

# Informatik I: Einführung in die Programmierung

## 3. Werte, Typen, Variablen und Ausdrücke

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg



**UNI  
FREIBURG**

Peter Thiemann

30. Oktober 2018

# 1 Exkursion: Datenrepräsentation



**UNI  
FREIBURG**

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke

- Der Computer repräsentiert Daten als Folgen von **Bits**.
- Ein Bit (*binary digit*) ist die kleinste Informationseinheit. Sein Wert ist entweder 0 oder 1.
- Einfache technische Realisierung durch Schalter ein / Schalter aus bzw. Ladung vorhanden / entladen.

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke



### ■ **Und:** $b_1 \wedge b_2$

Ergebnis ist 1, falls  $b_1 = 1$  **und**  $b_2 = 1$ , sonst 0.

$$1 \wedge 1 = 1, \quad 1 \wedge 0 = 0, \quad 0 \wedge 1 = 0, \quad 0 \wedge 0 = 0$$

### ■ **Oder:** $b_1 \vee b_2$

Ergebnis ist 1, falls  $b_1 = 1$  **oder**  $b_2 = 1$ , sonst 0.

$$1 \vee 1 = 1, \quad 1 \vee 0 = 1, \quad 0 \vee 1 = 1, \quad 0 \vee 0 = 0$$

### ■ **Nicht, Negation, Komplement:** $\neg b$

Ergebnis ist 1, falls  $b = 0$ . Ergebnis ist 0, falls  $b = 1$ .

$$\neg 1 = 0, \quad \neg 0 = 1$$

- Mit diesen drei Grundoperationen können **alle** möglichen Operationen auf Bits definiert werden.

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und Typen

Variable

Ausdrücke

Jede Operation auf zwei Bits  $b_1$  und  $b_2$  kann durch ihre Wertetabelle (vier Bit) angegeben werden

$b_1$	$b_2$	$f(b_1, b_2)$	$f_8$	$f_{11}$
0	0		0	1
0	1		0	1
1	0		0	0
1	1		1	1

Example (Auflösung)

$$f_8(b_1, b_2) = b_1 \wedge b_2$$

Example (Auflösung)

$$f_{11}(b_1, b_2) = (b_1 \wedge b_2) \vee \neg b_1 = \neg b_1 \vee b_2$$

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und Typen

Variable

Ausdrücke



- Rechnen mit einem Bit ist zu ineffizient.
- Die meisten Computer rechnen daher mit Bitvektoren der Breite 8 (ein **Byte** auch **Octet**), 16, 32 oder 64.
- Letztere heißen auch 16-Bit (bzw. 32-Bit, 64-Bit) **Worte**.
- Der Aufbau des Computers (genauer gesagt, des Prozessors) ist auf eine Wortbreite ausgerichtet, die durch Bezeichnungen wie 32-Bit-Architektur bzw. 64-Bit-Architektur zum Ausdruck kommt.

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke

- Definiert auf Worten gleicher Breite.
- Wendet die Bit-Operationen auf die entsprechenden Positionen der Argumente an.
- **Und:**  $w_1 \wedge w_2$   
Beispiel:  $1100 \wedge 1010 = 1000$
- **Oder:**  $w_1 \vee w_2$   
Beispiel:  $1100 \vee 1010 = 1110$
- **Negation:**  $\neg w$   
Beispiel:  $\neg 10 = 01$

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und Typen

Variable

Ausdrücke

## Mensch: Dezimalsystem

- Stellenwertsystem mit Basis 10
- Jede Stelle in der Dezimaldarstellung einer Zahl entspricht einer 10er-Potenz
- Beginnend von rechts mit  $10^0$
- Zehn Ziffern notwendig: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

## Beispiel

$$\begin{aligned}\underline{4711}_{10} &= 4 * 10^3 + 7 * 10^2 + 1 * 10^1 + 1 * 10^0 \\ &= 4000 + 700 + 10 + 1 \\ &= 4711\end{aligned}$$

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke



## Computer: Dual- oder Binärsystem

- Stellenwertsystem mit Basis **2**
- Jede Stelle in der **Binärdarstellung** einer Zahl entspricht einer **2er-Potenz**
- Beginnend von rechts mit **2<sup>0</sup>**
- **Zwei** Ziffern notwendig: 0, 1 — **ein Bit!**

