CoNe Freiburg

IIF INSTITUT FÜR INFORMATIK FREIBURG

Systeme II

3. Sicherheit (Version 23.05.2012)

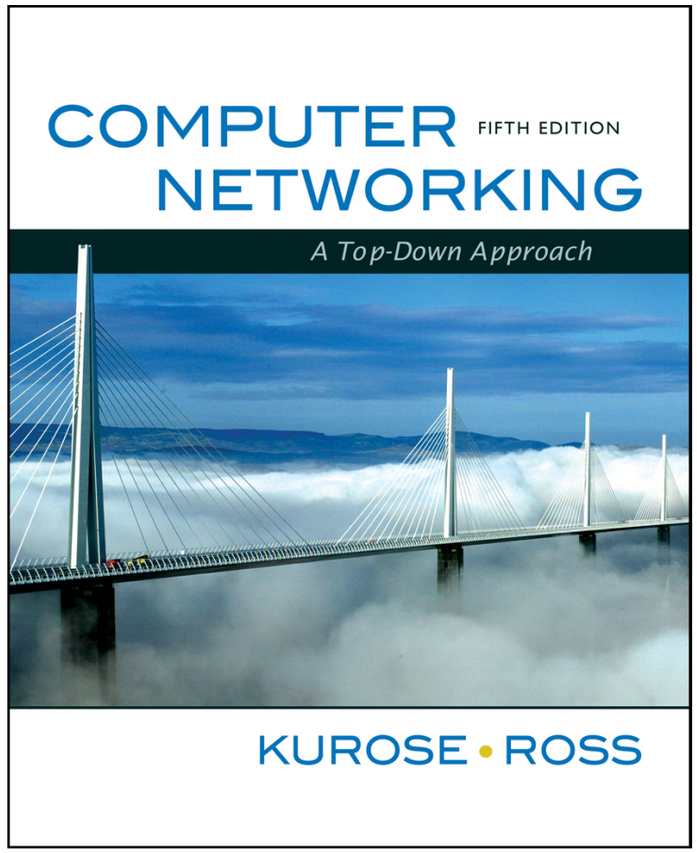
Christian Schindelhauer
Technische Fakultät
Rechnernetze und Telematik
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

UNI FREIBURG

CoNe Freiburg

Sicherheit

- Folien und Inhalte aus
  - Computer Networking: A Top Down Approach 5th edition. Jim Kurose, Keith Ross Addison-Wesley, April 2009.
- Copyright liegt bei den Autoren Kurose und Ross



CoNe Freiburg

Ziele

- Grundlagen von Netzwerksicherheit
  - Kryptographie und deren vielfältige Einsatzmöglichkeiten
  - Authentifizierung
  - Message Integrity
- Sicherheit in der Praxis
  - Firewalls und Intrusion Detection
  - Sicherheit in Anwendungs-, Transport-, Vermittlungs- und Sicherungsschicht

Computer Networking: A Top Down Approach
Jim Kurose, Keith Ross, Addison-Wesley, April 2009.

CoNe Freiburg

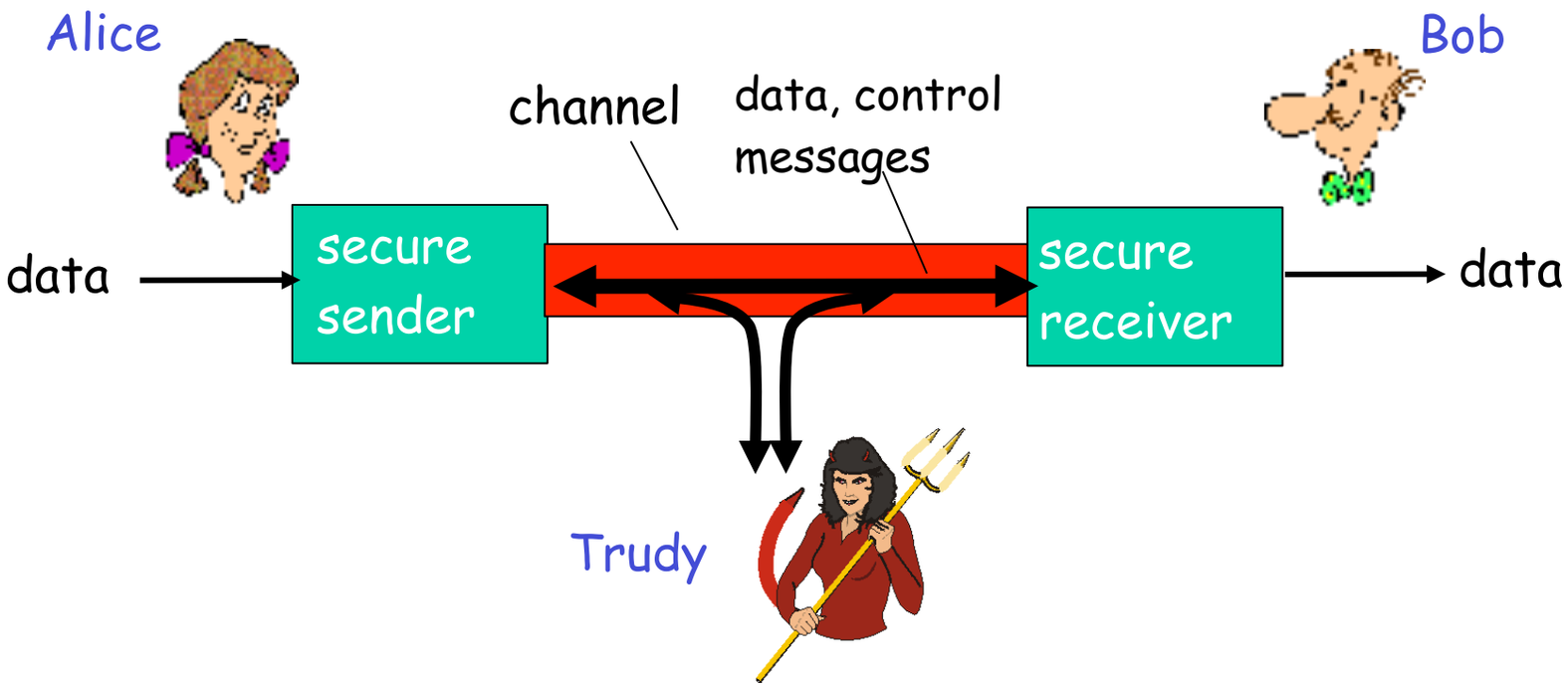
Was ist Netzwerk-Sicherheit

- Vertraulichkeit (Confidentiality)
  - Nur der Sender, gewünschter Empfänger sollte den Nachrichteninhalt „verstehen“
- Authentifizierung
  - Sender und Empfänger möchten sich ihrer Identität versichern
- Integrität (message integrity)
  - Sender und Empfänger wollen, dass eine Nachricht nicht unbemerkt verändert werden
    - bei der Übertragung oder später
- Zugriff und Verfügbarkeit
  - von Diensten

Computer Networking: A Top Down Approach
Jim Kurose, Keith Ross, Addison-Wesley, April 2009.

Freunde und Feinde: Alice, Bob und Trudy

- Standardnamen im Sicherheitsbereich
- Alice und Bob möchten „sicher“ kommunizieren
- Trude (In-Trude-r) möchte mithören, löschen, hinzufügen, verändern



Computer Networking: A Top Down Approach
Jim Kurose, Keith Ross, Addison-Wesley, April 2009.

CoNe Freiburg

Wer steckt hinter Alice und Bob

- Echte Menschen
- Web-Browser
- Online-Banking-Clients und Servers
- DNS-Servers
- Routers, die Routing-Tabellen austauschen
- etc.

Computer Networking: A Top Down Approach
Jim Kurose, Keith Ross, Addison-Wesley, April 2009.

