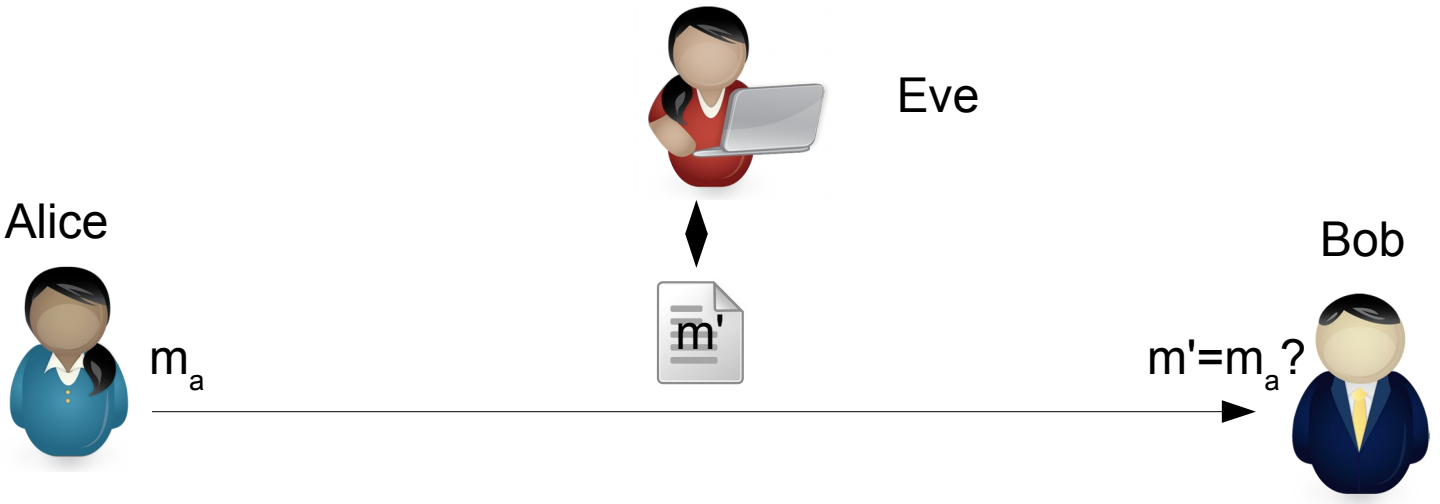
Themen zur Computersicherheit

Authentische Nachrichten

PD Dr. Reinhard Bündgen
buendgen@de.ibm.com

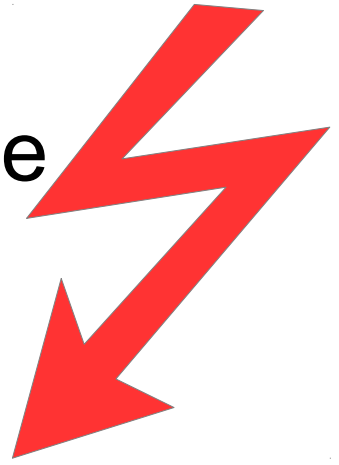
Nachrichten Authentizität

- Bob empfängt eine Nachricht von Alice
- Probleme:
  - Kommt die Nachricht wirklich von Alice?
  - Wenn ja, ist sie unverändert?



