

Übungen - Angewandte Kryptologie

Alexander Weigl

May 2, 2011

Contents

1. Übung 1	4
1.1. Aufgabe 1	4
1.2. Aufgabe 2	4
a. Beweis: Äquivalenzrelation: \equiv_n	4
b.	4
1.3.	5
a.	5
b.	5
1.4.	6
2. Übung 2	8
2.1. Aufgabe 1	8
a. Verschiebechiffren	8
b. Multiplikative Chiffren	8
c. Tauschchiffren	8
2.2. Aufgabe 2	9
2.3. Aufgabe 3	10
2.4. Aufgabe 4	11
a.	11
2.5. Aufgabe 5	11
2.6. Aufgabe 6	12
a. Warum gilt für zufällige Texte $I_r = \frac{1}{26} = 0.0385$?	12
b.	13
c.	13
2.7. Übungsaufgabe: One-Time-Pad	13
a.	13
b.	13
c.	13
d.	14

2.8. Skytale	14
a.	14
3. Moderne Symmetrische Chiffren	15
3.1. Lineare Abbildungen	15
3.2. Feistel-Cipher	15
a.	15
b.	15
3.3. DES-Details	16
a. Zeigen Sie, dass die DES-Expansionspermutation eine lineare Abbildung ist.	16
b. Zeigen Sie, dass die DES S-Boxen keine lineare Abbildung sind.	17
c. Geben Sie für die DES-Permutation die Zykelschreibweise an.	17
d. Zeigen Sie, dass für den DES Schlüssel $K = 0xE0E0E0F1F1F1F1$ (inklusive Parity-Bits) alle Rundenschlüssel identisch sind. Warum gilt in diesem Fall $DES(K, DES(K, M)) = M$ (d.h. Ver- und Entschlüsselung sind identisch)?	17
3.4. A5/1	17
a.	18
b.	18
3.5. RC4	20
a. Listen Sie die Permutation S nach der Initialisierung auf.	23
b. Generieren Sie 100 Schlüsselbytes.	23
c. Listen Sie die Permutation S erneut auf.	24
4. Hashfunktionen und MACs	25
4.1. Funktionsweise von Hash-Funktionen	25
4.2. Kollisionen und Preimage-Angriffe	25
a. Berechnen Sie $H(X)$ für die Nachricht "FHT4ever". Interpretieren Sie dabei jeden Buchstaben als seinen 8 Bit ASCII-Wert.	25
b. Finden Sie eine andere (sinnvolle) Nachricht, die den gleichen Hashwert wie "FHT4ever" hat.	25
c. Gegeben sei $h(X) = 42$, wobei $X = (X_0, X_1, X_2)$. Finden Sie ein $Y = (Y_0, Y_1, Y_2)$ mit $X \neq Y \wedge h(Y) = h(X)$	25
d. Finden Sie eine weitere Kollision.	25
4.3. Das Online-Auktionshaus	26
a. Denken Sie sich ein möglichst einfaches Verfahren aus, das auf einer Hash-Funktion beruht.	26
b. Welche Angriffe gibt es trotzdem noch auf das Verfahren?	27
4.4. Datenbankschutz durch Verschlüsselung und Hash-Funktionen	27
4.5. kryptologische Absicherung der Prüfungsvorleistung	28
a. Das Verfahren ist bisher kryptologisch nicht gesichert. Welche Angriffe sind denkbar?	28

- b. Sichern Sie das Verfahren kryptologisch ab. Der Professor soll die
 "Echtheit" der Bescheinigung möglichst einfach prüfen können. . . 28

1. Übung 1

1.1. Aufgabe 1

Chiffre	Alphabet	Geheimtext	Schlüsselraum	Länge
Caesar	$\{A, \dots, Z\}$	$\{A, \dots, Z\}$	$\{3\}, \{1, \dots, 25\}$	4,64
OTP	$\{0, 1\}$	$\{0, 1\}$	$\{0, 1\}^*$	∞
DES	$\{0, 1\}$	$\{0, 1\}$	$\{0, 1\}^{56}$	56

1.2. Aufgabe 2

a. Beweis: Äquivalenzrelation: \equiv_n

Reflexivität $\forall x : x \equiv_n x$

$$x \bmod n \equiv r = x \bmod n \Rightarrow x \equiv_n x \quad (1)$$

#

Symmetrie $\forall x, y : x \equiv_n y \Rightarrow y \equiv_n x$

$$\begin{aligned} x \equiv_n y \bmod n \Rightarrow x \bmod n = r = y \bmod n \\ \Rightarrow y \bmod n = x \bmod n \Rightarrow y \equiv_n x \end{aligned}$$

#

Transitivität $\forall x, y, z : x \equiv_n y, y \equiv_n z \Rightarrow x \equiv_n z$

$$\begin{aligned} n.V. x \bmod n = r_x, \\ y \bmod n = r_y \\ z \bmod n = r_z \wedge r_x = r_y, r_y = r_z \Rightarrow \\ r_x = r_z \Rightarrow x \equiv_n z \bmod n \end{aligned}$$

#

b.

z. Z. $[i]_n + [j]_n = [i + j]_n$

$$\text{Sei } a, b \in \mathbb{Z} \Rightarrow a = q_a n + r_a, b = q_b n + r_b$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow a &\in [r_a]_n, b \in [r_b]_n \\ \Rightarrow [r_a]_n + [r_b]_n &= \{\forall i : in(r_a + r_b)\} \\ \Rightarrow a + b &= q_a n + r_a + q_b n + r_b \\ &\equiv_n n(q_a + q_b) + r_a + r_b \\ &\equiv_n r_a + r_b \Rightarrow [r_a + r_b]_n \end{aligned}$$

$$\mathbf{z. Z.} \quad [i]_n \cdot [j]_n = [i \cdot j]_n$$

$$\text{Sei } a, b \in \mathbb{Z} \Rightarrow a = q_a n + r_a, b = q_b n + r_b$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow a &\in [r_a]_n, b \in [r_b]_n \\ \Rightarrow [r_a]_n * [r_b]_n &= \{\forall i : in(r_a * r_b)\} \\ \Rightarrow a * b &\equiv_n (q_a n + r_a) * (q_b n + r_b) \\ &\equiv_n q_a q_b n + q_a n r_b + q_b n r_a + r_a * r_b \\ &\equiv_n n(q_a q_b + q_a r_b + q_b r_a) + r_a * r_b \\ &\equiv_n r_a * r_b = [r_a * r_b]_n \end{aligned}$$

