

XOR-Verschlüsselung Schritt für Schritt

In diesem Jupyter Notebook wird die **XOR-Verschlüsselung** erklärt und angewendet:

- 1. XOR-Idee verstehen
- 2. **XOR von Hand** an einem einfachen Beispiel nachvollziehen
- 3. **XOR mit Python** programmieren
- 4. Klartext als **HEX** und **BIN** darstellen
- 5. Schlüssel als **BIN** zeigen
- 6. XOR anwenden und Ergebnis als **HEX** ausgeben

Was ist XOR?

Sie kennen die Addition von zwei Zahlen $1+2=3$

XOR ("exclusive or") ist eine **logische Verknüpfung** auf Bit-Ebene. XOR wird nicht auf zwei dezimale Zahlen sondern auf zwei Bits (zBps. Bit-A und Bit-B) angewandt. Beide können 0 oder 1 sein.

Regeln für XOR:

| Bit-A | Bit-B | Ergebnis A XOR B |
|-------|-------|------------------|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

Man kann XOR auch auf zwei Bitfolgen anwenden, wobei immer die beiden Bits an der gleichen Position verknüpft werden.

```
1 \NormalTok{Beispiel:}
2
3 \NormalTok{0100\textquotesingle{}0100 (Bitfolge A {-}\textgreater{}}
4 Buchstabe \textquotesingle{}H\textquotesingle{}}
\NormalTok{XOR 0100\textquotesingle{}1011 (Bitfolge B {-}\textgreater{}}
Schlüssel Buchstabe \textquotesingle{}K\textquotesingle{} )}
```

```
5 \NormalTok{{-}{-}{-}{-}{-}{-}{-}{-}{-}{-}{-}{-}{-}}
6 \NormalTok{0000\textquotesingle{}1111 (Ergebnis, das muss nicht einem
Buchstaben entsprechen!)}
```

XOR-Verschlüsselung

- **Klartext:** *INFORMATIK*
 - **Schlüssel:** *BYTE*
 - Kodierung UTF8 (ein Byte pro Buchstabe)

1. Klartext *INFORMATIK* in Binär umwandeln

```
1 \NormalTok{I N F O R M A  
T I K}  
2 \NormalTok{01001001 01001110 01000110 01001111 01010010 01001101  
01000001 01010100 01001001 01001011}
```

2. Schlüssel *BYTE* in Binär umwandeln

```
1 \NormalTok{{ B Y T E}  
2 \NormalTok{{01000010 01011001 01010100 01000101}
```

3. Klartext und Schlüssel aufreihen, Schlüssel wird über die Länge des Klartexts wiederholt:

```
1 \NormalTok{I N F O R M  
T I K}  
2 \NormalTok{01001001 01001110 01000110 01001111 01010010 01001101  
01000001 01010100 01001001 01001011}  
3 \NormalTok{B Y T E B Y  
E B Y}  
4 \NormalTok{01000010 01011001 01010100 01000101 01000010 01011001  
01010100 01000101 01000010 01011001}
```

4. Bei den beiden obigen Bit-Muster XOR bitweise anwenden

ACHTUNG: Die Bytes des Ergebnisses entsprechen nicht unbedingt druckbaren Zeichen! Man notiert das Ergebnis bin oder kompakter in HEX: **0B 17 12 0A 10 14 15 11 0B 12**

XOR-Entschlüsselung

Prinzip der Entschlüsselung: - Man wendet auf den verschlüsselten Text den gleichen Schlüssel an. - Wenn man ein Bit des verschlüsselten Texts mit einem Bit des Schlüssels per XOR verknüpft, erhält man das Bit des Klartexts zurück. - Also: $(\text{Klartext} \text{ XOR } \text{Schlüssel}) \text{ XOR } \text{Schlüssel} = \text{Klartext}$

- **Verschlüsselt:** 0B 17 12 0A 10 14 15 11 0B 12
 - **Schlüssel:** *BYTE*
 - Kodierung UTF8 (ein Byte pro Buchstabe)

