

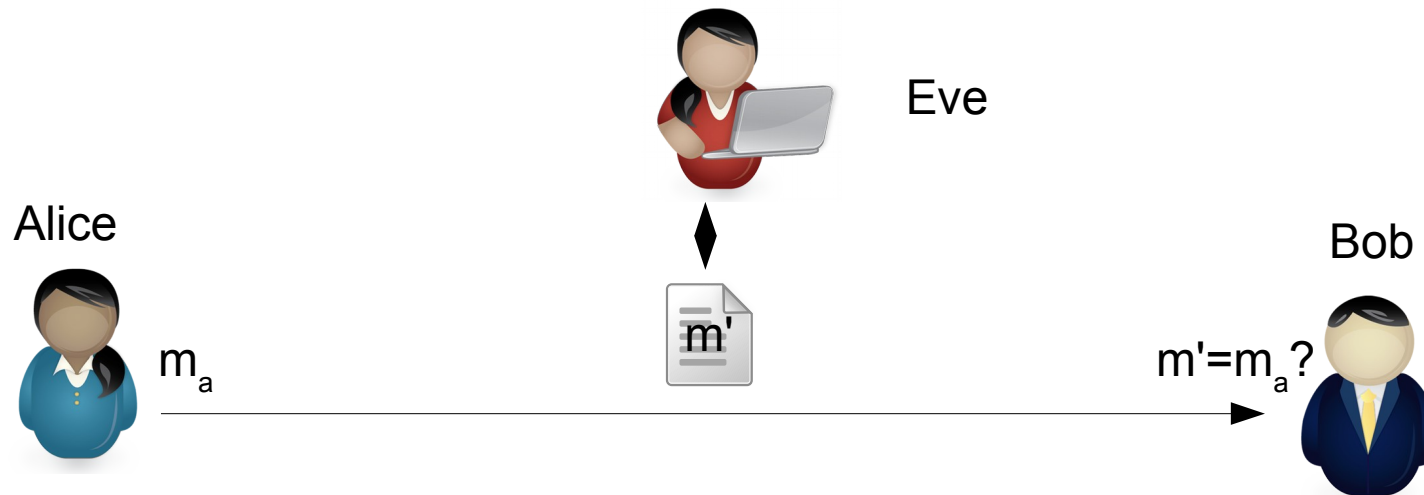
# Themen zur Computersicherheit

## Authentische Nachrichten

PD Dr. Reinhard Bündgen  
[buendgen@de.ibm.com](mailto:buendgen@de.ibm.com)