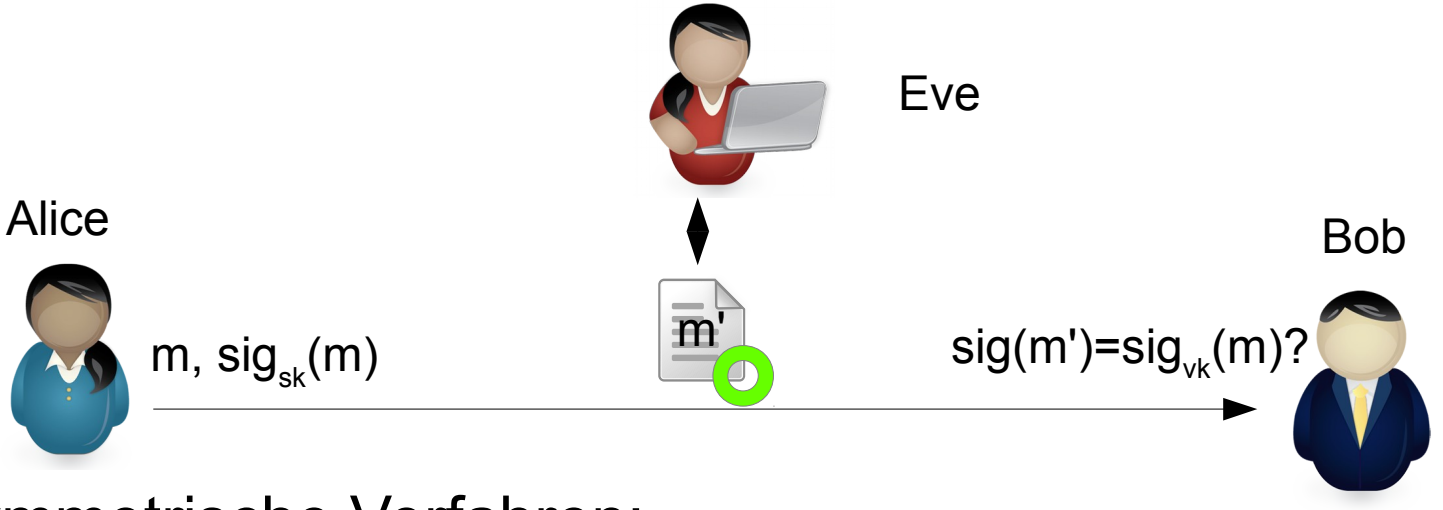
Idee: Nutze kryptographische Hashes

- sei H kryptographische Hashfunktion
- Alice verschickt m und H(m)
- Bob empfängt m' und h' und kann feststellen, ob h' = H(m')
- Aber, Eve kann sowohl m durch m' ersetzen als auch H(m) durch H(m')
- Ferner gibt es keinen Hinweis, dass die Nachricht überhaupt von Alice kommt.



Verfahren zur Nachrichtenauthentifizierung

- Nachrichten werden „unterschrieben“



- Symmetrische Verfahren:
  - Sender & Empfänger nutzen gemeinsames Geheimnis (Schlüssel)
    - Verfahren basierend auf Blockchiffren
    - Verfahren basierend auf kryptographischen Hashes
- Asymmetrische Verfahren
  - Sender unterschreibt mit geheimen Schlüssel
  - Empfänger prüft Unterschrift mit öffentlichem Schlüssel

Symmetrische Nachrichtenauthentifizierung

- message authentication code (MAC)
- mac: $\sum^n$ x $\sum^*$ → $\sum^t$ berechnet zu einem Schlüssel k der Länge n und einer Nachricht m den MAC (Tag) $mac_k(m)$ der Länge t
- muss stark kollisionsresistente Einwegfunktion sein
- Sender
  - verschickt m, $mac_k(m)$
- Empfänger
  - empfängt m', s und
  - überprüft, ob s = $mac_k(m')$, dann folgt m' = m

MACs, die auf Blockchiffren basieren

- CBC-MAC
- XCBC-MAC
- CMAC

CBC-MAC & CMAC

- CBC-MAC:
  - definiert in FIPS 113
  - MSBs des letztes Geheimtextblock einer CBC-Verschlüsselung mit
    - mit IV = 0^b
    - bei Bedarf mit Padding durch Nullen
  - Probleme
    - $t \leq b$ (i.A. ≤ 128 bit)
    - Falls t = b dann gilt (z.B wenn fehlende Bits geraten werden):
      - $\text{CBC-mac}_k(m_1) = \text{CBC-mac}_k(m_2) \Rightarrow \text{CBC-mac}_k(m_1 \,||\, m_3) = \text{CBC-mac}_k(m_2 \,||\, m_3)$
      - $|m_1|=|m_2| = b \Rightarrow \text{CBC-mac}_k(m_1 \,||\, m_2) = \text{CBC-mac}_k(m_2 \,||\, \text{CBC-mac}_k(m_1) \oplus \text{CBC-mac}_k(m_2) \oplus m_2))$
- CMAC
  - definiert in NIST SP 800-38B
  - CBC-MAC für alle Blöcke bis auf letzten Block
    - letzter Block: wenn nötig Padding mit 10*
    - Maskierung mit schlüsselabhängiger Maske