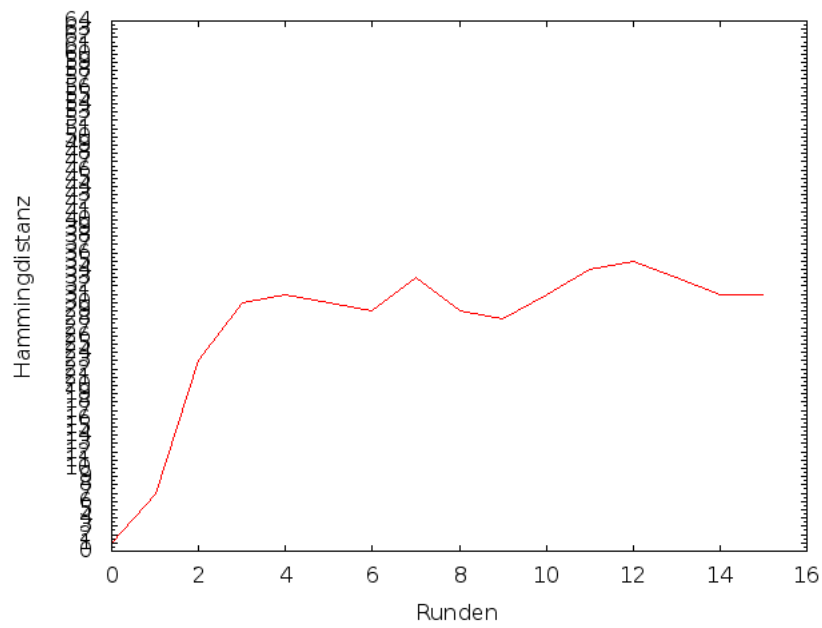
1.3.

a.

$$\begin{aligned} (23.145 \cdot 12.479 + 14.543) \cdot 5 &\equiv_9 3 \\ (6 \cdot 5 + 8) \cdot 5 &\equiv_9 3 \\ 8 \cdot 5 &\equiv_9 3 \\ 2 \cdot 5 &\equiv_9 10 = 1 \pmod{9} \end{aligned}$$

b.

$$\begin{aligned} 123 \cdot (123.983 \cdot 789.345 + 676.345) \pmod{11} &\equiv_{11} 2 \cdot (2 \cdot 7 + 10) \equiv_{11} 4 \pmod{11} \\ 2 \cdot (14 + 10) &\equiv_{11} 4 \pmod{11} \end{aligned}$$

1.4.

Round k	$HD(M_k, M_k)$	$HD(M_{1_k}, M_{1_k})$	$HD(M_{1_k}, M_{1_k})$
0	1	39	35
1	7	35	31
2	23	32	33
3	30	36	35
4	31	37	34
5	30	31	34
6	29	26	30
7	33	26	26
8	29	29	26
9	28	29	34
10	31	25	36
11	34	28	35
12	35	30	38
13	33	29	37
14	31	32	38
15	31		

2. Übung 2

2.1. Aufgabe 1

a. Verschiebechiffren

$$E_1 : z \mapsto (z + k_1) \mod n \quad (2)$$

$$E_2 : z \mapsto (z + k_2) \mod n \quad (3)$$

Dann wäre die Verkettung $E_2 \circ E_1$:

$$E_2 \circ E_1 = E_2(E_1(z)) = (((z + k_1) \mod n) + k_2) \mod n \quad (4)$$

$$= z + \underbrace{k_1 + k_2}_{k_3} \mod n \quad (5)$$

$$= z + k_3 \mod n = E_3(z) \quad (6)$$

Wir folgern daraus, dass eine Verkettung von zwei Verschiebechiffren keine zusätzlichen Gewinn bringt.

b. Multiplikative Chiffren

$$E_1 : z \mapsto (z \cdot t_1) \mod n \quad (7)$$

$$E_2 : z \mapsto (z \cdot t_2) \mod n \quad (8)$$

Dann wäre die Verkettung $E_2 \circ E_1$:

$$E_2 \circ E_1 = E_2(E_1(z)) = (((z \cdot t_1) \mod n) \cdot t_2) \mod n \quad (9)$$

$$= z \cdot \underbrace{t_1 \cdot t_2}_{t_3} \mod n \quad (10)$$

$$= z \cdot t_3 \mod n = E_3(z) \quad (11)$$

Wir folgern daraus, dass eine Verkettung von zwei Multiplikativen Chiffren keine zusätzlichen Gewinn bringt.

c. Tauschchiffren

$$E_1 : z \mapsto (z \cdot t_1 + k_1) \mod n \quad (12)$$

$$E_2 : z \mapsto (z \cdot t_2 + k_2) \mod n \quad (13)$$

Dann wäre die Verkettung $E_2 \circ E_1$:

$$E_2 \circ E_1 = E_2(E_1(z)) = ((z \cdot t_1 + k_1) \mod n) \cdot t_2 + k_2 \mod n \quad (14)$$

$$= z \cdot \underbrace{t_1 \cdot t_2}_{t_3} + \underbrace{k_1 \cdot t_2 + k_2}_{k_3} \mod n \quad (15)$$

$$= z \cdot t_3 + k_3 \mod n = E_3(z) \quad (16)$$

Wir folgern daraus, dass eine Verkettung von zwei Tauschchiffren keine zusätzlichen Gewinn bringt.

2.2. Aufgabe 2

Berechnen Sie die multiplikativen Inverse zu 3, 5 und 22 in Z_{23} .

$$23 = 7 \cdot 3 + 2$$

$$3 = 1 \cdot 2 + 1$$

$$2 = 2 \cdot 1 + 0$$

$$1 = 3 - 2$$

$$1 = 3 - (23 - 7 \cdot 3) =$$

$$1 = \underline{8} \cdot -1 \cdot 23$$

$$23 = 1 \cdot 15 + 8$$

$$15 = 1 \cdot 8 + 7$$

$$8 = 1 \cdot 7 + 1$$

$$7 = 7 \cdot 1 + 0$$

$$1 = 8 - 7$$

$$1 = (23 - 15) - (15 - 8)$$

$$1 = (23 - 15) - (15 - (23 - 15))$$

$$1 = 23 - 15 - 15 + 23 - 15$$

$$1 = \underbrace{-3}_{20} \cdot 15 + 2 \cdot 23$$

$$23 = 1 \cdot 22 + 1$$

$$22 = 22 \cdot 1 + 0$$

$$1 = 1 \cdot 23 \underbrace{-1}_{22} \cdot 22$$

Berechnen Sie die multiplikativen Inversen zu 3, 15 und 22 in Z_{24} .

