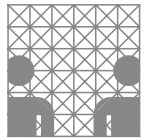
Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

MIN-Fakultät
Fachbereich Informatik



64-040 Modul InfB-RSB
Rechnerstrukturen und Betriebssysteme

https://tams.informatik.uni-hamburg.de/lectures/2020ws/vorlesung/rsb

– Kapitel 2 –

Andreas Mäder

Universität Hamburg
Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften
Fachbereich Informatik

Technische Aspekte Multimodaler Systeme

Wintersemester 2020/2021

Kapitel 2

Informationsverarbeitung

Definition: Digitalrechner

Tanenbaum, Austin: *Rechnerarchitektur* [TA14]

Ein Computer oder Digitalrechner ist eine Maschine, die Probleme für den Menschen lösen kann, indem sie die ihr gegebenen Befehle ausführt. Eine Befehlssequenz, die beschreibt, wie eine bestimmte Aufgabe auszuführen ist, nennt man ***Programm****.*
Die elektronischen Schaltungen eines Computers verstehen eine begrenzte Menge einfacher Befehle, in die alle Programme konvertiert werden müssen, bevor sie sich ausführen lassen. . . .

- Probleme lösen: durch Abarbeiten einfacher **Befehle**
- Abfolge solcher Befehle ist ein **Programm**
- Maschine versteht nur ihre eigene **Maschinensprache**

Befehlssatz und Semantic Gap

. . . verstehen eine begrenzte Menge einfacher Befehle . . .

Typische Beispiele für solche Befehle:

- addiere die zwei Zahlen in Register R1 und R2
- überprüfe, ob das Resultat Null ist
- kopiere ein Datenwort von Adresse 13 ins Register R4

$\Rightarrow$ extrem niedriges Abstraktionsniveau

- natürliche Sprache immer mit Kontextwissen
  Beispiel: „vereinbaren Sie einen Termin mit dem Steuerberater“

- **Semantic gap**:
  Diskrepanz zu einfachen elementaren Anweisungen
- Vermittlung zwischen Mensch und Computer erfordert zusätzliche Abstraktionsebenen und Software

Rechnerarchitektur bzw. -organisation

- Definition solcher Abstraktionsebenen bzw. Schichten
- mit möglichst einfachen und sauberen Schnittstellen
- jede Ebene definiert eine neue (mächtigere) **Sprache**

- diverse Optimierungs-Kriterien/Möglichkeiten:
  - Performanz, Größe, Leistungsaufnahme ...
  - Kosten: Hardware, Software, Entwurf ...
  - Zuverlässigkeit, Wartungsfreundlichkeit, Sicherheit ...

Achtung / Vorsicht:

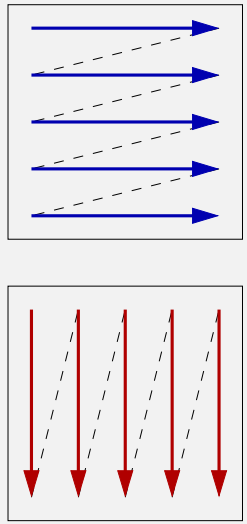
- Gesamtverständnis erfordert Kenntnisse auf allen Ebenen
- häufig Rückwirkung von unteren auf obere Ebenen

Rückwirkung von unteren Ebenen: Arithmetik


```
public class Overflow {
  ...
  public static void main( String[] args ) {
    printInt( 0 );                      //  0
    printInt( 1 );                      //  1
    printInt( -1 );                     // -1
    printInt( 2+(3*4) );                // 14
    printInt( 100*200*300 );            // 6000000
    printInt( 100*200*300*400 );        // -1894967296          (!)
    printDouble( 1.0 );                 // 1.0
    printDouble( 0.3 );                 // 0.3
    printDouble( 0.1 + 0.1 + 0.1 );     // 0.30000000000000004 (!)
    printDouble( (0.3) - (0.1+0.1+0.1) ); // -5.5E-17           (!)
  }
}
```

