IT-Sicherheit

- Sicherheit vernetzter Systeme -

Kapitel 4: Grundlagen der Kryptologie

Version vom 21.11.2013

Inhalt

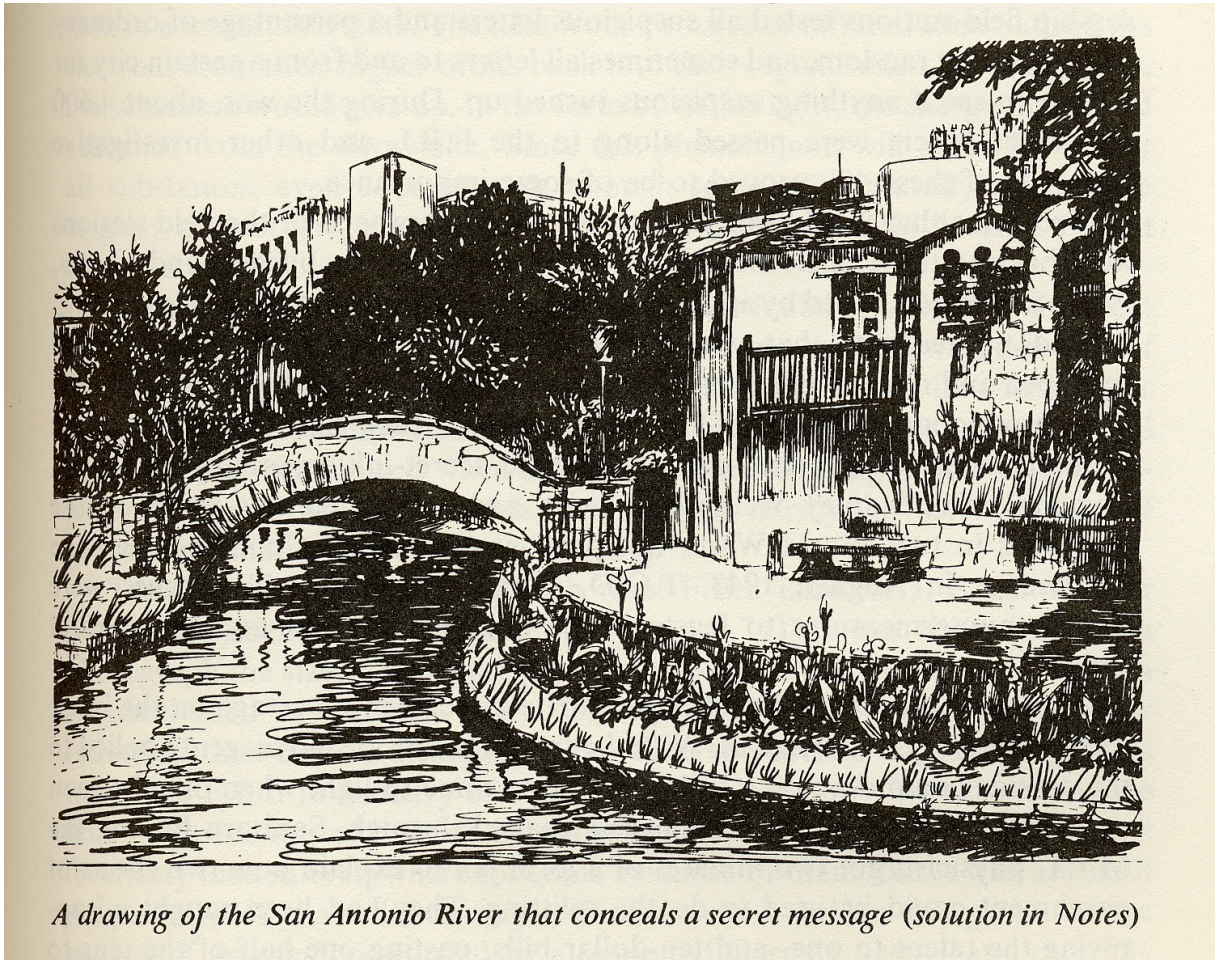
1. Kryptologie: Begriffe, Klassifikation
2. Steganographie
3. Kryptographie, Begriffe und Definitionen
   - Kryptosystem
   - Substitution
   - Permutation
   - Symmetrische versus asymmetrische Kryptosysteme
   - Kryptoanalyse
   - Abschätzung: Aufwand für Brute-Force Angriff