Hashbasierte MACs

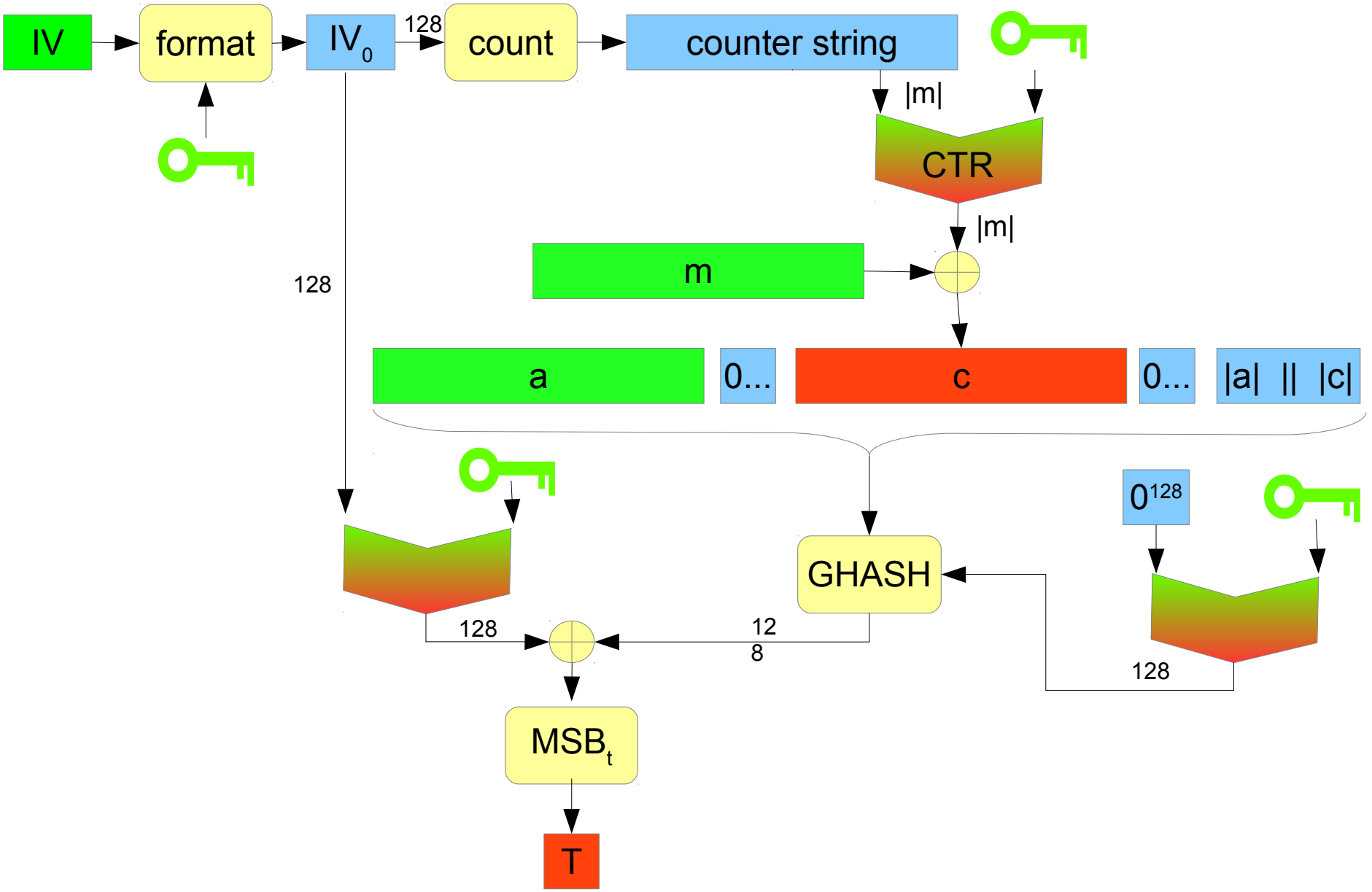
- h(k||m), h(m||k) nicht sicher für iterative hash-Funktion h
  - wenn h(k || m) bekannt, dann kann jeder m || m' authentifizieren wenn |k || m| Vielfaches der Blocklänge
  - wenn |m|, |m'| Vielfache der Blocklänge und h(m) = h (m') dann h (m || k) = h (m' || k) für alle k,
- HMAC
  - sei h eine Hashfunktion mit Blocklänge b,
  - k der Schlüssel, dann ist
  - $k' = k \,||\, 0^{b-|k|}$ falls $|k| \leq b$ und $k' = h(k)$ sonst
  - $opad = (0x5C)^{b/8}$, $ipad = (0x36)^{b/8}$
  - $h\text{-}hmac_k(m) = h((k' \oplus opad) \,||\, h((k' \oplus ipad) \,||\, m))$
  - Bemerkung: PBKDF2 nutzt HMAC in seiner PRF

Kombinierte Authentisierungs- und Verschlüsselungsverfahren

Authenticated Encryption with Associated Data (AEAD)