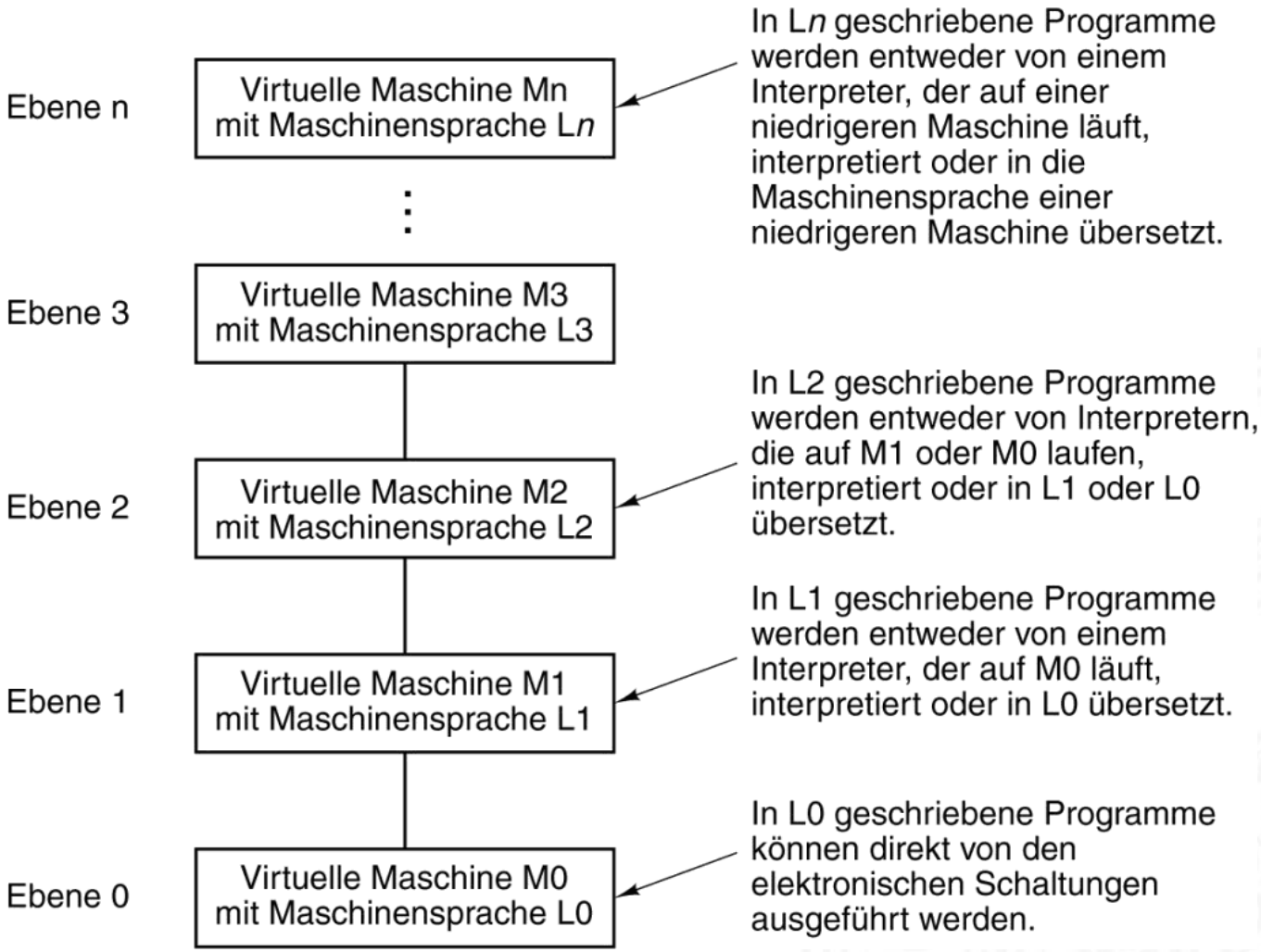
Rückwirkung von unteren Ebenen: Performanz


```
public static double sumRowCol( double[][] matrix ) {
  int rows = matrix.length;
  int cols = matrix[0].length;
  double sum = 0.0;
  for( int r = 0; r < rows; r++ ) {
    for( int c = 0; c < cols; c++ ) {
      sum += matrix[r][c];
    }
  }
  return sum;
}
```



Matrix creation (5000×5000)	2105 ms	
Matrix row-col summation	75 ms	
Matrix col-row summation	383 ms	$\Rightarrow$ 5 × langsamer
Sum = 600,8473695346258 / 600,8473695342268		$\Rightarrow$ andere Werte

Maschine mit mehreren Ebenen



Tanenbaum: *Structured Computer Organization* [TA14]

Abstraktionsebenen und Sprachen

- jede Ebene definiert eine neue (mächtigere) Sprache
- Abstraktionsebene $\Longleftrightarrow$ Sprache
- L0 $<$ L1 $<$ L2 $<$ L3 $<$ ...

Software zur Übersetzung zwischen den Ebenen

- **Compiler**:
  Erzeugen eines neuen Programms, in dem jeder L1 Befehl durch eine zugehörige Folge von L0 Befehlen ersetzt wird
- **Interpreter**:
  direkte Ausführung der L0 Befehlsfolgen zu jedem L1 Befehl

Virtuelle Maschine

- für einen Interpreter sind L1 Befehle einfach nur Daten
- die dann in die zugehörigen L0 Befehle umgesetzt werden

$\Rightarrow$ dies ist gleichwertig mit einer:

