

# AES Keyscheduler

*kry Projekt*

*Moritz Roth*

*4. April 2019*

# Einleitung

Die Aufgabe war es, den Keyschedule-Algorithmus der AES Verschlüsselung für 128 bit Keys zu implementieren, so wie dieser im Standardisierungsdokument beschrieben ist.

Für die Implementation habe ich die Sprache Java gewählt, da ich mit dieser am besten vertraut bin. Ausserdem habe ich nach dem Keyscheduler noch versucht den kompletten Verschlüsselungsalgorithmus zu implementieren, dafür hat mir allerdings dann die Zeit gefehlt.

## Keyschduler Implementation

Das Projekt ist ein Maven-Projekt, da ich so im Code sehr einfach Testfälle definieren kann, die dann ausgeführt werden der Implementationscode befindet sich im Verzeichnis `src/main/java/ch/fhnw/kry/keyscheduler`.

Für den Keyscheduler wichtig sind die Klassen `KeySchedule.java`, `SubBytes.java`, `Byte.java` und `Word.java`, sowie die Enums `AESConfig.java` und `Base.java`.

Klasse/Enum	Beschreibung
Keyschedule.java	Enthält den eigentlichen Keyexpansion Alorithmus, der den Key von 16 Byte auf 44 Byte expandiert.
SubBytes.java	Enthält Methoden, die als Parameter ein Byte erwarten (in verschiedenen Basen) und das entsprechende SubByte aus der S-Box Tabelle zurückgibt.
Byte.java	Ein Byte Objekt, das das Byte intern als Integer speichert. Es kann ein Byte aus dezimal-, binär- und hexadezimal-Zahlen erstellen und deses auch in diesen Basen zurückgeben.
Word.java	Enthält ein Array aus 4 Bytes.
AESConfig.java	Dieses Enum enthält die Konfigurationen für die verschiedenen Keylängen.
Base.java	Dieses Enum enthält Details zu den Basen HEX (hexadezimal), DEZ (dezimal) und BIN (binär).

Der Methode `public static Word[] keyExpansion(Byte[] key, AESConfig conf)` kann man eine Key in form eines Bytearrays mitgeben, sowie eine AESConfig (also AES\_128, AES\_192 oder AES\_256) und sie gibt ein Wordarray zurück, das den expanded Key enthält. Wobei AES\_192 und AES\_256 komplett ungetestet sind.

Bei der Implementation habe ich mich sehr genau an denn Pseudocode im Standardisierungsdokument gehalten habe.

## Tests

Die Tests für den Keyscheduler befinden sich in der Testklasse `src/test/java/ch/fhnw/kry/keyscheduler/KeyScheduleTest.java`. Die Testfälle habe ich von der Webseite <https://www.samiam.org/key-schedule.html>. Es gibt jeweils ein Test für die edge cases (alles 00 und alles ff), einen bei dem die 16 Bytes im Key durchgezählt sind (00 bis 0f) und einen Key dazwischen, ausserdem habe ich einen Test erstellt, der fehlschlägt, weil ein Bit in der Ausgabe verändert wurde und zwei Tests, die falsche Schlüssel übergeben.

`testKeyExpansion1():`

INPUT

00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00

EXPECTED OUTPUT

00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  
62 63 63 63 62 63 63 63 62 63 63 63 62 63 63 63  
9b 98 98 c9 f9 fb fb aa 9b 98 98 c9 f9 fb fb aa  
90 97 34 50 69 6c cf fa f2 f4 57 33 0b 0f ac 99  
ee 06 da 7b 87 6a 15 81 75 9e 42 b2 7e 91 ee 2b  
7f 2e 2b 88 f8 44 3e 09 8d da 7c bb f3 4b 92 90  
ec 61 4b 85 14 25 75 8c 99 ff 09 37 6a b4 9b a7  
21 75 17 87 35 50 62 0b ac af 6b 3c c6 1b f0 9b  
0e f9 03 33 3b a9 61 38 97 06 0a 04 51 1d fa 9f  
b1 d4 d8 e2 8a 7d b9 da 1d 7b b3 de 4c 66 49 41  
b4 ef 5b cb 3e 92 e2 11 23 e9 51 cf 6f 8f 18 8e

RESULTAT: **Erfolgreich**

testKeyExpansion2():

INPUT

ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff

EXPECTED OUTPUT

ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff  
e8 e9 e9 e9 17 16 16 16 e8 e9 e9 e9 17 16 16 16  
ad ae ae 19 ba b8 b8 0f 52 51 51 e6 45 47 47 f0  
09 0e 22 77 b3 b6 9a 78 e1 e7 cb 9e a4 a0 8c 6e  
e1 6a bd 3e 52 dc 27 46 b3 3b ec d8 17 9b 60 b6  
e5 ba f3 ce b7 66 d4 88 04 5d 38 50 13 c6 58 e6  
71 d0 7d b3 c6 b6 a9 3b c2 eb 91 6b d1 2d c9 8d  
e9 0d 20 8d 2f bb 89 b6 ed 50 18 dd 3c 7d d1 50  
96 33 73 66 b9 88 fa d0 54 d8 e2 0d 68 a5 33 5d  
8b f0 3f 23 32 78 c5 f3 66 a0 27 fe 0e 05 14 a3  
d6 0a 35 88 e4 72 f0 7b 82 d2 d7 85 8c d7 c3 26

RESULTAT: **Erfolgreich**

testKeyExpansion3():