$$\begin{aligned} 24 &= 3 \cdot 8 + 0 \\ \Rightarrow \neg \exists \text{ multiplikatives Inverses} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 24 &= 1 \cdot 15 + 9 \\ 15 &= 1 \cdot 9 + 6 \\ 9 &= 1 \cdot 6 + 3 \\ 6 &= 2 \cdot 3 + 0 \\ \Rightarrow \neg \exists \text{ multiplikatives Inverses} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 24 &= 1 \cdot 22 + 2 \\ 22 &= 11 \cdot 2 + 0 \\ \Rightarrow \neg \exists \text{ multiplikatives Inverses} \end{aligned}$$

Zeigen Sie, dass $(n-1)$ in Z_n bzgl. der Multiplikation zu sich selbst invers ist.

$$(n-1) \cdot (n-1) \equiv_n n^2 - 2n + 1 \quad (17)$$

$$\equiv_n 1 \pmod{n} \quad (18)$$

2.3. Aufgabe 3

Alphabet: ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ Alphabet: UEBRDNWOLKMSIFHTACGJPQVXYZ

Wind Nord-Ost, Startbahn null-drei,
 Bis hier hör ich die Motoren.
 Wie ein Pfeil zieht sie vorbei,
 Und es dröhnt in meinen Ohren.
 Und der nasse Asphalt bebt,
 Wie ein Schleier staubt der Regen,
 Bis sie abhebt und sie schwebt
 Der Sonne entgegen.
 Über den Wolken

Muß die Freiheit wohl grenzenlos sein.
 Alle Ängste, alle Sorgen, sagt man,
 Blieben darunter verborgen und dann
 Würde, was hier gross und wichtig erscheint,
 Plötzlich nichtig und klein.

2.4. Aufgabe 4

a.

Die Playfair-Verschlüsselung stellt eine Substitution für Buchstaben-Paare dar. Es handelt sich um eine bigraphische monoalphabetische Methode. Ähnlich wie bei der einfachen (monographischen) Buchstabensubstitution, beruhen Methoden zur Entzifferung von Playfair im Wesentlichen auf einer Analyse der Häufigkeitsverteilung hier der Buchstabenpaare (Bigramme). In der deutschen Sprache beispielsweise sind die Bigramme "er", "en" und "ch" sehr häufig. Im Beispieltext fallen die "Doppler" (also Bigramm-Wiederholungen) ME...ME, IK...IK, QC...QC und TE...TE sowie die "Reversen" (Wiederholung eines umgedrehten Bigramms) CQ...CQ auf, die sich in gleicher Weise im englischen Klartext wiederfinden. Da kein Buchstabe mit sich selbst gepaart wird, gibt es nur 600 (25×24) mögliche Buchstabenkombinationen, die substituiert werden. Überdies gibt es eine Reihe von Symmetrien, die teilweise schon am obigen Beispieltext erkannt werden können. So hilft der erwähnte Klartext-Geheimtext-Zusammenhang $EL \leftrightarrow CQ$ und $LE \leftrightarrow QC$ beim Bruch des Textes. Ist nämlich ein Bigramm geknackt, dann ist auch sofort das reverse (umgedrehte) Bigramm bekannt. In den Fällen des Überkreuz-Schrittes gibt es darüber hinaus noch weitere Beziehungen zwischen den vier auftretenden Buchstaben in der Art (vgl. beispielsweise obere linke Ecke des Quadrats) $DC \leftrightarrow EB$, $CD \leftrightarrow BE$, $EB \leftrightarrow DC$ sowie $BE \leftrightarrow CD$, die der Angreifer zur Entzifferung ausnutzen kann. Ferner hat auch die geschilderte Methode zur Erzeugung des Playfair-Quadrats Schwächen, denn es endet häufig – wie auch im Beispiel – auf "XYZ". Die Playfair-Verschlüsselung ist somit weit entfernt von einer allgemeinen bigraphischen Methode mit völlig willkürlicher Zuordnung der Buchstabenpaare und stellt in der heutigen Zeit kein sicheres Verschlüsselungsverfahren mehr dar. So lassen sich mit modernen Mitteln auch relativ kurze Playfair-Texte in sehr kurzer Zeit brechen.

2.5. Aufgabe 5

Herleitung des Gleichungssystems:

$$Hx_1 + Ix_2 = \ddot{A} \qquad Lx_1 + Lx_2 = U \qquad (19)$$

$$Hx_3 + Ix_4 = U \qquad Lx_3 + Lx_4 = K \qquad (20)$$

$$(21)$$

$$\begin{pmatrix} 7 & 8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 7 & 8 \\ 11 & 11 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 11 & 11 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 26 \\ 20 \\ 20 \\ 10 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 7 & 8 & 0 & 0 & 26 \\ 0 & 0 & 7 & 8 & 20 \\ 11 & 11 & 0 & 0 & 20 \\ 0 & 0 & 11 & 11 & 10 \end{pmatrix} \begin{matrix} \\ \leftarrow \\ \leftarrow \\ \leftarrow \end{matrix} \begin{pmatrix} 7 & 8 & 0 & 0 & 26 \\ 11 & 11 & 0 & 0 & 20 \\ 0 & 0 & 7 & 8 & 20 \\ 0 & 0 & 11 & 11 & 10 \end{pmatrix} \begin{matrix} | \cdot 7^{-1} = 25 \\ | \cdot 11^{-1} = 8 \\ | \cdot 7^{-1} = 25 \\ | \cdot 7^{-1} = 8 \end{matrix} \quad (22)$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 26 & 0 & 0 & 12 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 15 \\ 0 & 0 & 1 & 26 & 7 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 22 \end{pmatrix} \begin{matrix} \leftarrow \cdot^{-1} \\ \leftarrow + \\ \leftarrow \cdot^{-1} \\ \leftarrow + \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 26 & 0 & 0 & 12 \\ 0 & 4 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 1 & 26 & 7 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 22 \end{pmatrix} \begin{matrix} \\ | \cdot 4^{-1} = 22 \\ \\ | \cdot 4^{-1} = 22 \end{matrix} \quad (23)$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 26 & 0 & 0 & 12 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 8 \\ 0 & 0 & 1 & 26 & 7 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 11 \end{pmatrix} \begin{matrix} \leftarrow + \\ \leftarrow \cdot^{-26} \\ \leftarrow + \\ \leftarrow \cdot^{-26} \end{matrix} \begin{pmatrix} 7 \\ 8 \\ 11 \\ 11 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H \\ I \\ L \\ L \end{pmatrix} \quad (24)$$

Bildung der Inversen K^{-1}

$$\begin{pmatrix} 7 & 8 & 1 & 0 \\ 11 & 11 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{matrix} | \cdot 7^{-1} = 25 \\ \\ \\ \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 26 & 25 & 0 \\ 11 & 11 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{matrix} \leftarrow \cdot 11^1 \\ \leftarrow + \\ \\ \end{matrix} \\ \begin{pmatrix} 1 & 26 & 25 & 0 \\ 0 & 15 & 15 & 1 \end{pmatrix} \begin{matrix} \leftarrow \cdot 15^{-1} = 2 \\ \leftarrow + \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 28 & 6 \\ 0 & 1 & 1 & 2 \end{pmatrix} \\ K^{-1} = \begin{pmatrix} 28 & 6 \\ 1 & 2 \end{pmatrix} \quad (25)$$

Lösung: HILLSTEINFACHZUKNACKEN

2.6. Aufgabe 6

a. Warum gilt für zufällige Texte $I_r = \frac{1}{26} = 0.0385$?

