max planck institut
informatik

Ideen und Konzepte der Informatik

Kryptographie

Wie funktioniert Electronic Banking?

Kurt Mehlhorn

Übersicht

- Zwecke der Kryptographie
- Techniken
  - Symmetrische Verschlüsselung (Caesar, One-time Pad, moderne Blockchiffres, seit 2000 Jahren)
  - 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.

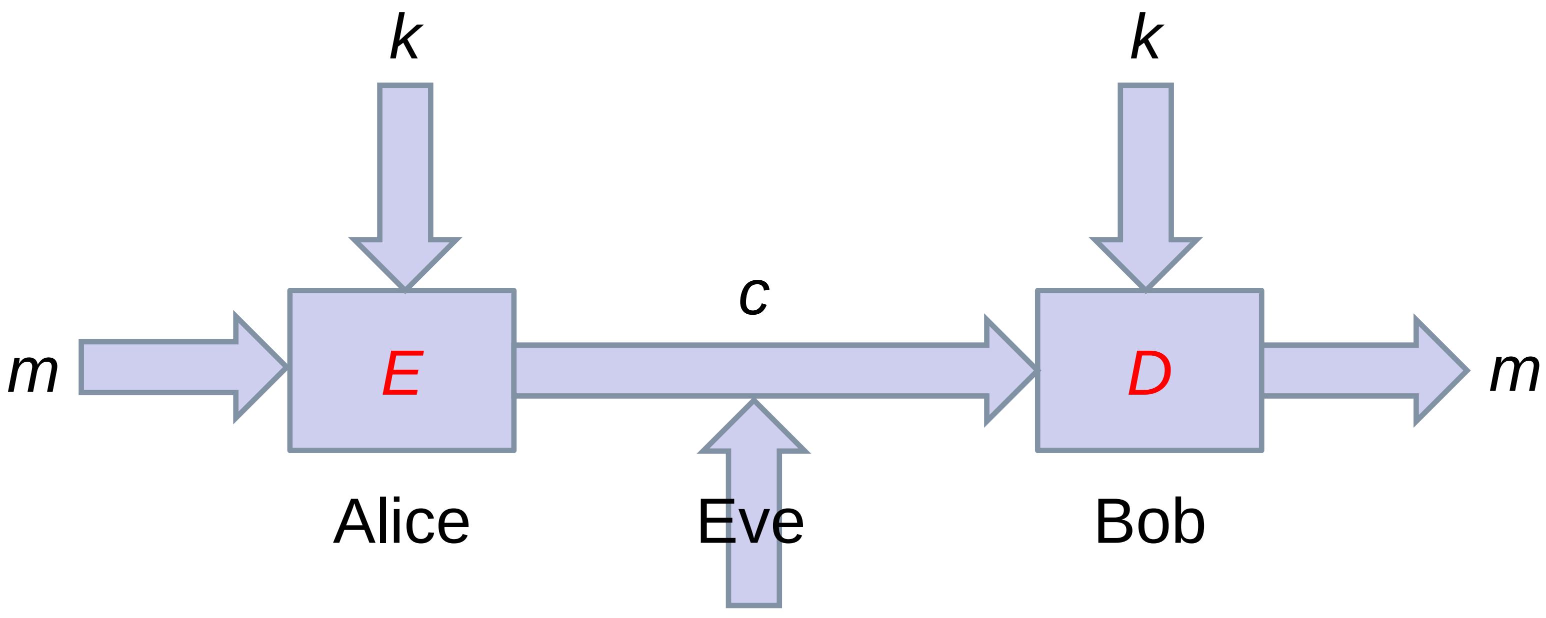
Integrität / Änderungsschutz: Daten können nicht unbemerkt verändert werden.

