

KRYPTOLOGIE MIT CRYPTOOOL v1.4.20

Einführung in Kryptographie und Kryptoanalyse

Umfang, Technik und Zukunft von CrypTool

www.cryptool.com

www.cryptool.de

www.cryptool.org

www.cryptool.pl

www.iec.csic.es/cryptool

Prof. Bernhard Esslinger und CrypTool-Team, 2008

Übersicht (I)

I. CrypTool und Kryptologie – Überblick

1. Das CrypTool-Projekt
2. Bedeutung der Kryptographie und Beispiele klassischer Verfahren
3. Erkenntnisse aus der Entwicklung der Kryptographie

II. Was bietet CrypTool?

1. Überblick
2. Beispiele zur Interaktion
3. Herausforderungen für Entwickler

III. Ausgewählte Beispiele

1. RSA-Verschlüsselung / SSL
2. Elektronische Signatur visualisiert
3. Angriff auf RSA-Verschlüsselung
4. Psiion-Analyse
5. Schwache DES-Schlüssel
6. Auffinden von NSA-Keys
7. Finden von Hashkollisionen
8. Authentifizierungsarten
9. Seitenkanalangriffs-Demo

(...)



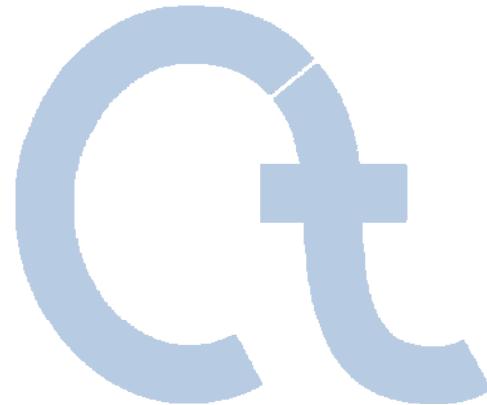
Übersicht (II)

III. Ausgewählte Beispiele

- 10.** Angriffe auf RSA per Gitterreduktion
- 11.** Zufallsanalyse mit 3-D Visualisierung
- 12.** Secret Sharing als Anwendung des Chinesischen Restsatzverfahrens und nach Shamir
- 13.** Anwendung des CRT in der Astronomie
- 14.** Visualisierung von Verfahren mit ANIMAL
- 15.** Visualisierung von AES
- 16.** Visualisierung der Enigma-Verschlüsselung
- 17.** Erzeugung eines MAC
- 18.** Hash-Demo
- 19.** Lernprogramm zu Zahlentheorie und asymmetrischer Verschlüsselung
- 20.** Punktaddition auf elliptischen Kurven
- 21.** Passwort-Qualitätsmesser
- 22.** Brute-Force-Analyse
- 23.** CrypTool Online-Hilfe

IV. Projekt / Ausblick / Kontakt





- I. CrypTool und Kryptologie – Überblick
- II. Was bietet CrypTool?
- III. Ausgewählte Beispiele
- IV. Projekt / Ausblick / Kontakt

Definition Kryptologie und Kryptographie

Kryptologie (vom Griechischen *kryptós*, "versteckt," und *lógos*, "Wort") ist die Wissenschaft von sicherer (allgemein geheimer) Kommunikation. Diese Sicherheit bedingt, dass die berechtigten Teilnehmer in der Lage sind, eine Nachricht mit Hilfe eines Schlüssels in einen Geheimtext zu transferieren und zurück. Obwohl der Geheimtext für jemand ohne den geheimen Schlüssel unlesbar und unfälschbar ist, kann der berechtigte Empfänger entweder das Chiffrat entschlüsseln, um die den verborgenen Klartext wieder zu erhalten, oder verifizieren, dass die Nachricht aller Wahrscheinlichkeit nach von jemand geschickt wurde, der den richtigen Schlüssel besaß.

Kryptographie beschäftigte sich ursprünglich damit, für Vertraulichkeit von geschriebenen Nachrichten zu sorgen. Die kryptographischen Prinzipien werden jedoch genauso angewandt, um den Informationsfluss zwischen Computern oder Fernsehsignalen zu verschlüsseln. ... Heutzutage liefert die moderne (mathematische) Wissenschaft der Kryptologie nicht nur Verfahren zur Verschlüsselung, sondern auch zur Integrität, für elektronische Signaturen, für Zufallszahlen, sicheren Schlüsselaustausch, sichere Container, elektronische Wahlen und elektronisches Geld. Damit kommen diese Verfahren in einer breiten Palette von Anwendungen des modernen Lebens zum Einsatz.

Quelle: Britannica (www.britannica.com)

Ähnliche Definitionen finden sich auch auf Wikipedia:

- <http://de.wikipedia.org/wiki/Kryptologie>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Kryptografie>

Bedeutung der Kryptographie

Einsatzbeispiele für Kryptographie

- Telefonkarten, Handys, Fernbedienungen
- Geldautomaten, Geldverkehr zwischen Banken
- Electronic cash, Online-Banking, Sichere E-Mail
- Satellitenfernsehen, PayTV
- Wegfahrsperrre im Auto
- Digital Rights Management (DRM)
- Kryptographie ist schon lange nicht mehr nur auf Agenten, Diplomaten und Militärs begrenzt. Kryptographie ist eine moderne, mathematisch geprägte Wissenschaft.
- Der Durchbruch für den breiten Einsatz kam mit dem Internet.
- Für Firmen und Staaten ist es wichtig, dass sowohl die Anwendungen sicher sind, als auch, dass ...



... die Nutzer (Kunden, Mitarbeiter) ein Mindestverständnis und Bewusstsein (Awareness) für IT-Sicherheit besitzen!

CrypTool-Projekt

- Ursprung im Awareness-Programm einer Großbank (betriebliche Ausbildung)
→ **Sensibilisierung der Mitarbeiter**
- Entwickelt in Kooperation mit Hochschulen (Verbesserung der Lehre)
→ **Mediendidaktischer Anspruch**
 - 1998 – **Projektstart** – Aufwand bisher mehr als 30 Mannjahre
 - 2000 – CrypTool als **Freeware** verfügbar für Windows
 - 2002 – CrypTool auf der **Bürger-CD des BSI** „Ins Internet – mit Sicherheit“
 - 2003 – CrypTool wird **Open-Source** – Hosting durch die Uni Darmstadt (Fr. Prof. Eckert)
 - 2007 – CrypTool in deutsch, englisch, polnisch und spanisch
 - 2008 – .NET-Version und Java-Version – Hosting durch die Uni Duisburg (Hr. Prof. Weis)

▪ Auszeichnungen

- | | | |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2004 TeleTrusT | (TTT Förderpreis) |  |
| 2004 NRW | (IT-Sicherheitspreis NRW) |  Ministerium für Innovation,
Wissenschaft, Forschung
und Technologie des Landes
Nordrhein-Westfalen |
| 2004 RSA Europe | (Finalist beim European Information Security Award) |  |
| 2008 "Ausgewählter Ort" | bei der Standortinitiative "Deutschland – Land der Ideen" |  |

▪ Entwickler

- Entwickelt von Mitarbeitern verschiedener Firmen und Universitäten, Schülern + Studenten
- Weitere Projekt-Mitarbeiter oder verwertbare vorhandene Sourcen sind immer herzlich willkommen (z.Zt. arbeiten ca. 30 Leute weltweit mit).

Sicherheitsziele der Kryptographie

■ Vertraulichkeit (*Confidentiality*)

- Lesen des eigentlichen Inhalts für Unbefugte „praktisch“ unmöglich machen

■ Authentifizierung (*Authentication*)

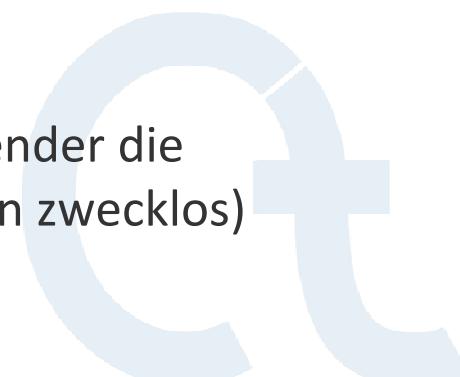
- Identitätsbeweis des Senders gegenüber dem Empfänger einer Nachricht

■ Integrität (*Integrity*)

- Eigenschaft, die bedeutet, dass die Nachricht nicht verändert wurde

■ Verbindlichkeit (*Non-Repudiation*)

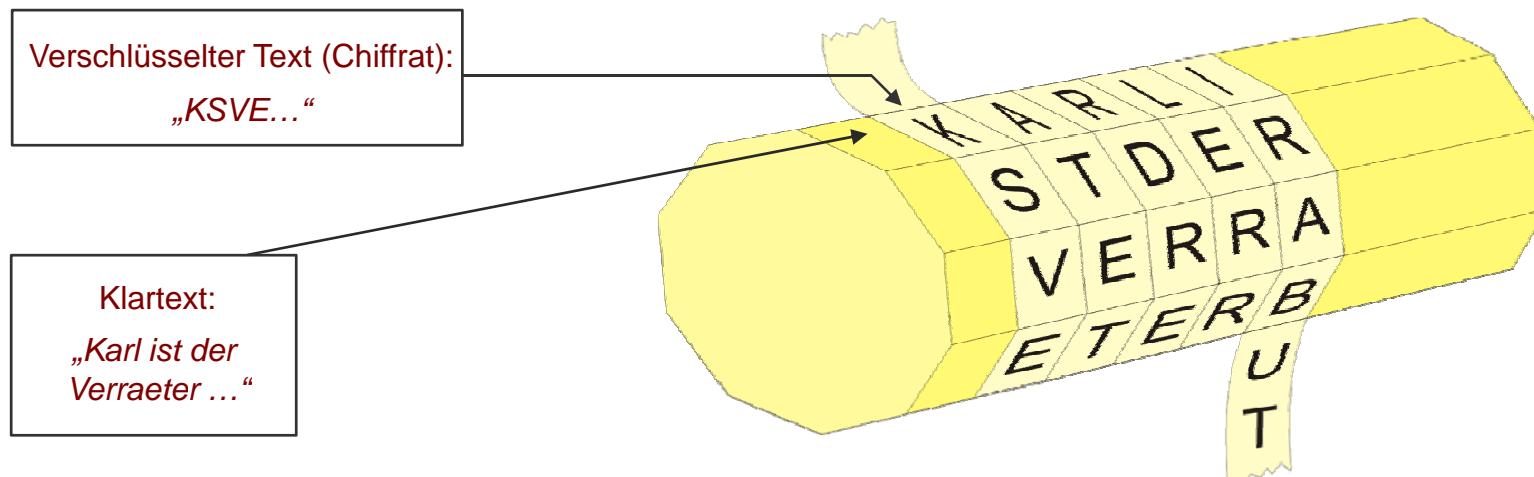
- Der Empfänger kann den Nachweis erbringen, dass der Sender die Nachricht mit identischem Inhalt abgeschickt hat (Leugnen zwecklos)



Beispiele aus der klassischen Kryptographie (1)

Älteste bekannte Verschlüsselungsverfahren

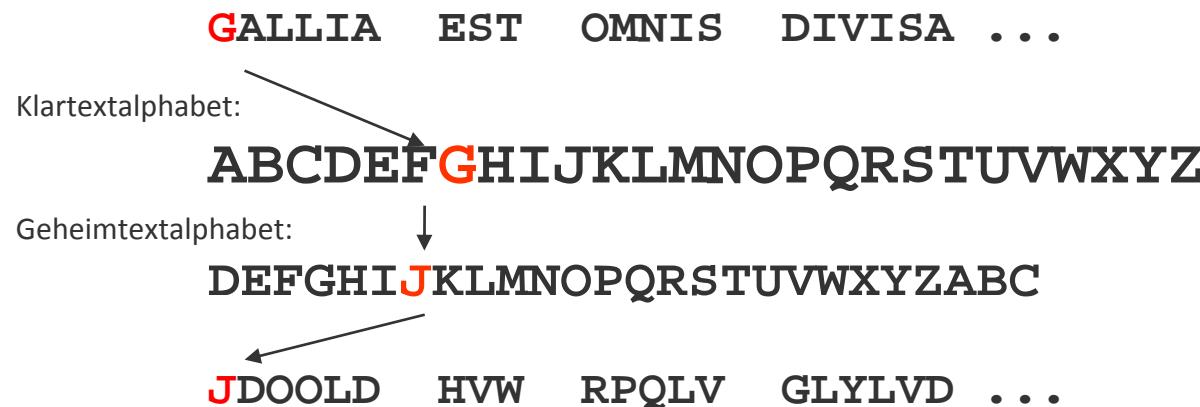
- **Kahlgeschorener Sklave**
- **Atbash** (um 600 v. Chr.)
 - Hebräische Geheimschrift, umgedrehtes Alphabet
- **Skytale von Sparta** (etwa 500 v. Chr.)
 - Beschrieben vom griechischen Historiker/Schriftsteller Plutarch (45 - 125 n. Chr.)
 - Zwei Zylinder (Holzstäbe) mit gleichem Durchmesser
 - Transposition (Zeichen des Klartextes werden umsortiert)



Beispiele aus der klassischen Kryptographie (2)

Caesar-Verschlüsselung (mono-alphabetische Substitution)

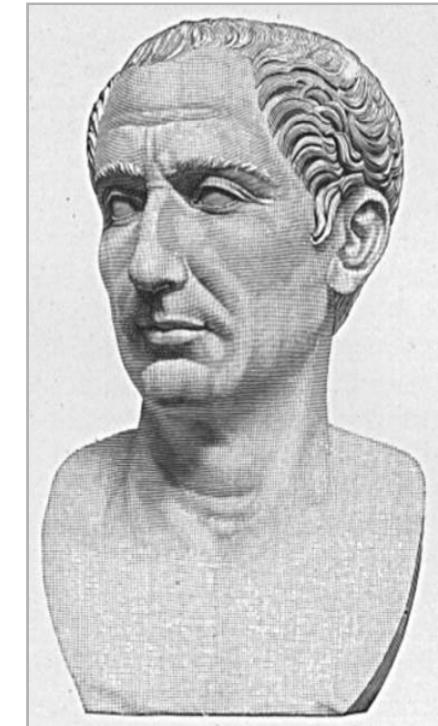
- **Caesar-Verschlüsselung** (Julius Cäsar, 100 - 44 v.Chr.)
- Einfache Substitutionschiffre



- **Angriff:** Häufigkeitsanalyse (typische Verteilung von Zeichen)

Vorführung mit CrypTool über folgende Menüs:

- Animation: „Einzelverfahren“ \ „Visualisierung von Algorithmen“ \ „Caesar“
- Anwendung: „Ver-/Entschlüsseln“ \ „Symmetrisch (Klassisch)“ \ „Caesar / Rot-13“



Beispiele aus der klassischen Kryptographie (3)

Vigenère-Verschlüsselung (poly-alphabetische Substitution)

- **Vigenère-Verschlüsselung** (Blaise de Vigenère, 1523-1596)
- Verschlüsselung mit einem Schlüsselwort unter Nutzung einer Schlüsseltabelle
- Beispiel:
Schlüsselwort: **CHIFFRE**
Verschlüsselung: **VIGENERE** wird zu **XPOJJSVVG**
- Das Klartextzeichen wird ersetzt durch das Zeichen in der Zeile des Klartextes (bspw. V) und in der Spalte des Schlüsselwortzeichens (bspw. c). Das nächste Zeichen (bspw. I) wird in der Spalte des zweiten Zeichens des Schlüsselwortes (bspw. h) abgelesen, usw.
- Sobald man beim letzten Zeichen des Schlüsselwortes angekommen ist, beginnt man wieder mit dem ersten Zeichen des Schlüsselwortes.
- **Angriff** (u. a. durch Kasiski-Test): Es können gleiche Klartextzeichenkombinationen mit jeweils der gleichen Geheimtextzeichenkombination auftreten. Der Abstand dieser Muster kann nun genutzt werden, um die Schlüsselwortlänge zu bestimmen. Eine anschließende Häufigkeitsanalyse kann dann den Schlüssel bestimmen.

Schlüsselwort

The diagram shows a 26x26 grid of letters, representing the Vigenère square. The rows are labeled with the letters A through Z, and the columns are also labeled with A through Z. A red arrow points from the text "Schlüsselwort" to the first letter of the key "CHIFFRE" (C), which is positioned at the top of the second column. Another red arrow points from the text "Klartextzeichen" to the letter "V" in the first row. A third red arrow points from the text "Verschlüsseltes Zeichen" to the letter "X" in the second row, second column. The grid is labeled "Tableau carré, dit « Carré de Vigenère »" at the bottom right.

