

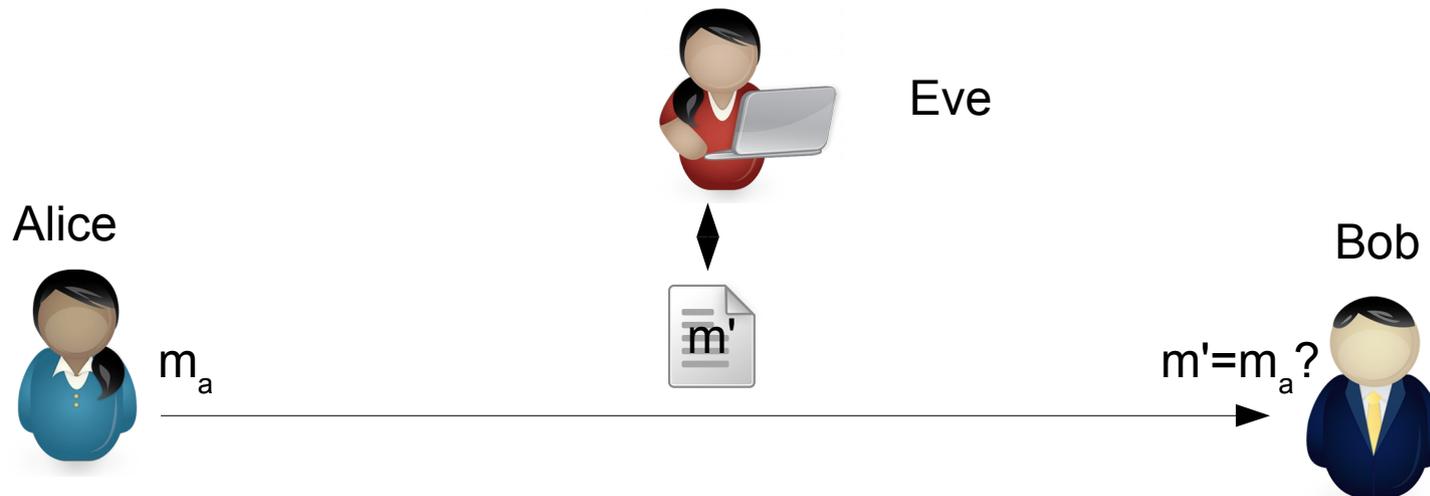
# Themen zur Computersicherheit

## Authentische Nachrichten

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

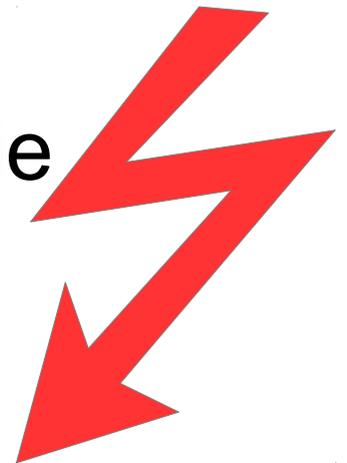
# Nachrichten Authentizität

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



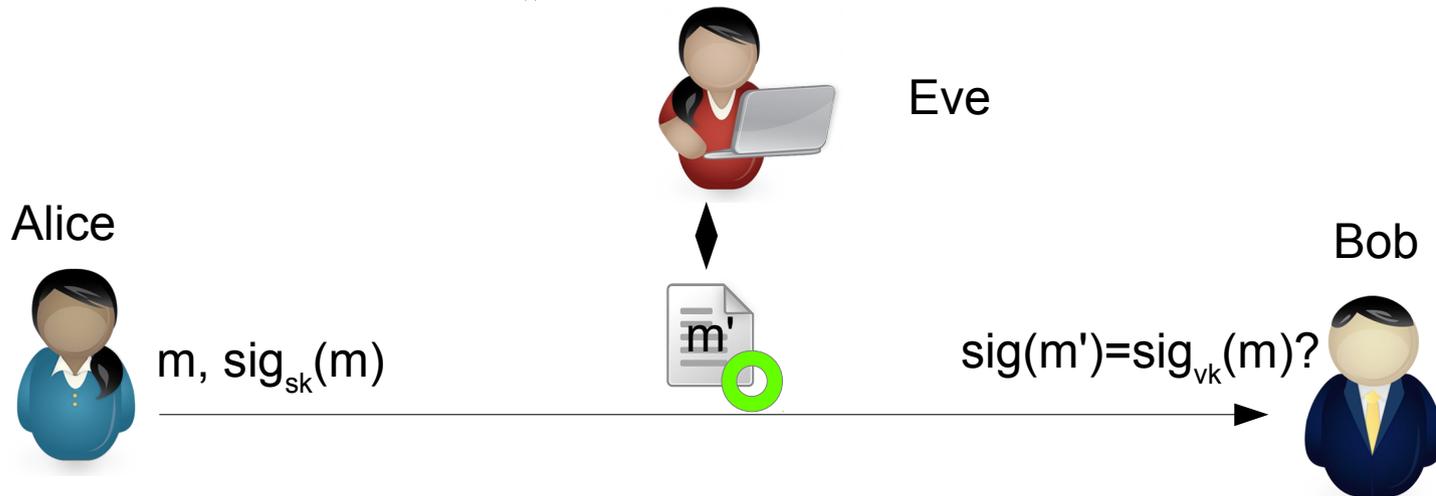
# Idee: Nutze kryptographische Hashes

- 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)
- $\text{mac}: \Sigma^n \times \Sigma^* \rightarrow \Sigma^t$  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

