Redvers Consulting Ltd

White Paper

Schützen Sie vertrauliche Daten mit AES Verschlüsselung - geschrieben in COBOL entwickelt für COBOL

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung

Der Sinn dieses Aufsatzes ist es nicht, Sie davon zu überzeugen, Ihre Daten zu verschlüsseln. Wenn Sie diese Zeilen lesen, wissen Sie bereits, dass Sie vertrauliche Daten sicher aufbewahren, also verschlüsseln müssen. Dieser Aufsatz hilft Ihnen dabei, den Verschlüsselungsprozess einfach und sicher in Ihre COBOL-Anwendungen zu integrieren, ohne dass sie kostspielige Dienstleistungen von Verschlüsselungsspezialisten einkaufen müssen.

Grundsätzlich schützt die Verschlüsselung Daten, die geheim gehalten werden müssen, indem sie mit einer scheinbar zufälligen Bit-Folge kombiniert werden. Ein völlig ausreichender Zufallsstring könnte erzeugt werden, indem wir ein Zimmer voll mit Menschen packen, und sie anweisen, wiederholt eine Münze zu werfen, und dann die Ergebnisse zusammenfassen. Zum Glück gibt es arbeitsparende Erfindungen, die Computer genannt werden, und mit deren Hilfe man einen Pseudo-Zufallsstring generieren kann, und das viel zuverlässiger und zu viel geringeren Kosten.

Die sichere, zuverlässige Erzeugung solcher Pseudo-Zufallsstrings ist der Grund, wieso der *Advanced Encryption Standard* (AES) entwickelt wurde.

Was ist AES-Verschlüsselung?

AES-Verschlüsselung beruht auf dem Rijndael-Algorithmus, der von zwei belgischen Kyptografie-Experten entwickelt wurde: Vincent Rijmen und Joan Daemen.

Im November 2001 wählte das amerikanische National Institute of Standards and Technology[1] (NIST) den Rijndael-Algorithmus als offiziellen Verschlüsselungssstandard, den Advanced Encryprtion Standard (AES) Algorithmus (FIPS PUB 197[2]) für die Verschlüsselungsbedarf der amerikanischen Bundesregierung aus.

Dann wählte im Juni 2003 die National Security Agency[3] (NSA) die AES-Verschlüsselung aus, mit dem Hinweis „alle Schlüssellängen des AES-Algorithmus (also 128, 192 und 256) sind ausreichend, um vertrauliche Informationen bis zur Stufe GEHEIM zu sichern" und „STRENG GEHEIME Informationen müssen eine Schlüssellänge von 192 oder 256 verwenden."[4].

AES eignet sich auch hervorragend für die Verarbeitung von Kredit- und Debitkartenzahlungen unter Verwendung des Datensicherheitsstandards PCI DSS (Payment Card Industry Data Security Standard[5].

Warum sollte man COBOL verwenden?

Da die meisten Systeme im Finanzwesen in COBOL[6] geschrieben sind, liegt der Schwerpunkt dieses Aufsatzes bei der Installation von AES-Verschlüsselung bei COBOL-Anwendungsprogrammen.

Hinweis: Sie müssen nur grundlegendes Wissen über Verschlüsselung und COBOL besitzen, um die einzelnen Punkte, die in diesem Aufsatz aufgeführt sind, zu verstehen.

Alternativen zur Nutzung von COBOL AES Software

Hardware oder Software?

Hardware-basierte Verschlüsselung auf Zusatzgeräten:

- ✗ Die Anschaffung zusätzlicher Hardware ist nötig, was die Komplexität und die Wartungskosten erhöht.
- ✗ Wenn die Hardware ausfällt, kann das bedeuten, dass die Daten verschlüsselt sind und es keine Möglichkeit gibt, sie zu entschlüsseln.
- ✗ Alle Daten, die auf dem Gerät gespeichert werden, müssen verschlüsselt werden, nicht nur die sensiblen Felder.
- ✗ Alle Daten werden beim Lesevorgang entschlüsselt, auch wenn die Abfrage absolut trivial oder unsicher ist.
- ✗ Da der komlette Datenträger ver- und entschlüsselt wird, erhöht sich der Verarbeitungsaufwand, und damit steigen Kosten für Strom und Kühlung.
- ✓ Die Anwendungsprogramme müssen nicht verändert werden.

Softwareverschlüsselung, die durch Anwendungsprogramme initiiert wird:

- ✗ Der Programmiercode der Anwendungsprogramme muss geringfügig verändert werden.
- ✓ Nur die Daten, die der Geheimhaltung unterliegen, müssen verschlüsselt werden.
- ✓ Die meisten Anwendungsdaten bleiben da, wo sie vorher waren, und es kann ohne Veränderung auf sie zugegriffen werden.
- ✓ Es können unterschiedliche Verschlüsselungsmodi, Schlüssel und Schlüssellängen verwendet werden.
- ✓ Der Verschlüsselungsalgorithmus kann einfach verändert, d.h. die Sicherheit erhöht werden.
- ✓ Veränderungen der Verschlüsselungsparamenter können inkrementel durchgeführt werden.

Welche Programmiersprache eignet sich am besten für die Verschlüsselung?

- ✗ **Assembler** ist oftmals eine effiziente Wahl, wenn es sich um kleinere Anwendungen handelt. Der AES-Algorithmus besteht jedoch aus einer langen, komplexen Abfolge mathematischer Operationen, was sich für Assembler nicht eignet. Ein optimiertes COBOL-Programm, das mit einem guten Compiler kompliliert wurde, läuft in den meisten Fällen schneller.
- ✗ **Java** benötigt zur Durchführung derselben logischen Operation etwa die zehnfache Rechenleistung, die COBOL brauchen würde [7]. Selbst wenn diese Arbeitslast an einen Spezialprozessor übergeben wird, sind die Gesamt-CPU-Zeit und auch die Verarbeitungszeit dennoch größer als unter COBOL.
- ✓ **COBOL**-Unterprogramme, die von einem COBOL-Anwendungsprogramm aufgerufen werden, führen zu der effizientesten und am besten kompatiblen

Lösung, unter Verwendung der geringsten CPU-Last und ohne der Notwendigkeit, neu geschultes Personal einzusetzen.

Standardprogramme oder individuell programmiert?

Da es sich beim AES-Algorithmus um eine Abfolge komplexer Datenverarbeitungsbefehle unter Verwendung binärer Mathematik handelt, die weltweit standardisiert ist, ist es sinnvoll, kommerziell erhältliche Ver- und Entschlüsselungsunterprogramme zu verwenden. Ein professioneller Softwarehersteller hat den Programmiercode optimiert und wird zukünftige Verbesserungen des AES-Algorithmus, falls diese anstehen sollten, unterstützen.

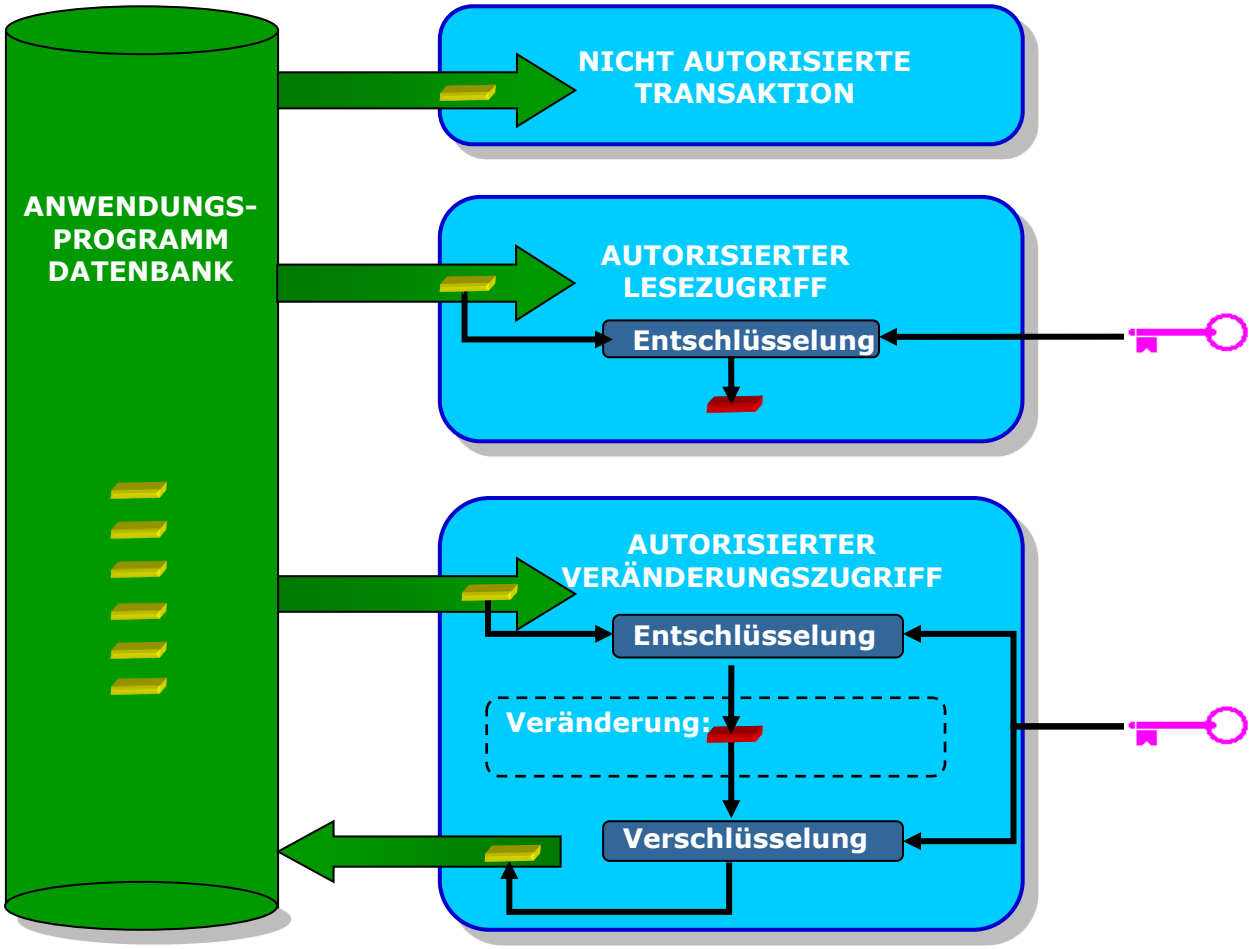
COBOL Verschlüsselung in der täglichen Anwendung

Wenn Sie sich für COBOL AES Verschlüsselung entscheiden, müssen Sie einmalig alle Felder, die geheimhaltungswürdige Daten (***Klartext***) enthalten, durch die entsprechenden verschlüsselten Felder (***Geheimtext***) ersetzen. Nachdem dieser Vorgang abgeschlossen ist, bleiben die Anwendungsdatenbanken und -dateien intakt und können genauso verwendet werden, wie es zuvor der Fall war. In den meisten Fällen führt die Entscheidung, vertrauliche Daten zu verschlüsseln zu keiner wie auch immer gearteiteten Notwendigkeit, ein Programm anzupassen.

Unsichere Transaktionen können weiterhin, wie bisher, auf Datensätze zugreifen, die verschlüsselte Felder enthalten; sie können lediglich den Inhalt der *Geheimtext*-Felder nicht lesen oder bearbeiten.

Wenn ein Anwendungsprogramm autorisiert ist, auf verschlüsselte Daten zuzugreifen, übergibt es den *Geheimtext* und den Schlüssel an ein Entschlüsselungsunterprogramm, das den lesbaren *Klartext* zurückgibt.

Wenn das autorisierte Anwendungsprogramm die verschlüsselten Daten verändern muss, verwendet es die übliche Entschlüsselungsmethode und ändert dann den *Klartext*. Der veränderte *Klartext* wird dann dem Verschlüsselungsprogramm übergeben (zusammen mit dem Schlüssel) und das neu ausgegebene *Geheimtext*-Feld wird in die Datenbank oder Datei zurückgeschrieben.



verschlüsselte, vertrauliche Daten (Geheimtext)

entschlüsselte, vertrauliche Daten (Klartext)

AES Verschlüsselungsmethodik

Eigenschaften von AES

- Verschlüsselung in Blöcken - jeweils 128 Bit (16 Zeichen) werden gemeinsam bearbeitet.
- Algorithmus mit symmetrischen Schlüsseln - zur Ver- und Entschlüsselung wird derselbe Schlüssel genutzt.
- Die Schlüssellänge kann 128, 192 oder 256 Bit betragen.
- Der Algorithmus geschieht aufgrund eines bekannten, logischen Prozesses - nur der verwendete Schlüssel muss geheim gehalten werden.

Der letzte Punkt in der Aufzählung oben ist für die Verwaltung von COBOL-Anwendungen besonders relevant. Das bedeutet nämlich, dass der Schlüssel zwar sicher aufbewahrt werden muss, der Quellcode der Software jedoch in den üblichen, frei zugänglichen Libraries aufbewahrt werden kann - was bei COBOL-Anwendungsprogrammen der Regelfall ist.