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

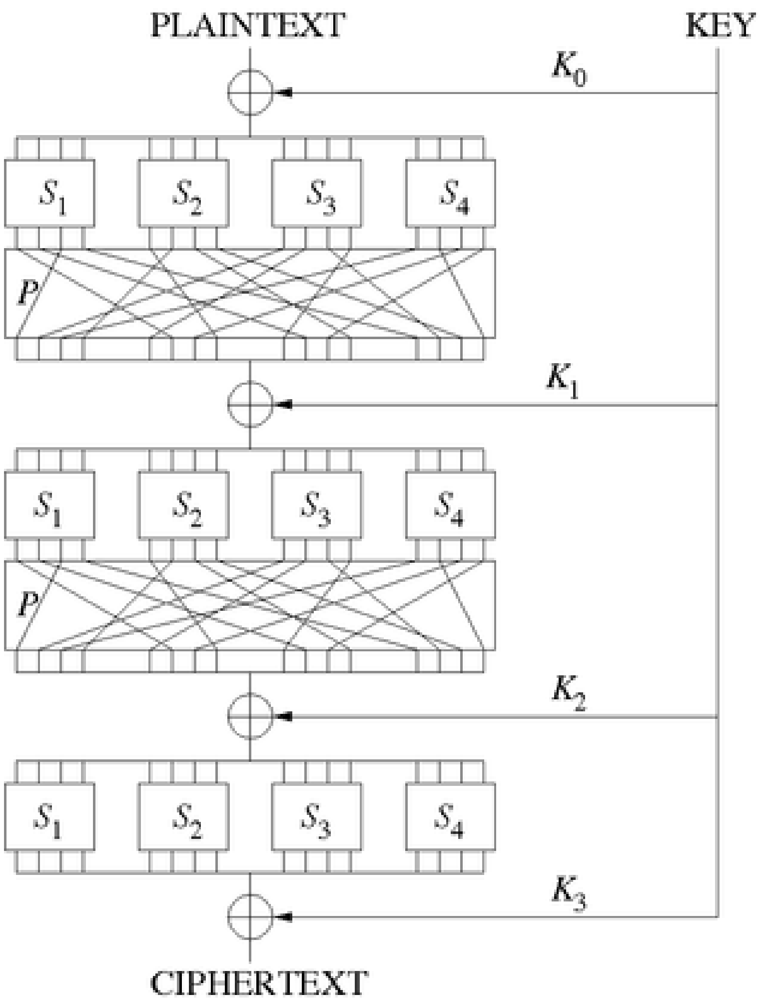
- Schlüsselaustausch ist aufwendig

Blockchiffrierung

- Nachricht wird in Blöcke fester Länge 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 $0 \rightarrow 132$, $1 \rightarrow 211$
- Permutiere die Positionen
- Wiederhole 16 Mal.



Angriffe

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

Symmetrische Verfahren – Zusammenfassung

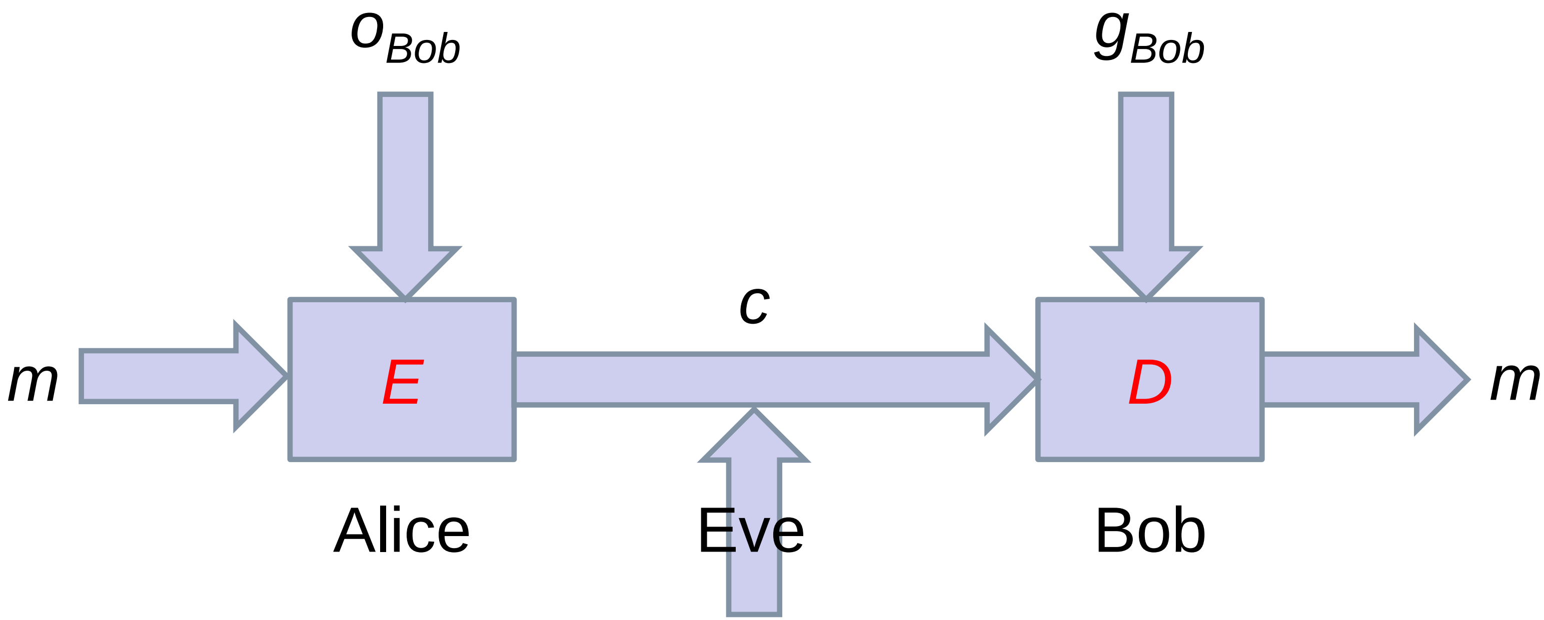
- Sender (Alice) und Empfänger (Bob) verabreden einen gemeinsamen Schlüssel k
- Dieser Schlüssel muss geheim bleiben
- Wie einigt man sich auf einen Schlüssel?
  - Früher: Treffen oder Bote
  - Heute: asymmetrisches Verfahren zum Schlüsselaustausch
- Beispiele: One-Time Pad, Caesar, AES128
- Sehr effiziente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

