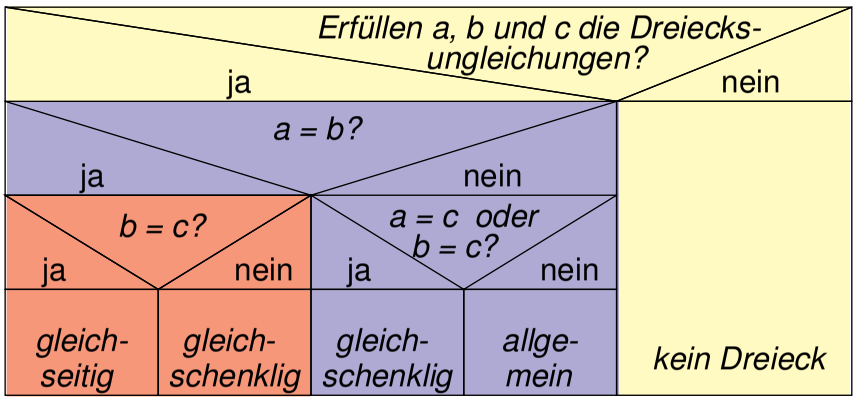



```
if ( Bedingung )
    Anweisung_1
else if ( Bedingung_2 )
    Anweisung_2
else
    Anweisung_3
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Bedingte Anweisung mehrfache Verzweigung (2)

- Beispiel: Eigenschaften von Dreiecken — Struktogramm



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Bedingte Anweisung mehrfache Verzweigung (3)

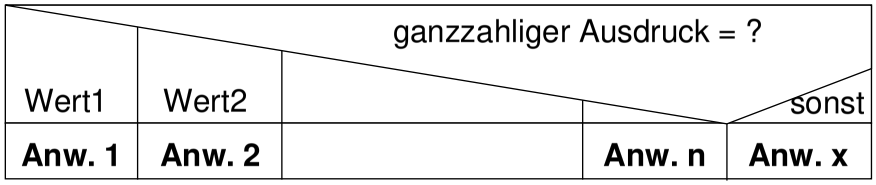
- Beispiel: Eigenschaften von Dreiecken — Programm

```
printf("Die Seitenlaengen %f, %f und %f bilden ", a, b, c);

if ( a < b+c && b < a+c && c < a+b )
    if ( a == b )
        if ( b == c )
            printf("ein gleichseitiges");
        else
            printf("ein gleichschenkliges");
    else
        if ( a==c || b == c )
            printf("ein gleichschenkliges");
        else
            printf("ein allgemeines");
else
    printf("kein");
printf(" Dreieck");
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Fallunterscheidung

- Mehrfachverzweigung = Kaskade von if-Anweisungen
- verschiedene Fälle in Abhängigkeit von einem ganzzahligen Ausdruck




```
switch ( Ausdruck ) {
  case Wert_1:
         Anweisung_1
         break;
  case Wert_2:
         Anweisung_2
         break;
  . . .
  case Wert_n:
         Anweisung_n
         break;
  default:
         Anweisung_x
}
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Fallunterscheidung — Beispiel

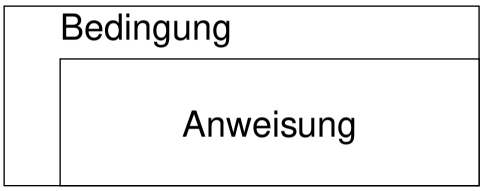
```
#include <stdio.h>

int main()
{
  int zeichen;
  int  i;
  int ziffern, leer, sonstige;

  ziffern = leer = sonstige = 0;

  while ((zeichen = getchar()) != EOF)
    switch (zeichen) {
      case '0':
      case '1':
      case '2':
      case '3':
      case '4':
      case '5':
      case '6':
      case '7':
      case '8':
      case '9':         ziffern++;
                        break;
      case ' ':
      case '\n':
      case '\t':        leer++;
                        break;
      default:          sonstige++;
    }

  printf("Zahl der Ziffern = %d\n", ziffern);
  printf("Zahl der Leerzeichen = %d\n", leer);
  printf("Zahl sonstiger Zeichen = %d\n", sonstige);
}
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

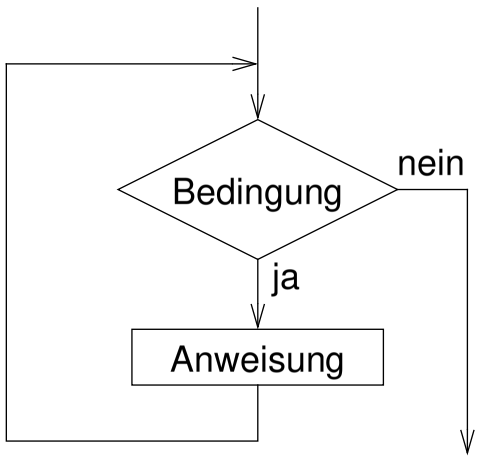
3 Schleifen

- Wiederholte Ausführung von Anweisungen in Abhängigkeit von dem Ergebnis eines Ausdrucks