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	
A	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
B	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	
C	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z		
D	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z			
E	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z				
F	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z					
G	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z						
H	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Z								
I	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Z									
J	J	K	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Z											
K	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Z											
L	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Z												
M	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Z													
N	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Z														
O	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Z															
P	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Z																
Q	Q	R	S	T	U	V	W	X	Z																	
R	R	S	T	U	V	W	X	Z																		
S	S	T	U	V	W	X	Z																			
T	T	U	V	W	X	Z																				
U	U	V	W	X	Z																					
V	V	W	X	Z																						
W	W	X	Y	Z																						
X	X	Y	Z																							
Y	Y	Z																								
Z	Z																									

Tableau carré, dit « Carré de Vigenère »

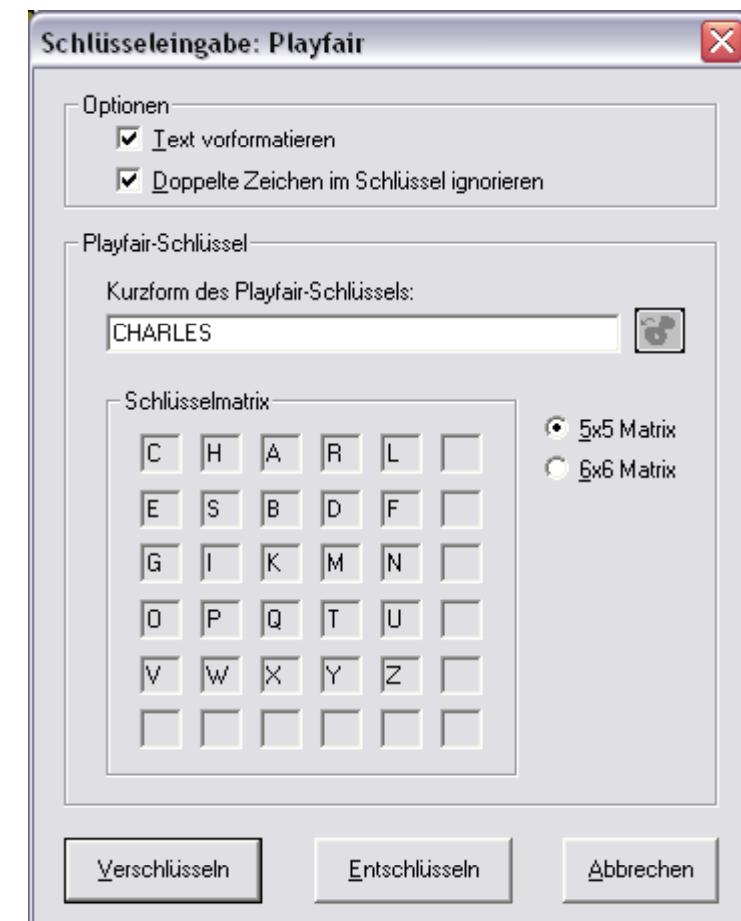
Klartextzeichen

Verschlüsseltes Zeichen

Beispiele aus der klassischen Kryptographie (4)

Weitere Verfahren der klassischen Kryptographie

- **Homophone Substitution**
- **Playfair** (erfunden 1854 von Sir Charles Wheatstone, 1802-1875)
 - veröffentlicht von Baron Lyon Playfair
 - Substitution eines Buchstabenpaars durch ein anderes anhand einer quadratischen Alphabetsanordnung
- **Übermittlung von Buchseiten**
 - Adaption des OTP*
- **Lochschablonen** (Fleißner)
- **Permutationsverschlüsselung**
 - "Doppelwürfel"
 - Reine Transposition / sehr effektiv



* OTP = One-Time-Pad

Kryptographie in der Neuzeit

Entwicklung der Kryptographie in den letzten 100 Jahren bis 1970

Klassische Verfahren

- werden teilweise heute noch eingesetzt.
(nicht alles geht per Computer...)
- und deren Prinzipien **Transposition** und **Substitution** fanden Eingang beim Design moderner Algorithmen:
Kombination der einfacheren Operationen (eine Art der Mehrfach-Verschlüsselung, cascades of ciphers)
auf Bit-Ebene, Blockbildung, Runden.

Verschlüsselungsverfahren wurden

- weiter **verfeinert**,
- **mechanisiert** bzw. **computerisiert** und
- bleiben zunächst **symmetrisch**.

2003[10]06 → 2003[10]11



Robert Syrett

Beispiel erste Hälfte 20. Jahrhundert

Elektromechanische Verschlüsselungsmaschinen (Rotormaschinen)

Enigma-Verschlüsselung (Arthur Scherbius, 1878-1929)

- Mehr als 200.000 Maschinen kamen im 2. Weltkrieg zum Einsatz
- Der rotierende Walzensatz bewirkt, dass jedes Zeichen des Textes mit einem neuen Alphabet verschlüsselt wird.
- Gebrochen durch massiven Einsatz von Kryptographie-Experten (etwa 7.000 Personen in UK) mit ersten Entschlüsselungsmaschinen sowie erbeuteten Original-Maschinen und dem Abfangen von täglichen Statusmeldungen (z.B. Wetternachrichten).
- **Konsequenzen der erfolgreichen Kryptoanalyse:**
„Allgemein wird die Kompromittierung des ENIGMA-Codes als einer der strategischen Vorteile angesehen, der maßgeblich zum Gewinn des Krieges durch die Alliierten geführt hat. Es gibt Historiker, die vermuten, dass der Bruch der ENIGMA den Krieg um etliche Monate, vielleicht sogar um ein volles Jahr, verkürzt hat.“

(http://de.wikipedia.org/wiki/Enigma_Maschine vom 06.03.2006)



Kryptographie – Entscheidende Erkenntnisse (1)

■ Kerckhoffs-Prinzip (formuliert 1883)

- Trennung von Algorithmus (Verfahren) und Schlüssel

z.B. bei Caesar:

Algorithmus: "Verschiebe Alphabet um eine bestimmte Anzahl Positionen zyklisch nach links"

Schlüssel: Diese "bestimmte Anzahl Positionen" (bei Caesar: 3)

- Kerckhoffs-Prinzip:

Das Geheimnis liegt im Schlüssel und nicht im Algorithmus bzw. „No security through obscurity“.

■ One-Time-Pad – Shannon / Vernam

- Nachweislich theoretisch sicher, jedoch praktisch kaum anwendbar (nur Rotes Telefon).

■ Shannons Konzepte: Konfusion und Diffusion

- Zusammenhang zwischen M, C und K möglichst komplex (M=Message, C=Ciphe)
- Jedes Chiffrezeichen sollte von möglichst vielen Klartextzeichen und vom gesamten Schlüssel abhängen
- „Avalanche effect“ (kleine Änderung, große Wirkung)

■ Trapdoor Function (Falltür, Einweg-Funktion, ...)

- in einer Richtung schnell, in die andere (ohne Geheim-Information) nicht
- nur mit dem Geheimnis geht auch die andere Richtung (Zugang zur Falltür)



Beispiel für die Verletzung des Kerckhoffs-Prinzips

Geheimnis sollte nur im Schlüssel und nicht im Algorithmus liegen

- Handy-Verschlüsselung angeblich geknackt (07.12.1999)

*„Die beiden israelischen Kryptologen Alex Biryukov und Adi Shamir haben Medienberichten zufolge den Verschlüsselungsalgorithmus geknackt, der GSM-Handy-Telefonate auf der Funkstrecke zur Mobiltelefon-Basisstation schützt. Das Verfahren soll mit einem handelsüblichen PC auskommen, der mit 128 MByte RAM und zwei 73 GByte Festplatten ausgestattet ist. Auf diesem soll das Programm der Forscher durch eine Analyse der ersten zwei Gesprächsminuten in weniger als einer Sekunde den verwendeten Schlüssel errechnen können. Umstritten ist, ob und mit welchem Aufwand es möglich ist, die Gespräche überhaupt abzufangen, um sie anschließend zu dechiffrieren. Eines zeigen die Vorfälle um die GSM-Verschlüsselungsalgorithmen A5/1 und A5/2 aber schon jetzt deutlich: **Der Versuch, Krypto-Verfahren geheim zu halten, dient nicht der Sicherheit.** Das hat anscheinend auch die GSM-Association gelernt: Ihr Sicherheitsdirektor James Moran äußerte dem Online-Magazin Wired gegenüber, dass man künftige Algorithmen von vorneherein offen legen will, um der Fachwelt eine Prüfung zu ermöglichen.“ [<http://www.heise.de/newsticker/meldung/7183>]*

- Weiteres Beispiel: Netscape Navigator legte 1999 die Passworte für den Zugriff auf E-Mail-Server noch proprietär schwach verschlüsselt ab.

Beispiel für eine One-Time-Pad-Adaption



Kleiderbügel einer Stasi-Spionin
mit verstecktem One-Time-Pad
(Aus: *Spiegel Spezial* 1/1990)



Schlüsselverteilungsproblem

Schlüsselverteilung bei symmetrischer Verschlüsselung

Wenn **2 Personen** miteinander mit einer symmetrischen Verschlüsselung kommunizieren, brauchen sie **einen gemeinsamen und geheimen Schlüssel**.

Wenn bei n Personen jeder mit jedem geheim kommunizieren möchte, dann braucht man $S_n = n * (n-1) / 2$ Schlüssel.

Das sind bei

$n = 100$ Personen bereits

$S_{100} = 4.950$ Schlüssel; bei

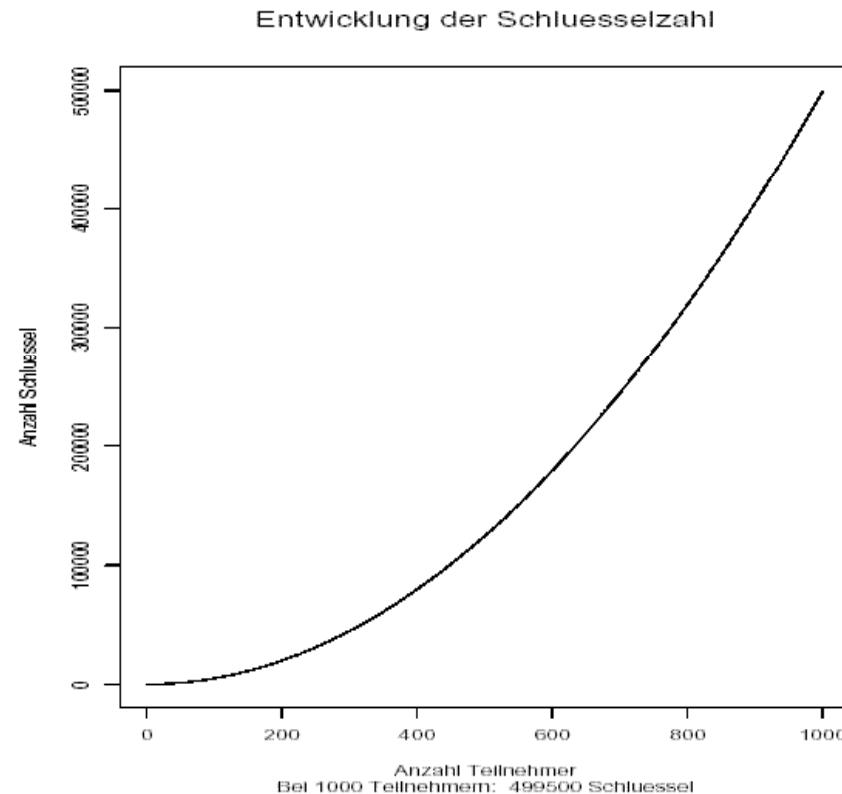
$n = 1.000$ Personen sind es

$S_{1000} = 499.500$ Schlüssel.

(Quadratischer Anstieg:

Faktor 10 mehr Personen,

Faktor 100 mehr Schlüssel)



Kryptographie – Entscheidende Erkenntnisse (2)

Lösung des Schlüsselverteilungsproblems durch asymmetrische Kryptographie

Asymmetrische Kryptographie

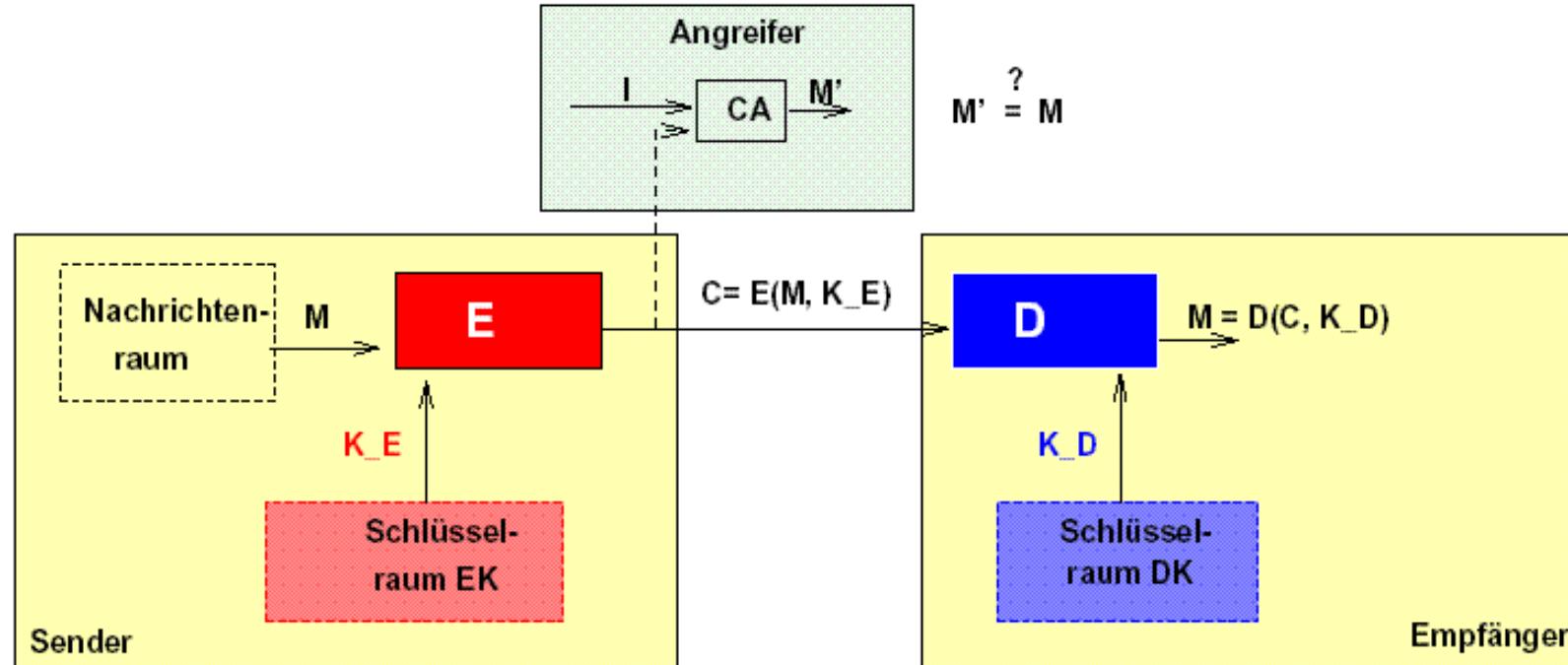
- Jahrhunderte lang glaubte man: Sender und Empfänger brauchen dasselbe Geheimnis.
- Neu: Jeder Teilnehmer hat ein Schlüsselpaar („Lösung“ des Schlüsselverteilungsproblems)
- **Asymmetrische Verschlüsselung**
 - „Jeder kann ein Vorhängeschloss einschnappen lassen oder einen Brief in einen Kasten werfen“
 - MIT, 1977: Leonard Adleman, Ron Rivest, Adi Shamir (bekannt durch RSA)
 - GCHQ Cheltenham, 1973: James Ellis, Clifford Cocks (am 18.12.1997 öffentlich zugegeben)
- **Schlüsselverteilung**
 - Stanford, 1976: Whitfield Diffie, Martin Hellman, Ralph Merkle (Diffie-Hellman Key Exchange)
 - GCHQ Cheltenham, 1975: Malcolm Williamson

*Sicherheit in offenen Netzen (wie dem Internet) wäre
ohne asymmetrische Kryptographie extrem teuer und komplex !*



Durchführung von Ver- und Entschlüsselung

Symmetrische und asymmetrische Verschlüsselung



(a) Symmetrische : $K_E = K_D$ geheim! z.B. AES

(b) Asymmetrische : $K_E \neq K_D$
 $\text{öffentliche} \quad \text{geheime!}$ z.B. RSA

Kryptographie – Entscheidende Erkenntnisse (3)

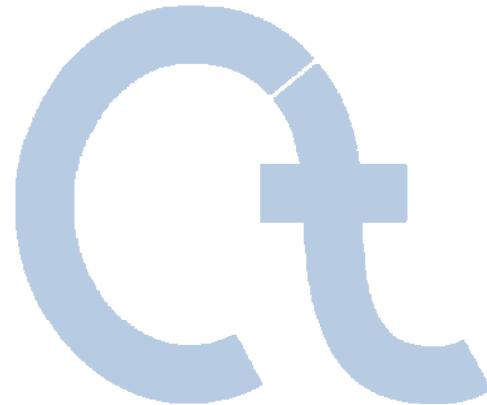
Steigende Bedeutung der Mathematik und der Informationstechnologie

- **Moderne Kryptographie** basiert stärker auf **Mathematik**
 - Trotzdem gibt es weiter symmetrische Verfahren wie den AES (bessere Performance und kürzere Schlüssellängen als die auf rein mathematischen Problemstellungen beruhenden asymmetrischen Verfahren).
- Die Sicherheit praktisch eingesetzter Verfahren hängt entscheidend vom Stand der **Mathematik** und der **Informationstechnologie (IT)** ab.
 - Berechnungskomplexität (d.h. Rechenaufwand in Abhängigkeit von der Schlüssellänge, Speicherplatzbedarf, Datenkomplexität)
-> siehe aktuell RSA: Bernstein, TWIRL-Device, RSA-200 (CrypTool-Skript, Kap. 4.11.3)
 - Sehr hohe Intensität in der aktuellen Forschung:
Faktorisierung, nicht-parallelisierbare Algorithmen (wegen Quantencomputing), besseres Verständnis von Protokoll-Schwächen und Zufallszahlengeneratoren, ...).
- Entscheidender Irrtum: „*Echte Mathematik*“ hat keine Auswirkungen auf den Krieg. (G.H. Hardy, 1940)
- Hersteller entdecken **Sicherheit** als ein zentrales **Kaufkriterium**