Wirklicher Zufall würde bedeuten dass jeder Buchstaben $a \in A$ gleich oft im Text vorkommt. Folglich handelt es sich um einen Laplace-Raum (wie beim Würfel) und die Wahrscheinlichkeit für $P(X = a) = \frac{1}{|A|}$. In unseren Fall ist $|A| = 26$.

b.

c.

2.7. Übungsaufgabe: One-Time-Pad

$$P_1 = hike = 001\ 010\ 011\ 000 \quad (26)$$

$$P_2 = rike = 101\ 010\ 011\ 000 \quad (27)$$

$$C = eier = 000\ 010\ 000\ 101 \quad (28)$$

$$K = klet = 011\ 100\ 000\ 111 \quad (29)$$

$$(30)$$

a.

$$001\ 010\ 011\ 000 \text{ xor} \quad (31)$$

$$000\ 010\ 000\ 101 = \quad (32)$$

$$001\ 000\ 011\ 101 = hekr \quad (33)$$

$$101\ 010\ 011\ 000 \text{ xor} \quad (34)$$

$$000\ 010\ 000\ 101 = \quad (35)$$

$$101\ 000\ 011\ 101 = rekr \quad (36)$$

b.

$$001\ 010\ 011\ 000 \text{ xor} \quad (37)$$

$$011\ 100\ 000\ 111 = \quad (38)$$

$$010\ 110\ 011\ 111 = iskt \quad (39)$$

$$101\ 010\ 011\ 000 \text{ xor} \quad (40)$$

$$011\ 100\ 000\ 111 = \quad (41)$$

$$110\ 110\ 011\ 010 = sski \quad (42)$$

c.

wenn $C_{1_i} = C_{2_i} \Rightarrow P_{1_i} = P_{2_i}$

$$C_1 \text{ xor } C_2 = (P_1 \text{ xor } K) \text{ xor } (P_2 \text{ xor } K) = P_1 \text{ xor } P_2 \quad (43)$$

d.

$$K = C_1 \text{ xor } P_1 \quad (44)$$

$$C_2 \text{ xor } K = P_2 \quad (45)$$

2.8. Skytale

a.

$$E(k, x_1, \dots, x_{km}) = \quad (46)$$

$$x_1 x_{m+1} x_{2m+1} \dots x_{(k-1)m+1} x_2 x_{m+2} x_{2m+2} \dots x_{(k-1)m+2} \dots x_m x_{2m} x_{3m} \dots x_{km} \quad (47)$$

$$\begin{pmatrix} x_1 & x_2 & \cdots & x_m \\ x_{m+1} & x_{m+2} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{(k-1)m+1} & x_{(k-1)m+2} & \cdots & x_{km} \end{pmatrix} \quad (48)$$

Ist die Klartextlänge kein Vielfaches von k , so kann der Klartext durch das Ein- bzw. Anfügen von sogenannten Blendern (Füllzeichen) verlängert werden. Damit der Empfänger diese Füllzeichen nach der Entschlüsselung wieder entfernen kann, ist lediglich darauf zu achten, dass sie im Klartext leicht als solche erkennbar sind.

3. Moderne Symmetrische Chiffren

3.1. Lineare Abbildungen

3.2. Feistel-Cipher

a.

$F : \{0, 1\}^4 \times \{0, 1\}^4 \rightarrow \{0, 1\}^4$ mit $F(X, Y) = X \text{ xor } Y$

die Rundenzahl $n = 2$,

der Plaintext $P = 10011100$ und

die Rundenschlüssel $K_1 = 0101$ und $K_2 = 1100$.

Berechnen Sie den Ciphertext C .

$$L_i = R_{i-1} \quad (49)$$

$$R_i = L_{i-1} \text{ xor } F(R_{i-1}, K_i) \quad (50)$$

Rnd	K_i	L_i	R_i
0	—	1001	1100
1	0101	1100	0000
2	1100	0000	0000

Berechnen Sie aus C wieder den Plaintext P .

$$R_i = L_{i+1} \quad (51)$$

$$L_i = R_{i+1} \text{ xor } F(R_i, K_{i+1}) \quad (52)$$

Rnd	K_i	L_i	R_i
2	1100	0000	0000
1	0101	1100	0000
0	—	1001	1100

b.

Eine Feistel-Funktion ist definiert durch $F(X, Y) = X$. Berechnen Sie den Ciphertext C in Abhängigkeit von einer beliebigen Rundenzahl n und dem Plaintext $P = (L_0, R_0)$

Wie gut ist die dadurch erreichte Verschlüsselung?

Rnd	K_i	L_i	R_i
0	—	a	b
1	—	b	$b \text{ xor } a$
2	—	$b \text{ xor } a$	a
3	—	a	b

$$f(n, (a, b)) = \begin{cases} (a, b), & n \bmod 3 = 0 \\ (b, b \text{ xor } a), & n \bmod 3 = 1 \\ (b \text{ xor } a, a), & n \bmod 3 = 2 \end{cases} \quad (53)$$

3.3. DES-Details

a. Zeigen Sie, dass die DES-Expansionspermutation eine lineare Abbildung ist.

$$A = \begin{pmatrix} 31 & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 11 & 12 & 13 & 14 & 15 & 16 \\ 15 & 16 & 17 & 18 & 19 & 20 & 19 & 20 & 21 & 22 & 23 & 24 \\ 23 & 24 & 25 & 26 & 27 & 28 & 27 & 28 & 29 & 30 & 31 & 0 \end{pmatrix} \quad (54)$$

Sei $P \in \mathbb{N}^{32 \times 48}$ die entsprechende Permutationsmatrix für A und $f : A^{32} \rightarrow A^{48}$, $x \mapsto P \cdot x$ die Permutationsfunktion.