4 abweisende Schleife



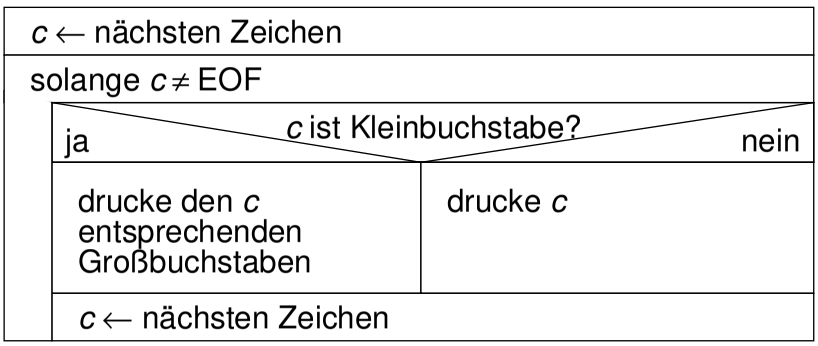

```
while ( Bedingung )
    Anweisung
```



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4 abweisende Schleife (2)

- Beispiel: Umwandlung von Klein- in Großbuchstaben



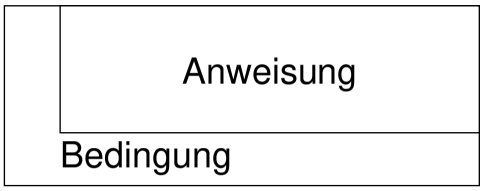

```
int c;
c = getchar();
while ( c != EOF ) {
    if ( c >= 'a' && c <= 'z' )
        putchar(c+'A'-'a');
    else
        putchar(c);
    c = getchar();
}
```

➤ abgekürzte Schreibweise

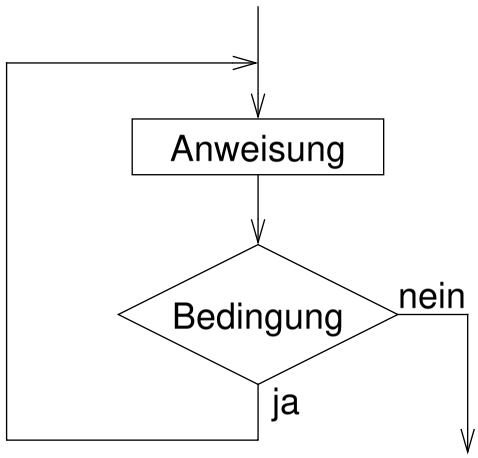
```
int c;
while ( (c = getchar()) != EOF )
    if ( c >= 'a' && c <= 'z' )
        putchar(c+'A'-'a');
    else
        putchar(c);
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 nicht-abweisende Schleife

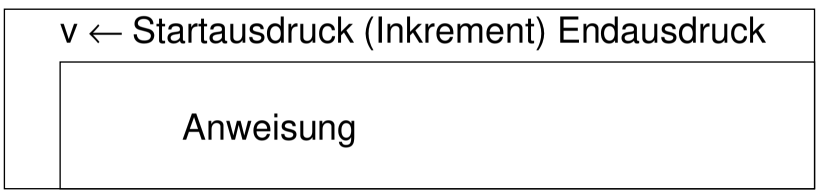



```
do
    Anweisung
while ( Bedingung )
```



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6 Laufanweisung




```
for (v = Startausdruck; v <= Endausdruck; v += Inkrement)
    Anweisung
```

allgemein:

```
for (Ausdruck_1; Ausdruck_2; Ausdruck_3)
    Anweisung
```

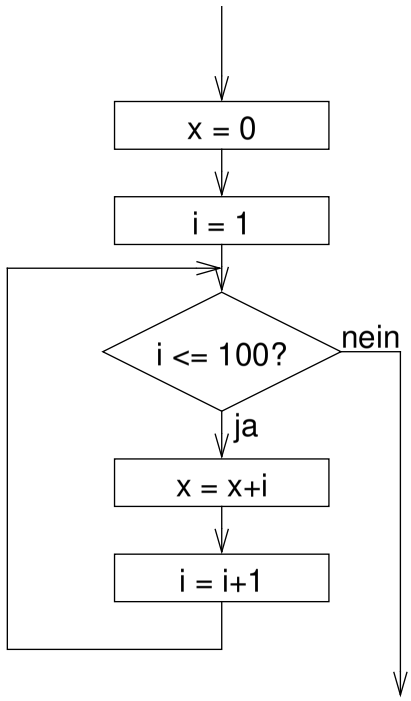
```
Ausdruck_1;
while (Ausdruck_2) {
    Anweisung
    Ausdruck_3;
}
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6 Laufanweisung (2)

- Beispiel: Berechne $x = \sum_{i=1}^{100} i$

$x \leftarrow 0$	
$i \leftarrow 1(1)100$	
	$x \leftarrow x + i$




```
x = 0;
for ( i=1; i<=100; i++)
    x += i;
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

7 Schleifensteuerung

- break
  - bricht die umgebende Schleife bzw. **`switch`**-Anweisung ab

