

Einführung in die Programmierung

Wintersemester 2020/21

Kapitel 2: Darstellung von Information

M.Sc. Roman Kalkreuth

Lehrstuhl für Algorithm Engineering (LS11)

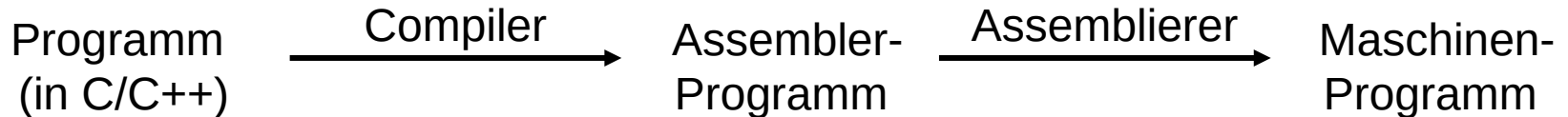
Fakultät für Informatik

Inhalt

- Einfache Datentypen
- Zahldarstellungen im Rechner
- Bezeichner
- Datendefinition, Zuweisung, Initialisierung
- Erste Programme
- Exkurs: Grammatiken
- Zusammengesetzte Datentypen
 - Feld (array)
 - Verbund (struct)
 - Aufzählung (enum)

Realisierung eines Programms

- Problemanalyse
- Spezifikation
- Algorithmenentwurf
- Formulierung eines Programms



- Ausführung erfolgt mit Hilfe des Laufzeitsystems

Notwendig für Programmierung:

- Ausschnitte der realen Welt müssen im Rechner abgebildet werden können.
- Dazu gehören Daten in vielerlei Form!
- Bestimmte Formen dieser Daten haben gemeinsame, typische Eigenschaften.
- Sie werden zusammengefasst zu sogenannten Datentypen.

Unterscheidung:

- **Einfache Datentypen**

sind elementar bzw. nicht auf andere Typen zurückführbar

Beispiel: positive ganze Zahlen

- **Zusammengesetzte Datentypen**

entstehen baukastenartig durch Zusammensetzen von einfachen Datentypen

Beispiel: ein Paar aus zwei positiven ganzen Zahlen

Wie werden Zahlen im Rechner dargestellt?

- Bit $\in \{ 0, 1 \}$
- 8 Bit = 1 Byte
- Speicher im Rechner = lineare Folge von Bytes bzw. Bits
- Duales Zahlensystem:
 - n Bits: $(b_{n-1} b_{n-2} \dots b_2 b_1 b_0)$ mit $b_k \in \{ 0, 1 \}$
 - 2^n mögliche Kombinationen (= verschiedene Zahlen)
 - Umwandlung in Dezimalzahl:

$$\sum_{k=0}^{n-1} b_k 2^k$$

Einfache Datentypen

- **Ganzzahlen ohne Vorzeichen (unsigned)**

Bits	Bytes	Wertevorrat	Name in C/C++
8	1	0 ... 255	unsigned char
16	2	0 ... 65 535	unsigned short int
32	4	0 ... 4 294 967 295	unsigned int
64	8	0 ... 18446744073709551615	unsigned long int

ACHTUNG: Wertebereiche rechnerabhängig! Hier: 64-Bit-Rechner.

Negative Zahlen?

- Derselbe Vorrat an verschiedenen Bitkombinationen bzw. Zahlen.
- ↳ Vorrat muss anders aufgeteilt werden!

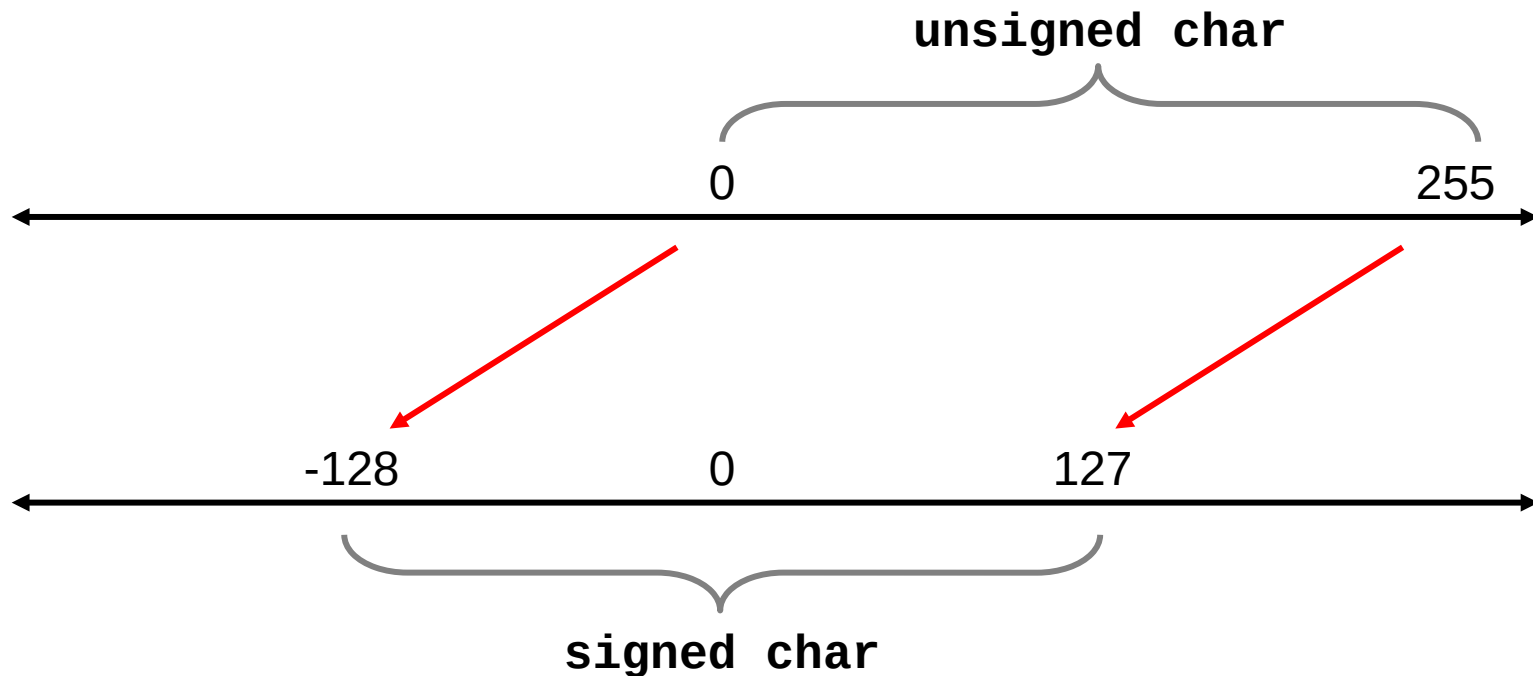
Naiver Ansatz:

- Man verwendet $n-1$ Bit zur vorzeichenlosen Zahldarstellung
 - Das ergibt Zahlen im Bereich $0 \dots 2^{n-1}-1$, also 0 bis 127 für $n=8$
- Bit n repräsentiert das Vorzeichen: 0 = positiv, 1 = negativ
 - Bei $n = 8$ ergibt das Zahlen im Bereich -127 bis 127
 - Probleme:
 - Die Null zählt doppelt: +0 und -0
 - **Eine mögliche Zahldarstellung wird verschenkt!**



Negative Zahlen?

- Derselbe Vorrat an verschiedenen Bitkombinationen bzw. Zahlen.
- Vorrat muss anders aufgeteilt werden!