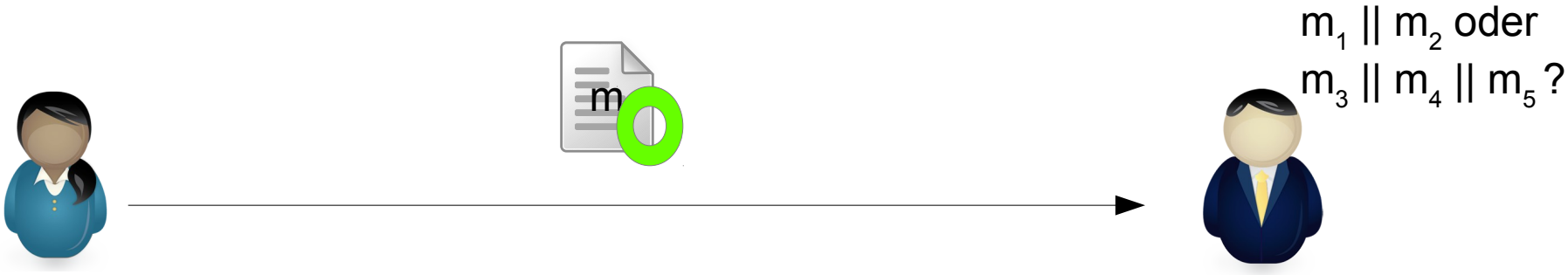
- Galois/Counter Mode (GCM)
  - NIST SP 800-38D
    - basiert auf zugelassener Blockchiffre BC mit 128 Bit Blocklänge (z.B. BC = AES128)
  - Eingaben (Verschlüsselungsrichtung)
    - Initialisierungswert iv, Schlüssel k, zusätzliche authentisierte Daten a, Klartext m, Taglänge t
  - Ausgabe (Verschlüsselungsrichtung):
    - BC-CTR-enc_k(m) -- wobei BC-CTR_k iv mit 96 bit nonce
    - MSB(t,BC-CTR-enc_k(GHASH(format(a,BC-CTR_k(m)))))
  - GMAC: GCM mit leerem Klartext
- Counter with CBC-MAC (CCM)
  - NIST SP 800-38C
    - basiert auf zugelassener Blockchiffre BC mit 128 Bit Blocklänge
  - Eingaben (Verschlüsselung):
    - Schlüssel k, Nonce n, assoziierte Daten a, Klartext m, Taglänge t
  - Ausgabe (Verschlüsselung):
    - BC-CTR-enc_k(m)
    - MSB(t,BC-CBC-mac_k(format(n,a,m)$\oplus$$BC_k$($ctr_0$))
- ChaCha20-Poly1305

GCM (Verschlüsselungsrichtung)



Das Horton Prinzip

- nach Wagner, Ferguson Schneier: „Cryptoanalysis of FROG“, in Proc. 2nd AES candidate conference, 1999
- Authentifiziere was gemeint ist nicht was gesagt wird!
- Beispiel: $m = m_1 \,||\, m_2 = m_3 \,||\, m_4 \,||\, m_5$