CoNe Freiburg

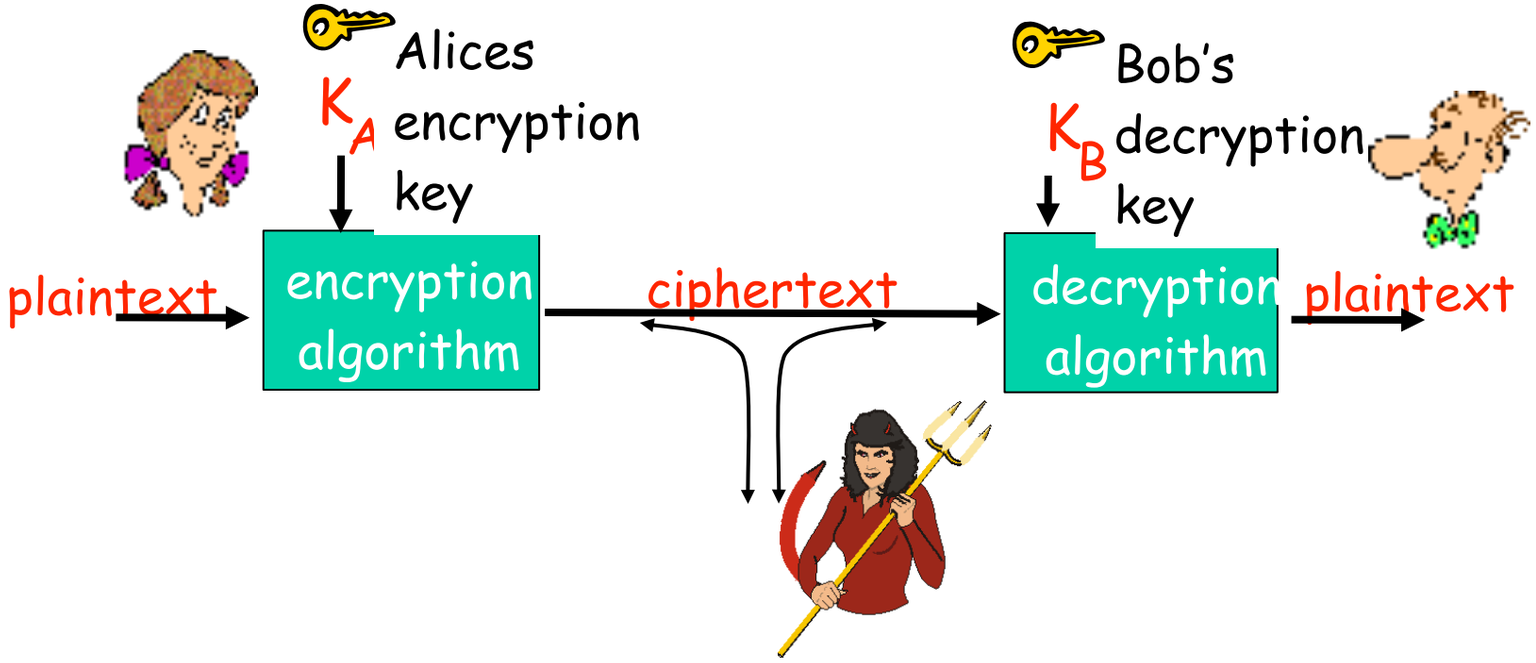
Was kann ein böser Mensch so tun?

- Abhören (eavesdrop)
  - Nachrichten abfangen und lesen
- Einfügen von Nachrichten
  - Nachrichten werden in die bestehende Verbindung eingefügt
- Sich als jemand anders ausgeben (impersonation)
  - Quell-Adresse kann in einem Paket gefälscht werden
- Hijacking
  - Übernahme einer bestehenden Verbindung durch Ersetzen des Empfängers oder Senders
- Denial of Service
  - Dienst abschalten
    - durch Überlast oder direkten Angriff

Computer Networking: A Top Down Approach
Jim Kurose, Keith Ross, Addison-Wesley, April 2009.

Ein kurzer Rundgang in der Kryptographie

- m: Originalnachricht (message)
- $K_A(m)$: mit Schlüssel K_A verschlüsselte Nachricht
- $m = K_B(K_A(m))$



Computer Networking: A Top Down Approach
Jim Kurose, Keith Ross, Addison-Wesley, April 2009.

CoNe Freiburg

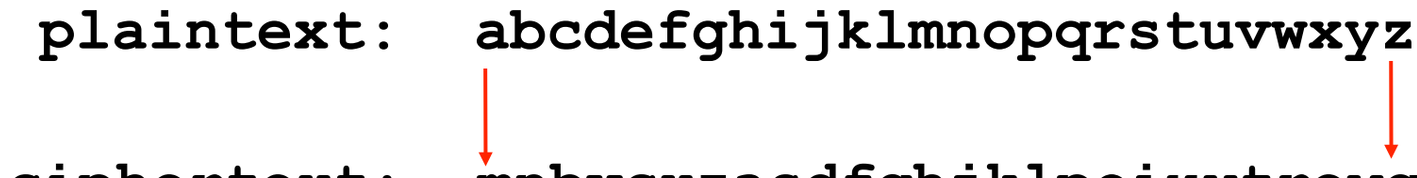
Einfache Verschlüsselung

- Monoalphabetischer Schlüssel
  - ersetze jeden Buchstaben durch einen anderen
- Beispiel: Edgar Allen Poe „The Gold Bug“
  - 53‡305))6*;4826)4)4;806*;488¶60))85;1-(;:*8-83(88)5*
  - ;46(;88*96*?;8)*(;485);5*2:*(;4956*2(5*-4)8¶8*;40692
  - 85);)68)4;1(9;48081;8:81;4885;4)485528806*81(9;48;
  - (88;4(?34;48)4;161;:188;?;
- Jedes Symbol steht für einen Buchstaben:
  - 8 = e
  - ; = h
  - ...

UNI FREIBURG

Einfache Verschlüsselung

- Monoalphabetischer Schlüssel
  - ersetze jeden Buchstaben durch einen anderen



E.g.: Plaintext: bob. i love you. alice
ciphertext: nkn. s gktc wky. mgsbc

Polyalphabetische Verschlüsselung

- n monoalphabetische Schlüssel, $M_1,M_2,\ldots,M_n$
- Zyklus-Muster
  - e.g., n=4, M_1,M_3,M_4,M_3,M_2; M_1,M_3,M_4,M_3,M_2;
- Für jeden neuen Buchstaben aus den monoalphabetischen Schlüsseln einer ausgewählt
  - „aus“: a from M1, u from M3, s from M4
  - Schlüssel: n Schlüsselverfahren und der Zyklus

Computer Networking: A Top Down Approach
Jim Kurose, Keith Ross, Addison-Wesley, April 2009.

CoNe Freiburg

Bruch einer Kodierung

- Cipher-text only Attack
  - nur mit verschlüsselten Text
  - Zwei Ansätze:
    - Durchsuche alle Schlüssel und teste ob sie einen vernünftigen Text produzieren
    - Statistische Analyse des Schlüssels
- Known-Plaintext-Attack
  - mit der Originalnachricht und dem verschlüsselten Text
- Chosen Plaintext Attack
  - Trudy wählt den Text un lässt Alice ihn verschlüsseln
  - Trudy erhält den verschlüsselten Text

Computer Networking: A Top Down Approach
Jim Kurose, Keith Ross, Addison-Wesley, April 2009.

CoNe Freiburg

Methoden der Kryptographie

- Geheime Schlüssel sind die Sicherheitsgrundlage
  - Der Algorithmus ist bekannt
    - außer bei „security by obscurity“
- Public-Key-Cryptography
  - verwendet zwei Schlüssel
  - ein geheimer und ein öffentlicher Schlüssel
- Symmetrische Kryptographie
  - beide Seiten verwenden den selben geheimen Schlüssel
- Hash-Funktion
  - Ohne Schlüssel und ohne Geheimnis

CoNe Freiburg

Chiffrierungstypen

- Stromchiffrierer (stream cipher)
  - verschlüsselt bitweise
- Blockchiffre, Blockverschlüsselung (block ciphers)
  - Originaltext wird in gleichgroße Blöcke unterteilt
  - Jeder Block wird einzeln kodiert

CoNe Freiburg

Stream Ciphers

- Kombiniere jedes Bit eines Schlüsselstroms (key stream) mit dem Original bit
  - m(i) = i-tes Bit der Nachricht
  - ks(i) = i-tes Bit des Key Streams
  - c(i) = i-tes bit des verschlüsselten Texts
- Verschlüsselung
  - $c(i) = ks(i) + m(i) \pmod 2$
    $= ks(i) \oplus m(i)$
- Entschlüsselung
  - $m(i) = ks(i) \oplus c(i)$

Computer Networking: A Top Down Approach
Jim Kurose, Keith Ross, Addison-Wesley, April 2009.

UNI FREIBURG

CoNe Freiburg

RC4 Stream Cipher

- RC4 ist ein populärer Streamchiffrierer
  - ausführlich analysiert und als sicher angesehen
  - Schlüssellänge: von 1 bis 256 Bytes
  - wird in WEP für 802.11 verwendet
  - kann in SSL verwendet werden

CoNe Freiburg

Quell-Code RC4

```
k[]: gegebene Schlüssel-Zeichenfolge der Länge 5 bis 256 Byte
L := Länge des Schlüssels in Byte
s[]: Byte-Vektor der Länge 256
 Für i = 0 bis 255
   s[i] := i
 j := 0
 Für i = 0 bis 255
   j := (j + s[i] + k[i mod L]) mod 256
   vertausche s[i] mit s[j]
```

```
klar[]: gegebene Klartext-Zeichenfolge der Länge X
schl[]: Vektor zum Abspeichern des Schlüsseltextes
 i := 0
 j := 0
 Für n = 0 bis X-1
   i := (i + 1) mod 256
   j := (j + s[i]) mod 256
   vertausche s[i] mit s[j]
   zufallszahl := s[(s[i] + s[j]) mod 256]
   schl[n] := zufallszahl XOR klar[n]
```

- Aus Wikipedia
  - http://de.wikipedia.org/wiki/Rc4

CoNe Freiburg

Block-Chiffre

- Nachrichten werden in Blöcken von k bits verschlüsselt
  - z.B. 64-bit Blöcke
- Injektive Abbildung um den Quelltext in den k-bit verschlüsselten Text umzuwandeln
- Beispiel k=3:

input	output	input	output
000	110	100	011
001	111	101	010
010	101	110	000
011	100	111	001

Computer Networking: A Top Down Approach
Jim Kurose, Keith Ross, Addison-Wesley, April 2009.