Bitrepräsentation von negativen Zahlen:

- Umrechnung: **negatives Stellengewicht** des höchstwertigen Bits

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
unsigned	128	64	32	16	8	4	2	1
signed	-128	64	32	16	8	4	2	1

- **Beispiel:** $10101001_2 = -128 + 32 + 8 + 1 = -87$
- Mit Bit 0 – 6 sind Zahlen zwischen 0 und 127 darstellbar.
Falls Bit7 = 0 \Rightarrow 0 bis 127
Falls Bit7 = 1 \Rightarrow -128 bis -1

Bitrepräsentation von Ganzzahlen mit Vorzeichen: (n = 8)

7	6	5	4	3	2	1	0	unsigned	signed
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	1	0	2	2
		
0	1	1	1	1	1	1	1	127	127
1	0	0	0	0	0	0	0	128	-128
1	0	0	0	0	0	0	1	129	-127
1	0	0	0	0	0	1	0	130	-126
		
1	1	1	1	1	1	1	1	255	-1

Einfache Datentypen

- **Ganzzahlen mit Vorzeichen** (signed)

Bits	Bytes	Wertevorrat	Name in C/C++
8	1	-128 ... 127	char
16	2	-32768 ... 32767	short int
32	4	-2147483648 ... 2147483647	int
64	8	$-2^{63} \dots 2^{63}-1$	long int

ACHTUNG: Wertebereiche rechnerabhängig! Hier: 64-Bit-Rechner.

Zwischenfragen:

- Wie werden Daten im Programm angelegt bzw. abgelegt?
 - Wie kann ich sie wieder finden und abrufen bzw. verändern?
- Rechner muss angewiesen werden Speicherplatz für Daten zu reservieren.
- Das geschieht formal im Programm durch eine **Datendefinition**:

Angabe von **Datentyp** und **Bezeichner**.

Beispiele:

```
char a;  
short b;  
unsigned int c;
```

Adresse	Daten	Name
11100110	00001001	a
11100101	10001100	b
11100100	01101001	
11100011	10011101	
11100010	11110011	
11100001	10101000	c
11100000	00110001	

Datendefinition (DD)

```
unsigned int Postleitzahl;
```

Was geschieht?

1. DD reserviert Speicher
2. DD legt Wertevorrat fest
3. DD ermöglicht eindeutige Interpretation des Bitmusters
4. DD legt zulässige Operatoren fest

Was geschieht nicht?

DD weist keinen Wert zu!

⇒ „Zufällige“ Bitmuster im Speicher! ⇒ **Häufige Fehlerquelle!**

Zuweisung

- **Beispiel: `Postleitzahl = 44221;`**
- Vor einer Zuweisung muss eine Datendefinition stattgefunden haben!
- Was geschieht?
 - Die Zahl wird gemäß Datentyp interpretiert & in ein Bitmuster kodiert.
 - Das Bitmuster wird an diejenige Stelle im Speicher geschrieben, die durch den Bezeichner symbolisiert wird.

Initialisierung

- **Beispiel: `unsigned int Postleitzahl = 44221;`**
- Datendefinition mit anschließender Zuweisung

Bezeichner

Bauplan:

- Es dürfen nur Buchstaben **a** bis **z**, **A** bis **Z**, Ziffern **0** bis **9** und der Unterstrich **_** vorkommen.
- Das erste Zeichen muss ein Buchstabe oder ein Unterstrich sein.
- Prinzipiell keine Längenbeschränkung.
- Schlüsselwörter dürfen nicht verwendet werden.

```
Winkel
EinkomSteuer
Einkom_Steuer
einkom_Steuer
_OK
x3
_x3_und_x4_
_99
```


Schlüsselwörter

... sind reservierte Wörter der jeweiligen Programmiersprache!

auto	double	int	struct
break	else	long	switch
case	enum	register	typeof
char	extern	return	union
const	float	short	unsigned
continue	for	signed	void
default	goto	sizeof	volatile
do	if	static	while

Schlüsselwörter der Programmiersprache C

Schlüsselwörter

... sind reservierte Wörter der jeweiligen Programmiersprache!

asm	export	private	true
bool	false	protected	try
const_cast	friend	public	typeid
catch	inline	static_cast	typename
class	mutable	template	using
delete	namespace	reinterpret_cast	virtual
dynamic_cast	new	this	
explicit	operator	throw	

Zusätzliche Schlüsselwörter der Programmiersprache C++

weitere in C++11

Ganzzahlen: Binäre Operatoren

- Addition → Operator: **+**
- Subtraktion → Operator: **-**
- Multiplikation → Operator: *****
- Ganzzahldivision → Operator: **/**
- Modulo → Operator: **%**

Beispiele:

A + b;

3 * x3 - 8 / Faktor;

wert % 12;

Ganzzahlen: Modulo-Operator %

- liefert den Rest der Ganzzahldivision
- aus Alltagsleben bekannt, aber selten unter diesem Namen

Beispiel: Digitaluhr

- Wertevorrat: 0:00 bis 23:59
- Stundenanzeige springt nach 23 auf 0
- Minutenanzeige springt nach 59 auf 0
- C/C++:
`unsigned int stunde, laufendeStunde = 37;`
`stunde = laufendeStunde % 24;`

Ganzzahlen: Häufige Fehlerquellen ...

- **Zahlenüberlauf**

```
short m = 400, n = 100, p = 25, k;  
k = m * n / p;
```

⇒ Resultat: **k = -1021; ■■**

Warum?

- $400 * 100$ ergibt 40000 ⇒ zu groß für Datentyp **short** (< 32768)
- $40000 = 1001\ 1100\ 0100\ 0000_2$
- Interpretation als Datentyp short: $-32768 + 7232 = -25536$
- Schließlich: $-25536 / 25 = -1021$

Ganzzahlen: Häufige Fehlerquellen ...

- **Zahlenüberlauf: Addition**

```
short a = 32600, b = 200,  
c = a + b;
```

⇒ Resultat: **c = -32736; ||**

- **Zahlenüberlauf: Subtraktion**

```
unsigned short m = 100, n = 101, k;  
k = m - n;
```

⇒ Resultat: **k = 65535; ||**



Ganzzahlen: Häufige Fehlerquellen ...

- **Ganzzahldivision ist reihenfolgeabhängig**

Beispiel:

$$\begin{array}{r} 20 * 12 / 3 \\ \hline 240 / 3 \\ \hline 80 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 20 / 3 * 12 \\ \hline 6 * 12 \\ \hline 72 \end{array}$$

Vorsicht!

- Über-/Unterschreitung des Zahlenbereichs bei Ganzzahlen (auch bei Zwischenergebnissen)
 - ! unvorhersehbare, falsche Ergebnisse **ohne Fehlermeldung!**
- Auswahl des geeigneten Datentyps **im Verantwortungsbereich des Programmierers** (Problemanalyse!)
- Verwendung von „größeren“ Datentypen verschiebt das Problem nur auf größere Wertebereiche
 - i.A. **keine Lösung des Problems**
 - ggf. Vorkehrungen treffen, z.B. Konsistenzprüfungen

Reelle Zahlen

- zwei Datentypen in C/C++:

Bits	Bytes	Wertebereich	Name in C/C++	Stellen
32	4	$\pm 3.4 * 10^{-38} \dots \pm 3.4 * 10^{+38}$	float	7
64	8	$\pm 1.7 * 10^{-308} \dots \pm 1.7 * 10^{+308}$	double	15

Stellen = signifikante Stellen

Reelle Zahlen

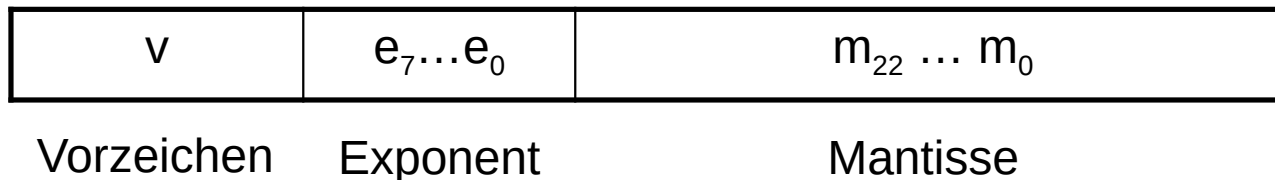
- **float** vs. **int**:

beide 4 Bytes, aber riesiger Unterschied im Wertebereich!

Wie geht das denn?

