max planck institut
informatik

Kryptographie
Wie funktioniert Electronic Banking?

Kurt Mehlhorn

Adrian Neumann

Max-Planck-Institut für Informatik

Übersicht

- Zwecke der Kryptographie
- Techniken
  - Symmetrische Verschlüsselung (One-time Pad, Caesar, moderne Blockchiffres)
  - Asymmetrische Verschlüsselung, Public-Key Kryptographie (seit 1978)
  - Digitale Unterschriften
- Anwendungen: Electronic Banking, Sicherheitsinfrastrukturen

Kryptographie (geheim-schreiben) Hauptziele (nach Wolfgang Ertel)

Vertraulichkeit / Zugriffsschutz: Nur berechtigte Personen können die Daten/Nachricht lesen.

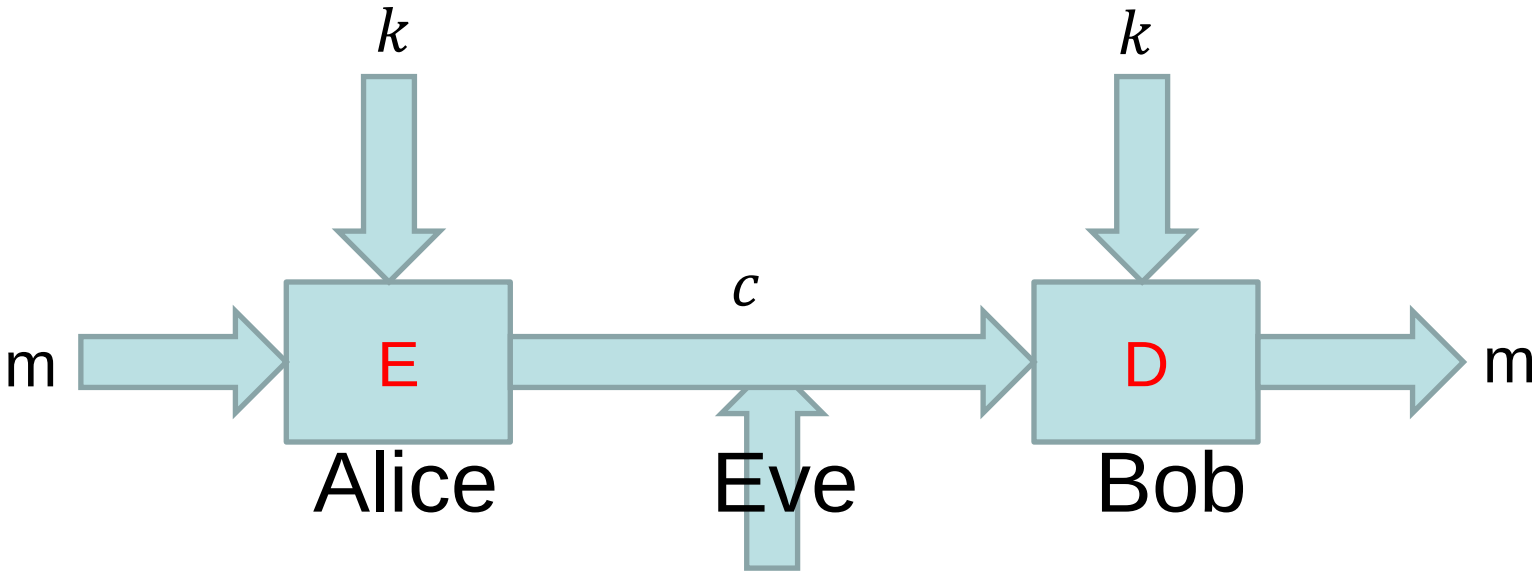
Integrität / Änderungsschutz: Daten können nicht unbemerkt verändert werden.

Authentizität/Fälschungsschutz: Der Urheber der Daten oder der Absender der Nachricht soll eindeutig identifizierbar sein

Verbindlichkeit/Nichtabstreitbarkeit: Urheberschaft sollte nachprüfbar und nicht abstreitbar sein.

Symmetrische Verschlüsselung

Alice und Bob verabreden einen geheimen Schlüssel k



Eve = Eavesdropper

Beispiel: Caesar

- D und E sind ein Gerät.
- Schlüssel k ist Drehwinkel,
  bzw. das Ziel von A.
- E liest von innen nach außen
  D von außen nach innen.
- Einfach, aber sehr unsicher; nur 26 Schlüssel.