INPUT

00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0a 0b 0c 0d 0e 0f

EXPECTED OUTPUT

00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0a 0b 0c 0d 0e 0f  
d6 aa 74 fd d2 af 72 fa da a6 78 f1 d6 ab 76 fe  
b6 92 cf 0b 64 3d bd f1 be 9b c5 00 68 30 b3 fe  
b6 ff 74 4e d2 c2 c9 bf 6c 59 0c bf 04 69 bf 41  
47 f7 f7 bc 95 35 3e 03 f9 6c 32 bc fd 05 8d fd  
3c aa a3 e8 a9 9f 9d eb 50 f3 af 57 ad f6 22 aa  
5e 39 0f 7d f7 a6 92 96 a7 55 3d c1 0a a3 1f 6b  
14 f9 70 1a e3 5f e2 8c 44 0a df 4d 4e a9 c0 26  
47 43 87 35 a4 1c 65 b9 e0 16 ba f4 ae bf 7a d2  
54 99 32 d1 f0 85 57 68 10 93 ed 9c be 2c 97 4e  
13 11 1d 7f e3 94 4a 17 f3 07 a7 8b 4d 2b 30 c5

RESULTAT: **Erfolgreich**

testKeyExpansion4():

INPUT

69 20 e2 99 a5 20 2a 6d 65 6e 63 68 69 74 6f 2a

EXPECTED OUTPUT

69 20 e2 99 a5 20 2a 6d 65 6e 63 68 69 74 6f 2a  
fa 88 07 60 5f a8 2d 0d 3a c6 4e 65 53 b2 21 4f  
cf 75 83 8d 90 dd ae 80 aa 1b e0 e5 f9 a9 c1 aa  
18 0d 2f 14 88 d0 81 94 22 cb 61 71 db 62 a0 db  
ba ed 96 ad 32 3d 17 39 10 f6 76 48 cb 94 d6 93  
88 1b 4a b2 ba 26 5d 8b aa d0 2b c3 61 44 fd 50  
b3 4f 19 5d 09 69 44 d6 a3 b9 6f 15 c2 fd 92 45  
a7 00 77 78 ae 69 33 ae 0d d0 5c bb cf 2d ce fe  
ff 8b cc f2 51 e2 ff 5c 5c 32 a3 e7 93 1f 6d 19  
24 b7 18 2e 75 55 e7 72 29 67 44 95 ba 78 29 8c  
ae 12 7c da db 47 9b a8 f2 20 df 3d 48 58 f6 b1

RESULTAT: Erfolgreich

`testKeyExpansionFail():`

In diesem Test ist der EXPECTED OUTPUT falsch (die rote 9 in der letzten Zeile). Dieser Test soll zeigen, dass das erwartete Resultat auch wirklich mit dem tatsächlichen Output verglichen wird.

INPUT

69 20 e2 99 a5 20 2a 6d 65 6e 63 68 69 74 6f 2a

EXPECTED OUTPUT

69 20 e2 99 a5 20 2a 6d 65 6e 63 68 69 74 6f 2a  
fa 88 07 60 5f a8 2d 0d 3a c6 4e 65 53 b2 21 4f  
cf 75 83 8d 90 dd ae 80 aa 1b e0 e5 f9 a9 c1 aa  
18 0d 2f 14 88 d0 81 94 22 cb 61 71 db 62 a0 db  
ba ed 96 ad 32 3d 17 39 10 f6 76 48 cb 94 d6 93  
88 1b 4a b2 ba 26 5d 8b aa d0 2b c3 61 44 fd 50  
b3 4f 19 5d 09 69 44 d6 a3 b9 6f 15 c2 fd 92 45  
a7 00 77 78 ae 69 33 ae 0d d0 5c bb cf 2d ce fe  
ff 8b cc f2 51 e2 ff 5c 5c 32 a3 e7 93 1f 6d 19  
24 b7 18 2e 75 55 e7 72 29 67 44 95 ba 78 29 8c  
ae 12 7c da db 47 99 a8 f2 20 df 3d 48 58 f6 b1

RESULTAT: **Erfolgreich**

→ heisst, dass der Vergleich zwischen tatsächlichem und erwartetem Output `false` zurückgibt. Darum auch `assertFalse()`.

`testKeyExpansionException1() / testKeyExpansionException2():`

Diese beiden Tests failen mit einer `IllegalArgumentException`, weil der Key zu lange bzw. zu kurz ist. Die Tests sind **erfolgreich** im Sinne, dass die Exception geworfen wird.

Weitere Tests:

Ansonsten habe ich noch einige Tests für Byte und Word geschrieben, um zu testen, ob sie sich wie erwartet verhalten. Diese sind alle **erfolgreich**.

## Weitere Implementation AES

Nach der Implementation habe ich mich noch an der Implementation weiterer Teile des AES versucht. Die Verschlüsselung habe ich auch beendet, die Entschlüsselung allerdings nicht. In der Klasse `AES.java` befinden sich die Methoden `cypher()` für die Verschlüsselung und `eqInvCipher()` für die Entschlüsselung. Man kann jeweils den Plaintext als `ByteArray` und den expanded Key als `Wordarray` mitgeben, sowie die Schlüssellänge (die könnte auch anhand des Keys berechnet werden).

Das `rcon`-Array in der Keyexpansion müsste noch für die grösseren Keysizes erweitert (oder generiert) werden.

Die anderen Klassen sind jeweils selbstredend: `AddRoundKey.java` enthält die `addRoundKey` Methode (und Inverse), `MixColumns.java` enthält die `mixColumns` Methode (und Inverse) und `ShiftRows.java` enthält die `shiftRows` Methode (und Inverse).

Zudem habe ich in der Klasse `MixColumns.java` noch die Galois-Multiplikation implementiert (`gmul()`).

→ Alle diese Klassen und Methoden sind allerdings ungetestet!