Sichere Kanäle

vertrauliche und authentische Nachrichtenübertragung

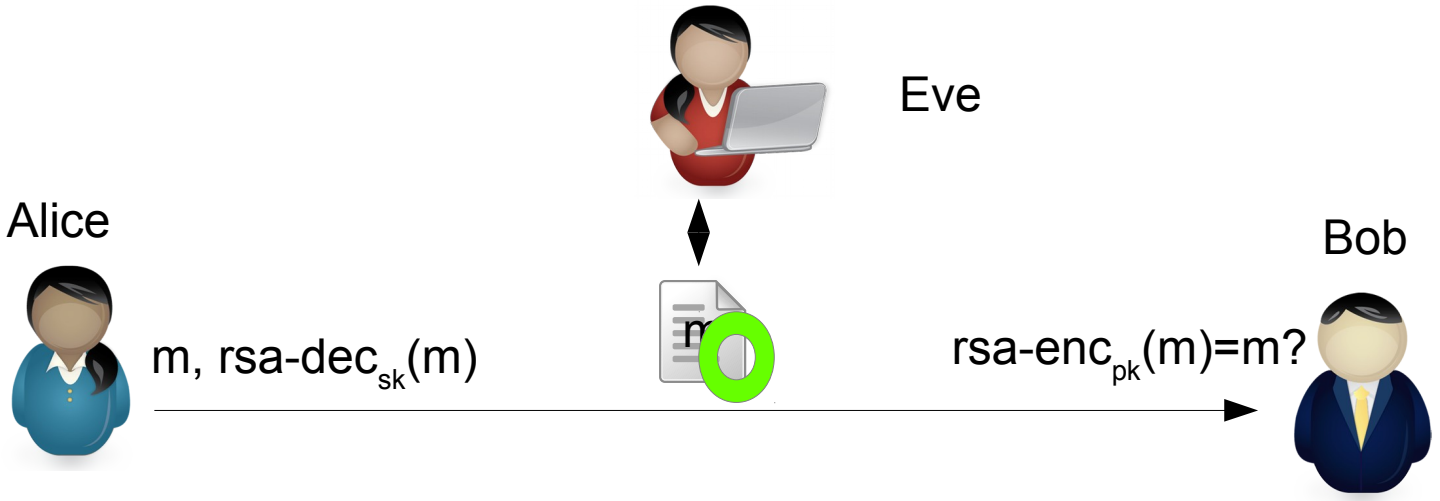
- **verschlüssele dann authentifiziere**: enc(m), sig(enc(m))
  - pro:
    - auch für schwächere Chiffren sicher,
    - effizient bei verfälschen Nachrichten
  - cons:
    - sowohl Unterschrift als auch unterschriebene Daten sichtbar
  - genutzt bei: IPsec
- **authentifiziere dann verschlüssele**: enc(m || sig(m))
  - pro:
    - Horton Prinzip
    - Unterschrift geschützt (Integrität wichtiger als Vertraulichkeit)
  - cons:
    - für einige Chiffren unsicher,
  - genutzt bei SSL (in Cipher Suites ohne AEAD)
- **verschlüssele und authentifiziere**: enc(m), sig(m)
  - pro:
    - Horton Prinzip
    - parallel Bearbeitung möglich
  - cons:
    - für einige Chiffren unsicher
    - Unterschrift könnte etwas über Nachricht verraten
  - genutzt bei SSH

Asymmetrische Signaturen

- Unterschreiben mit privatem Schlüssel
- Verifizieren mit öffentlichem Schlüssel

- RSA basierte Verfahren
- Digital Signature Algorithm (DSA)
- ECDSA EC basiertes Signaturverfahren

RSA basierte Unterschrift

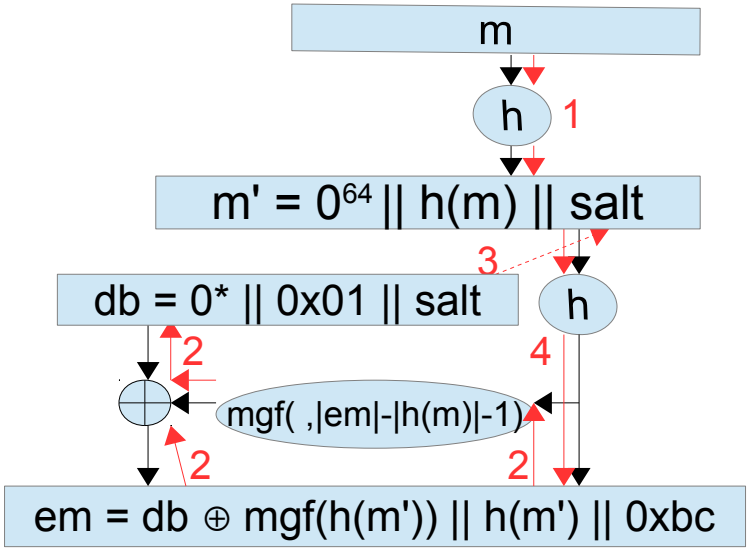


- RSA Entschlüsselung dient als Signatur
  - RSA-sig$_{sk}$ = RSA-dec$_{sk}$,
- RSA Verschlüsselung dient als Verifikationsverfahren
  - RSA-ver$_{pk}$ = RSA-enc$_{pk}$
- Wenn m < RSA Modulus, dann kann die Nachricht aus der Signatur gewonnen werden
- bei größeren Nachrichten wird ein Hash der Nachricht signiert und die Nachricht muss zusammen mit der Signatur versendet werden
  - Verifikation: RSA-ver$_{pk}$(RSA-sig$_{sk}$(h(m))) = h(m)?
- Achtung!
  - Eine Signatur, darf nicht mit gleichem Schlüssel verschlüsselt werden
  - Ein RSA Geheimtext darf nicht mit gleichem Schlüssel signiert werden

