

Felix Pistorius  
pistorius@kit.edu

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

# Übung - Digitaltechnik

## 2. Übung

- **Definition** Der Informationsgehalt eines Zeichens hängt logarithmisch von dessen Auftretswahrscheinlichkeit ab:

$$H_e = \log_2 \left( \frac{1}{p} \right)$$

- **Definition** Mittlere Codewortlänge:

$$\bar{m} = \sum_{i=1}^n p(x_i) \cdot m(x_i)$$

- **Definition** Entropie der Sendequelle:

$$H = \sum_{i=1}^n p(x_i) \cdot H_e(x_i) = \sum_{i=1}^n p(x_i) \cdot \lg \frac{1}{p(x_i)}$$

- **Postulat** Es gibt kein Codierungsverfahren mit  $\bar{m} < H$ 
  - $H$  ist das **theoretische Minimum** der mittleren Codewortlänge
- Codierungsverfahren, die  $\bar{m}$  möglichst dicht an ihren möglichen (Minimal-)Wert  $H$  herankommen, heißen **optimale Codes**
- Vereinfacht gesagt gilt für optimale Codes:
  - Häufig auftretende Symbole  
→ möglichst kurze Codewörter
  - seltene Symbole  
→ längere Codewörter

Felix Pistorius  
pistorius@kit.edu

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

# 1. Aufgabe: Fanø-Code

# 1. Aufgabe

- Einige Studenten wollen ihre Verabredungen über das Internet koordinieren.
- Zu diesem Zweck legen sie den Zeitpunkt fest, nur über den Treffpunkt kommt keine Einigkeit zustande.
- Um nun die Übertragungszeiten gering zu halten, beschließen sie, die beliebtesten Treffpunkte im **Fanø-Code** zu kodieren.

# 1. Aufgabe – 1.1

- Die Gaststätten sollen in “billig” und “teuer” eingeteilt werden. Wie groß ist der Informationsgehalt der Aussage “billig”, wenn “billig” Preise bis **max. € 3,00** beinhaltet?

| Gaststätte | Bevorzugt von<br>Anzahl an Studenten | Kosten pro<br>Getränk / € |
|------------|--------------------------------------|---------------------------|
| Brasil     | 1                                    | 4,00                      |
| Dom        | 2                                    | 4,00                      |
| Krokodil   | 1                                    | 3,50                      |
| Miro       | 2                                    | 3,00                      |
| Titanic    | 6                                    | 2,50                      |
| Ubu        | 6                                    | 3,00                      |
| Wien       | 5                                    | 3,50                      |
| Zero       | 3                                    | 3,50                      |

# 1. Aufgabe – 1.1

- Die Gaststätten sollen in “billig” und “teuer” eingeteilt werden. Wie groß ist der Informationsgehalt der Aussage “billig”, wenn “billig” Preise bis **max. € 3,00** beinhaltet?

$$p = \frac{\sum \text{billige Kneipen}}{\sum \text{aller Kneipen}} = \frac{3}{8} = 0,375$$

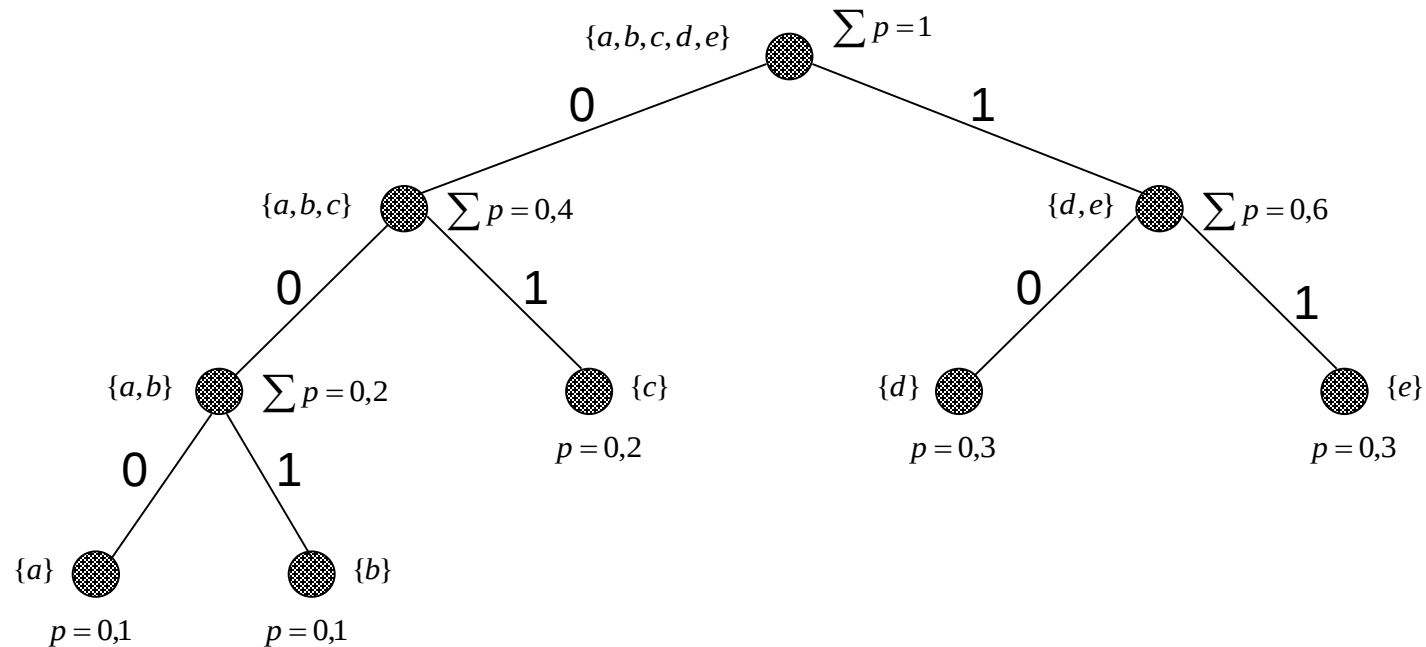
$$H_e = \text{ld} (1/p) = \text{ld} (1/0,375) = \underline{\underline{1,42 \text{ bit}}}$$