```
char c;

do {
    if ( (c = getchar()) == EOF ) break;
    putchar(c);
}
while ( c != '\n' );
```

- continue
  - bricht den aktuellen **Schleifendurchlauf** ab
  - setzt das Programm mit der Ausführung des Schleifenkopfes fort

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

D.8 Funktionen

1 Überblick

- **Funktion** =
  Programmstück (Block), das mit einem **Namen** versehen ist und dem zum Ablauf **Parameter** übergeben werden können
- Funktionen sind die elementaren Bausteine für Programme
  - ➥ gliedern umfangreiche, schwer überblickbare Aufgaben in kleine Komponenten
  - ➥ erlauben die Wiederverwendung von Programmkomponenten
  - ➥ verbergen Implementierungsdetails vor anderen Programmteilen (**Black-Box**-Prinzip)

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 überblick (2)

- ➥ Funktionen dienen der Abstraktion
- Name und Parameter abstrahieren
  - ➤ vom tatsächlichen Programmstück
  - ➤ von der Darstellung und Verwendung von Daten
- Verwendung
  - ◆ mehrmals benötigte Programmstücke können durch Angabe des Funktionsnamens aufgerufen werden
  - ◆ Schrittweise Abstraktion
    (**Top-Down**- und **Bottom-Up**-Entwurf)

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Beispiel Sinusberechnung

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

double sinus (double x)
{
     double summe;
     double x_quadrat;
     double rest;
     int k;

     k = 0;
     summe = 0.0;
     rest = x;
     x_quadrat = x*x;

     while ( fabs(rest) > 1e-9 ) {
          summe += rest;
          k += 2;
          rest *= -x_quadrat/(k*(k+1));
     }
     return(summe);
}
```

```
int main()
{
     double wert;

     printf("Berechnung des Sinus von ");
     scanf("%lf", &wert);
     printf("sin(%lf) = %lf\n",
               wert, sinus(wert));
     return(0);
}
```

- beliebige Verwendung von **`sinus`** in Ausdrücken:

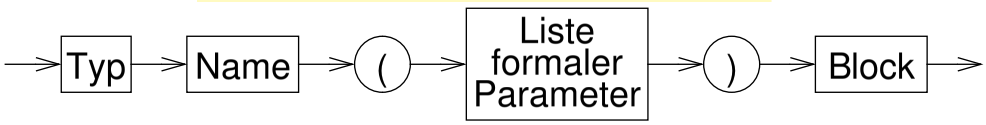
```
y = exp(tau*t) * sinus(f*t);
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3 Funktionsdefinition

- Schnittstelle (Typ, Name, Parameter) und die Implementierung
  - Beispiel:

```
int addition ( int a, int b ) {
        int ergebnis;
        ergebnis = a + b;
        return ergebnis;
}
```

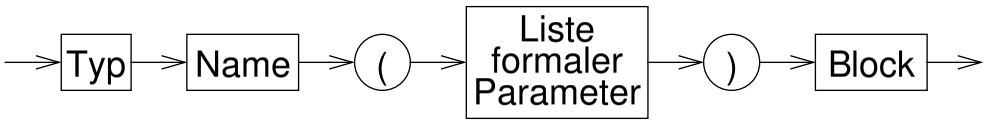


- **Typ**
  - Typ des Werts, der am Ende der Funktion als Wert zurückgegeben wird
  - beliebiger Typ
  - **`void`** = kein Rückgabewert

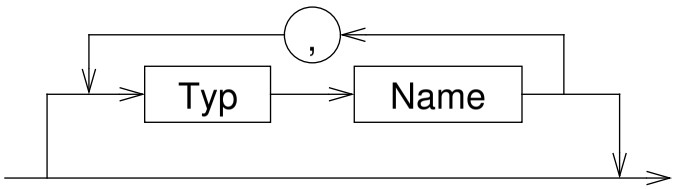
- **Name**
  - beliebiger Bezeichner, kein Schlüsselwort

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3 Funktionsdefinition (2)



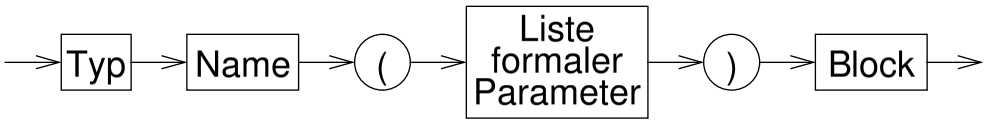
Liste formaler Parameter



- **Typ**: beliebiger Typ
- **Name**:
  beliebiger Bezeichner
- die formalen Parameter stehen innerhalb der Funktion für die Werte, die beim Aufruf an die Funktion übergeben wurden (= **aktuelle Parameter**)
- die formalen Parameter verhalten sich wie Variablen, die im **Funktionsrumpf** definiert sind und mit den aktuellen Parametern vorbelegt werden

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3 Funktionsdefinition (3)



Block

- beliebiger Block
- zusätzliche Anweisung