Demo mit CrypTool

- *Statistische Analyse*
- *Zweimal nacheinander ist nicht immer besser:*
 - Caesar: $C + D = G (3 + 4 = 7)$*
 - Vigenère: - $CAT + DOG = FOZ [(2,0,19)+(3,14,6)=(5,14,25)]$*
- "Hund" + "Katze" = "RUGCLENWGYXDATRNHNMH")
- *Vernam (OTP)*
- *AES (Ausgabe-Key, Brute-Force-Analyse)*



- I. CrypTool und Kryptologie – Überblick
- II. Was bietet CrypTool?
- III. Ausgewählte Beispiele
- IV. Projekt / Ausblick / Kontakt

1. Was ist CrypTool?

- Kostenloses Programm mit graphischer Oberfläche
- Kryptographische Verfahren anwenden *und* analysieren
- Sehr umfangreiche Online-Hilfe; ohne tieferes Kryptographiewissen verständlich
- Enthält fast alle State-of-the-art-Kryptographiefunktionen
- „Spielerischer“ Einstieg in moderne und klassische Kryptographie
- Kein „Hackertool“

2. Warum CrypTool?

- Ursprung im End-User Awareness-Programm einer Großbank
- Entwickelt in Kooperation mit Hochschulen → mediendidaktischer Anspruch
- Verbesserung der Lehre an Hochschulen und der betrieblichen Ausbildung

3. Zielgruppe

- Kernzielgruppe: Studierende der Informatik, Wirtschaftsinformatik, Mathematik
- Aber auch: Computernutzer und Anwendungsentwickler, Mitarbeiter, Schüler
- Voraussetzung: PC-Kenntnisse
- Wünschenswert: Interesse an Mathematik und Programmierung



Inhalt des Programmpakets



CrypTool-Programm

- alle Funktionen integriert in *einem* Programm mit einheitlicher graphischer Oberfläche
- läuft unter Win32
- Nutzt Kryptographiefunktionen aus den Bibliotheken von Secude, cryptovision und OpenSSL
- Langzahlarithmetik per Miracl und GMP, Gitterbasenreduktion per NTL (V. Shoup)

AES-Tool

- Standalone-Programm zur AES-Verschlüsselung (selbst extrahierend)

Lernbeispiel

- „Der Zahlenhai“ fördert das Verständnis für Teiler und Primzahlen.

Umfangreiche Online-Hilfe (HTML-Help)

- kontextsensitive Hilfe mit F1 für *alle* Programmfunctionen (auch auf Menüs)
- ausführliche Benutzungs-Szenarien (Tutorials) für viele Programmfunctionen

Skript (.pdf-Datei) mit Hintergrundinformationen

- Verschlüsselungsverfahren • Primzahlen/Faktorisierung • Digitale Signatur
- Elliptische Kurven • Public Key-Zertifizierung • Elementare Zahlentheorie • Krypto 2020

Zwei Kurzgeschichten mit Bezug zur Kryptographie von Dr. C. Elsner

- „Der Dialog der Schwestern“ (eine RSA-Variante als Schlüsselement)
- „Das chinesische Labyrinth“ (zahlentheoretische Aufgaben für Marco Polo)

Authorware-Lernprogramm zur Zahlentheorie



Funktionsumfang (1)

Kryptographie

Verschlüsselungsklassiker

- Caesar (und ROT-13)
- Monoalphabetische Substitution (und Atbash)
- Vigenère
- Hill
- Homophone Substitution
- Playfair
- ADFGVX
- Byteweise Addition
- XOR
- Vernam
- Permutation
- Solitaire

Zum besseren Nachvollziehen von Literaturbeispielen ist

- Alphabet wählbar
- Behandlung von Leerzeichen etc. einstellbar

Kryptoanalyse

Angriffe auf klassische Verfahren

- Ciphertext-only
 - Caesar
 - Vigenère
 - Addition
 - XOR
 - Substitution
 - Playfair
- Known-plaintext
 - Hill
- Manuell (unterstützt)
 - Monoalphabetische Substitution
 - Playfair, ADFGVX, Solitaire

Unterstützende Analyseverfahren

- Entropie, gleitende Häufigkeit
- Histogramm, n-Gramm-Analyse
- Autokorrelation
- Perioden
- Zufallszahlenanalyse
- Base64 / UU-Encode

Funktionsumfang (2)

Kryptographie

Moderne symmetrische Verschlüsselung

- IDEA, RC2, RC4, RC6, DES, 3DES, DESX
- AES-Kandidaten der letzten Auswahlrunde (Serpent, Twofish, ...)
- AES (=Rijndael)
- DESL, DESXL

Asymmetrische Verschlüsselung

- RSA mit X.509-Zertifikaten
- RSA-Demonstration
 - zum Nachvollziehen von Literaturbeispielen
 - Alphabet und Blocklänge einstellbar

Hybridverschlüsselung (RSA + AES)

- visualisiert als interaktives Datenflussdiagramm

Kryptoanalyse

Brute-Force-Angriff auf symmetrische Algorithmen

- für alle Algorithmen
- Annahme:
 - Entropie des Klartextes klein oder teilweise Kenntnis der Schlüssels oder Kenntnis des Klartextalphabets.

Angriff auf RSA-Verschlüsselung

- Faktorisierung des RSA-Moduls
- Gitterreduktions-basierte Angriffe

Angriff auf Hybridverschlüsselung

- Angriff auf RSA oder
- Angriff auf AES (Seitenkanalangriff)

Funktionsumfang (3)

Kryptographie

Digitale Signatur

- RSA mit X.509-Zertifikaten
 - Signatur zusätzlich visualisiert
- DSA mit X.509-Zertifikaten
- Elliptic Curve DSA, Nyberg-Rueppel

Hashfunktionen

- MD2, MD4, MD5
- SHA, SHA-1, SHA-2, RIPEMD-160

Zufallsgeneratoren

- Secude
- $x^2 \bmod n$
- Linearer Kongruenzgenerator (LCG)
- Inverser Kongruenzgenerator (ICG)

Kryptoanalyse

Angriff auf RSA-Signatur

- Faktorisierung des RSA-Moduls
- praktikabel bis ca. 250 Bit bzw. 75 Dezimalstellen (auf Einzelplatz-PC)

Angriff auf Hashfunktion / digitale Signatur

- Generieren von Hash-Kollisionen für ASCII-Texte (Geburtstagsparadox) (bis 40 Bit in etwa 5 min)

Analyse von Zufallsdaten

- FIPS-PUB-140-1 Test-Batterie
- Periode, Vitany, Entropie
- Gleitende Häufigkeit, Histogramm
- n-Gramm-Analyse, Autokorrelation
- ZIP-Kompressionstest

Funktionsumfang (4)

Visualisierungen / Demos

- Caesar, Vigenère, Nihilist, DES mit Animal
- Enigma (Flash)
- Rijdael/AES (Flash)
- Hybride Ver- und Entschlüsselung (AES-RSA und AES-ECC)
- Erzeugung und Verifikation von Signaturen
- Diffie-Hellman-Schlüsselaustausch
- Secret Sharing (mit CRT oder mit dem Schwellenwertschema nach Shamir)
- Challenge-Response-Verfahren (Authentisierung im Netz)
- Seitenkanalangriff
- Grafische 3-D-Darstellung von (Zufalls-)Datenströmen
- Sensibilität von Hashfunktionen bezüglich Änderungen an den Daten
- Zahlentheorie und RSA-Kryptosystem (Authorware)



Funktionsumfang (5)

Weitere Funktionen

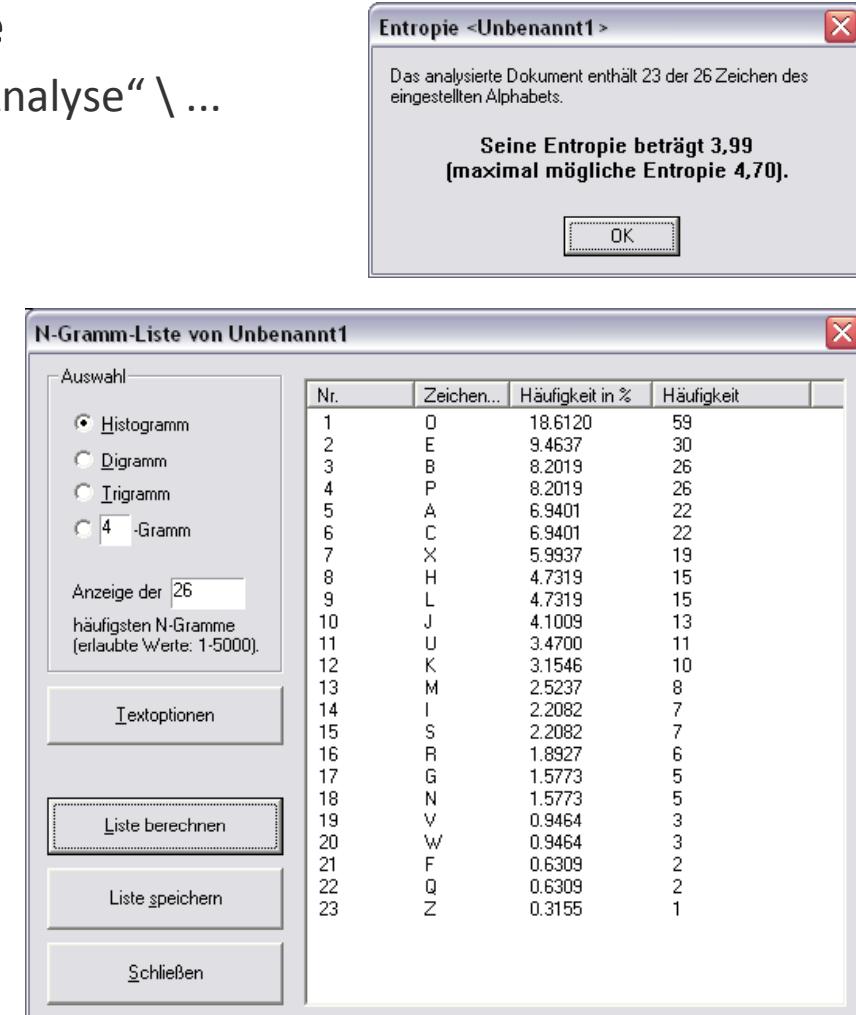
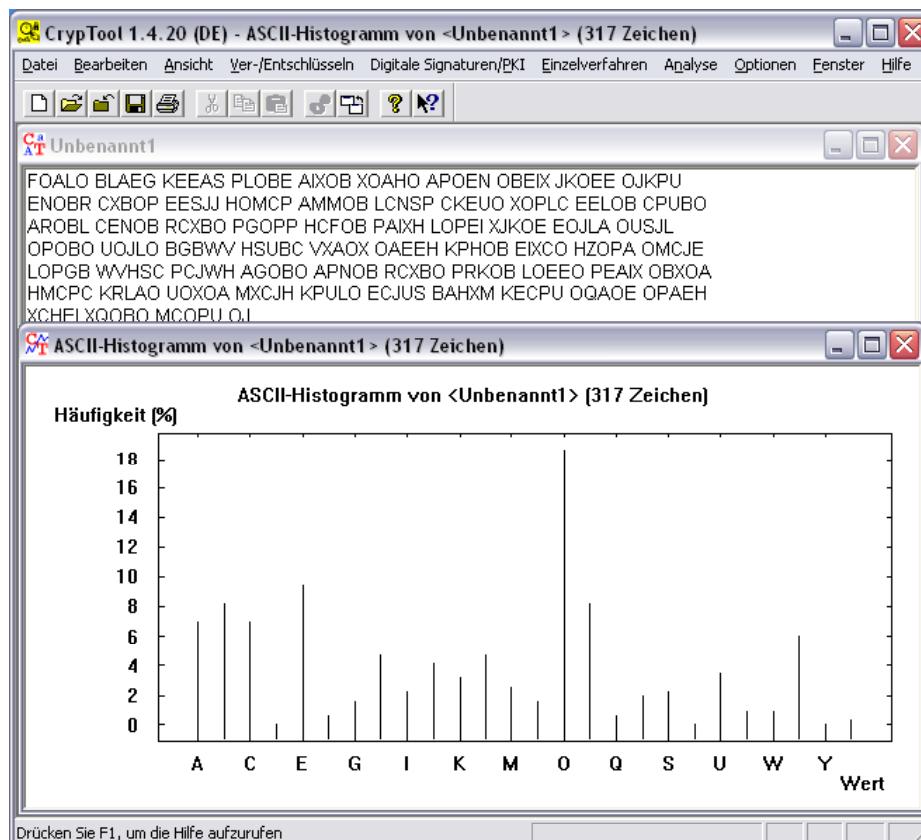
- Homophone und Permutationsverschlüsselung (Doppelwürfel)
- PKCS #12-Import/Export für PSEs (Personal Security Environment)
- Hashwerte großer Dateien berechnen, ohne sie zu laden
- Generische Brute-Force-Attacke auf beliebige moderne symmetrische Algorithmen
- ECC-Demo (als Java-Applikation)
- Passwort-Qualitätsmesser (PQM)
- und vieles mehr ...



Sprachstruktur analysieren

Anzahl Einzelzeichen, n-Gramme, Entropie

- z.B. im Menü: „Analyse“ \ „Werkzeuge zur Analyse“ \ ...



Demonstration der Interaktivität (1)

Demo per CrypTool

Vigenère-Analyse

Das Ergebnis der Vigenère-Analyse kann manuell nachbearbeitet werden
(gefundene Schlüssellänge ändern):

1. Datei „Startbeispiel-de.txt“ mit **TEST** verschlüsseln

- „Ver-/Entschlüsseln“ \ „Symmetrisch (klassisch)“ \ „Vigenère...“
- Eingabe TEST \Rightarrow „Verschlüsseln“

Analyse der Verschlüsselung

- „Analyse“ / „Symmetrische Verschlüsselung (klassisch)“ \ „Ciphertext only“ \ „Vigenère“
- Schlüssellänge 4, Ermittelter Schlüssel TEST

2. Datei „Startbeispiel-de.txt“ mit **TESTETE** verschlüsseln

- „Ver-/Entschlüsseln“ \ „Symmetrisch (klassisch)“ \ „Vigenère...“
- Eingabe TESTETE \Rightarrow „Verschlüsseln“

Analyse der Verschlüsselung

- „Analyse“ \ „Symmetrische Verschlüsselung (klassisch)“ \ „Ciphertext only“ \ „Vigenère“
- Schlüssellänge 14 – nicht korrekt
- Schlüssellänge wird angepasst (automatisch – könnte aber auch manuell angepasst werden)
- Ermittelter Schlüssel TESTETE

Demonstration der Interaktivität (2)

Automatisierte Primzahlzerlegung

Demo per CrypTool

Primzahlzerlegung mit Hilfe von Faktorisierungsverfahren

- Menü: „Einzelverfahren“ \ „RSA-Kryptosystem“ \ „Faktorisieren einer Zahl“
- Verschiedene Verfahren werden in mehreren Threads parallel ausgeführt
- Alle Verfahren haben bestimmte Vor- und Nachteile
(z.B. erkennen bestimmte Verfahren nur kleine Faktoren)

Faktorisierungs-Beispiel 1:

316775895367314538931177095642205088158145887517

48-stellige Dezimalzahl

=

3 * 1129 * 6353 * 1159777 * 22383173213963 * 567102977853788110597

Faktorisierungs-Beispiel 2:

$2^{250} - 1$

75-stellige Dezimalzahl

=

3 * 11 * 31 * 251 * 601 * 1801 * 4051 * 229668251 * 269089806001 *
4710883168879506001 * 5519485418336288303251

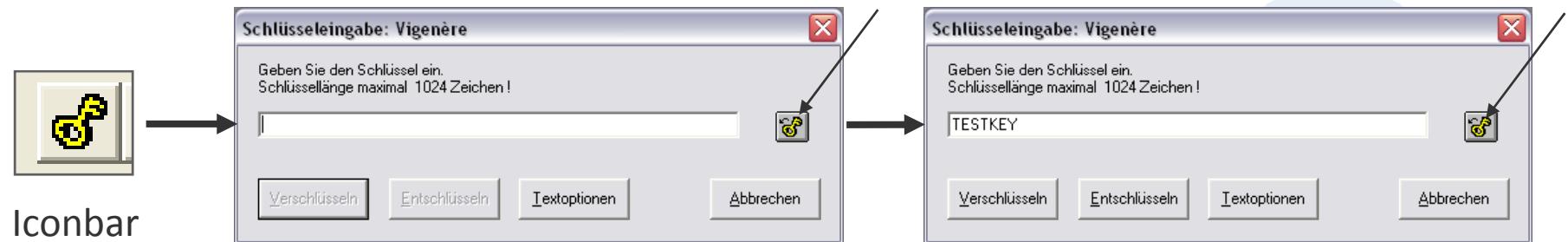
Konzepte zur Benutzerfreundlichkeit

1. Kontextsensitive Hilfe (F1)

- F1 bei einem gewählten Menüeintrag zeigt Informationen zum Verfahren.
- F1 in einer Dialogbox erläutert die Bedienung des Dialogs.
- Diese Hilfen und die Inhalte des übergeordneten Menüs sind in der Online-Hilfe immer gegenseitig verlinkt.