- Konstruktionsvorschrift:
  - **Zeichenvorrat** nach **aufsteigender Wahrscheinlichkeit** linear sortieren → lineare Ordnung
  - **Zwei Teilmengen** so konstruieren, dass die **Summenwahrscheinlichkeiten** der beiden Teilmengen **möglichst** gleich groß sind, d.h. die addierten Auftrittswahrscheinlichkeiten der in beiden Teilmengen enthaltenen Zeichen ergeben möglichst die gleiche Summe
  - Die **erste Teilmenge** erhält das Codierungszeichen “0” und die **zweite Teilmenge** eine “1”
  - Mit den jeweils **resultierenden Teilmengen rekursiv** in gleicher Weise fortfahren  
→ bis nur noch 1 Zeichen in resultierenden Teilmengen enthalten ist

# Shannon-Fano-Code

■ Beispiel:

| Zeichen            | a   | b   | c   | d   | e   |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Wahrscheinlichkeit | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,3 |



**Codierung:**

| Zeichen   | a   | b   | c  | d  | e  |
|-----------|-----|-----|----|----|----|
| Kodierung | 000 | 001 | 01 | 10 | 11 |

# 1. Aufgabe – 1.2

- Berechnen Sie die Wahrscheinlichkeit für den Besuch jeder einzelnen Gaststätte. Gehen Sie davon aus, dass die Wahrscheinlichkeit von der Beliebtheit abhängig ist.

| Gaststätte | Bevorzugt von | Kosten pro Getränk / € |
|------------|---------------|------------------------|
| Brasil     | 1             | 4,00                   |
| Dom        | 2             | 4,00                   |
| Krokodil   | 1             | 3,50                   |
| Miro       | 2             | 3,00                   |
| Titanic    | 6             | 2,50                   |
| Ubu        | 6             | 3,00                   |
| Wien       | 5             | 3,50                   |
| Zero       | 3             | 3,50                   |
|            | $\Sigma = 26$ |                        |

Auftrittswahrscheinlichkeit:  
 $p = \text{Einzel El.} / \text{Gesamt}$

$$p(\text{Brasil}) = 1 / 26 \approx 0.0385$$

$$p(\text{Dom}) = 2 / 26 \approx 0.077$$

$$p(\text{Krokodil}) = 1 / 26 \approx 0.0385$$

$$p(\text{Miro}) = 2 / 26 \approx 0.077$$

$$p(\text{Titanic}) = 6 / 26 \approx 0.231$$

$$p(\text{Ubu}) = 6 / 26 \approx 0.231$$

$$p(\text{Wien}) = 5 / 26 \approx 0.192$$

$$p(\text{Zero}) = 3 / 26 \approx 0.115$$

$$\Sigma = 1$$

# 1. Aufgabe – 1.3

| Gaststätte | Bevorzugt von | Kosten pro Getränk / € | p      |
|------------|---------------|------------------------|--------|
| Brasil     | 1             | 4,00                   | 0.0385 |
| Dom        | 2             | 4,00                   | 0.077  |
| Krokodil   | 1             | 3,50                   | 0.0385 |
| Miro       | 2             | 3,00                   | 0.077  |
| Titanic    | 6             | 2,50                   | 0.231  |
| Ubu        | 6             | 3,00                   | 0.231  |
| Wien       | 5             | 3,50                   | 0.192  |
| Zero       | 3             | 4,50                   | 0.115  |

sortieren nach p!

| Gast-<br>stätte | Titanic | Ubu   | Wien  | Zero  | Dom   | Miro  | Brasil | Krokodil |
|-----------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|----------|
| p               | 0,231   | 0,231 | 0,192 | 0,115 | 0,077 | 0,077 | 0,0385 | 0,0395   |