AES-Verschlüsselung ist keine Lösung, bei der jeder dasselbe Produkt auswählen muss. Es gibt mehrere, unterschiedliche Anwendungsszenarien, und weitere Eigenschaften, die dazu beitragen, dass sie sich nahtlos in viele unterschiedliche Softwareumgebungen einfügt. Die Auswahl des Verschlüsselungsmodus, der Schlüssellänge und der anderen Parameter hängt vom jeweiligen Anwendungsprogramm ab. Daher sollten die folgenden Punkte beachtet werden, bevor man ein AES-Projekt ins Auge fasst.

Relevante Auswahlkriterien

Sie können die nachfolgenden Fragen nutzen, um nur diejenigen Abschnitte dieses Dokuments auszuwählen, die auf Ihr Projekt zutreffen:

Sollte mein verschlüsselter Text im Ergebnis immer gleich sein, wenn ein bestimmter Text verschlüsselt wird?

Wenn ein verschlüsselter Text verwendet werden soll, um entsprechende verschlüsselte Werte innerhalb einer Anwendung darzustellen (Passwörter, Identifikationsnummern oder andere wichtige Felder), muss ein verschlüsselter Text für einen bestimmten zu verschlüsselnden Text immer denselben Wert annehmen - zu Details siehe den Abschnitt **Konsistente Geheimtexte**.

Um maximale Sicherheit zu erzielen, muss das Anwendungsprogramm jedoch einen unterschiedlichen verschlüsselten Text erzeugen, auch wenn er zu verschlüsselnde Text einen jeweils gleichen Wert hat. Wenn zum Beispiel die Ablaufdaten in einer Kreditkartenanwendung als konsistente verschlüsselte Texte erzeugt würden, würde es ausreichen, das richtige Ablaufdatum nur einer einzigen Kreditkarte zu wissen, um das Ablaufdatum aller Karten, die bis zum selben Monat gültig sind, zu enthüllen - zu Details siehe den Abschnitt **Inkonsistente Geheimtexte**.

Was macht man, wenn keine Notwendigkeit besteht, den verschlüsselten Text später wieder zu entschlüsseln?

Bei der Überprüfung einer Nutzerkennung, von Passwörtern oder PIN-Nummern ist es oft so, dass keine Entschlüsselung benötigt wird. Es kann sogar ausreichend sein, eine Standard-Hashroutine zu verwenden, anstelle von Verschlüsselung. Wenn die Eingabe nach der Verschlüsselung oder dem Hashprozess dem zuvor verschlüsselten oder gehashten Wert der Nutzerkennung, des Passwortes oder der PIN-Nummer entspricht, konnte die Eingabe verifiziert werden. Die Anwendung muss nicht die tatsächlich verwendete Nutzerkennung, das Passwort oder die verwendete PIN erfahren - siehe den Abschnitt **Verschlüsselung ohne Entschlüsselung**, wenn Sie weitere Details erfahren möchten.

Welche Schlüssellänge sollte man verwenden?

Die Wahl der Schlüssellänge von 128, 192 oder 256 Bit hängt von der für die verarbeiteten Daten benötigten Sicherheitsstufe ab. 128 Bit wird für die meisten kommerziellen Anwendungen in der Regel als ausreichend angesehen.

Ein 192 Bit-Schlüssel benötigt etwa 20% höhere Rechenleistung als ein 128 Bit-Schlüssel und ein 256 Bit-Schlüssel benötigt eine ungefähr 40% höhere Rechenleistung als ein 128 Bit-Schlüssel.

Kann Geheimtext erzeugt werden, der später dann von einer externen AES-Verschlüsselungsroutine entschlüsselt wird (oder umgekehrt)?

Ja. Bei der AES-Verschlüsselung handelt es sich um einen globalen Standard, der unabhängig ist von Rechner oder Programmiersprache. Der verwendete Schlüssel, der Vertraulichkeitsmodus (siehe **Anhang A: Vertraulichkeitsmodi**) und, falls nötig, der Initialisierungsvektor (siehe **Anhang B: Initialisierungsvektoren**) müssen jedoch alle bei Ver- und Entschlüsselung übereinstimmen, daher muss man sich auf diese vorab mit dem Drittanbieter verständigen.

Kann Cipertext in einem XML-Dokument übertragen werden?

Nein - auch nicht innerhalb eines CDATA-Abschnitts. Geheimtext besteht aus scheinbar zufälligen Bitmustern, die zufällig jedes Zeichen, oder Zeichenfolge, darstellen könnten. So würde beispielsweise das „<"-Zeichen durchschnittlich einmal pro 256 Zeichen Geheimtext auftreten ($1:2^8$) und die Zeichenfolge „]]>" würde durchschnittlich einmal pro 17 MB Zeichen Geheimtext auftreten ($1:2^{24}$). Außerdem gibt es bei XML nur einen begrenzten Zeichensatz[8], so dass ungültige Zeichen, die im Geheimtext auftauchen, dazu führen, dass XML nicht „wohlgeformt" ist.

Die beste Lösung für dieses Problem ist es, den Geheimtext ins Base64[9] Format zu konvertieren (Zeichensatz von A-Z, a-z, 0-9, +, / und =). Das kann entweder innerhalb des AES-Verschlüsselungs-Unterprogramms durchgeführt werden, oder indem man ein separat erhältliches Softwaretool nutzt, um Geheimtext in Base64 umzuwandeln, beispielsweise RCBINB64[10].

Die Umwandlung in Base64 führt notwendigerweise zu einem Geheimtext, der etwa 33% länger ist als zuvor.

Kann Geheimtext komprimiert werden?

Es kommt auf einen Versuch an. Da die Bitmuster im Geheimtext jedoch zufällig verteilt sind, ist es nicht unwahrscheinlich, dass die Länge des komprimierten Textes größer ist als die des unkomprimierten Textes. Allerdings ist es möglich, komprierten Klartext zu verschlüsseln. Daher sollte folgende Verarbeitungsreihenfolge eingehalten werden:

komprimieren, verschlüsseln, → *entschlüsseln, dekomprimieren*.

Wie erreicht man ein vorgeschriebenes Format des Geheimtextes?

Geheimtext kann normalerweise ohne Probleme in alphanumerischen COBOL-Felder (`PIC X`) abgelegt werden. Wenn das Feld, in dem der Geheimtext gespeichert werden soll, jedoch numerisch definiert ist, oder wenn es einem spezifischen Format entsprechen muss, wird das zu Formatierungsproblemen führen (da Geheimtext aus einer zufälligen Abfolge von Bits besteht). Wenn Geheimtexte in Feldern abgespeichert werden sollen, die eingeschränkte Formate oder Werte besitzen, lesen Sie bitte den **Festes Format (FFx)**.

Wie kann man große Datenmengen sehr schnell ver- und entschlüsseln?

Anwendungsprogramme, die große Datenmengen sehr schnell verarbeiten müssen, können möglicherweise an Leistungsgrenzen stoßen, wenn AES-Algorithmen in Stoßzeiten ausgeführt werden sollen. Um dieses Problem zu vermeiden, kann in Zeiten, in denen die Prozessorlast geringer ist, ein Vorrat an Pseudozufallsbinärstrings angelegt werden. Dieser Vorrat kann dann dazu verwendet werden, in Stoßzeiten vertrauliche Daten zu ver- und entschlüsseln, indem die *exclusive or* Logik verwendet wird (siehe **Anhang E: Exlusives Oder (XOR)**). Zu weiteren Details lesen Sie bitte den Abschnitt **Binäre Speicherbänke**.

Gibt es noch etwas, das man beachten sollte?

In der Anwendungssteuerung ist es von überragender Wichtigkeit, die zur Verschlüsselung verwendeten Schlüssel sicher aufzubewahren. Da jede Installation andere Eigenschaften hat und die Details der Aufbewahrung der Schlüssel geheimzuhalten sind, ist ein öffentlich frei verfügbares White Paper sicher nicht der richtige Ort, um zu beschreiben, wie mit den Schlüsseln umgegangen werden sollte.

Vor diesem Hintergrund soll hier dennoch darauf hingewiesen werden, dass die verwendeten Schlüssel wahrscheinlich einen Angriff eher standhalten können, wenn sie aus einem zufälligen Bitmuster bestehen, und nicht aus ausdruckbaren Zeichen. Das kann beispielsweise dadurch erreicht werden, indem man einen alphanumerischen String als Ausgangsbasis verwendet und diesen dann AES-verschlüsselt, wobei die Ausgabe als Schlüssel verwendet wird.

Es hat sich auch als vorteilhaft erwiesen, die verwendeten Felder im Anwendungsprogramm, die Schlüssel oder Klartext enthalten, direkt nach Beendigung der Ver- bzw. Entschlüsselung zu initialisieren. Gute Verschlüsselungssoftware sollte auch die Möglichkeit bieten, alle Speicherbereiche, die Schlüssel oder unverschlüsselte Daten enthalten können, zu initialisieren.

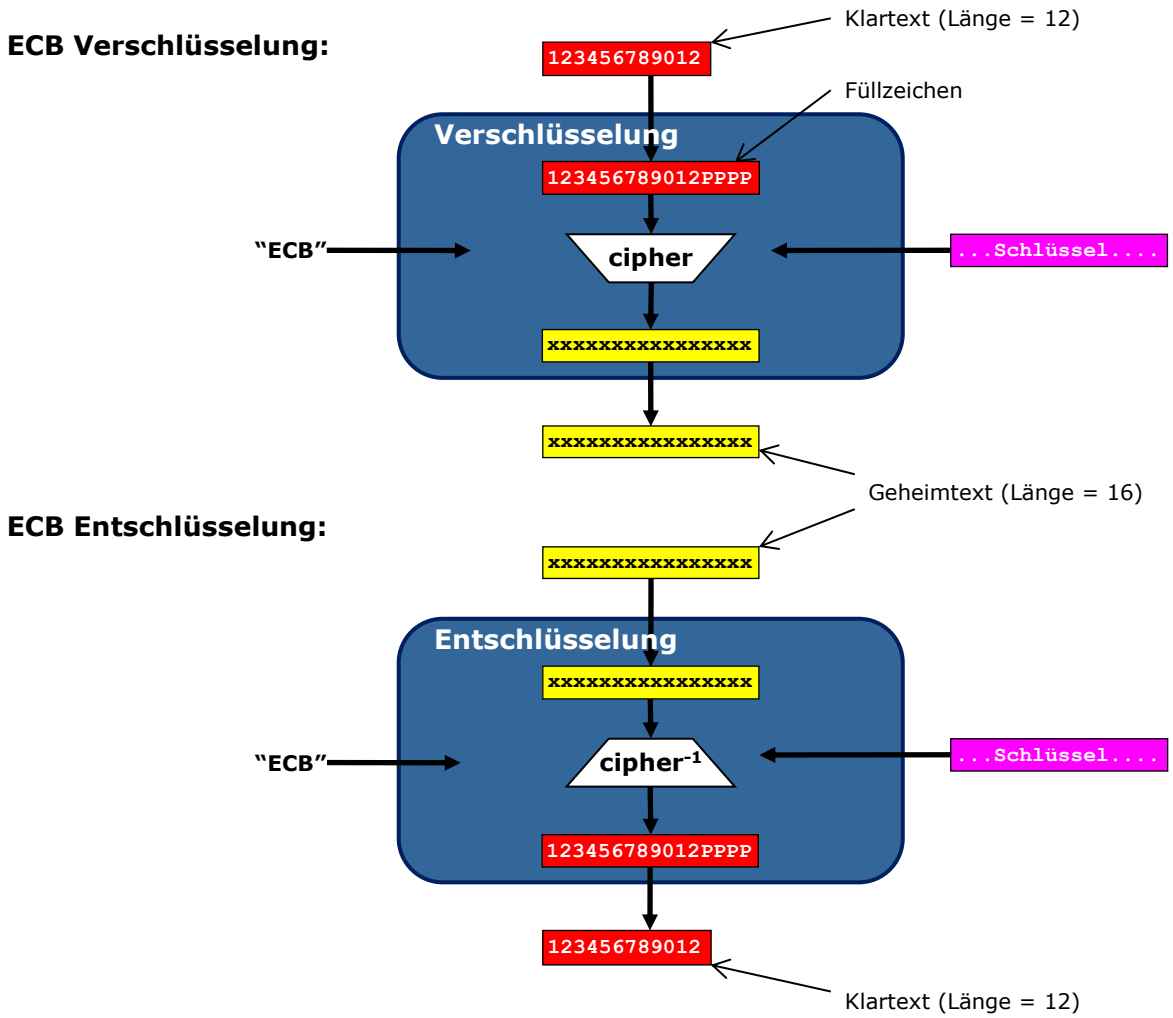
Falls ein Schlüssel unbrauchbar wird, weil er unberechtigten Personen zugänglich gemacht wurde, muss schnellstmöglich ein neuer Schlüssel erzeugt und alle verschlüsselten Felder neu verschlüsselt werden. Falls umständehalber keine hohe Dringlichkeit besteht, besteht die Möglichkeit, den Übergang zum neuen Schlüssel schrittweise durchzuführen, indem anhand des Datums/der Zeit des letzten Verschlüsselungsprozesses festgestellt wird, ob der alte oder der neue Schlüssel für die Entschlüsselung verwendet werden sollte, und dann, falls nötig, eine Neuverschlüsselung unter Verwendung des neuen Schlüssels durchzuführen.