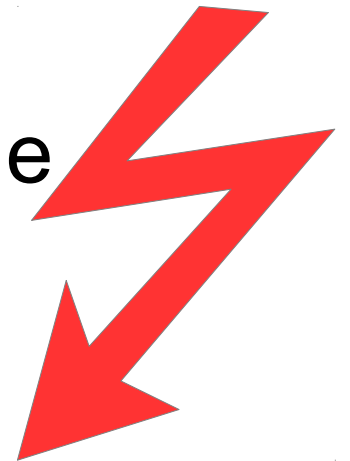
# Nachrichten Authentizität

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



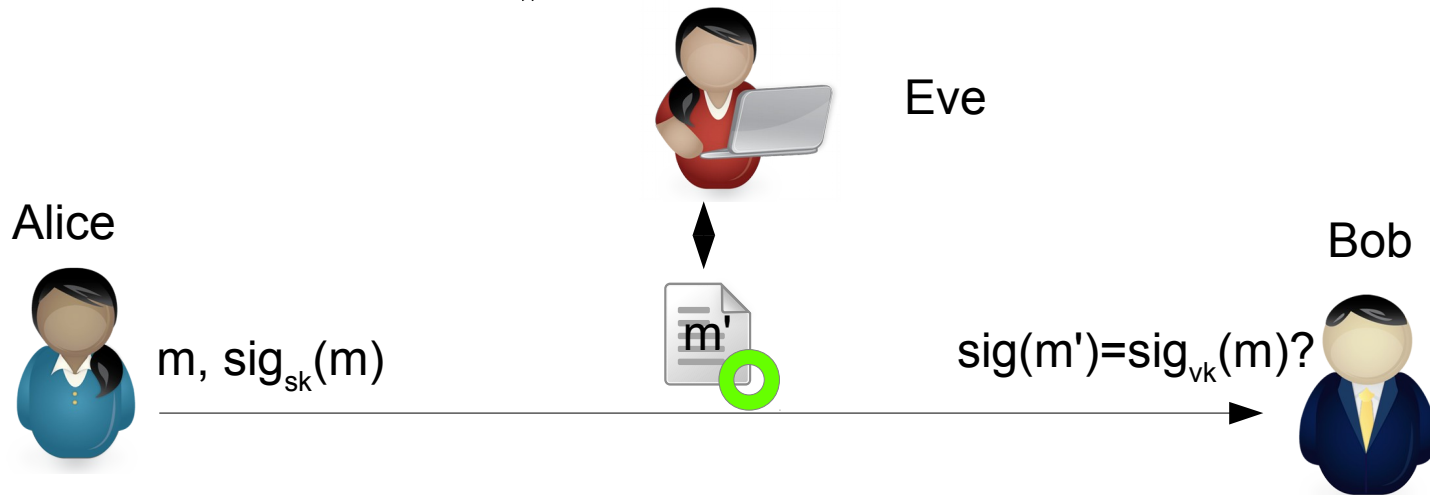
# Idee: Nutze kryptographische Hashes

- 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)
- $\text{mac}: \sum^n \times \sum^* \rightarrow \sum^t$  berechnet zu einem Schlüssel  $k$  der Länge  $n$  und einer Nachricht  $m$  den MAC (Tag)  $\text{mac}_k(m)$  der Länge  $t$
- muss stark kollisionsresistente Einwegfunktion sein
- Sender
  - verschickt  $m, \text{mac}_k(m)$
- Empfänger
  - empfängt  $m', s$  und
  - überprüft, ob  $s = \text{mac}_k(m')$ , 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 letzten Geheimtextblock einer CBC-Verschlüsselung mit
    - mit  $IV = 0^b$
    - bei Bedarf mit Padding durch Nullen
  - Probleme
    - $t \leq b$  (i.A.  $\leq 128$  bit)
    - Falls  $t = b$  dann gilt (z.B. wenn fehlende Bits geraten werden):
      - $CBC\text{-}mac_k(m_1) = CBC\text{-}mac_k(m_2) \Rightarrow CBC\text{-}mac_k(m_1 || m_3) = CBC\text{-}mac_k(m_2 || m_3)$
      - $|m_1| = |m_2| = b \Rightarrow CBC\text{-}mac_k(m_1 || m_2) = CBC\text{-}mac_k(m_2 || CBC\text{-}mac_k(m_1) \oplus CBC\text{-}mac_k(m_2) \oplus m_2)$
- 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