2. Einfügen von Schlüsseln in die Schlüsseleingabe-Maske

- Mit Strg-V (Paste) kann man immer einfügen, was im Clipboard steht.
- Schon benutzte Schlüssel können aus Ciphertext-Fenstern per Icon in der Symbolleiste „entnommen“ und durch ein komplementäres Icon in der Schlüsseleingabemaske in das Schlüsselfeld eingefügt werden. Dazu wird ein CrypTool-interner Speicher benutzt, der pro Verfahren zur Verfügung steht (nützlich bei „besonderen“ Schlüsseln wie der homophonen Verschlüsselung).



Herausforderungen für den Programmierer

1. Viele Funktionen parallel laufen lassen

- Bei der Faktorisierung laufen die verschiedenen Algorithmen in Threads.

2. Hohe Performance

- Bei der Anwendung des Geburtstagsparadoxons zum Finden von Hashkollisionen oder bei der Brute-Force-Analyse

3. Speicherbeschränkung beachten

- Beim Floyd-Algorithmus (Mappings für das Finden von Hashkollisionen) oder beim Quadratic Sieve.

4. Zeitmessung und -abschätzung

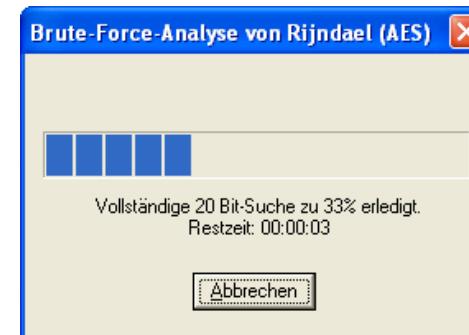
- Ausgabe der Ellapsed Time bei Brute-Force

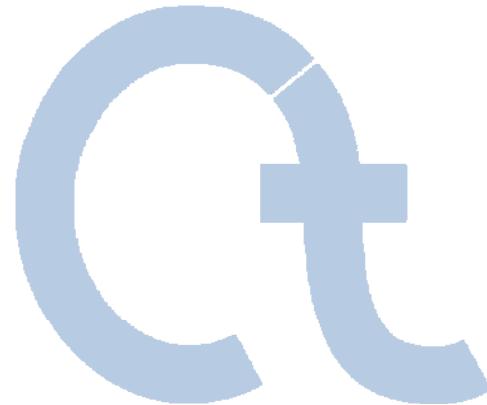
5. Wiederverwendung / Integration

- Masken zur Primzahlgenerierung
- RSA-Kryptosystem (schaltet nach erfolgreicher Attacke von der Ansicht des Public-Key-Anwenders zur Ansicht des Private-Key-Besitzers)

6. Konsistenz der Funktionen, der GUI und der Online-Hilfe

(inklusive verschiedener Sprachen)





- I. CrypTool und Kryptologie – Überblick
- II. Was bietet CrypTool?
- III. Ausgewählte Beispiele**
- IV. Projekt / Ausblick / Kontakt

CrypTool-Anwendungsbeispiele

Übersicht der Beispiele

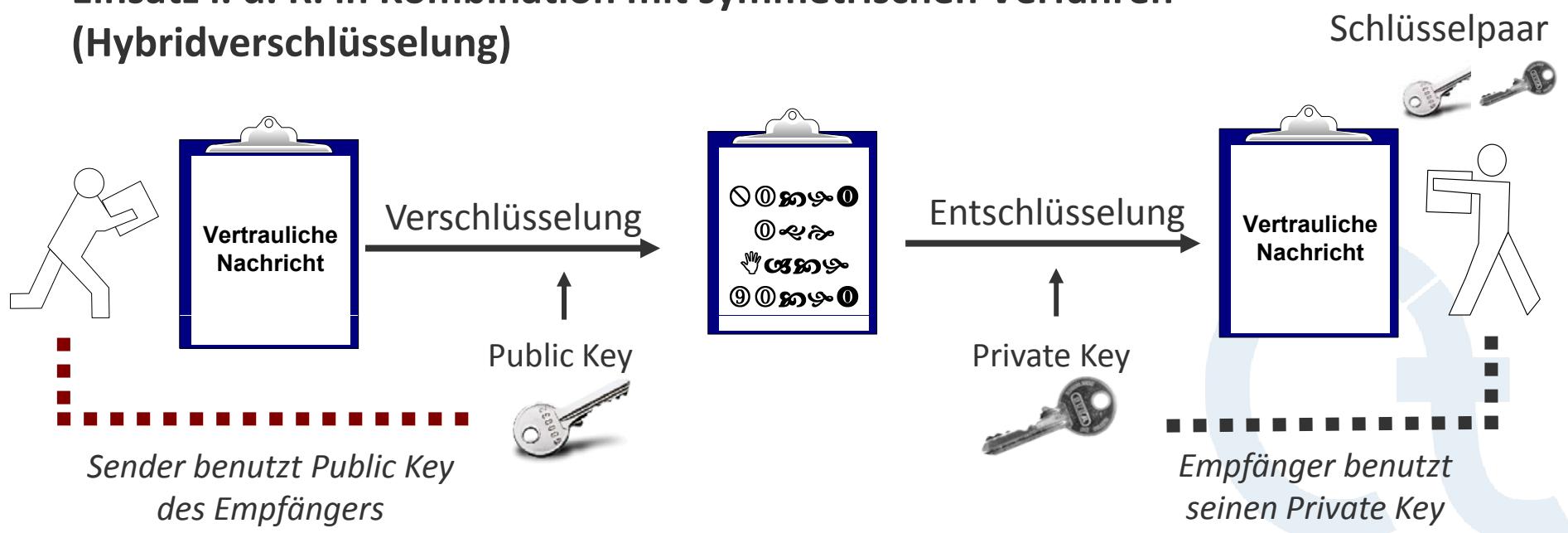
1. [Verschlüsselung mit RSA / Primzahltest / Hybridverschlüsselung und Digitale Zertifikate / SSL](#)
2. [Elektronische Signatur visualisiert](#)
3. [Angriff auf RSA-Verschlüsselung \(Modul N zu kurz\)](#)
4. [Analyse der Verschlüsselung im PSION 5](#)
5. [Schwache DES-Schlüssel](#)
6. [Auffinden von Schlüsselmaterial \(„NSA-Key“\)](#)
7. [Angriff auf Digitale Signatur durch Finden von Hashkollisionen](#)
8. [Authentisierung in einer Client-Server-Umgebung](#)
9. [Demonstration eines Seitenkanalangriffs \(auf Hybridverschlüsselungsprotokoll\)](#)
10. [Angriffe auf RSA mittels Gitterreduktion](#)
11. [Zufallsanalyse mit 3-D-Visualisierung](#)
12. [Secret Sharing als Anwendung des Chinesischen Restsatzverfahrens \(CRT\) und nach Shamir](#)
13. [Anwendung des CRT in der Astronomie](#)
14. [Visualisierung von symmetrischen Verschlüsselungsverfahren mit ANIMAL](#)
15. [Visualisierung von AES](#)
16. [Visualisierung der Enigma-Verschlüsselung](#)
17. [Erzeugung eines Message Authentication Code \(MAC\)](#)
18. [Hash-Demo](#)
19. [Lernprogramm zu Zahlentheorie und asymmetrischer Verschlüsselung](#)
20. [Punktaddition auf elliptischen Kurven](#)
21. [Passwort-Qualitätsmesser](#)
22. [Brute-Force-Analyse](#)
23. [CrypTool Online-Hilfe](#)



Anwendungsbeispiele (1)

Verschlüsselung mit RSA

- **Grundlage für z.B. SSL-Protokoll (Zugriff auf gesicherte Web-Seiten)**
- **Asymmetrische Verschlüsselung mit RSA**
 - Jeder Benutzer hat ein Schlüsselpaar – einen öffentlichen und einen privaten.
 - Sender verschlüsselt mit dem öffentlichen Schlüssel (*public key*) des Empfängers.
 - Empfänger entschlüsselt mit seinem privaten Schlüssel (*private key*).
- **Einsatz i. d. R. in Kombination mit symmetrischen Verfahren (Hybridverschlüsselung)**



Anwendungsbeispiele (1)

Verschlüsselung mit RSA – Mathematischer Hintergrund / Verfahren

- Öffentlicher Schlüssel (public key): (n, e) [oft wird der Modulus n auch groß N geschrieben]
- Privater Schlüssel (private key): (d)

wobei:

p, q große zufällig gewählte Primzahlen mit $n = p * q$;

d wird unter den NB $\text{ggT}[\varphi(n), e] = 1$; $e^*d \equiv 1 \pmod{\varphi(n)}$; bestimmt.

Ver- und Entschlüsselungs-Operation: $(m^e)^d \equiv m \pmod{n}$

- n ist der Modulus (seine Länge ist die „Schlüssellänge“ beim RSA-Verfahren).
- ggT = größter gemeinsamer Teiler.
- $\varphi(n)$ ist die Eulersche Phi-Funktion.

Vorgehen:

- Transformation von Nachrichten in binäre Repräsentation
- Nachricht $m = m_1, \dots, m_k$ blockweise verschlüsseln, wobei für alle m_j gilt:
 $0 \leq m_j < n$; also maximale Blockgröße r so, dass gilt: $2^r \leq n$ ($2^{r-1} < n$)



Anwendungsbeispiele (1)

Primzahltests – Für RSA werden große Primzahlen benötigt.

- Schnelle probabilistische Tests
- Deterministische Tests

Die bekannten Primzahltest-Verfahren können für große Zahlen viel schneller testen, ob die zu untersuchende Zahl prim ist, als die bekannten Faktorisierungsverfahren eine Zahl ähnlicher Größenordnung in ihre Primfaktoren zerlegen können.

Für den AKS-Test wurde die GMP-Bibliothek (**GNU Multiple Precision Arithmetic Library**) in CrypTool integriert.



Anwendungsbeispiele (1)

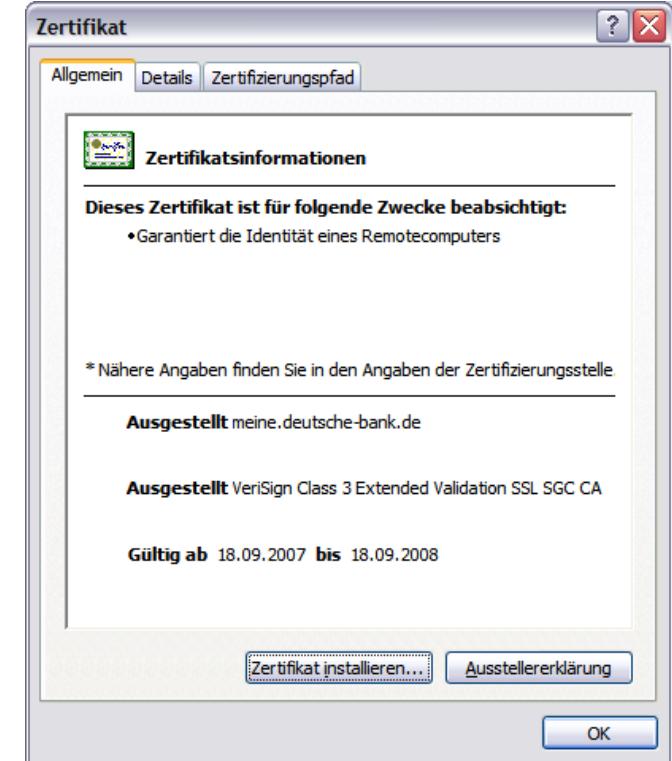
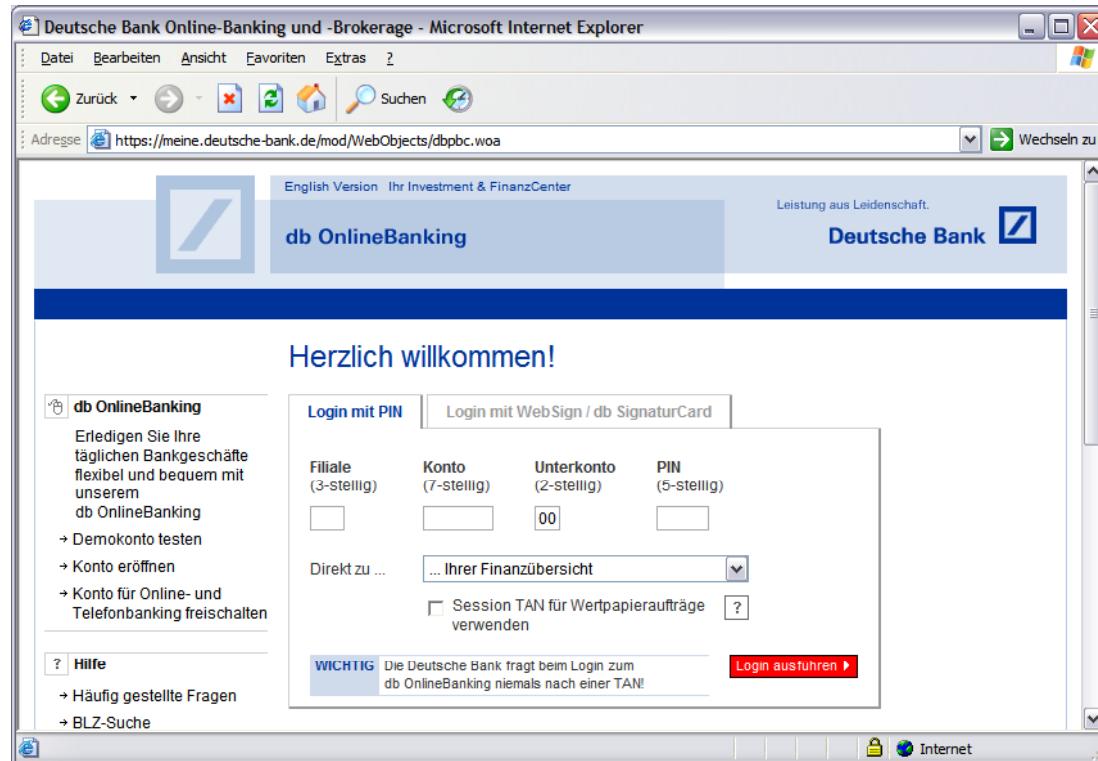
Hybridverschlüsselung und Digitale Zertifikate

- **Hybridverschlüsselung** – Kombination aus asymmetrischer und symmetrischer Verschlüsselung
 1. Generierung eines zufälligen symmetrischen Sitzungs-Schlüssels (Session Key)
 2. Der Session Key wird – geschützt mit dem asymmetrischen Schlüssel – übertragen.
 3. Die Nachricht wird – geschützt mit dem Session Key – übertragen.
- **Problem:** Man-in-the-middle-Angriffe: Gehört der öffentliche Schlüssel (Public Key) des Empfänger auch wirklich dem Empfänger?
- **Lösung: Digitale Zertifikate** – Eine zentrale Instanz (z.B. Telesec, VeriSign, Deutsche Bank PKI), der alle Benutzer trauen, garantiert die Authentizität des Zertifikates und des darin enthaltenen öffentlichen Schlüssels (analog zu einem vom Staat ausgestellten Personalausweis).
- **Hybridverschlüsselung auf Basis von digitalen Zertifikaten** ist die Grundlage für sichere elektronische Kommunikation:
 - Internet Shopping und Online Banking
 - Sichere E-Mail

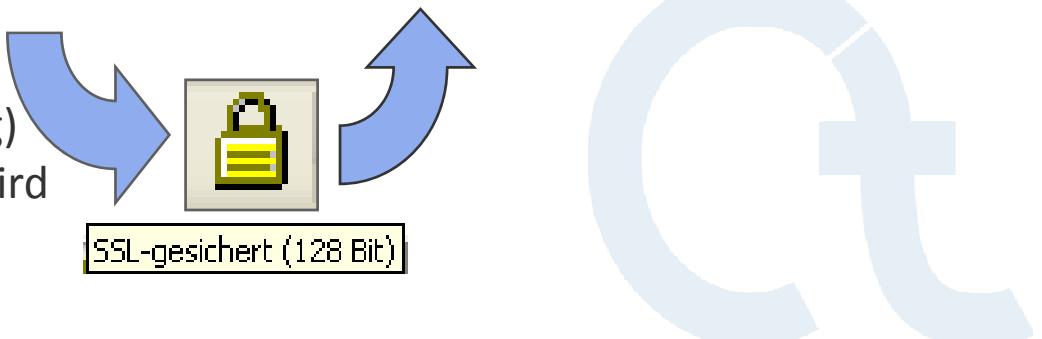


Anwendungsbeispiele (1)

Gesicherte Online-Verbindung mit SSL und Zertifikaten



D.h. die Verbindung ist (zumindest einseitig) authentisiert und der übertragene Inhalt wird stark verschlüsselt.