1. Verschlüsselten Text in Binär umwandeln

```
1 \NormalTok{ 0B      17      12      0A      10      14      15  
 11      0B      12}  
2 \NormalTok{00001011 00010111 00010010 00001010 00010000 00010100  
00010101 00010001 00001011 00010010}
```

2. Schlüssel in Binär umwandeln

```
1 \NormalTok{B Y T E}
```

```
2 \NormalTok{01000010 01011001 01010100 01000101}
```

3. Verschlüsselten Text und Schlüssel aufreihen. Schlüssel wird über die Länge des verschlüsselten Texts wiederholt:

```
1 \NormalTok{I N F O R M A  
T I K}  
2 \NormalTok{00001011 00010111 00010010 00001010 00010000 00010100  
00010101 00010001 00001011 00010010}  
3 \NormalTok{B Y T E B Y T E  
E B Y}  
4 \NormalTok{01000010 01011001 01010100 01000101 01000010 01011001  
01010100 01000101 01000010 01011001}
```

4. Bei den beiden obigen Bit-Muster bitweise XOR anwenden

5. Binär in Klartext umwandeln

```
1 \NormalTok{01001001 01001110 01000110 01001111 01010010 01001101  
01000001 01010100 01001001 01001011}  
2 \NormalTok{I N F O R M A T I O N }
```

Aufgabe: Entschlüsseln Sie die Nachricht von Hand

- Verschlüsselt: 01 1B 04 0A 0D 0C
 - Schlüssel: *EI*
 - Wie lautet der Klartext?

Lösung.. nicht spicken :-)

Aufgabe: Verschlüsselte Nachricht austauschen

- Verschlüsseln Sie ein Wort mit 6 Buchstaben und einem Schlüssel mit 3 Buchstaben.
 - Notieren Sie das Ergebnis in HEX.
 - Geben Sie Ihrem Lernpartner den verschlüsselten Text und den Schlüssel weiter.
 - Kann er den Klartext wiederherstellen?