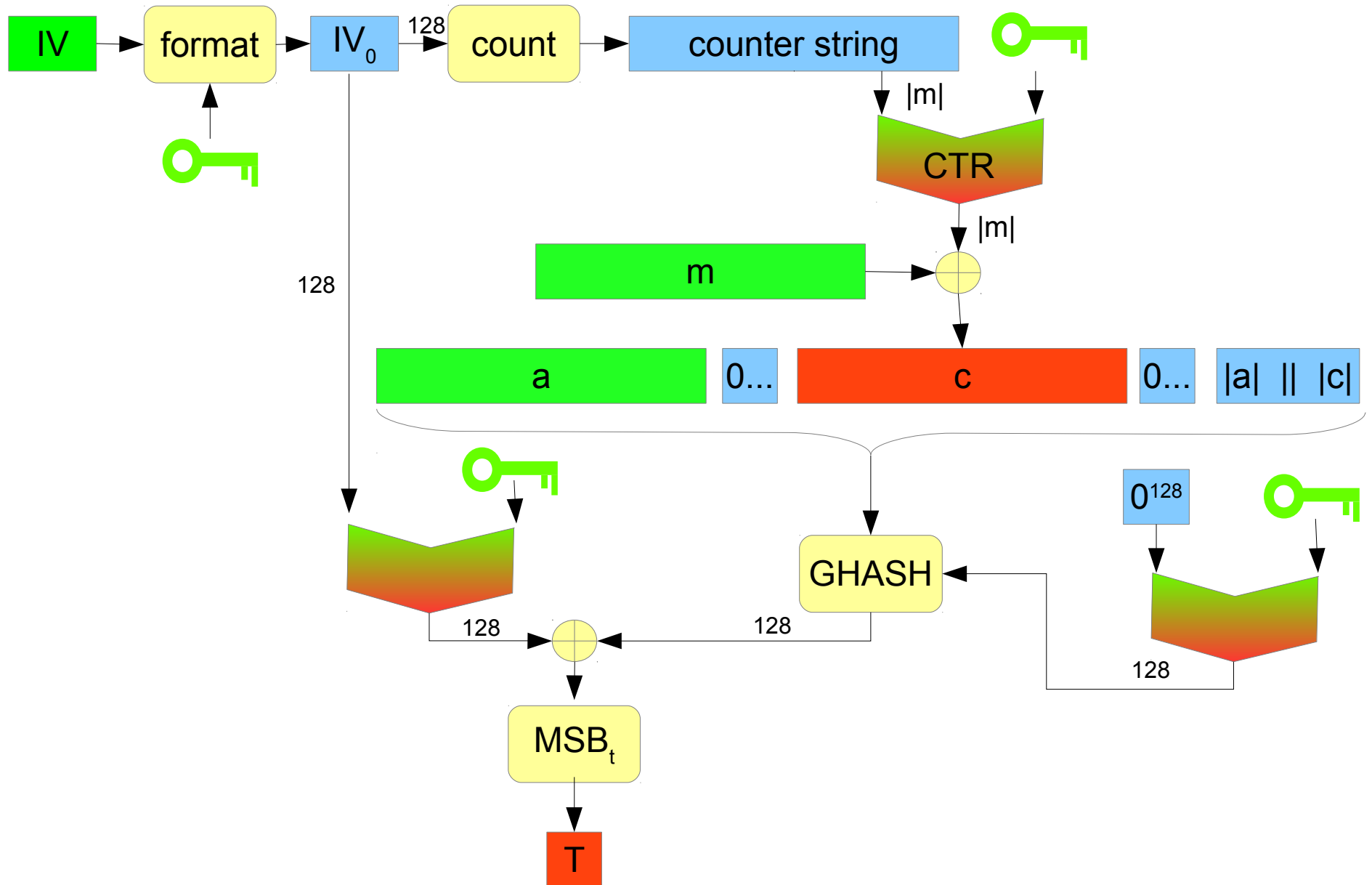


# Kombinierte Authentisierungs- und Verschlüsselungsverfahren

## Authenticated Encryption with Associated Data (AEAD)

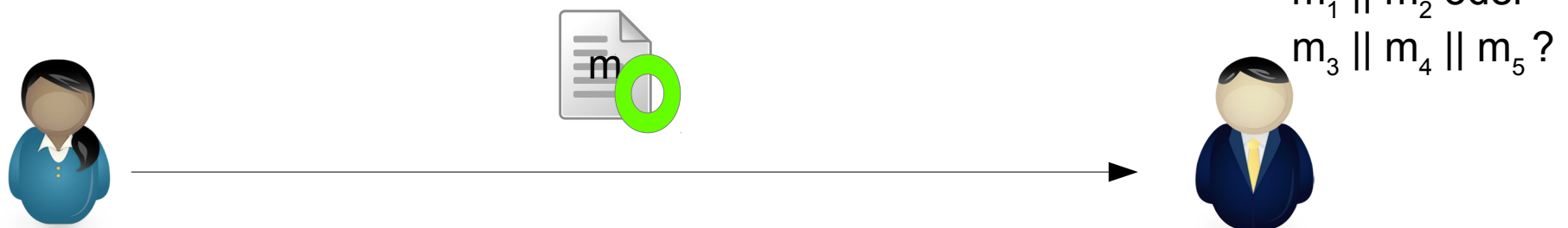
- Galois/Counter Mode (GCM)
  - NIST SP 800-38D
    - basiert auf zugelassener Blockchiffre BC mit 128 Bit Blocklänge (z.B. BC = AES128)
  - Eingaben (Verschlüsselungsrichtung)
    - Initialisierungswert iv, Schlüssel k, zusätzliche authentifizierte Daten a, Klartext m, Taglänge t
  - Ausgabe (Verschlüsselungsrichtung):
    - $BC\text{-CTR}\text{-enc}_k(m)$  -- wobei  $BC\text{-CTR}_k$  iv mit 96 bit nonce
    - $MSB(t, BC(IV_0) \oplus GHASH(BC_k(0^{128}), \text{format}(a, BC\text{-CTR}\text{-enc}_k(m))))$
  - 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):
    - $BC\text{-CTR}\text{-enc}_k(m)$