Anwendungsbeispiele (1)

Attribute / Felder von Zertifikaten

Zertifikat

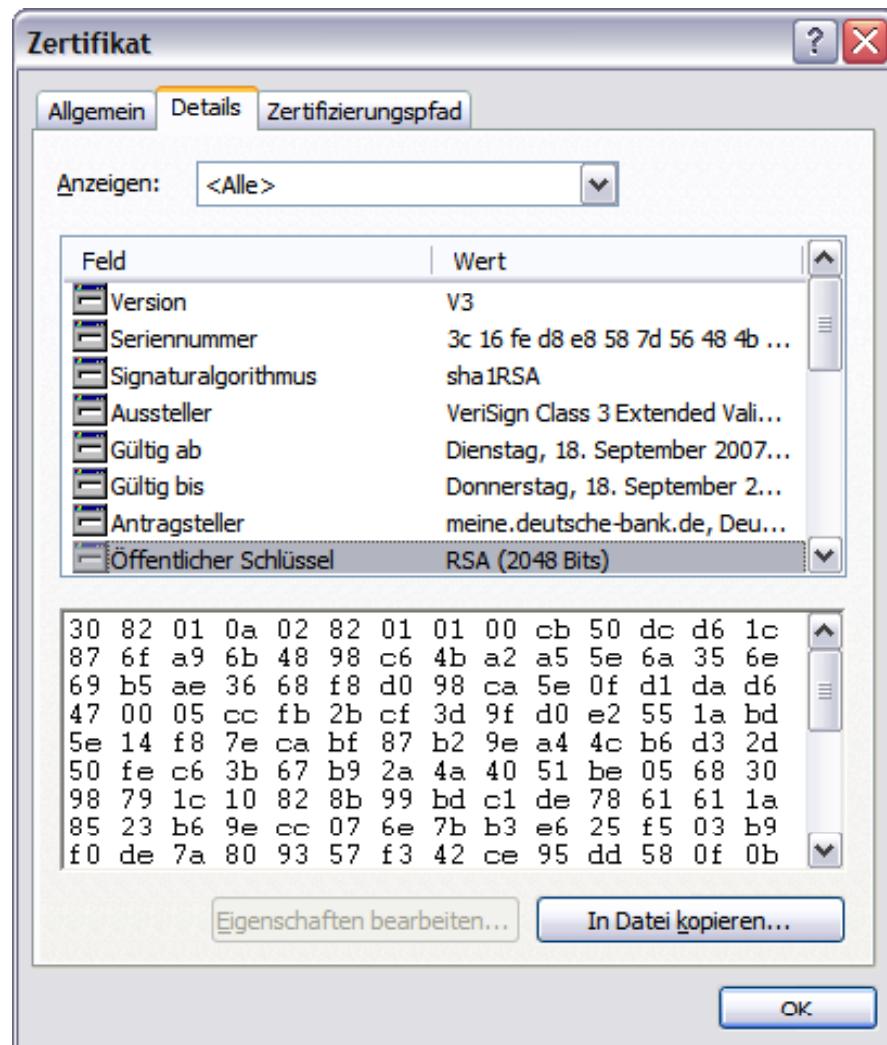
Allgemein Details Zertifizierungspfad

Anzeigen: <Alle>

Feld	Wert
Version	V3
Seriennummer	3c 16 fe d8 e8 58 7d 56 48 4b ...
Signaturalgorithmus	sha1RSA
Aussteller	VeriSign Class 3 Extended Vali...
Gültig ab	Dienstag, 18. September 2007...
Gültig bis	Donnerstag, 18. September 2...
Antragsteller	meine.deutsche-bank.de, Deu...
Öffentlicher Schlüssel	RSA (2048 Bits)

```
30 82 01 0a 02 82 01 01 00 cb 50 dc d6 1c  
87 6f a9 6b 48 98 c6 4b a2 a5 5e 6a 35 6e  
69 b5 ae 36 68 f8 d0 98 ca 5e 0f d1 da d6  
47 00 05 cc fb 2b cf 3d 9f d0 e2 55 1a bd  
5e 14 f8 7e ca bf 87 b2 9e a4 4c b6 d3 2d  
50 fe c6 3b 67 b9 2a 4a 40 51 be 05 68 30  
98 79 1c 10 82 8b 99 bd c1 de 78 61 61 1a  
85 23 b6 9e cc 07 6e 7b b3 e6 25 f5 03 b9  
f0 de 7a 80 93 57 f3 42 ce 95 dd 58 0f 0b
```

Eigenschaften bearbeiten... In Datei kopieren... OK



Grundlegende Attribute / Felder

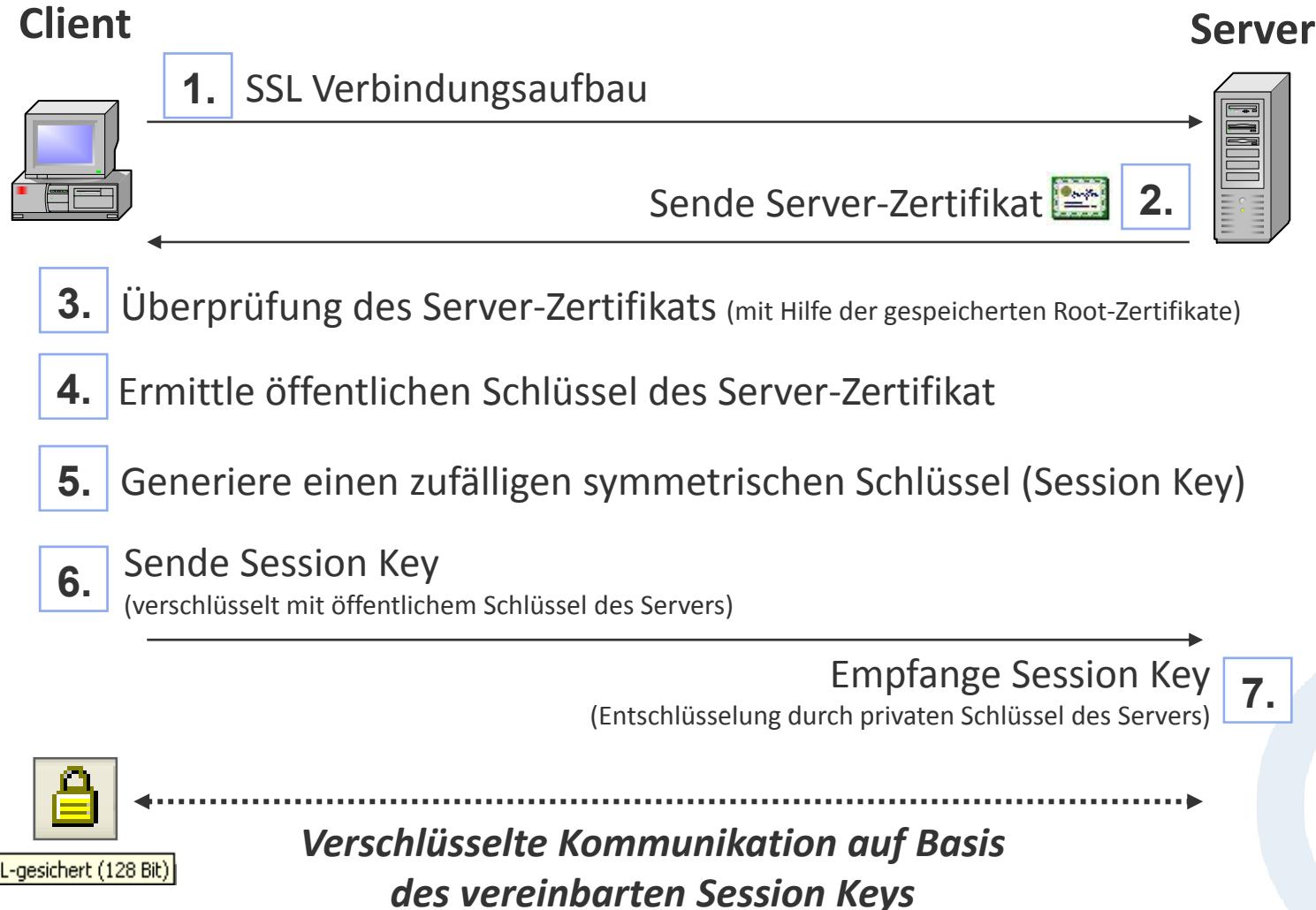
- Aussteller (z.B. VeriSign)
- Antragsteller
- Gültigkeitszeitraum
- Seriennummer
- Zertifikatsart / Version (X.509v3)
- Signaturalgorithmus
- Öffentlicher Schlüssel (und Verfahren)

Öffentlicher Schlüssel



Anwendungsbeispiele (1)

Aufbau einer gesicherten SSL-Verbindung (Server Authentication)



Anwendungsbeispiele (1)

Aufbau einer gesicherten SSL-Verbindung (Server Authentication)

Allgemein

- Das Beispiel skizziert den typischen Aufbau einer SSL-Verbindung zur Übertragung von sensiblen Informationen (z.B. Internet-Shopping).
- Beim Aufbau der SSL-Verbindung authentisiert sich lediglich der Server durch ein digitales Zertifikat (die Authentisierung des Benutzer erfolgt in der Regel durch die Eingabe von Benutzernamen und Passwort nach dem Aufbau der SSL-Verbindung).
- SSL bietet auch die Möglichkeit einer zweiseitigen Authentisierung auf Basis digitaler Zertifikate.

Anmerkungen zur SSL-Verbindung

- ad (1): SSL Verbindungsaufbau – hierbei wird u.a. ausgehandelt welche Eigenschaften der Session Key besitzen soll (z.B. Bit-Länge) und welcher Algorithmus für die symmetrische Verschlüsselung verwendet werden soll (z.B. 3DES, AES).
- ad (2): Sofern Zwischenzertifikate notwendig sind (bei mehrstufigen Zertifikathierarchien), werden diese ebenfalls übertragen.
- ad (3): In diesem Schritt werden die im Browser installierten Root-Zertifikate verwendet, um das empfangene Server-Zertifikat zu validieren.
- ad (5): Der Session Key basiert auf den unter (1) ausgehandelten Eigenschaften.

Anwendungsbeispiele (2)

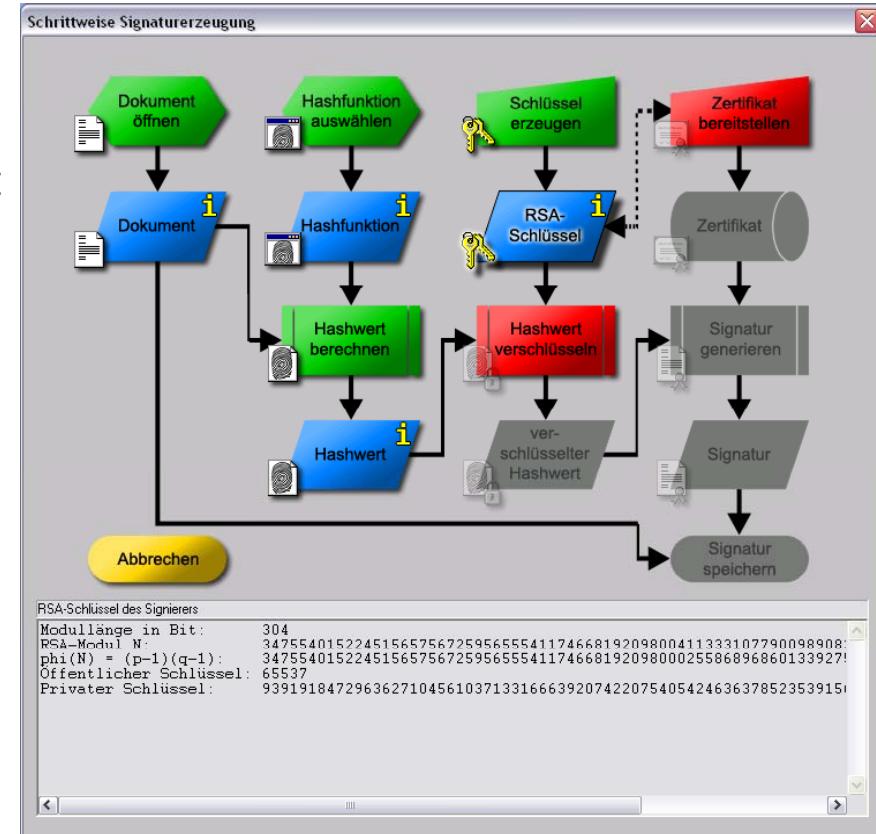
Elektronische Signatur visualisiert

Elektronische Signatur

- Wird immer wichtiger durch
 - Gleichstellung mit manueller Unterschrift (Signaturgesetz)
 - Zunehmenden Einsatz in Wirtschaft, durch den Staat und privat
- Wer weiß, wie sie funktioniert?

Visualisierung in CrypTool

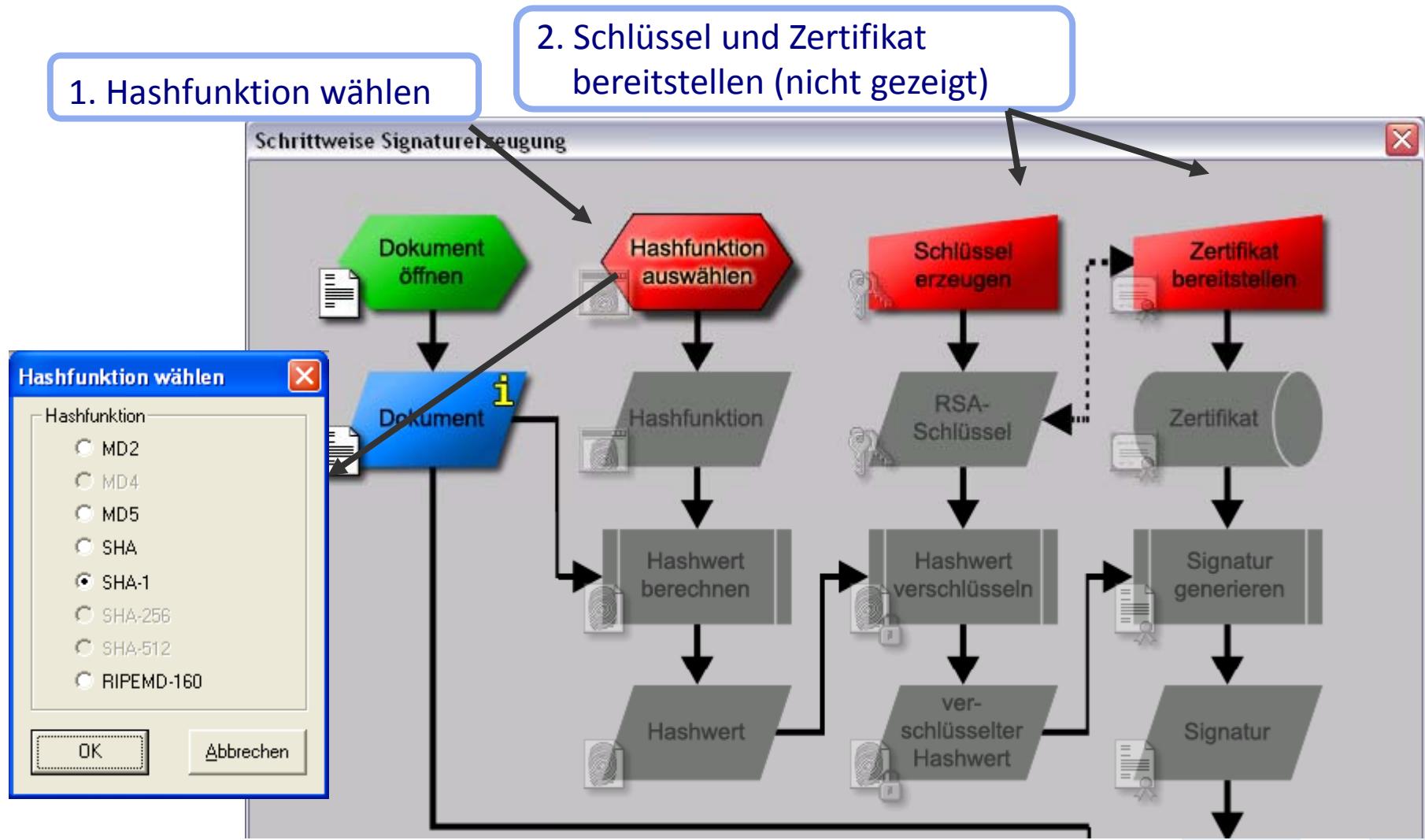
- Interaktives Datenflussdiagramm
- Ähnlich wie die Visualisierung der Hybridverschlüsselung