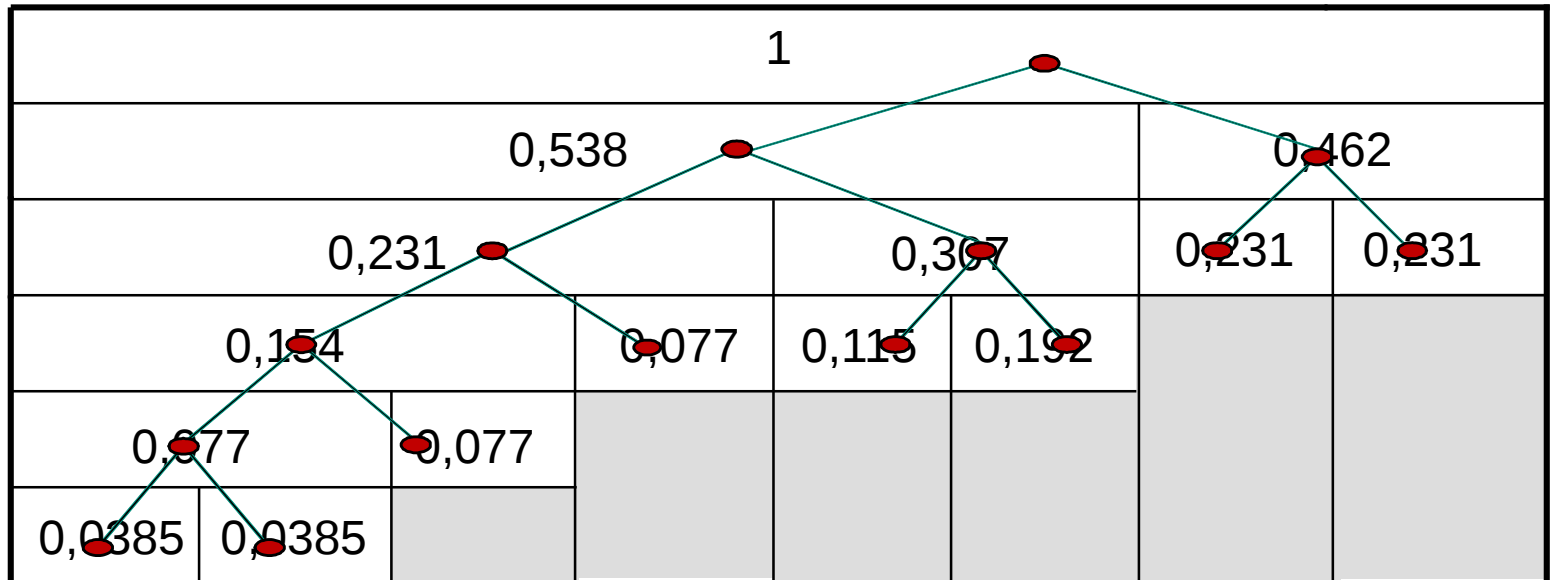
# 1. Aufgabe – 1.3

| Gast-<br>stätte | Krokodil | Brasil | Miro  | Dom   | Zero  | Wien  | Ubu   | Titanic |
|-----------------|----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| p               | 0,0385   | 0,0385 | 0,077 | 0,077 | 0,115 | 0,192 | 0,231 | 0,231   |

|        |        |       |       |       |       |       |       |
|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1      |        |       |       |       |       |       |       |
| 0,538  |        |       |       |       |       | 0,462 |       |
| 0,231  |        |       |       | 0,307 |       | 0,231 | 0,231 |
| 0,154  |        |       | 0,077 | 0,115 | 0,192 |       |       |
| 0,077  |        | 0,077 |       |       |       |       |       |
| 0,0385 | 0,0385 |       |       |       |       |       |       |