RSA Signatur Schemata

Signature with Appendix
Probabilistic Signature Scheme
RSASSA-PSS

- PSS Kodierung
  - salt: Zufallsstring
  - h: Hashfunktion
  - |em| = |n|-1



Signature with Appendix

RSASSA-PKCS1-v1_5

- t = DER(DigestInfo(h,h(m)))
- em = 0x00 || 0x01 || 0xff $^{|em|-|t|-3}$ || 0x00 || t

- DER ist eine Distinguished Encoding Rules Kodierung der Struktur DigestInfo mit ASN.1 Syntax

```
DigestInfo ::= SEQUENCE {
 digestAlgorithm AlgorithmIdentifier,
 digest OCTET STRING
}
```

Der Digital Signature Algorithm (DSA)

- Parameter (p,q,g) und Schlüssel (x, $y=g^x$) wie bei DH,
- Hashfunktion H

Signatur von Nachricht m

- wähle einzigartiges zufälliges k, so dass
  - $r = g^k \bmod q \neq 0$
  - $s = k^{-1} \bullet (H_N(m) + r \bullet x) \bmod q \neq 0$
- Ausgabe: (r, s)

Verifikation von (r,s) als Signatur von m

- überprüfe: $0 < r, s < q$
- berechne:
  - $t = s^{-1} \bmod q$,
  - $u = H_N(m) \bullet t \bmod q$,
  - $v = r \bullet t \bmod q$,
  - $w = (g^u \bullet y^v \bmod p) \bmod q$
- Wenn w = r, dann ist Signatur gültig

Notation
$H_N(m)$: Ganzzahlinterpretation von H(m)

Korrektheit des DSA

- $s = k^{-1} \bullet (H_N(m) + x \bullet r) \bmod q$
- $\Leftrightarrow k = H_N(m) \bullet s^{-1} + x \bullet r \bullet s^{-1}$
  $= H_N(m) \bullet t + x \bullet r \bullet t \mod q$
- $g^k = g^{H(m) \bullet t} \bullet g^{x \bullet r \bullet t} = g^{H(m) \bullet t} \bullet y^{r \bullet t} = g^u \bullet y^v \bmod p$
- $r = (g^k \bmod p) \bmod q = (g^u \bullet y^v \bmod p) \bmod q = w$

ECDSA

- gemäß BSI TR-03111 v 2.0 bzw ANSI 9.62
- Parameter (p,a,b,G, n,h) und Schlüssel (d,G^d) wie bei ECDH
- Hashfunktion H mit Taglänge ld n

Signatur von Nachricht m

- wähle einzigartiges zufälliges k so dass
  - $k' = k^{-1} \bmod n$
  - $r = (G^k)_x \bmod n \neq 0$
  - $s = k' \bullet (r \bullet d + H_N(m)) \bmod n \neq 0$
- Ausgabe: (r,s)

Notation
P_x: x-Koordinate des Punktes P
$H_N(m)$: Ganzzahlinterpretation von H(m)

Verifikation von (r,s) als Signatur von m

- überprüfe $0 < r, s < n$
- berechne
  - $t = s^{-1} \bmod n$,
  - $u = t \bullet H_N(m) \bmod n$
  - $v = t \bullet r \bmod n$,
  - $W = G^u + (G^d)^v$
- überprüfe $W \neq O$
- wenn $W_x = r$, dann ist Signatur gültig

DSA / ECDSA - Falle

Die zufällige Zahl k muss unbedingt geheim bleiben.