UNI FREIBURG

Block-Chiffre

- Wie viele mögliche Abbildungen gibt es für k-Bit Block-Chiffre?

CoNe Freiburg

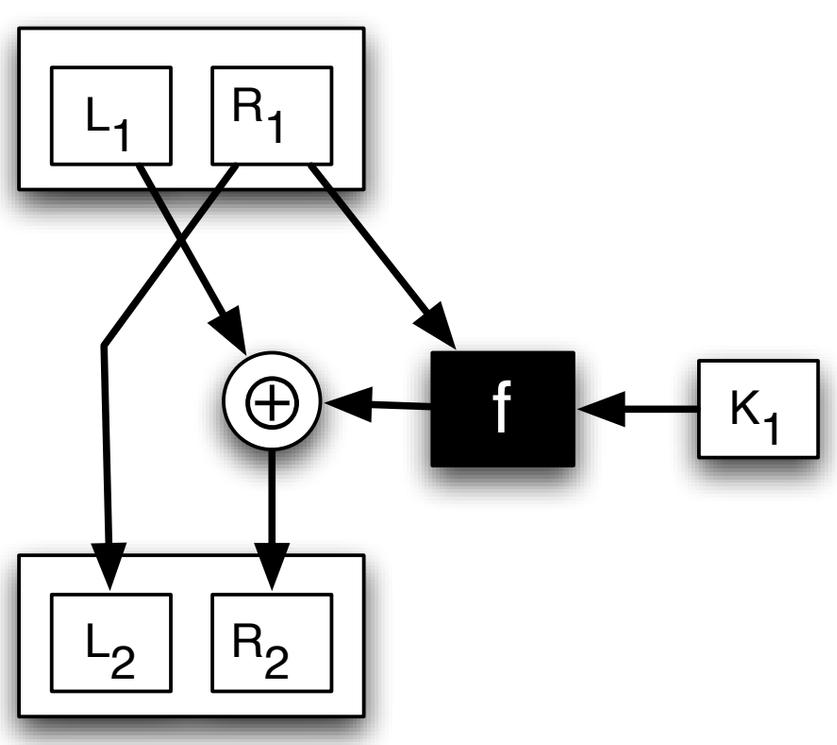
Block-Chiffre

- Wie viele mögliche Abbildungen gibt es für k-Bit Block-Chiffre?
  - Im allgemeinen: $2^k!$
  - riesig für k=64
  - und absolut sicher, wenn man sie zufällig auswählt
- Problem:
  - Die meisten dieser Abbildungen benötigen große Tabellen um sie zu berechnen
- Lösung
  - Statt einer Tabelle, verwendet man eine Funktion, die diese Tabelle simuliert
  - Dadurch verliert man möglicherweise wieder die Sicherheit

CoNe Freiburg

Feistel-Chiffre

- Aufteilung der Nachricht in zwei Hälften L_1, R_1
  - Schlüssel K_1, K_2, ...
  - Mehrere Runden: resultierender Code: L_n, R_n
- Verschlüsselung
  - $L_i = R_{i-1}$
  - $R_i = L_{i-1} \oplus f(R_{i-1}, K_i)$
- Entschlüsselung
  - $R_{i-1} = L_i$
  - $L_{i-1} = R_i \oplus f(L_i, K_i)$
- f: beliebige, komplexe Funktion



CoNe Freiburg

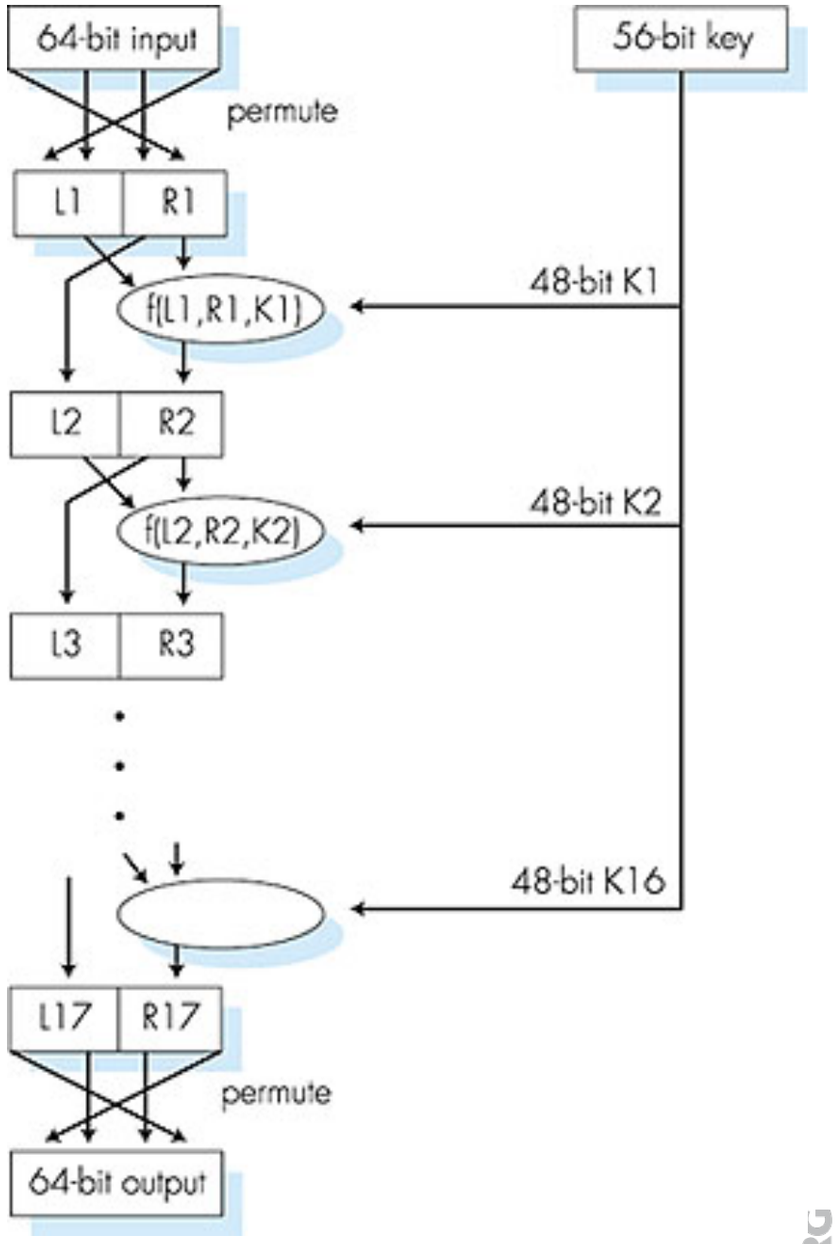
Weitere Symmetrische Codes

- Skipjack
  - 80-Bit symmetrischer Code
  - baut auf Feistel-Chiffre auf
  - wenig sicher
- RC5
  - Schlüssellänge 1-2048 Bits
  - Rivest Code 5 (1994)
  - Mehrere Runden der Feistel-Chiffre

CoNe Freiburg

Digital Encryption Standard

- Geschickt gewählte Kombination von
  - Xor-Operationen
  - Feistel-Chiffre
  - Permutationen
  - Table-Lookups
  - verwendet 56-Bit Schlüssel
- 1975 entwickelt von Wissenschaftlern von IBM
  - Mittlerweile nicht mehr sicher
    - leistungsfähigere Rechner
    - Erkenntnisse in Kryptologie
- Nachfolger: AES (2001)



Computer Networking: A Top Down Approach
Jim Kurose, Keith Ross, Addison-Wesley, April 2009.