Konsistente Geheimtexte

Wenn die AES-Verschlüsselung für einen vorgegebenen Klartext und Schlüssel einen konsistenten Geheimtext-String erzeugen soll, muss die AES-Verschlüsselung zusammen mit dem Modus Electronic Code Book (ECB) verwendet werden (siehe **Anhang A: Vertraulichkeitsmodi**).

Die Verwendung des ECB Modus

Um einen Klartext zu verschlüsseln, übergibt ein Anwendungsprogramm den Modus („ECB"), den Schlüssel und den Klartext an das Verschlüsselungsunterprogramm. Das Unterprogramm gibt den entsprechenden konsistenten Geheimtext zurück. Zur Entschlüsselung wird derselbe Modus und Schlüssel dem Entschlüsselungsunterprogramm übergeben, zusammen mit dem Geheimtext, und der Klartext kommt zurück. Unten ist das dargestellt:



Der wichtigste Nachteil bei der Verwendung des ECB Modus besteht darin, dass damit nie ein Geheimtext erzeugt werden kann, der dieselbe Länge wie der Klartext hat. Mindestens ein Füllzeichen (siehe **Anhang D: Füllzeichen**) muss immer rechts an den Klartext angehängt werden, damit das Entschlüsselungsprogramm die Länge des ursprünglichen Klartextes bestimmen kann. Außerdem muss der Klartext an das AES Verschlüsselungsprogramm immer in kompletten 16-Byte-Blöcken übergeben werden. Die Kombination dieser beiden Bedingungen bedeutet, dass der Geheimtext

immer zu einer Geheimtextlänge führt, die auf das nächste Vielfache von 16 verlängert wird (selbst wenn der Klartext schon eine Länge hat, die exakt ein Vielfaches von 16 ist).

Wenn eine Entschlüsselung benötigt wird, braucht man jedes einzelne Zeichen des verschlüsselten Textes als Eingabe für die Entschlüsselungsroutine, daher muss berücksichtigt werden, dass verschlüsselte Texte immer länger sind als unverschlüsselte.

Wenn man den kompletten verschlüsselten String innerhalb des Anwendungsprogramms speichern kann, braucht man sonst nichts, um die notwendigen Eingabefelder für eine erfolgreiche Entschlüsselung zu haben. Wenn Plattenplatz jedoch knapp ist, oder wenn das Dateiformat bei der Verschlüsselung nicht geändert werden kann, braucht man eine andere Technik. Auf den folgenden Seiten wird dargestellt, wie die negativen Effekte der Verlängerung des Geheimtextes im Rahmen einer ECB-Verschlüsselung reduziert werden können.

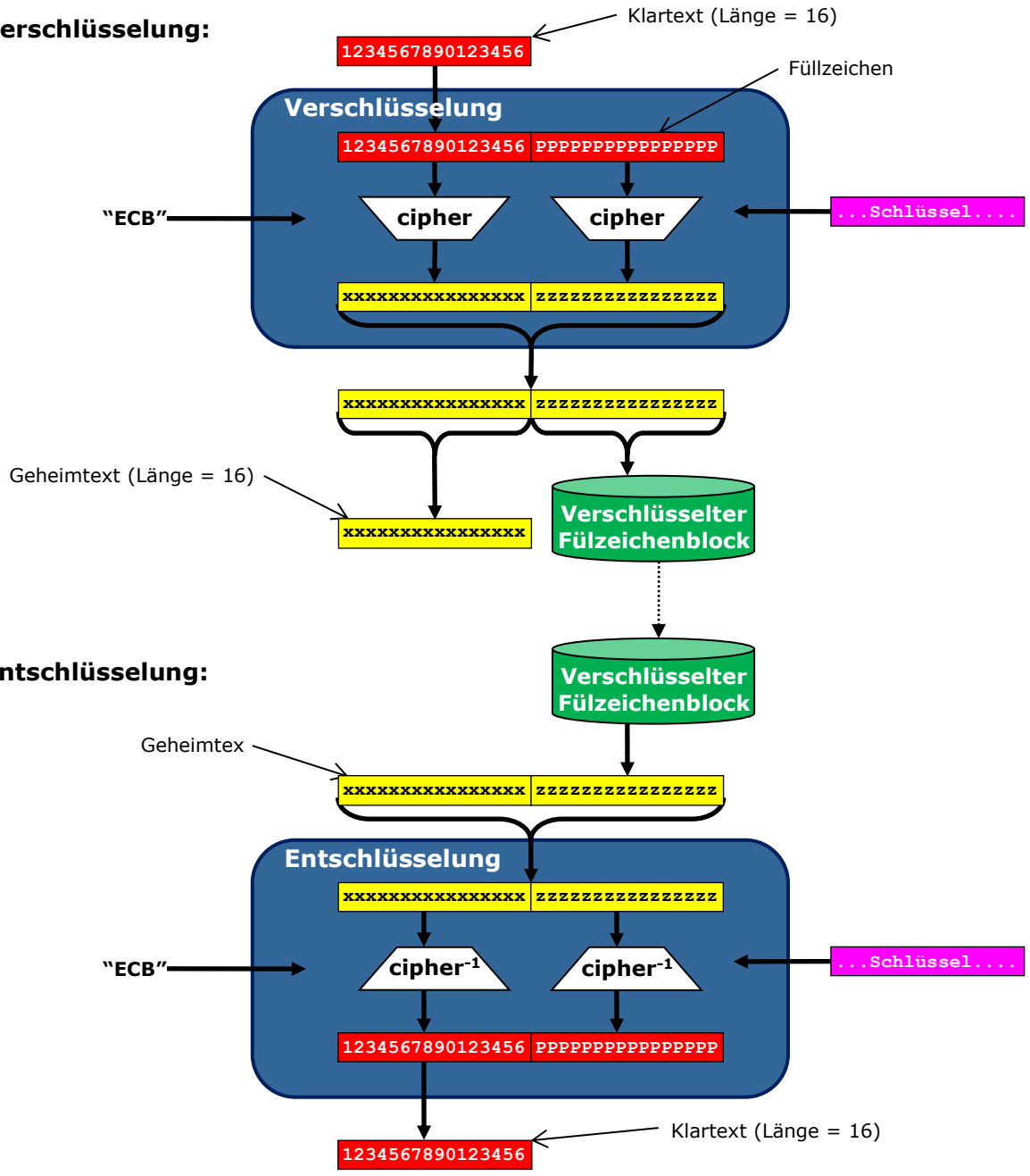
Die Entfernung des Füllzeichenblocks

Wenn der Klartext immer dieselbe Länge hat, und diese Länge zufällig genau ein Vielfaches von 16 beträgt, kann das Anwendungsprogramm die Verlängerung des Geheimtextes verhindern, indem eine einzelne Kopie der verschlüsselten Füllzeichen, aus denen der letzte Block des Geheimtextes besteht, gespeichert werden (siehe **Anhang D: Füllzeichen**).

Da die AES-Verschlüsselung immer einen Gesamtblock von 16 Bytes auf einmal bearbeitet, indem von links nach rechts verarbeitet wird, hat dieser letzte Füllzeichenblock keinen Einfluss auf den Geheimtext, der sich links davon befindet, und wird für einen bestimmten Schlüssel immer gleich aussehen. Daher muss für jeden Schlüssel nur eine einzige Kopie des verschlüsselten Füllzeichenblocks gespeichert werden. All folgenden Verschlüsselungen von Klartext, dessen Länge ein Vielfaches von 16 beträgt, können für diesen Schlüssel die letzten 16 Zeichen des Geheimtext verwerfen, was bedeutet, dass der verbleibende Geheimtext dieselbe Länge wie der Klartext haben wird, bevor er verschlüsselt wurde.

Wenn ein Geheimtext entschlüsselt werden soll, der den letzten rechten Block nicht besitzt, wird einfach die gespeicherte Kopie des verschlüsselten Füllzeichenblocks rechts an den Geheimtext angehängt. Dann kann die Entschlüsselung unter Nutzung des umgekehrten Schüssels wie gewohnt beendet werden. Hier ist das nochmal graphisch dargestellt:

ECB Verschlüsselung:



ECB Entschlüsselung:

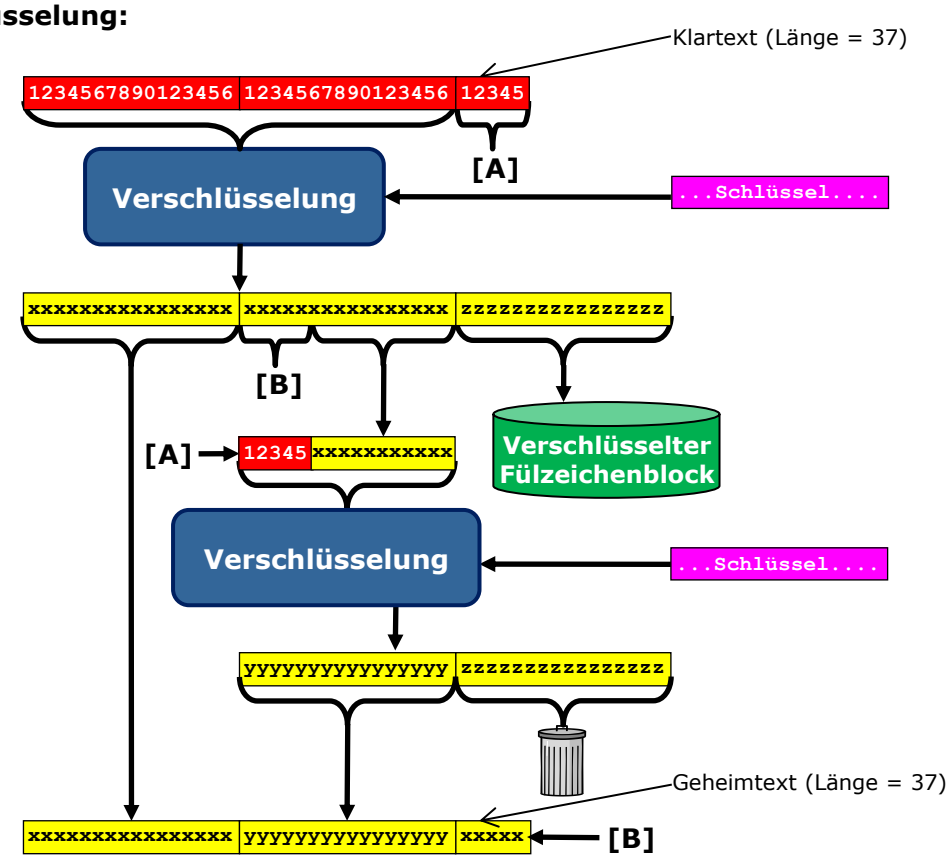
Gestohlener Geheimtext

Wenn man Klartext ECB-verschlüsseln will, dessen Länge nicht genau ein Vielfaches von 16 ist, aber jedenfalls größer als 16, kann eine Verlängerung des Geheimtext im Vergleich zum Klartext vermieden werden, wenn man eine Technik verwendet, die als ciphertext stealing[12] bezeichnet wird.

Wenn man eine Verschlüsselung unter Verwendung von gestohlenem Geheimtext durchführen will, geht man wie folgt vor (siehe Abbildung unten):