Nomenklatur

- m = Klartext, Nachricht, message
- c = Geheimtext, cyphertext
- E und D sind (allgemein bekannte) Geräte (heute meist Programme)
- Werden durch den Schlüssel k personalisiert
- Ohne Kenntnis von k soll es praktisch unmöglich (10min, 5h, 100 Jahre) sein, m aus c zu bestimmen
- Für alle m und k: m = D(k, E(k,m))

Symmetrische Krypthographie
Eine Analogie

- Alice und Bob kaufen sich eine Kiste und ein Vorhängeschloss mit zwei identischen Schlüsseln. Jeder bekommt einen Schlüssel.
- Nachrichten kommen in die Kiste, die Kiste wird verschlossen, …
- Braucht ein Treffen oder einen vertrauenswürdigen Boten

One-Time Pad (Rotes Telefon)

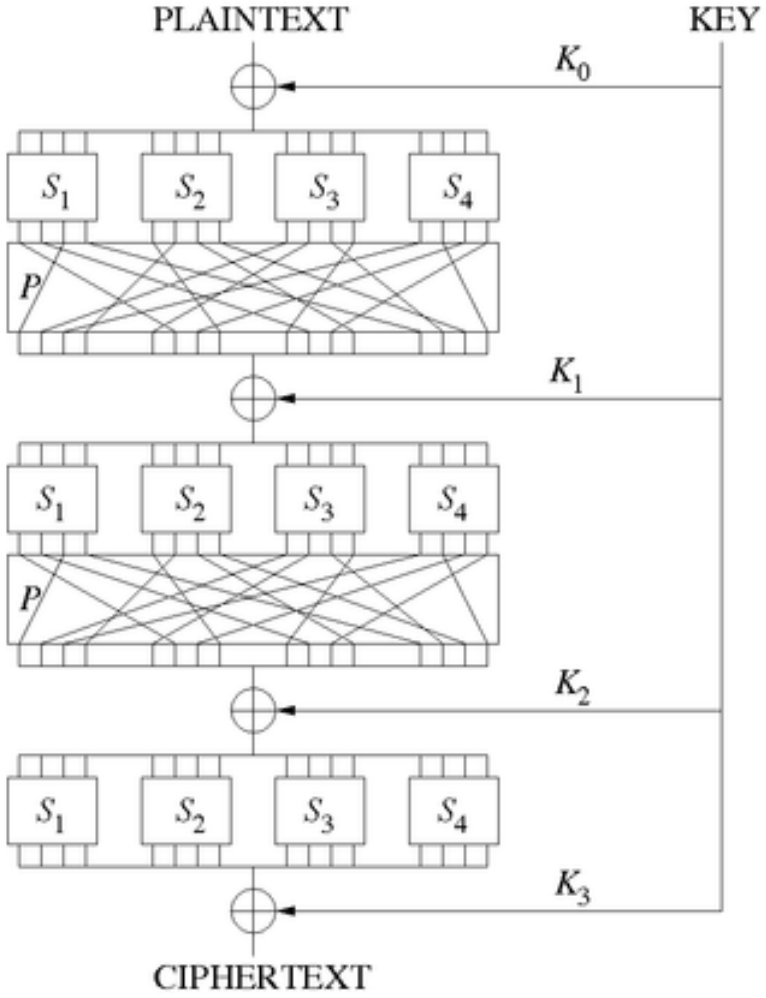
- Wie Caesar, aber für jeden Buchstaben des Texts benutzt man einen eigenen Schlüssel, d.h.
- Schlüssel ist ein zufälliger Text (jeder Buchstabe ist gewürfelt) mit der gleichen Länge wie die Nachricht.
- Absolut sicher, aber Schlüssel muss genauso lang wie Nachricht sein
- Schlüsselaustausch ist aufwendig

Blockchiffrierung

- Nachricht wird in Blöcke der Länge b zerlegt. Jeder Block wird getrennt kodiert.
- Alle mit dem gleichen Schlüssel.
- Typische Blocklänge 64, 128, 256 Bits
- Schlüssellänge ähnlich, 2^{128} verschiedene k
- Populäre Verfahren: DES (Data-Encryption-Standard), AES (Nachfolger)
- Sicherheit: 64Bit Versionen unsicher, 128Bit noch sicher,

Blockchiffrierung: Prinzip der Vorgehensweise

- Kodierung eines Blocks der Länge b = 128
- Verknüpfe mit dem Schlüssel (wie im One-Time Pad)
- Fasse Block als Folge von 16 Miniblöcken von je 8 Bit auf. 8 Bit = 0 .. 255. Substituiere 0 → 132, 1 → 211
- Permutiere die Positionen
- Wiederhole 16 Mal.