Kryptologie: Begriffe, Klassifikation

- **Kryptographie**:
  Lehre von den Methoden zur Ver- und Entschlüsselung von Nachrichten
- **Kryptoanalyse, Kryptanalyse**:
  Wissenschaft von den Methoden zur Entschlüsselung, ohne im Besitz des Schlüssels zu sein (Angriffe auf kryptographische Verfahren)
- **Kryptologie** = Kryptographie + Kryptoanalyse
- **Kryptographische Protokolle**:
  Protokolle, die kryptographische Techniken verwenden, um z.B. Schlüssel auszutauschen, Kommunikationspartner zu authentisieren, ...
- **Steganographie** (verdecktes Schreiben):
  Methoden, die bereits die Existenz der geheimen Nachricht verbergen (geheime Nachricht in anderer, nicht geheimen „Nachrichten“ verbergen)
  Unterscheidung: **linguistische** und **technische** Steganographie

Linguistische Steganographie

- **Semagramme**: Nachrichten, die in **Details** von Schriften oder Bildern verborgen sind.
- Bsp. aus David Kahn: *The Codebreakers,* Scribner, 1996



A drawing of the San Antonio River that conceals a secret message (solution in Notes)

- Wo verbirgt sich die Nachricht?

Linguistische Steganographie (Forts.)

- **Maskierung (Open Code):**
  Nachricht verborgen in offen übertragener, unverfänglicher Nachricht
  (z.B. Husten in „Wer wird Millionär“)
  - **Stichworte**: Begriff, Satzteil oder Satz mit vorher vereinbarter Bedeutung;
    z.B. *HIGASHI NO KAZE AME* („Ostwind, Regen“) im japanischen Wetterbericht - zwei mal wiederholt - sollte „Krieg mit USA“ bedeuten.

- **Jargon, Millieu-Code**:
  Sondersprachen oder Sonderzeichen beruflicher oder gesellschaftlicher Art
  - z.B. „Schnee“ für Kokain; „Kies“ für Geld; „abstauben“, ...
  - Für Zensoren durch „gestelzte“ Sprache relativ leicht erkennbar.
  - Umformulieren durch Synonyme kann Inhalt „zerstören“.

Spam-Mimic

- www.spammimic.com
- Versteckt kurze Nachricht in längerer Spam-E-Mail.

Dear E-Commerce professional ; This letter was specially selected to be sent to you . This is a one time mailing there is no need to request removal if you won't want any more . This mail is being sent in compliance with Senate bill 2316 , Title 5 , Section 306 . THIS IS NOT MULTI-LEVEL MARKETING ! Why work for somebody else when you can become rich in 55 MONTHS . Have you ever noticed nearly every commercial on television has a .com on in it and people love convenience . Well, now is your chance to capitalize on this . We will help you process your orders within seconds and increase customer response by 180% ! You can begin at absolutely no cost to you . But don't believe us ! Mrs Ames of Tennessee tried us and says "Now I'm rich many more things are possible" . We are a BBB member in good standing . Do not delay - order today . Sign up a friend and you'll get a discount of 10% ! God Bless . Dear Friend , We know you are interested in receiving hot news ! We will comply with all removal requests ! This mail is being sent in compliance with Senate bill 2516 , Title 3 , Section 309 . Do NOT confuse us with Internet scam artists . Why work for somebody else when you can become rich within 99 WEEKS ! Have you ever noticed people are much more likely to BUY with a credit card than cash & the baby boomers are more demanding than their parents ! Well, now is your chance to capitalize on this . We will help you sell more plus decrease perceived waiting time by 170% . You can begin at absolutely no cost to you ! But don't believe us ! Mrs Ames of Kentucky tried us and says "Now I'm rich, Rich, RICH" ! This offer is 100% legal ! So make yourself rich now by ordering immediately ! Sign up a friend and you'll get a discount of 70% . Thank-you for your serious consideration of our offer .

Technische Steganographie

- Herodot (490 v.Chr.): Nachricht auf den rasierten Schädel eines Sklaven tätowiert
- Alle Arten von „Geheimtinten“
- Steganographie in digitalen Bildern; Beispiele mit `outguess`

Original

Steganographie

Steganographie in Bildern

- **Cover** = Bild in das die Nachricht eingebettet wird
- Finde redundante Bits im Cover
  - Least Significant Bits
  - „Rauschen“
  - Nahe zusammenliegende Farben
- Kodieren der Nachricht in diesen redundanten Bits