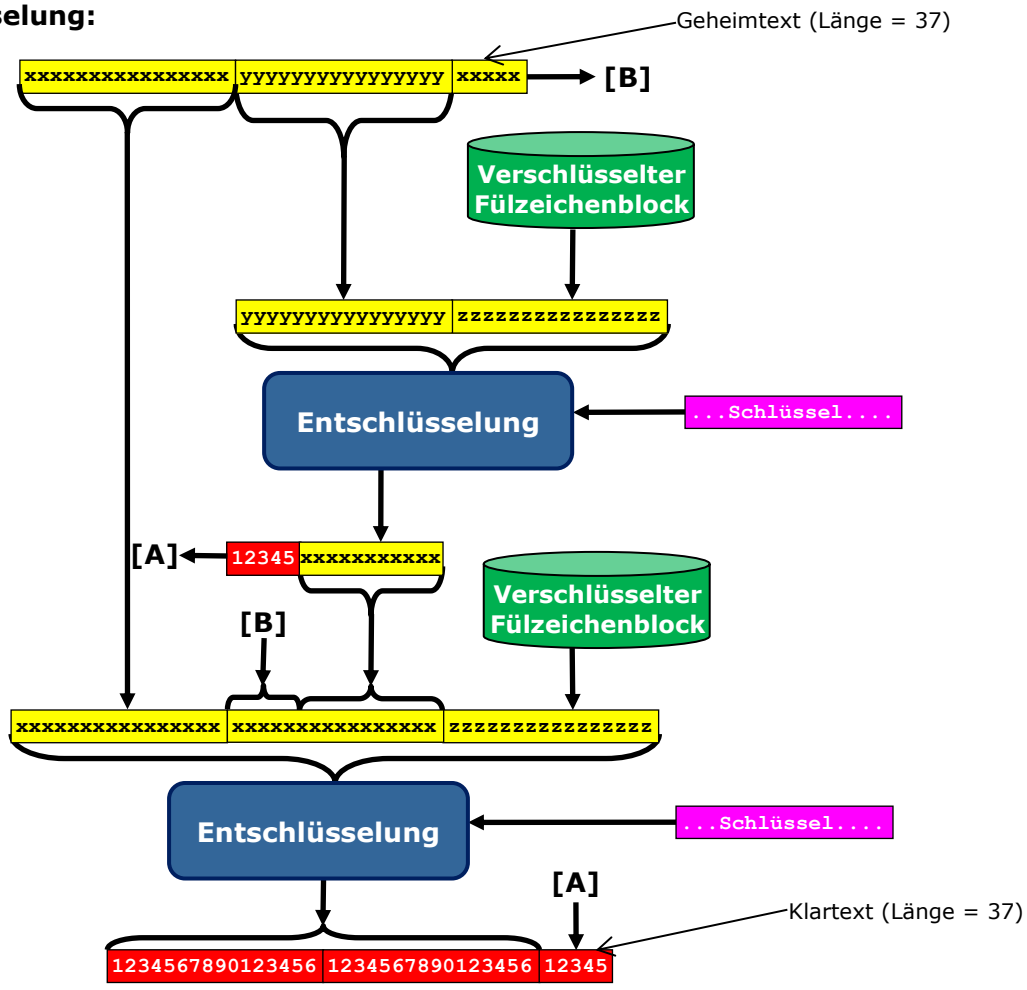
1. Die Bytes am rechten Rand des Klartext, die nicht Teil eines vollständigen 16-Zeichen-Blocks sind, werden in den Hauptspeicher **[A]** übertragen.
2. Der gesamte Klartext wird ECB-verschlüsselt, außer den Zeichen, die in den Hauptspeicherbereich [A] übertragen wurden. Diese Verschlüsselung erzeugt einen weiteren 16-Byte langen, verschlüsselten Füllzeichenblock - siehe voriger Abschnitt **Die Entfernung des Füllzeichenblocks**.
3. Die Anzahl der Zeichen im Speicherbereich **[A]** wird ermittelt, und diese Anzahl Bytes wird vom Anfang des letzten 16 Byte-Geheimtext-Blocks in einen zweiten Speicherbereich **[B]** übertragen.
4. Die Geheimtext-Bytes, die in **[B]** (Schritt 3) gespeichert sind, werden mit den Klartext-Bytes aus **[A]** (Schritt 1) überschrieben.
5. Der letzte 16-Byte-Block des Geheimtext wird ECB-verschlüsselt (dieser Block enthält einige Bytes, die aus der vorhergehenden Verschlüsselung „gestohlen" wurden). Es wird wiederum ein zusätzlicher, verschlüsselter Füllzeichenblock erzeugt. Dieser Block kann verworfen werden, da er mit dem in Schritt 2 erzeugten Block übereinstimmt.
6. Der ursprünglich letzte Geheimtext-Block wird durch den in Schritt 5 erzeugten Geheimtext-Block überschrieben.
7. Schließlich werden die Zeichen aus Speicherbereich **[B]** an das Ende des Geheimtextes angefügt.

ECB Verschlüsselung:



Der Prozess des gestohlenen Geheimtextes beim Entschlüsseln funktioniert umgekehrt wie beim Verschlüsseln - siehe die untenstehende Darstellung:

ECB Entschlüsselung:



Hinweis: Dieser Prozess führt zu einem Geheimtext, bei dem manche Zeichen doppelt verschlüsselt werden und mehrere Zeichen nicht in der richtigen Reihenfolge stehen. Das spielt jedoch keine Rolle, wenn der Prozess des gestohlenen Geheimtextes beim Entschlüsseln in umgekehrter Reihenfolge durchgeführt wird.

Klartext anderer Längen

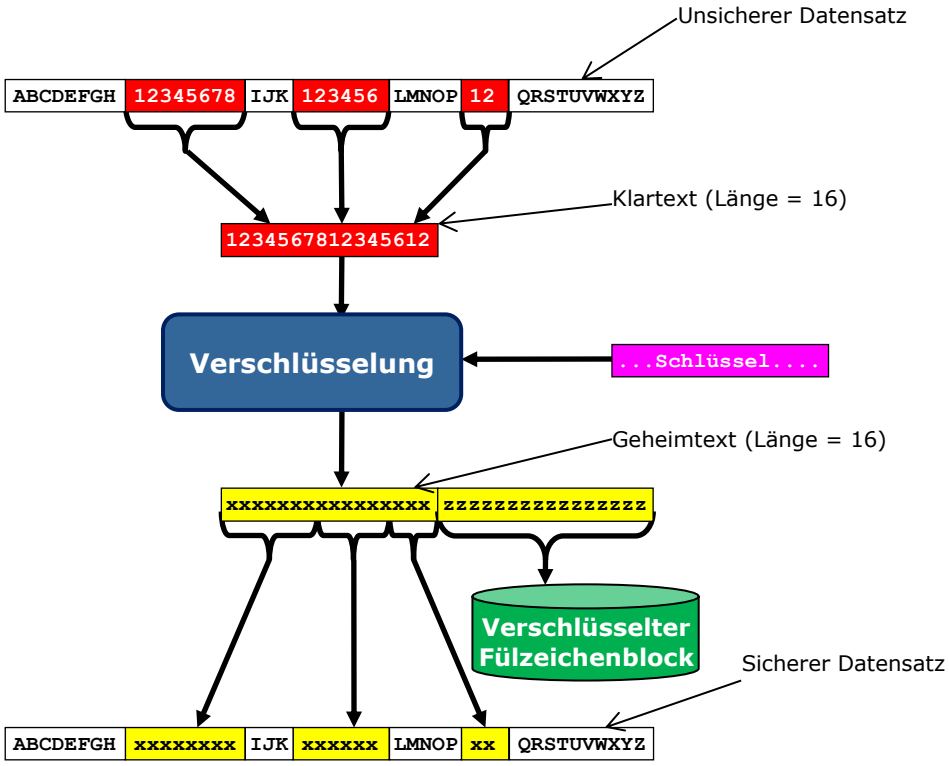
Für die ECB-Verschlüsselung und -Entschlüsselung von Klartextlängen von 1 bis 15 Bytes wird die Einbeziehung einiger zusätzlicher Felder im Anwendungsprogramm nötig sein, wenn eine Vergrößerung des Geheimtextes vermieden werden soll. Dies liegt daran, dass ein 16-Byte-Block die kleinstmögliche Eingabe für die AES-Verschlüsselung bzw. Entschlüsselung ist.

Blöcke mit Geheimtext müssen nicht als ein zusammenhängendes Feld innerhalb des Anwendungsprogramms gespeichert werden. Sie können aufgetrennt und in unterschiedlichen, kleineren Feldern gespeichert werden, um dann bei Bedarf für die Entschlüsselung wieder zusammengesetzt zu werden.

Daher besteht die einfachste Lösung für kurze Klartexte darin, etwas mehr Informationen als das absolute Minimum zu verschlüsseln. Wenn z.B. eine acht Byte lange Kontonummer verschlüsselt werden soll, warum nicht gleichzeitig auch die Bankleitzahl und/oder die Kontoart verschlüsseln. Sobald die kombinierte Länge einer Gruppe von Feldern mehr als 15 beträgt, kann ein kompletter Klartextblock von der Anwendung aufgebaut und als Eingabe in die Verschlüsselungsroutine verwendet werden.

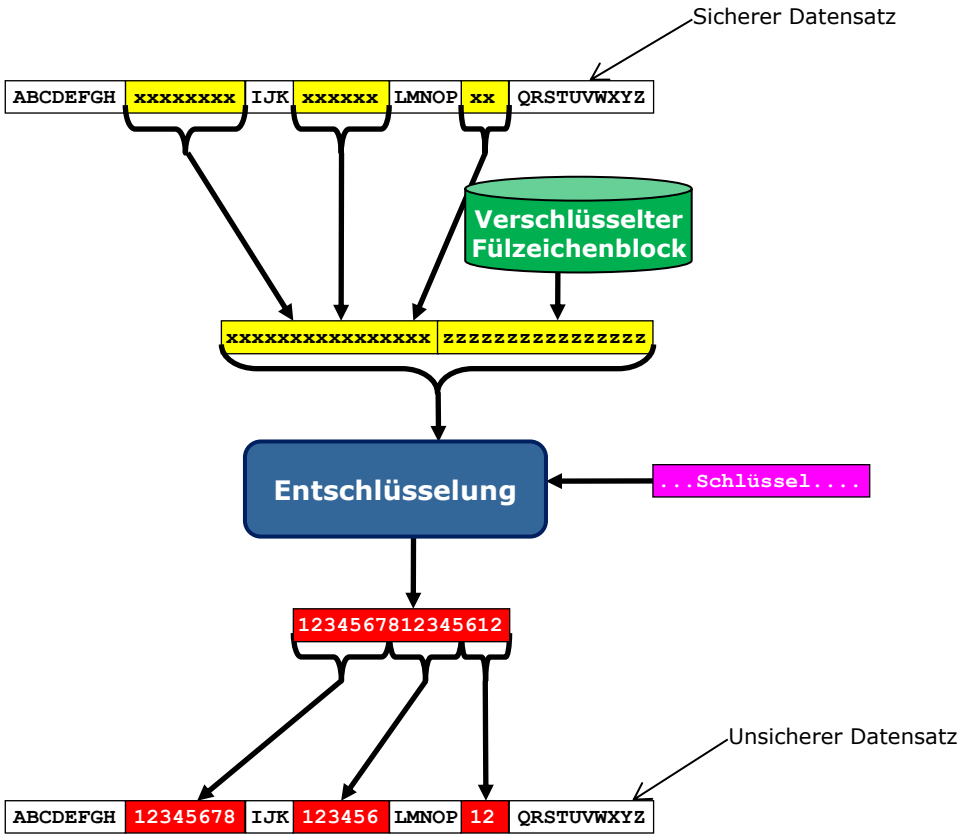
Die Techniken zum Entfernen des Füllzeichenblocks und/oder zum Stehlen des Geheimtextes können verwendet werden, um einen Geheimtext von der gleichen Länge wie der Klartext zu erzeugen. Der Geheimtext kann dann über die Feldgruppe aufgelöst und anstelle des ursprünglichen Klartextes gespeichert werden. Siehe unten:

ECB Verschlüsselung:



Für die Entschlüsselung muss das Anwendungsprogramm den kompletten Geheimtext aus dem Inhalt Gruppe der Felder neu aufbauen und diesen Block an die Entschlüsselungsroutine übergeben (mit dem verschlüsselten Füllzeichenblock, falls dieser bei der Verschlüsselung entfernt wurde). Dann steht der Klartext für alle Felder innerhalb der Gruppe zur Verfügung. Siehe unten:

ECB Entschlüsselung:



Anstatt eine Gruppe unterschiedlicher Felder innerhalb eines bestimmten Datensatzes/einer bestimmten Zeile auszuwählen, könnte man das selbe Feld aus mehreren verschiedenen, aber miteinander verbundenen Datensätzen/Zeilen auswählen. In diesem Szenario würden mehrere Vorkommen des Feldes gleichzeitig für alle Datensätze/Zeilen in der Bezugsgruppe verschlüsselt und entschlüsselt.

Hinweis: Lassen Sie sich nicht dazu verleiten, ECB-Verschlüsselung mit Blöcken auszuführen, die teilweise Klartext und teilweise Geheimtext enthalten, oder einen gemeinsamen Geheimtext zu erstellen und dann „exklusive oder" zu verwenden, um kürzere Geheimtexte für bestimmte Felder zu erstellen. Dies wird entweder nicht funktionieren oder zu einen Geheimtext führen, der sehr anfällig für unbefugte Entschlüsselung ist.