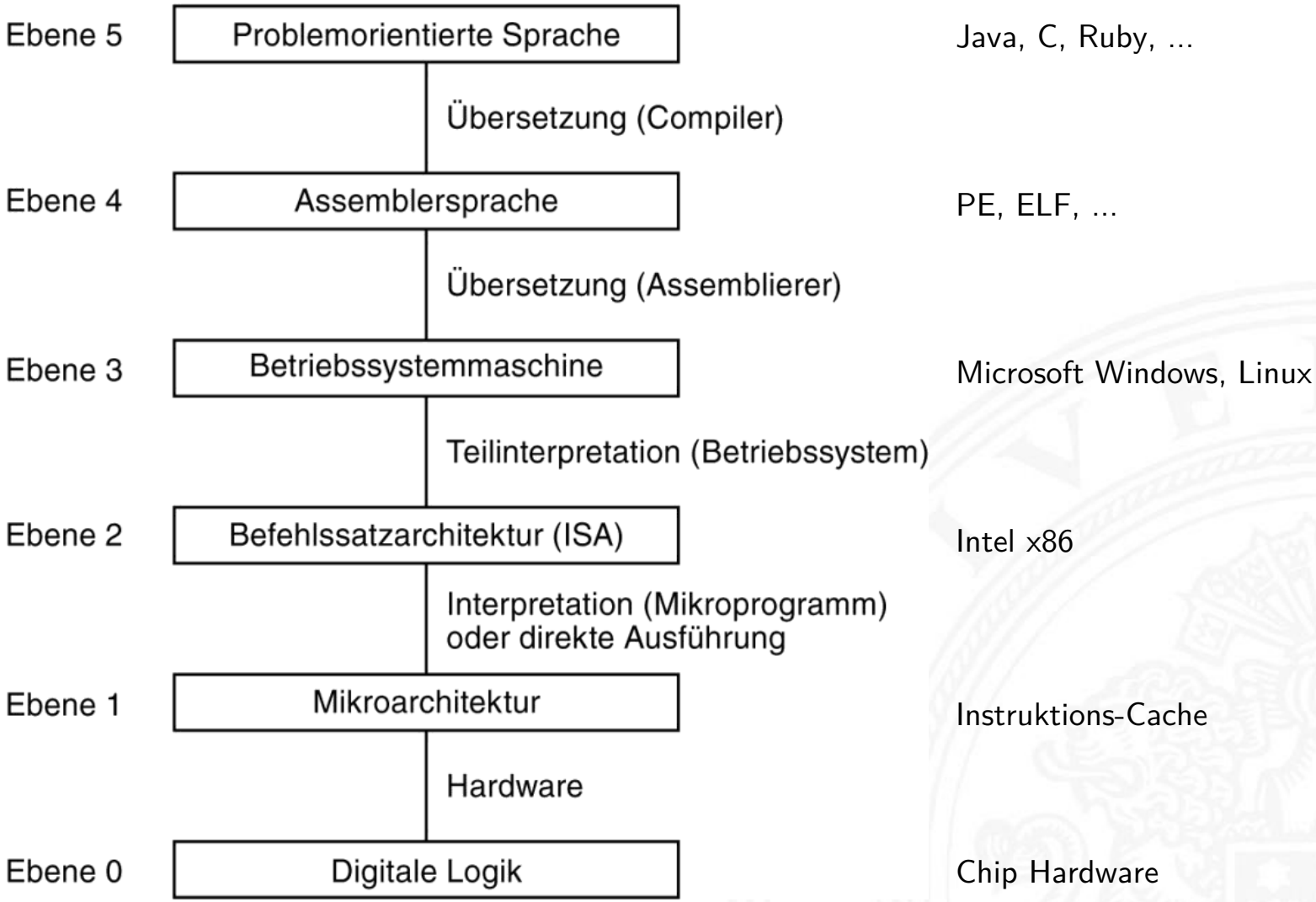
Virtuellen Maschine M1 für die Sprache L1

- ein Interpreter erlaubt es, jede beliebige Maschine zu simulieren
- und zwar auf jeder beliebigen (einfacheren) Maschine M0
- Programmierer muss sich nicht um untere Schichten kümmern
- Nachteil: die virtuelle Maschine ist meistens langsamer als die echte Maschine M1
- Maschine M0 kann wiederum eine virtuelle Maschine sein (!)
- unterste Schicht ist jeweils die Hardware

Übliche Einteilung der Ebenen

Anwendungsebene	Hochsprachen (Java, Smalltalk . . .)
Assemblerebene	low-level Anwendungsprogrammierung
Betriebssystemebene	Betriebssystem, Systemprogrammierung
Rechnerarchitektur	Schnittstelle zwischen SW und HW, Befehlssatz, Datentypen
Mikroarchitektur	Steuerwerk und Operationswerk: Register, ALU, Speicher . . .
Logikebene	Grundschaltungen: Gatter, Flipflops . . .
Transistorebene	Elektrotechnik, Transistoren, Chip-Layout
Physikalische Ebene	Geometrien, Chip-Fertigung

Beispiel: Sechs Ebenen



Hinweis: Ebenen vs. Vorlesungen im BSc-Studiengang

Anwendungsebene:	SE1+SE2, AD ...
Assemblerebene:	RSB
Betriebssystemebene:	RSB, VSS
Rechnerarchitektur:	RSB
Mikroarchitektur:	RSB
Logikebene:	RSB
Device-Level:	–