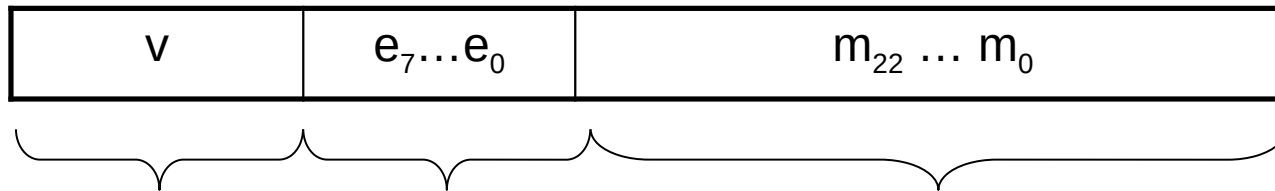
⇒ Durch Verlust an Genauigkeit im niederwertigen Bereich der Zahl!

- Repräsentation ist standardisiert: IEEE-Standard P754 (1985)
- Beispiel: **float** (32 bit)



Reelle Zahlen

- Repräsentation ist standardisiert: IEEE-Standard P754 (1985)
- Beispiel: **float** (32 bit)



**unsigned
char**

0) +1

0

normiert: $1 \leq m \leq 2$,

1) -1



255

wobei virtuelles Bit $m_{23} = 1$

$$e = E + 127$$

Reelle Zahlen

```
float pi1 = 3.141592;
```

```
double pi2 = 3.14159265358979;
```

7 signifikante Stellen

15 signifikante Stellen



korrekte

Weitere gültige Schreibweisen:

12345.678 Festkommazahl (*fixed format*)

1.23456e4 Fließkommazahl (*floating point*)

.345

+34.21e-91

Achtung:

Dezimaldarstellung

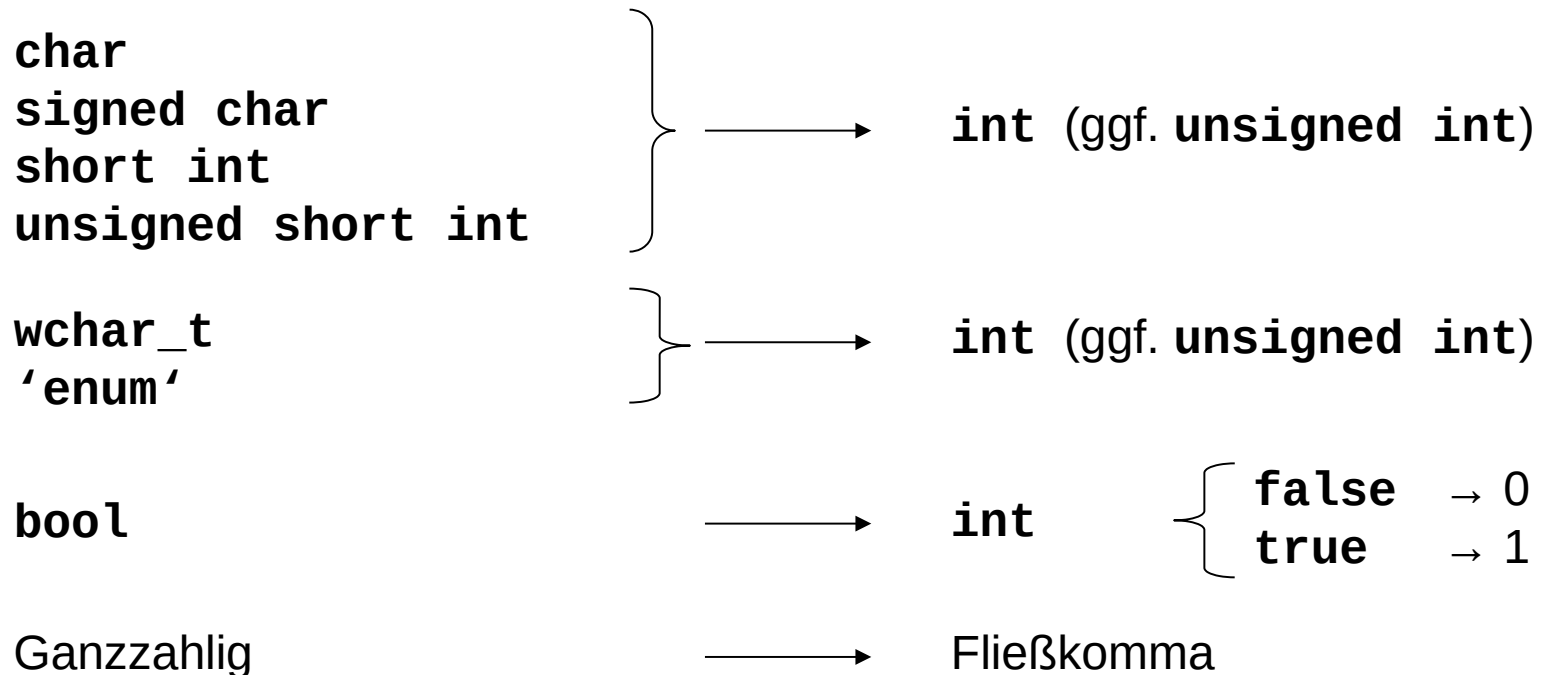
immer mit Punkt,

niemals mit Komma!

Exkurs: Typumwandlung

- *Automatisch (Promotionen)*

→ das Rechenwerk braucht gleiche Typen für Rechenoperation



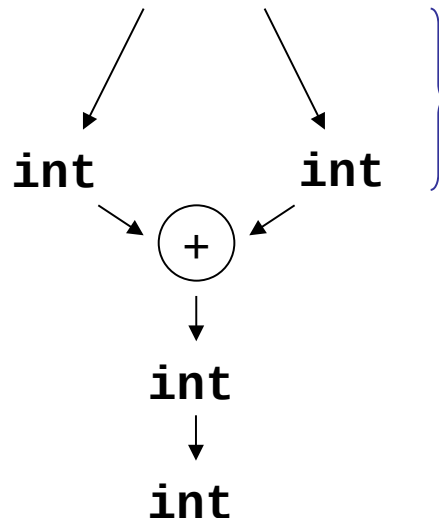
Exkurs: Typumwandlung

- *Automatisch (Promotionen)*

→ das Rechenwerk braucht gleiche Typen für Rechenoperation

Bsp:

```
char c = 3;
short s = 1024;
int i = c + s;
```



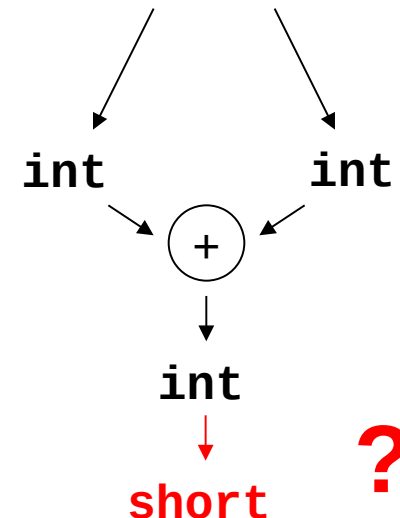
Umwandlung
zu **int**

int -Addition

Ergebnis: **int**

Zuweisung

```
char c = 3;
short s = 1024;
short i = c + s;
```



Exkurs: Typumwandlung

• *Umwandlungen*

○ Fließkommazahlen

- **float** → **double**

⇒ passt immer **+**

- **double** → **float**

⇒ Wertübernahme, wenn im Ziel darstellbar; sonst undefiniert!

- **float/double** → Ganzzahl

⇒ ggf. ungenau, mögl. Datenverlust; undefiniert, wenn nicht darstellbar

```
int i = 2.6; → i = 2;
```

```
char c = 2.3e8;
```

→ undefiniert, z.B.
c = -128; c = 127;
c = -32; c = 0;

Der Compiler **warn**t vor
möglichem Datenverlust!
Warnungen des Compiler
nicht ignorieren!

Exkurs: Typumwandlung

Trauen Sie **nicht vorbehaltlos** den Ergebnissen des Rechners!

Beispiel:

$$333.75 y^6 + x^2 (11 x^2 y^2 - y^6 - 121 y^4 - 2) + 5.5 y^8 + \frac{x}{2y}$$

$$\text{für } x = 77617, \quad y = 33096$$

Resultat bei doppelter Genauigkeit (double): $-1.18059\text{e}+021$

→ exakt: $-54767 / 66192 = -0.827396\dots$

Exkurs: Typumwandlung

Vorbemerkung:

Die Regeln von C++ garantieren, dass Typfehler unmöglich sind.
Theorie: Wenn Programm sauber kompiliert, dann keine Durchführung von ungültigen / unsaubereren Operationen an Objekten.