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke

## Beispiel

$$\begin{aligned} \underline{101010}_2 &= 1 * 2^5 + 0 * 2^4 + 1 * 2^3 + 0 * 2^2 + 1 * 2^1 + 0 * 2^0 \\ &= 32 + 0 + 8 + 0 + 2 + 0 \\ &= 42 \end{aligned}$$

## Programmierer: Hexadezimalsystem

- Stellenwertsystem mit Basis **16** (4 Bit pro Stelle)
- Jede Stelle in der **Hexadezimaldarstellung** einer Zahl entspricht einer **16er-Potenz**
- Beginnend von rechts mit **16<sup>0</sup>**
- **16** Ziffern: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, a, b, c, d, e, f

## Beispiel

$$\begin{aligned}\underline{beef}_{16} &= \mathbf{11} * 16^3 + \mathbf{14} * 16^2 + \mathbf{14} * 16^1 + \mathbf{15} * 16^0 \\ &= 11 * 4096 + 14 * 256 + 14 * 16 + 15 \\ &= 48879\end{aligned}$$

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke

- Welche natürlichen Zahlen lassen sich mit gegebener Wortbreite darstellen?

Wortbreite	Wertebereich
1	$0 \dots 1$
2	$0 \dots 3$
4	$0 \dots 15$
8	$0 \dots 255$
16	$0 \dots 65.535$
32	$0 \dots 4.294.967.295$
$n$	$0 \dots 2^n - 1$

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke



- Gegeben: natürliche Zahl  $n$
- Gesucht: Darstellung von  $n$  im Stellenwertsystem mit Basis  $B \geq 2$
- Verwende als Ziffern  $0, 1, \dots, B - 1$
- Schreibe von **rechts nach links** in die Ausgabe

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke

## Algorithmus

- 1 Berechne  $q$  und  $r$  als Quotient und Divisionsrest von  $n/B$ .
- 2 Schreibe den Rest  $r$  links an die Ausgabe.
- 3 Falls  $q \neq 0$ , weiter bei Punkt 1 mit  $n \leftarrow q$ .
- 4 Sonst Ende.

# Beispiel: Darstellung in Basis $B$

Bestimme die Binärdarstellung ( $B = 2$ ) von  $n = 42$ .

- $42/2 = 21$  Rest **0**
- $21/2 = 10$  Rest **1**
- $10/2 = 5$  Rest **0**
- $5/2 = 2$  Rest **1**
- $2/2 = 1$  Rest **0**
- $1/2 = 0$  Rest **1**
- Fertig, weil  $q = 0$ .
- Ergebnis 101010<sub>2</sub>
- von unten nach oben abgelesen

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke

- Wortbreite 1:  $0+0=0$ ;  $0+1=1$ ;  $1+0=1$ ;  $1+1=?$
- $1+1=0$  mit **Übertrag 1**
- Damit weiter wie schriftliche Addition
- Beispiel:  $42 + 6$  (in Binärdarstellung:  $101010_2$  und  $110_2$ )

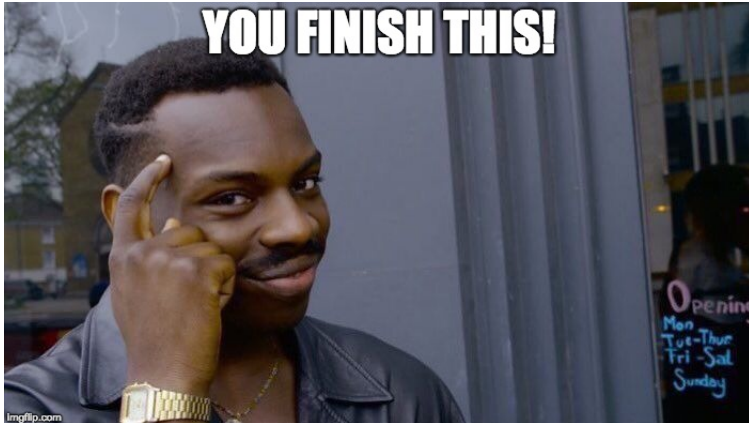
$$\begin{array}{r} 101010 \\ + 000110 \\ \hline 0 \end{array}$$

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke



Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke

## Rechnerarithmetik

- Darstellung negativer Zahlen
- Subtraktion
- Multiplikation
- Division
- und Schaltungen dafür

## Zum Nachdenken

Definiere die Addition von Bits mit Hilfe der Grundoperationen.