UNI FREIBURG

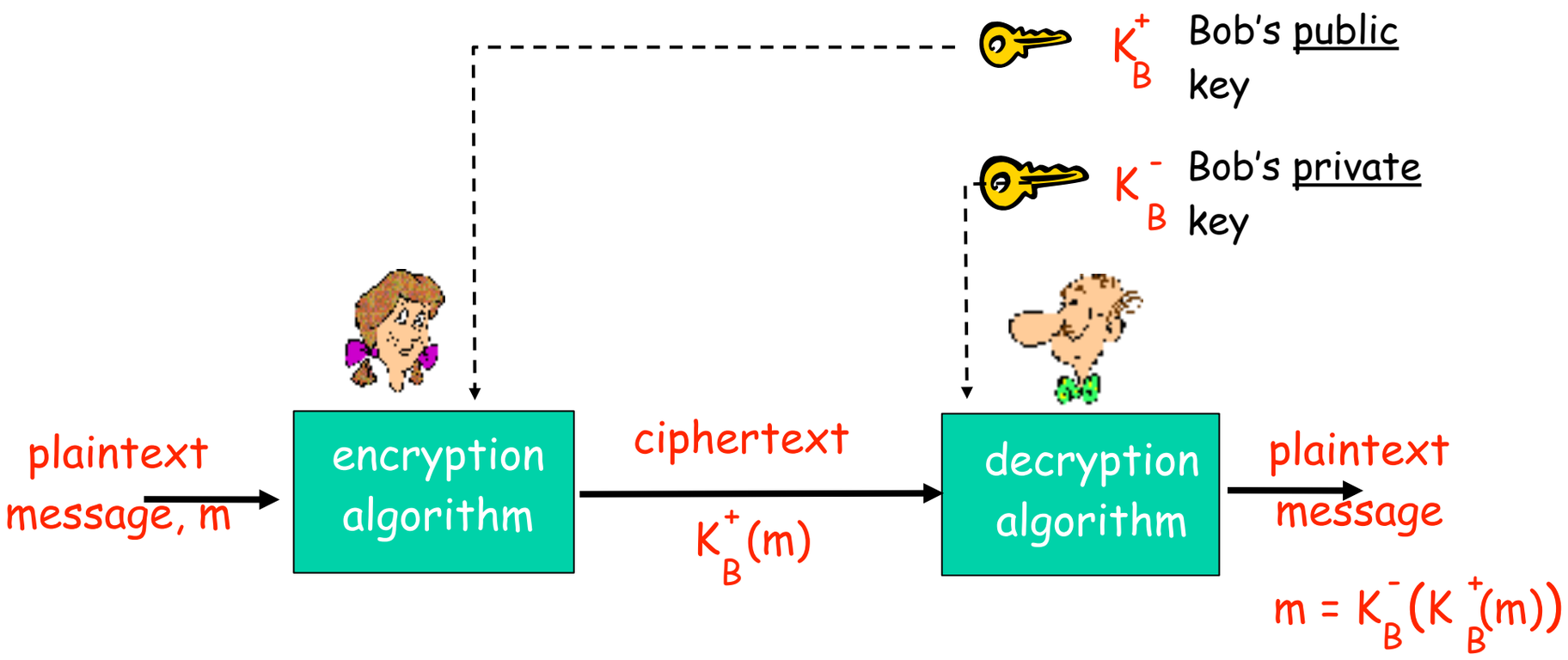
CoNe Freiburg

Advanced Encryption Standard

- Geschickt gewählte Kombination von
  - Xor-Operationen
  - Feistel-Chiffre
  - Permutationen
  - Table-Lookups
  - Multiplikation in GF[2^8]
  - symmetrische 128,192 oder 256-Bit Schlüssel
- Joan Daemen und Vincent Rijmen
  - 2001 als AES unter vielen ausgewählt worden
  - bis heute als sicher erachtet

CoNe Freiburg

Public key cryptography



Computer Networking: A Top Down Approach
Jim Kurose, Keith Ross, Addison-Wesley, April 2009.

UNI FREIBURG

CoNe Freiburg

Asymmetrische Verschlüsselungsmethoden

- z.B. RSA, Ronald Rivest, Adi Shamir, Lenard Adleman, 1977
  - Diffie-Hellman, PGP
- Geheimer Schlüssel privat: kennt nur der Empfänger der Nachricht
- Öffentlichen Schlüssel offen: Ist allen Teilnehmern bekannt
- Wird erzeugt durch Funktion
  - keygen(privat) = offen
- Verschlüsselungsfunktion f und Entschlüsselungsfunktion g
  - sind auch allen bekannt
- Verschlüsselung
  - f(offen,text) = code
  - kann jeder berechnen
- Entschlüsselung
  - g(privat,code) = text
  - nur vom Empfänger

CoNe Freiburg

RSA

- R. Rivest, A. Shamir, L. Adleman
  - On Digital Signatures and Public Key Cryptosystems, Communication of the ACM
- Verfahren beruht auf der Schwierigkeit der Primfaktorzerlegung
- 1. Beispiel:
  - 15 = ? * ?
  - 15 = 3 * 5
- 2. Beispiel:
  - 3865818645841127319129567277348359557444790410289933586483552047443 = 12345678901234567890123456789002093131313131313131313131313131300227

CoNe
Freiburg

Sicherheit RSA

- Bis heute ist kein effizientes Verfahren zur Primfaktorzerlegung bekannt
  - Aber das Produkt von Primzahlen kann effizient bestimmt werden
  - Primzahlen können effizient bestimmt werden
  - Primzahlen sehr häufig

CoNe Freiburg

RSA

- Erzeugung der Schlüssel
  - Wähle zufällig zwei Primzahlen p und q mit k bits (k ≥ 500).
  - n = p·q
  - e ist Zahl, die teilerfremd ist mit (p - 1)·(q - 1).
  - $d = e^{-1} = 1/e \bmod (p - 1)(q - 1)$
    - es gilt $d \cdot e \equiv 1 \bmod (p - 1)(q - 1)$
- Public Key P = (e, n)
- Secret Key S = (d, n)

CoNe Freiburg

RSA

- Kodierung
  - Teile Nachricht in Blöcke der Größe 2^{2k} auf
  - Interpretiere Block M als Zahl $0 \leq M < 2^{2k}$
  - Chiffre: $P(M) = M^e \bmod n$
- Dekodierung
  - $S(C) = C^d \bmod n$
- Korrektheit gilt nach dem kleinen Satz von Fermat
  - Für Primzahl p und von p teilerfremde Zahl a gilt:

$$a^p \equiv a \pmod p$$

RSA Beispiel

- Bob wählt p=5, q=7
  - n=35, z=24
  - e = 5
  - d= 29
    - e d = 1 mod 24
- Verschlüsselung von 8-Bit-Nachrichten

Bit pattern	m	m	$c=m^e \bmod n$
00001000	12	248 832	17

- Entschlüsselung

c	$c^d = 17^{29}$	$m=c^d \bmod n$
17	481968572106750915091411825223071697	12

Computer Networking: A Top Down Approach
Jim Kurose, Keith Ross, Addison-Wesley, April 2009.

CoNe Freiburg

RSA Beispiel

- Berechnung von $17^{29} \bmod 35$
- $29 = 11101_2$
  - $17^{29} = 17 \cdot (17^{14})^2 \bmod 35$
  - $17^{14} = (17^7)^2 \bmod 35$
  - $17^7 = 17 \cdot (17^3)^2 \bmod 35$
  - $17^3 = 17 \cdot (17)^2 \bmod 35$
- Einsetzen:
  - $17^3 = 4913 = 13 \bmod 35$
  - $17^7 = 17 \cdot 13^2 = 2873 = 3 \bmod 35$
  - $17^{14} = 3^2 = 9 \bmod 35$
  - $17^{29} = 17 \cdot 9^2 = 1377 = 12 \bmod 35$

CoNe Freiburg

Nachrichtenintegrität

- Erlaubt den Komunikationspartnern die Korrektheit und Authentizität der Nachricht zu überprüfen
  - Inhalt ist unverändert
  - Urheber ist korrekt
  - Nachricht ist keine Wiederholung
  - Reihenfolge der Nachrichten ist korrekt
- Message Digests

CoNe Freiburg

Kryptographische Hash-Funktion

- z.B. SHA-1, SHA-2, MD5
- Ein kryptographische Hash-Funktion h bildet einen Text auf einen Code fester Länge ab, so dass
  - h(text) = code
  - es unmöglich ist einen anderen Text zu finden mit:
    - h(text‘) = h(text) und text ≠ text‘
- Mögliche Lösung:
  - Verwendung einer symmetrischen Kodierung