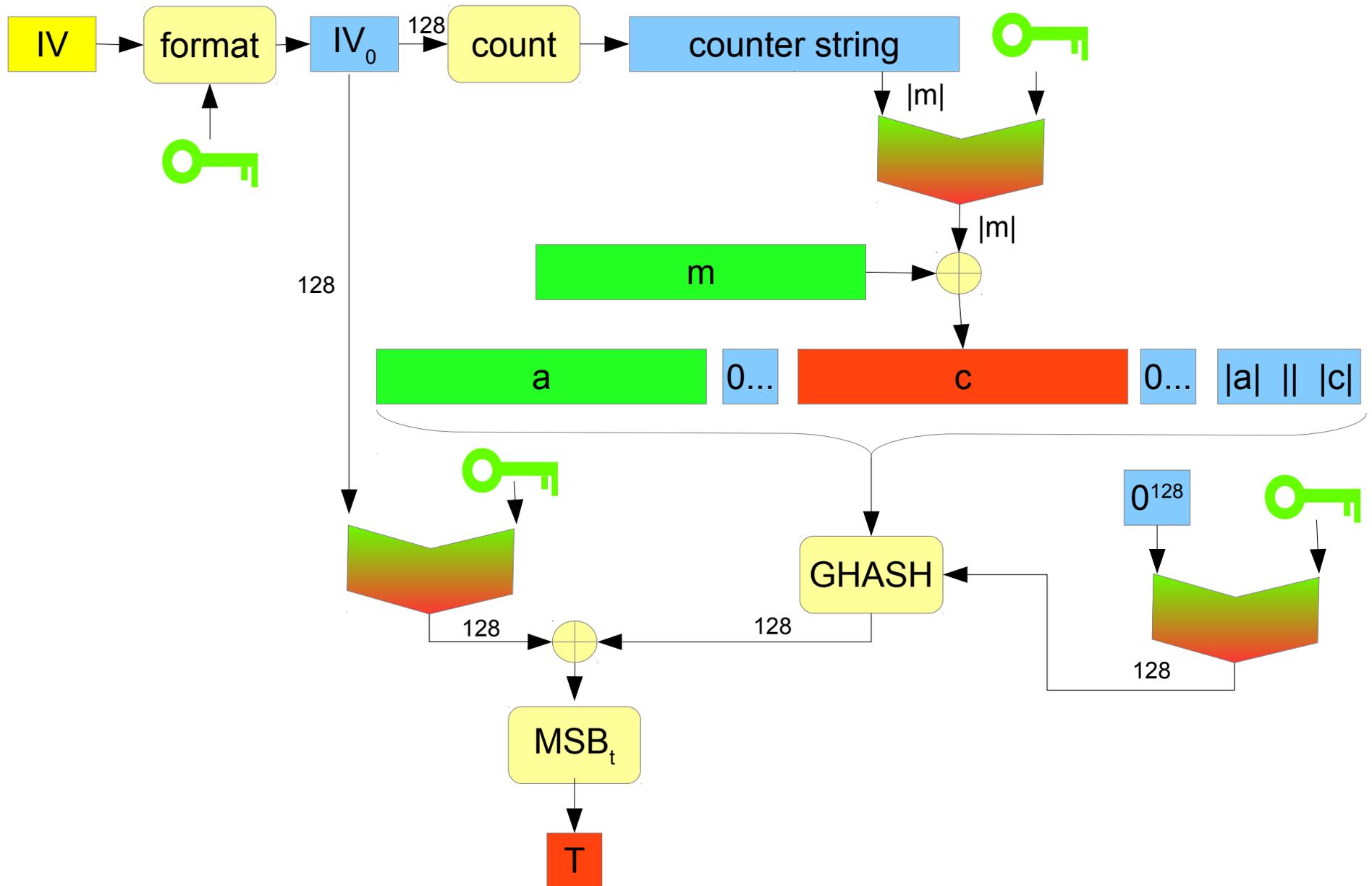
# Hashbasierte MACs

- $h(k || m)$  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
  - $k' = k$  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 (Verschlüsselung)
    - Initialisierungswert iv, Schlüssel k, zusätzliche authentifizierte Daten a, Klartext m, Taglänge t
  - Ausgabe (Verschlüsselung):