→ Wertvolle Garantie! → nicht leichtfertig aufgeben!

Aber: explizite Typumwandlung (cast) untergräbt das Typsystem!

explizite Typumwandlung:

C-Stil:


```
(T) Ausdruck // wandelt Ausdruck in den Typ T um
```

```
T(Ausdruck) // wandelt Ausdruck in den Typ T um
```

mißbilligt
(deprecated)

**Nicht
verwenden!**

Explizite Typumwandlung (C++)

- **`const_cast<T>(Ausdruck)`**
 - beseitigt Konstanz von Objekten
- **`dynamic_cast<T>(Ausdruck)`**
 - zum „Downcasten“ bei polymorphen Quelltypen
 - umwandeln in einen abgeleiteten Typ
 - Fehlschlag bei `*` ergibt Nullpointer, bei `&` Ausnahme **`bad_cast`**
- **`reinterpret_cast<T>(Ausdruck)`**
 - verwendet auf niedriger Ebene (Uminterpretation des Bitmusters)
 - Ziel muss mindestens so viele Bits wie Quelle haben, sonst ... 
- **`static_cast<T>(Ausdruck)`**
 - zum Erzwingen von impliziten Typumwandlungen

Vorschau:

Hier nur zur Vollständigkeit.
Wir kommen später darauf
zurück!

Exkurs: Typumwandlung

Wenn im Code viele Casts notwendig sind,
dann stimmt meistens etwas mit dem Design des Programms nicht!

Wenn im Code ein Cast notwendig ist,
dann **die Cast-Operationen von C++ verwenden**, weil

1. minimale automatische Typprüfung möglich (statisch / dynamisch);
2. man sich mehr Gedanken darüber macht, was man eigentlich tut;
3. für Außenstehende präziser angezeigt wird, was Sie tun.

Wenn im Code ein Cast notwendig ist,
dann die Cast-Operation in einer Funktion verbergen.

Einfache Datentypen

- Zeichen

- Ein Zeichen wird in einem Byte gespeichert (**char**)
- Zuordnung: Zeichen ↔ Zahl (Code)
- ASCII (**A**merican **S**tandard **C**ode for **I**nformation **I**nterchange), 7-Bit-Code

0	NUL	SOH	STX	ETX	EOT	ENQ	ACK	BEL	BS	TAB	LF	VT	FF	CR	SO	SI	} Steuer- zeichen
16	DLE	DC1	DC2	DC3	DC4	NAK	SYN	ETB	CAN	EM	SUB	ESC	FS	GS	RS	US	
32	SP	!	“	#	\$	%	&	'	()	*	+	,	-	.	/	
48	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	:	;	<	=	>	?	
64	@	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
80	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	[\]	^	_	
96	`	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
112	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z	{		}	~	DEL	

Einige wichtige nicht druckbare Steuerzeichen:

horizontal
tabulation

line
feed

carriage
return

null →

space →

NUL	SOH	STX	ETX	EOT	ENQ	ACK	BEL	BS	TAB	LF	VT	FF	CR	SO	SI
DLE	DC1	DC2	DC3	DC4	NAK	SYN	ETB	CAN	EM	SUB	ESC	FS	GS	RS	US
SP	!	“	#	\$	%	&	'	()	*	+	,	-	.	/
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	:	;	<	=	>	?
@	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	[\]	^	_
`	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z	{		}	~	DEL

← delete

Zeichen

- Zeichen werden gemäß ihrem Code als Zahl gespeichert.
- deshalb kann man mit Zeichen **rechnen**:

```
char c = '7';
```

Code von '7' ist 55

```
int zahl = c - '0';
```

Code von '0' ist 48

Resultat:

zahl = 7

- ... und man kann Zeichen **vergleichen**:

```
'a' < 'b'
```

ist wahr, weil $97 < 98$

- Erst bei der Ausgabe wird Datentyp **char** wieder als Zeichen interpretiert.

Zeichen

- Datendefinition: `char Zeichen;`
- Zuweisung: `Zeichen = 'x';`
- Darstellbare Zeichen:
 - Buchstaben: `'a'` bis `'z'` und `'A'` bis `'Z'`
 - Ziffern: `'0'` bis `'9'`
 - Satzzeichen: z.B. `'!'` oder `':'`
 - Sonderzeichen: z.B. `'@'` oder `'>'` oder `'}'` oder Leerzeichen

- Steuerzeichen
mit Fluchtsymbol
(Umschalter, engl.
escape character):
`\`

<code>\a</code>	alarm (BEL)	<code>\"</code>	Anführungsstriche
<code>\b</code>	backspace	<code>\'</code>	Hochkomma
<code>\t</code>	horizontal tabulator (TAB)	<code>\?</code>	Fragezeichen
<code>\n</code>	new line	<code>\\</code>	backslash

Zeichenketten (Strings)

*Datendefinition etc.
kommt später!*

- Aneinanderreihung von Zeichen
- Gekennzeichnet durch Anführungszeichen: "
- Beispiele:

- **"Dies ist eine Zeichenkette!"**

Dies ist eine Zeichenkette!

- **"Das ist jetzt\nneu."**

**Das ist jetzt
neu.**

- **"\"The C++ Programming Language\""\n\tby B. Stroustrup"**

**"The C++ Programming Language"
by B. Stroustrup**

Das erste C++-Programm:

```
#include <iostream>

int main()
{
    std::cout << "Das ist eine Zeichenkette!" << '\n';
    return 0;
}
```

- `#include <iostream>` bindet Ein-/Ausgabemöglichkeit aus Bibliothek ein
- `int main()` kennzeichnet Hauptprogramm, gibt Datentyp integer zurück
- `std::cout` ist der Ausgabestrom; alles rechts von `<<` wird ausgegeben
- `return 0` gibt den Wert 0 an das Betriebssystem zurück (0: alles OK!)

Das erste C++-Programm:

```
#include <iostream>

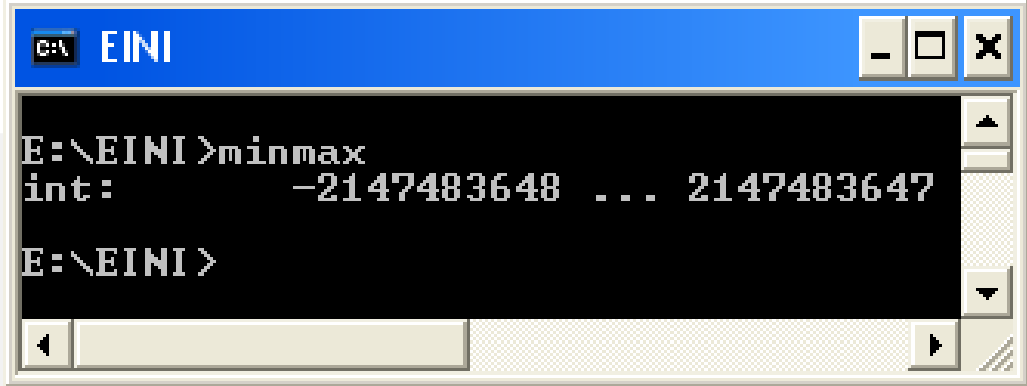
int main()
{
    std::cout << "Das ist eine Zeichenkette!" << '\n';
    return 0;
}
```

- **#include <iostream>** bindet Ein-/Ausgabemöglichkeit aus Bibliothek ein
- **int main()** kennzeichnet Hauptprogramm, gibt Datentyp integer zurück
- **std::cout** ist der Ausgabestrom; alles rechts von << wird ausgegeben
- **return 0** gibt den Wert 0 an das Betriebssystem zurück (0: alles OK!)