```
return ( Ausdruck );
```

oder

```
return;
```

bei `void`-Funktionen

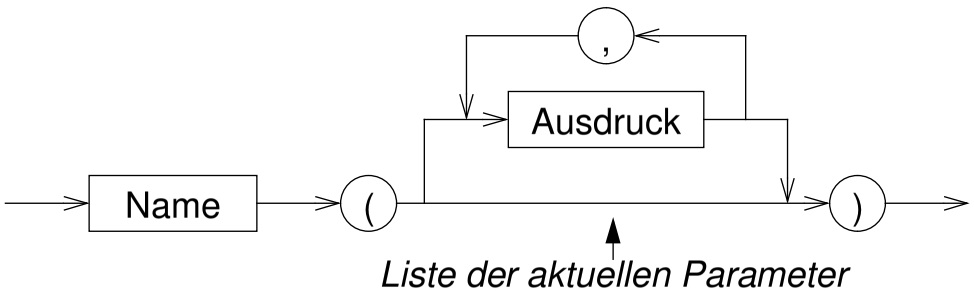
- ➤ Rückkehr aus der Funktion: das Programm wird nach dem Funktionsaufruf fortgesetzt
- ➤ der Typ des Ausdrucks muss mit dem Typ der Funktion übereinstimmen
- ➤ die Klammern können auch weggelassen werden

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4 Funktionsaufruf

- Aufruf einer Funktion aus dem Ablauf einer anderen Funktion
  - Beispiel:

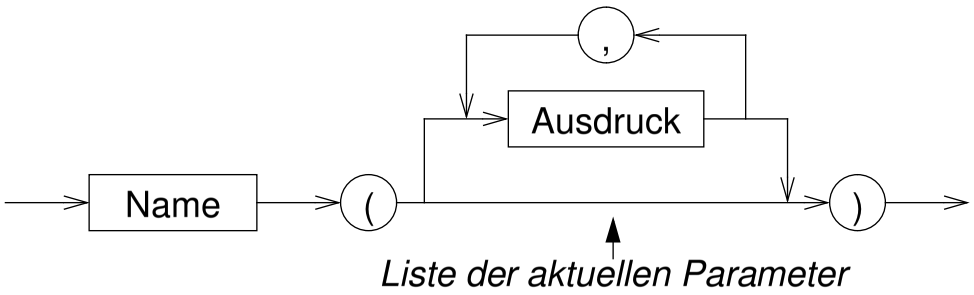
```
int main ( ) {
        int summe;
        summe = addition(3,4);
        ...
```



- Jeder Funktionsaufruf ist ein Ausdruck
- `void`-Funktionen können keine Teilausdrücke sein
  - wie Prozeduren in anderen Sprachen (z. B. Pascal)

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4 Funktionsaufruf (2)



- Die Ausdrücke in der Parameterliste werden ausgewertet, **bevor** in die Funktion gesprungen wird
  ➥ **aktuelle Parameter**
- Anzahl und Typen der Ausdrücke in der Liste der aktuellen Parameter müssen mit denen der formalen Parameter in der Funktionsdefinition übereinstimmen
- Die Auswertungsreihenfolge der Parameterausdrücke ist **nicht** festgelegt

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 Beispiel

```
float power (float b, int e)
{
    float prod = 1.0;
    int i;

    for (i=1; i <= e; i++)
        prod *= b;
    return(prod);
}
```

```
float x, y;

y = power(2+x,4)+3;
```

≡

```
float x, y, power;
{
  float b = 2+x;
  int e = 4;
  float prod = 1.0;
  int i;

  for (i=1; i <= e; i++)
    prod *= b;
  power = prod;
}
y=power+3;
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6 Regeln

- Funktionen werden global definiert
  - ➥ keine lokalen Funktionen/Prozeduren wie z. B. in Pascal
- `main()` ist eine normale Funktion, die aber automatisch als erste beim Programmstart aufgerufen wird
  - ➤ Ergebnis vom Typ int - wird an die Shell zurückgeliefert (in Kommandoprozeduren z. B. abfragbar)
- rekursive Funktionsaufrufe sind zulässig
  - ➥ eine Funktion darf sich selbst aufrufen (z. B. zur Fakultätsberechnung)

```
fakultaet(int n)
{
    if ( n == 1 )
        return(1);
    else
        return( n * fakultaet(n-1) );
}
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6 Regeln (2)

- Funktionen müssen **deklariert** sein, bevor sie aufgerufen werden
  - = Rückgabetyp und Parametertypen müssen dem Compiler bekannt sein
  - ◆ durch eine Funktionsdefinition ist die Funktion automatisch auch deklariert
- wurde eine verwendete Funktion vor ihrer Verwendung nicht deklariert, wird automatisch angenommen
  - ➤ Funktionswert vom Typ `int`
  - ➤ 1 Parameter vom Typ `int`
  - ➥ **schlechter Programmierstil → fehleranfällig**

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6 Regeln (2)

- Funktionsdeklaration
  - ◆ soll eine Funktion vor ihrer Definition verwendet werden, kann sie durch eine **Deklaration** bekannt gemacht werden
  - ◆ Syntax:

    Typ Name (Liste formaler Parameter);

    - ➤ Parameternamen können weggelassen werden, die Parametertypen müssen aber angegeben werden!
  - ◆ Beispiel:

```
double sinus(double);
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

7 Funktionsdeklarationen — Beispiel

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

double sinus(double);
/* oder: double sinus(double x); */

int main()
{
     double wert;

     printf("Berechnung des Sinus von ");
     scanf("%lf", &wert);
     printf("sin(%lf) = %lf\n",
          wert, sinus(wert));
     return(0);
}
```

```
double sinus (double x)
{
     double summe;
     double x_quadrat;
     double rest;
     int k;

     k = 0;
     summe = 0.0;
     rest = x;
     x_quadrat = x*x;

     while ( fabs(rest) > 1e-9 ) {
          summe += rest;
          k += 2;
          rest *= -x_quadrat/(k*(k+1));
     }
     return(summe);
}
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

8 Parameterübergabe an Funktionen

- allgemein in Programmiersprachen vor allem zwei Varianten:
  - ➤ call by value
  - ➤ call by reference

call by value

- Normalfall in C
- Es wird eine Kopie des aktuellen Parameters an die Funktion übergeben
  - ➥ die Funktion kann den Übergabeparameter durch Zugriff auf den formalen Parameter lesen
  - ➥ die Funktion kann den Wert des formalen Parameters (also die Kopie!) ändern, ohne dass dies Auswirkungen auf den Wert des aktuellen Parameters beim Aufrufer hat
  - ➥ die Funktion kann über einen Parameter dem Aufrufer keine Ergebnisse mitteilen