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



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)

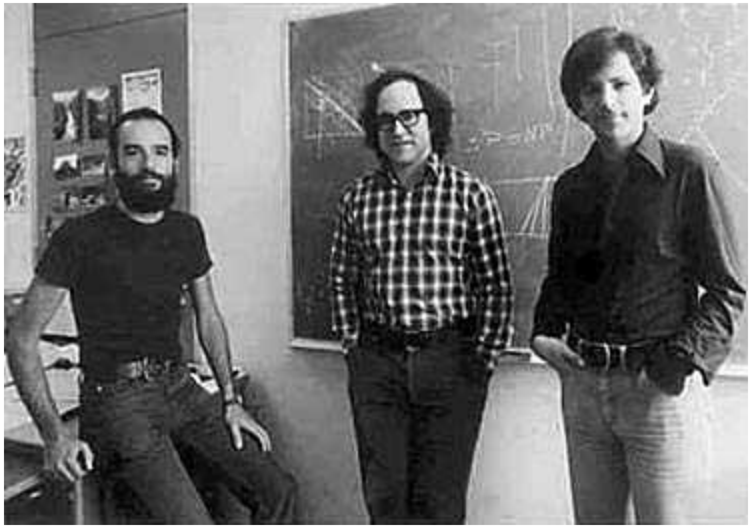
- Werden durch die Schlüssel personalisiert, also
  - $E_{Bob} = E$ mit Schlüssel o_{Bob} und
  - $D_{Bob} = D$ mit Schlüssel g_{Bob}

- E_{Bob} ist öffentlich, nur

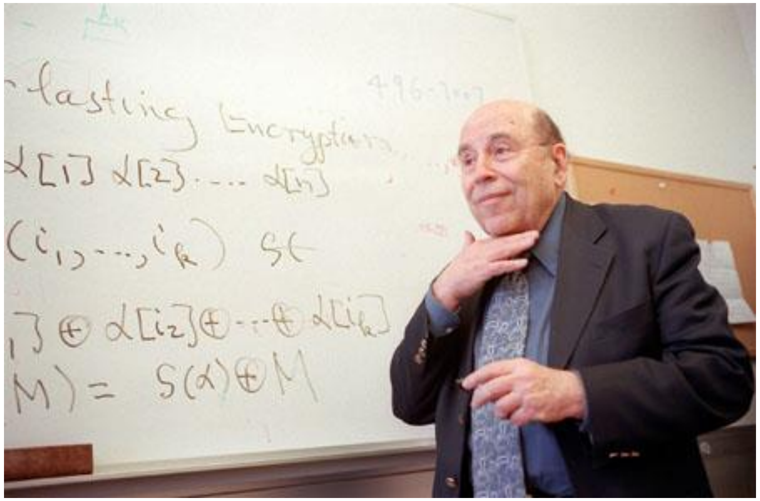
Bob kann D_{Bob} ausführen

Erfinder

- RSA (Rivest-Shamir-Adleman, Turing Award), Rabin (Turing Award),



- Später dann Verfahren von ElGamal 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. Faktorisieren ist schwer
- ElGamal: das Gleiche gilt für den diskreten Logarithmus bezüglich 2000-stelliger Primzahl. Potenzieren ist einfach, Logarithmus ist schwer.
- 1000-stellige Primzahlen findet man leicht

Baby-Version von ElGamal

- Darstellung folgt 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 $P = p \cdot f$ berechnen, aber niemand kann aus f und $P = p \cdot f$ das p berechnen.

Baby-Version von ElGamal

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

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

- **Empfänger** berechnet

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

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

Baby-Version von ElGamal

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

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

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

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

Eve braucht $s \cdot P$. Da kommt man aber ohne Kenntnis von p nicht dran.

Die Details von ElGamal

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

- Im wesentlichen ersetzt man Addieren durch Multiplizieren und Multiplizieren durch Potenzieren. Dann spielt der Logarithmus die Rolle der Division. Ferner rechnet man Modulo einer Primzahl.