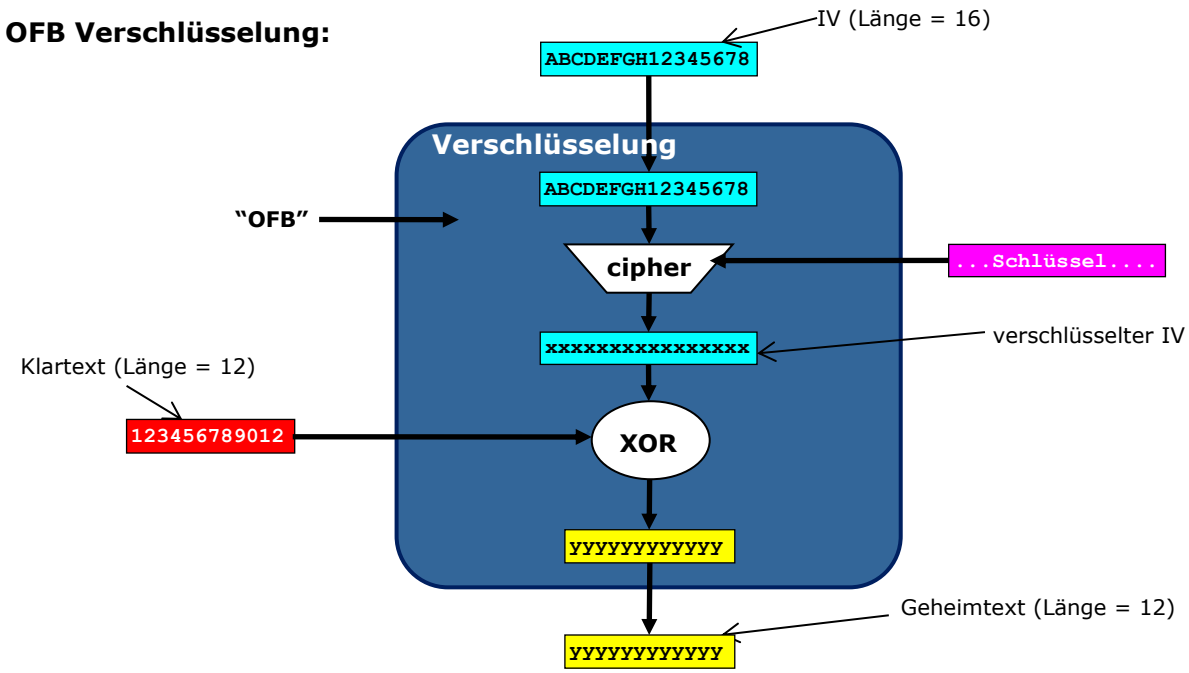
Inkonsistente Geheimtexte

Die Erstellung eines inkonsistenten Geheimtextes aus demselben Klartext und Schlüssel beruht auf der Verwendungung des AES Verschlüsselungsprozesses in Verbindung mit einem Operationsmodus, der nicht **Electronic Code Book (ECB)** Modus ist. (siehe **Anhang A: Vertraulichkeitsmodi**). Diese Vertraulichkeitsmodi benötigen einen **Initialisierungsvektor (IV)** (siehe **Anhang B: Initialisierungsvektoren**) oder **Zähler**block (siehe **Anhang C: Zähler**), um ein den Verschlüsselungsprozess eine gewissen Unverhersagbarkeit einzuführen.

Die Nutzung des OFB-Modus

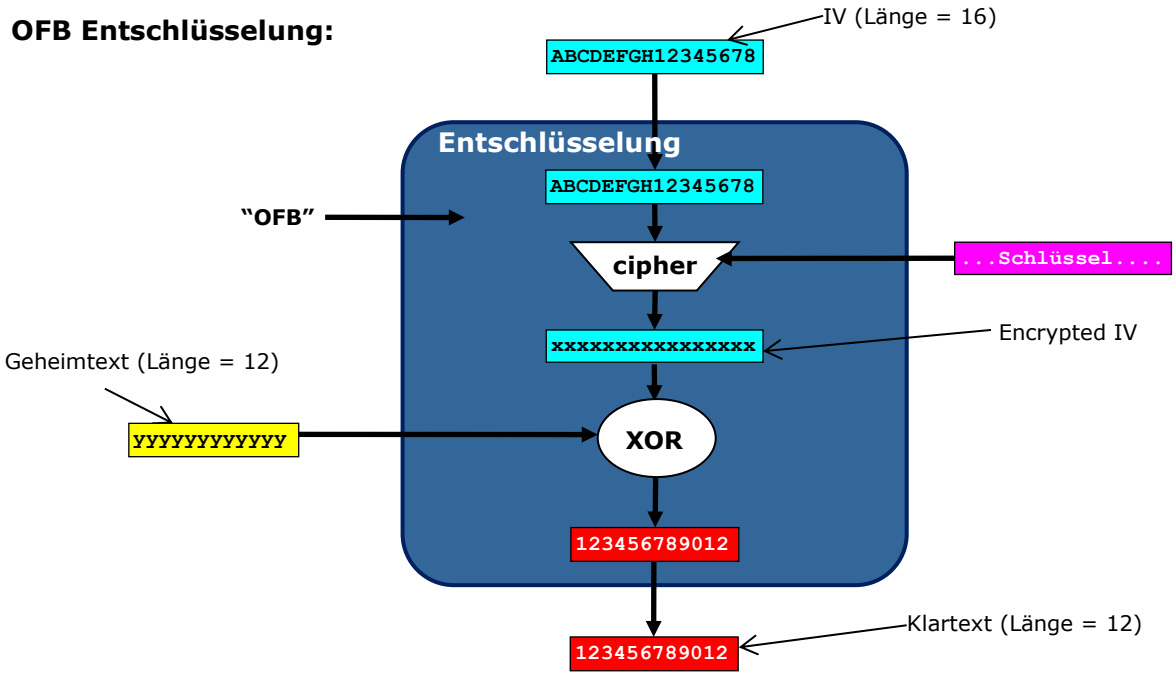
Von den verfügbaren inkonsistenten Vertraulichkeitsmodi wird **Output FeedBack (OFB)** häufig als der geeignetste für COBOL-Anwendungen angesehen. Dieser Modus erzeugt einen Geheimtext von gleicher Länge wie der Klartext (so dass es einfach ist, Klartextfelder durch den entsprechenden Geheimtext zu ersetzen), und der IV muss nicht unvorhersehbar sein - er muss nur einzigartig sein. Außerdem wird die effizientere Vorwärts-Chiffrierung sowohl innerhalb der Ver- als auch der Entschlüsselungs-Unterprogramme verwendet.

Um einen Klartext im OFB-Modus zu verschlüsseln, übergibt die Anwendung den IV, Modus ("OFB"), den zur Verschlüsselung zu verwendenden Schlüssel und den Klartext an das Verschlüsselungs-Unterprogramm. Das Unterprogramm gibt dann den entsprechenden, inkonsistenten, verschlüsselten Text zurück - siehe Beispiel unten:



Die obige Zeichnung verdeutlicht, wie wichtig der Initialisierungsvektor (IV) ist. Der IV, nicht der Klartext, wird von der AES Verschlüsselungsroutine bearbeitet. Um den Geheimtext zu erzeugen, wird jedes Klartextzeichen mit einem verschlüsselten IV-Zeichen kombiniert, mit der *Exklusiven Oder* (**XOR**) Logik (siehe **Anhang E: Exklusives Oder**). Sollte es im verschlüsselten IV noch unbenutzte Zeichen geben, werden diese nicht beachtet.

Zur Entschlüsselung werden derselbe IV, Modus und Schlüssel an das Entschlüsselungsprogramm übergeben, zusammen mit dem Geheimtext. Der Klartext wird dadurch zurückgegeben - siehe unten:



Wie oben gezeigt, stellt die Entschlüsselungsroutine den verschlüsselten IV wieder her und kombiniert diesen dann mit dem Geheimtext unter Verwendung der *Exklusiven Oder* (**XOR**) Logik, die den Klartext wiederherstellt.

Die Kombination der Verwendung optimierter COBOL-Unterprogramme mit der AES-Vorwärts-Chiffre führt zu einer effizienten Ver- und Entschlüsselung. Da die AES-Verschlüsselungsroutine jedoch mit Blöcken von jeweils 16 Bytes (unabhängig von der Klartextlänge) arbeitet, kann durch die Kombination mehrerer kleiner Felder zu einem einzigen Klartextblock eine noch höhere Leistung erzielt werden - siehe Beispiele im vorherigen Abschnitt **Klartext anderer Längen** (Ignorieren von Füllzeichen). Mit einer einzigen Ausführung der Verschlüsselungsroutine können dann mehrere kleine Felder gleichzeitig ver- oder entschlüsselt werden.

Hinweis: Eine zusätzliche Überlegung beim Aufbau von inkonsistenten Geheimtexten ist, dass sie die Möglichkeit von „Kollisionen" von Geheimtexten einführen. Als „Kollisionen" von Geheimtexten bezeichnet man es, wenn zwei verschiedene Klartexte durch die Verschlüsselung den gleichen Geheimtext erzeugen. Dies wird für die meisten Anwendungen kein Problem darstellen, aber Systementwickler sollten sich dieser Möglichkeit bewusst sein, für den Fall, dass ein Geheimtext als Schlüsselfeld verwendet werden soll.

Verschlüsselung ohne Entschlüsselung

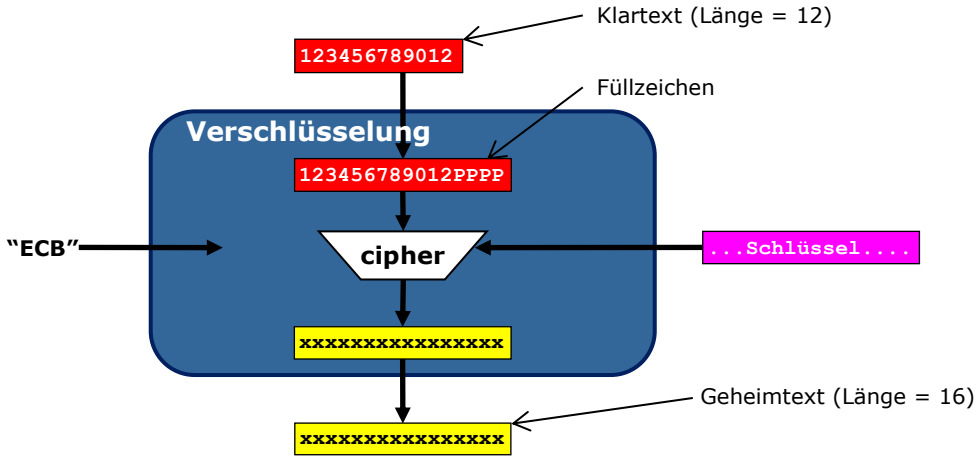
Wenn Eingaben wie etwa eine Nutzerkennung, ein Passwort oder eine PIN-Nummer authentifiziert werden müssen, ist es normalerweise nicht nötig, die Daten, die vom Computer gespeichert wurden, zu entschlüsseln. Man braucht nur eine Einweg-Verschlüsselung, oder eine Hashsumme der Eingabe, um einen Vergleich mit den gespeicherten Daten vornehmen zu können. Das führt zum Ergebnis „übereinstimmend" oder „nicht übereinstimmend".

Einwegverschlüsselung

Bei der Authentifizierung mit Einwegverschlüsselung ist es unabdingbar, dass für einen gegebenen Klartext immer derselbe Geheimtext generiert wird. Daher muss die AES-Verschlüsselungsroutine in Verbindung mit dem Betriebsmodus **Electronic Code Book (ECB)** verwendet werden (siehe **Anhang A: Vertraulichkeitsmodi**).

Um einen Klartext zu verschlüsseln, übergibt die Anwendung den Modus ("ECB"), den Schlüssel und den Klartext an das Verschlüsselungs-Unterprogramm. Das Unterprogramm gibt dann den entsprechenden konsistenten Geheimtext zurück - unten dargestellt:

ECB Verschlüsselung:



Ein Aspekt der ECB-Verschlüsselung ist, dass Füllzeichen (siehe **Anhang D: Füllzeichen**) immer rechts vom Klartext hinzugefügt werden, so dass vollständige Blöcke von 16 Bytes an die Verschlüsselungsroutine übergeben werden. Dadurch entsteht eine Geheimtextlänge, die auf das nächste Vielfache von 16 erweitert wird (auch wenn der Klartext bereits ein Vielfaches von 16 war).

Diese Vergrößerung des Geheimtextes kann ein Problem darstellen, wenn der Geheimtext anstelle des ursprünglichen Klartextes gespeichert werden soll. Der vollständige Geheimtext ist jedoch nur als Eingabewert für die Entschlüsselung notwendig. Wenn die Anwendung lediglich zweifelsfrei überprüfen muss, dass die richtige Nutzerkennung, das richtige Passwort oder die richtige PIN-Nummer eingegeben wurde, ist nur ein Vergleich mit einem Teil der Geheimtext-Bytes erforderlich.

Zum Beispiel würde eine 4-stellige PIN, die mit der ECB-Verschlüsselung bearbeitet wird, einen Geheimtext von 16 Bytes ergeben. Wenn von der Anwendung nur die Geheimtextbyte-Positionen 6 bis 9 gespeichert werden, ist das resultierende Bitmuster wahrscheinlich für jede der 10.000 verschiedenen PIN-Möglichkeiten eindeutig.

Hinweis: Eine Eingabeverifizierung unter Verwendung anderer Vertraulichkeitsmodi als ECB ist ebenfalls möglich, aber es wird der gleiche Initialisierungsvektor (IV) benötigt, um einen konsistenten Geheimtext zu erzeugen. Dies ist das einzige Szenario, in dem IV's jemals

wiederverwendet werden sollten. Wenn der erzeugte Geheimtext nicht mit dem gespeicherten Geheimtext übereinstimmt, muss der falsche Geheimtext vernichtet werden. Wenn ein neues Passwort oder eine neue PIN verschlüsselt werden soll, muss ein neuer, eindeutiger IV verwendet werden (siehe **Anhang B: Initialisierungsvektoren**).

Hash-Summe

Eine Alternative zur Verwendung von Einweg-AES-Verschlüsselung für die Eingabeauthentifizierung besteht darin, die Klartext-ID, das Passwort oder die PIN-Nummer mit einem der Standard-Hash-Summenalgorithmen zu leiten: SHA-1, SHA-224, SHA-256, SHA-384 oder SHA-512 (SHA-224, SHA-256, SHA-384 und SHA-512 sind zusammen als SHA-2 bekannt). Diese Algorithmen benötigen keinen Modus, Schlüssel oder Initialisierungsvektor, sie erzeugen lediglich eine konsistente binäre Hashsumme, die manchmal auch als „Message Digest" bezeichnet wird und von den Bitwerten und Positionen innerhalb des Klartextstrings abhängt.