zZ: f ist linear

Sei $x, y \in A^{32}$ mit $x = (x_0, x_1, \dots, x_{31})$ und $y = (y_0, y_1, \dots, y_{31})$ dann ist

$$f(\alpha x) = \begin{pmatrix} \alpha x_{31} & \alpha x_0 & \cdots & \alpha x_8 \\ \alpha x_7 & \alpha x_8 & \cdots & \alpha x_{16} \\ \alpha x_{15} & \alpha x_{16} & \ddots & \vdots \\ \alpha x_{23} & \alpha x_{24} & \cdots & \alpha x_0 \end{pmatrix} \quad (55)$$

$$= \alpha \begin{pmatrix} x_{31} & x_0 & \cdots & x_8 \\ x_7 & x_8 & \cdots & x_{16} \\ x_{15} & x_{16} & \ddots & \vdots \\ x_{23} & x_{24} & \cdots & x_0 \end{pmatrix} \quad (56)$$

$$= \alpha f(x) \quad (57)$$

$$f(x + y) = \begin{pmatrix} x_{31} + y_{31} & x_0 + y_0 & \cdots & x_8 + y_8 \\ x_7 + y_7 & x_8 + y_8 & \cdots & x_{16} + y_{16} \\ x_{15} + y_{15} & x_{16} + y_{16} & \ddots & \vdots \\ x_{23} + y_{23} & x_{24} + y_{24} & \cdots & x_0 + y_0 \end{pmatrix} \quad (58)$$

$$= \begin{pmatrix} x_{31} & x_0 & \cdots & x_8 \\ x_7 & x_8 & \cdots & x_{16} \\ x_{15} & x_{16} & \ddots & \vdots \\ x_{23} & x_{24} & \cdots & x_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} y_{31} & y_0 & \cdots & y_8 \\ y_7 & y_8 & \cdots & y_{16} \\ y_{15} & y_{16} & \ddots & \vdots \\ y_{23} & y_{24} & \cdots & y_0 \end{pmatrix} \quad (59)$$

$$= f(x) + f(y) \quad (60)$$

#

b. Zeigen Sie, dass die DES S-Boxen keine lineare Abbildung sind.

zZ. S_i ist nicht linear. Wir nehmen die S1-Box und sei $x = 0 \wedge \alpha = 2$

$$S1(\alpha x) = S1(000000_2) \quad (61)$$

$$= 1110_2 = 14_{10} \quad (62)$$

$$\alpha S1(x) = 2 S1(000000_2) \quad (63)$$

$$= 2_{10} * 1110_2 = 28_{10} \quad (64)$$

$$\Rightarrow S1(\alpha x) \neq \alpha S1(x) \quad (65)$$

#

c. Geben Sie für die DES-Permutation die Zykelschreibweise an.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 & 15 & 16 & 17 & 18 & 19 & 20 & 21 & 22 \\ 15 & 6 & 19 & 20 & 28 & 11 & 27 & 16 & 0 & 14 & 22 & 25 & 4 & 17 & 30 & 9 & 1 & 7 & 23 & 13 & 31 & 26 & 2 \end{pmatrix} \quad (66)$$

$$\text{Zyklen: } (0\ 15\ 9\ 14\ 30\ 3\ 20\ 31\ 24\ 18\ 23\ 8)(1\ 6\ 27\ 5\ 11\ 25\ 12\ 4\ 28\ 21\ 26\ 29\ 10\ 22\ 2\ 19\ 13\ 17\ 7\ 16) \quad (67)$$

d. Zeigen Sie, dass für den DES Schlüssel $K = 0xE0E0E0E0F1F1F1F1$ (inklusive Parity-Bits) alle Rundenschlüssel identisch sind. Warum gilt in diesem Fall $DES(K, DES(K, M)) = M$ (d.h. Ver- und Entschlüsselung sind identisch)?

$$K = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \xrightarrow{PC1} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (68)$$

Da alle in den folgenden Runden lediglich zu Spaltentransposition kommt und jede Spalte gleich sind, sind alle C_i, D_i für alle $1 \leq i \leq 16$.

3.4. A5/1

$$X = (x_0, x_1, \dots, x_{18}) = (10101010101010101) \quad (69)$$

$$Y = (y_0, y_1, \dots, y_{21}) = (1100110011001100110011) \quad (70)$$

$$Z = (z_0, z_1, \dots, z_{22}) = (11100001111000011110000) \quad (71)$$

```

while True do
    m = maj(x8, y10, z10);
    if x8 = m then
        t = x13 xor x16 xor x17 xor x18;
        shift t into X;
    if y10 = m then
        t = y20 xor y21;
        shift t into Y;
    if z10 = m then
        t = z7 xor z20 xor z21 xor z22;
        shift t into Y;
    ki = x18 xor y21 xor z22;

```

a.

Rnd	<i>x</i> ₈	<i>y</i> ₁₀	<i>z</i> ₁₀	<i>m</i>	<i>X'</i>	<i>Y'</i>	<i>Z'</i>	Bit
1	1	0	1	1	010101010101010101	110011001100110011	011100001111000011110000	1
2	0	0	1	0	001010101010101010	0110011001100110011	011100001111000011110000	0
3	1	1	1	1	100101010101010101	0011001100110011001	101110000111100001111000	0

b.

```
package ueb4;
```

```

public class A51 {
    ShiftRegister x, y, z;

    public A51() {
        x = new ShiftRegister(19, 349525);
        y = new ShiftRegister(22, 3355443);
        z = new ShiftRegister(23, 7401712);
    }

    public int maj(int i, int j, int k) {
        if ((i == 0 && j == 0) || (j == 0 && k == 0) || (i == 0 && k == 0))
            return 0;
        return 1;
    }

    public int next() {
        System.out.format("\t%d_%d_%d\n", x.get(8), y.get(10), z.get(10));
        int m = maj(x.get(8), y.get(10), z.get(10));

```

```

        System.out.println("M:" + m);

        if (m == x.get(8)) {
            int t = x.get(13) ^ x.get(16) ^ x.get(17) ^ x.get(18);
            x.push(t);
        }
        if (m == y.get(10)) {
            int t = y.get(20) ^ y.get(21);
            y.push(t);
        }

        if (m == z.get(10)) {
            int t = z.get(7) ^ z.get(20) ^ x.get(21) ^ x.get(22);
            z.push(t);
        }
        return (x.get(18) ^ y.get(21) ^ z.get(22));
    }

    @Override
    public String toString() {
        return "x:␣" + x + "\ny:␣" + y + "\nz:␣" + z;
    }

    public static void main(String[] args) {
        A51 c = new A51();

        System.out.println(c);

        for (int i = 0; i < 3; i++) {
            System.out.println(c.next());
            System.out.println(c);
        }
        System.out.println();
    }

    private static void checkBin(int i) {
        if (i != 0 && i != 1)
            throw new IllegalArgumentException();
    }

    class ShiftRegister {
        int reg;
        final int size;
    }