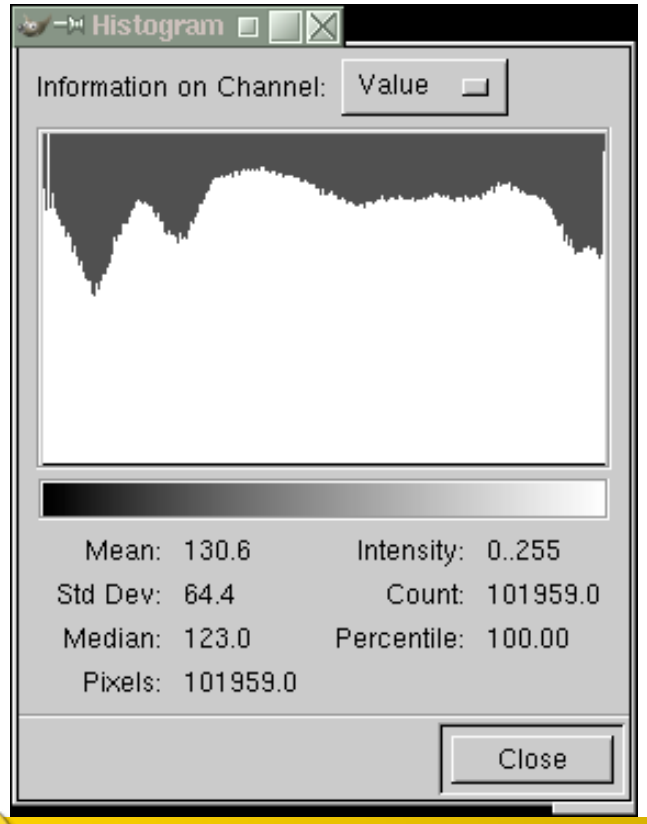
Pixel 1	rot	1	0	0	1	1	1	1	**0**
	grün	0	0	1	0	0	1	1	**1**
	blau	1	1	0	1	1	0	0	**0**
Pixel 2	rot	1	0	0	1	1	1	0	**1**
	grün	0	0	1	0	0	1	0	**0**
	blau	1	1	0	1	1	0	1	**1**

- Steganographie führt zu “sehr geringen Veränderungen” im Bild

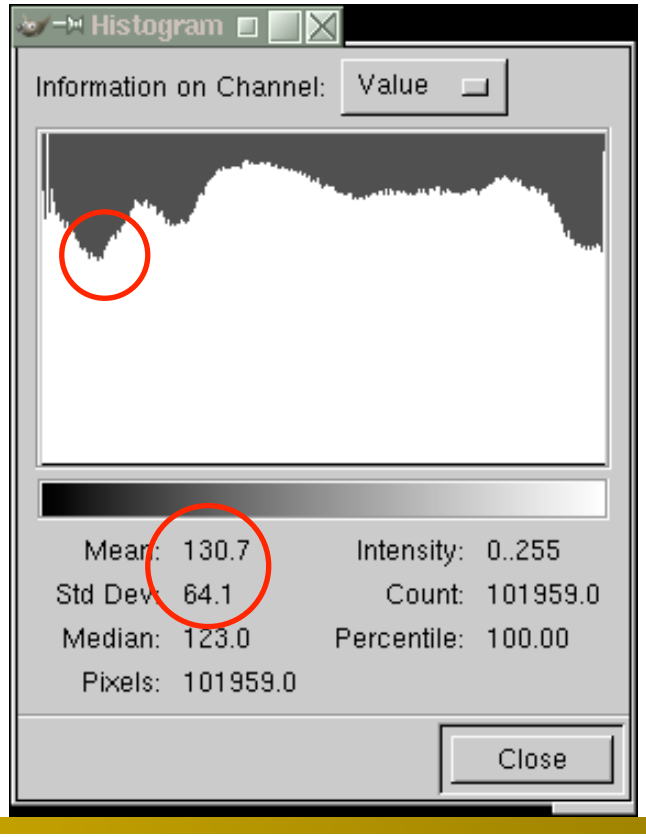
Steganographie; Veränderungen im Bild

- Histogramm:

Original

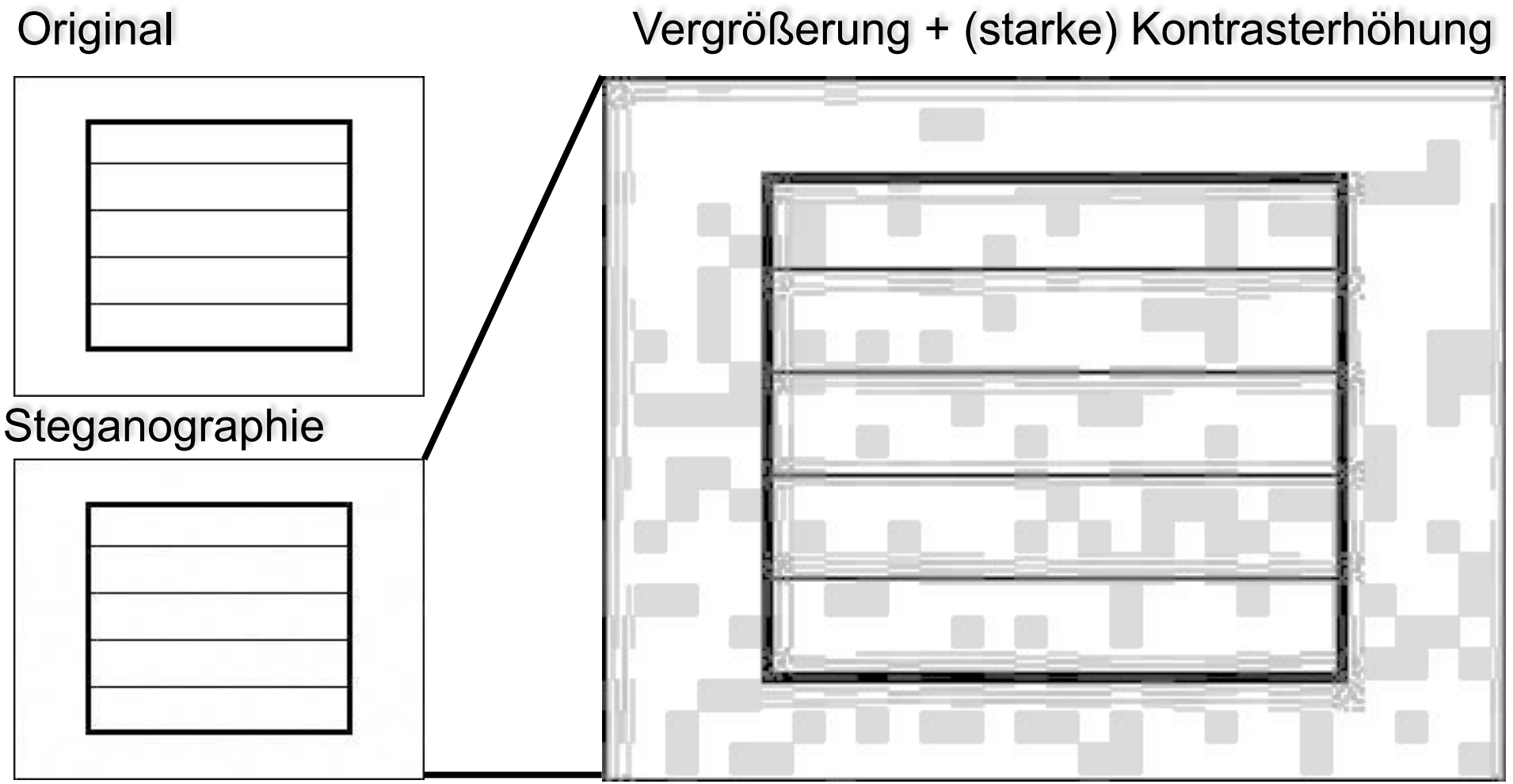


Steganographie



Steganographie; Merkmale

- Unterschiede bei “sehr strukturierten Bildern” mit hohem versteckten Datenvolumen evtl. erkennbar



Plausible Deniability (glaubhafte Abstreitbarkeit)

- Praktisches Problem:
  - Verschlüsselung der gesamten Festplatte schützt Vertraulichkeit der Daten
  - Aber: Strafverfolgung kann evtl. Herausgabe des Passworts verlangen
    - Beispiel Großbritannien:
      2-5 Jahre Haftstrafe bei Weigerung, Passwort herauszugeben
- Lösungsansatz, z.B. mit TrueCrypt:
  - Verschlüsselte Festplatte enthält nur unverfängliche Dateien und ist ansonsten scheinbar leer.
  - „Leerer“ Bereich enthält ein zweites, verschlüsseltes System, das von außen nicht als solches erkennbar ist.
  - Zielperson gibt nur das Passwort für das äußere/erste Dateisystem preis.
  - Randbedingungen in der Praxis:
    - Auf dem System sollten keine Verweise auf Dateien innerhalb des zweiten Dateisystems vorzufinden sein
      (Windows-Registry; „zuletzt benutzte Dateien“ in Anwendungen; ...).
    - Zielperson darf Existenz des zweiten Dateisystems nicht zugeben.