XOR-Verschlüsselung mit Python

- Vorgegeben ist die **Hilfsfunktion xor_bytes**, die zwei Byte-Arrays XOR-verknüpft.
- Weiter zeigt das Beispiel, wie man eine Text zerlegt und in Hex- und Binärdarstellungen ausgibt.

```
1 \CommentTok{\# Starten Sie den Block einmal und schauen Sie die Ausgaben an}
2
3 \CommentTok{\# XOR{-}Funktion fuer zwei bytes{-}arrays definieren}
4 \KeywordTok{def}\ NormalTok{ xor\_bytes\left(data:\right)
5   \BuiltInTok{bytes}\NormalTok{, key:\right) \BuiltInTok{bytes}\NormalTok{NormalTok{()
6     \OperatorTok{{-}{-}}\textgreater\left\{\right\} \BuiltInTok{bytes}\NormalTok{::}
7       \CommentTok{"""XORt eine Daten{-}Bytefolge mit einem Schlüssel (der ggf.}
8       wiederholt wird)."""}
9     \ControlFlowTok{if}\ \KeywordTok{not}\ NormalTok{key:\right}
10       \ControlFlowTok{raise}\ \PreprocessorTok{ValueError}\NormalTok{()\St}
11       ringTok\left\{\textquotesingle{}Schlüssel darf nicht leer
12       sein\textquotesingle{}\right\}\NormalTok{()}
13     \NormalTok{key\_len }\operatorname{len}\NormalTok{= \BuiltInTok{len}\NormalTok{(key)}
14     \ControlFlowTok{return}\ \BuiltInTok{bytes}\NormalTok{NormalTok{(\b
15       \operatorname{^}\left\{\right\}\NormalTok{key[i ]\operatorname{\%}\NormalTok{key\_len]
16     )\ControlFlowTok{for}\NormalTok{ i, b }\operatorname{in}\NormalTok{enumerate\left(data\right))}
17
18 \NormalTok{text }\operatorname{=}\ \StringTok{"HALLO"}
19 \BuiltInTok{print}\NormalTok{()\StringTok{"text "}
20 \operatorname{+}\NormalTok{text)}
21
22 \CommentTok{\# text als einzelne Buchstaben ausgeben}
23 \BuiltInTok{print}\NormalTok{()\StringTok{"text als
24 Buchstaben:"}\NormalTok{, }\StringTok{" "}\NormalTok{.join(text))}
25
26 \CommentTok{\# textInBytes in einzelne Bytes zerlegen}
27 \NormalTok{textInBytes }\operatorname{=}\NormalTok{text.encode\left("utf{-}8"\right)}
```

```

28 \BuiltInTok{print}\NormalTok{()}

29 \CommentTok{\#schluessel als Buchstaben oder direkt als Bytes definieren}
30 \NormalTok{schluessel }\OperatorTok{=} \StringTok{"ADE"}
31 \NormalTok{schluesselInBytes }\OperatorTok{=}
32 \BuiltInTok{bytes}\NormalTok{([ ]\BaseNTok{0x41}\NormalTok{, }\BaseNTok{0x44}\NormalTok{, }\BaseNTok{0x45}\NormalTok{])}
33 \BuiltInTok{print}\NormalTok{()\StringTok{"schluessel als Buchstaben: "}}
34 \OperatorTok{+}\NormalTok{ schluessel)}

35 \CommentTok{\# schluesselInBytes in HEX ausgeben}
36 \BuiltInTok{print}\NormalTok{()\StringTok{"schluessel in HEX: "}\NormalTok{,}
37 \StringTok{" "}\NormalTok{.join()\SpecialStringTok{f"}}\SpecialCharTok{\{}\NormalTok{x}\SpecialCharTok{:02X}\NormalTok{}}\SpecialStringTok{"}
38 \ControlFlowTok{for}\NormalTok{ x }\KeywordTok{in}\NormalTok{ schluesselInBytes)}
39 \ControlFlowTok{for}\NormalTok{ x }\KeywordTok{in}\NormalTok{ schluesselInBytes)

40 \BuiltInTok{print}\NormalTok{()}

41 \CommentTok{\# XOR{-}Operation durchfuehren}
42 \NormalTok{xorResultAlsBytes }\OperatorTok{=}\NormalTok{ xor\_bytes(textInBytes, schluesselInBytes)}

43 \CommentTok{\# xorResultAlsBytes in BIN ausgeben}
44 \BuiltInTok{print}\NormalTok{()\StringTok{"xorResultAlsBytes in }
45 \StringTok{BIN: "}\NormalTok{.join()\SpecialStringTok{f"}}\SpecialCharTok{\{}\NormalTok{x}\SpecialCharTok{:08b}\NormalTok{}}\SpecialStringTok{"}
46 \ControlFlowTok{for}\NormalTok{ x }\KeywordTok{in}\NormalTok{ xorResultAlsBytes)

47 \CommentTok{\# xorResultAlsBytes in HEX ausgeben}
48 \BuiltInTok{print}\NormalTok{()\StringTok{"xorResultAlsBytes in }
49 \StringTok{HEX: "}\NormalTok{.join()\SpecialStringTok{f"}}\SpecialCharTok{\{}\NormalTok{x}\SpecialCharTok{:02X}\NormalTok{}}\SpecialStringTok{"}
50 \ControlFlowTok{for}\NormalTok{ x }\KeywordTok{in}\NormalTok{ xorResultAlsBytes)

```

```

text HALLO
text als Buchstaben: H A L L O
textInBytes in HEX: 48 41 4C 4C 4F
textInBytes in BIN: 01001000 01000001 01001100 01001100 01001111
textInBytes wieder zu Text: HALLO

```

```

schluessel als Buchstaben: ADE
schluessel in HEX: 41 44 45

```

```
schluessel in BIN: 01000001 01000100 01000101  
xorResultAlsBytes in BIN: 00001001 00000101 00001001 00001101 00001011  
xorResultAlsBytes in HEX: 09 05 09 0D 0B
```

Aufgabe: XOR-Verschlüsselung mit Python selber anwenden

Sie fangen mit einem einfachen Beispiel an: Klartext: ‘ERAGON’ Schlüssel: ‘SIR’ Wie lautet der verschlüsselte Text in HEX?