Angriffe

- Caesar: Buchstabenhäufigkeit
- DES 56: brute-force mit Spezialhardware
- ENIGMA (Rätsel): Alan Turing

Symmetrische Verfahren Zusammenfassung

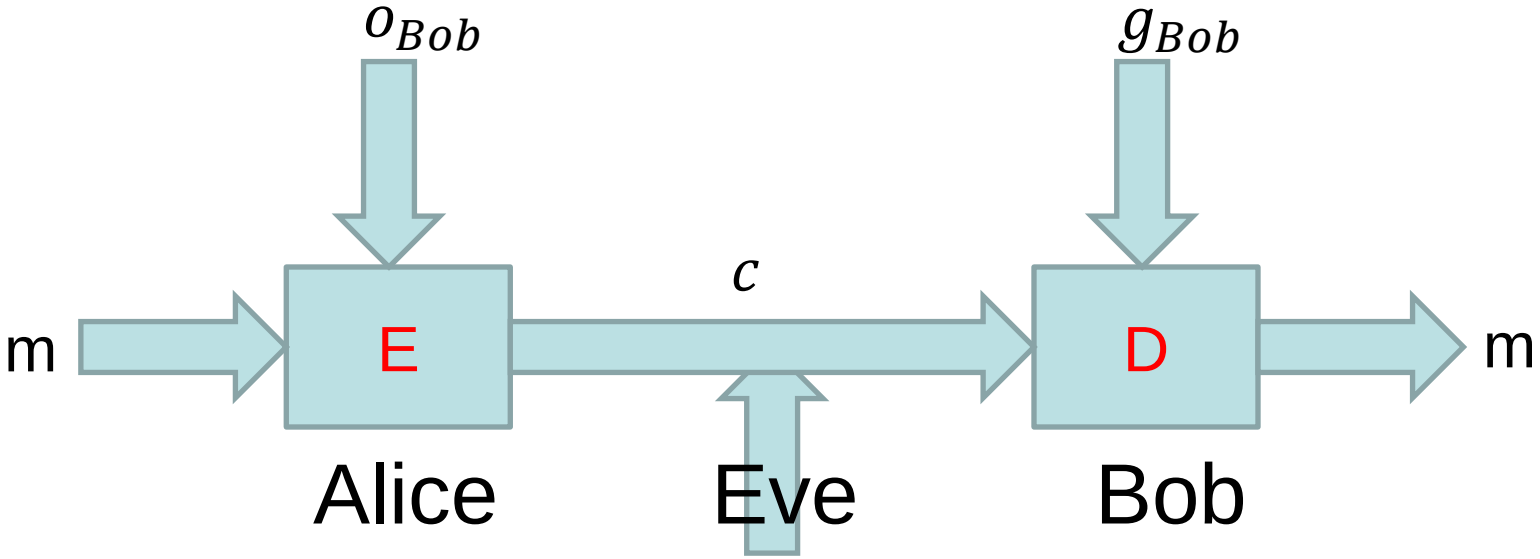
- Sender (Alice) und Empfänger (Bob) verabreden einen gemeinsamen Schlüssel k
- Dieser Schlüssel muss geheim bleiben
- Wie einigt man sich auf einen Schlüssel?
  - Früher: Treffen oder Bote
  - Heute: asymmetrisches Verfahren zum Schlüsselaustausch
- Beispiele: One-Time Pad, Caesar, AES128
- Sehr effiziente Ver- und Entschlüsselung
- Bei n Teilnehmern: n x n Schlüssel

Asymmetrische Verfahren (seit 78)

- (Empfänger) Bob erzeugt Schlüsselpaar g_{Bob} und o_{Bob}, hält g_{Bob} geheim, veröffentlicht o_{Bob}
- Jeder, der Bob eine Nachricht schicken will, benutzt o_{Bob} zum Verschlüsseln
- g_{Bob} kann aus o_{Bob} nach heutiger Kenntnis nicht in wenigen Jahren berechnen. Ohne Kenntnis von g_{Bob} kann man nicht entschlüsseln

Ver- und Entschlüsselung

$$m = D\left(g_{Bob} , E(o_{Bob} , m)\right)$$



Eve = Eavesdropper

Asymmetrisches Verfahren
Eine Analogie

- Bob möchte, dass man ihm geheime Nachrichten schicken kann.
- Er kauft sich viele identische Bügelschlösser und hinterlegt die offenen Schlösser an öffentlichen Orten
- Alice tut ihre Nachricht in eine Kiste, verschließt die Kiste mit dem Bügelschloss und schickt die Kiste an Bob
- Nur Bob kann die Kiste öffnen
- Vorteil: kein Treffen nötig
- Problem: aufwendiger, Authentifizierung, woher weiß Alice, dass das Schloss zu Bob gehört.