    - $BC-CTR_k(m)$  -- wobei  $BC-CTR_k$  mit 96 bit nonce
    - $MSB(t, BC-CTR_k(GHASH(format(a, BC-CTR_k(m))))))$
- 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):
    - $BC-CTR_k(m)$
    - $MSB(t, BC-CBC-MAC_k(format(n, a, m) \oplus BC_k(ctr_0)))$

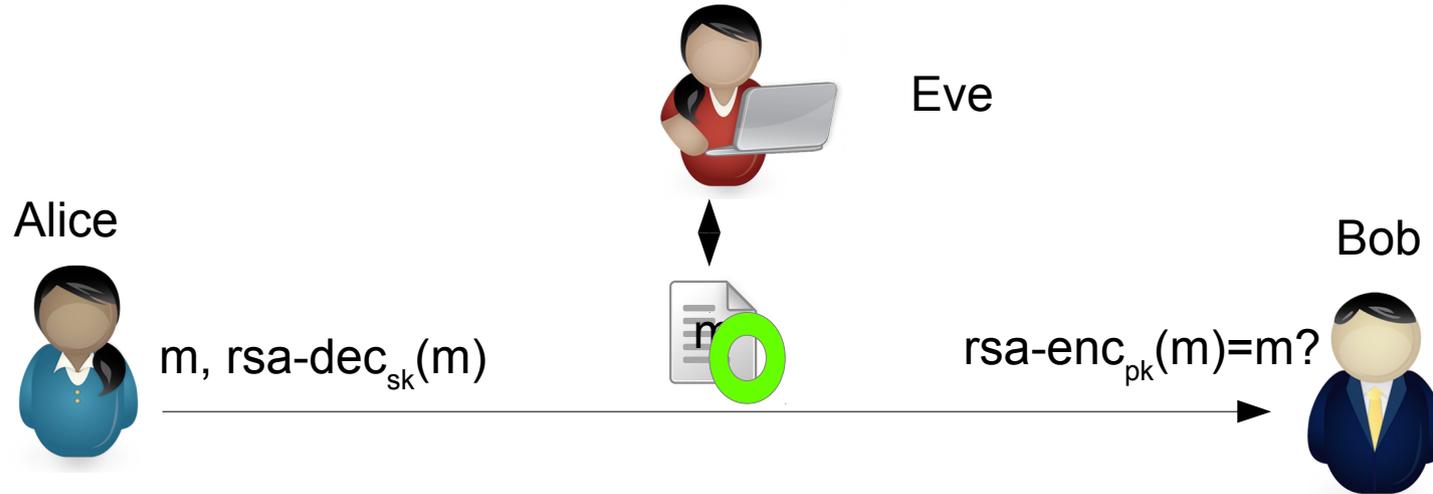
# GCM (Verschlüsselungsrichtung)