```

```

    public ShiftRegister(int size, int content) {
        if (size >= 64)
            throw new IllegalArgumentException();
        this.size = size;
        reg = content;
    }

    public void push(int t) {
        checkBin(t);
        reg = (reg << 1) + t;
    }

    public int get(int i) {
        return (int) ((reg >> i) & 1);
    }

    @Override
    public String toString() {
        StringBuilder b = new StringBuilder();
        for (int i = 0; i < size; i++) {
            b.append(get(i));
        }
        return b.toString();
    }
}

```

3.5. RC4

```

package ueb4;

import java.util.Arrays;

import com.panayotis.gnuplot.*;
import com.panayotis.gnuplot.plot.*;
import com.panayotis.gnuplot.style.*;
import com.panayotis.gnuplot.terminal.*;

public class RC4 {
    int[] k, s = new int[256];
    byte L;

    public RC4(int[] k2) {
        this.k = k2;
    }
}

```

```

        L = (byte) k2.length;
        init();
    }

    private void init() {
        for (int i = 0; i < s.length; i++) {
            s[i] = (i % 256);
            assert s[i] >= 0;
        }
        int j = 0;
        for (int i = 0; i < s.length; i++) {
            j = (j + s[i] + k[i % L]) % 256;
            swap(s, j, i);
        }
    }

    private void swap(int[] b, int j, int i) {
        int t = b[i] % 256;
        b[i] = b[j];
        b[j] = t;
    }

    public void next(int[] ciph) {
        int i = 0, j = 0;
        for (int n = 0; n < ciph.length; n++) {
            i = (i + 1) % 256;
            j = (j + s[i]) % 256;
            swap(s, i, j);
            int rand = s[(s[i] + s[j]) % 256];
            ciph[n] = rand;
        }
    }

    @Override
    public String toString() {
        return Arrays.toString(s);
    }

    private static void plot(String file, int k[]) {
        JavaPlot plot = new JavaPlot();
        double[][] data = new double[k.length][2];
        for (int i = 0; i < k.length; i++) {
            data[i][0] = i;
            data[i][1] = k[i];
        }
    }

```

```

    }

    plot.setTitle("Chaos_of_Perumation");
    plot.setTerminal(new FileTerminal("pdf", file));

    DataSetPlot dataP = new DataSetPlot(data);
    PlotStyle ps = new PlotStyle(Style.POINTS);
    ps.setLineType(NamedPlotColor.DARKRED);
    dataP.setPlotStyle(ps);
    dataP.setTitle("");
    plot.addPlot(dataP);

    FunctionPlot dataL = new FunctionPlot("x");
    PlotStyle rp = new PlotStyle(Style.LINES);
    rp.setLineType(NamedPlotColor.GRAY);
    rp.setLineWidth(3);
    dataL.setPlotStyle(rp);
    dataL.setTitle("");
    plot.addPlot(dataL);

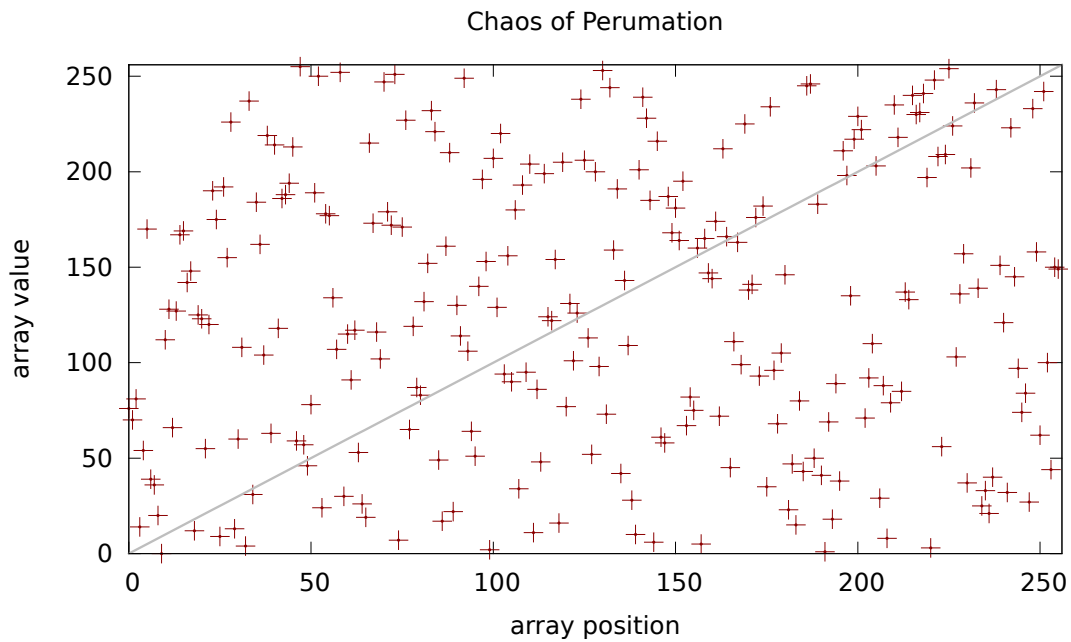
    plot.getAxis("x").setLabel("array_position");
    plot.getAxis("x").setBoundaries(0, k.length);
    plot.getAxis("y").setLabel("array_value");
    plot.getAxis("y").setBoundaries(0, k.length);

    // GNUPlot.getDebugger().setLevel(Debug.VERBOSE);
    plot.plot();
}

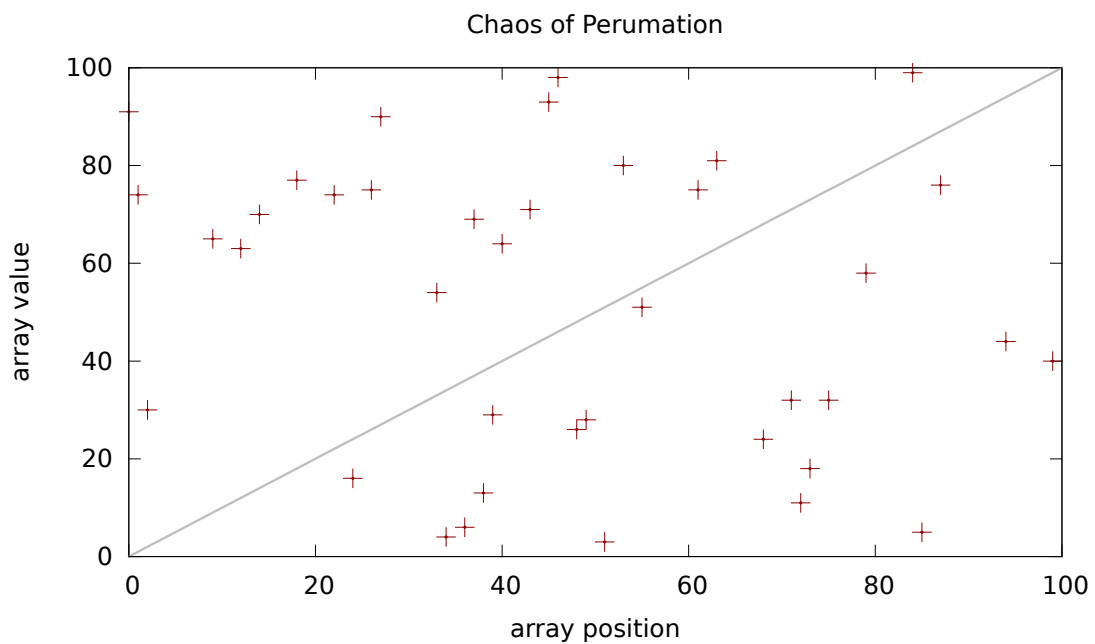
public static void main(String[] args) {
    int k[] = { 0x1A, 0x2B, 0x3C, 0x4D, 0x5E, 0x6F, 0x77 };
    RC4 rc4 = new RC4(k);
    System.out.println("S:"+rc4);
    // plot("beforerc4.pdf", rc4.s);
    int b[] = new int[100];
    rc4.next(b);
    plot("rc4-key-seq.pdf", b);
    System.out.println("S:" +rc4);
    // plot("afterrc4.pdf", rc4.s);
    System.out.println(Arrays.toString(b));
}
}