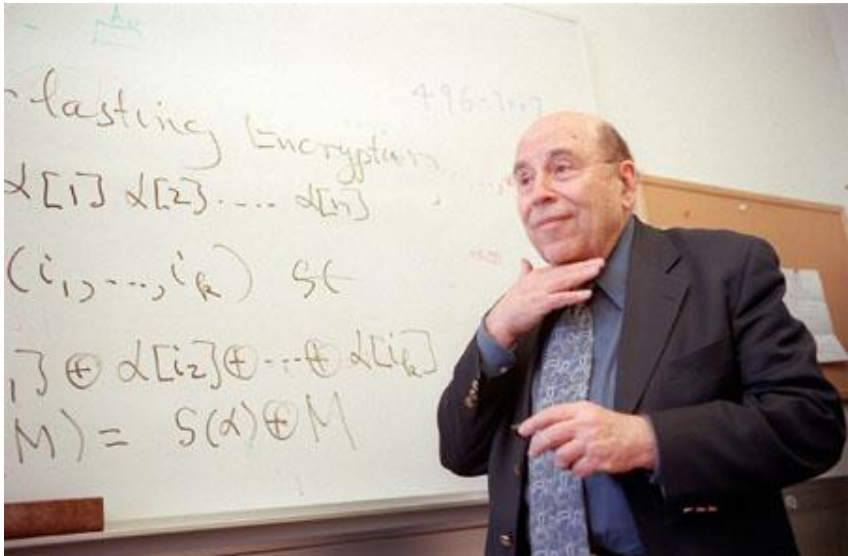
Nomenklatur

- E und D sind (allgemein bekannte) Geräte (heute meist Programme)
- Werden durch die Schlüssel personalisiert, also
  - E_{Bob} = E mit Schlüssel o_{Bob} und
  - D_{Bob} = D mit Schlüssel g_{Bob}
- E_{Bob} ist öffentlich, nur

  Bob kann D_{Bob} ausführen

Erfinder

- RSA (Rivest-Shamir-Adleman, Turing Award), Rabin (Turing Award), 1978
- Später dann Verfahren von El Gamal und Elliptische Kurven



Sicherheit

- Sicherheit von RSA
  - Multiplizieren von 1000-stelligen Zahlen ist einfach, aber
  - sie aus ihrem Produkt zu berechnen, dauert nach heutigem Wissen 100 Jahre
- El Gamal: das gleiche gilt für den diskreten Logarithmus bezüglich 2000-stelliger Primzahl
- 1000-stellige Primzahlen findet man leicht

Baby-Version von ElGamal

- Folge Bongartz/Unger (Alg der Woche)
- Annahme: Wir können multiplizieren und addieren/subtrahieren, aber dividieren ist sehr sehr schwer, also
- aus p und f kann man $P = p \times f$ berechnen, aber niemand kann aus f und $P = p \times f$ das p berechnen.

Baby-Version von ElGamal

- **Empfänger** wählt p und f; veröffentlicht f und $P = p \times f$; p bleibt geheim.
- **Sender** möchte m schicken, $m < P$
- Wählt eine zufällige Zahl s und schickt öffentlich (s bleibt geheim)

$$s \times f \text{ und } N = m + s \times P.$$

- **Empfänger** berechnet

$$p \times (s \times f) = s \times P$$

und dann $m = N - s \times P.$

Baby-Version von ElGamal

- Empfänger wählt p und f und veröffentlicht f und $P = p \times f$.
- Sender möchte m schicken, $m < P$.
- Wählt eine Zahl s und schickt öffentlich

$$s \times f \text{ und } N = m + s \times P.$$

- **Eve** kennt $f, s \times f, P = p \times f$ und weiß

$$m \in \{N, N - P, N - 2P, N - 3P, \ldots\}$$

Eve braucht s.