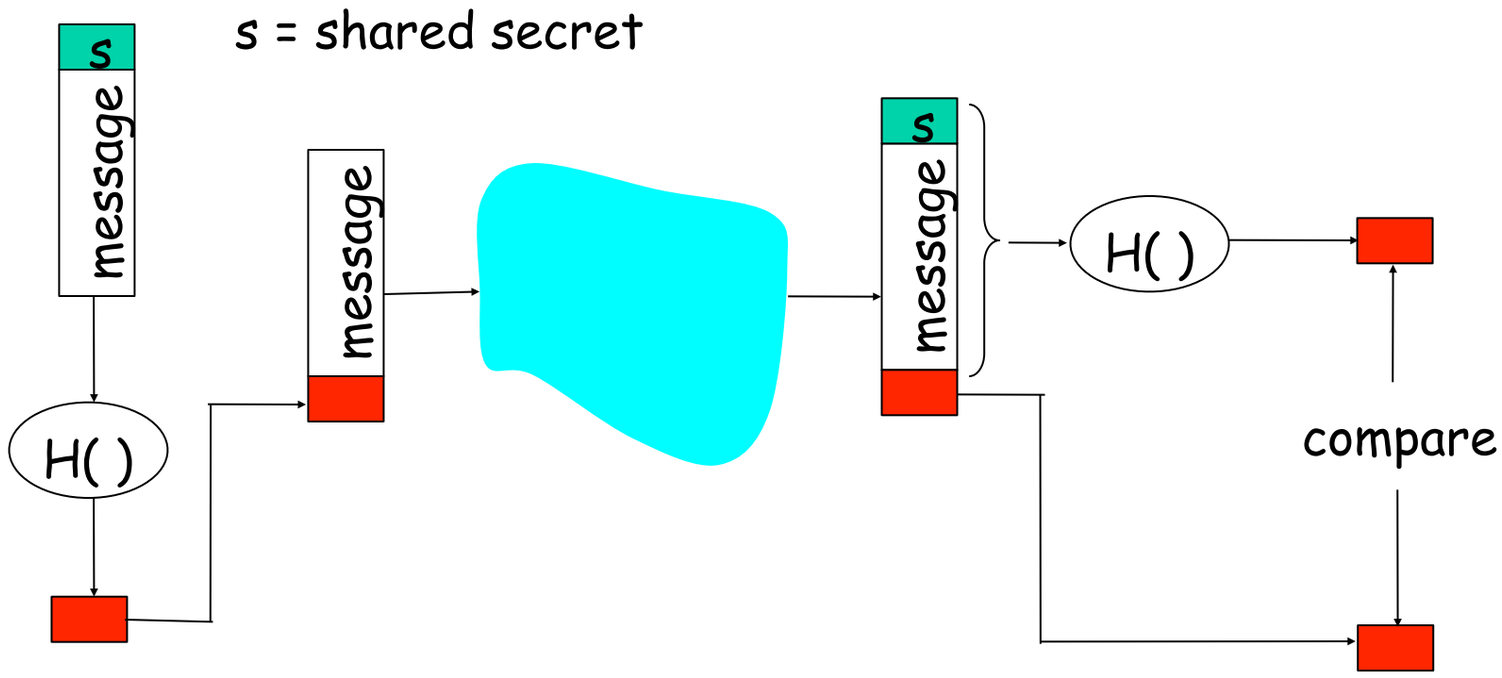
CoNe Freiburg

Hash Algorithmen

- MD5 ist sehr verbreitet (RFC 1321)
  - berechnet 128-bit Nachricht
  - unsicher
- SHA-1 auch gebräuchlich
  - US standard [NIST, FIPS PUB 180-1]
  - 160-bit Message Digest
  - nicht mehr als sicher angesehen
- SHA-2
  - SHA-256/224
  - SHA-512/384
  - bis jetzt (2012) als sicher angesehen
- SHA-3
  - in Vorbereitung

CoNe Freiburg

Message Authentication Code (MAC)



- Authentifiziert Absender
- Überprüft Nachrichtenintegrität
- Keine Verschlüsselung
- “keyed hash”
- Notation: MDm = H(s || m) ; sende m || MDm

Computer Networking: A Top Down Approach
Jim Kurose, Keith Ross, Addison-Wesley, April 2009.

UNI FREIBURG

CoNe Freiburg

HMAC (Keyed-Hash Message Authentication Code)

- Populärer MAC-Standard
- Sicher gegen Anhängen von Nachrichten

$$HMAC_K(N) = H\Big((K \oplus opad) \,||\, H\big((K \oplus ipad) \,||\, N\big)\Big)$$

  - Nachricht N
  - geheimer Schlüssel K
  - Konstante opad und ipad
- Erhöht Sicherheit gegen angreifbare Hash-Codes
  - wird in TLS und IPsec verwendet

CoNe Freiburg

Authentifizierung der Endpunkte

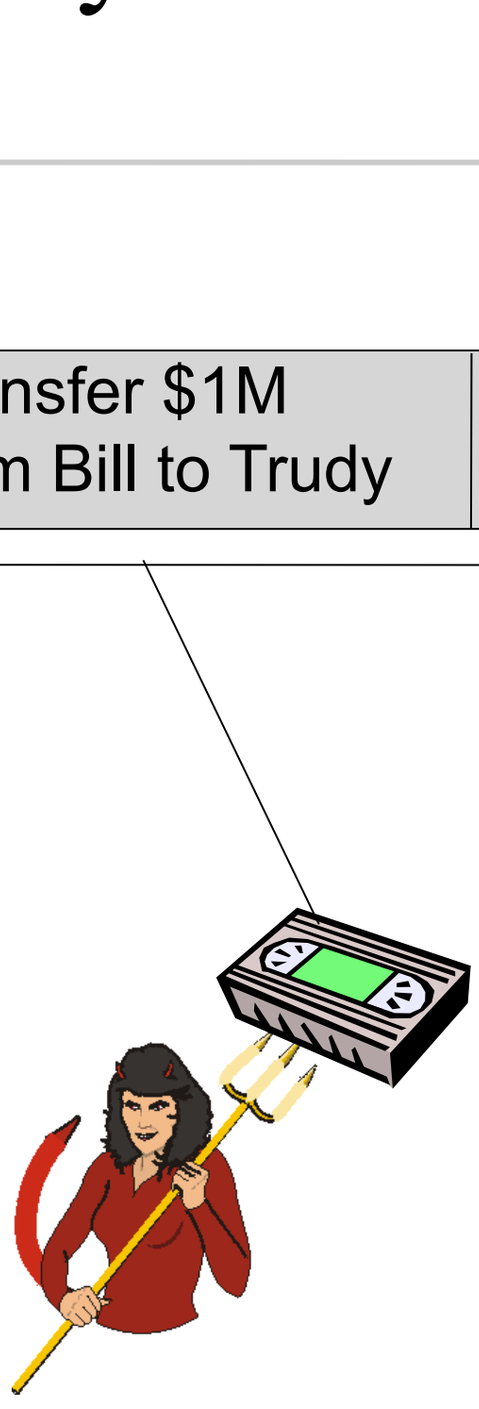
- Versicherung, dass der Kommunikationspartner korrekt ist
- Angenommen Alice und Bob haben ein gemeinsames Geheimnis, dann gibt MAC eine Authentifizeirung der Endpunkte
  - (end-point authentication)
  - Wir wissen, dass Alice die Nachricht erzeugt hat
  - Aber hat sie sie auch abgesendet?

Playback-Attacke

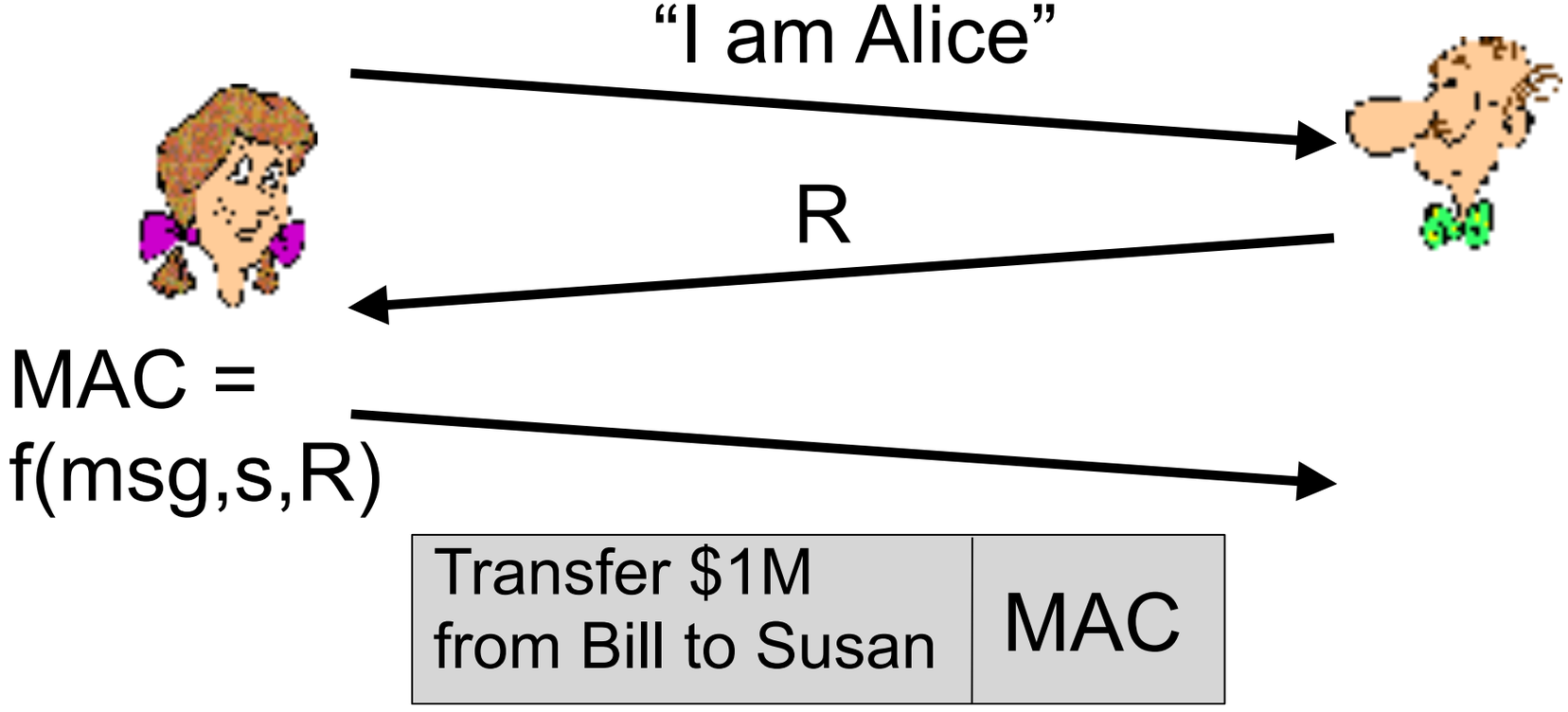
MAC = f(msg,s)