HelloWorld: Anwendungsebene Quellcode

```
/* HelloWorld.c - print a welcome message */

#include <stdio.h>

int main( int argc, char ** argv ) {
  printf( "Hello, world!\n" );
  return 0;
}
```

Übersetzung

```
gcc -S HelloWorld.c
gcc -c HelloWorld.c
gcc -o HelloWorld.exe HelloWorld.c
```

HelloWorld: Assemblerebene `cat HelloWorld.s`

```
        .file   "HelloWorld.c"
        .text
        .section        .rodata
.LC0:
        .string "Hello, world!"
        .text
        .globl  main
        .type   main, @function
main:
.LFB0:
        .cfi_startproc
        pushq   %rbp
        .cfi_def_cfa_offset 16
        .cfi_offset 6, -16
        movq    %rsp, %rbp
        .cfi_def_cfa_register 6
        subq    $16, %rsp
        movl    %edi, -4(%rbp)
        movq    %rsi, -16(%rbp)
        leaq    .LC0(%rip), %rdi
        call    puts@PLT
        movl    $0, %eax
        leave
        .cfi_def_cfa 7, 8
        ret
        .cfi_endproc
.LFE0:
        .size   main, .-main
        .ident  "GCC: (Ubuntu 7.5.0-3ubuntu1~18.04) 7.5.0"
        .section        .note.GNU-stack,"",@progbits
```

HelloWorld: Objectcode `od -x HelloWorld.o`

```
0000000 457f 464c 0102 0001 0000 0000 0000 0000
0000020 0001 003e 0001 0000 0000 0000 0000 0000
0000040 0000 0000 0000 0000 02d8 0000 0000 0000
0000060 0000 0000 0040 0000 0000 0040 000d 000c
0000100 4855 e589 8348 10ec 7d89 48fc 7589 48f0
0000120 3d8d 0000 0000 00e8 0000 b800 0000 0000
0000140 c3c9 6548 6c6c 2c6f 7720 726f 646c 0021
0000160 4700 4343 203a 5528 7562 746e 2075 2e37
0000200 2e35 2d30 7533 7562 746e 3175 317e 2e38
0000220 3430 2029 2e37 2e35 0030 0000 0000 0000
0000240 0014 0000 0000 0000 7a01 0052 7801 0110
0000260 0c1b 0807 0190 0000 001c 0000 001c 0000
0000300 0000 0000 0022 0000 4100 100e 0286 0d43
0000320 5d06 070c 0008 0000 0000 0000 0000 0000
0000340 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000360 0001 0000 0004 fff1 0000 0000 0000 0000
...
```

HelloWorld: Disassemblieren `objdump -d HelloWorld.o`

```
HelloWorld.o:     Dateiformat elf64-x86-64

Disassembly of section .text:

0000000000000000 <main>:
   0:   55                      push   %rbp
   1:   48 89 e5                mov    %rsp,%rbp
   4:   48 83 ec 10             sub    $0x10,%rsp
   8:   89 7d fc                mov    %edi,-0x4(%rbp)
   b:   48 89 75 f0             mov    %rsi,-0x10(%rbp)
   f:   48 8d 3d 00 00 00 00    lea    0x0(%rip),%rdi
# 16 <main+0x16>
  16:   e8 00 00 00 00          callq  1b <main+0x1b>
  1b:   b8 00 00 00 00          mov    $0x0,%eax
  20:   c9                      leaveq
  21:   c3                      retq
```

HelloWorld: Maschinencode `od -x HelloWorld.exe`

```
0000000 457f 464c 0102 0001 0000 0000 0000 0000
0000020 0003 003e 0001 0000 0530 0000 0000 0000
0000040 0040 0000 0000 0000 1930 0000 0000 0000
0000060 0000 0000 0040 0038 0009 0040 001d 001c
0000100 0006 0000 0004 0000 0040 0000 0000 0000
0000120 0040 0000 0000 0000 0040 0000 0000 0000
0000140 01f8 0000 0000 0000 01f8 0000 0000 0000
0000160 0008 0000 0000 0000 0003 0000 0004 0000
0000200 0238 0000 0000 0000 0238 0000 0000 0000
0000220 0238 0000 0000 0000 001c 0000 0000 0000
0000240 001c 0000 0000 0000 0001 0000 0000 0000
0000260 0001 0000 0005 0000 0000 0000 0000 0000
0000300 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000320 0838 0000 0000 0000 0838 0000 0000 0000
0000340 0000 0020 0000 0000 0001 0000 0006 0000
0000360 0db8 0000 0000 0000 0db8 0020 0000 0000
...
```

Hardware: „*Versteinerte Software*“

- eine virtuelle Maschine führt L1 Software aus
- und wird mit Software oder Hardware realisiert

⇒ Software und Hardware sind logisch äquivalent
„Hardware is just petrified Software“ Karen Panetta Lentz
– jedenfalls in Bezug auf L1 Programmausführung

Entscheidung für Software- oder Hardwarerealisierung?

