IT-Sicherheit

- Sicherheit vernetzter Systeme -

Kapitel 4: Grundlagen der Kryptologie

Inhalt

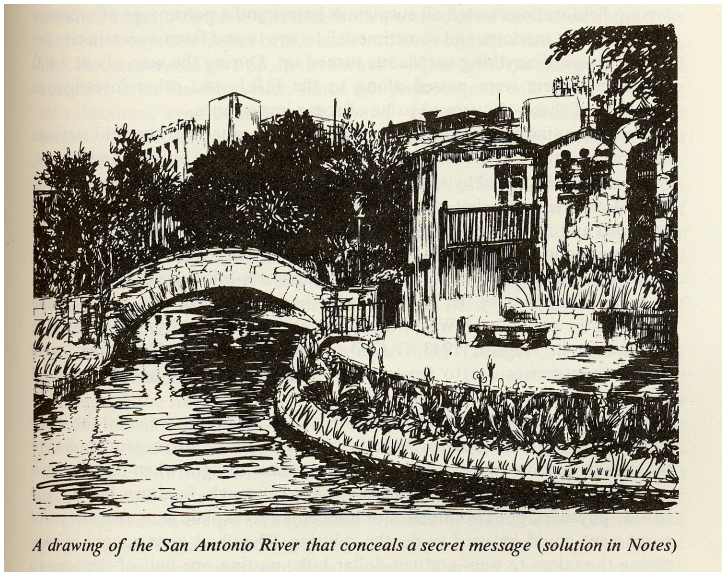
1. Kryptologie: Begriffe, Klassifikation
2. Steganographie
3. Kryptographie, Begriffe und Definitionen
   - Kryptosystem
   - Substitution
   - Permutation
   - Symmetrische versus asymmetrische Kryptosysteme
   - Kryptoanalyse
   - Abschätzung Brute-Force Angriff

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 den 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 anderen nicht geheimen „Nachrichten“ verbergen) Unterscheidung in **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?
- Wie lautet diese?

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
  - Bettler, Vagabunden und Gauner:
    Rotwelsch (Deutschland), Argot (Frankreich), ...
    z.B. „Schnee“ für Kokain; „Kies“ für Geld; „abstauben“ ,.....

  Für Zensoren durch „gestelzte“ Sprache relativ leicht erkennbar

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

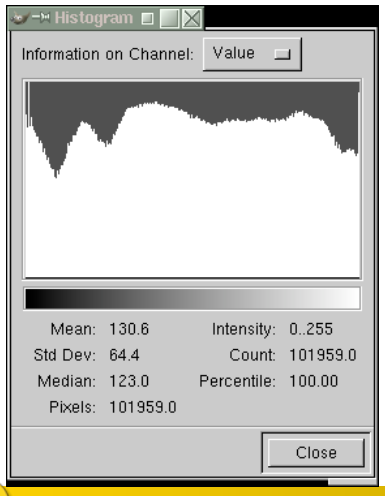
Steganographie in Bildern

- **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
- Steganographie führt zu “sehr geringen Veränderungen” im Bild

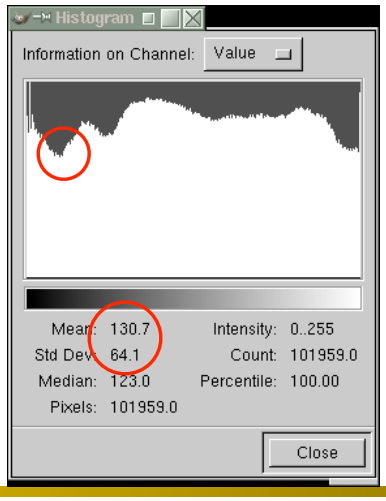
Steganographie; Veränderungen im Bild

- Histogramm:

Orginal

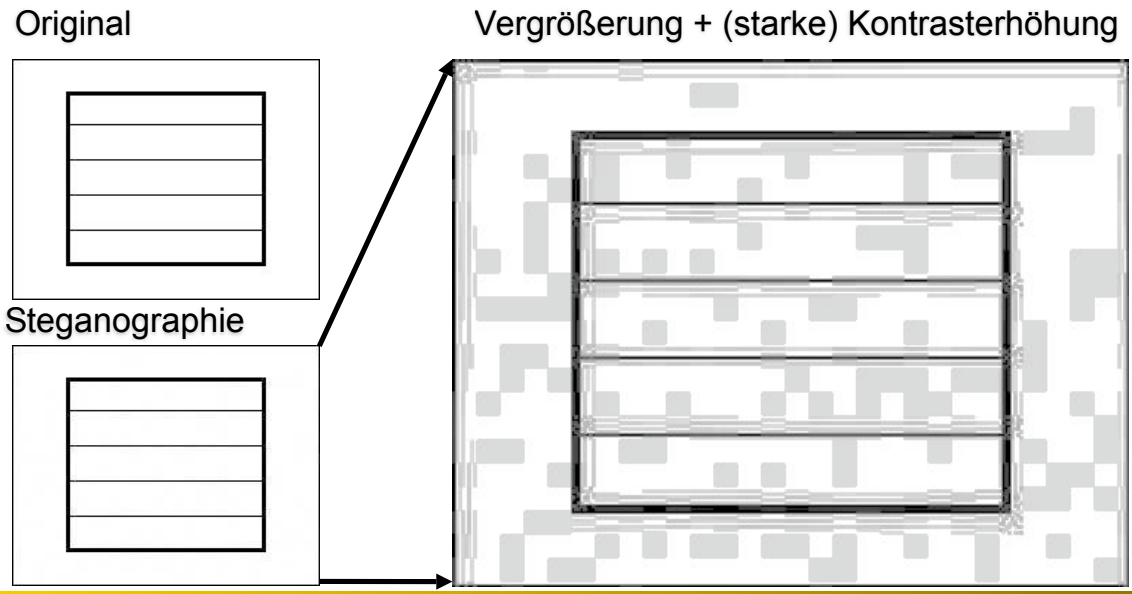


Steganographie



Steganographie; Merkmale

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

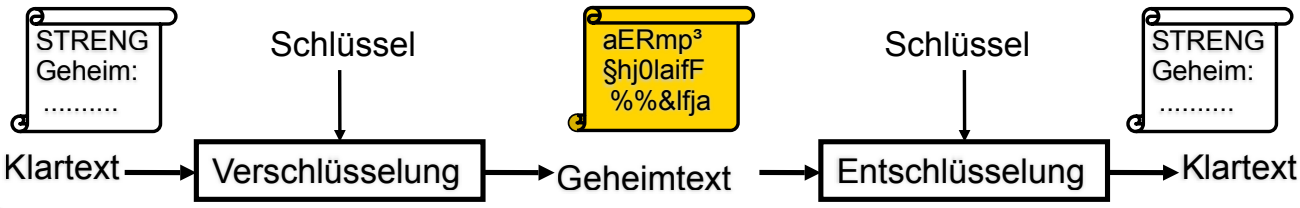


Inhalt

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

Kryptographie, Begriffe

- **Klartext** (**Plaintext**): die zu verschlüsselnde Nachricht
- **Geheimtext (Ciphertext):** verschlüsselte Nachricht
- **Verschlüsselung, Chiffrierung (Encryption)**: Vorgang der Klar- in Geheimtext überführt
- **Entschlüsselung, Dechiffrierung (Decryption):** Überführung von Geheim- in Klartext
- **Chiffriersystem (Cryptographic Algorithm, Cipher):** Algorithmisches Verfahren zur Ver- bzw. Entschlüsselung
- Benötigen **Schlüssel (Key)**



Kryptographisches System (Def.)

- Geg. zwei endliche Zeichenvorräte (Alphabete) A_1 und A_2
- Ein Kryptosystem (KS) ist gegeben durch ein Tupel

$$KS = (M, C, EK, DK, E, D)$$

1. Nicht leere endliche Menge von Klartexten $M \subseteq A_1^*$ mit A_1^* Menge aller Worte über dem Alphabet A_1
2. nicht leere endliche Menge von Krypto- bzw. Chiffrentexten $C \subseteq A_2^*$
3. der nicht leeren Menge von Verschlüsselungsschlüsseln EK
4. der nicht leeren Menge von Entschlüsselungsschlüsseln DK sowie einer Bijektion $f: EK \rightarrow DK$ Diese assoziiert zu jedem Verschlüsselungsschlüssel $K_E \in EK$ einen dazu passenden Entschlüsselungsschlüssel $K_D \in DK$, d.h. $f(K_E) = K_D$

Kryptographisches System (Def.); Forts.

- Kryptosystem (KS)

$$KS = (M, C, EK, DK, E, D)$$

5. Dem injektiven Verschlüsselungsverfahren

$$E : M \times EK \rightarrow C$$

6. Dem Entschlüsselungsverfahren

$$D : C \times DK \rightarrow M$$

mit der Eigenschaft, dass für zwei Schlüssel $K_E \in EK$ und $K_D \in DK$ mit $f(K_E) = K_D$ gilt:

$$\forall m \in M : D(E(m, K_e), K_d)) = m$$

D.h. ein bel. Klartext m der mit einem Verschlüsselungs-schlüssel verschlüsselt wurde, kann mit dem passenden Entschlüsselungsschlüssel wieder entschlüsselt werden

Kryptosystem, Bsp.: Substitution

- **Substitution**: $f : A_1^n \rightarrow A_2^n$
- 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 $K_E = K_D$

	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

- Bsp.:
  4211421332435434 51 = iailhouse (Jailhouse)

Kryptosystem, Bsp.: Permutation

- **Permutation** als Spezialfall der Substitution: $f : A^n \rightarrow A^n$
  gleiche Wortlänge; gleiche Alphabete $A_1 = A_2 = \{a,b,...,z\}$
- $K_E = K_D$ (NEWYORK,1) (+ Alg. zur Anwendung)
  (Zur besseren Lesbarkeit, werden Chiffrentexte trotzdem oft in Großbuchstaben dargestellt.)