```

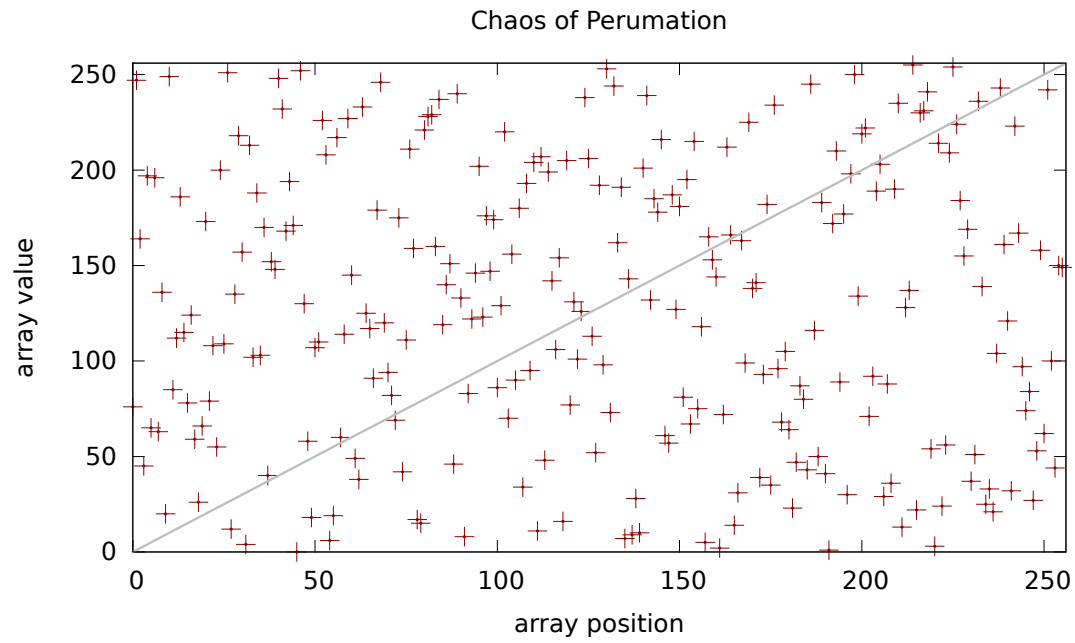
a. Listen Sie die Permutation S nach der Initialisierung auf.



b. Generieren Sie 100 Schlüsselbytes.



c. Listen Sie die Permutation S erneut auf.



4. Hashfunktionen und MACs

4.1. Funktionsweise von Hash-Funktionen

$$Y = 11110 \quad (72)$$

$$F : \{0, 1\}^4 \rightarrow \{0, 1\}^2, \quad (73)$$

$$(x_1, x_2, x_3, x_4) \mapsto (x_1 \text{ xor } x_4, x_2 \text{ xor } x_3) \quad (74)$$

x_1	x_2	x_3	x_4	$F(x_1, x_2, x_3, x_4)$
0	0	1	1	11
1	1	1	1	00
0	0	0	0	00

4.2. Kollisionen und Preimage-Angriffe

$$X = (X_0, X_1, X_2, \dots, X_{n-1})$$

$$H(X) = nX_0 + (n-1)X_1 + (n-2)X_2 + \dots + 2X_{n-2} + X_{n-1} \mod 256 = \sum_{i \geq 0}^n (n-i)X_i \mod 256$$

- a. Berechnen Sie $H(X)$ für die Nachricht "FHT4ever". Interpretieren Sie dabei jeden Buchstaben als seinen 8 Bit ASCII-Wert.

$$X = (70, 72, 84, 52, 101, 118, 101, 114) \quad (75)$$

$$H(X) = 8 \cdot 70 + 7 \cdot 72 + 6 \cdot 84 + 5 \cdot 52 + 4 \cdot 101 + 3 \cdot 118 + 2 \cdot 101 + 114 \quad (76)$$

$$= 560 + 504 + 504 + 260 + 404 + 354 + 202 + 114 \quad (77)$$

$$= 48 + 248 + 248 + 4 + 148 + 98 + 202 + 114 \quad (78)$$

$$= 86 \quad (79)$$

$$H = \lambda x: \text{sum}([(len(x)-i)*ord(e)\%256 \text{ for } i, e \text{ in enumerate}(x)])\%256$$

- b. Finden Sie eine andere (sinnvolle) Nachricht, die den gleichen Hashwert wie "FHT4ever" hat.

$$H(Uni4ever) = 86$$

- c. Gegeben sei $h(X) = 42$, wobei $X = (X_0, X_1, X_2)$. Finden Sie ein $Y = (Y_0, Y_1, Y_2)$ mit $X \neq Y \wedge h(Y) = h(X)$.