# Asymmetrische Signaturen

- Unterschreiben mit privatem Schlüssel
- Verifizieren mit öffentlichem Schlüssel
  
- RSA basierte Verfahren
- Digital Signature Algorithm (DSA)

# RSA basierte Unterschrift

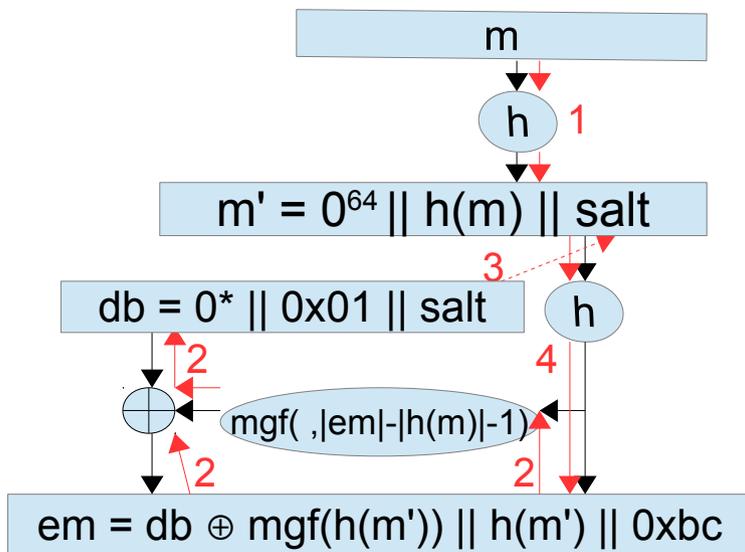


- RSA Entschlüsselung dient als Signatur
  - $\text{RSA-sig}_{sk} = \text{RSA-dec}_{sk}$
- RSA Verschlüsselung dient als Verifikationsverfahren
  - $\text{RSA-ver}_{pk} = \text{RSA-enc}_{pk}$
- Wenn  $m < \text{RSA Modulus}$ , dann kann die Nachricht aus der Signatur gewonnen werden
- bei größeren Nachrichten 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
}
```

# 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:  $m = m_1 \parallel m_2 = m_3 \parallel m_4 \parallel m_5$



$m_1 \parallel m_2$  oder  
 $m_3 \parallel m_4 \parallel m_5$ ?

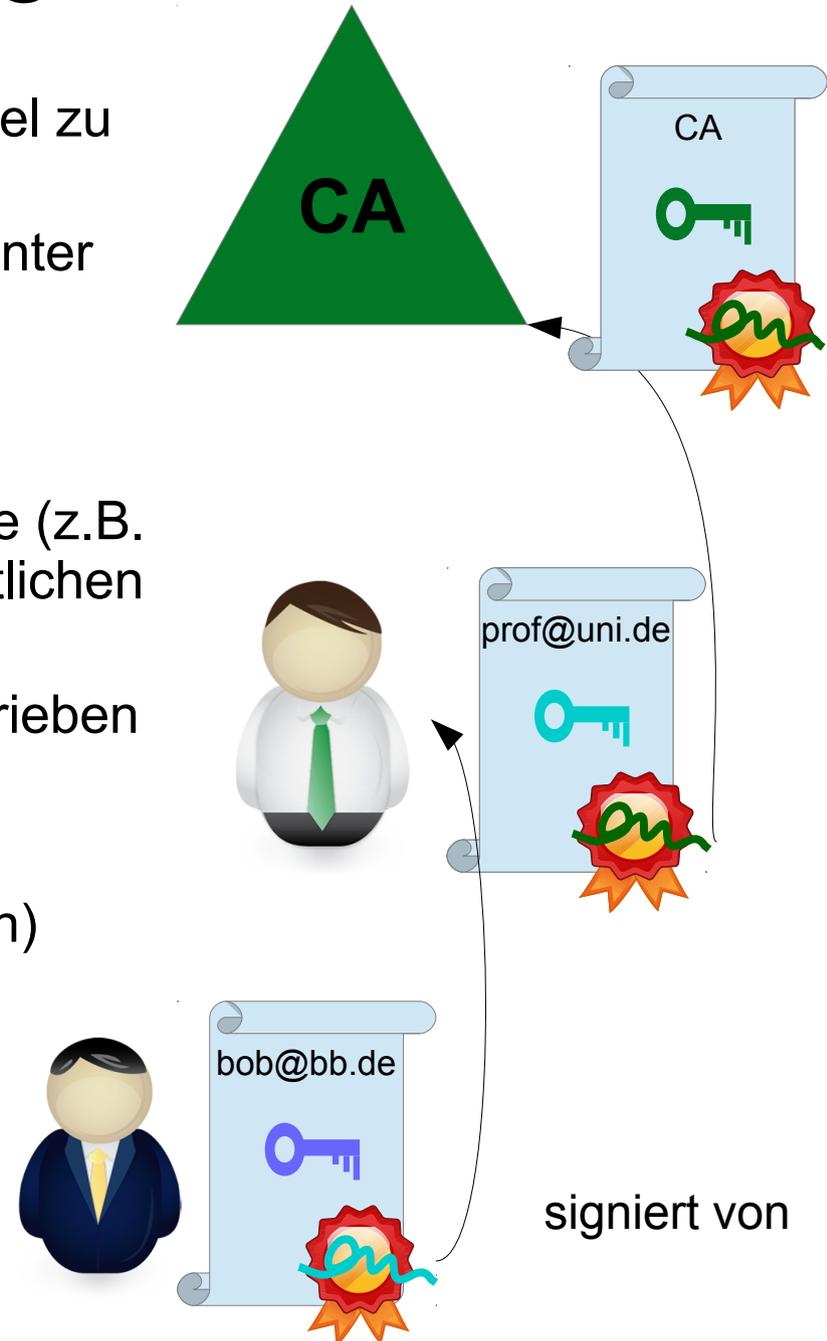
# Sichere Kanäle

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
- **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

# 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: Certificate:
  - Version Data:
    - Version: 3 (0x2)
  - Seriennummer
    - Serial Number: 1 (0x1)
  - Algorithmen-ID