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

  Zyklenschreibweise:
  (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)
- Bsp.:
  QAOWI YOEMO NDOMP = thecodebreakers
  Chiffrentext wird in Blöcken übertragen
  Leer- und Satzzeichen werden nicht kodiert (Leerzeichen noch häufiger als „e“)

Kryptosystem: Symmetrische Verfahren

- Ver- und Entschlüsselungsschlüssel gleich, oder leicht voneinander ableitbar
- Kommunikationspartner teilen **gemeinsamen, geheimen Schlüssel (symmetrisch)**
- Setzt vorherige Verständigung (**Schlüsselaustausch**) voraus
- Protokoll:
  1. Alice und Bob vereinbaren („**out of band**“) 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:

$$m = D(C, K_{A,B}) = D(E(m, K_{A,B}), K_{A,B})$$

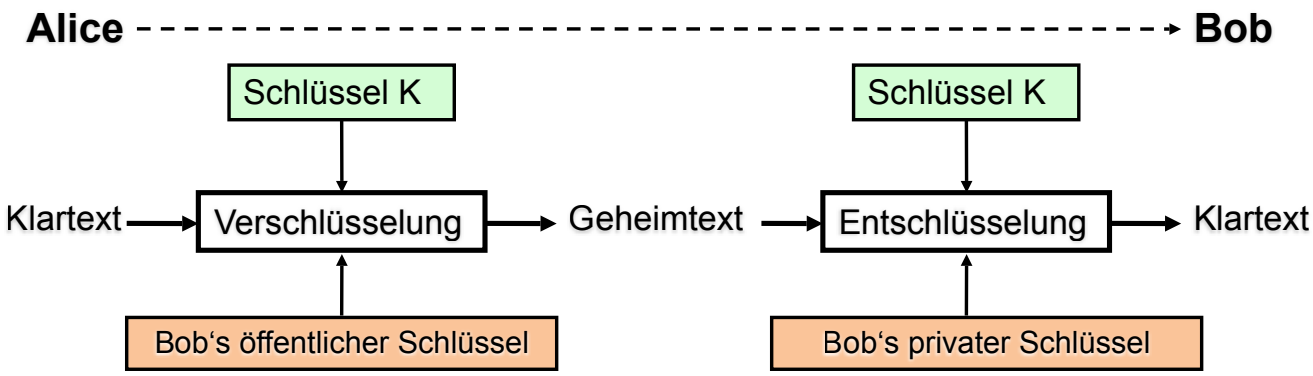
- Beispiele: DES, AES, IDEA,.....

Kryptosystem: Asymmetrische Verfahren

- Jeder Partner besitzt **Schlüsselpaar** aus
  - persönlichem, **geheim** zu haltendem **Schlüssel** (*private key*) (wird NIE übertragen)
  - und **öffentlich** bekannt zu gebendem **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 werden öffentlich zugänglich gemacht
  3. Alice will m an Bob senden; dazu benutzt sie B‘s öffentlichen Schlüssel
     $$C = E(m, K_E^B)$$
  4. Bob entschlüsselt die Nachricht mit seinem privaten Schlüssel:
     $$m = D(C, K_D^B) = D(E(m, K_E^B), K_D^B)$$
- Bsp.: RSA, ElGamal,...

Vergleich Symmetrische / Asymmetrische Verfahren

	Symmetrisch	Asymmetrisch
Schlüsselaustausch	Sicherer Kanal erforderlich	öffentlich
Schlüssellänge	128 bis 256 Bit	1024 bis 4096 Bit
Geschwindigkeit		Faktor 100 bis 1000 langsamer



Kryptoanalyse

- Wissenschaft von Methoden zur Entschlüsselung **ohne** Schlüssel
- Klassen kryptographischer Angriffe:
  - **Brute force; exhaustive search:** vollständiges Durchsuchen des Schlüsselraumes
  - **Klartext Angriff (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 der jede mit dem Schlüssel verschlüsselte Nachricht entschlüsseln kann
  - **Gewählter Klartext (chosen-plaintext):** Analytiker kann selber Klartexte wählen und diese verschlüsseln lassen.
  - **Gewählte Chiffre (known-ciphertext):** Angreifer kann sich zu ausgewählten Chiffren, den Klartext berechnen lassen
- Weitere Informationen: Vgl. F.L. Bauer: Entzifferte Geheimnisse

Einschub: Abschätzung Brute-Force Angriff

- Der Schlüssellänge sei 128 Bit
- Ihr Rechner ist in der Lage 50.000 Verschlüsselungs-operationen pro Sekunde durchzuführen
- Wie viele Jahre dauert ein Brute-Force-Angriff?
- Schlüsselraum $S = 2^{128} \approx 3,4 \cdot 10^{38}$
  340.282.366.920.938.463.463.374.607.431.768.211.456
- 1 Jahr hat rund 31.536.000 Sekunden
- (S / 50.000) / 31.536.000 Sekunden $\approx 2 \cdot 10^{27}$
  215.805.661.416.120.283.779.410.583,099802 Jahre
- Wieviele Schlüssel müssen Sie pro Sek. berechnen um „nur“ 100 Jahre zu brauchen?
- ~ 107.902.830.708.060.141.889.705.291.549,901
  $\approx 1,1 \cdot 10^{30}$