

# 15 AES encryption

Peter Rutschmann

26.11.2025

## AES Verschlüsselung

### Verfahren der digitalen Verschlüsselung

Die Techniken der digitalen Verschlüsselung lassen sich unter *Transformation* als Oberbegriff zusammenfassen.

Eine Transformation kann aus diesen Schritten bestehen:

- **Substitution** : Ersetzen von Symbolen durch andere Symbole
- **Transposition/Permutation** : Vertauschung von Zeichen oder Bits
- **Diffusion** : Streuung der Klartext-Information über viele Bits im Geheimtext
- **Konfusion** : Komplexe, nichtlineare Beziehung zwischen Schlüssel und Geheimtext
- **Rundensystem** : Mehrfache Wiederholung von Substitution und Permutation
- **Key Schedule** : Algorithmus zur Ableitung von Rundenschlüsseln :
- **Blockchiffre** | Verschlüsselt Daten blockweise (z. B. 128 Bit bei AES)
- **Stromchiffre** | Verschlüsselt Bit für Bit oder Byte für Byte

### Substitution

- UTF8 wendet Substitution an, es ersetzt anhand der UTF8 Code-Tabled ein Buchstabe durch eine Bitfolge
- **XOR** wendet Substitution an, es ersetzt die Bits auf Grund des Schlüssel durch andere Bits.

## Transposition/Permutation

A = 01000001 key = 3

Meine eigene Regel:

- Buchstabencodierung UTF8, nur 7-Bit Buchstaben.
- Rechtes, fehlende Bit mit 1 auffüllen
- Teile die Bitfolge in Gruppen von 3 bit. Ergänze die Folge mit 1, falls es nicht aufgeht.
- Innerhalb jeder 3er-Gruppe vertauschen wir die Positionen nach Muster (1,2,3) -> (3,1,2)

```
1 \NormalTok{010 000 01 A}
2 \NormalTok{010 000 011  auffüllen}
3 \NormalTok{001 000 101 (1,2,3) {-}\textgreater{} (3,1,2)}
4
5 \NormalTok{Auflösen:}
6 \NormalTok{001 000 101 }
7 \NormalTok{010 000 011 (1,2,3) {-}\textgreater{} (3,1,2)}
8 \NormalTok{010 000 01 A}
```

## Aufgabe Anwenden Transponieren

- Wenden Sie die obige Transposition auf einen 4 stellige Dezimale Zahl an.
- Wandeln Sie die Ziffern der Zahl mit UTF8 in eine binäre Zahlenfolge um. (ergibt 4 Bytes) [Liste der UTF8 Codierung](#)
- Transponieren Sie mit dem key=3 gemäss obiger Regel
- Tauschen Sie das Ergebnis mit Ihrem Lernpartner aus, findet er die ursprüngliche Zahl heraus?

## Lösung

```
1 \NormalTok{Aufgabe Anwenden Transponieren}
2 \NormalTok{gezeigt wird nur eine Teillösung}
3
4 \NormalTok{Wie transponieren:}
5 \NormalTok{Nr: 1 2 3}
6 \NormalTok{Bit 0 1 0}
7 \NormalTok{Regel Reihenfolge 1,2,3 wird neu 3,1,2}
8 \NormalTok{Nr: 3 1 2}
9 \NormalTok{Bit 0 0 1}
10
11 \NormalTok{Meine vierstellige Zahl:}
12 \NormalTok{4589}
13 \NormalTok{Ziffern 4 5 8 9}
14 \NormalTok{und darunter binär nach UTF8}
15
16 \NormalTok{4          5          8          9}
17 \NormalTok{00110100\textquotesingle{} 00110101\textquotesingle{} }
18 \NormalTok{00111000 ...}
19
20 \NormalTok{Bits in 3er Gruppen transponieren:}
21 \NormalTok{Der \textquotesingle{} hilft zu sehen, wann die nächste }
22 \NormalTok{Ziffer ( 4..5..8...9 ) beginnt.}
23 \NormalTok{Regel für die Bits: (1,2,3) (3,1,2)}
24 \NormalTok{123 123 12 3 123 123 123}
25 \NormalTok{001 101 00\textquotesingle{}0 011 010 1\textquotesingle{}00 }
26 \NormalTok{...}
27 \NormalTok{312 312 31 2 312 321 3 21}
28 \NormalTok{100 110 00 0 101 001 010}
29
30 \NormalTok{Entschlüsseln}
31 \NormalTok{Regel für die Bits: (1,2,3) (3,1,2) ABER: umgekehrt }
32 \NormalTok{anwenden!!}
33 \NormalTok{312 312 312 ...}
34 \NormalTok{100 110 000 ...}
35 \NormalTok{123 123 123 ...}
36 \NormalTok{001 101 000 ...}
37 \NormalTok{Bits wieder zu einer 8er Gruppe zusammenfügen:}
38 \NormalTok{00110100\textquotesingle{} 0 ...}
39 \NormalTok{Und wieder mit UTF8 umwandeln {-}{-}\textgreater{} Ziffer 4}
```

## Aufgabe Anwenden eines mehrfachen Transponieren

- ausprobieren: [Permutation-Demo](#)
- analysieren Sie die Schritte
- notieren Sie die Schritte auf.

- Codieren Sie einen von Ihnen gewählten Buchstaben.
  - Buchstabe mit UTF8 Tabelle in Bits umwandeln.
  - In der Permutations-Demo codieren, eigenen Schlüssel und Anzahl Runden wählen.
  - Mit Lernpartner Codierten Code, Schlüssel und Anzahl Runden austauschen.
  - Kann Ihr Lernpartner den richtigen Buchstaben herausfinden?

## Anwendung in der Praxis mit Beispiel AES Verschlüsselung

### AES Verfahren

**AES** ist ein modernes Verschlüsselungsverfahren. AES verschlüsselt, indem es den Klartext blockweise (128 Bit) in mehreren Runden mit dem Schlüssel verarbeitet. In jeder Runde passieren vier Schritte:

- Substitution: SubBytes -> jedes Byte wird durch die S-Box ersetzt
- Permutation: ShiftRows -> die Zeilen werden verschoben
- Diffusion: MixColumns -> die Spalten werden gemischt.
- AddRoundKey → der Block wird mit dem Rundenschlüssel per XOR verknüpft.
- Nach 10 (12 / 14) Runden entsteht der Geheimtext.

### AES Verfahren Demo

Das sind einige Schritte. Die [AWS web demo](#) zeigt das anschaulich.

- Link anklicken, Random wählen, die Schritte beobachten.
- Das Resultat auch wieder dekodieren.

Eine [AES-Animation](#), die das Verfahren versucht zu verdeutlichen.

- Probieren Sie es aus.

### AES selber anwenden

Laden Sie das Notebook herunter, um AES praktisch anzuwenden. Lesen und lösen Sie: [Notebook zu AES herunterladen](#)