- abhängig von vielen Faktoren, u.a.
- Kosten, Performanz, Zuverlässigkeit
- Anzahl der (vermuteten) Änderungen und Updates
- Sicherheit gegen Kopieren ...

Information

- **Information** $\sim$ abstrakter Gehalt einer Aussage
- Die Aussage selbst, mit der die Information dargestellt bzw. übertragen wird, ist eine **Repräsentation** der Information
- im Kontext der Informationsverarbeitung / -übertragung: **Nachricht**
- Das Ermitteln der Information aus einer Repräsentation heißt **Interpretation**
- Das Verbinden einer Information mit ihrer Bedeutung in der realen Welt heißt **Verstehen**

Repräsentation: Beispiele

Beispiel: Mit der Information „25“ sei die abstrakte Zahl gemeint, die sich aber nur durch eine Repräsentation angeben lässt:

- Text deutsch: fünfundzwanzig
- Text englisch: twentyfive

  ...
- Zahl römisch: XXV
- Zahl dezimal: 25
- Zahl binär: 11001
- Zahl Dreiersystem: 221

  ...
- Morse-Code: ••−−− •••••

Interpretation: Information vs. Repräsentation

- Wo auch immer Repräsentationen auftreten, meinen wir eigentlich die Information, z.B.:

$$5 \cdot (2 + 3) = 25$$

- Die Information selbst kann man überhaupt nicht notieren (!)
- Es muss immer Absprachen geben über die verwendete Repräsentation. Im obigen Beispiel ist implizit die Dezimaldarstellung gemeint, man muss also die Dezimalziffern und das Stellenwertsystem kennen.

- Repräsentation ist häufig mehrstufig, z.B.

Zahl:	Dezimalzahl	347
Ziffer:	4-bit binär	0011 0100 0111 (BCD)
Bit:	elektrische Spannung	0,1V 0,1V 2,5V 2,5V ...

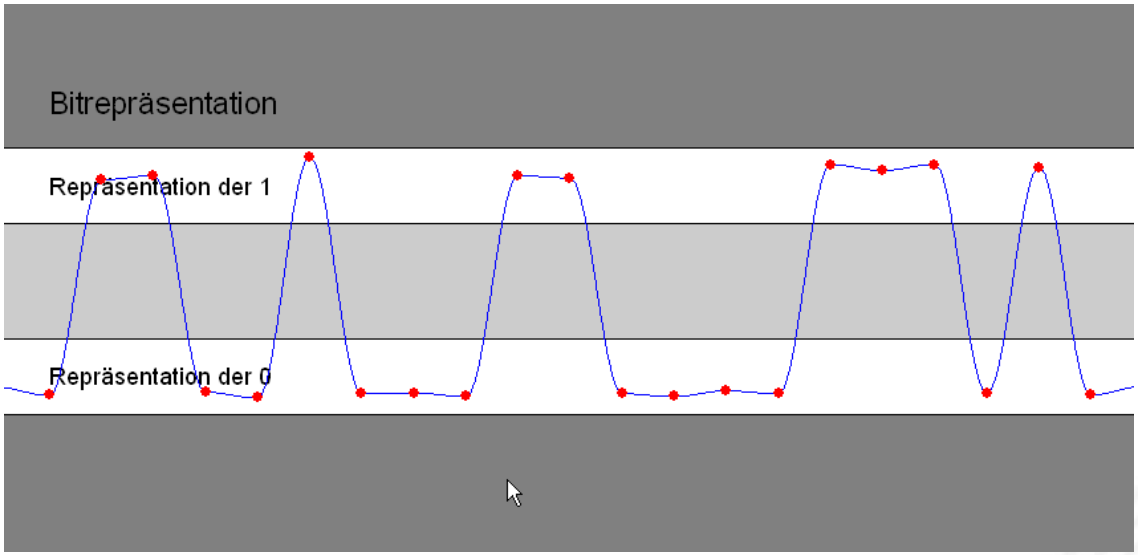
Repräsentation: Ebenen

In jeder (Abstraktions-) Ebene gibt es beliebig viele Alternativen der Repräsentation

- Auswahl der jeweils effizientesten Repräsentation
- unterschiedliche Repräsentationen je nach Ebene

- Beispiel: Repräsentation der Zahl $\pi = 3,1415\ldots$ im
  - x86 Prozessor — 80-bit Binärdaten, Spannungen
  - Hauptspeicher — 64-bit Binärdaten, Spannungen
  - Festplatte — codierte Zahl, magnetische Bereiche
  - CD-ROM — codierte Zahl, Land/Pits-Bereiche
  - Papier — Text, „3,14159265...“
  - ...