Verdeckte Kanäle

- Nachrichtentransport über nicht erkennbare Kanäle/Medien

- Beispiele:
  - Daten im Paket-Header statt in der TCP-Payload (z.B. TCP SeqNr.)
  - Künstliches Delay in übertragenen Datenpaketen
  - Nicht Inhalt, sondern Name und Größe einer Datei sind relevant

- Charakterisierung durch
  - Entdeckbarkeit (detectability):
    Nur designierter Empfänger soll versteckte Daten erkennen können.
  - Ununterscheidbarkeit (indistinguishability):
    Monitor/Zensor soll bei einem ihm bekanntem verdeckten Kanal nicht erkennen können, ob aktuell versteckte Daten übertragen werden oder nicht.
  - Bandbreite (bandwidth):
    Länge der pro Zeiteinheit verdeckt übertragbaren Daten.

Spreu-und-Weizen-Algorithmus (Ron Rivest)

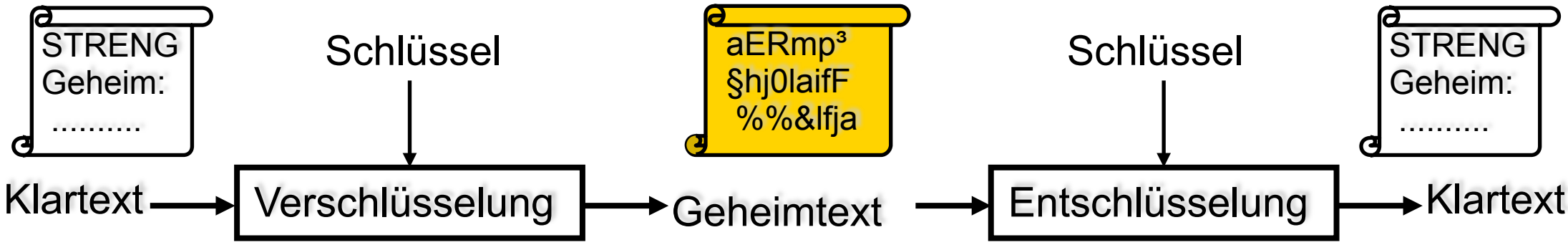
- Geheime Nachrichten sind „Nadeln im Heuhaufen“
- Alice schickt kontinuierlich Datenpakete an Bob
- Bob wertet aber nur einen Bruchteil aller Datenpakete aus
  - Alice und Bob müssen vorab / out-of-band ein Auswahlverfahren festlegen, um Spreu und Weizen trennen zu können.
  - Beispiel:
    - Prüfsummen-Verfahren, das nur Alice und Bob bekannt ist (oder mit einem geheimen Schlüssel parametrisiert wird)
    - Bob wertet nur Pakete mit gültiger Prüfsumme aus
- Problem ähnlich zu verdeckten Kanälen: Geringe Bandbreite durch viel eingestreute Spreu.

Inhalt

1. Kryptologie: Begriffe, Klassifikation
2. Steganographie
3. Kryptographie, Begriffe und Definitionen
   - Kryptosystem
   - Substitution
   - Permutation
   - Symmetrische versus asymmetrische Kryptosysteme
   - Kryptoanalyse
   - Abschätzung: Aufwand für Brute-Force Angriff