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

8 Parameterübergabe an Funktionen (2)

call by reference

- In C nur indirekt mit Hilfe von Zeigern realisierbar
- Der Übergabeparameter ist eine Variable und die aufgerufene Funktion erhält die Speicheradresse dieser Variablen
  - ➥ die Funktion kann den Übergabeparameter durch Zugriff auf den formalen Parameter lesen
  - ➥ wenn die Funktion den Wert des formalen Parameters verändert, ändert sie den Inhalt der Speicherzelle des aktuellen Parameters
  - ➥ auch der Wert der Variablen (aktueller Parameter) beim Aufrufer der Funktion ändert sich dadurch

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

D.9 Programmstruktur & Module

1 Softwaredesign

- Grundsätzliche Überlegungen über die Struktur eines Programms **vor** Beginn der Programmierung
- Verschiedene Design-Methoden
  - ◆ Top-down Entwurf / Prozedurale Programmierung
    - ➤ traditionelle Methode
    - ➤ bis Mitte der 80er Jahre fast ausschließlich verwendet
    - ➤ an Programmiersprachen wie Fortran, Cobol, Pascal oder C orientiert
  - ◆ Objekt-orientierter Entwurf
    - ➤ moderne, sehr aktuelle Methode
    - ➤ Ziel: Bewältigung sehr komplexer Probleme
    - ➤ auf Programmiersprachen wie C++, Smalltalk oder Java ausgerichtet

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

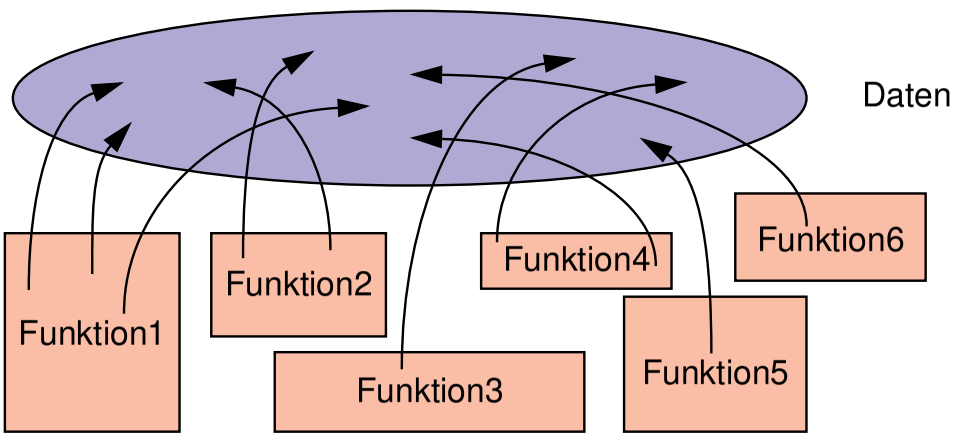
2 Top-down Entwurf

- Zentrale Fragestellung
  - ◆ was ist zu tun?
  - ◆ in welche Teilaufgaben lässt sich die Aufgabe untergliedern?
    - ➤ Beispiel: Rechnung für Kunden ausgeben
      - – Rechnungspositionen zusammenstellen
        - – Lieferungsposten einlesen
        - – Preis für Produkt ermitteln
        - – Mehrwertsteuer ermitteln
      - – Rechnungspositionen addieren
      - – Positionen formatiert ausdrucken

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Top-down Entwurf (2)

- Problem:
  Gliederung betrifft nur die Aktivitäten, nicht die Struktur der Daten
- Gefahr:
  Sehr viele Funktionen arbeiten "wild" auf einer Unmenge schlecht strukturierter Daten

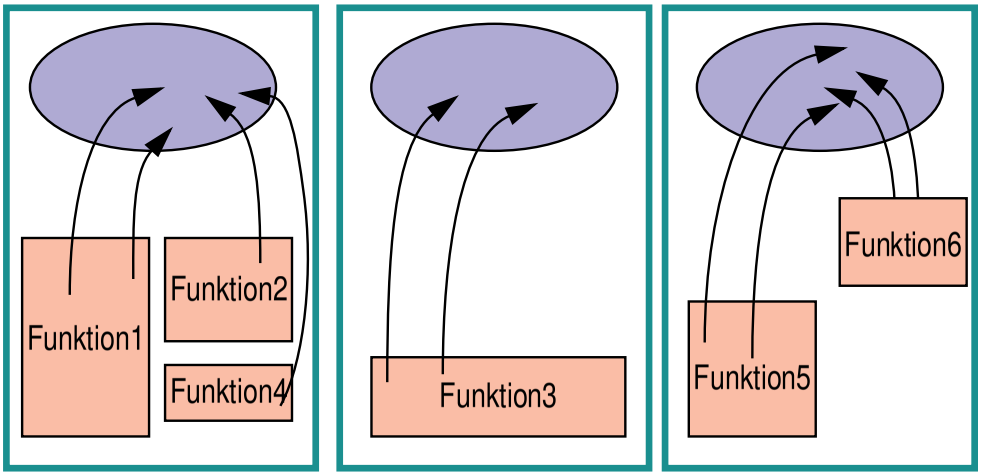


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Top-down Entwurf (3) Modul-Bildung