Menü: „Digitale Signaturen/PKI“ \
„Signaturdemo (Signaturerzeugung)“

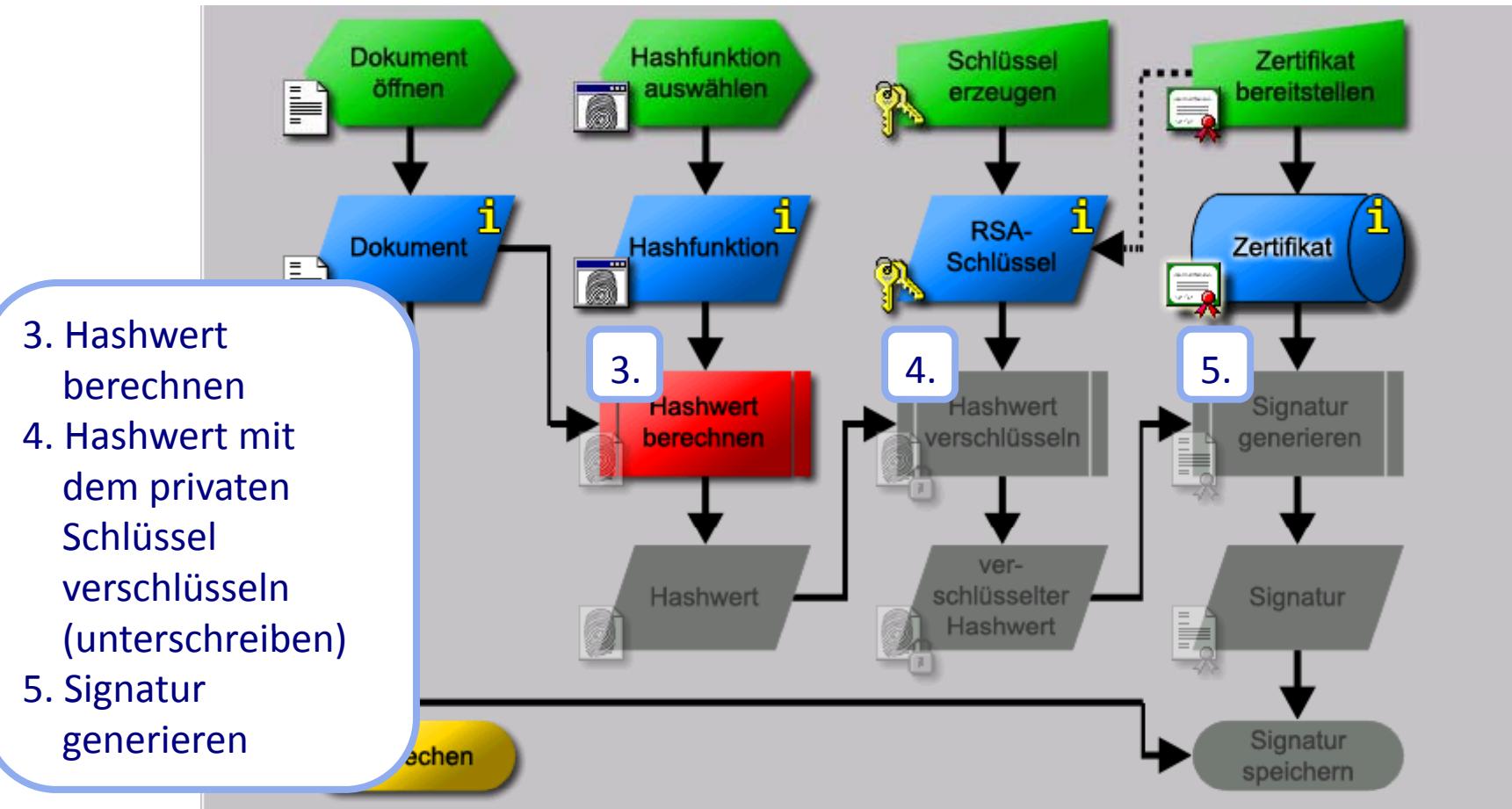
Anwendungsbeispiele (2)

Elektronische Signatur visualisiert: a) Vorbereitung



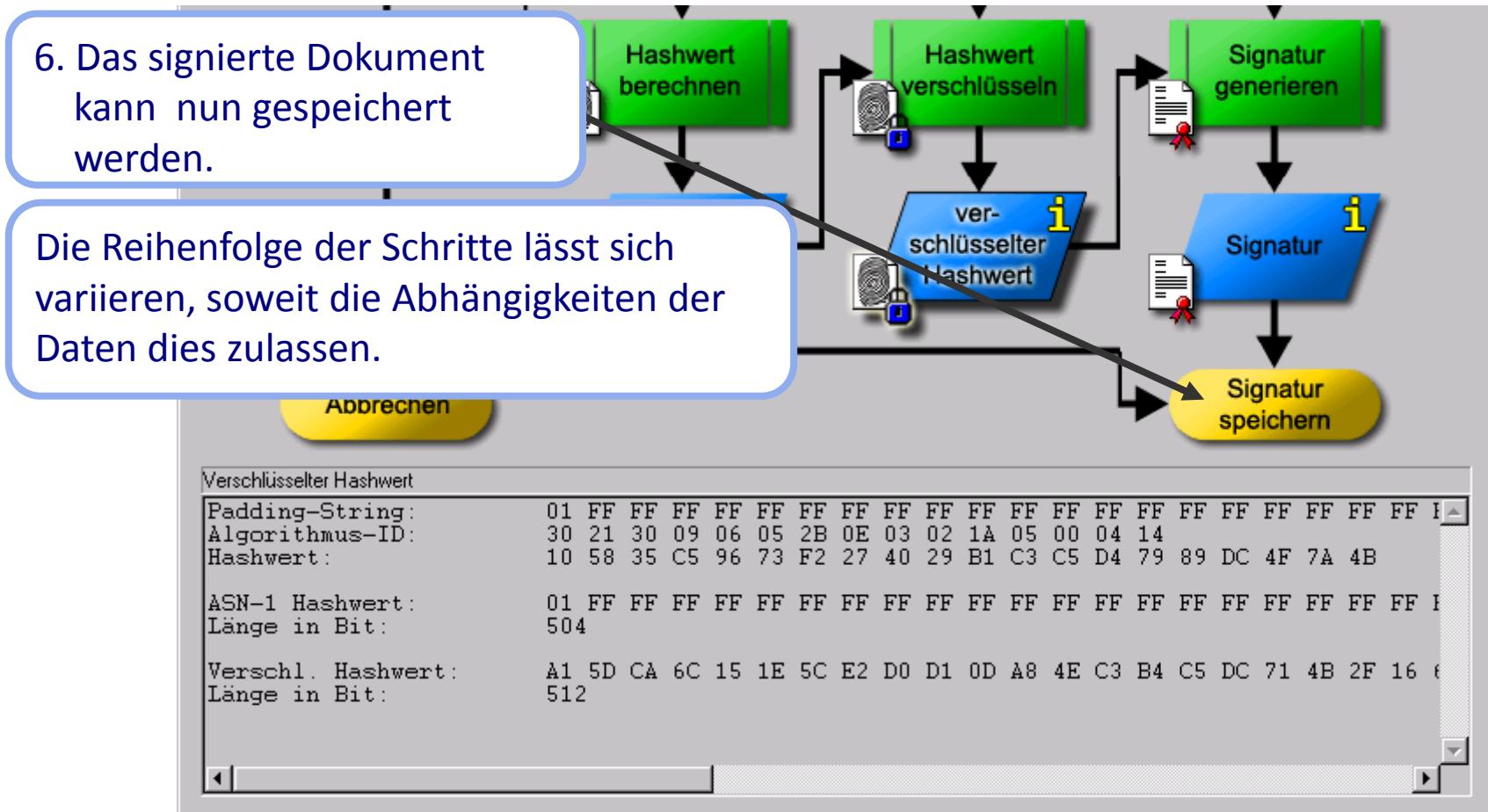
Anwendungsbeispiele (2)

Elektronische Signatur visualisiert: b) Kryptographie



Anwendungsbeispiele (2)

Elektronische Signatur visualisiert: c) Ergebnis



Anwendungsbeispiele (3)

3. Angriff auf zu kurzen RSA-Modul N

Aufgabe aus *Song Y. Yan, Number Theory for Computing, Springer, 2000*

- Öffentlicher Schlüssel
 - RSA-Modul **N = 63978486879527143858831415041** (95 Bit, 29 Dezimalstellen)
 - Öffentlicher Exponent **e = 17579**
- Verschlüsselter Text (Blocklänge = 8):
 $C_1 = 45411667895024938209259253423$,
 $C_2 = 16597091621432020076311552201$,
 $C_3 = 46468979279750354732637631044$,
 $C_4 = 32870167545903741339819671379$
- Der Text soll entschlüsselt werden.

Für die eigentliche Kryptoanalyse (das Finden des privaten Schlüssels) ist der Ciphertext nicht notwendig !

Lösung mit CrypTool (ausführlich in den Szenarien der Online-Hilfe beschrieben)

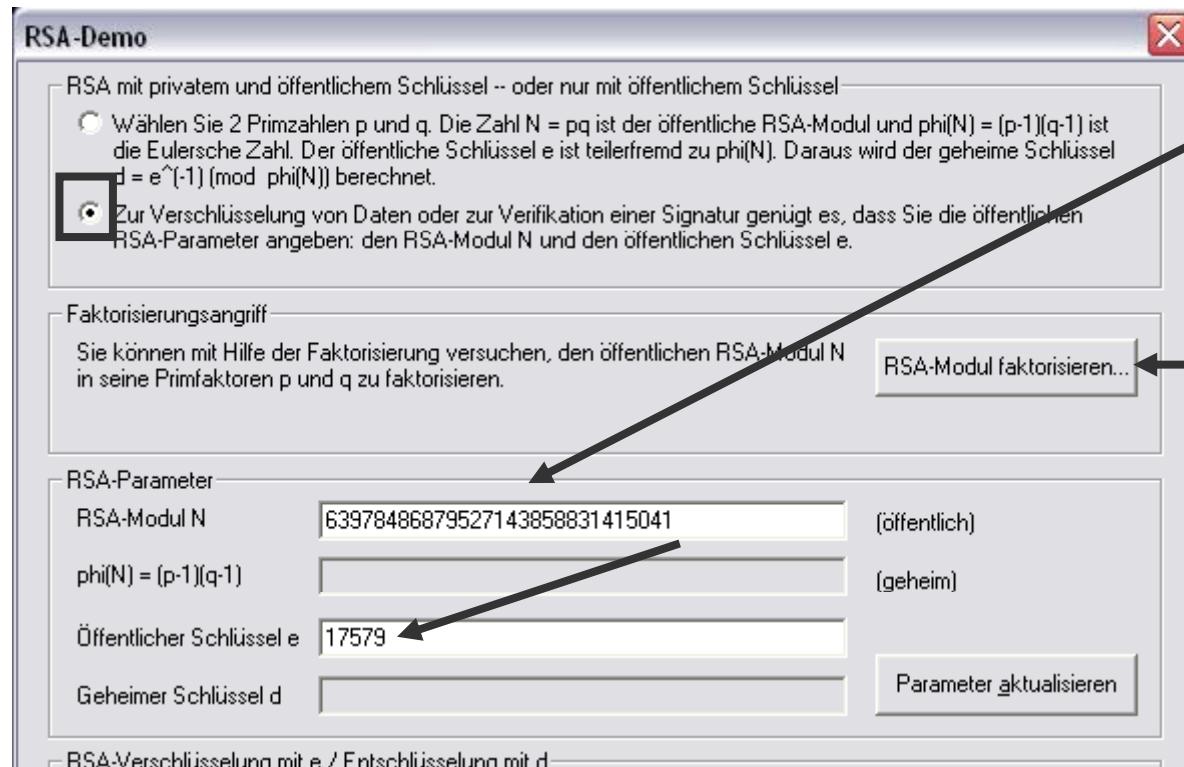
- Öffentliche Parameter in RSA-Kryptosystem (Menü „Einzelverfahren“) eintragen
- Funktion „RSA-Modul faktorisieren“ liefert die Primfaktoren p und q mit $pq = N$
- Daraus wird der geheime Schlüssel $d = e^{-1} \bmod (p-1)(q-1)$ abgeleitet
- Entschlüsseln des Textes mit Hilfe von d: $M_i = C_i^d \bmod N$

Angriff mit CrypTool ist für RSA-Module bis ca. 250 Bit praktikabel

Danach könnte man für jemand anderen elektronisch unterschreiben !!!

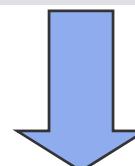
Anwendungsbeispiele (3)

Kurzer RSA-Modul: Öffentliche Parameter eingeben



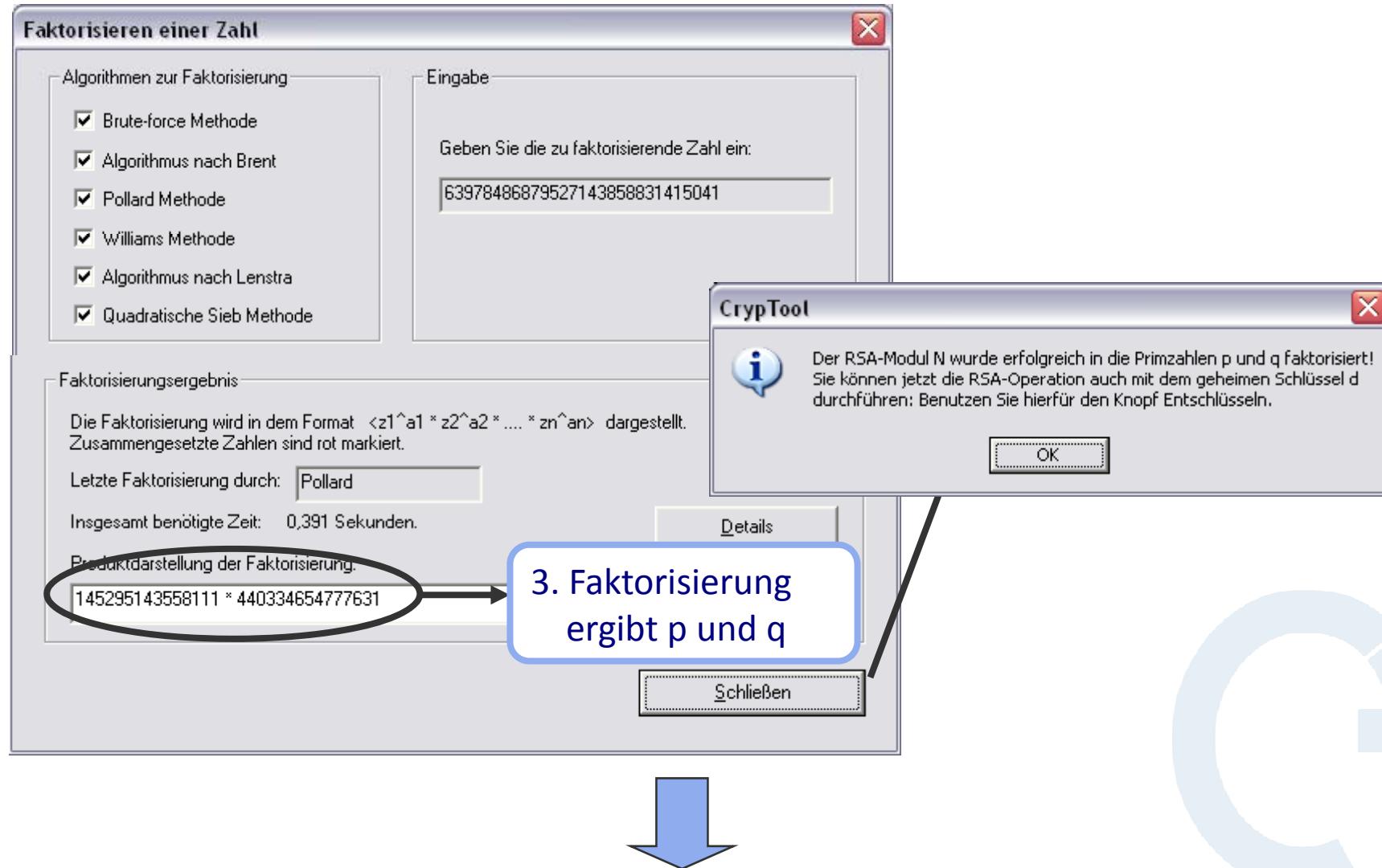
1. Öffentliche RSA-Parameter N und e eingeben

2. Faktorisieren



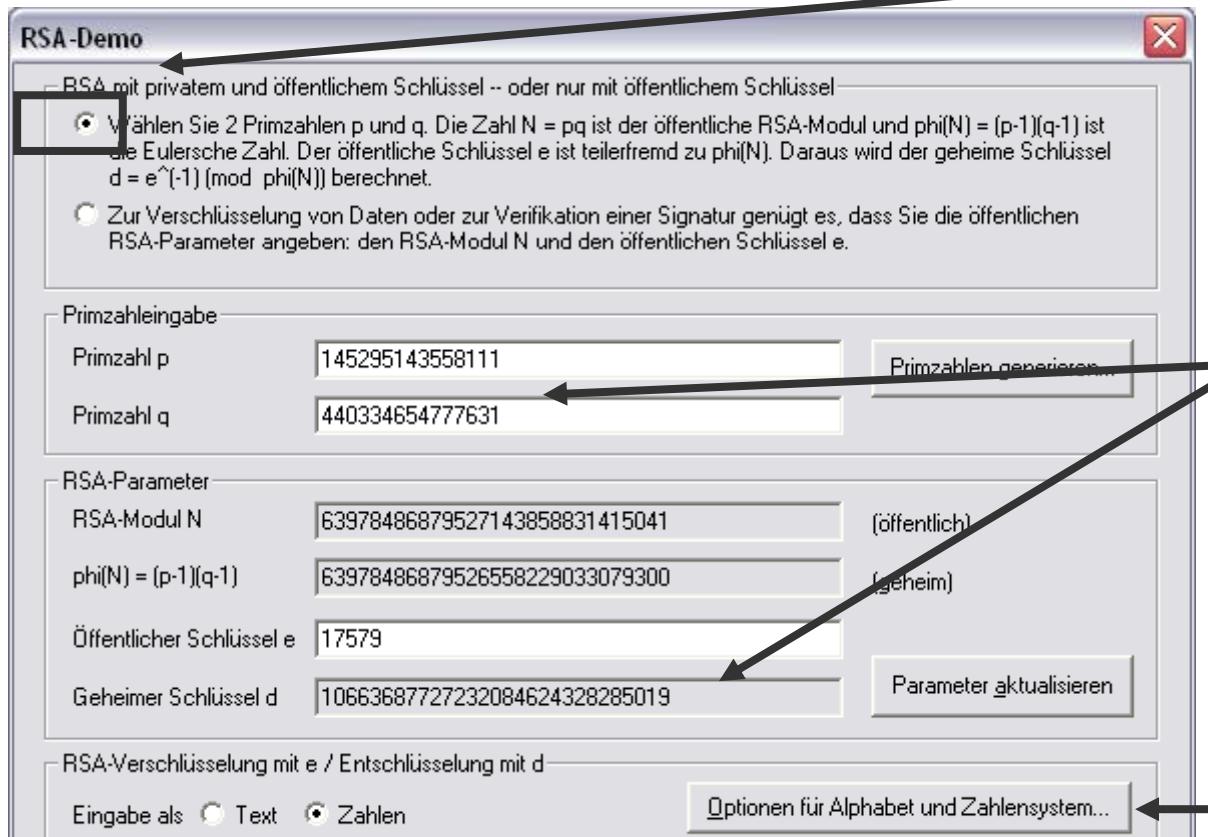
Anwendungsbeispiele (3)

Kurzer RSA-Modul: RSA-Modul faktorisieren



Anwendungsbeispiele (3)

Kurzer RSA-Modul: Geheimen Schlüssel d bestimmen



Wechsel in die Ansicht des Besitzers des geheimen Schlüssels.