Noch ein C++-Programm:

```
#include <iostream>
#include <climits>

int main()
{
    std::cout << "int: "
               << INT_MIN << " ... "
               << INT_MAX << std::endl;
    return 0;
}
```



```
E:\EINI>minmax
int: -2147483648 ... 2147483647
E:\EINI>
```

- `#include <climits>` bindet Konstanten für Wertebereiche ein
- `INT_MIN` und `INT_MAX` sind Konstanten aus Bibliothek `climits`
- `std::endl` ist eine Konstante für Beginn einer neuen Zeile

Einfache Datentypen

- **Logischer Datentyp `bool`**

- Zum Speichern von Wahrheitswerten „wahr“ und „falsch“
- Wertevorrat: **`true`** und **`false`**
- Datendefinition: **`bool b;`**
- Zuweisung: **`b = true;`**
oder: **`int x = 9; b = x > 7;`**
- Zum Überprüfen von **Bedingungen**
- Operationen:

<i>Name</i>	<i>C/C++</i>	<i>Beispiel</i>
AND	<code>&&</code>	<code>b && x < 7</code>
OR	<code> </code>	<code>b x > 8</code>
NOT	<code>!</code>	<code>!b</code>

Wahrheitstafeln

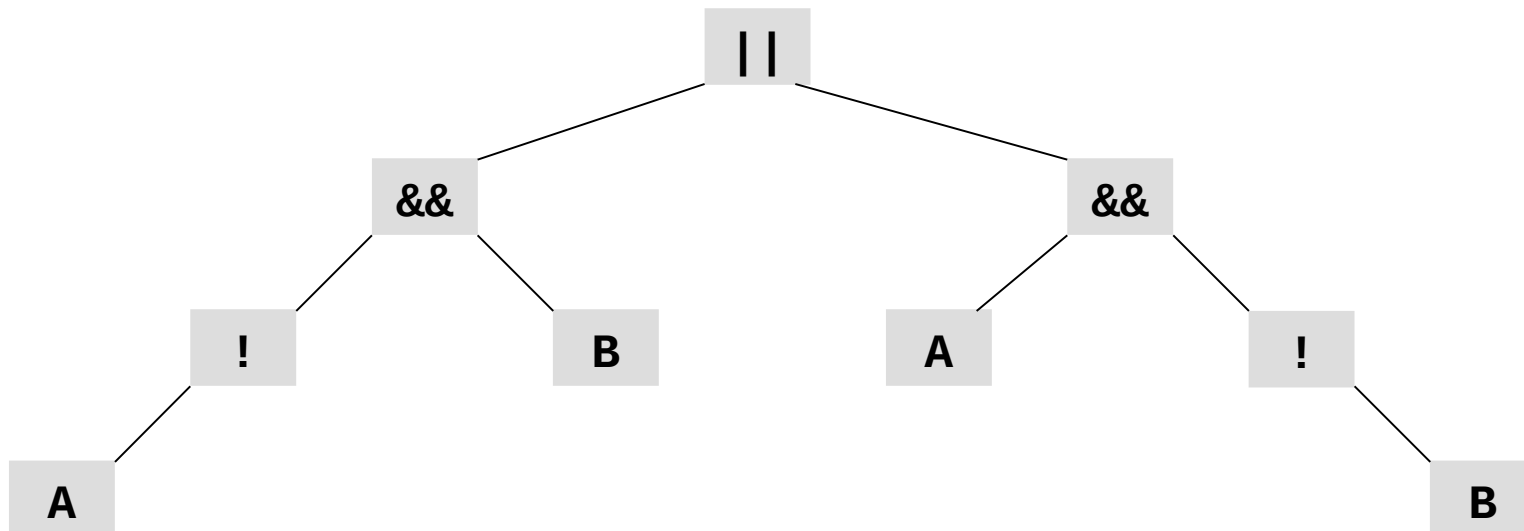
A	B	A && B	A	B	A B	A	!A
false	false	false	false	false	false	false	true
false	true	false	false	true	true	false	true
true	false	false	true	false	true	true	false
true	true	true	true	true	true	true	false

Priorität der Operatoren

1. NOT
2. AND
3. OR

Weitere ableitbare Operationen

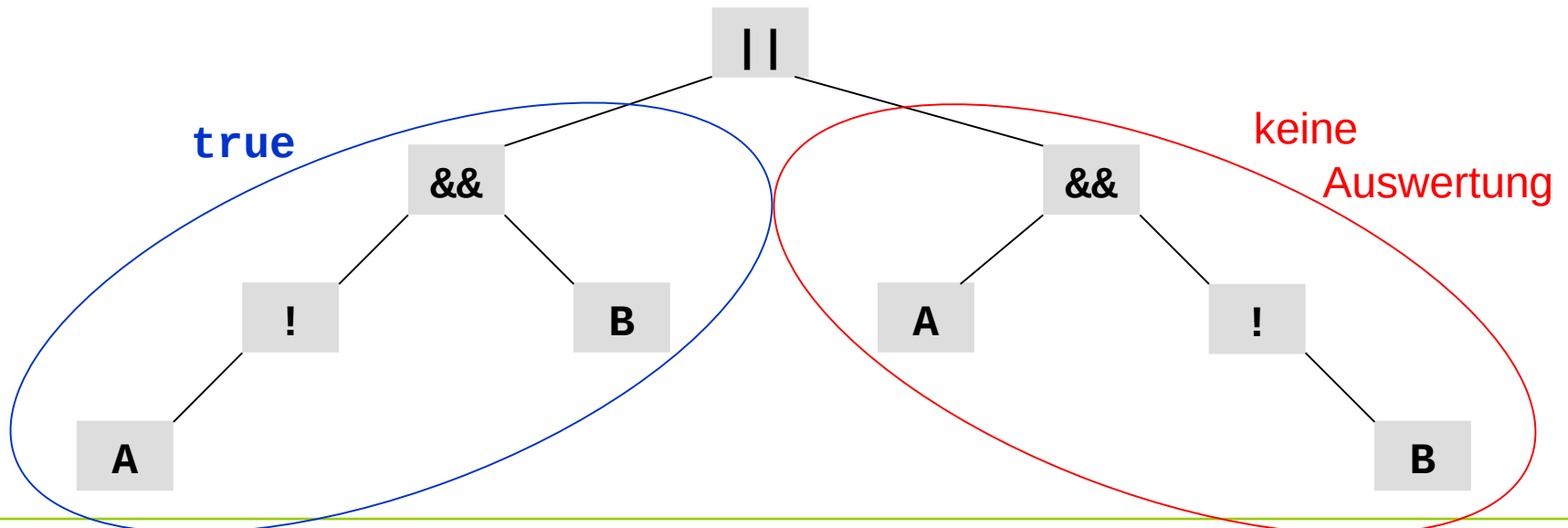
A NAND B	$!(A \ \&\& \ B)$
A NOR B	$!(A \ \ B)$
A \Rightarrow B (Implikation)	$!A \ \ B$
A XOR B (Antivalenz)	$!A \ \&\& \ B \ \ A \ \&\& \ !B$



- Auswertung von links nach rechts
- Abbruch, sobald Ergebnis feststeht:
 - `A && false = false`
 - `A || true = true`

- Beispiel:

`bool A = false, B = true;`



- Boolesche Ausdrücke

- Vergleiche:
 - < kleiner
 - <= kleiner oder gleich
 - > größer
 - >= größer oder gleich
 - == gleich
 - != ungleich

Achtung:

== testet auf Gleichheit

= wird bei einer Zuweisung verwendet

Wofür werden **boolesche Ausdrücke** gebraucht?

- ... um Bedingungen formulieren zu können
- ... um den Kontrollfluss steuern zu können
- ... für Fallunterscheidungen: **if** *Bedingung wahr* **then** *make etwas*;

```
#include <iostream>

int main()
{
    int a = 10, b = 20;
    if (a < b)    std::cout << "kleiner";
    if (a > b)    std::cout << "groesser";
    if (a == b)  std::cout << "gleich";
    return 0;
}
```

später
mehr

Im **Standard-Namensraum** wird **Standardfunktionalität** bereitgestellt:

- z.B. Ausgaben auf den Bildschirm, Eingaben von der Tastatur, ...