    - $MSB(t, BC\text{-CBC}\text{-mac}_k(\text{format}(n, a, m)BC_k(\text{ctr}_0)))$
- 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:  $m = m_1 \parallel m_2 = m_3 \parallel m_4 \parallel m_5$



# Sichere Kanäle

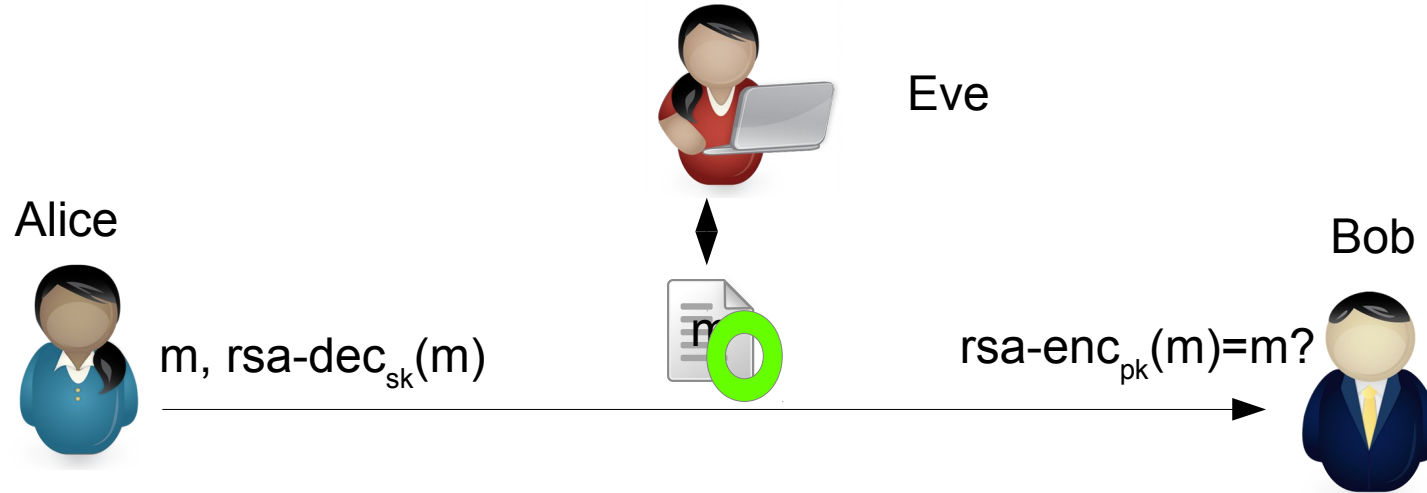
vertrauliche und authentische Nachrichtenübertragung

- **verschlüssele dann authentifiziere**:  $\text{enc}(m), \text{sig}(\text{enc}(m))$ 
  - pro:
    - auch für schwächere Chiffren sicher,
    - effizient bei verfälschten Nachrichten
  - cons:
    - sowohl Unterschrift als auch unterschriebene Daten sichtbar
  - genutzt bei: IPsec
- **authentifiziere dann verschlüssele**:  $\text{enc}(m \parallel \text{sig}(m))$ 
  - 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**:  $\text{enc}(m), \text{sig}(m)$ 
  - 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