4. p und q wurden automatisch eingetragen und der geheime Schlüssel d berechnet.

5. Optionen einstellen

Anwendungsbeispiele (3)

Kurzer RSA-Modul: Optionen einstellen



6. Alphabet wählen

7. Kodierung wählen

8. Blocklänge wählen



Anwendungsbeispiele (3)

Kurzer RSA-Modul: Text entschlüsseln

RSA-Parameter

RSA-Modul N	63978486879527143858831415041	(öffentlich)
phi(N) = (p-1)(q-1)	63978486879526558229033079300	(geheim)
Öffentlicher Schlüssel e	17579	
Geheimer Schlüssel d	10663687727232084624328285019	Parameter aktualisieren

RSA-Verschlüsselung mit e / Entschlüsselung mit d

Eingabe als Text Zahlen Optionen für Alphabet und Zahlensystem...

Chiffretext in Zahlendarstellung zur Basis 10 .

5069057070940529666287522 # 40486038748314205283477353228 # 26906996968026845590696474 ← 9. Ciphertext eingeben

Entschlüsselung in den Klartext: $m[i] = c[i]^d \pmod{N}$

00094604723425878030697780557 # 00080116466004756901239213377 # 0008253339409781111818054

Ausgabetext aus der Entschlüsselung (in Blöcken der Länge 11; das Symbol '#' dient nur als Trennzeichen).

NATURAL NUM # BERS ARE MA # DE BY GOD

Klartext

NATURAL NUMBERS ARE MADE BY GOD

Verschlüsseln Entschlüsseln Schließen

10. Entschlüsseln

Anwendungsbeispiele (4)

Analyse der Verschlüsselung im PSION 5

Praktische Durchführung der Kryptoanalyse:

*Angriff auf die Verschlüsselungsoption der
Textverarbeitungsapplikation im PSION 5 PDA*

Gegeben: eine auf dem PSION verschlüsselte Datei

Voraussetzung

- verschlüsselter deutscher oder englischer Text
- je nach Verfahren und Schlüssellänge 100 Byte bis einige kB Text

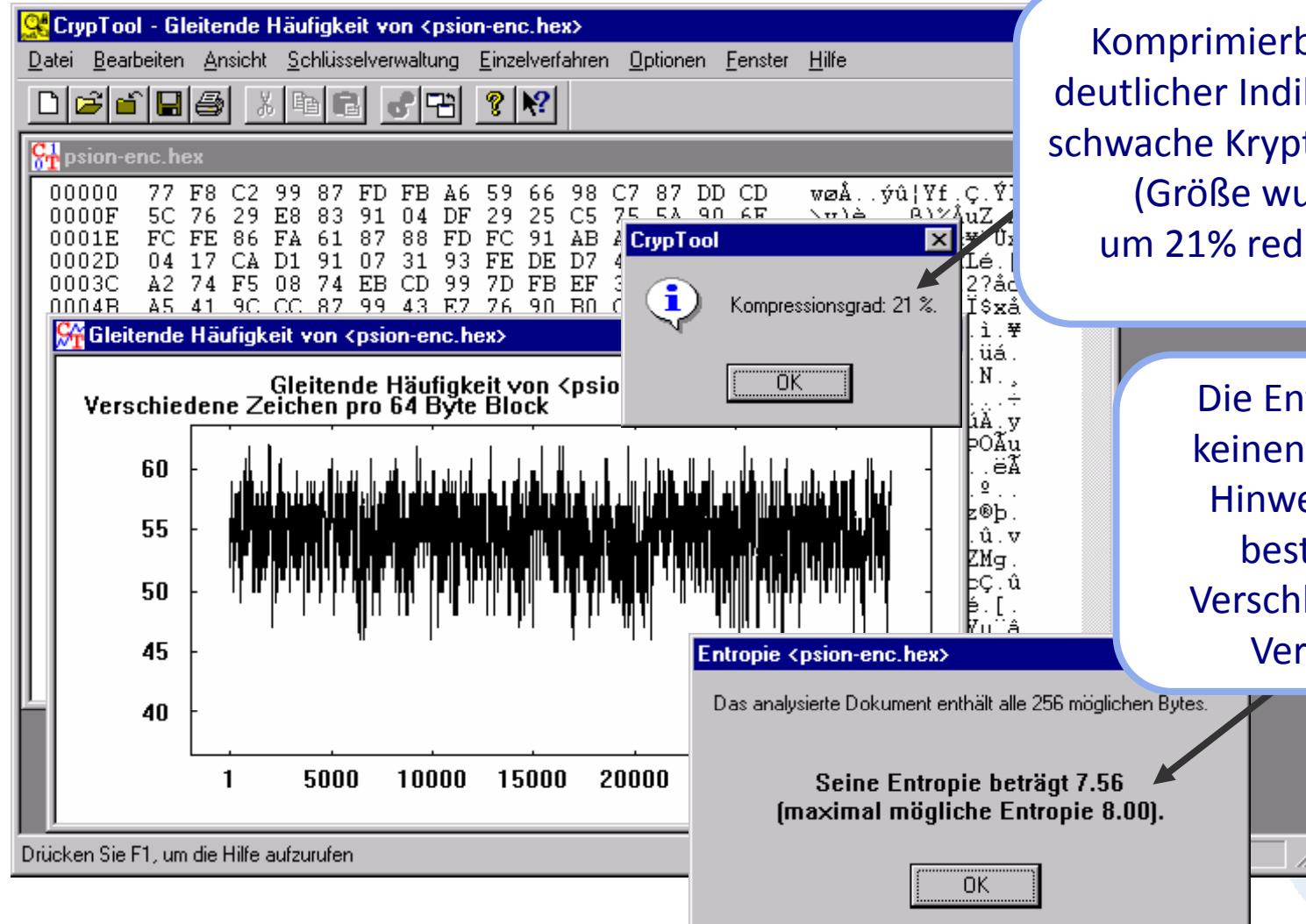
Vorgehen

- Voranalyse
 - Entropie
 - gleitende Häufigkeit
 - Kompressionstest
 - Autokorrelation
 - automatische Analyse mit verschiedenen klassischen Verfahren durchprobieren
- } wahrscheinlich klassische Verschlüsselung



Anwendungsbeispiele (4)

PSION-PDA: Entropie bestimmen, Kompressionstest

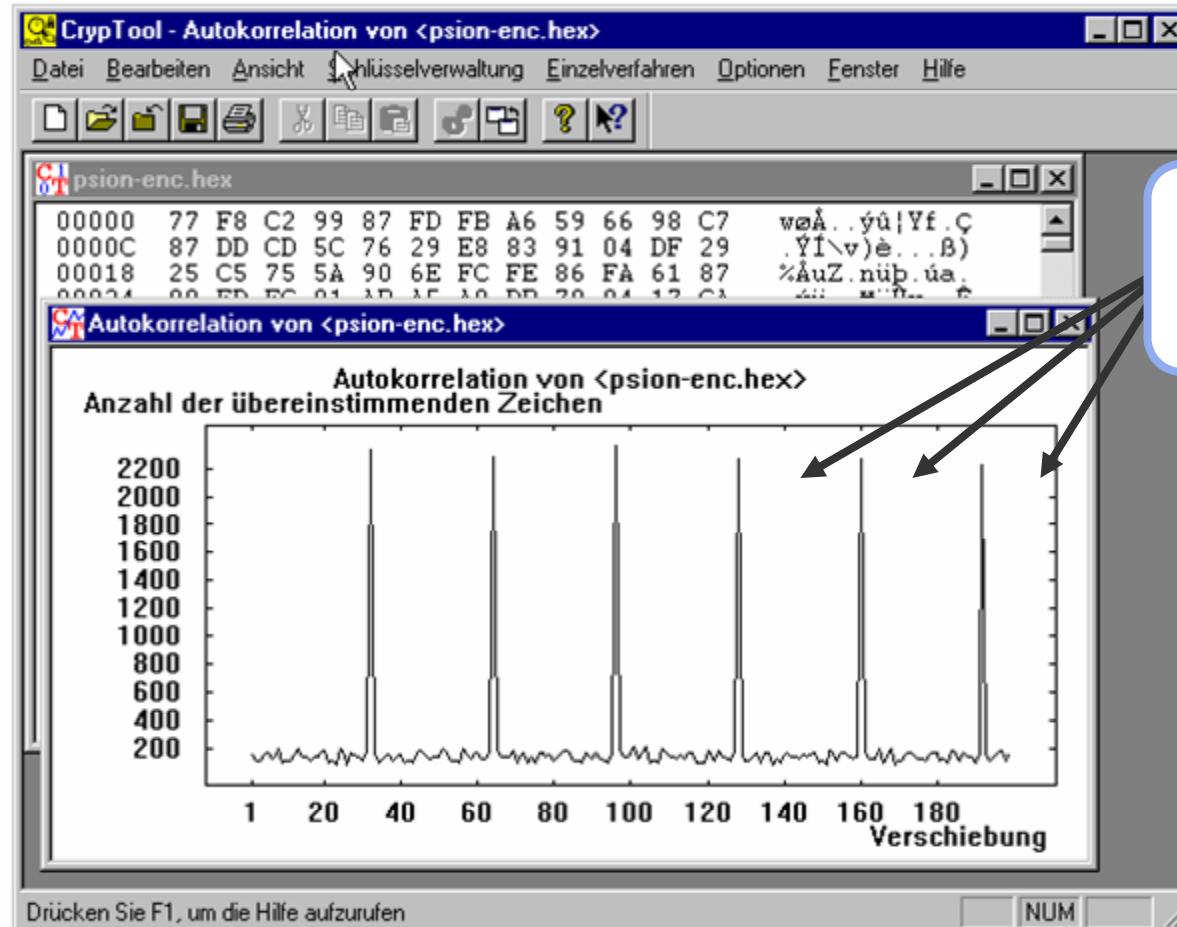


Komprimierbarkeit:
deutlicher Indikator für
schwache Kryptographie
(Größe wurde
um 21% reduziert)

Die Entropie gibt
keinen konkreten
Hinweis auf ein
bestimmtes
Verschlüsselungs-
Verfahren.

Anwendungsbeispiele (4)

PSION-PDA: Autokorrelation bestimmen



Ausgeprägtes Kamm-Muster:
typisch für Vigenère,
XOR und binäre Addition

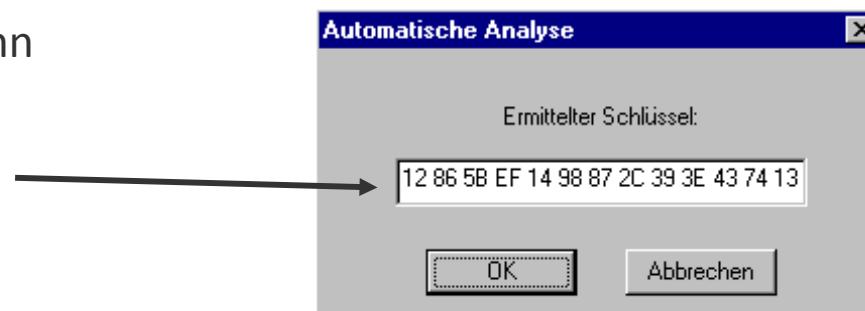
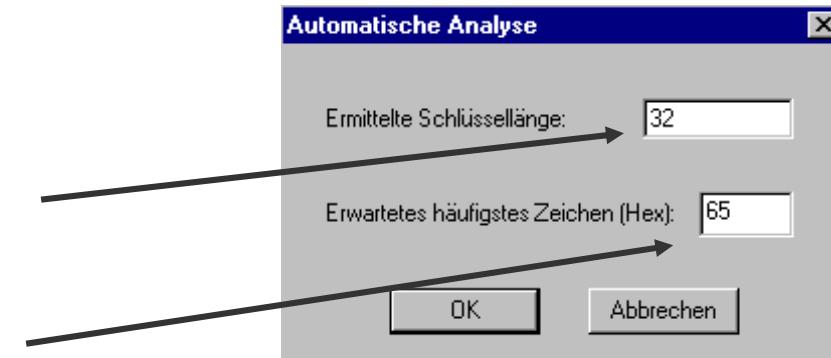
* Diese verschlüsselte Datei wird mit CrypTool ausgeliefert (siehe CrypTool\examples\psion-enc.hex)

Anwendungsbeispiele (4)

PSION-PDA: Automatische Analyse

Automatische Analyse mit:

- **Vigenère: kein Erfolg**
- **XOR: kein Erfolg**
- **Binärer Addition:**
 - CrypTool ermittelt die Schlüssellänge mittels Autokorrelation: 32 Byte
 - Das erwartete häufigste Zeichen kann der Benutzer wählen: „e“ = 0x65 (ASCII-Code)
 - Analyse ermittelt den (unter der Verteilungsannahme) wahrscheinlichsten Schlüssel

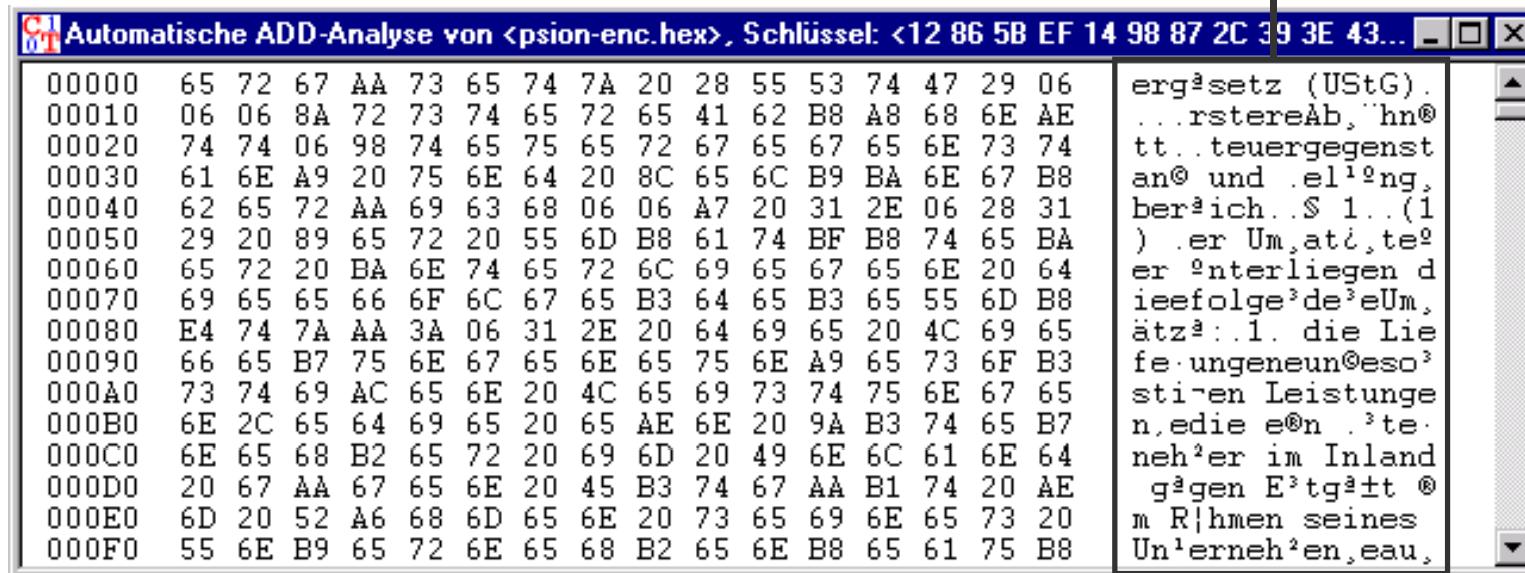


Anwendungsbeispiele (4)

PSION-PDA: Ergebnis der automatischen Analyse

Ergebnis der automatischen Analyse unter der Annahme „binäre Addition“:

- Ergebnis gut, aber nicht perfekt: 24 von 32 Schlüsselbytes richtig.
- Die Schlüssellänge 32 wurde korrekt bestimmt. ←



The screenshot shows the CrypTool application window. The title bar reads "Automatische ADD-Analyse von <psion-enc.hex>, Schlüssel: <12 86 5B EF 14 98 87 2C 39 3E 43...>". The main area displays a hex dump of the file content. To the right of the dump, there is a text pane showing partially decrypted German text. An arrow points from the text pane back to the "Schlüssel:" field in the title bar.