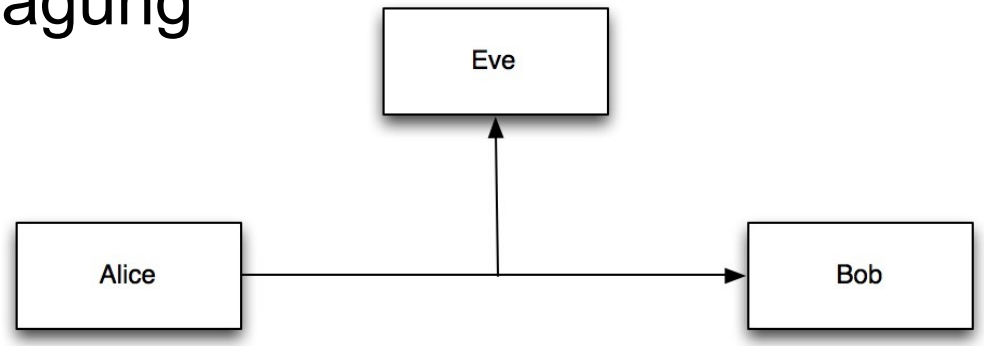
Kryptographie, Begriffe

- Klartext (Plaintext): Zu verschlüsselnde Nachricht
- Geheimtext (Ciphertext): Verschlüsselte Nachricht
- Verschlüsselung, Chiffrierung (Encryption):
  Vorgang, der Klar- in Geheimtext (Chiffretext) überführt
- Entschlüsselung, Dechiffrierung (Decryption):
  Überführung von Geheim- in Klartext
- Chiffriersystem (Cryptographic Algorithm, Cipher):
  Algorithmisches Verfahren zur Ver- bzw. Entschlüsselung
- Algorithmen werden parametrisiert über Schlüssel (Key)

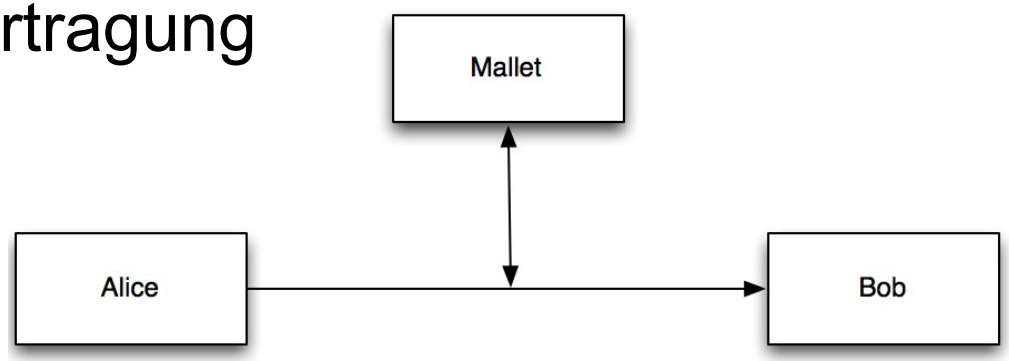


Angriffsszenarien

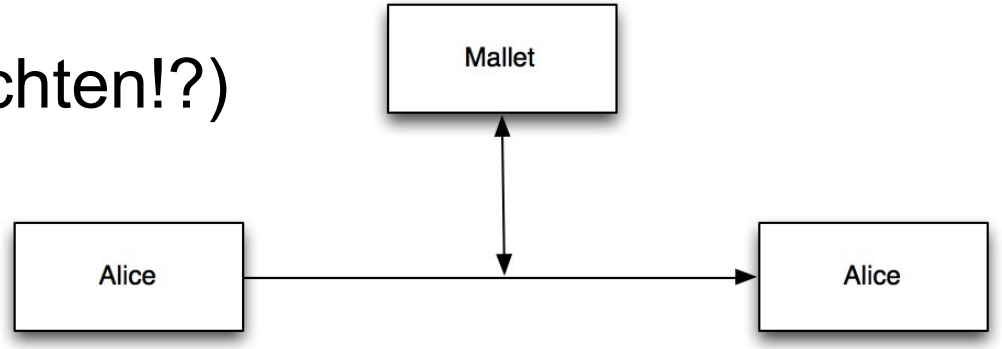
- Eve kann die Nachrichtenübertragung (passiv) mithören:



- Mallet kann die Nachrichtenübertragung aktiv manipulieren:



- (Alice schickt sich selbst Nachrichten!?)



Definition: Kryptographisches System

- Ein Kryptosystem KS ist ein Fünftupel

$$KS = (M, K, C, e, d)$$

- M = Nichtleere, endliche Menge aller Klartexte (Messages)
- K = Nichtleere, endliche Menge aller Schlüssel (Keys)
- C = Menge von Chiffretexten (Ciphertexts)
- $e = M \times K \rightarrow C$ ist Verschlüsselungsfunktion
- $d = C \times K \rightarrow M$ ist Entschlüsselungsfunktion

$$\forall k_e \in K : f(k_e) = k_d \qquad d(e(m, k_e), k_d) = m$$

Kryptosystem, Bsp.: Substitution

- **Substitution**: $f : A_1^n \rightarrow A_2^m$
- Alphabete: $A_1 = \{a, b, \ldots, z\} (= Z_{25}); A_2 = \{1,2,3,4,5\}$
- Verschlüsselungsverfahren: $E : A_1^1 \rightarrow A_2^2$
- Schlüssel $\mathrm{K_E} = K_D$

	1	**2**	**3**	**4**	**5**
1	a	b	c	d	e
2	f	g	h	i	k
3	l	m	n	o	p
4	q	r	s	t	u
5	v	w	x	y	z