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke



# 2 Werte und Typen



Exkursion:  
Datenrepräsentation

**Werte und  
Typen**

Variable

Ausdrücke



- Ein Datentyp besteht aus einer Menge von **Werten** und **Operationen** auf diesen Werten (**Semantik**).
- **Literale** sind die **Darstellung** (als **Zeichenkette**) von Werten des Datentyps (**Syntax**).

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und Typen

Variable

Ausdrücke

- Die ganze Zahl *16* als Wert wird z.B. durch das Literal *16* dargestellt, aber auch durch *0x10* (hexadezimale Darstellung) und *0b10000* (binäre Darstellung).
- Die Zeichenkette (der String) *'Hallo'* als Wert wird durch die Literale *'Hallo'*, *"Hallo"* und *'''Hallo'''* dargestellt.
- *200.0* wird durch *200.0* dargestellt, aber auch durch *2.0e+2* (Exponentendarstellung  $2.0 * 10^2$ ).

Exkursion:  
Datenrepräsentation

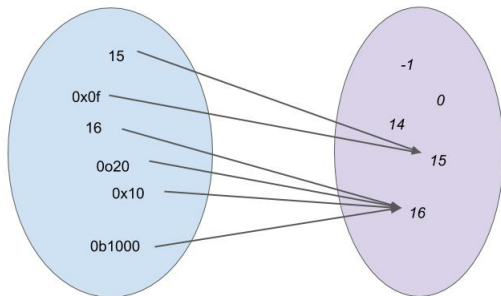
Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke

## Darstellung (Syntax)

## Wertemenge (Semantik)



Exkursion:  
Datenreprä-  
sentation

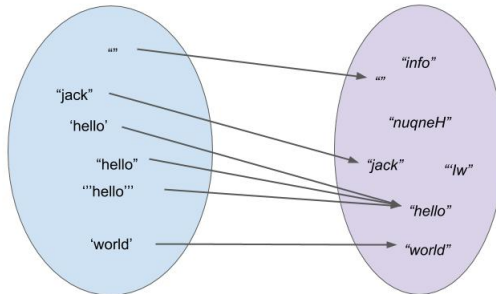
Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke

## Darstellung (Syntax)

## Wertemenge (Semantik)



Exkursion:  
Datenreprä-  
sentation

Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke

- In Python besteht jeder Wert aus zwei Teilen:

Typ	Interne Repräsentation des Wertes
-----	-----------------------------------

- Die interne Repräsentation ist ein Bitmuster im Speicher, das entsprechend des Typs interpretiert wird.
- Beispiele

16	↔	int	<i>0x10</i>
2.24E44	↔	float	<i>0x10</i>
3.14159	↔	float	<i>0x40490fd0</i>
1078530000	↔	int	<i>0x40490fd0</i>
"hello"	↔	string	<i>0x68656c6c6f00</i>

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke

# 3 Variable



Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

**Variable**

Ausdrücke

- Werte können mit einem Namen (**Variablennamen**, **Bezeichner**, **Identifizier**) versehen werden. Dazu wird der Bezeichner auf der linken Seite und ein Ausdruck auf der rechten Seite eines Gleichheitszeichens geschrieben. Diese Operation heißt **Zuweisung**.

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke

## Python-Interpreter

```
>>> spam = 111
>>> spam
111
```

- Man sagt: Die *Variable* `spam` erhält den *Wert* von 111.



- Der **Zustand** eines Programms kann vollständig durch die **Belegung der Variablen** mit Werten und den aktuellen Ausführungspunkt beschrieben werden.

## Python-Interpreter

```
>>> spam = 123  
>>> egg = 'spam'
```

- Variablenbelegung nach der Ausführung:

Global frame	
spam	123
egg	"spam"

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke

- Ein Bezeichner besteht aus Buchstaben, Unterstrichen und Ziffern. Das erste Zeichen darf keine Ziffer sein.