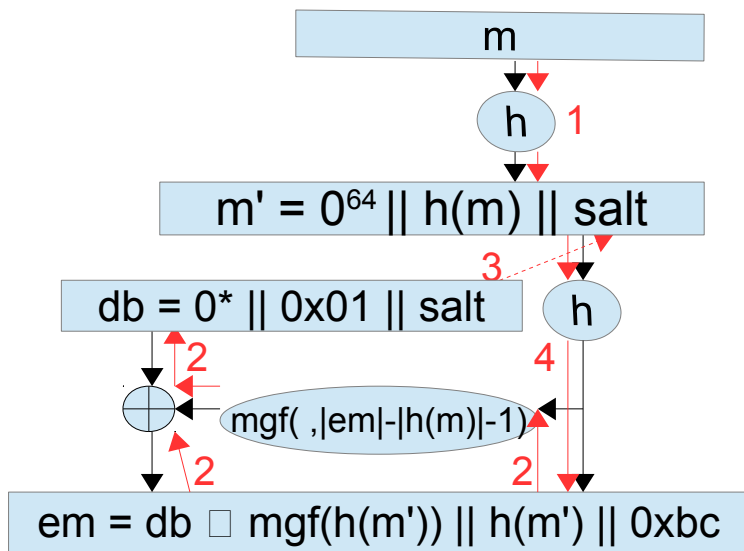


- RSA Entschlüsselung dient als Signatur
  - $\text{RSA-sig}_{sk} = \text{RSA-dec}_{sk}$
- RSA Verschlüsselung dient als Verifikationsverfahren
  - $\text{RSA-ver}_{pk} = \text{RSA-enc}_{pk}$
- Wenn  $m < \text{RSA Modulus}$ , dann kann die Nachricht aus der Signatur gewonnen werden
- bei größeren Nachrichten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

- $t = \text{DER}(\text{DigestInfo}(h, h(m)))$
- $em = 0x00 || 0x01 || 0xff^{|em|-|t|-3} || 0x00 || t$
- 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
  - $r = g^k \bmod q \neq 0$
  - $s = k^{-1} \cdot (H_N(m) + r \cdot x) \bmod q \neq 0$
- Ausgabe:  $(r, s)$

### Notation

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

## Verifikation von $(r, s)$ als Signatur von $m$

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



# Korrektheit des DSA

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

# 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  $l_d$   $n$

## Signatur von Nachricht $m$

- wähle einzigartiges zufälliges  $k$  so dass
  - $k' = k^{-1} \bmod n$
  - $r = (G^k)_x \bmod n \neq 0$
  - $s = k' \cdot (r \cdot d + H_N(m)) \bmod n \neq 0$
- 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
  - $t = s^{-1} \bmod n$ ,
  - $u = t \cdot H_N(m) \bmod n$
  - $v = t \cdot r \bmod n$ ,
  - $W = G^u + (G^d)^v$
- überprüfe  $W \neq O$
- wenn  $W_x = r$ , dann ist Signatur gültig