- Lösung:
  Gliederung von Datenbeständen zusammen mit Funktionen, die darauf operieren

  ➥ **Modul**



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3 Module in C

- Teile eines C-Programms können auf mehrere .c-Dateien (C-Quelldateien) verteilt werden
- Logisch zusammengehörende Daten und die darauf operierenden Funktionen sollten jeweils zusammengefasst werden

  ➥ Modul
- Jede C-Quelldatei kann separat übersetzt werden (Option **`-c`**)
  - ➤ Zwischenergebnis der Übersetzung wird in einer **`.o`**-Datei abgelegt

```
% cc -c main.c          (erzeugt Datei main.o)
% cc -c f1.c            (erzeugt Datei f1.o)
% cc -c f2.c f3.c       (erzeugt f2.o und f3.o)
```

- Das Kommando **`cc`** kann mehrere **`.c`**–Dateien übersetzen und das Ergebnis — zusammen mit **`.o`**–Dateien — binden:

```
% cc -o prog main.o f1.o f2.o f3.o f4.c f5.c
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3 Module in C

!!! `.c`–Quelldateien auf keinen Fall mit Hilfe der `#include`–Anweisung in andere Quelldateien einkopieren

- Bevor eine Funktion aus einem anderen Modul aufgerufen werden kann, muss sie **deklariert** werden
  - ➤ Parameter und Rückgabewerte müssen bekannt gemacht werden
- Makrodefinitionen und Deklarationen, die in mehreren Quelldateien eines Programms benötigt werden, werden zu ***Header*-Dateien** zusammengefasst
  - ◆ *Header*-Dateien werden mit der `#include`–Anweisung des Präprozessors in C-Quelldateien einkopiert
  - ◆ der Name einer *Header*-Datei endet immer auf `.h`

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4 Gültigkeit von Namen

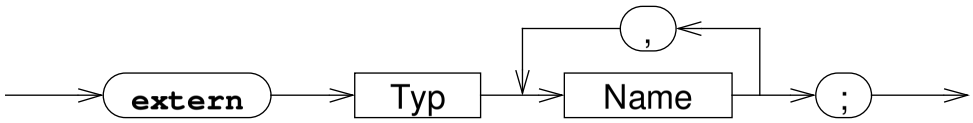
- Gültigkeitsregeln legen fest, welche Namen (Variablen und Funktionen) wo im Programm bekannt sind
- Mehrere Stufen
  1. Global im gesamten Programm (über Modul- und Funktionsgrenzen hinweg)
  2. Global in einem Modul (auch über Funktionsgrenzen hinweg)
  3. Lokal innerhalb einer Funktion
  4. Lokal innerhalb eines Blocks
- Überdeckung bei Namensgleichheit
  - ➤ eine lokale Variable innerhalb einer Funktion überdeckt gleichnamige globale Variablen
  - ➤ eine lokale Variable innerhalb eines Blocks überdeckt gleichnamige globale Variablen und gleichnamige lokale Varibalen in umgebenden Blöcken

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 Globale Variablen

Gültig im gesamten Programm

- Globale Variablen werden außerhalb von Funktionen definiert
- Globale Variablen sind ab der Definition in der gesamten Datei zugreifbar
- Globale Variablen, die in anderen Modulen **definiert** wurden, müssen vor dem ersten Zugriff bekanntgemacht werden
  (**`extern`–Deklaration** = Typ und Name bekanntmachen)



- Beispiele:

```
extern int a, b;
extern char c;
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 Globale Variablen (2)

- **Probleme mit globalen Variablen**
  - Zusammenhang zwischen Daten und darauf operierendem Programmcode geht verloren
  - Funktionen können Variablen ändern, ohne dass der Aufrufer dies erwartet (Seiteneffekte)
  - Programme sind schwer zu pflegen, weil bei Änderungen der Variablen erst alle Programmteile, die sie nutzen gesucht werden müssen

➥ **globale Variablen möglichst vermeiden!!!**

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 Globale Funktionen

- Funktionen sind generell global
  (es sei denn, die Erreichbarkeit wird explizit auf das Modul begrenzt)
- Funktionen aus anderen Modulen müssen ebenfalls vor dem ersten Aufruf **deklariert** werden
  (= Typ, Name und Parametertypen bekanntmachen)
- Das Schlüsselwort **`extern`** ist bei einer Funktionsdeklaration nicht notwendig
- Beispiele:

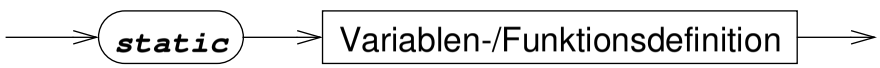
```
double sinus(double);
float power(float, int);
```

- Globale Funktionen (und soweit vorhanden die globalen Daten) bilden die äußere Schnittstelle eines Moduls
  - ➤ "vertragliche" Zusicherung an den Benutzer des Moduls

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6 Einschränkung der Gültigkeit auf ein Modul

- Zugriff auf eine globale Variable oder Funktion kann auf das Modul (= die Datei) beschränkt werden, in der sie definiert wurde
  - ➤ Schlüsselwort ***`static`*** vor die Definition setzen