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

$$4 \cdot 6 = 24 \equiv 3 \; mod \; 7$$

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

- n prim, dann gibt es zu jedem $a \neq 0$ ein b so dass $a \cdot b \equiv 1 \; mod \; n$ 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

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

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

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

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

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

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

- Empfänger berechnet $z^x = g^{sx} = y^s$ und dann $m = N / y^s \bmod p$.

Electronic Banking

- Kunde kennt öffentlichen Schlüssel o_B der Bank
- Kunde erfindet geheimen Schlüssel k (256 Bit Zufallszahl) für symmetrisches Verfahren
- 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

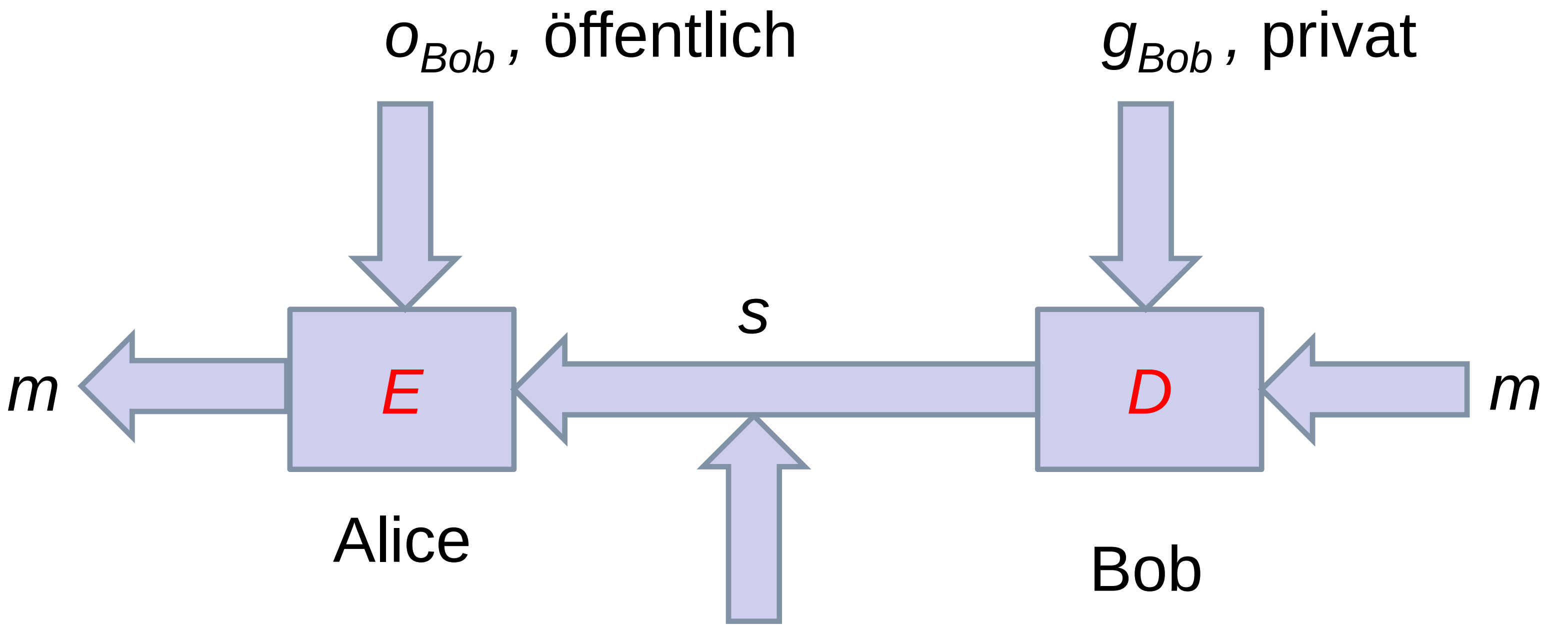
- Eigenschaft: Unterschreiber kann sie nicht abstreiten.
- Zweck: Verbindlichkeit.
- Was kann als Unterschrift dienen? Alles was nur der Unterschreiber kann:
  - Traditionell: handschriftliche Unterschrift, Fingerabdruck
  - Nun: Die Funktion D_X kann nur die Person X ausführen, weil nur sie ihren geheimen Schlüssel kennt.

Digitale Signaturen

- Seien E_x und D_x die Funktionen von X und gelte auch $(E_x(D_x(x)) = x$ 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

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



$s = D(g_{Bob}, m)$ = Signatur von *m*

Bob möchte m signieren und dann verschlüsselt 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. Findet Passwort eines Nutzers, nicht eines bestimmten Nutzers.
- Abhilfe
  - Maschine für h geht nach 3 inkorrekten Auswertungen kaputt.
  - Oder automatische Verlängerung durch Zufallsstring

    speichere (KM, zufälliges s, h(Passwort von KM, s)).