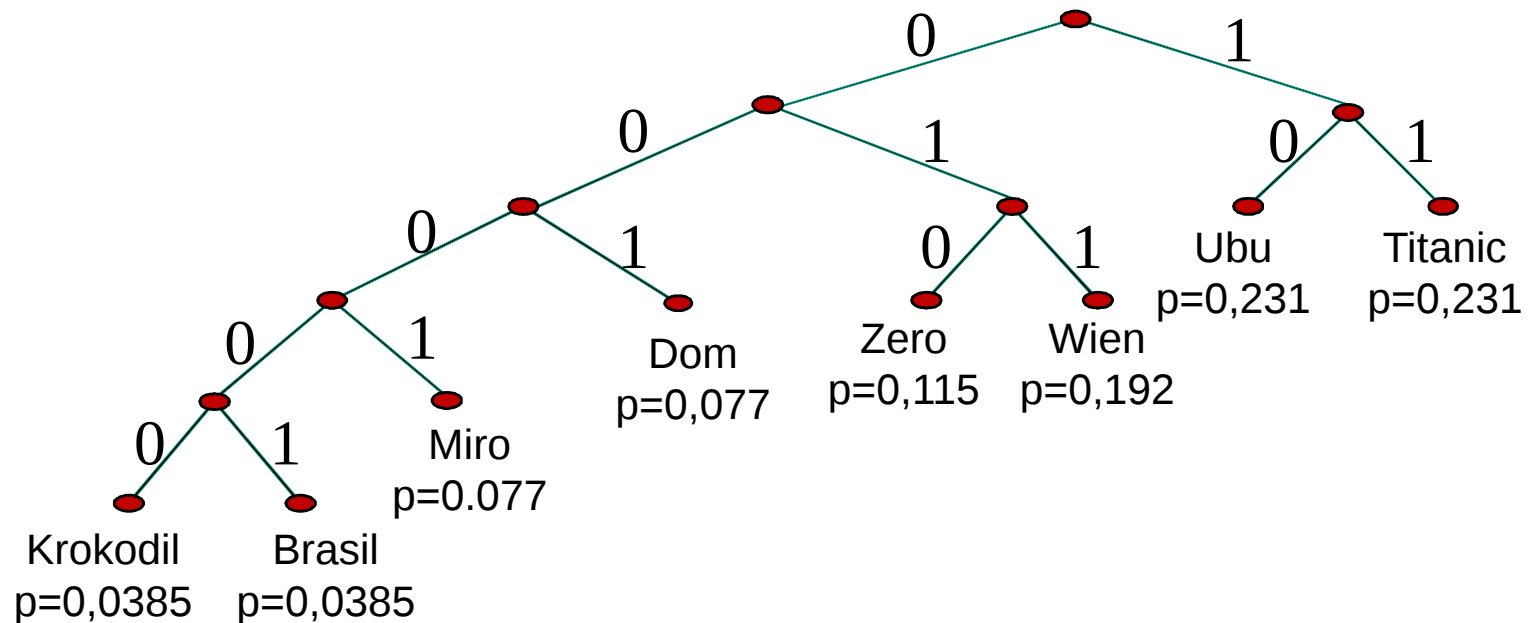
# 1. Aufgabe – 1.3

| Gast-<br>stätte | Krokodil | Brasil | Miro  | Dom   | Zero  | Wien  | Ubu   | Titanic |
|-----------------|----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| p               | 0,0385   | 0,0385 | 0,077 | 0,077 | 0,115 | 0,192 | 0,231 | 0,231   |



# 1. Aufgabe – 1.3

| Gast-<br>stätte | Krokodil | Brasil | Miro | Dom | Zero | Wien | Ubu | Titanic |
|-----------------|----------|--------|------|-----|------|------|-----|---------|
| Codierung       | 00000    | 00001  | 0001 | 001 | 010  | 011  | 10  | 11      |



# 1. Aufgabe – 1.4

- Wie hoch ist die **mittlere Codewortlänge** und welchen Wert weist das **theoretische Minimum** auf?

| Gast-stätte | Titanic | Ubu   | Wien  | Zero  | Dom   | Miro  | Brasil | Krokodil |
|-------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|----------|
| p           | 0,231   | 0,231 | 0,192 | 0,115 | 0,077 | 0,077 | 0,0385 | 0,0385   |
| m           | 2       | 2     | 3     | 3     | 3     | 4     | 5      | 5        |

- **Mittlere Codewortlänge:**

$$\bar{m} = \sum_{i=1}^n p(x_i) \cdot m(x_i) = 0.231 \cdot 2 + \dots + 0.0385 \cdot 5 \approx 2,77 \text{ bit}$$

- Das **theoretische Minimum** (durchschnittlicher Informationsgehalt):

$$H = \sum_{i=1}^n p(x_i) \cdot \lg \frac{1}{p(x_i)} = 0.231 \cdot \lg \frac{1}{0.231} + \dots + 0.0385 \cdot \lg \frac{1}{0.0385} \approx 2,72 \text{ bit}$$

Felix Pistorius  
pistorius@kit.edu

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

## 2. Aufgabe: Zahlensysteme

## 2. Aufgabe

- Ergänzen Sie folgende Tabelle durch Konvertierung der angegebenen Zahlen in die jeweiligen Zahlensysteme.

| dual      | oktal | dezimal | hexadezimal |
|-----------|-------|---------|-------------|
| 1011 1001 |       |         |             |
| 1101 0110 |       |         |             |
|           | 363   |         |             |
|           | 1021  |         |             |
|           |       | 317     |             |
|           |       | 1150    |             |
|           |       |         | ED3         |
|           |       |         | C8E         |

## 2. Aufgabe

- Beispiel:
  - Binär  $\rightarrow$  dezimal

$$(11010110)_B$$

$$=(1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0)_D$$

$$=(128 + 64 + 0 + 16 + 0 + 4 + 2 + 0)_D$$

$$=214_D$$

## 2. Aufgabe

| Dez | Bin  | Hex |
|-----|------|-----|
| 0   | 0000 | 0   |
| 1   | 0001 | 1   |
| 2   | 0010 | 2   |
| 3   | 0011 | 3   |
| 4   | 0100 | 4   |
| 5   | 0101 | 5   |
| 6   | 0110 | 6   |
| 7   | 0111 | 7   |

| Dez | Bin  | Hex |
|-----|------|-----|
| 8   | 1000 | 8   |
| 9   | 1001 | 9   |
| 10  | 1010 | A   |
| 11  | 1011 | B   |
| 12  | 1100 | C   |
| 13  | 1101 | D   |
| 14  | 1110 | E   |
| 15  | 1111 | F   |