  - ➤ **`extern`**-Deklarationen in anderen Modulen sind nicht möglich
- **`Die static`**-Variablen bilden zusammen den Zustand eines Moduls, die Funktionen des Moduls operieren auf diesem Zustand
- Hilfsfunktionen innerhalb eines Moduls, die nur von den Modulfunktionen benötigt werden, sollten immer *static* definiert werden
  - ➤ sie werden dadurch nicht Bestandteil der Modulschnittstelle
    (= des "Vertrags" mit den Modulbenutzern)

!!! das Schlüsselwort **`static`** gibt es auch bei lokalen Variablen
(mit anderer Bedeutung! - zur Unterschiedung ist das hier beschriebene *static* immer kursiv geschrieben)

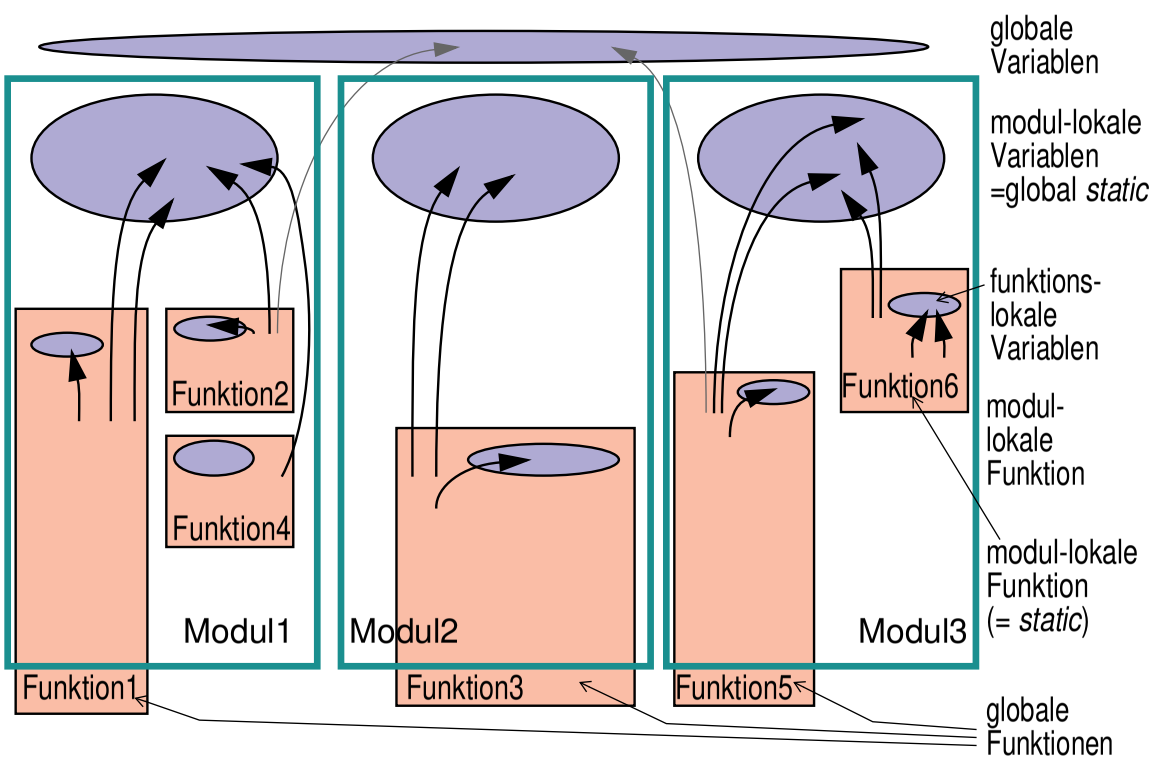
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

7 Lokale Variablen

- Variablen, die innerhalb einer Funktion oder eines Blocks definiert werden, sind lokale Variablen
- bei Namensgleichheit zu globalen Variablen oder lokalen Variablen eines umgebenden Blocks gilt die jeweils letzte Definition
- lokale Variablen sind außerhalb des Blocks, in dem sie definiert wurden, nicht zugreifbar und haben dort keinen Einfluss auf die Zugreifbarkeit von Variablen

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

8 Gültigkeitsbereiche — Übersicht



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

9 Lebensdauer von Variablen

- Die Lebensdauer einer Variablen bestimmt, wie lange der Speicherplatz für die Variable aufgehoben wird
- Zwei Arten
  - Speicherplatz bleibt für die gesamte Programmausführungszeit reserviert
    - ➤ statische (**`static`**) Variablen
  - Speicherplatz wird bei Betreten eines Blocks reserviert und danach wieder freigegeben
    - ➤ dynamische (**`automatic`**) Variablen

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

9 Lebensdauer von Variablen (2)

auto-Variablen

- Alle lokalen Variablen sind automatic-Variablen
  - ➤ der Speicher wird bei Betreten des Blocks / der Funktion reserviert und bei Verlassen wieder freigegeben
    - ➥ der Wert einer lokalen Variablen ist beim nächsten Betreten des Blocks nicht mehr sicher verfügbar!
- Lokale auto-Variablen können durch beliebige Ausdrücke initialisiert werden
  - ➤ die Initialisierung wird bei jedem Eintritt in den Block wiederholt
  - **!!! wird eine auto-Variable nicht initialisiert, ist ihr Wert vor der ersten Zuweisung undefiniert** (= irgendwas)