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int a = 10, b = 20;
    if (a < b) std::cout << "kleiner";
    if (a > b) std::cout << "groesser";
    if (a == b) std::cout << "gleich";
    return 0;
}
```

← falls Compiler einen Bezeichner nicht findet, dann Erweiterung mit **std**.

Beispiel:

Bezeichner → ???

std::Bezeichner 😊

) führt zu kleineren Programmtexten

Anmerkung:

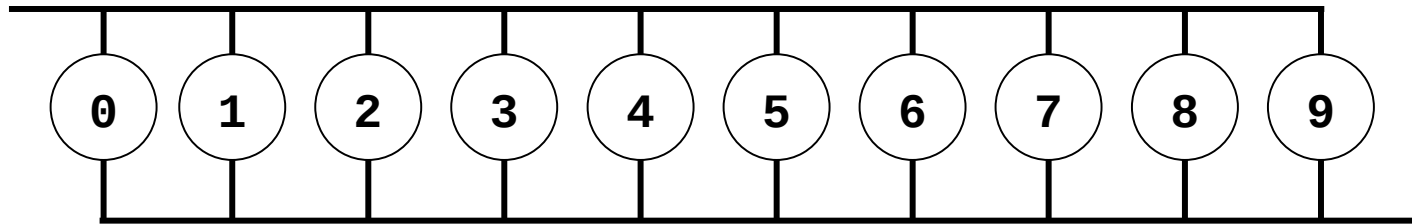
- In der Programmiersprache C und vor 1993 auch in C++ existierte kein boolescher Datentyp!
- Stattdessen: Simulation mit Datentyp **int**
- Konvention: Wert ungleich Null bedeutet **true**, sonst **false**
- **Beispiele:**
 - `int x = 8;`
`if (x) x = 0;`
 - `char c = 'y';`
`if (c) c = '\n';`
- Das ist auch jetzt noch möglich!
⇒ Empfehlung: Besser den booleschen Datentyp verwenden!

Woher weiß man, was man in C++ schreiben darf und was nicht?

- Natürliche Sprache festgelegt durch
 - Alphabet
 - Orthografie
 - Wortbedeutungen
 - Grammatik
- Aktueller C++-Standard: ISO/IEC 14882:2017
- u.a. Festlegung einer **formalen Grammatik** für C++

Grafische Darstellung

Ziffer :=



Ohne Pfeile: „von links nach rechts, von oben nach unten“

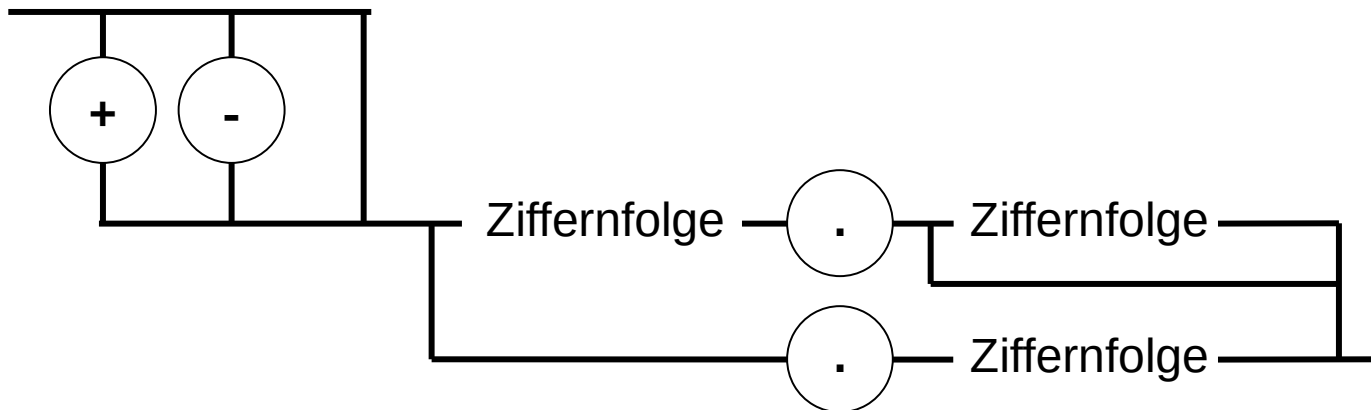
Ziffernfolge :=



Ganzzahl mit Vorzeichen :=



Festkommazahlen :=



Grafische vs. textuelle Darstellung von Grammatiken

- Grafische Darstellung anschaulich, aber platzraubend
- Textuelle Darstellung kompakter und automatisch zu verarbeiten

Ziel:

- Beschreibung von syntaktisch korrekten C++-Programmen

Konkreter:

- Sie sollen lernen, formale Grammatiken zu lesen und zu verstehen,
 - um sie in dieser Veranstaltung für ihre Zwecke nutzen zu können,
 - um einen fundamentalen Formalismus in der Informatik kennenzulernen,
 - um andere Programmiersprachen leichter erlernen zu können.

Definition

Eine **kontextfreie Grammatik** $G = (N, T, S, P)$ besteht aus

- einer endlichen Menge von Nichtterminalen N ,
- einer endlichen Menge von Terminalen T ,
- einem Startsymbol $S \in N$,
- einer endlichen Menge von Produktionsregeln der Form $u \rightarrow v$, wobei
 - $u \in N$ und
 - v eine endliche Sequenz von Elementen von N und T ist, sowie
- der Randbedingung $N \cap T = \emptyset$.

Beispiel

$$T = \{ +, -, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 \}$$

$$N = \{ Z, A, D \}$$

$$S = \{ Z \}$$

$$Z \rightarrow +A$$

$$Z \rightarrow -A$$

$$Z \rightarrow A$$

$$A \rightarrow D$$

$$A \rightarrow AD$$

$$D \rightarrow 0$$

$$D \rightarrow 1$$

$$\dots$$

$$D \rightarrow 9$$

$$= P$$

Kompaktere Notation:

$$Z \rightarrow +A \mid -A \mid A$$

$$A \rightarrow D \mid AD$$

$$D \rightarrow 0 \mid 1 \mid 2 \mid 3 \mid 4 \mid 5 \mid 6 \mid 7 \mid 8 \mid 9$$

Beispiel

$$T = \{ +, -, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 \}$$
$$N = \{ Z, A, D \}$$
$$S = \{ Z \}$$
$$Z \rightarrow +A \mid -A \mid A$$
$$A \rightarrow D \mid AD$$
$$D \rightarrow 0 \mid 1 \mid 2 \mid 3 \mid 4 \mid 5 \mid 6 \mid 7 \mid 8 \mid 9$$

- Nichtterminale sind Platzhalter.
- Man kann dort eine Produktionsregel anwenden.
- Der Ersetzungsprozess endet, wenn **alle Nichtterminale durch Terminale ersetzt** worden sind.

Beispiel
$$T = \{ +, -, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 \}$$
$$N = \{ Z, A, D \}$$
$$S = \{ Z \}$$
$$Z \rightarrow +A \mid -A \mid A$$
$$A \rightarrow D \mid AD$$
$$D \rightarrow 0 \mid 1 \mid 2 \mid 3 \mid 4 \mid 5 \mid 6 \mid 7 \mid 8 \mid 9$$
Können wir mit dieser Grammatik +911 erzeugen?

Start mit $Z \rightarrow +A$, wende Produktionsregel $A \rightarrow AD$ auf A an, ergibt $Z \rightarrow +AD$

Wende $A \rightarrow AD$ auf A an, ergibt $Z \rightarrow +ADD$

Wende $A \rightarrow D$ auf A an, ergibt $Z \rightarrow +DDD$,

Wende $D \rightarrow 9$ auf das erste D , $D \rightarrow 1$ auf die übrigen D an, ergibt $Z \rightarrow +911$.

Notation der Grammatik im C++-Buch von Bjarne Stroustrup

- **Nichtterminale:** Wörter in *kursiver* Schrift
- **Terminale:** Zeichen in **nicht proportionaler** Schrift
- Alternativen wie
 - $D \rightarrow 0|1|2|3|4|5|6|7|8|9$ sind dargestellt via
 - D : eins von
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
- Optionale (Nicht-)Terminale durch tiefgestelltes *opt*
 - $sign_{opt}$

Beispiel: Bezeichner

- *identifizier:*
nondigit
identifizier nondigit
identifizier digit
- *nondigit:* eins von
universal-character-name
_ a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z
A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z
- *digit:* eins von
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
- *universal-character-name:*
\u hex-quad
\U hex-quad hex-quad
- *hex-quad:*
hex hex hex hex
- *hex:* eins von
digit
a b c d e f
A B C D E F

Zusammengesetzte Datentypen

- **Array (Feld)**

- Einführendes Beispiel:
Temperaturen von gestern stündlich speichern

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
8.4	8.3	8.0	7.4	7.2	7.0	7.0	7.5	8.0	8.8	9.8	11.1	13.4	13.6	13.7	13.6	12.4	12.0	10.1	9.6	9.0	8.9	8.7	8.5

- Möglicher Ansatz:

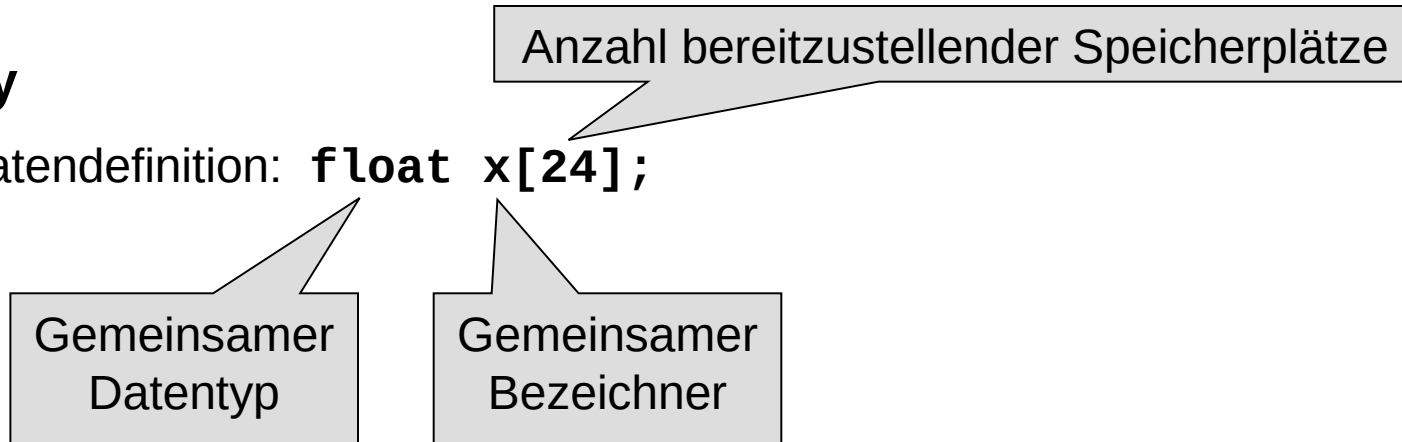
```
float x00, x01, x02, x03, x04, x05, x06, x07,
      x08, x09, x10, x11, x12, x13, x14, x15,
      x16, x17, x18, x19, x20, x21, x22, x23;
```

- Besser:

Unter **einem Namen** zusammenfassen und zur Unterscheidung der Werte einen **Index** verwenden.

Array

- Datendefinition: `float x[24];`

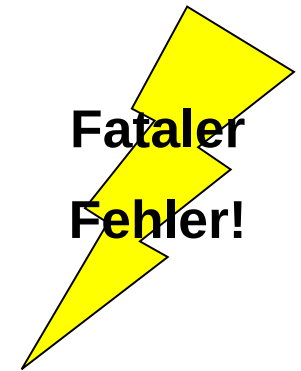


- Zugriff auf das Feldelement: `x[12];`

Achtung:

- Der Index beginnt **immer** bei 0!
- `x[12]` greift also auf das 13. Feldelement zu!
- Der maximale Index wäre hier also 23.
- Was passiert bei Verwendung von `x[24]` ?

⇒ ABSTURZ!



Eindimensionales Array

- Ein **Array** ist eine Aneinanderreihung von **identischen** Datentypen
 - mit einer **vorgegebenen Anzahl** und
 - unter einem **gemeinsamen Bezeichner**.
- Der Zugriff auf einzelne Elemente erfolgt über einen **Index**
 - der **immer bei 0** beginnt und
 - dessen **maximaler Wert** genau **Anzahl – 1** ist.
- (Fast) alle Datentypen können verwendet werden.

Eindimensionales Array: Beispiele

- `unsigned int Lotto[6];`
- `double Monatsmittel[12];`
- `char Vorname[20];`
- `bool Doppelgarage_belegt[2];`

- **Datendefinition:**

Datentyp Bezeichner[Anzahl];

Eindimensionales Array: Initialisierung

- `unsigned int Lotto[6] = { 27, 10, 20, 5, 14, 15 };`

- `unsigned int Lotto[] = { 27, 10 };`

← Compiler ermittelt erforderliche Anzahl

- `unsigned int Lotto[6] = { 27, 10 };`

ist identisch zu