## 2. Aufgabe

### ■ Beispiel:

#### ■ Binär → oktal

$$(11010110)_B$$

$$= (11 \ 010 \ 110)_B$$

└─┘ └─┘ └─┘

$$= (3 \ 2 \ 6)_O$$

#### ■ Binär → hexadezimal

$$(11010110)_B$$

$$= (1101 \ 0110)_B$$

└─┘ └─┘

$$= (D \ 6)_H$$

## 2. Aufgabe

| <u>dual</u> | <u>oktal</u> | <u>dezimal</u> | <u>hexadezimal</u> |
|-------------|--------------|----------------|--------------------|
| 1011 1001   |              |                |                    |
| 1101 0110   | 326          | 214            | D6                 |
|             | 363          |                |                    |
|             | 1021         |                |                    |
|             |              | 317            |                    |
|             |              | 1150           |                    |
|             |              |                | ED3                |
|             |              |                | C8E                |

## 2. Aufgabe

### ■ Beispiel:

■ oktal  $\rightarrow$  binär  $\rightarrow$  hexadezimal  $\rightarrow$  dezimal

1021<sub>O</sub>

$$=(001\ 000\ 010\ 001)_B$$

$$=(\underbrace{0010}_{2}\ \underbrace{0001}_{1}\ \underbrace{0001}_{1})_B$$

$$=(2\ 1\ 1)_H$$

$$=(2*16^2 + 1*16^1 + 1*16^0)_D$$

$$=(512 + 16 + 1)_D$$

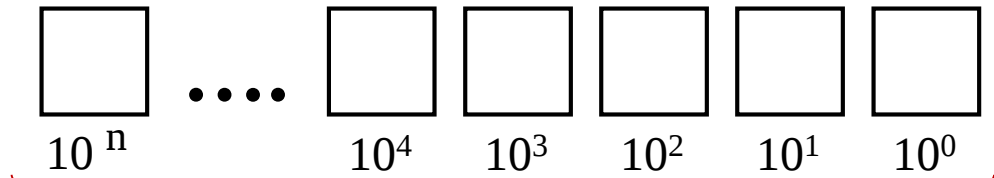
$$=529_D$$

## 2. Aufgabe

| <u>dual</u>  | <u>oktal</u> | <u>dezimal</u> | <u>hexadezimal</u> |
|--------------|--------------|----------------|--------------------|
| 1011 1001    |              |                |                    |
| 1101 0110    | 326          | 214            | D6                 |
|              | 363          |                |                    |
| 10 0001 0001 | 1021         | 529            | 211                |
|              |              | 317            |                    |
|              |              | 1150           |                    |
|              |              |                | ED3                |
|              |              |                | C8E                |

# Wandlung der Dezimalzahl in andere Systemen

Dezimalzahl:  $N_D$



$N_D \bmod R_x$  (Rest der Division  $N_D / R_x$ )

$N_D \text{ div } R_x = N_{D1}$  (Vorkommastellen der Division  $N_D / R_x$ )

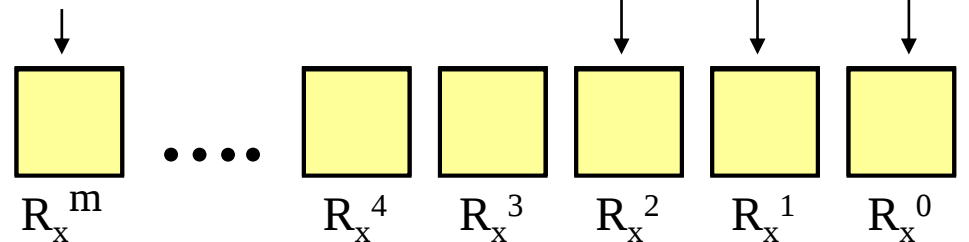
$N_{D1} \bmod R_x$

$N_{D2} \bmod R_x$

...

$N_{Dm} \bmod R_x$

Zahl in beliebigem  
Zahlensystem:  $N_{\text{irgendwas}}$



Basis  $R_x$  des Zahlensystems:  $N_{\text{irgendwas}}$

# Wandlung der Dezimalzahl in andere Systemen

Dezimalzahl:  $N_D = 2015$

|        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|
| 2      | 0      | 1      | 5      |
| $10^3$ | $10^2$ | $10^1$ | $10^0$ |

Beispiel:  
Wandlung der  
Dezimalzahl 2004 in  
eine Hexadezimalzahl.

$$2015 \bmod 16 = 15$$

$$2015 \operatorname{div} 16 = 125$$

$$125 \bmod 16 = 13$$

$$125 \operatorname{div} 16 = 7$$

$$7 \bmod 16 = 7$$

|        |        |        |
|--------|--------|--------|
| 7      | D      | F      |
| $16^2$ | $16^1$ | $16^0$ |

Hexadezimalzahl:  $N_H$

## 2. Aufgabe

- Beispiel: dezimal  $\rightarrow$  oktal  
 $1150_D$

$$1150 / 8 = 143$$

Rest 6

$$143 / 8 = 17$$

Rest 7

$$17 / 8 = 2$$

Rest 1

$$2 / 8 = 0$$

Rest 2

$$\begin{aligned} &1150_D \\ &= 2176_O \\ &= 010\ 001\ 111\ 110_B \\ &= 47E_H \end{aligned}$$