Die binäre Hash-Summe hat Ähnlichkeiten mit einem Geheimtext, kann aber nicht zur Wiederherstellung des ursprünglichen Klartextes verwendet werden, da der Hash-Algorithmus Informationen zerstört, die zur Umkehrung des Hash-Prozesses verwendet werden könnten.

Die Länge der Hash-Summe hängt von dem verwendeten Algorithmus ab. Mit Ausnahme von SHA-1, der eine Hash-Summe mit 160 Bit (20 Byte) Länge erzeugt, bezieht sich die Zahl im SHA-Namen auf die Anzahl der Bits in der erzeugten Hash-Summe. Daher erzeugt SHA-224 einen Hash von insgesamt 224 Bit (28 Bytes) Länge und SHA-512 einen Hash von 512 Bit (64 Bytes) Länge. Je länger der Hash, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit einer „Hash-Summenkollision" (wenn zwei verschiedene Nachrichtentexte dieselbe Hash-Summe erzeugen).

Wie im Abschnitt **Einwegverschlüsselung** beschrieben, können einige der Zeichen an der äußersten rechten Position entfernt werden, wenn die Hash-Summe zu lang wird, um sie im Anwendungsprogramm einfach zu speichern. Das Anwendungsprogramm muss nur zweifelsfrei überprüfen, ob die korrekte Benutzerkennung, das richtige Passwort oder die richtige PIN-Nummer eingegeben wurde. Daher sollte eine binäre Hash-Summe, die auf die Länge des ID/Passwort/Pin-Feldes abgeschnitten wurde, ausreichen.

Hinweis: Hinweis: SHA-1, SHA-2 und SHA-3 Hash-Summen können mit dem Redvers Hashing Algorithm[13] erzeugt werden.

Binäre Speicherbänke

Binäre Speicherbänke, die sich ideal für einen hohen Transaktionsdurchsatz eignen, bieten eine Alternative zur Echtzeit-Verschlüsselung mit der AES-Chiffre. Das Konzept beruht auf der Schaffung einer versteckten Reserve von pseudozufälligen Binärbytes, die in einer binären Operation „exclusive or" mit vertraulichen Daten kombiniert werden. Das Ziel ist die Schaffung eines One-Time-Pads[17], manchmal auch als Vernam Cipher[18] bezeichnet.

Vorteile:

- ✓ Schnell und effizient.

Nachteile:

- ✗ Die Anwendung muss die verwendeten Byte-Zuweisungen innerhalb der Speicherbank verwalten.
- ✗ Möglichkeit von Geheimtext-"Kollisionen" (wenn zwei verschiedene Klartexte denselben Geheimtext erzeugen) - dies kann für die Anwendung wichtig sein oder auch nicht.
- ✗ Sicherer Speicherbereich ist für die Abspeicherung der Binärbank erforderlich.

Die Methode:

Dieser Ansatz erfordert die Erzeugung eines Arrays, Speicherbank genannt, von pseudozufälligen Binärdaten, die in einem gesicherten Bereich der Anwendung gehalten werden. Diese Speicherbank kann erstellt werden, indem ein anfänglicher, eindeutiger Klartext durch den AES-Verschlüsselungsprozess geleitet wird, der im **Counter**-Modus oder einem anderen Vertraulichkeitsmodus läuft (siehe **Anhang A: Vertraulichkeitsmodi**). Die Ausgabe wird nicht nur an den Anfang der binären Speicherbank kopiert, sondern auch als nächste Klartexteingabe für die AES-Verschlüsselung verwendet. Dieser Vorgang wird wiederholt, bis die Binäre Speicherbank als groß genug für alle vertraulichen Daten in der Anwendung angesehen wird. *Die Speicherbank kann bei Bedarf zu einem späteren Zeitpunkt erweitert werden, indem die letzte Ausgabezeichenfolge in der Speicherbank als nächste Klartexteingabe verwendet wird, um den Prozess der Binärspeicherbankgenerierung erneut zu starten.*

Wenn ein Anwendungsfeld verschlüsselt werden muss, wird seinem Inhalt ausschließlich eine entsprechende Anzahl von Bytes aus der binären Speicherbank zugewiesen. Diese Bytes werden dann mit *exklusiv or* verarbeitet (**XOR'd**) (siehe **Anhang E: Exklusives Oder**) gegen den Feldinhalt gesetzt, um den Geheimtext für das Feld zu erzeugen.

Die Entschlüsselung ist genauso einfach. Der Geheimtext wird *exklusiv or'd* (**XOR'd**) gegen die gleichen binären Speicherbank-Bytes, die im Verschlüsselungsverfahren zugewiesen wurden. Dies gibt den ursprünglichen Klartext zurück.

Die Implementierung einer binären Speicherbanklösung erfordert, dass die Anwendung die Zuweisungen von binären pseudo-zufälligen Speicherbank-Bytes zu den entsprechenden Anwendungsfeldern verwaltet und dabei gewährleistet, dass keine binären Speicherbank-Bytes mehr als einem Feld zugewiesen werden, es sei denn, es werden konsistente Geheimtexte benötigt - siehe **Relevante Auswahlkriterien**. Die Anwendung muss auch die Verwendung der binären Speicherbank überwachen, indem sie Bytes entfernt, wenn sie nicht mehr benötigt werden, und die Speicherbank bei Bedarf erweitert.

Hinweis: Eine Alternative zur Verschlüsselung mit *exklusiv or*-Logik wäre die Addition des numerischen Wertes jeder Position eines binären Speicherbankzeichens zu jedem Klartextzeichen unter Verwendung eines Modulus, das dem Radix der Zeichenposition entspricht. Bei einem numerischen Klartextzeichen von „7" und einem binären Speicherbankzeichenwert von 255 wäre das resultierende Geheimtextzeichen beispielsweise „2" (7 + 255 = 262, Modulo 10 = 2). Diese Technik hat den zusätzlichen Vorteil, dass ein formatkonservierter Geheimtext erzeugt wird. Die Entschlüsselung erfolgt durch Modulo-Subtraktion des Wertes jeder binären Speicherbankzeichenposition.

Zusammenfassung

Wir hoffen, dass dieses Dokument die Eignung der in COBOL geschriebenen AES-Verschlüsselungssoftware zur Sicherung sensibler Daten gezeigt hat. Wir hatten das Ziel, mögliche Schwierigkeiten aufzuzeigen und Lösungen für diese Schwierigkeiten aufzuzeigen.

Um die wichtigsten Punkte zu rekapitulieren:

- In COBOL geschriebene Software-Verschlüsselung ist eine praktische, einfache und effiziente Option.
- AES ist der wichtigste, sichere globale Standard für die Verschlüsselung mit symmetrischem Schlüssel.
- Unter AES muss die Anwendung nur den Schlüssel geheim halten.
- Jedes AES-Verschlüsselungsprodukt sollte alle Vertraulichkeitsmodi und Schlüssellängen unterstützen.
- Wenn Füllzeichen erforderlich sind, sollten sie den Public-Key Cryptography Standards (PKCS#7)[19] entsprechen.
- Wenn Geheimtext in numerischen oder alphanumerischen Feldern übertragen oder gespeichert werden soll, muss er formatiert oder in hexadezimale oder Base64-Felder umgewandelt werden.
- Speicherbereiche, die entschlüsselte Klartexte oder Schlüssel enthalten, sollten nach Abschluss des Ver-/Entschlüsselungsvorgangs gelöscht werden.

Glücklicherweise ist das Redvers Encryption Module[20] ein NIST validated[21], AES-Softwareprodukt, in COBOL geschrieben und für COBOL-Anwendungen konzipiert. Es unterstützt die primären Vertraulichkeitsmodi (ECB, CBC, CFB, OFB und CTR), Festformat-Verschlüsselung und MAC/CCM-Modi für verschlüsselungsbasierte Hash und Authentifizierung. Alle Schlüssellängen (128, 192 oder 256 Bit) und Pad-Zeichen-Methoden werden ebenfalls unterstützt, und es enthält eine „reinige den Speicher"-Funktion zum Schutz von Klartexten und Schlüsseln.

Sie können eine kostenlose, unverbindliche 30-Tage-Testversion des Redvers Encryption Module herunterladen: https://www.cobol.de/data_encryption_free_trial.php

Wenn Sie Fragen an uns haben, benutzen Sie bitte unsere Website Kontakt: https://www.cobol.de/contact.php

Anhang A: Vertraulichkeitsmodi

Die NIST Special Publication 800-38A[22] enthält eine genaue Beschreibung jedes der fünf AES-Vertraulichkeitsmodi. Die Entscheidung, welcher Modus zu verwenden ist, hängt von einer Kombination aus Unternehmenspolitik, externen Anbietern und Systemanforderungen ab. Um diese Entscheidung zu erleichtern, wird in den folgenden Abschnitten hervorgehoben, wie die verschiedenen Vertraulichkeitsmodi innerhalb einer COBOL-Anwendungsumgebung am besten genutzt werden können.

Electronic Code Book (ECB)

Abgesehen davon, dass dieser Modus keinen Initialisierungsvektor oder Zähler benötigt, ist der wichtigste Aspekt des **Electronic Code Book** - Modus, dass er für einen gegebenen Klartext und Schlüssel immer den gleichen Geheimtext erzeugt. Auch wenn das bedeutet, dass ECB nicht unbedingt der sicherste verfügbare Modus ist, ist ein konsistenter Geheimtext für den Abgleich mit anderen verschlüsselten Werten innerhalb der Anwendung unerlässlich.

Ein weiterer Aspekt des **Electronic Code Book** - Modus ist, dass es der einzige Vertraulichkeitsmodus ist, der für einen gegebenen Klartext und Schlüssel einen eindeutigen Geheimtext garantiert, was die Möglichkeit von Geheimtext-"Kollisionen" ausschließt (wenn zwei verschiedene Klartexte bei der Verschlüsselung den gleichen Geheimtext erzeugen). Dies kann für das Anwendungsprogramm möglicherweise von Bedeutung sein.

Zur Entschlüsselung von Geheimtext, der im **Electronic Code Book** - Modus erstellt wurde, muss die inverse AES-Chiffrierung verwendet werden. Diese inverse Chiffrierung ist wegen der komplexeren binären Arithmetik mit einem etwas höheren Rechenaufwand verbunden als die Vorwärts-Chiffrierung. Die Modi **Cipher Feedback**, **Output Feedback** und **Counter** vermeiden diesen Rechenaufwand, indem die Vorwärts-Chiffrierung für die Ver- und Entschlüsselung verwendet wird.

Ein weiterer potenzieller Nachteil des **Electronic Code Book** - Modus ist, dass er den Klartext und den Geheimtext in vollständigen Blöcken von 16 Bytes an die AES-Chiffrierung oder inverse Chiffrierung übergibt. Dies erfordert die Einfügung von 1 bis 16 Füllzeichen (siehe **Anhang D: Füllzeichen**) am rechten Ende des Klartextes, wenn dieser Modus verwendet wird (auch wenn der Klartext ein Vielfaches von 16 Bytes lang ist). Dieser erweiterte Klartext erzeugt daher einen erweiterten Geheimtext, der immer länger als der ursprüngliche Klartext sein wird - hier sei auf die Abschnitte innerhalb von **Konsistente Geheimtexte** verwiesen, wenn dies ein Problem darstellt.

Die Art und Weise, in der der **Electronic Code Book** - Modus Klartext oder Geheimtext in ganzen Blöcken von 16 Bytes unabhängig voneinander verarbeitet, bedeutet, dass Blöcke gleichzeitig ver- und entschlüsselt werden können, wobei also eine parallele Verarbeitung erfolgt. Der potenzielle Nachteil ist, dass Blöcke von 16 Bytes von einem Angreifer aus dem Geheimtext entfernt werden könnten, ohne den legitimen Entschlüsselungsprozess zu stören. Die anderen Vertraulichkeitsmodi weisen diese Schwäche nicht auf, da sie Blöcke von einer Verschlüsselungsstufe zur nächsten verketten.

Cipher Block Chaining (CBC)

Cipher Block Chaining erfordert einen zufällig erzeugten Initialisierungsvektor (IV) (siehe **Anhang B: Initialisierungsvektoren**) für die Ver- und Entschlüsselung. Die Verwendung des IV erzeugt für jeden Klartext einen anderen Geheimtext.

Wie beim **Electronic Code Book** wird beim **Cipher Block Chaining** die inverse AES-Verschlüsselung zur Entschlüsselung des Geheimtextes verwendet. Dies bedeutet einen etwas höheren Rechenaufwand als bei der Verwendung der Vorwärts-Chiffre zur Entschlüsselung.

Ebenfalls in Übereinstimmung mit dem **Electronic Code Book** werden beim **Cipher Block Chaining** Klartext und Geheimtext in vollständigen Blöcken von 16 Bytes durch die AES-Chiffre oder inverse Chiffre geleitet. Dies erfordert die Hinzufügung von Füllzeichen (siehe **Anhang D: Füllzeichen**) und erzeugt einen erweiterten Geheimtext - siehe die Abschnitte innerhalb des Kapitels **Konsistente Geheimtexte**, wenn dies zu Schwierigkeiten führen sollte.