- d. Finden Sie eine weitere Kollision.

$$H(X) = 42 = (3X_1 + 2X_2 + X_1) \mod 256 \quad (80)$$

Folgende Tabelle gibt Tupeln $X = (X_0, X_1, X_2)$ mit $H(X) = 42$ an. Insgesamt existieren 65536 Kollision (ExhaustedSearch).

```

c = [ (x,y,z) for x in range(256)
      for y in range(256)
      for z in range(256)
      if (3*x+2*y+z) % 256==42 ]
print len(c)

```

X_1	X_2	X_3
96	166	190
96	167	188
96	168	186

4.3. Das Online-Auktionshaus

a. Denken Sie sich ein möglichst einfaches Verfahren aus, das auf einer Hash-Funktion beruht.

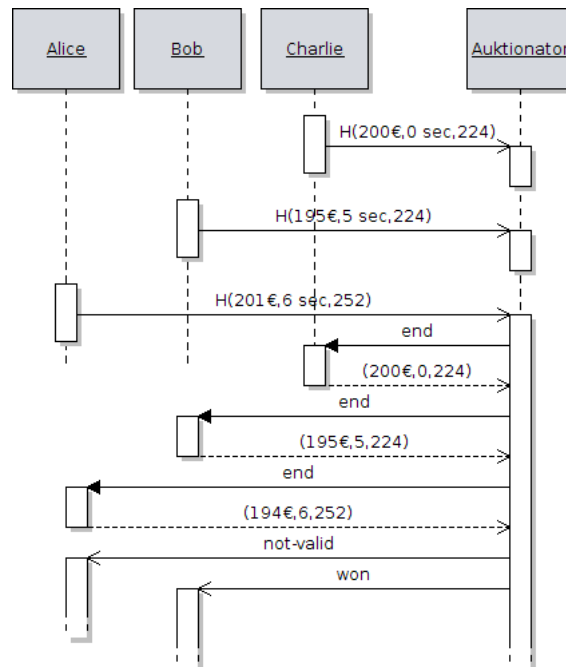
Ein Gebot ist ein Hashwert bestehend aus: Betrage, Timestamp und Nonce

$$H(\text{bid} \circ \text{time} \circ \text{salt}) = Y$$

Die anderen Bieter können nicht errechnen welchen Betrag ein Bieter geboten hat, da die Umkehrung von H nicht möglich ist.

Sobald die Bieterrunde geschlossen wird, schickt jeder Bieter sein Gebot, Timestamp und Nonce zum Auktionator. Dieser kann nun die Hashwerte der Gebote überprüfen und den günstigen Bieter ermitteln.

Folgendes Bild zeigt ein Beispielablauf einer Auktion.



Im Beispiel sehen, dass Alices Gebot abgelehnt wird da

$$H(201 \circ \dots) = H(196 \circ \dots)$$

Sowie das Bob gewinnt, da er das günstigste Gebot abgeben hat.

b. Welche Angriffe gibt es trotzdem noch auf das Verfahren?

- Man-in-the-Middle Attake aufgrund fehlender Authentizität.
- Störungen des Übertragungskanals
- ohne Timetamp wäre Replayangriffe möglich
- ohne Salt wäre die Authentifizierung komplett ausgehebelt

4.4. Datenbankschutz durch Verschlüsselung und Hash-Funktionen

```
— Alexander Weigl <weigla@fh-trier.de>
— Date: 2011-05-02
— Simple membership management with crypto functions on mysql
— call: mysql -u <user> -p<password> < member.db.sql
—         for creation
```

```
drop database if exists krypt;
create database krypt;
use krypt;
```

```
CREATE TABLE members (
  idx varchar(40) not null primary key comment 'sha1_key_of_lastname',
  data varchar(1000) not null unique comment 'encrypted_data_from_person'
);
```

```
DELIMITER //
```

```
CREATE FUNCTION getMember (lastname varchar(40) )
RETURNS varchar(256)
BEGIN
  DECLARE tmp VARCHAR(1000);
  SELECT data FROM members
  WHERE idx = SHA1(lastname) INTO tmp;
  RETURN AES.DECRYPT(tmp, lastname);
END; //
```

```
CREATE PROCEDURE saveMember(IN lastname varchar(40)
, IN data varchar(256) )
```

```
BEGIN
```

```
  DECLARE k VARCHAR(40);
```

```
  DECLARE v VARCHAR(1000);
```

```
  SET v= AES.ENCRYPT(data, lastname);
```

```
  SET k= SHA1(lastname);
```

```
  INSERT INTO members VALUES (k, v);
```

```
END; //
```

```
delimiter ;
```

```
CALL saveMember("Weigl", "Alexander_Weigl_—_Hornstr_11_—_54294_Trier");
```

```
CALL saveMember("Wambach", "Tim_Wambach_—_Somewhere_...");
```

```
CALL saveMember("Kuenkler", "Andreas_Kuenkler_—_Somewhere_...");
```

```
CALL saveMember("Knor", "Konstantin_Knor_—_Somewhere_...");
```

```
CALL saveMember("Yuen", "Timmy_Wai_Hong_Yuen_—_Am_Bahnhof,_im_schlimmen_Vier
```

```
SELECT * FROM members;
```

```
SELECT getMember("Weigl");
```

```
SELECT getMember("Yuen");
```

4.5. kryptologische Absicherung der Prüfungsvorleistung

a. Das Verfahren ist bisher kryptologisch nicht gesichert. Welche Angriffe sind denkbar?

- Identitätsdiebstahl, man verwendet den Zettel eines anderen
- Replikation des eigenen Scheines mit Fälschung des Ergebnisses
- Replikation eines anderen Scheines Fälschung der persönlichen Angaben

b. Sichern Sie das Verfahren kryptologisch ab. Der Professor soll die "Echtheit" der Bescheinigung möglichst einfach prüfen können.

(1) Auf dem Schein wird ein QR-Code abgedruckt der einen Hash mit den Angaben auf dem Schein und einen geheimen Saltwert beinhaltet. Dies kann mit einem Handy leicht geprüft. Überprüfung der Identität ist weiterhin erforderlich.

(2) Verfahren (1) kann auch als Hex-Zeichen aufgedruckt werden.

(3) $H(\text{Matrikel}, \text{Bestanden}, \text{Salt}) = (\text{Matrikel} + \text{Bestanden} + \text{Salt} \bmod N)$