## 2. Aufgabe

| <u>dual</u>    | <u>oktal</u> | <u>dezimal</u> | <u>hexadezimal</u> |
|----------------|--------------|----------------|--------------------|
| 1011 1001      | 271          | 185            | B9                 |
| 1101 0110      | 326          | 214            | D6                 |
| 1111 0011      | 363          | 243            | F3                 |
| 10 0001 0001   | 1021         | 529            | 211                |
| 0001 0011 1101 | 475          | 317            | 13D                |
| 0100 0111 1110 | 2176         | 1150           | 47E                |
| 1110 1101 0011 | 7323         | 3795           | ED3                |
| 1100 1000 1110 | 6216         | 3214           | C8E                |

Felix Pistorius  
pistorius@kit.edu

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

## 3. Aufgabe: Huffman–Code

# 4. Aufgabe

- Bei einer Alarmanlage sollen alle Einbrüche und Einbruchversuche in einem nichtflüchtigen Speicher protokolliert werden. Da bei diesem Baustein jede Speicherzelle nur 1x geschrieben werden kann, soll dieser möglichst gut ausgenutzt werden.
- Aus den Statistiken der Polizei ist bekannt, dass Einbrüche durch eine Tür 4x häufiger sind als durch ein Bad- oder Küchenfenster. Weiterhin ist bekannt, dass Einbrüche durch eine Tür 8x häufiger sind als durch ein sonstiges Fenster im Erdgeschoss. Schließlich zeigt die Statistik, dass ein Einbruch durch ein Fenster im 1. Stockwerk 16x seltener auftritt, als ein Einbruch durch eine Tür.

# 3. Aufgabe – 3.1

- Berechnen Sie zuerst die Auftrittswahrscheinlichkeiten für einen Einbruchsort in einer Wohnung mit 1 Wohnungstür, 1 Balkontür, 1 Badfenster, 1 Küchenfenster, 1 Schlafzimmerfenster und 2 Wohnzimmerfenstern im Erdgeschoss sowie 2 Kinderzimmerfenster und 2 Atelierfenster im 1. Stock.

| Ort                   | Häufigkeit | Wahrscheinlichkeit | Ermittelte Codierung |
|-----------------------|------------|--------------------|----------------------|
| Wohnungstür           | 16         | $\frac{16}{50}$    | WT:16/50             |
| Balkontür             | 16         | $\frac{16}{50}$    | BT: 16/50            |
| Badfenster            | 4          | $\frac{4}{50}$     | BF: 4/50             |
| Küchenfenster         | 4          | $\frac{4}{50}$     | KF: 4/50             |
| Schlazimmerfenster    | 2          | $\frac{2}{50}$     | SF: 2/50             |
| Wohnzimmerfenster 1   | 2          | $\frac{2}{50}$     | WF1: 2/50            |
| Wohnzimmerfenster 2   | 2          | $\frac{2}{50}$     | WF2: 2/50            |
| Kinderzimmerfenster 1 | 1          | $\frac{1}{50}$     | KF1: 1/50            |
| Kinderzimmerfenster 2 | 1          | $\frac{1}{50}$     | KF2: 1/50            |
| Atelierfenster 1      | 1          | $\frac{1}{50}$     | AF1: 1/50            |
| Atelierfenster 2      | 1          | $\frac{1}{50}$     | AF2: 1/50            |

$$\sum = 50$$

# 3. Aufgabe – 3.2

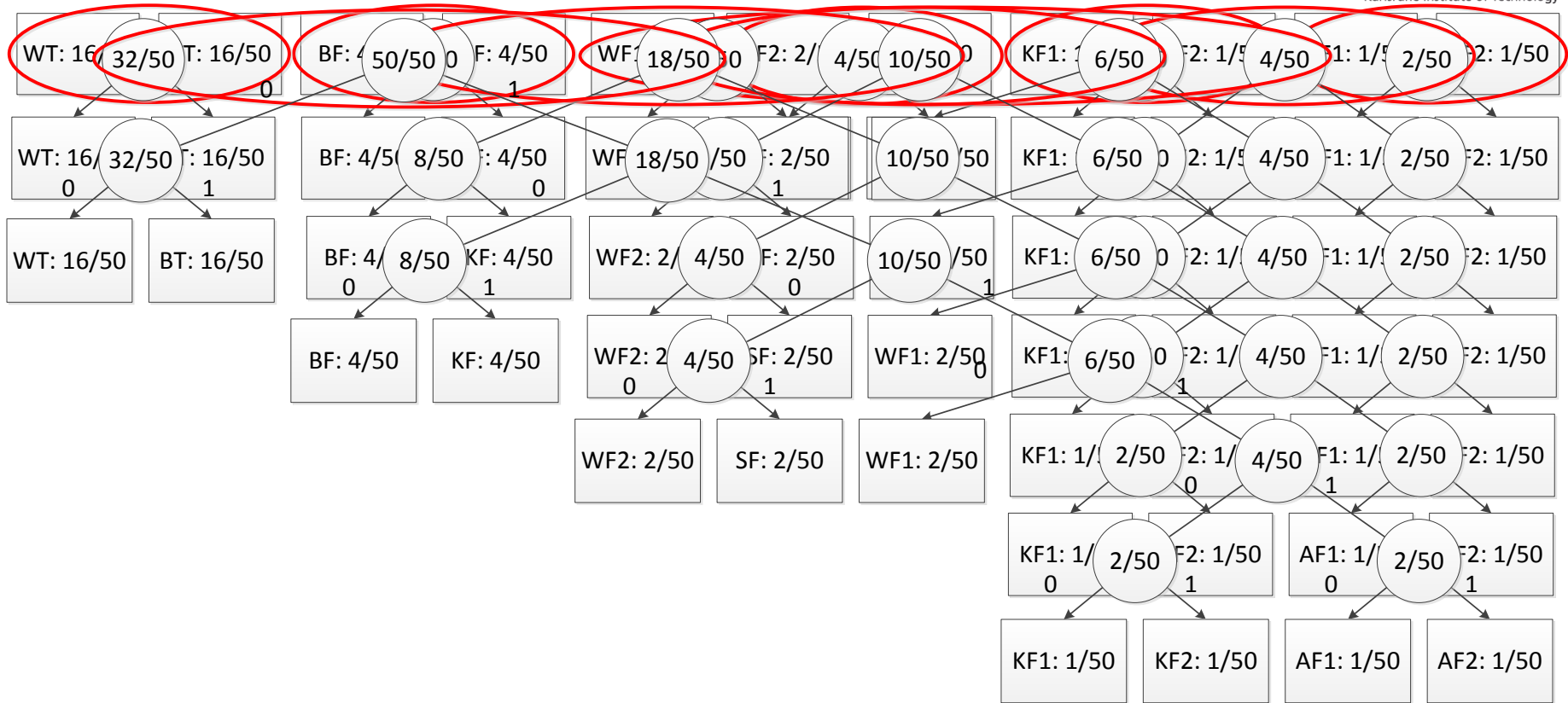
- Erstellen Sie eine optimale Codierung für die möglichen Orte und tragen Sie Ihre Ergebnisse in die oben vorgegebene Tabelle ein. Nutzen Sie hierzu das Huffmanverfahren.