Repräsentation: digitale und analoge Welt



Beispiel: Binärwerte in 2,5 V CMOS-Technologie

K. von der Heide [Hei05]
Interaktives Skript T1, demobitrep

- Spannungsverlauf des Signals ist kontinuierlich
- Abtastung zu bestimmten Zeitpunkten
- Quantisierung über abgegrenzte Wertebereiche:
  - $0,0\,V \leq v(t) \leq 0,7\,V$: Interpretation als 0
  - $1,7\,V \leq v(t) \leq 2,5\,V$: Interpretation als 1
  - außerhalb und innerhalb: ungültige Werte

Information vs. Nachricht

- Aussagen
  - N1 Er besucht General Motors
  - N2 Unwetter am Alpenostrand
  - N3 Sie nimmt ihren Hut

- Alle Aussagen sind aber doppel/mehrdeutig:
  - N1 Firma? Militär?
  - N2 Alpen-Ostrand? Alpeno-Strand?
  - N3 tatsächlich oder im übertragenen Sinn?

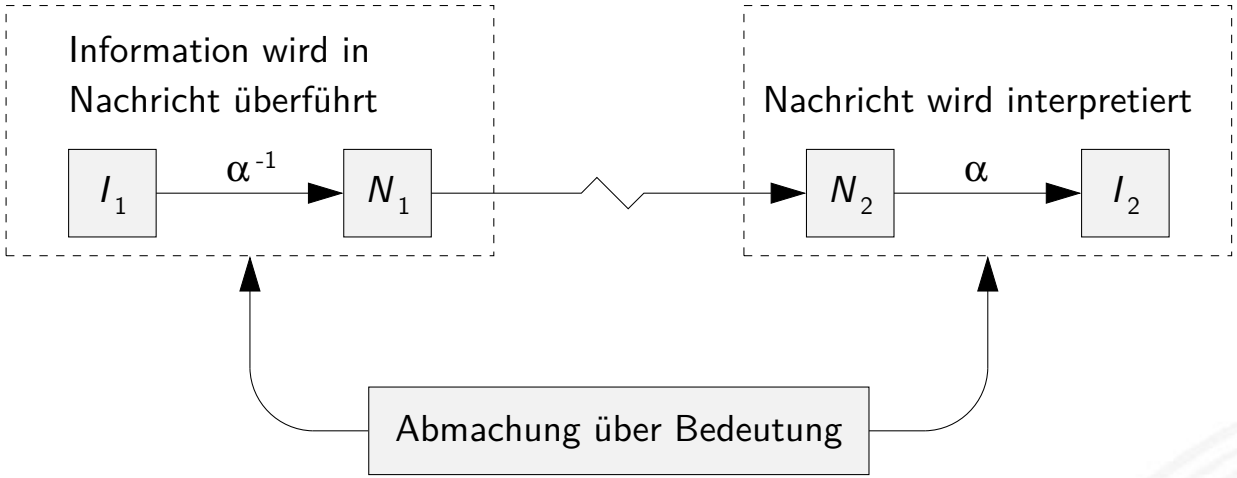
$\Rightarrow$ **Interpretation**: Es handelt sich um drei **Nachrichten**, die jeweils zwei verschiedene **Informationen** enthalten

Information vs. Nachricht (cont.)

- **Information**: Wissen um oder Kenntnis über Sachverhalte und Vorgänge – als Begriff nicht informationstheoretisch abgestützt, sondern an umgangssprachlicher Bedeutung orientiert
- **Nachricht**: Zeichen oder Funktionen, die Informationen zum Zweck der Weitergabe aufgrund bekannter oder unterstellter Abmachungen darstellen (DIN 44 300)

- Beispiel für eine Nachricht:
  Temperaturangabe in Grad Celsius oder Fahrenheit
- Die Nachricht ist also eine Darstellung von Informationen und nicht der Übermittlungsvorgang

Modell der Informationsübertragung

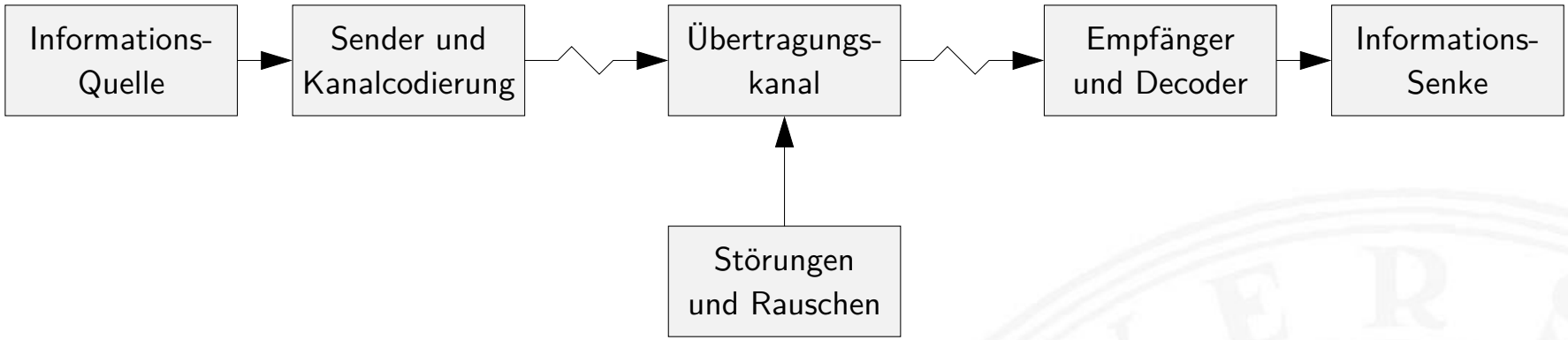


Beschreibung der **Informationsübermittlung**:

- Abbildung α^{-1} erzeugt Nachricht N_1 aus Information I_1
- Übertragung der Nachricht an den Zielort
- Interpretation α der Nachricht N_2 liefert die Information I_2

Modell der Informationsübertragung (cont.)