    - Signature Algorithm: md5WithRSAEncryption
  - Aussteller (Land/Bundesland/Ort/Organisation ...)
    - Issuer: C=AT, ST=Steiermark, L=Graz, O=TrustMe Ltd, OU=Certificate Authority, CN=CA/Email=ca@trustme.dom
  - Gültigkeit (von/bis)
    - Validity
      - Not Before: Oct 29 17:39:10 2000 GMT
      - Not After : Oct 29 17:39:10 2001 GMT
  - Zertifikatsinhaber
    - Subject: C=AT, ST=Vienna, L=Vienna, O=Home, OU=Web Lab, CN=anywhere.com/Email=xyz@anywhere.com
  - Zertifikatsinhaber-Schlüsselinformationen (asymmetrisches Verfahren/öffentlicher Schlüssel)
    - 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)
  - optional: eindeutige ID des Ausstellers
    - X509v3 extensions:
      - X509v3 Subject Alternative Name:
        - email:xyz@anywhere.com
      - Netscape Comment:
        - mod\_ssl generated test server certificate
      - Netscape Cert Type:
        - SSL Server
  - optional: eindeutige ID des Inhabers
    - Signature Algorithm: md5WithRSAEncryption
  - Erweiterungen
    - 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
  - Unterschriftenverfahren
  - Unterschrift

# 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