- Beispiel
  (pro Buchstabe Zeilen-/Spaltennummer ermitteln):
  `vorlesung` **wird zu** `5134423115434533 22`

Kryptosystem, Bsp.: Permutation

- **Permutation** als Spezialfall der Substitution: $f : A^n \rightarrow A^n$
  gleiche Wortlänge; gleiche Alphabete $A_1 = A_2 = \{a, b, ..., z\}$
- $K_E = K_D$ (hier: NEWYORK)
  (Zur besseren Lesbarkeit werden Chiffrentexte trotzdem oft in Großbuchstaben dargestellt.)
- Matrixschreibweise:

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z
N	E	W	Y	O	R	K	A	B	C	D	F	G	H	I	J	L	M	P	Q	S	T	U	V	X	Z

  Zykelschreibweise:
  (a,n,h) (b,e,o,i) (c,w,u,s,p,j) (d,y,x,v,t,q,l,f,r,m,g,k) (z)
- Beispiel:
  - TIMFOPSHKBQPBWAOMAOBQ = vorlesung it sicherheit
    Chiffrentext wird in Blöcken übertragen
    Leer- und Satzzeichen werden nicht kodiert
    (Kryptanalyse: Leerzeichen noch häufiger als „e“)

Kryptosystem: Symmetrische Verfahren

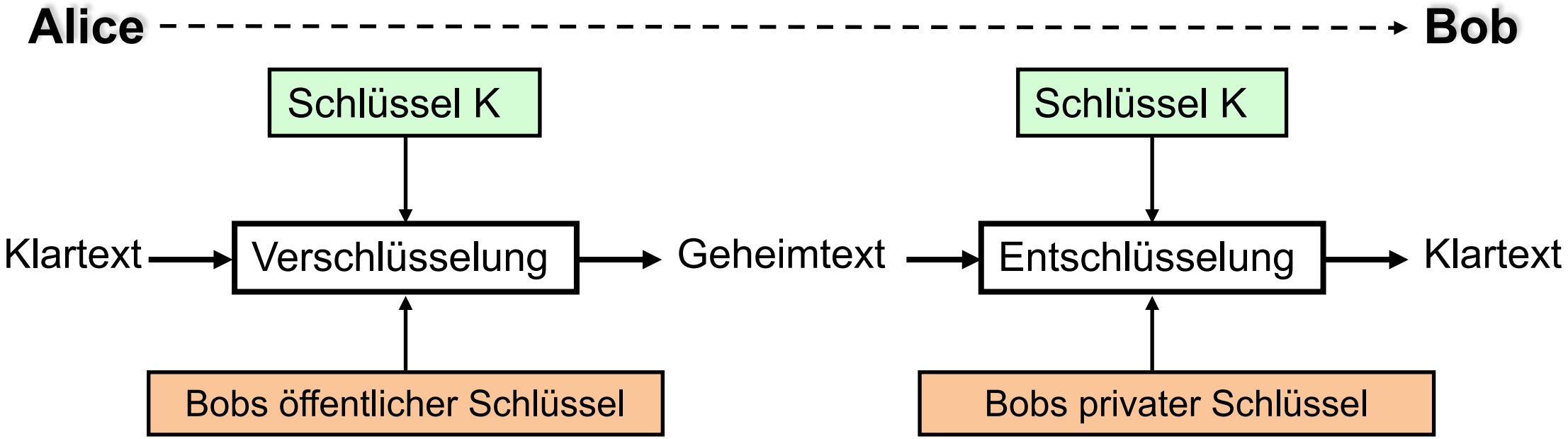
- Kommunikationspartner teilen **gemeinsamen, geheimen Schlüssel** (Shared Secret; deshalb: Symmetrie)
- Ver- und Entschlüsselungsschlüssel sind identisch oder jeweils trivial aus dem Shared Secret abzuleiten.
- Setzt vorherige Verständigung (**Schlüsselaustausch**) voraus.
- Protokoll:
  1. Alice und Bob vereinbaren („**out of band**“) den gemeinsamen Schlüssel:
  $$k_e = k_d = k_{A,B}$$
  2. Alice verschlüsselt m: $c = e(m, k_{A,B})$ und sendet c an Bob
  3. Bob entschlüsselt c:
  $$m = d(c, k_{A,B}) = d(e(m, k_{A,B}), k_{A,B})$$
- Beispiele: DES, AES, IDEA, RC4, Blowfish, Serpent, Twofish, ...