Transfer $1M from Bill to Trudy	MAC

Transfer $1M from Bill to Trudy	MAC



Verteidigung gegen die Playback-Attacke: nonce (use only once)



CoNe Freiburg

Digitale Unterschriften

- Kryptographischer Algorithmus analog zu handgeschriebenen Unterschriften
  - nur sicherer
- Absender (Bob) unterschreibt digital das Dokument
  - bestätigt seine Urheberschaft
- Ziel ist ähnlich wie MAC
  - aber mit Hilfe von Public-Key-Kryptographie
  - verifizierbar, nicht fälschbar:
    - Empfänger (Alice) kann anderen beweisen, dass Bob und sonst niemand das Dokument unterschrieben hat

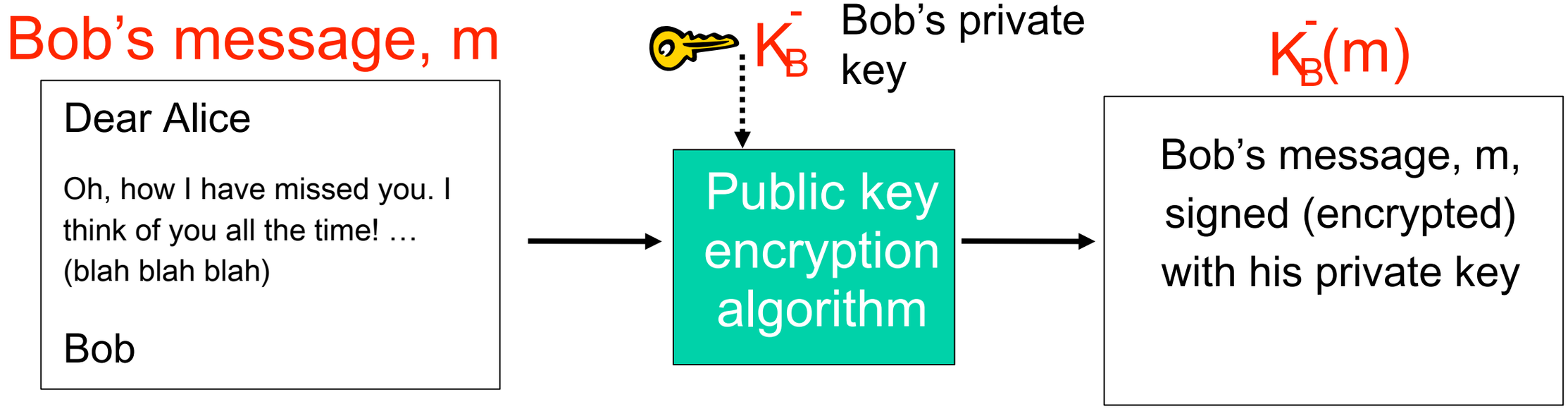
Computer Networking: A Top Down Approach
Jim Kurose, Keith Ross, Addison-Wesley, April 2009.

CoNe Freiburg

Elektronische Unterschriften

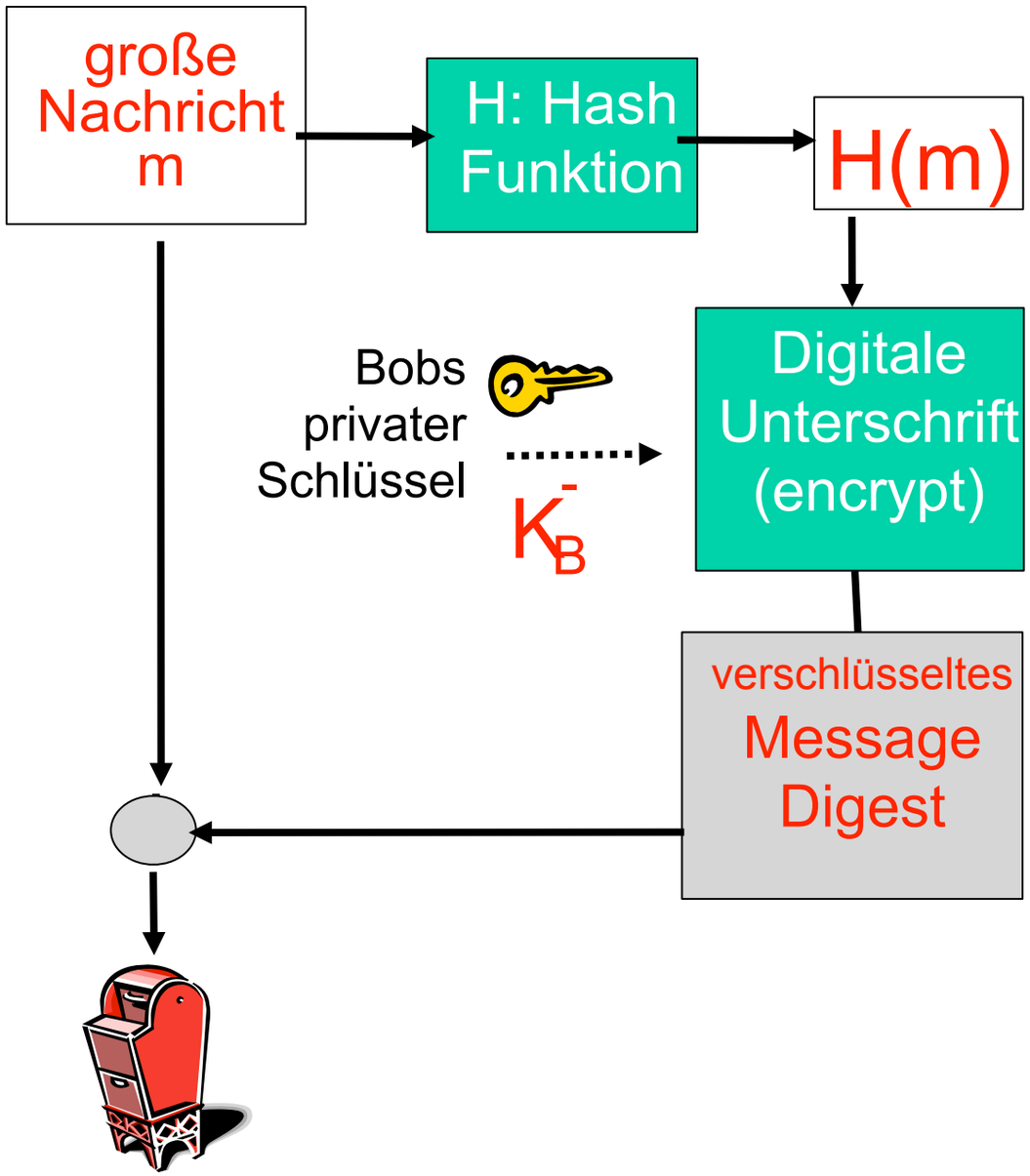
- Digitale Signaturen
  - Unterzeichner besitzt einen geheimen Schlüssel
  - Dokument wird mit geheimen Schlüssel unterschrieben
  - und kann mit einem öffentlichen Schlüssel verifiziert werden
  - Öffentlicher Schlüssel ist allen bekannt
- Beispiel eines Signaturschemas
  - m: Nachricht
  - Unterzeichner
    - berechnet h(text) mit kryptographischer Hashfunktion
    - und veröffentlicht m und
      signatur = g(privat, h(text)), für die Entschlüsselungsfunktion g
  - Kontrolleur
    - berechnet h(text)
    - und überprüft f(offen, signatur) = h(text), für die asymmetrische Verschlüsselungsfunktion g