| Ort                   | Häufigkeit | Wahrscheinlichkeit | Ermittelte Codierung |
|-----------------------|------------|--------------------|----------------------|
| Wohnungstür           | 16         | $\frac{16}{50}$    | WT:16/50             |
| Balkontür             | 16         | $\frac{16}{50}$    | BT: 16/50            |
| Badfenster            | 4          | $\frac{4}{50}$     | BF: 4/50             |
| Küchenfenster         | 4          | $\frac{4}{50}$     | KF: 4/50             |
| Schlazimmerfenster    | 2          | $\frac{2}{50}$     | SF: 2/50             |
| Wohnzimmerfenster 1   | 2          | $\frac{2}{50}$     | WF1: 2/50            |
| Wohnzimmerfenster 2   | 2          | $\frac{2}{50}$     | WF2: 2/50            |
| Kinderzimmerfenster 1 | 1          | $\frac{1}{50}$     | KF1: 1/50            |
| Kinderzimmerfenster 2 | 1          | $\frac{1}{50}$     | KF2: 1/50            |
| Atelierfenster 1      | 1          | $\frac{1}{50}$     | AF1: 1/50            |
| Atelierfenster 2      | 1          | $\frac{1}{50}$     | AF2: 1/50            |

$$\sum = 50$$

- *Huffman's Kodierungs-Algorithmus (HKA) (1)*
- HKA konstruiert einen Baum  $T$ , der die Kodierung der einzelnen Zeichen repräsentiert
- Eine Queue  $Q$  wird dafür benutzt, um die zwei Zeichen mit der niedrigsten Auftrittswahrscheinlichkeit zu finden
- Diese zwei Zeichen werden zu einem Objekt verschmolzen, dessen Auftrittswahrscheinlichkeit die Summe der Einzelwahrscheinlichkeiten ist

# 3. Aufgabe – 3.2



|           |           |          |          |           |          |           |           |           |           |           |
|-----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| WT: 16/50 | BT: 16/50 | BF: 4/50 | KF: 4/50 | WF2: 2/50 | SF: 2/50 | WF1: 2/50 | KF1: 1/50 | KF2: 1/50 | AF1: 1/50 | AF2: 1/50 |
| 00        | 01        | 100      | 101      | 1100      | 1101     | 1110      | 111100    | 111101    | 111110    | 111111    |

# 3. Aufgabe – 3.2

- Erstellen Sie eine optimale Codierung für die möglichen Orte und tragen Sie Ihre Ergebnisse in die oben vorgegebene Tabelle ein. Nutzen Sie hierzu das Huffmanverfahren.