Cipher Feedback (CFB)

Vom **Cipher Feedback** Modus gibt es vier unterschiedliche Varianten: 1-Bit-Modus, 8-Bit-Modus, 64-Bit-Modus oder 128-Bit-Modus. Die Bitanzahl bezieht sich auf die Anzahl verschlüsselter Bits, die von jedem 128-Bit-AES-Chiffrierausgangsblock verwendet werden. Alle übrigen Bits werden verworfen. Daher gilt bei einer Klartextlänge von 16 Byte (128 Bit):

- Der 1-Bit-Modus erfordert 128 AES-Chiffre-Ausführungen zum Ver-/Entschlüsseln.
- Im 8-Bit-Modus sind 16 AES-Chiffre-Ausführungen zum Ver-/Entschlüsseln erforderlich.
- Im 64-Bit-Modus sind 2 AES-Chiffre-Ausführungen zum Ver-/Entschlüsseln erforderlich.
- Im 128-Bit-Modus ist für die Ver-/Entschlüsselung 1 AES-Chiffre-Ausführung erforderlich.

Praktische Anwendungen für den 1-Bit-Modus sind aufgrund des enormen Verarbeitungsaufwands selten, aber wenn nur gelegentlich eine Verschlüsselung erforderlich ist oder für die Verschlüsselung bestimmter Bitpositionen in einer Klartextzeichenfolge, könnte dieser Modus gewählt werden.

Im 8-Bit-Modus wird die AES-Chiffre auf Zeichenebene ausgeführt, wodurch die Notwendigkeit von Füllzeichen (siehe **Anhang D: Füllzeichen**) und die entsprechende Erweiterung des Geheimtextes vermieden wird. Der Overhead bei der Ausführung der Chiffrierung einmal für jedes Klartextzeichen ist der einzige grundlegende Nachteil.

Die 64-Bit- und 128-Bit-Modi sind natürlich schneller als die 1-Bit- und 8-Bit-Modi, aber diese Modi erfordern die Hinzufügung von Füllzeichen und erfordern daher eine Geheimtexterweiterung. Im 64-Bit-Modus müssen jedoch nur maximal 8 Füllzeichen hinzugefügt werden, um einen Klartext-Halbblock zu vervollständigen.

Wie beim **Cipher Block Chaining** erfordert der **Cipher Feedback Modus** einen zufällig erzeugten Initialisierungsvektor (IV) (siehe **Anhang B: Initialisierungsvektoren**) für die Ver- und Entschlüsselung. Durch die Verwendung des IV wird für jeden Klartext ein anderer Geheimtext erzeugt.

Im Gegensatz zum **Cipher Block Chaining** verwendet der **Cipher Feedback** - Modus die effizientere AES-Vorwärts-Chiffrierung zur Ver- und Entschlüsselung von Klartexten.

Hinweis: Obwohl in der NIST Special Publication 800-38A[22] Anhang A steht: „der Klartext muss eine Folge von einem oder mehreren vollständigen Datenblöcken (oder, für den CFB-Modus, Datensegmenten) sein", benötigt der 64-Bit- und 128-Bit-CFB-Modus eigentlich kein vollständiges endgültiges Datensegment, um zu funktionieren. Die endgültige Operation bei der CFB-Verschlüsselung und -Entschlüsselung ist ein *exklusives oder* (siehe **Anhang E: Exklusives oder**) zwischen der AES-Chiffre-Ausgabe und dem Klartext oder Geheimtext. Die Hinzufügung einer einfachen Logik zum AES-Chiffre könnte das *Exklusive oder* auf die Anzahl der Klartext- oder Geheimtextzeichen im endgültigen Segment beschränken, ohne dass Füllzeichen erforderlich sind.

Output Feedback (OFB)

Der **Output Feedback** Modus erfordert einen eindeutigen Initialisierungsvektor, um für jeden Klartext einen anderen Geheimtext zu erzeugen (siehe **Anhang B: Initialisierungsvektoren**). Dieser Modus erfordert keine Hinzufügung von Füllzeichen und erzeugt so einen Geheimtext, der die gleiche Länge wie der Klartext hat. Er verwendet auch die effizientere Vorwärts-Chiffrierung sowohl für die Ver- als auch für die Entschlüsselung.

Dieser Modus wird häufig für COBOL-Anwendungen gewählt und wird im Abschnitt **Verwendung des OFB-Modus** näher erläutert.

Counter (CTR)

Der Counter (Zähler)-Modus bietet COBOL-Anwendungen eine gute Alternative zum **Output Feedback** Modus. Er erfordert einen Zählerblock (siehe **Anhang C: Zähler**) anstelle eines Initialisierungsvektors, um für jeden Klartext einen anderen Geheimtext zu erzeugen. Wie der **Output Feedback** Modus erfordert dieser Modus keine Hinzufügung von Füllzeichen und verwendet die effizientere Vorwärts-Chiffrierung sowohl für die Ver- als auch für die Entschlüsselung.

Festes Format (FFx)

Die Modi mit festem Format verwenden Feistel-Netzwerke[14], um formaterhaltende Geheimtexte zu erzeugen. Sie erfordern außerdem einen eindeutigen Initialisierungsvektor (oder "Tweak"), um für jeden Klartext einen anderen Geheimtext zu erzeugen (siehe **Anhang B: Initialisierungsvektoren**). Wie der **Output Feedback** Modus führt auch dieser Modus nicht zur Hinzufügung von verschlüsselten Blockzeichen.

Obwohl diese Algorithmen die Vorwärts-Chiffrierung verwenden, arbeiten sie mit Runden der Modulus-Addition zur Klartextzeichenkette innerhalb eines Alphabets von gültigen Zeichen. Dieser Prozess erfordert etwa das Fünffache der Rechenleistung, die für den **Output Feedback** Modus benötigt wird. Die Entschlüsselung erfolgt durch Umkehrung des Algorithmus, wobei der Modulus vom Geheimtext abgezogen wird.

Anhang B: Initialisierungsvektoren

Initialisierungsvektoren (IVs) wurden nicht erfunden, nur um den Anwendungsentwicklern das Leben schwer zu machen. Sie verbessern den Verschlüsselungsprozess, indem sie Anwendungen in die Lage versetzen, inkonsistente Geheimtexte zu erzeugen, und sie sind für die Erstellung von Geheimtexten, die gleich lang sind wie die entsprechenden Klartexte, von entscheidender Bedeutung - besonders wichtig für COBOL-Anwendungen, deren Feldformate eine feste Länge haben.

Was sind IVs?

- IV's sind ein Datenblock von 16 Byte Länge, der für die Ver- und Entschlüsselung im CBC-, CFB- und OFB-Modus benötigt wird.
- Für jede Ver- oder Entschlüsselung ist nur ein IV erforderlich, unabhängig von der Länge des Klar- bzw. Geheimtextes.
- Ein IV hat kein festes Format. Er kann aus alphanumerischen und/oder binären Zeichen in beliebiger Reihenfolge bestehen.
- Der zur Entschlüsselung verwendete IV muss der gleiche sein wie der zur Verschlüsselung verwendete.
- Ein IV muss nicht von der Außenwelt geheim gehalten werden.
- Jeder IV muss für jede Verschlüsselungsoperation, für einen bestimmten Schlüssel, einmalig (eine Nonce) sein. *Dies muss für alle Anwendungen gelten, die denselben Schlüssel verwenden*.
- IV's, die für die CBC- und CFB-Modus-Verschlüsselung verwendet werden, dürfen nicht vorhersehbar sein, d.h. ein potentieller Eindringling darf nicht in der Lage sein, mehrere potentielle IV's als Teil einesIV's, die für die **CBC**- und **CFB**-Modus-Verschlüsselung verwendet werden, dürfen nicht vorhersehbar sein, d.h. ein potentieller Eindringling darf nicht in der Lage sein, mehrere potentielle IV's als Teil eines Brute-force attack[11].

Die Erzeugung eines eindeutigen IV stellt für COBOL-Anwendungen in der Regel kein Problem dar. Die für die Verschlüsselung ausgewählten Felder werden in der Regel mit genügend Schlüsselinformationen verbunden, um ihre Position innerhalb der Anwendungsdatenbank oder des Dateiindexes eindeutig zu identifizieren. Die Verkettung dieser Schlüsselfelder ergibt eine Zeichenfolge, die den Speicherort des Feldes eindeutig bestimmt. Dann wird dem eine Datums/Zeit- oder Folgenummer für die Verschlüsselung hinzugefügt, und alles, was gebraucht wird, um einen sicheren, eindeutigen IV zu erstellen, ist vorhanden.

Die Felder, aus denen sich der IV zusammensetzt, können in beliebiger Reihenfolge und in beliebigem Format sein. Wenn also dieselben Schlüsseldetails für mehr als eine Verschlüsselung verwendet werden sollen, ist eine Neuanordnung oder Neuformatierung der betreffenden Felder ausreichend, um einen weiteren eindeutigen IV für zusätzliche Verschlüsselungen zu erzeugen. Die entschlüsselnde Anwendung muss jedoch dieselbe Feldreihenfolge und dieselben Formate verwenden, um den richtigen IV für eine erfolgreiche Entschlüsselung zu erhalten.

Wenn die Gesamtlänge aller Felder, die zur Erzeugung eines eindeutigen IV benötigt werden, mehr als 16 Bytes beträgt, können unterschiedliche Methoden verwendet werden, um den IV-String zu verkürzen:

- Komprimieren von numerischen Daten, indem sie in Felder verschoben werden, die als gepackt (COMP-3) oder binär (COMP) definiert sind.
- Multiplizieren von mehrfach gewichteten numerischen Werten, um einen einzelnen, größeren Produktwert zu erzeugen.
- Generieren von eindeutigen Hash-Summen, um alphanumerische Zeichenfolgen darzustellen.

Wenn es nicht möglich ist, einen eindeutigen IV aus unverschlüsselten Schlüsselfeldern zu erstellen, oder wenn die entschlüsselnde Anwendung keinen Zugang zu den Feldern und Informationen hat, aus denen sich der IV zusammensetzt, kann ein IV anderweitig erstellt und unverschlüsselt über einen anderen Kommunikationsweg oder am Anfang des Geheimtextes an die zur Entschlüsselung benutzte Anwendung gesendet werden (IV's müssen nicht geheim gehalten werden).

Warum müssen IV's einzigartig sein?

Es gibt mehrere Gründe, warum jeder IV für jede OFB-Verschlüsselung einzigartig sein muss. Das hängt damit zusammen, dass das, was innerhalb der Verschlüsselungsroutine durch die Verschlüsselungs-Chiffre-Logik verarbeitet wird, der IV und nicht etwa der Klartext ist.

Wie in der **Zusammenfassung** erwähnt wurde, handelt es sich bei der AES-Verschlüsselung um einen Prozess, bei dem Daten, die geheim gehalten werden müssen, mit einer pseudo-zufälligen Bitfolge kombiniert werden. Im OFB-Modus ist es der verschlüsselte IV, die diese pseudozufällige Zeichenfolge liefert, die dann mit dem Klartext unter Verwendung der *Exklusiv-oder* (XOR)-Logik (siehe **Anhang E: Exklusives Oder**) kombiniert wird, um den Geheimtext zu erzeugen - siehe die Darstellung im Abschnitt **Verwendung des OFB-Modus**. Wenn also derselbe IV als Eingabe für die Verschlüsselungroutine dienst, wobei derselbe Schlüssel verwendet wird, ist der verschlüsselte IV auch derselbe.

Betrachten wir nun die Folgen der Verwendung von doppelten IVs genauer: Die Gesetze der Binärmathematik bedeuten, dass, wenn zwei verschiedene, allgemein bekannte Geheimtexte, die aus demselben IV erzeugt wurden, zusammen XOR'd würden, das Ergebnis eine binäre Karte des genauen Unterschieds zwischen den beiden ursprünglichen Klartexten wäre - wobei die Wirkung des IV, der Chiffre und des Schlüssels aufgehoben würde! Von diesem Punkt aus wäre es nicht schwierig, den gesamten vertraulichen Klartext abzuleiten, der an die Verschlüsselungsprozesse weitergegeben wurde, die denselben IV verwendet haben.