Die Details von ElGamal

- Die Details von ElGamal werde ich in der Vorlesung nicht behandeln, die Folien sind zum Nachlesen

Rechnen mod n

- Grundmenge = $\{0,1,\ldots,n-1\}$, etwa $n = 7$
- Addition, Subtraktion, Multiplikation mod n

Bringe Ergebnis durch Restbildung wieder in die Grundmenge

$$4 \times 6 = 36 \equiv 1 \; mod \; 7$$

$$3 + 4 \times 2 = 11 \equiv 4 \; mod \; 7$$

- n prim, dann gibt es zu jedem $a \neq 0$ ein b so dass $a \times b \equiv 1 \; mod \; n$ und es gibt ein g so dass $\{g, g^2, \ldots, g^{n-1}\} = \{1, \ldots, n-1\}$

ElGamal

- Empfänger wählt Primzahl p, Erzeuger g und $x, 2 \leq x \leq p-1$ und veröffentlicht (p, g, y) wobei $y = g^x \bmod p$
- Berechnung von y aus x ist leicht, aber von x aus y ist praktisch unmöglich
- Sender möchte m schicken, wählt s und schickt

$$(z = g^s \bmod p, N = m \times y^s \, mod \, p)$$

ElGamal

- Empfänger wählt Primzahl p, Erzeuger g und $x, 2 \leq x \leq p-1$ und veröffentlicht
  (p, g, y) wobei $y = g^x \bmod p$
- Sender möchte m senden, wählt s, sendet
  $(z = g^s \bmod p, N = m \times y^s \, mod \, p)$

- Eve kennt y^s und weiß nur
  $m \in \left\{N, \frac{N}{y}, N/y^2, N/y^3, \ldots\right\}$

ElGamal

- Empfänger wählt Primzahl p, Erzeuger g und $x, 2 \leq x \leq p-1$ und veröffentlicht
  (p, g, y) wobei $y = g^x \bmod p$
- Sender möchte m senden, wählt s, sendet
  $(z = g^s \bmod p, N = m \times y^s \, mod \, p)$
- Empfänger berechnet $z^x = g^{sx} = y^s$ und dann $m = N / y^s \, mod \, p$.

Electronic Banking

- Kunde kennt öffentlichen Schlüssel o_B der Bank
- Kunde erfindet geheimen Schlüssel k (256 Bit Zufallszahl) für symmetrisches Verf.
- Kunde verschlüsselt k mit o_B und schickt den verschlüsselten Schlüssel an die Bank
- Bank entschlüsselt mit Hilfe ihres privaten Schlüssels g_B
- Nun symmetrisches Verfahren mit k.

- Problem: woher kenne ich den öffentlichen Schlüssel meiner Bank?

Unterschriften

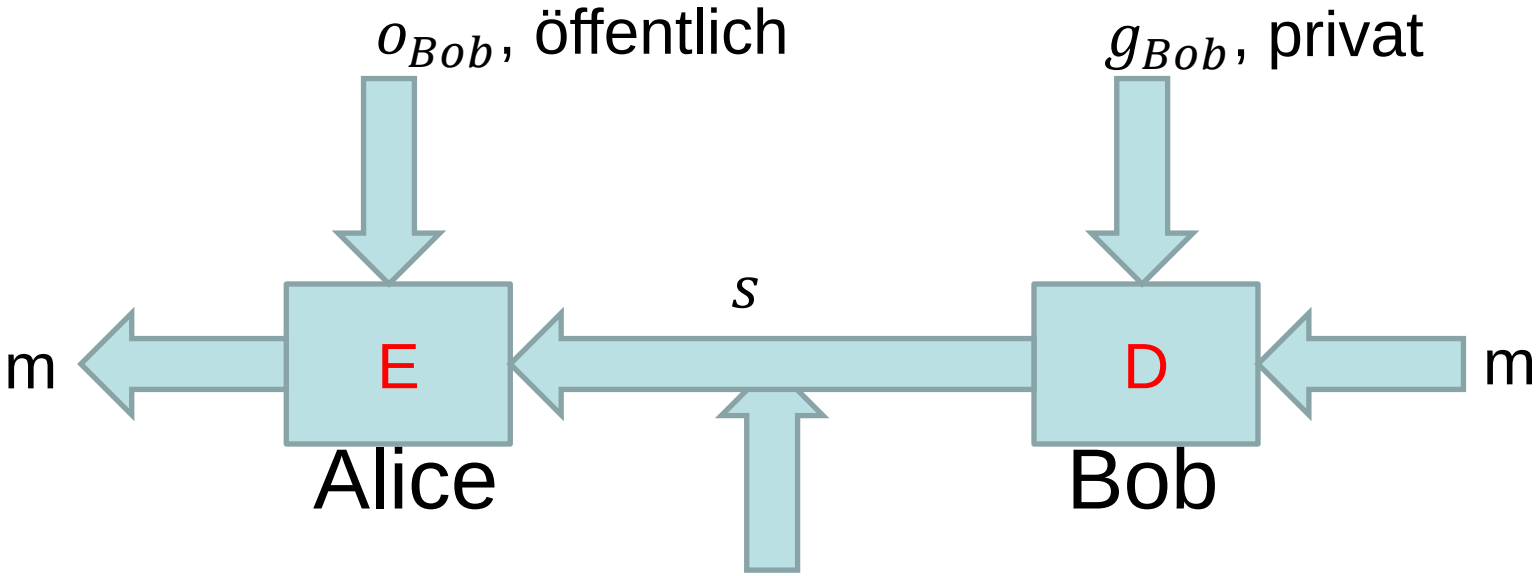
- Eigenschaft: Unterschreiber kann sie nicht abstreiten
- Zweck: Verbindlichkeit
- Wie : alles was nur der Unterschreiber kann:
  - Traditionnell: handschriftliche Unterschrift, Fingerabdruck,
  - Nun: Die Funktion D_X kann nur die Person X ausführen, weil nur sie ihren geheimen Schlüssel kennt