| Ort                   | Häufigkeit | Wahrscheinlichkeit | Ermittelte Codierung |           |
|-----------------------|------------|--------------------|----------------------|-----------|
| Wohnungstür           | 16         | $\frac{16}{50}$    | 00                   | WT:16/50  |
| Balkontür             | 16         | $\frac{16}{50}$    | 01                   | BT: 16/50 |
| Badfenster            | 4          | $\frac{4}{50}$     | 100                  | BF: 4/50  |
| Küchenfenster         | 4          | $\frac{4}{50}$     | 101                  | KF: 4/50  |
| Schlazimmerfenster    | 2          | $\frac{2}{50}$     | 1101                 | SF: 2/50  |
| Wohnzimmerfenster 1   | 2          | $\frac{2}{50}$     | 1110                 | WF1: 2/50 |
| Wohnzimmerfenster 2   | 2          | $\frac{2}{50}$     | 1100                 | WF2: 2/50 |
| Kinderzimmerfenster 1 | 1          | $\frac{1}{50}$     | 111100               | KF1: 1/50 |
| Kinderzimmerfenster 2 | 1          | $\frac{1}{50}$     | 111101               | KF2: 1/50 |
| Atelierfenster 1      | 1          | $\frac{1}{50}$     | 111110               | AF1: 1/50 |
| Atelierfenster 2      | 1          | $\frac{1}{50}$     | 111111               | AF2: 1/50 |

$$\sum = 50$$

# 3. Aufgabe – 3.3

- Wie viele Codeworte können Sie in einem Speicher mit einer Kapazität von 1024 Bit abspeichern? Berechnen Sie dazu zuerst die mittlere Codewortlänge.

| Ort                   | Häufigkeit | Wahrscheinlichkeit | Ermittelte Codierung |
|-----------------------|------------|--------------------|----------------------|
| Wohnungstür           | 16         | $\frac{16}{50}$    | 00                   |
| Balkontür             | 16         | $\frac{16}{50}$    | 01                   |
| Badfenster            | 4          | $\frac{4}{50}$     | 100                  |
| Küchenfenster         | 4          | $\frac{4}{50}$     | 101                  |
| Schlazimmerfenster    | 2          | $\frac{2}{50}$     | 1101                 |
| Wohnzimmerfenster 1   | 2          | $\frac{2}{50}$     | 1110                 |
| Wohnzimmerfenster 2   | 2          | $\frac{2}{50}$     | 1100                 |
| Kinderzimmerfenster 1 | 1          | $\frac{1}{50}$     | 111100               |
| Kinderzimmerfenster 2 | 1          | $\frac{1}{50}$     | 111101               |
| Atelierfenster 1      | 1          | $\frac{1}{50}$     | 111110               |
| Atelierfenster 2      | 1          | $\frac{1}{50}$     | 111111               |

# 3. Aufgabe

| Ort                   | Häufigkeit | Wahrscheinlichkeit | Ermittelte Codierung |
|-----------------------|------------|--------------------|----------------------|
| Wohnungstür           | 16         | $\frac{16}{50}$    | 00                   |
| Balkontür             | 16         | $\frac{16}{50}$    | 01                   |
| Badfenster            | 4          | $\frac{4}{50}$     | 100                  |
| Küchenfenster         | 4          | $\frac{4}{50}$     | 101                  |
| Schlazimmerfenster    | 2          | $\frac{2}{50}$     | 1101                 |
| Wohnzimmerfenster 1   | 2          | $\frac{2}{50}$     | 1110                 |
| Wohnzimmerfenster 2   | 2          | $\frac{2}{50}$     | 1100                 |
| Kinderzimmerfenster 1 | 1          | $\frac{1}{50}$     | 111100               |
| Kinderzimmerfenster 2 | 1          | $\frac{1}{50}$     | 111101               |
| Atelierfenster 1      | 1          | $\frac{1}{50}$     | 111110               |
| Atelierfenster 2      | 1          | $\frac{1}{50}$     | 111111               |

■ Mittlere Codewortlänge:  $\bar{m} = \sum_{i=1}^n m(x_i) \cdot p(x_i)$

$$\bar{m} = 2 \left( 2 \cdot \frac{16}{50} \right) + 3 \left( 2 \cdot \frac{4}{50} \right) + 4 \left( 3 \cdot \frac{2}{50} \right) + 6 \left( 4 \cdot \frac{1}{50} \right) = \underline{\underline{\frac{136}{50} (= 2,72)}}$$

# 3. Aufgabe

| Ort                   | Häufigkeit | Wahrscheinlichkeit | Ermittelte Codierung |
|-----------------------|------------|--------------------|----------------------|
| Wohnungstür           | 16         | $\frac{16}{50}$    | 00                   |
| Balkontür             | 16         | $\frac{16}{50}$    | 01                   |
| Badfenster            | 4          | $\frac{4}{50}$     | 100                  |
| Küchenfenster         | 4          | $\frac{4}{50}$     | 101                  |
| Schlazimmerfenster    | 2          | $\frac{2}{50}$     | 1101                 |
| Wohnzimmerfenster 1   | 2          | $\frac{2}{50}$     | 1110                 |
| Wohnzimmerfenster 2   | 2          | $\frac{2}{50}$     | 1100                 |
| Kinderzimmerfenster 1 | 1          | $\frac{1}{50}$     | 111100               |
| Kinderzimmerfenster 2 | 1          | $\frac{1}{50}$     | 111101               |
| Atelierfenster 1      | 1          | $\frac{1}{50}$     | 111110               |
| Atelierfenster 2      | 1          | $\frac{1}{50}$     | 111111               |

■ Speicherkapazität:  $n = \frac{\text{Speicherkapazität}}{\overline{m}}$

$$n = \frac{1024}{\frac{136}{50}} = \frac{51200}{136} (\approx 376,5) \text{ CWs}$$