Um den oben angeführten Punkt zu beweisen, können wir uns ansehen, was passiert, wenn zwei einzelne Zeichen, „A" und „Z", mit derselben IV (vereinfacht auf ein Zeichen) verschlüsselt werden. Nehmen wir zunächst an, dass der duplizierte IV, die durch die Verschlüsselungschiffre geleitet wurde, eine verschlüsselte IV-Binärzeichenfolge von „10101010" ergibt. Unter Verwendung der EBCDIC-Darstellung ist der Buchstabe „A" binär „11000001" und der Buchstabe „Z" binär „11101001”:

Am Ende des Verschlüsselungsprozesses wird der verschlüsselte IV mit der Klartext-Binärdatei „A" XOR'd, was Geheimtext A ergibt:

```
Verschlüsselter IV: 1 0 1 0 1 0 1 0
Klartext-A:         1 1 0 0 0 0 0 1
                    ---------------
Geheimtext-A:       0 1 1 0 1 0 1 1
                    ---------------
```

In einem anderen Verschlüsselungsverfahren wird derselbe verschlüsselte IV mit dem Klartext-Binärcode „Z" XOR'd, was Geheimtext-Z ergibt:

```
Verschlüsselter IV: 1 0 1 0 1 0 1 0
Klartext-Z:         1 1 1 0 1 0 0 1
                    ---------------
Geheimtext-Z:       0 1 0 0 0 0 1 1
                    ---------------
```

Nun wenden wir XOR auf den öffentlich bekannter Geheimtext-A mit dem öffentlich bekannten Geheimtext-Z an:

```
Geheimtext-A:       0 1 1 0 1 0 1 1
Geheimtext-Z:       0 1 0 0 0 0 1 1
                    ---------------
XOR Ergebnis:       0 0 1 0 1 0 0 0
                    ---------------
```

Das Ergebnis zeigt die Klartext-Bitpositionen (3. und 5. von links) an, die geändert werden müssen, um ein „A" im Klartext in ein „Z" im Klartext oder ein „Z" im Klartext in ein „A" im Klartext zu verwandeln.

Anhang C: Zähler

Zählerblöcke werden bei der Ver- und Entschlüsselung im **Counter (CTR)-Modus** anstelle eines Initialisierungsvektor (IV)-Parameters verwendet (siehe **Anhang B: Initialisierungsvektoren**). Wie IVs müssen Zähler ein eindeutiger 16-Byte-Block sein. Sie können in jedem beliebigen Format vorliegen und müssen nicht geheim gehalten werden. Der gleiche Zählerblock, der für die Verschlüsselung verwendet wird, ist auch für die Entschlüsselung erforderlich.

Im Gegensatz zu den IVs ist für jeweils 16 Byte Eingabedaten (Klartext oder Geheimtext) ein unterschiedlicher Zählerblock erforderlich. Gute Verschlüsselungssoftware wie das Redvers Encryption Module[20] erhöht den ersten Zählerblock, der an die Unterroutine übergeben wird, intern um eine binäre 1 für jeweils 16 weitere Bytes der Eingabe. Der letzte Zählerblock + Binär 1 wird dann an die Anwendung zurückgegeben, um von der nächsten Verschlüsselung im Counter-Modus verwendet zu werden.

Ein weiterer Unterschied zwischen der Verwendung eines Zählers und IV besteht darin, dass zur Gewährleistung der Eindeutigkeit von Zählerblöcken deren Verwendung zentral verwaltet werden muss, so dass jede Verschlüsselung einen anderen Bereich von Zählerwerten verwendet. Dies kann einzelne Streaming-Anwendungen erfordern, die den gleichen Verschlüsselungsschlüssel verwenden.

Da der erste Zählerblock, der für die Verschlüsselung verwendet wird, auch für die Entschlüsselung benötigt wird, muss er an die entschlüsselnde Anwendung übergeben werden. Dies kann entweder erfolgen, indem er an den Anfang des Geheimtextes gesetzt wird, oder indem ein anderer Kommunikationsweg benutzt wird. Stattdessen können sowohl innerhalb der Verschlüsselungs- als auch der Entschlüsselungsanwendung synchronisierte Zähler beibehalten werden.

Ein typischer Einsatz der Counter-Modus-Verschlüsselung ist die Erzeugung eines Vorrats pseudozufälliger binärer Strings, die zu Zeiten hoher Belastung bereit stehen, Klartext mit *exklusivem oder* (siehe **Anhang E: Exklusives Oder**) zu bearbeiten, um eine schnelle Ver- und Entschlüsselung zu gewährleisten - siehe **Binäre Speicherbänke**.

Anhang D: Füllzeichen

Zur Verschlüsselung mit den Vertraulichkeitsmodi **Electronic Code Book (ECB)**, **Cipher Block Chaining (CBC)** und manchmal **Cipher Feedback (CFB)** (siehe **Anhang A: Vertraulichkeitsmodi**) werden rechts vom ursprünglichen Klartext Füllzeichen hinzugefügt, damit dieser ausschließlich aus 16-Byte-Blöcken besteht. Das nennts sich kurz „Padding". Diese zusätzlichen Füllzeichen werden am Ende des Entschlüsselungsverfahrens entfernt, so dass die Klartextlänge wieder hergestellt wird.

Wenn die Klartextlänge bereits genau ein Vielfaches von 16 ist, wird ein weiterer Block von 16 Füllzeichen hinzugefügt, damit der Entschlüsselungsprozess das Ende des Klartextes richtig identifizieren kann. Ohne die Gewissheit, dass die Ausgabe der Entschlüsselungschiffre mit einem Füllzeichen endet, wäre es unmöglich, ein Füllzeichen vom letzten Datenbyte zu unterscheiden.

Das Hinzufügen und Entfernen von Füllzeichen erfolgt innerhalb der Ver-/Entschlüsselungs-Unterprogramme, so dass die Erstellung und Entfernung von Füllzeichen von Anwendungsprogrammen normalerweise nicht vorgenommen werden muss. COBOL-Anwendungsentwickler sollten sich jedoch über ungeeignete Methoden der Verwendung von Füllzeichen im Klaren sein.

Es gibt fünf Standard-Padding-Methoden, die heutzutage von Verschlüsselungssoftware verwendet werden. Die untenstehende Tabelle zeigt, wie der 12-Zeichen-String „HELLO WORLD!" auf einen 16-Byte-Eingangsblock (in EBCDIC) aufgefüllt wird:

Methode 1: (PKCS#5, PKCS#7 & RFC3369)	Jedes Füllzeichen ist die Anzahl der hinzugefügten Füllzeichen (in hexadezimalem Format).	HELLO WORLD!.... ccddd4edddc50000 85336066934A4444
Methode 2:	Das am weitesten links stehende Füllzeichen ist hex „80", und die folgenden Füllzeichen, sofern es sie gibt, sind jeweils hex „00"-Zeichen.	HELLO WORLD!.... ccddd4edddc58000 85336066934A0000
Methode 3:	Das am weitesten rechts stehende Füllzeichen ist die Anzahl der hinzugefügten Füllzeichen (in hexadezimalem Format), und die Füllzeichen davor, sofern es sie gibt. sind jeweils hex „00"-Zeichen.	HELLO WORLD!.... ccddd4edddc50000 85336066934A0004
Methode 4:	Jedes Füllzeichen ist hex „00”.	HELLO WORLD!.... ccddd4edddc50000 85336066934A0000
Methode 5:	Jedes Füllzeichen ist eine Leerstelle (hex „40" in EBCDIC, hex „20" in ASCII).	HELLO WORLD!.... ccddd4edddc54444 85336066934A0000

Die obige Tabelle zeigt, wie die Methoden 1 und 3 die genaue Anzahl der zu entfernenden Füllzeichen durch eine Untersuchung des Bytes an Position 16 sicher angeben. Zusätzliche Zeichen könnten jedoch bei den Methoden 2, 4 und 5 entfernt werden, wenn der Klartext auf Hex „80", LOW-VALUES oder SPACES - in COBOL-Anwendungen übliche Werte - enden würde.

Hinweis: Das Redvers Encryption Module[20] verwendet Methode 1 - Public-Key Cryptography Standards (PKCS#7)[19] als Füllmethode für ECB-, CBC- und CFB-Modus-Verschlüsselung. Bei der Entschlüsselung wird jede der fünf Standardmethoden akzeptiert.

Anhang E: Exlusives Oder (XOR)

Der eXclusive Or (**XOR**)-Prozess vergleicht jedes der 8 Bits innerhalb eines Bytes aus einem String mit den entsprechenden 8 Bits innerhalb eines Bytes aus einem anderen String. Wenn beide Bits Null sind oder beide Bits eins sind, wird das Bit im Ergebnis auf null gesetzt. Andernfalls wird das Bit im Ergebnis Bit eins sein.

Beispiel:

```
Byte1:     1 0 0 1 1 0 1 1
Byte2:     0 1 0 1 0 0 1 0
           ---------------
Ergebnis:  1 1 0 0 1 0 0 1
           ---------------
```

Die Wirkung der **XOR**-Funktion ist, dass jedes Klartextzeichen direkt in ein Geheimtextzeichen umgewandelt werden kann, indem es mit einer Zeichenfolge von 8 Pseudozufallsbits mit XOR verknüpft wird. Wenn man diesen Vorgang für alle Zeichen einer Klartextzeichenfolge fortsetzt, erhält man einen vollständigen Geheimtext. Pseudozufallsbits können aus Münzwürfen, einem AES-Verschlüsselungsunterprogramm oder aus einer anderen sicher zufälligen Quelle erzeugt werden.

Die Entschlüsselung geschieht, indem der Geheimtext mit denselben Pseudozufallsbits mit XOR verknüpft wird, die für die Verschlüsselung verwendet wurden. Das Ergebnis ist der ursprüngliche Klartext.

Beispiel (unter Verwendung der Zeichen von oben):

```
Ergebnis:  1 1 0 0 1 0 0 1
Byte2:     0 1 0 1 0 0 1 0
           ---------------
Byte1:     1 0 0 1 1 0 1 1
           ---------------
```

Das **XOR**-Verfahren ist recht einfach und sehr schnell, wenn es richtig optimiert wird. Redvers Consulting bietet eine kostenlose, optimierte, herunterladbare COBOL **XOR**-Unterroutine an: RCNOTOR[24].

Anhang F: Referenzen

[1] National Institute of Standards and Technology: https://www.nist.gov/index.html

[2] FIPS PUB 197: https://csrc.nist.gov/publications/detail/fips/197/final

[3] National Security Agency: https://www.nsa.gov/

[5] PCI DSS: https://www.pcisecuritystandards.org/pci_security/

[8] W3C Extensible Markup Language (XML): https://www.w3.org/TR/REC-xml/

[9] Base64: https://en.wikipedia.org/wiki/Base64

[10] RCBINB64: https://www.cobol.de/tools.php

[11] Brute-force attack: https://en.wikipedia.org/wiki/Brute_force_attack

[12] Ciphertext Stealing: https://en.wikipedia.org/wiki/Ciphertext_stealing

[13] Redvers Hashing Algorithm: https://www.cobol.de/hashing_algorithm.php

[14] Feistel Network: https://en.wikipedia.org/wiki/Feistel_cipher

[15] Special Pub 800-38G: https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-38g/final

[17] One-time pad: https://en.wikipedia.org/wiki/One-time_pad

[18] Vernam Cipher: https://www.pro-technix.com/information/crypto/pages/vernam_base.html

[19] Public-Key Cryptography Std (PKCS#7): https://tools.ietf.org/html/rfc2315

[20] Redvers Encryption Module: https://www.cobol.de/data_encryption.php

[21] NIST: https://csrc.nist.gov/projects/cryptographic-algorithm-validation-program/

[22] Special Pub 800-38A: https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-38a/final

[24] RCNOTOR: https://www.cobol.de/tools.php

Anhang G: Über Redvers Consulting

Redvers Consulting bietet seit 1988 erstklassige Produkte und Dienstleistungen für COBOL-Anwendungen. Unser Ansatz, die Software als Quellcode auszuliefern, ermöglicht unseren Kunden die Erfüllung ihrer geschäftlichen Anforderungen mit einer zuverlässigen, effizienten und perfekt integrierten Lösung.

Unsere Kunden sind überwiegend große Finanzdienstleister in Großbritannien und den USA. In zunehmendem Maße sind wir im deutschsprachigen Raum und auch in anderen Branchen tätig.

Da unsere Software als verschlüsselter Quellcode ausgeliefert wird, bieten wir Unterstützung für alle Hardwareplattformen und Betriebssysteme, für die ein COBOL-Compiler existiert - EBCDIC, ASCII, big endian und little endian.

Einige unserer Kunden:

Agora (FR)
ANZ (AUS)
BAE Systems (USA)
Canada Life Assurance (UK)
Deutsche Bank (USA)
Deutsche Rentenversicherung Bund (DE)
FirstBank (USA)
Fiserv (USA)
GMAC Insurance (USA)
Hanesbrands (USA)
John Deere (USA)
Landesbank Hessen Thüringen (DE)
LBS / Finanz Informatik (DE)
J P Morgan (USA)
Oppenheimer (USA)
Pacific Gas (USA)
Network Rail (UK)
R+V Allgemeine Versicherung (DE)
Sasktel (CAN)
SEB (DE)
Standard Life Assurance (UK)
Suncorp (AUS)
SunGard / FIS (USA)
WorkSafeBC (CAN)
Zurich Insurance (UK & CHE)

Kontakt: https://www.cobol.de/contact.php

Deutsches Büro:

Redvers Consulting Ltd
Scharfeneckweg 2,
50739 Köln,
Deutschland

Tel: +49 (0)221 1704 9000

Hauptbüro:

Redvers Consulting Ltd
1st Floor, 48 Dangan Rd,
London E11 2RF,
UK

Tel: +44 (0)870 922 0633

Entwicklungsbüro:

Redvers Consulting Ltd
16-18 Woodford Road,
London E7 0HA,
UK

Tel: +44 (0)203 138 5788