Vorgehen für Umsetzung in Python:

- Klartext als Variable definieren
- Klartext als einzelne Buchstaben ausgeben
- Klartext in Bytes umwandeln und ausgeben
- Klarext_In_Bytes in HEX umwandeln und ausgeben
- Klarext_In_Bytes in Binär umwandeln und ausgeben
- Schlüssel als Variable definieren
- Schlüssel als einzelne Buchstaben ausgeben
- Schlüssel in Bytes umwandeln und ausgeben
- Schlüssel_In_Bytes in HEX umwandeln und ausgeben
- Schlüssel_In_Bytes in Binär umwandeln und ausgeben
- Klartext und Schlüssel per XOR verknüpfen
- XOR-Ergebnis in Binär ausgeben
- XOR-Ergebnis in HEX ausgeben

```
1 \CommentTok{\# Programmieren Sie das Beschriebene in Python.}  
2 \BuiltInTok{print}\NormalTok{()}\StringTok{"Meine  
Verschlüsselung"}\NormalTok{()}
```

Meine Verschlüsselung

Lösung.. nicht spicken :-)

```

1  \NormalTok{text = "ERAGON"}
2  \NormalTok{print("text " + text)}
3  \NormalTok{print("text als Buchstaben:", " ".join(text))}
4  \NormalTok{textInBytes = text.encode("utf{-}8")}
5  \NormalTok{print("textInBytes in HEX:", " ".join(f"\{x:02X\}" for x in
textInBytes))}
6  \NormalTok{print("textInBytes in BIN:", " ".join(f"\{x:08b\}" for x in
textInBytes))}

7
8  \NormalTok{print()}
9  \NormalTok{schluessel = "SIR"}
10 \NormalTok{print("schluessel " + schluessel)}
11 \NormalTok{print("schluessel als Buchstaben:", " ".join(schluessel))}
12 \NormalTok{schluesselInBytes = schluessel.encode("utf{-}8")}
13 \NormalTok{print("schluesselInBytes in HEX:", " ".join(f"\{x:02X\}" for x in
schluesselInBytes))}
14 \NormalTok{print("schluesselInBytes in BIN:", " ".join(f"\{x:08b\}" for x in
schluesselInBytes))}

15 \NormalTok{print()}
16 \NormalTok{\# XOR{-}Operation durchfuehren}
17 \NormalTok{xorResultAlsBytes = xor\_bytes(textInBytes, schluesselInBytes)}
18 \NormalTok{print("xorResultAlsBytes in BIN:", " ".join(f"\{x:08b\}" for x in
xorResultAlsBytes))}
19 \NormalTok{print("xorResultAlsBytes in HEX:", " ".join(f"\{x:02X\}" for x in
xorResultAlsBytes))}
```

Aufgabe: XOR-Entschlüsselung mit Python selber anwenden

Schaffen Sie es den Ablauf für die Entsschlüsselung zu definieren und umzusetzen?
Geben Sie alle Zwischenergebnisse, HEX, BIN, Text ... aus.

```

1 \CommentTok{\# Programmieren Sie die zur vorangehenden Aufgabe passend XOR
Entschlüsselung in Python.}
2 \BuiltInTok{print}\NormalTok{()}\StringTok{"Meine
Entschlüsselung"}\NormalTok{()}

3
4 \NormalTok{encryptionInBytes }\OperatorTok{=}
\BuiltInTok{bytes}\NormalTok{([}\BaseNTok{0x16}\NormalTok{,
}\BaseNTok{0x1B}\NormalTok{, }\BaseNTok{0x13}\NormalTok{,
}\BaseNTok{0x14}\NormalTok{, }\BaseNTok{0x06}\NormalTok{,
}\BaseNTok{0x1C}\NormalTok{}])}
```