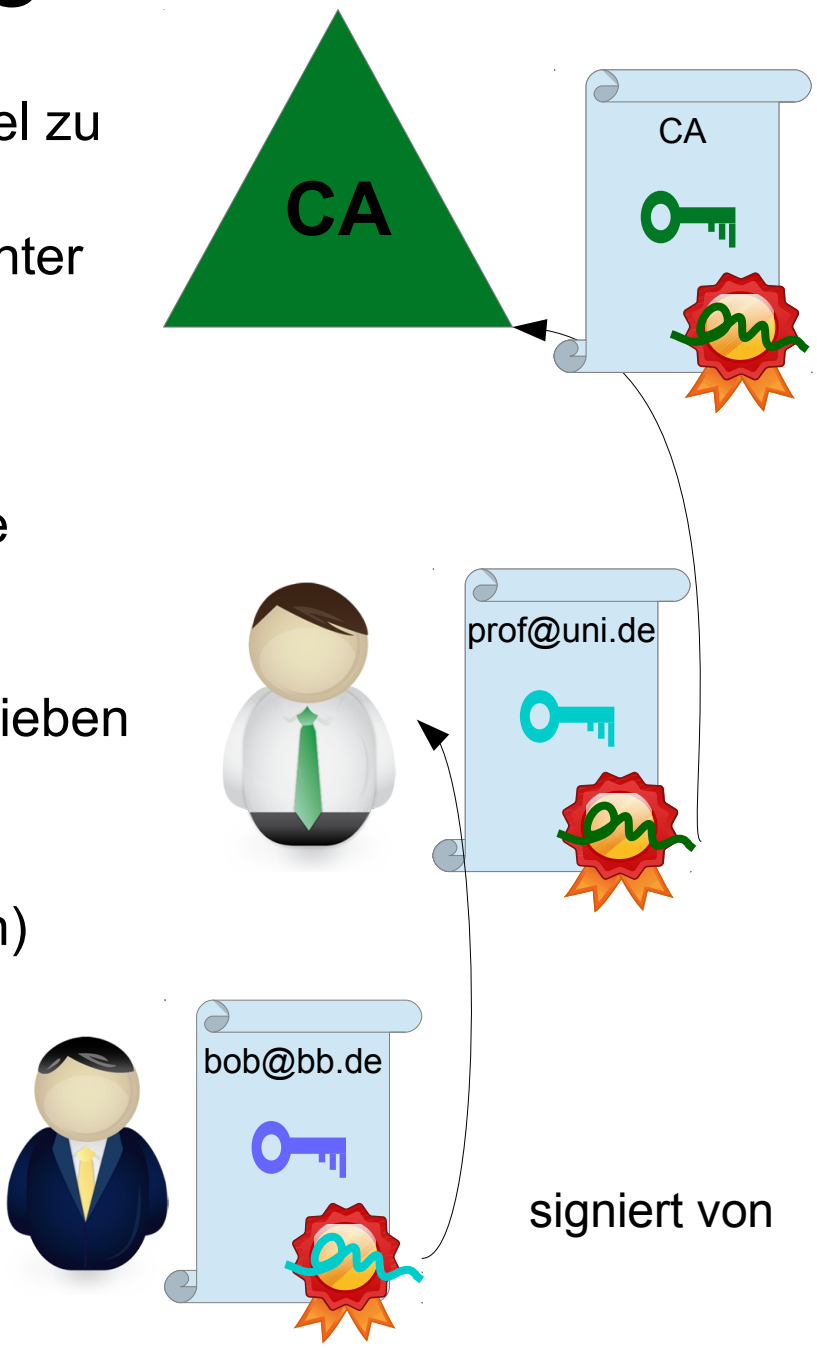
- Sei (r,s) die ECDSA Signatur von m:
  - $r = (G^k)_x \bmod n$
  - $s = k^{-1} \bullet (r \bullet d + H_N(m)) \bmod n$
  - $\Leftrightarrow d = (k \bullet s - H_N(m)) \bullet r^{-1} \bmod n$

Ein benutztes k darf nicht wiederverwendet werden.

- Seinen (r,s) und (r,s*) ECDSA Signaturen von m und m* mit gleichem k:
  - $s - s^* = k^{-1} \bullet (r \bullet d + H_N(m)) - k^{-1} \bullet (r \bullet d + H_N(m^*))$
    $= k^{-1} \bullet (H_N(m) - H_N(m^*)) \bmod n$
  - $k = (H_N(m) - H_N(m^*)) \bullet (s - s^*)^{-1} \bmod n$
- Der Schlüssel der Playstation 3 konnte durch diesen Fehler geknackt werden.

Zertifikate

- Wie stellt Alice fest, dass öffentlicher Schlüssel zu Bob gehört?
  - Eve könnte ihren öffentlichen Schlüssel unter Bobs Namen in öffentlichem Verzeichnis ablegen
- Zertifikat
  - Datenstruktur, die Attribute eines Subjekte (z.B. IP-Adresse) zusammen mit seinem öffentlichen Schlüssel enthält und
  - von vertrauenswürdiger Instanz unterschrieben ist
- Zertifizierung
  - rekursives Problem (Kette von Zertifikaten)
  - am Ende muss eine wohlbekannte Zertifizierungsautorität (CA) stehen
  - selbstsignierte Zertifikate
    - für CAs
    - zum Testen