# DSA / ECDSA - Falle

**Die zufällige Zahl k muss unbedingt geheim bleiben.**

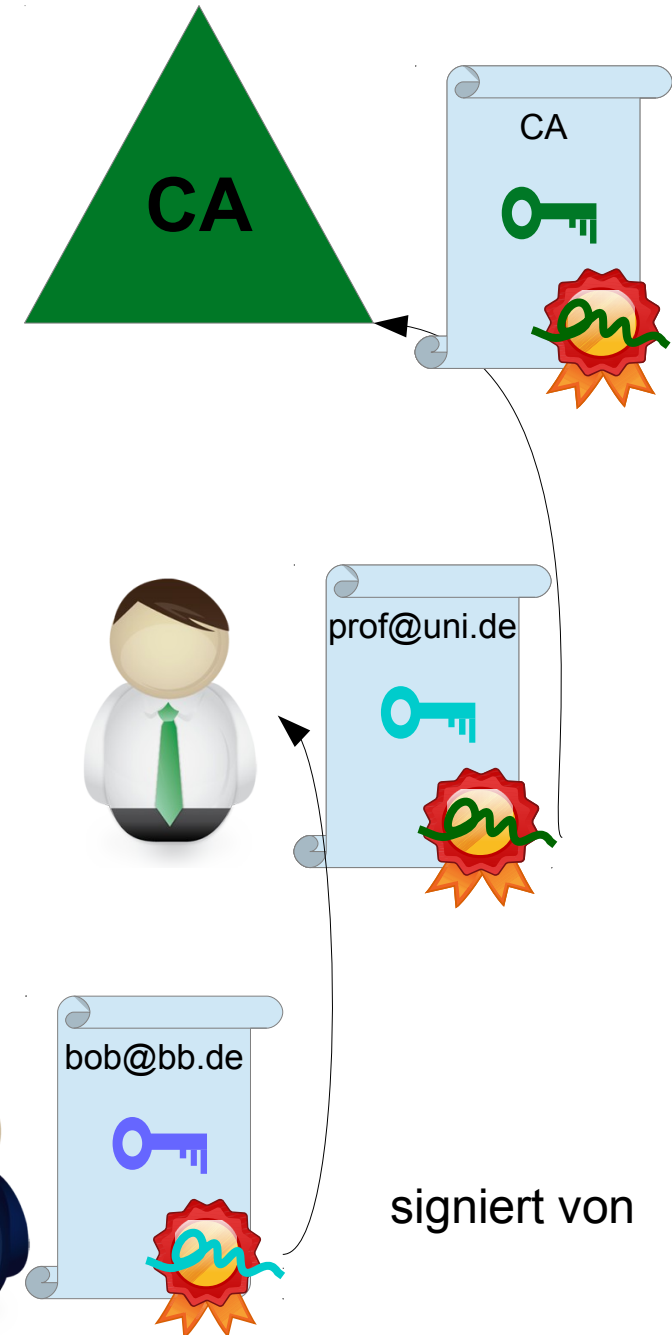
- Sei  $(r,s)$  die ECDSA Signatur von  $m$ :
  - $r = (G^k)_x \bmod n$
  - $s = k^{-1} \cdot (r \cdot d + H_N(m)) \bmod n$
  - $\Leftrightarrow d = (k \cdot s - H_N(m)) \cdot r^{-1} \bmod n$

**Ein benutztes k darf nicht wiederverwendet werden.**

- Seien  $(r,s)$  und  $(r,s^*)$  ECDSA Signaturen von  $m$  und  $m^*$  mit gleichem  $k$ :
  - $s - s^* = k^{-1} \cdot (r \cdot d + H_N(m)) - k^{-1} \cdot (r \cdot d + H_N(m^*))$   
 $= k^{-1} \cdot (H_N(m) - H_N(m^*)) \bmod n$
  - $k = (H_N(m) - H_N(m^*)) \cdot (s - s^*)^{-1} \bmod n$
- 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 Zertifizierungsstelle (certificate authority, CA) stehen
  - selbstsignierte Zertifikate
    - für CAs
    - zum Testen



# Beispiel: X.509v3 Zertifikat

- Daten eines X.509v3 Zertifikats: 

```
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)
X509v3 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
```
- 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
- Unterschriftenverfahren
- Unterschrift

# Sperren von Zertifikaten

- Was passiert, wenn Zertifikat nicht mehr gültig ist?
  - zum zertifizierten öffentlichen Schlüssel gehöriger privater Schlüssel wurde bekannt
  - 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 gegebenen 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 Browser die gespeicherten Zertifikate anschaut.
- Suchen sie sich an Zertifikat aus, und prüfen Sie, ob Sie die Komponenten eines X.509-Zertifikats wiederfinden.
- erzeugen Sie mit openssl ein self-signed Zertifikat