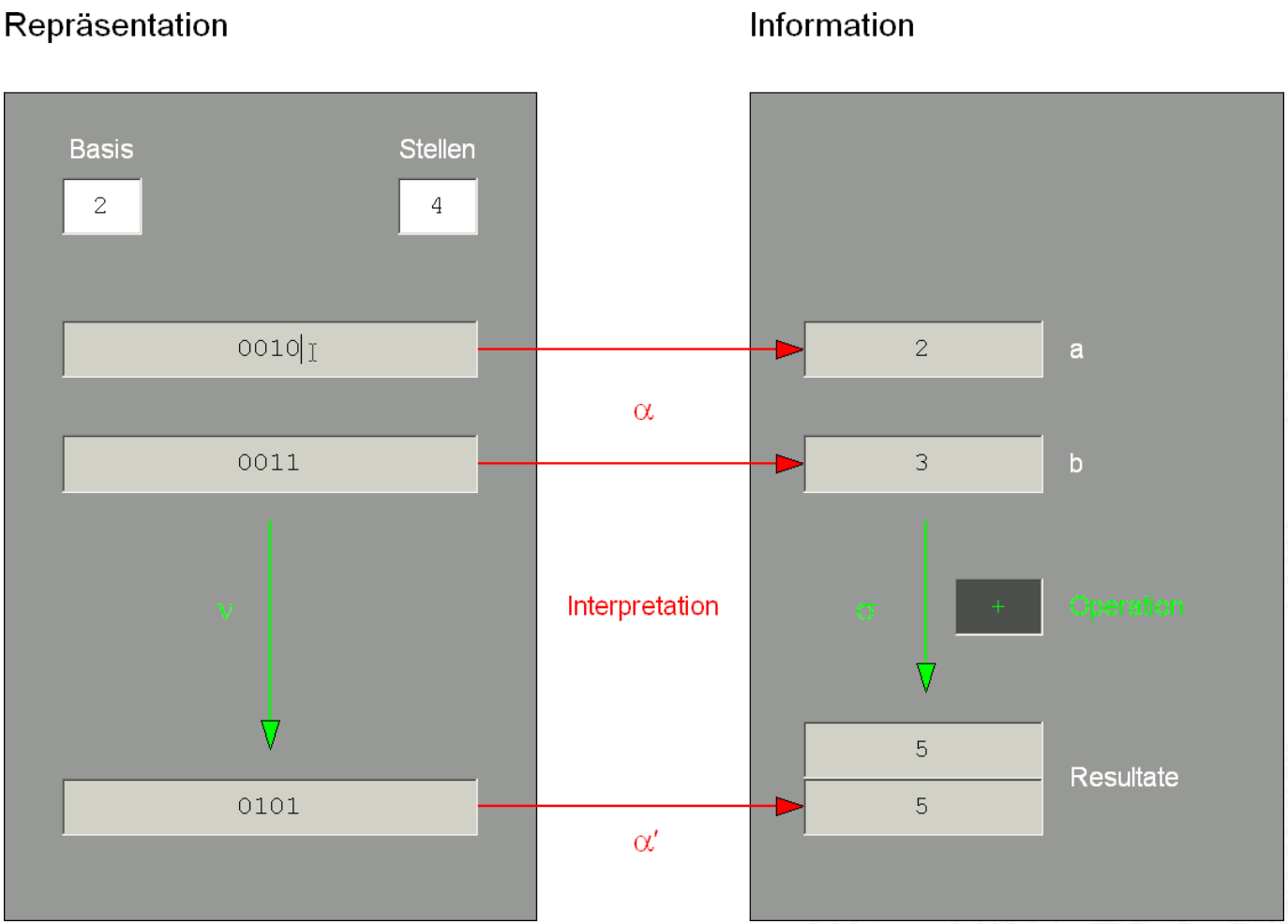
Nachrichtentechnisches Modell: **Störungen** bei der Übertragung



Beispiele

- Bitfehler beim Speichern
- Störungen beim Funkverkehr
- Schmutz oder Kratzer auf einer CD/DVD
- usw.