## Python-Interpreter

```
>>> Brägele = 1
>>> Kaltes Wasser = 2
File "<stdin>", line 1
    Kaltes Wasser = 2
                  ^
```

SyntaxError: invalid syntax

```
>>> 2you = 3
File "<stdin>", line 1
    2you = 3
     ^
```

SyntaxError: invalid syntax

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke

## Python-Interpreter

```
>>> class = 'Theory'  
File "<stdin>", line 1  
    class = 'Theory'  
        ^
```

SyntaxError: invalid syntax

**Schlüsselwörter** können nicht als Bezeichner benutzt werden:

False	class	finally	is	return
None	continue	for	lambda	try
True	def	from	nonlocal	while
and	del	global	not	with
as	elif	if	or	yield
assert	else	import	pass	
break	except	in	raise	

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke

- Variablen sind erst verwendbar, nachdem ihnen ein Wert zugewiesen wurde.

## Python-Interpreter

```
>>> spam = 3
```

```
>>> spam
```

```
3
```

```
>>> egg
```

```
Traceback (most recent call last): ...
```

```
NameError: name 'egg' is not defined
```

```
>>> Spam
```

```
Traceback (most recent call last): ...
```

```
NameError: name 'Spam' is not defined
```

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke

# 4 Ausdrücke



Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

Variable

**Ausdrücke**

- Wir kennen bereits **Operatoren** auf Zahlen: +, −, \*, ...
- **Ausdrücke** werden aus Operatoren, Literalen und Variablen zusammengesetzt.
- Die **Auswertung eines Ausdrucks** liefert entweder einen (Typ-) Fehler oder einen Wert.

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und Typen

Variable

Ausdrücke

# Auswertung von Ausdrücken: Operatorpräzedenz



- Die **Auswertung eines Ausdrucks** beginnt bei den Literalen und Variablen und wendet dann die Operatoren auf die Werte der Teilausdrücke an.
- Bei arithmetischen Ausdrücken gelten die üblichen **Präzedenzregeln**:
  - immer die Klammerung zuerst beachtend,
  - dann die Exponentiation auswertend,
  - danach Multiplikation und Division,
  - dann Addition und Subtraktion,
  - bei gleicher Präzedenz wird von von links nach rechts ausgewertet, außer bei der Exponentiation

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke

## Python-Interpreter

```
>>> spam = 3
>>> 3*1**spam
3
>>> (3*1)**spam
27
>>> 2*spam-1//2
6
>>> spam ** spam ** spam
7625597484987
```

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke



- Strings verketteten mit dem Operator '+' (**Konkatenation**)

## Python-Interpreter

```
>>> 'spam' + 'egg'  
'spamegg'
```

- Strings mit ganzen Zahlen multiplizieren (Python)

## Python-Interpreter

```
>>> 3 * 'spam'  
'spamspamspam'  
>>> 0 * 'spam'  
''  
>>> -2 * 'spam'  
''
```

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke

- Auf der rechten Seite einer Zuweisung dürfen Ausdrücke auftreten:

## Python-Interpreter

```
>>> spam = 42
>>> egg = spam//7
>>> egg
6
```

- Es wird immer erst der Wert der rechten Seite bestimmt, dann an die Variable zugewiesen:

## Python-Interpreter

```
>>> spam = 42
>>> spam = spam * 2
>>> spam
84
```

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und  
Typen

Variable

Ausdrücke



- Ein Datentyp besteht aus einer Menge von **Werten** und **Operationen** auf diesen Werten (**Semantik**).
- **Literale** sind die **Darstellung** (als **Zeichenkette**) von Werten des Datentyps (**Syntax**).
- Jeder Wert hat einen bestimmten **Typ**.
- Werte erhalten durch **Zuweisung** einen Namen (**Variable**).
- Der Wert einer Variablen kann sich ändern.
- Ausdrücke werden aus Operatoren, Literalen und Variablen gebildet.
- Sie haben einen Wert!
- Bei einer Zuweisung wird immer erst die rechte Seite ausgewertet, dann wird der Wert zugewiesen!

Exkursion:  
Datenrepräsentation

Werte und Typen

Variable

Ausdrücke