```
unsigned int Lotto[6] = { 27, 10, 0, 0, 0, 0 };
```

- `unsigned int Lotto[6] = { 0 };`

ist identisch zu

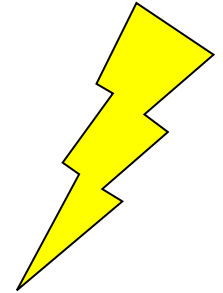
```
unsigned int Lotto[6] = { 0, 0, 0, 0, 0, 0 };
```

Eindimensionales Array: Verwendung

```
float Temp[12] = { 2.3, 4.6, 8.9, 12.8 };  
float x, y, z = 1.2;  
Temp[4] = z;  
x = Temp[0] * 0.25;  
y = Temp[1] + 2.3 * Temp[2];  
int i = 2, j = 3, k = 4, m = 11;  
z = ( Temp[i] + Temp[j] + Temp[k] ) / 3.0;  
Temp[m] = z + Temp[k - i];
```

Eindimensionales Array: Verwendung

```
float Temp[12] = { 2.3, 4.6, 8.9, 12.8 };  
float TempNeu[12];  
TempNeu = Temp;
```



Achtung:

- Ein Array kann nicht als Ganzes einem anderen Array zugewiesen werden, eine **Zuweisung muss immer elementweise erfolgen!**

Zwei- und mehrdimensionales Array

- **Einführendes Beispiel:**

- Pro Tag drei Temperaturmessungen: morgens, mittags, abends
- Werte für eine Woche (7 Tage) ablegen

⇒

8.0	20.3	14.2
7.8	18.3	12.2
5.3	12.3	8.8
5.8	13.7	7.5
8.0	19.8	10.2
9.3	21.3	11.1
7.4	17.3	9.9

Tabelle
oder
Matrix
der Temperaturen

Zwei- und mehrdimensionales Array

- Einführendes Beispiel:

```
float tag0[3], tag1[3], tag2[3] usw. bis tag6[3];
```

	0	1	2
tag0	8.0	20.3	14.2
tag1	7.8	18.3	12.2
tag2	5.3	12.3	8.8
tag3	5.8	13.7	7.5
tag4	8.0	19.8	10.2
tag5	9.3	21.3	11.1
tag6	7.4	17.3	9.9

Zwei- und mehrdimensionales Array

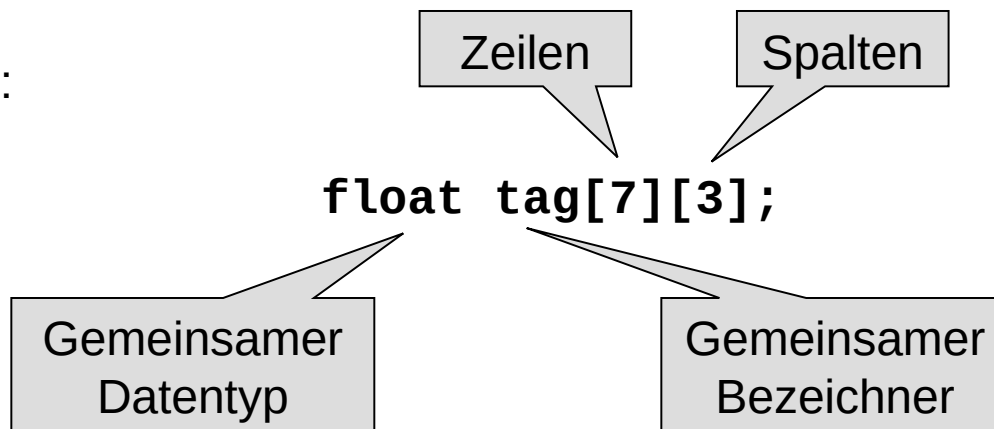
- Einführendes Beispiel:

- Statt