Digitale Signaturen

- Seien E_X und D_X die Funktionen von X und gelte $E_X(D_X(x)) = x$ für alle x.
- Um m zu signieren, berechnet X den String $s = D_X(m)$
- Das Paar (m,s) ist das unterschriebene m
- Vertragspartner überprüft dass $E_X(s) = m$ gilt
- **Nur X kann s aus m erzeugen. Also kann X die Unterschrift nicht abstreiten.**

Digitale Signaturen
Signatur = etwas, das nur ich kann

$$m = E\left(o_{Bob} , D(g_{Bob} , m)\right)$$



s = Signatur von m

Bob möchte m signieren und dann verschlüselt an Alice schicken

Electronic Banking, Schritt 1

- Bank hinterlegt ihren öffentlichen Schlüssel o_B bei einem Trustcenter
- Kunde kennt (fest eingebaut im Browser) den öffentlichen Schlüssel des TC und fragt nach Schlüssel der Bank
- TC signiert o_B und schickt an Kunden
- Kunde verifiziert die Unterschrift und benutzt dann o_B wie oben beschrieben

Zusammenfassung

- Electronic Banking, Einkaufen im Netz nutzt symmetrische und asymmetrische Kryptographie
- Kommunikation mit der Bank ist damit geschützt https://my.hypovereinsbank.de/
- Aber Vorsicht: verschlüsselte Übertragung garantiert noch nicht Gesamtsicherheit, z.B. unsicheres Passwort
- Mehr dazu in der Vorlesung Sicherheit und Privatheit.

Kryptographie (geheim-schreiben) Hauptziele (nach Wolfgang Ertel)

Vertraulichkeit / Zugriffsschutz: Nur dazu berechtigte Personen sollen in der Lage sein, die Daten oder die Nachricht zu lesen (auch teilweise).

Nachricht/Daten verschlüsseln

Integrität / Änderungsschutz: Die Daten müssen nachweislich vollständig und unverändert sein.

Nachricht/Daten verschlüsseln oder signieren

Authentizität, Verbindlichkeit / Fälschungsschutz, Nichtabstreitbarkeit: Der Urheber der Daten oder der Absender der Nachricht soll eindeutig identifizierbar sein, und seine Urheberschaft sollte nachprüfbar und nicht abstreitbar sein.

Nachricht/Daten signieren

Speicherung von Passwörtern

- h = One-Way Funktion, z.B. Blockcypher
- Sei c = h(Passwort von KM)
- Speichere ungeschützt das Paar (KM, c)
- KM beweist seine Authentizität durch die Fähigkeit c erzeugen zu können
- Angriffe: brute-force, da Passworte oft kurz.
- Abhilfe
  - Maschine für h geht nach 3 inkorrekten Auswertungen kaputt
  - Oder automatische Verlängerung durch Zufallsstring
    speichere (KM, zufälliges s, h(Passwort von KM . s))