Verarbeitung von Information



Repräsentation natürlicher Zahlen durch Stellenwertsysteme

K. von der Heide [Hei05] Interaktives Skript T1, inforepres

Informationstreue

Ergibt α gefolgt von σ dasselbe wie ν gefolgt von α',
dann heißt ν **informationstreu** $\sigma(\alpha(r)) = \alpha'(\nu(r))$

- α' ist die Interpretation des Resultats der Operation ν
  häufig sind α und α' gleich, aber nicht immer

- ist σ injektiv, so nennen wir ν eine **Umschlüsselung**
  durch die Verarbeitung σ geht keine Information verloren
- ist ν injektiv, so nennen wir ν eine **Umcodierung**
- wenn σ innere Verknüpfung der Menge $\mathcal{J}$ und ν innere
  Verknüpfung der Menge $\mathcal{R}$, dann ist α ein **Homomorphismus**
  der algebraischen Strukturen $(\mathcal{J}, \sigma)$ und $(\mathcal{R}, \nu)$
- ist σ bijektiv, liegt ein **Isomorphismus** vor

Informationstreue (cont.)

Welche mathematischen Eigenschaften gelten bei der Informationsverarbeitung, in der gewählten Repräsentation?

Beispiele

- Gilt $x^2 \geq 0$?
  - float: ja
  - signed integer: nein
- Gilt $(x + y) + z = x + (y + z)$?
  - integer: ja
  - float: nein

  1.0E20 + (-1.0E20 + 3.14) = 0
- Details folgen später

Beschreibung von Information durch Zeichen

- **Zeichen**: engl. *character*
  Element z aus einer zur Darstellung von Information vereinbarten, einer Abmachung unterliegenden, endlichen Menge Z von Elementen

- Die Menge Z heißt **Zeichensatz** oder **Zeichenvorrat**
  engl. *character set*

- Beispiele
  - $\mathcal{Z}_1 = \{0, 1\}$
  - $\mathcal{Z}_2 = \{0, 1, 2, \ldots, 9, A, B, C, D, E, F\}$
  - $\mathcal{Z}_3 = \{\alpha, \beta, \gamma, \ldots, \omega\}$
  - $\mathcal{Z}_4 = \{CR, LF\}$

Beschreibung von Information durch Zeichen (cont.)

- **Numerischer Zeichensatz**: Zeichenvorrat aus Ziffern und/oder Sonderzeichen zur Darstellung von Zahlen
- **Alphanumerischer Zeichensatz**: Zeichensatz aus (mindestens) den Dezimalziffern und den Buchstaben des gewöhnlichen Alphabets, meistens auch mit Sonderzeichen (Leerzeichen, Punkt, Komma usw.)

Binärzeichen

- **Binärzeichen**: engl. *binary element, binary digit, bit*
  Jedes der Zeichen aus einem Vorrat / aus einer Menge von zwei Symbolen

- Beispiele
  - $\mathcal{Z}_1 = \{0, 1\}$
  - $\mathcal{Z}_2 = \{\text{high}, \text{low}\}$
  - $\mathcal{Z}_3 = \{\text{rot}, \text{grün}\}$
  - $\mathcal{Z}_4 = \{+, -\}$

Alphabet

- **Alphabet**: engl. *alphabet*
  Ein in vereinbarter Reihenfolge geordneter Zeichenvorrat $\mathcal{A} = \mathcal{Z}$

- Beispiele
  - $\mathcal{A}_1 = \{0, 1, 2, \ldots, 9\}$
  - $\mathcal{A}_2 = \{\text{Mo}, \text{Di}, \text{Mi}, \text{Do}, \text{Fr}, \text{Sa}, \text{So}\}$
  - $\mathcal{A}_3 = \{\text{A}, \text{B}, \text{C}, \ldots, \text{Z}\}$

Zeichenkette

- **Zeichenkette**: engl. *string*
  Eine Folge von Zeichen
- **Wort**: engl. *word*
  Eine Folge von Zeichen, die in einem gegebenen Zusammenhang als Einheit bezeichnet wird
- Worte mit 8 bit werden als **Byte** bezeichnet
- **Stelle**: engl. *position*
  Die Lage/Position eines Zeichens innerhalb einer Zeichenkette

- Beispiel
  - `s = H e l l o , w o r l d !`

Zahlen- und Zeichendarstellung in RSB

3. Natürliche Zahlen — engl. *integer numbers*
   Festkommazahlen — engl. *fixed point numbers*
   Gleitkommazahlen — engl. *floating point numbers*

4. Arithmetik

5. Aspekte der Textcodierung
   Ad-hoc Codierungen
   ASCII und ISO-8859-1
   Unicode

13. Pointer (Referenzen, Maschinenadressen)

Literatur

[TA14] A.S. Tanenbaum, T. Austin: *Rechnerarchitektur – Von der digitalen Logik zum Parallelrechner*. 6. Auflage, Pearson Deutschland GmbH, 2014. ISBN 978–3–8689–4238–5

[Hei05] K. von der Heide: *Vorlesung: Technische Informatik 1 — interaktives Skript*. Universität Hamburg, FB Informatik, 2005. `tams.informatik.uni-hamburg.de/lectures/2004ws/vorlesung/t1`