Digitale Unterschrift

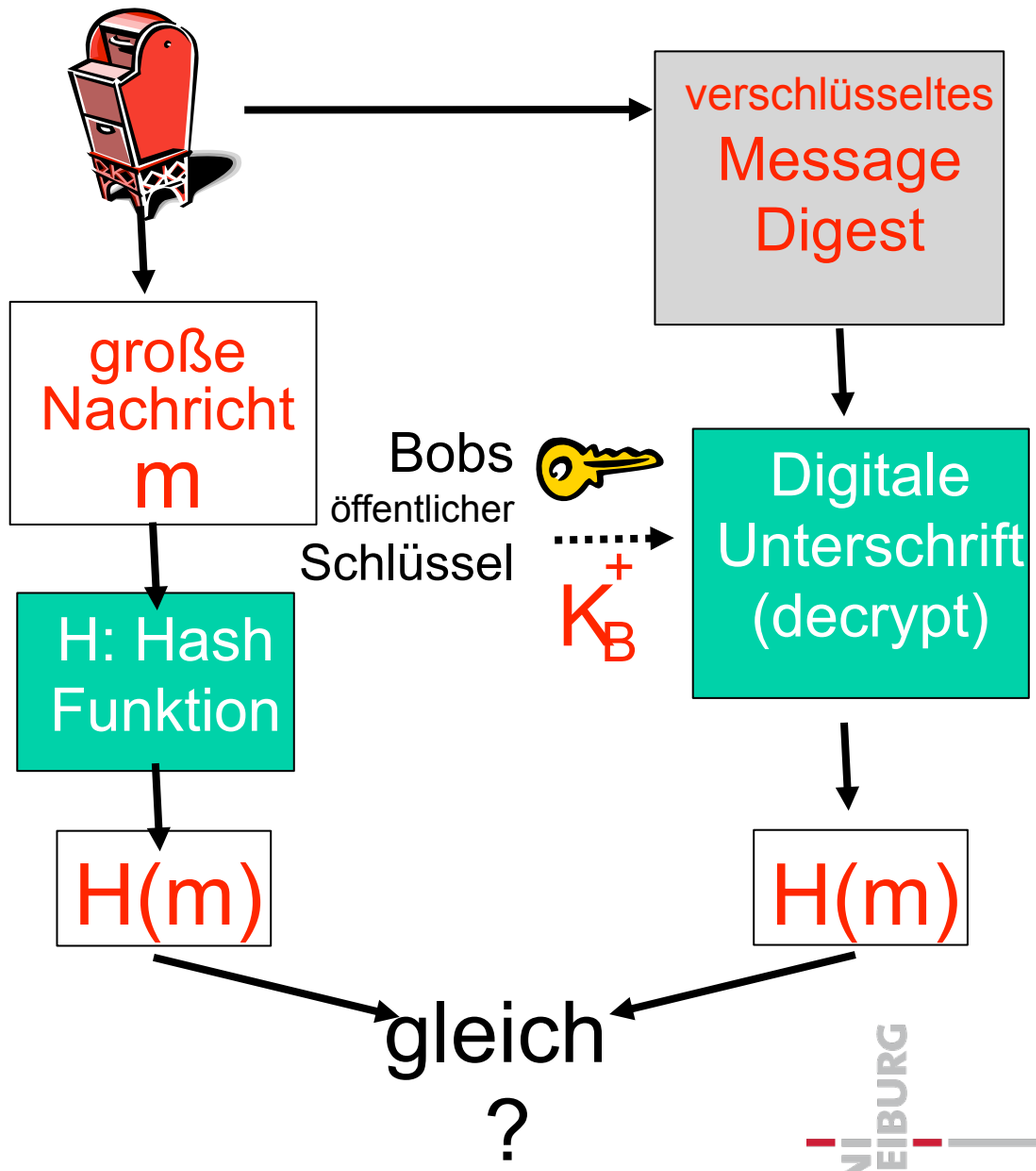


Digitale signature = signiertes Message Digest

Bob sendet eine digital unterschriebene Nachricht



Alice überprüft die Unterschrift und die Korrektheit der Nachricht



CoNe Freiburg

Digitale Unterschrift

- Angenommen Alice erhält
  - die Nachricht m
  - mit digitaler Unterschrift $K^-_B(m)$
- Alice überprüft m
  - mit den öffentlichen Schlüssel von Bob
  - Ist $K^+_B(K^-_B(m)) = m$?
- Falls $K^+_B(K^-_B(m)) = m$
  - dann hat jemand Bobs geheimen Schlüssel
- Alice verifiziert daher, dass
  - Bob hat m unterschrieben
  - Niemand anders hat m unterschrieben
  - Bob hat m und nicht m‘≠m unterschrieben
- Unleugbarkeit
  - Alice kann mit m und der Unterschrift vor Gericht gehen und und beweisen, dass Bob m unterschrieben hat

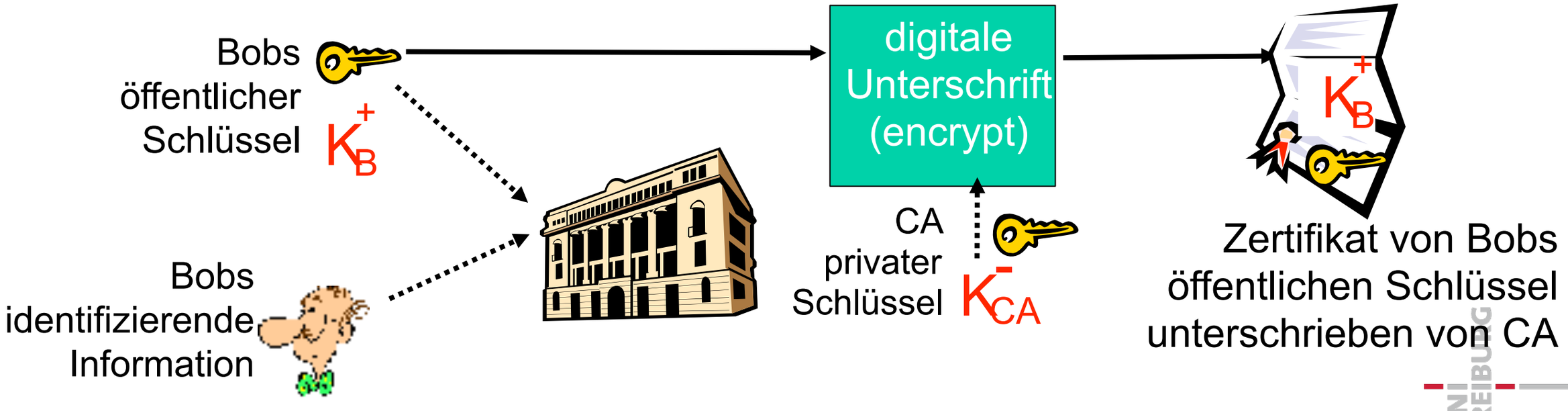
CoNe Freiburg

Public-key Zertifizierung

- Motivation: Trudy spielt Bob einen Pizza-Streich
- Trudy bestellt per e-mail order:
  - „Liebe Pizzeria, schick mir bitte vier Pepperoni-Pizza. vielen Dank Bob“
- Trudy unterschreibt mit ihrem privaten Schlüssel
- Trudy sendet die Bestellung zur Pizzeria
- Trudy sendet der Pizzeria ihren öffentlichen Schlüssel
  - behauptet aber er gehöre Bob
- Die Pizzeria überprüft die Unterschrift
  - Bob mag gar keine Pepperoni

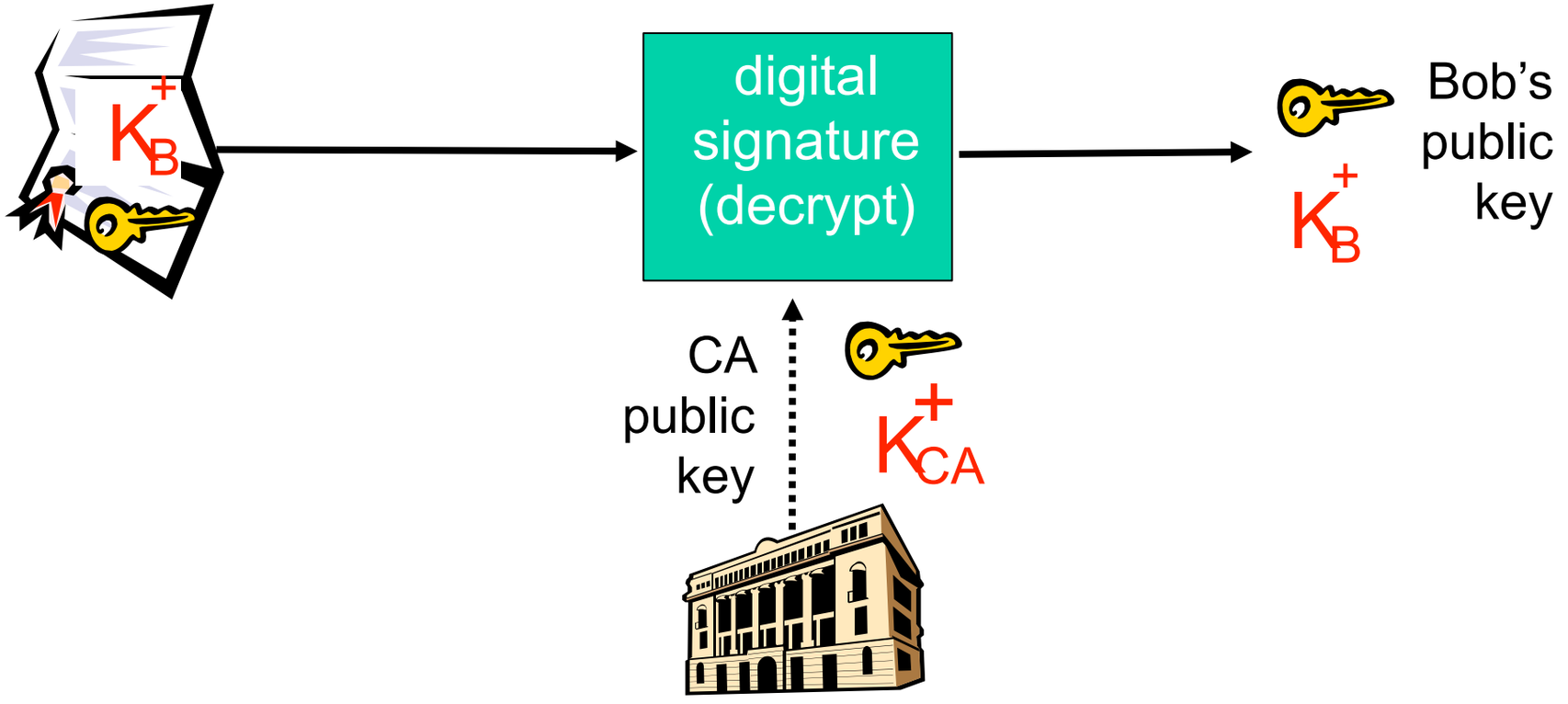
Zertifizierungsstelle
Certification Authorities (CA)