Meine Entschlüsselung

Lösung.. nicht spicken :-)

```
1 \NormalTok{encryptionInBytes = bytes([0x16, 0x1B, 0x13, 0x14, 0x06, 0x1C])}
2
3 \NormalTok{print("encryptionInBytes in BIN:", " ".join(f"\{x:08b\}" for x in
4 encryptionInBytes))}
5
6 \NormalTok{schluessel = "SIR"}
7 \NormalTok{schluesselInBytes = schluessel.encode("utf{-}8")}
8 \NormalTok{print("schluesselInBytes in BIN:", " ".join(f"\{x:08b\}" for x in
9 schluesselInBytes))}
10
11 \NormalTok{decryptionInBytes = xor\_bytes(encryptionInBytes,
12 schluesselInBytes)}
13 \NormalTok{print("decryptionInBytes in BIN:", " ".join(f"\{x:08b\}" for x in
14 decryptionInBytes))}
15 \NormalTok{print(decryptionInBytes.decode("utf{-}8"))}
```

Aufgabe: Eigenes Beispiel mit einem Schlüsselwort

Implementieren Sie eine eigenes Beispiel mit einem KEY aus mehreren Buchstaben.
Geben Sie alle Zwischenergebnisse, HEX, BIN, Text ... aus.

```
1 \CommentTok{\#\# XOR{-}Verschlüsselung mit Python}
2 \BuiltInTok{print}\NormalTok{()}\StringTok{"Eigenes Beispiel"}\NormalTok{()}
```

Eigenes Beispiel

Aufgabe: Gegenseitig Verschlüsseln und Entschlüsseln

Tauschen Sie mit einem Partner einen Schlüssel aus. Verschlüsseln Sie einen Text und geben Sie Ihrem Partner das verschlüsselte Ergebniss als HEX-Bytes `encryptionInBytes = bytes([0x16, 0x1B,])`. Der Partner soll den Text mit dem Schlüssel wieder entschlüsseln. Geben Sie alle Zwischenergebnisse, HEX, BIN, Text ... aus.

```
1 \CommentTok{\# Partenerarbeit}
2 \BuiltInTok{print}\NormalTok{()}\StringTok{"Partenerarbeit"}\NormalTok{()}
```

Partenerarbeit

Aufgabe: Unvollständiger Schlüssel

Idee:

- Bob und Anne haben eine mit XOR verschlüsselte Nachricht ausgetauscht.
- Eve hat die ganze verschlüsselte Nachricht abgefangen.
- Zudem hat Eve auf verbotenem Weg vom Schlüssel der gesammt Länge 5, die ersten 4 Bytes stehlen können.

Schaffen Sie es Eve zu unterstützen und die ganze Nachricht zu entschlüsseln?

- Verschlüsselte Nachricht (HEX): 1f040215000d0b16041c1d03030c1b1c1d11141e09001d08061c1a1f0
- Bekannter Teil des Schlüssels (UTF8), 4 von 5 Buchstaben, der letzte Buchstabe fehlt:
hmpa

```
1 \CommentTok{\# hack the code}
2 \NormalTok{encryptionInBytes }\operatorTok{=}
\BuiltInTok{bytes}\NormalTok{.fromhex()\StringTok{"1f040215000d0b16041c1d03}
030c1b1c1d11141e09001d08061c1a1f021a01031404000f1f050706"}\NormalTok{)}
3 \BuiltInTok{print}\NormalTok{({})\StringTok{"encryptionInBytes in
HEX:"}\NormalTok{, }\StringTok{" "}\NormalTok{.join()\SpecialStringTok{f"\\"}\SpecialCharTok{\{\}}\NormalTok{x}\SpecialCharTok{\{:02X\}}}\SpecialStringTok{"}\ControlFlowTok{for}\NormalTok{ x }\KeywordTok{in}\NormalTok{ encryptionInBytes))}
```

encryptionInBytes in HEX: 1F 04 02 15 00 0D 0B 16 04 1C 1D 03 03 0C 1B 1C 1D
11 14 1E 09 00 1D 08 06 1C 1A 1F 02 1A 01 03 14 04 00 0F 1F 05 07 06