```
float tag0[3], tag1[3], tag2[3] usw. bis tag6[3];
```

bräuchte man ein Array von Arrays vom Typ **float**!

- Naheliegend:



Zwei- und mehrdimensionales Array

- Einführendes Beispiel:

⇒ Spaltenindex

	0	1	2
0	8.0	20.3	14.2
1	7.8	18.3	12.2
2	5.3	12.3	8.8
3	5.8	13.7	7.5
4	8.0	19.8	10.2
5	9.3	21.3	11.1
6	7.4	17.3	9.9

⇒ Zeilenindex

`tag[0][2]` hat Wert **14.2**

`tag[2][0]` hat Wert **5.3**

`tag[4][2]` hat Wert **10.2**

`tag[2][4]` ist ungültig!

Zwei- und mehrdimensionales Array

- Initialisierung

```
float tag[7][3] = {  
    { 8.0, 20.3, 14.2 },  
    { 7.8, 18.3, 12.2 },  
    { 5.3, 12.3,  8.8 },  
    { 5.8, 13.7,  7.5 },  
    { 8.0, 19.8, 10.2 },  
    { 9.3, 21.3, 11.1 },  
    { 7.4, 17.3,  9.9 }  
};
```

oder

```
float tag[][3] = {  
    { 8.0, 20.3, 14.2 },  
    { 7.8, 18.3, 12.2 },  
    { 5.3, 12.3,  8.8 },  
    { 5.8, 13.7,  7.5 },  
    { 8.0, 19.8, 10.2 },  
    { 9.3, 21.3, 11.1 },  
    { 7.4, 17.3,  9.9 }  
};
```

Zwei- und mehrdimensionales Array

- **Datendefinition bei ansteigender Dimension:**
 1. `int feld[n];`
 2. `int feld[m][n];`
 3. `int feld[k][m][n];`
 4. usw.

Zusammengesetzte Datentypen

- **Zeichenkette**

- ... ist eine Aneinanderreihung von Zeichen
- ⇒ also ein Array/Feld von Zeichen

Datendefinition: `char wohnort[40];`

Initialisierung:

```
char wohnort[40] = {'D', 'o', 'r', 't', 'm', 'u', 'n', 'd', '\0'};
```

```
char wohnort[40] = "Dortmund";
```

```
char wohnort[] = "Dortmund";
```

kennzeichnet Ende
der Zeichenkette

riskant!

sicher: Compiler zählt!

- **Zeichenkette**

- Das Ende wird durch das ASCII-Steuerzeichen **NUL** (mit Code 0) gekennzeichnet.
- ⇒ Bei der Datendefinition muss also **immer ein Zeichen mehr** angefordert werden als zur Speicherung der Daten benötigt wird!

Falsch ist: `char wort[3] = "abc";`

- Zuweisung einer Zeichenkette an eine andere nicht zulässig (weil es ein **Array** von **char** ist)

Falsch ist: `char wort[4]; wort[4] = "abc";`

oder : `wort[] = "abc";`

- Zuweisung muss immer **elementweise** erfolgen!

Beispiel: `char wort[4] = "abc"; wort[0] = 'z';`

Zusammengesetzte Datentypen

- **Datenverbund (Struktur)**

- **Einführendes Beispiel:**

Zu speichern seien Namen und Matrikelnummer von Studierenden, und ob jeweils das Proseminar bestanden ist.

- **Möglicher Ansatz:**

Drei verschiedene Datentypen (**char[]**, **unsigned int**, **bool**)
⇒ in Array lässt sich nur ein gemeinsamer Datentyp speichern
⇒ alles als Zeichenketten, z.B. **char stud[3][40];**

- **Besser:**

Zusammen gehörende Daten unter einem Namen zusammenfassen, aber die „natürlichen“ Datentypen verwenden!

Zusammengesetzte Datentypen

- **Datenverbund (Struktur)**

- Definition eines **eigenen Datentyps**
- Wir müssen die Struktur / den Bauplan definieren
- und einen Namen für den Datentyp vergeben!

```
struct UnserDatenTyp
```

```
{
```

```
    char name[40];
```

```
    unsigned int matrikel;
```

```
    bool proseminar;
```

```
};
```

← Name des
Datentyps

Bauplan /
Struktur

Zusammengesetzte Datentypen

- **Datenverbund (Struktur)**

- Zuerst das Schlüsselwort: **struct**
- Dann folgt der gewählte Name (engl. *tag*).
- In geschweiften Klammern **{ }** steht der Bauplan, am Ende ein Semikolon **;**

```
struct UnserDatenTyp
```

```
{
```

```
    char name[40];
```

```
    unsigned int matrikel;
```

```
    bool proseminar;
```

```
};
```

← Name des
Datentyps

Bauplan /
Struktur

Datenverbund (Struktur)

- **Achtung:**

Soeben wurde ein Datentyp definiert.
Es wurde noch **kein Speicherplatz** reserviert!

- Datendefinition:

```
UnserDatenTyp student, stud[50000];
```

- Initialisierung:

```
UnserDatenTyp student = { "Hugo Hase", 44221, true };
```

- Zugriff mit „Punktoperator“:

```
unsigned int mnr = student.matrikel;  
cout << student.name << " " << mnr << endl;
```



Reihenfolge
beachten!

Datenverbund (Struktur)

- Im Bauplan kann wieder jeder Datentyp vorkommen!
- Also auch wieder Datenverbunde (**struct**)!
- **Beispiel:**

```
struct UniStud {  
    char ort[40];  
    unsigned int plz;  
    UnserDatentyp daten;  
};
```

```
UniStud studX = {  
    "Dortmund", 44221, { "Jane Doe", 241398, true }  
};
```

```
unsigned int mnr = studX.daten.matrikel;
```

Datenverbund (Struktur)

- Zuweisungen:
UnserDatentyp stud[50000];
UnserDatentyp student = { "Hugo Hase", 44221, true };
stud[500] = student;
student = stud[501];
- Ganze Datensätze können Variablen mit demselben Struktur-Datentyp zugewiesen werden, komponentenweises Zuweisen nicht nötig!
- **Achtung:**
Anderer Name (tag) ⇒ Anderer Datentyp!
Gilt selbst **bei identischen Bauplänen**.

```
struct S1 { int x; float y; };  
struct S2 { int x; float y; };  
S1 v1, vx; v1 = vx;  
S2 v2; v2 = vx;
```



Fehler!

Zusammengesetzte Datentypen

- **Aufzähltyp (enum)**

- Umwelt beschreiben durch Begriffe statt durch Ziffern
- Farben: rot, blau, grün, orange, gelb, schwarz, ...
- Spielkarten: Kreuz, Pik, Herz, Karo
- Internet-Domains: de, uk, fr, ch, fi, ru, ...

1. Schlüsselwort **enum** (Enumeration, Aufzählung)
2. Name der Aufzählung
3. In geschweiften Klammern die Elementnamen

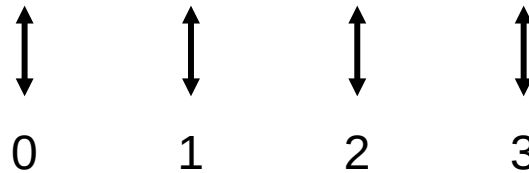
```
enum KartenTyp { kreuz, pik, herz, karo };
```

Zusammengesetzte Datentypen

- **Aufzähltyp (enum)**

- Was passiert im Rechner?
- Interne Zuordnung von Zahlen (ein Code)

```
enum KartenTyp { kreuz, pik, herz, karo };
```



- Zuordnung der Zahlen durch Programmierer kontrollierbar:

```
enum KartenTyp { kreuz=1, pik=2, herz=4, karo=8 };
```

- Initialisierung: `KartenTyp Spielfarbe = kreuz;`
Aber: `cout << Spielfarbe << endl;`
Ausgabe ist eine Zahl!