Beispiel: X.509v3 Zertifikat

- Daten eines X.509v3 Zertifikats:
  - Version
  - Seriennummer
  - Algorithmen-ID
  - Aussteller (Land/Bundesland/Ort/Organisation ...)
  - Gültigkeit (von/bis)
  - Zertifikatsinhaber
  - Zertifikatsinhaber-Schlüsselinformationen (asymmetrisches Verfahren/ öffentlicher Schlüssel)
  - optional: eindeutige ID des Ausstellers
  - optional: eindeutige ID des Inhabers
  - Erweiterungen
  - Unterschriftsverfahren
  - Unterschrift

```
Certificate:
  Data:
    Version: 3 (0x2)
    Serial Number: 1 (0x1)
    Signature Algorithm: md5WithRSAEncryption
    Issuer: C=AT, ST=Steiermark, L=Graz, O=TrustMe Ltd,
      OU=Certificate Authority, CN=CA/Email=ca@trustme.dom
    Validity
      Not Before: Oct 29 17:39:10 2000 GMT
      Not After : Oct 29 17:39:10 2001 GMT
   Subject: C=AT, ST=Vienna, L=Vienna, O=Home, OU=Web Lab,
      CN=anywhere.com/Email=xyz@anywhere.com
   Subject Public Key Info:
      Public Key Algorithm: rsaEncryption
      RSA Public Key: (1024 bit)
        Modulus (1024 bit):
          00:c4:40:4c:6e:14:1b:61:36:84:24:b2:61:c0:b5:
          d7:e4:7a:a5:4b:94:ef:d9:5e:43:7f:c1:64:80:fd:
          9f:50:41:6b:70:73:80:48:90:f3:58:bf:f0:4c:b9:
          90:32:81:59:18:16:3f:19:f4:5f:11:68:36:85:f6:
          1c:a9:af:fa:a9:a8:7b:44:85:79:b5:f1:20:d3:25:
          7d:1c:de:68:15:0c:b6:bc:59:46:0a:d8:99:4e:07:
          50:0a:5d:83:61:d4:db:c9:7d:c3:2e:eb:0a:8f:62:
          8f:7e:00:e1:37:67:3f:36:d5:04:38:44:44:77:e9:
          f0:b4:95:f5:f9:34:9f:f8:43
        Exponent: 65537 (0x10001)
      X5099v3 extensions:
        X509v3 Subject Alternative Name:
          email:xyz@anywhere.com
        Netscape Comment:
          mod_ssl generated test server certificate
        Netscape Cert Type:
          SSL Server
   Signature Algorithm: md5WithRSAEncryption
     12:ed:f7:b3:5e:a0:93:3f:a0:1d:60:cb:47:19:7d:15:59:9b:
     3b:2c:a8:a3:6a:03:43:d0:85:d3:86:86:2f:e3:aa:79:39:e7:
     82:20:ed:f4:11:85:a3:41:5e:5c:8d:36:a2:71:b6:6a:08:f9:
     cc:1e:da:c4:78:05:75:8f:9b:10:f0:15:f0:9e:67:a0:4e:a1:
     4d:3f:16:4c:9b:19:56:6a:f2:af:89:54:52:4a:06:34:42:0d:
     d5:40:25:6b:b0:c0:a2:03:18:cd:d1:07:20:b6:e5:c5:1e:21:
     44:e7:c5:09:d2:d5:94:9d:6c:13:07:2f:3b:7c:4c:64:90:bf:
     ff:8e
```

Sperren von Zertifikaten

- Was passiert, wenn die Unterschrift eines Zertifikats nicht mehr sicher ist?
  - Aussteller ist nicht länger vertrauenswürdig
  - privater Schlüssel des Ausstellers geknackt
- Zertifikatssperrlisten (certificate revocation lists, CRL)
  - Überprüfung, ob Zertifikat in CRL enthalten
  - regelmäßiges aktualisieren der CRLs

Aufgaben

- Wann müssen bei der AES_GCM Verschlüsselung die Längen der zusätzlich zu authentifizierenden Daten und des zu verschlüsselnden Klartexts bekannt sein?
- Sind die folgenden Signaturen der folgenden Verfahren für einen gegeben Schlüssel für jede Nachricht eindeutig?
  - RSASSA-PSS
  - RSASSA-PKCS#1 v1.5
  - DSA
  - ECDSA
- Wie würden Sie Ihr Signaturprogramm testen?
- Finden Sie heraus wie man in Ihrem Brouser die gespeicherten Zertifikate anschaut.
- Suchen sie sich an Zertifakat aus, und prüfen Sie, ob Sie die Komponenten eines X.509-Zertifikats wiederfinden.
- erzeugen Sie mit openSSL ein self-signed Zertifikat