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

9 Lebensdauer von Variablen (2)

static-Variablen

- Der Speicher für alle globalen Variablen ist generell von Programmstart bis Programmende reserviert
- Lokale Variablen erhalten bei Definition mit dem Schlüsselwort **`static`** eine **Lebensdauer über die gesamte Programmausführung** hinweg
  - ➥ der Inhalt bleibt bei Verlassen des Blocks erhalten und ist bei einem erneuten Eintreten in den Block noch verfügbar
  - !!! Das Schlüsselwort ***`static`*** hat bei globalen Variablen eine völlig andere Bedeutung (Einschränkung des Zugriffs auf das Modul)
- Static-Variablen können durch beliebige konstante Ausdrücke initialisiert werden
  - ➤ die Initialisierung wird nur einmal beim Programmstart vorgenommen (auch bei lokalen Variablen!)
  - ➤ erfolgt keine explizite Initialisierung, wird automatisch mit 0 vorbelegt

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

10 Getrennte Übersetzung von Programmteilen — Beispiel

- Hauptprogramm (Datei **`fplot.c`**)

```
#include "trig.h"
#define INTERVALL 0.01

/*
 * Funktionswerte ausgeben
 */
int main(void)
{
        char c;
        double i;

        printf("Funktion (Sin, Cos, Tan, cOt)? ");
        scanf("%x", &c);

        switch (c) {
        ...
        case 'T':
          for (i=-PI/2; i < PI/2; i+=INTERVALL)
                printf("%lf %lf\n", i, tan(i));
          break;;
        ...
        }
}
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

10 Getrennte Übersetzung — Beispiel (2)

- *Header*-Datei (Datei **`trig.h`**)

```
#include <stdio.h>
#define PI 3.1415926535897932
double tan(double), cot(double);
double cos(double), sin(double);
```

- Trigonometrische Funktionen (Datei **`trigfunc.c`**)

```
#include "trig.h"

double tan(double x) {
        return(sin(x)/cos(x));
}

double cot(double x) {
        return(cos(x)/sin(x));
}

double cos(double x) {
        return(sin(PI/2-x));
}
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

10 Getrennte Übersetzung — Beispiel (3)

- Trigonometrische Funktionen — Fortsetzung (Datei **`trigfunc.c`**)

...

```
double sin (double x)
{
        double summe;
        double x_quadrat;
        double rest;
        int k;

        k = 0;
        summe = 0.0;
        rest = x;
        x_quadrat = x*x;

        while ( fabs(rest) > 1e-9 ) {
                summe += rest;
                k += 2;
                rest *= -x_quadrat/(k*(k+1));
        }
        return(summe);
}
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

D.10 Vom C-Quellcode zum laufenden Programm

1 Übersetzen - Objektmodule

- 1. Schritt: Präprozessor
  - entfernt Kommentare, wertet Präprozessoranweisungen aus
    - fügt include-Dateien ein
    - expandiert Makros
    - entfernt Makro-abhängige Code-Abschnitte (*conditional code*) Beispiel:

```
#define DEBUG
...
#ifdef DEBUG
    printf("Zwischenergebnis = %d\n", wert);
#endif DEBUG
```

  - Zwischenergebnis kann mit `cc -P datei.c` als `datei.i` erzeugt werden oder mit `cc -E datei.c` ausgegeben werden

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Übersetzen - Objektmodule (2)

- 2. Schritt: Compilieren
  - übersetzt C-Code in Assembler
  - Zwischenergebnis kann mit `cc -S datei.c` als `datei.s` erzeugt werden
- 3. Schritt: Assemblieren
  - assembliert Assembler-Code, erzeugt Maschinencode (Objekt-Datei)
  - standardisiertes Objekt-Dateifomat: ELF (Executable and Linking Format) (vereinfachte Darstellung) - in nicht-UNIX-Systemen andere Formate
    - Maschinencode
    - Informationen über Variablen mit Lebensdauer static (ggf. Initialisierungswerte)
    - Symboltabelle: wo stehen welche globale Variablen und Funktionen
    - Relokierungsinformation: wo werden welche "nicht gefundenen" globalen Variablen bzw. Funktionen referenziert
  - Zwischenergebnis kann mit `cc -c datei.c` als `datei.o` erzeugt werden

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Binden und Bibliotheken

- 4. Schritt: Binden
  - Programm `ld` : (*linker*), erzeugt ausführbare Datei (*executable file*)
    - ➤ ebenfalls ELF-Format (früher a.out-Format oder COFF)
  - Objekt-Dateien (.o-Dateien) werden zusammengebunden
    - ➤ noch nicht abgesättigte Referenzen auf globale Variablen und Funktionen in anderen Objekt-Dateien werden gebunden (Relokation)
  - nach fehlenden Funktionen wird in Bibliotheken gesucht
  - **statisch binden**
    - ➤ alle fehlenden Funktionen werden aus Bibliotheken genommen und in die ausführbare Datei einkopiert
- Ergebnis: ein ausführbares Programm

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3 Laden des ausführbaren Programms

- Windows oder Linux
  - Erzeugen einer Umgebung zur Ausführung des Programms:
    - ➥ Prozess
  - **dynamisch binden**
    - ➤ Funktionen, die von mehreren Programmen gemeinsam genutzt werden (*shared libraries, dll*), werden erst beim Start des Programms hinzugeladen
- Mikrocontroller
  - Übertragen des statisch gebundenen Programms in den Programmspeicher des Mikrocontrollers
    - ➥ Flashen

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.