- Zertifizierungsstelle (Certification authority – CA): verknüpft öffentlichen Schlüssel mit der Entität (Person, Service, Router) E
- E registriert seinen öffentlichen Schlüssel mit CA
  - E „beweist seine Identität“ der Zertifizierungsstelle
  - CA erzeugt eine Zertifizierungsverknüpfung von E mit seinem öffentlichen Schlüssel
  - Zertifikat mit E‘s öffentlichen Schlüssel wird von der CA digital unterschriben:
    - „Das ist der öffentliche Schlüssel von E“



Zertifizierungsstelle
Certification Authorities (CA)

- Wenn Alice Bobs öffentlichen Schlüssel möchte
  - erhält Bobs Zertifikat
  - wendet CA's öffentlichen Schlüssel auf Bobs Zertifikat an
    - Alice erhält Bobs öffentlichen Schlüssel



CoNe Freiburg

Zertifikate

- Hauptstandard X.509 (RFC 2459)
- Zertifikat enthält
  - Name des Ausstellers (Issuer name)
  - Name der Entität, Adresse, Domain-Name, etc.
  - Öffentlicher Schlüssel der Entität
  - Digitale Unterschrift (unterschrieben mit dem geheimen Schlüssel des Ausstellers)
- Public-Key Infrastruktur (PKI)
  - Zertifikate und Zertifizierungsstellen

CoNe Freiburg

SSL: Secure Sockets Layer

- Weit verbreitetes Sicherheitsprotokoll
  - Unterstützt durch alle Browser und Web-Server
  - https
  - Jährlich Transaktionen im Wert von Zigmilliarden Euro über SSL
- 1993 entworfen von Netscape
- Aktueller Name
  - TLS: transport layer security, RFC 2246
- Gewährleistet
  - Vertraulichkeit (Confidentiality)
  - Nachrichtenintegrität (Integrity)
  - Authentifizierung

CoNe
Freiburg

SSL: Secure Sockets Layer

- Ursprüngliche Motivation
  - Web E-Commerce Transaktionen
  - Verschlüsselung (Credit-Karte)
- Web-server Authentifizierung
  - Optional Client Authentifizierung
- Kleinstmöglicher Aufwand für Einsteiger
- In allen TCP Anwendungen verfügbar
  - Secure socket interface

CoNe Freiburg

Zumeist: Symmetrische Codes

- DES – Data Encryption Standard: Block
- 3DES – Triple strength: Block
- RC2 – Rivest Cipher 2: Block
- RC4 – Rivest Cipher 4: Stream

- Auch Public-Key-Verschlüsselung
  - RSA

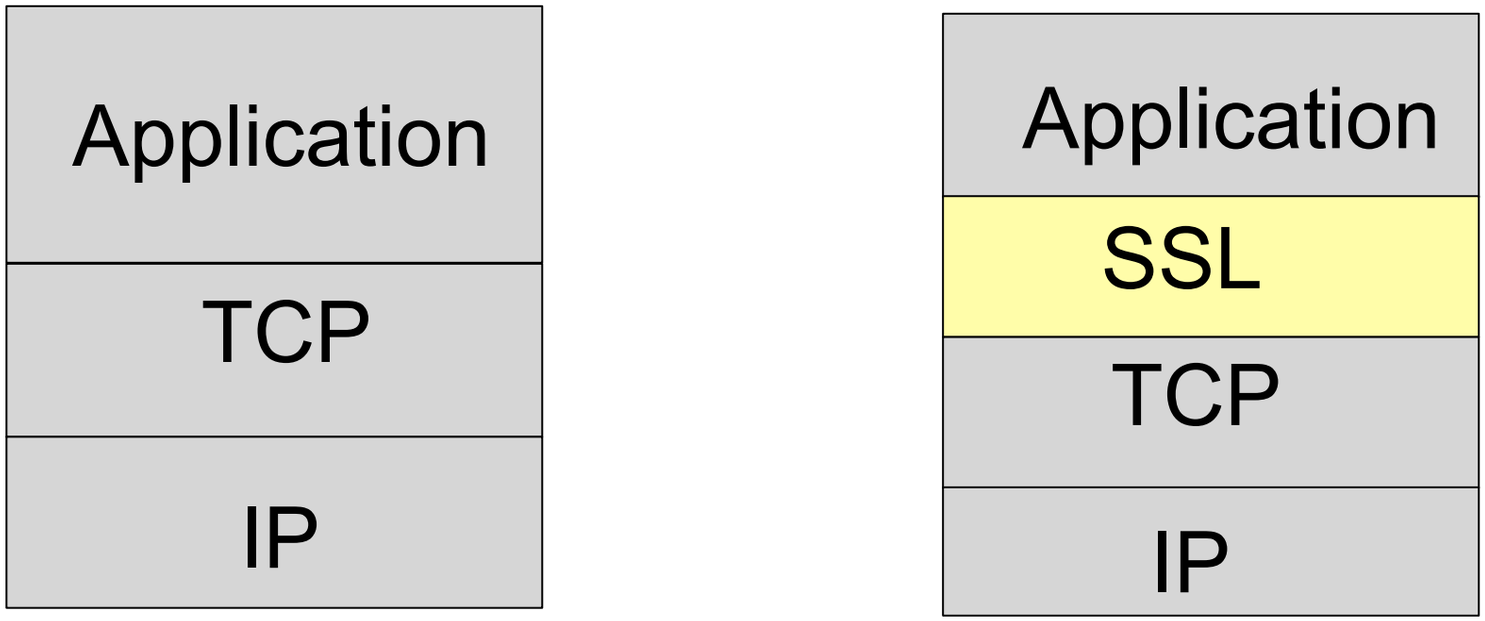
CoNe Freiburg

SSL Cipher Suite

- Cipher Suite
  - Public-key Algorithmus
  - Symmetrische Verschlüsselungsalgorithmus
  - MAC Algorithmus
- SSL unterstützt mehrere Kodierungsverfahren
- Verbindungsvereinbarung (Negotiation)
  - Client und Server einigen sich auf ein Kodierungsverfahren
- Client bietet eine Auswahl an
  - Server wählt davon eines

CoNe Freiburg

SSL and TCP/IP



Normale Anwendung

Anwendung mit SSL

- SSL stellt eine Programm-Interface für Anwendungen zur Verfügung
- C and Java SSL Bibliotheken/Klassen verfügbar

CoNe Freiburg

SSL: Handshake (1)

- Ziel
  - Server Authentifizierung
  - Verbindungsvereinbarung:
    - Einigung auf gemeinsames kryptographische Verfahren
  - Schlüsselaustausch
  - Client Authentifizierung (optional)

CoNe Freiburg

SSL: Handshake (2)

- Client sendet
  - Liste unterstützter Krypto-Algorithmen
  - Client nonce (salt)
- Server
  - wählt Algorithmen von der Liste
  - sendet zurück: Wahl + Zertifikat + Server Nonce
- Client
  - verifiziert Zertifikat
  - extrahiert Servers öffentlichen Schlüssel
  - erzeugt pre_master_secret verschlüsselt mit Servers öffentlichen Schlüssel
  - sendet pre_master_secret zum Server
- Client und Server
  - berechnen unabhängig die Verschlüsselungs- und MAC-Schlüssel aus pre_master_secret und Nonces
- Client sendet ein MAC von allen Handshake-Nachrichten
- Server sendet ein MAC von allen Handshake-Nachrichten

CoNe Freiburg

SSL Verbindung

handshake: ClientHello

handshake: ServerHello

handshake: Certificate

handshake: ServerHelloDone

handshake: ClientKeyExchange

ChangeCipherSpec

handshake: Finished

Ab hier ist alles verschlüselt

ChangeCipherSpec

handshake: Finished

application_data

application_data

Alert: warning, close_notify

TCP Fin folgt

CoNe Freiburg

Schlüsselherstellung

- Client Nonce, Server Nonce und pre-master secret werden in Pseudozufallsgenerator gegeben
  - Ausgabe: Master Secret
- Master Secret und neue Nonces werden in anderen Pseudozufallsgenerator mit Ausgabe: “key block”
- Key block:
  - Client MAC key
  - Server MAC key
  - Client encryption key
  - Server encryption key
  - Client initialization vector (IV)
  - Server initialization vector (IV)

CoNe Freiburg

Fortsetzung folgt..

- Wir werden in den Schichten des Internets noch weitere Sicherheitsprotokolle kennenlernen:
  - VPN
  - IPsec
  - WEP

CoNe Freiburg

IIF INSTITUT FÜR INFORMATIK FREIBURG

Systeme II

3. Sicherheit

Christian Schindelhauer
Technische Fakultät
Rechnernetze und Telematik
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

UNI FREIBURG