Kryptosystem: Asymmetrische Verfahren

- Jeder Partner besitzt **Schlüsselpaar** aus
  - persönlichem, **geheim** zu haltenden **Schlüssel** (*private key*) (wird NIE übertragen)
  - und **öffentlich** bekannt zu gebenden **Schlüssel** (*public key*) (kann über unsichere und öffentliche Kanäle übertragen werden)
- Protokoll:
  1. Alice und Bob erzeugen sich Schlüsselpaare: (k_e^A, k_d^A) (k_e^B, k_d^B)
  2. Öffentliche Schlüssel (k_e^A, k_e^B) werden geeignet öffentlich gemacht
  3. Alice will m an Bob senden; dazu benutzt sie Bobs öffentlichen Schlüssel
     $$c = e(m, k_e^B)$$
  4. Bob entschlüsselt die Nachricht mit seinem privaten Schlüssel:
     $$m = d(c, k_d^b) = d(e(m, k_e^b), k_d^b)$$
- Beispiele: RSA, DSA, ElGamal, ...

Vergleich symmetrische / asymmetrische Verfahren

	Symmetrisch	Asymmetrisch
Schlüsselaustausch	Sicherer Kanal erforderlich	öffentlich (aber: Authentizität!)
Schlüssellänge	meist 64 bis 256 Bit	meist 1024 bis 4096 Bit
Geschwindigkeit		meist Faktor 100 bis 1000 langsamer



One-Time Pads

- Bei richtiger Verwendung „unknackbare“ Verschlüsselung
- Schlüssel
  - ist (mindestens) genauso lang wie der Klartext,
  - ist zufällig („*truly random*“) gewählt, und
  - wird niemals wiederverwendet.
- XOR-Verknüpfung von Klartext- mit Schlüssel-Zeichen.
- Praktische Einschränkungen:
  - Schlüsselmanagement extrem aufwendig
    - Großer Bedarf an „echten“ Zufallszahlen nicht einfach zu decken.
    - Alice und Bob müssen Schlüssel sicher untereinander austauschen.
  - Keine implizite Integritätssicherung (Angreifer modifiziert Ciphertext, so dass sich bei der Entschlüsselung ein sinnvoller anderer Plaintext ergibt)

Kryptoanalyse

- Wissenschaft von Methoden zur Entschlüsselung **ohne** Vorabkenntnis des Schlüssels
- Klassen kryptanalytischer Angriffe:
  - **Brute force; exhaustive search:** vollständiges Durchsuchen des Schlüsselraums
  - **Angriff auf Chiffren (ciphertext-only):** Dem Analytiker stehen mehrere Chiffren zur Verfügung. Ziel: Schlüssel und/oder Klartext berechnen
  - **Bekannter Klartext (known-plaintext):** Analytiker kennt Klartext-/Chiffren-Kombinationen, die mit selbem Schlüssel verschlüsselt wurden. Ziel: Schlüssel brechen oder Algorithmus finden, der jede mit dem Schlüssel verschlüsselte Nachricht entschlüsseln kann.
  - **Gewählter Klartext (chosen-plaintext):** Analytiker kann selber Klartexte wählen und diese verschlüsseln lassen.
  - **Gewählte Chiffre (chosen-ciphertext):** Angreifer kann sich zu ausgewählten Chiffren den Klartext berechnen lassen.
- Weitere Informationen: Vgl. F.L. Bauer: Entzifferte Geheimnisse

Abschätzung: Aufwand für Brute-Force-Angriff

- Annahmen, unter denen Brute-Force-Angriff sinnvoll erscheint:
  - Schlüssel ist zufällig gewählt, d.h. alle Schlüssel sind gleich wahrscheinlich
  - Es gibt kein alternatives, schneller Erfolg versprechendes Verfahren

- Die Schlüssellänge sei 128 Bit
- Ein Rechner schaffe 3.000.000.000 Passworte pro Sekunde
- Der Angreifer habe 1.000 Rechner zur Verfügung
- Schlüsselraum $S = 2^{128} \approx 3{,}4 \cdot 10^{38}$
- 1 Jahr hat 31.557.600 Sekunden
- Maximaldauer D in Jahren:
  $D = S / (3.000.000.000 \cdot 1.000 \cdot 31.557.600) = 3{,}6 \cdot 10^{18}$ Jahre
  (im Durchschnitt also $1{,}8 \cdot 10^{18}$ Jahre)
- Bei Schlüssellänge 256 Bit: $D = 1{,}2 \cdot 10^{57}$ Jahre