Adresse	Hex	ASCII	Text
00000	65 72 67 AA 73 65 74 7A 20 28 55 53 74 47 29 06		erg ³ setz (UStG).
00010	06 06 8A 72 73 74 65 72 65 41 62 B8 A8 68 6E AE		...rsterAb, hn®
00020	74 74 06 98 74 65 75 65 72 67 65 67 65 6E 73 74		tt..teuiergegenst
00030	61 6E A9 20 75 6E 64 20 8C 65 6C B9 BA 6E 67 B8		an® und .el ¹⁰ ng,
00040	62 65 72 AA 69 63 68 06 06 A7 20 31 2E 06 28 31		ber ³ ich.. S 1..(1
00050	29 20 89 65 72 20 55 6D B8 61 74 BF B8 74 65 BA) .er Um, ati, te ²
00060	65 72 20 BA 6E 74 65 72 6C 69 65 67 65 6E 20 64		er ⁹ nterliegen d
00070	69 65 65 66 6F 6C 67 65 B3 64 65 B3 65 55 6D B8		ieefolge ³ de ³ eUm,
00080	E4 74 7A AA 3A 06 31 2E 20 64 69 65 20 4C 69 65		ätz ² : .1. die Lie
00090	66 65 B7 75 6E 67 65 6E 65 75 6E A9 65 73 6F B3		fe·ungeneun@eso ³
000A0	73 74 69 AC 65 6E 20 4C 65 69 73 74 75 6E 67 65		sti·en Leistunge
000B0	6E 2C 65 64 69 65 20 65 AE 6E 20 9A B3 74 65 B7		n, die e®n . ³ te·
000C0	6E 65 68 B2 65 72 20 69 6D 20 49 6E 6C 61 6E 64		neh ² er im Inland
000D0	20 67 AA 67 65 6E 20 45 B3 74 67 AA B1 74 20 AE		g ³ gen E ² tg ² tt ®
000E0	6D 20 52 A6 68 6D 65 6E 20 73 65 69 6E 65 73 20		m R hmen seines
000F0	55 6E B9 65 72 6E 65 68 B2 65 6E B8 65 61 75 B8		Un ¹ erneh ² en, eau,

- Das eingegebene Passwort war nicht 32 Byte lang.
⇒ PSION Word leitet aus dem Passwort den eigentlichen Schlüssel ab.
- Nacharbeiten von Hand liefert den entschlüsselten Text

Anwendungsbeispiele (4)

PSION-PDA: Bestimmung der restlichen Schlüsselbytes

Schlüssel während der automatischen Analyse in die Zwischenablage kopieren

Im Hexdump der automatischen Analyse

- Falsche Bytepositionen bestimmen, z.B. 0xAA an Position 3
- Korrespondierende korrekte Bytes erraten und notieren: „e“ = 0x65

Im Hexdump der verschlüsselten Ausgangsdatei

- Ausgangsbytes an der ermittelten Bytepositionen bestimmen: 0x99
- Mit CALC.EXE korrekte Schlüsselbytes errechnen: $0x99 - 0x65 = 0x34$

Schlüssel aus der Zwischenablage

- korrigieren 12865B**34**1498872C393E43741396A45670235E111E907AB7C0841...
- verschlüsseltes Ausgangsdokument mittels binärer Addition entschlüsseln
- Nun sind die Bytepositionen 3, 3+32, 3+2*32, ... Ok

00000	65	72	67	65	73	65	74	7A	20	28	55	53	74	47	29	06	ergesetz (UStG).
00010	06	06	8A	72	73	74	65	72	65	41	62	B8	A8	68	6E	AE	...rstereAb, hn®
00020	74	74	06	53	74	65	75	65	72	67	65	67	65	6E	73	74	tt Steuergegenst

Anwendungsbeispiele (5)

„Schwache“ DES-Schlüssel – Implementierung bestätigt die Angaben der Literatur [vgl. HAC]

The screenshot shows two windows from the CrypTool application.

The top window is titled "CrypTool - weak-DES". It has a menu bar with "Datei", "Bearbeiten", "Ansicht", "Ver-/Entschlüsseln", "Digitale Signaturen", "Einzelverfahren", "Analyse", "Schlüsselverwaltung", "Optionen", "Fenster", and "Hilfe". The "Ver-/Entschlüsseln" menu is open, showing "Klassisch", "Symmetrisch", and "Asymmetrisch" options. Under "Symmetrisch", "DES (CBC)" is selected. A sub-menu "DES weak key demo" is highlighted with a black oval. The main pane shows the text "2x verschlüsseln mit ... ergibt wieder den Klartext". A second window titled "Schlüsselleingabe" is overlaid, showing a key entry field with the value "01 01 01 01 01 01 01 01".

The bottom window is titled "CrypTool - DES (ECB) Verschlüsselung von <...>, Schlüssel <01 01 01 01 01 01 01 01>". It has a menu bar with "Datei", "Bearbeiten", "Ansicht", "Ver-/Entschlüsseln", "Digitale Signaturen", "Einzelverfahren", "Analyse", "Schlüsselverwaltung", "Optionen", "Fenster", and "Hilfe". The "Ver-/Entschlüsseln" menu is open, showing "DES (ECB)". The main pane shows two rows of hex and ASCII data. The first row is "00000 0B 76 4F 0A 1A 2E 70 A8 2D 3B A3 4B F0 76 6E 2B E0 2B A4 .vO...p...;£Këvn+à+n" and the second row is "00000 44 45 53 20 77 65 61 6B 20 6B 65 73 20 64 65 6B 6F 00 00 DES weak key demo.". The bottom of the window has the text "Drücken Sie F1, um die Hilfe aufzurufen" and a numeric keypad.

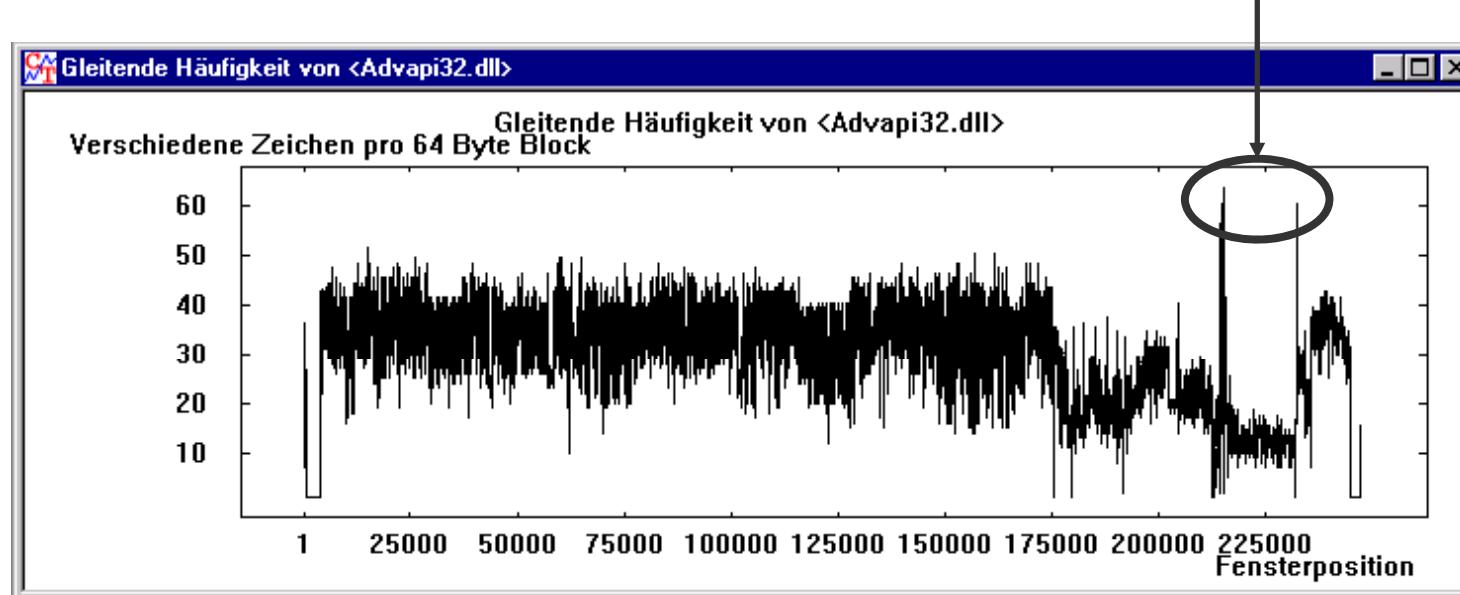
Anwendungsbeispiele (6)

Auffinden von Schlüsselmaterial

Die Funktion „Gleitende Häufigkeit“ eignet sich zum Auffinden von Schlüsselmaterial und verschlüsselten Bereichen in Dateien.

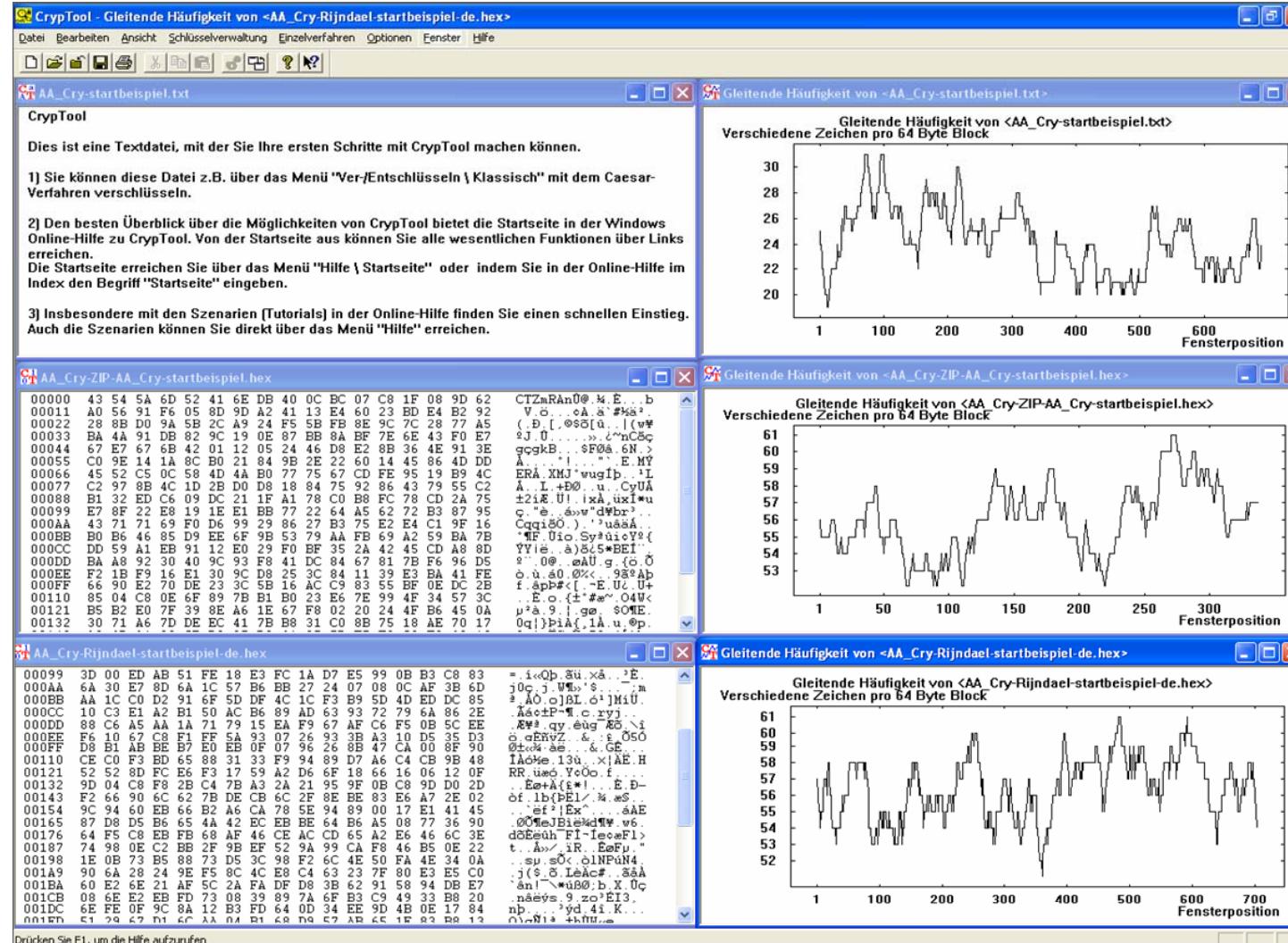
Hintergrund:

- Diese Daten sind „zufälliger“ als Text oder Programmcode.
- Sie sind als Peak in der „gleitenden Häufigkeit“ zu erkennen.
- Beispiel: der „NSAKEY“ in advapi32.dll



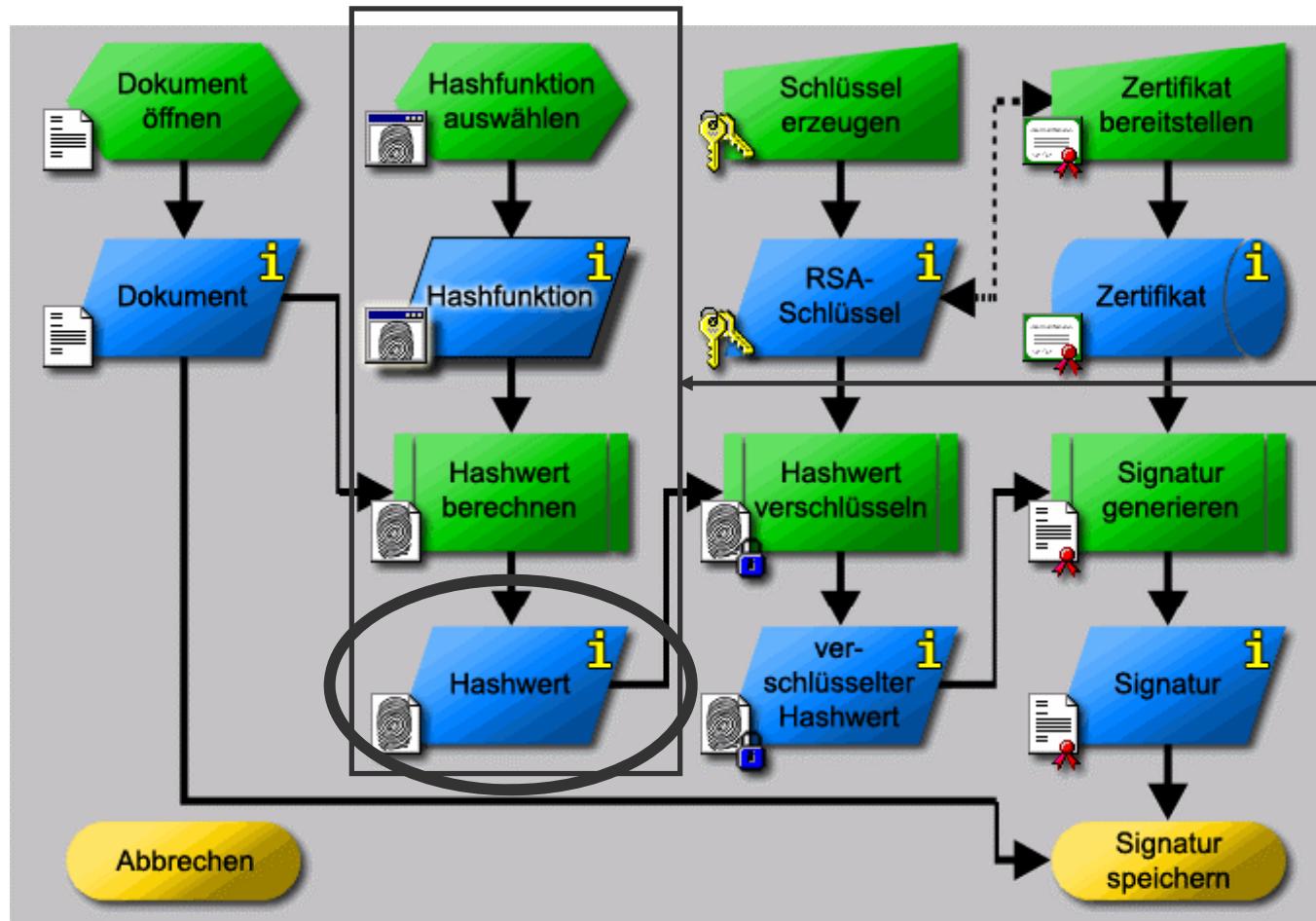
Anwendungsbeispiele (6)

Vergleich der gleitenden Häufigkeit anderer Dateien



Anwendungsbeispiele (7)

Angriff auf digitale Signatur



Angriff:

Finde zwei Nachrichten mit dem gleichen Hashwert !



Anwendungsbeispiele (7)

Angriff auf digitale Signatur: Idee (1)

Angriff auf die digitale Signatur eines ASCII-Textes durch Suche nach Hashkollisionen

Idee:

- ASCII-Text kann mittels **nicht-druckbarer** Zeichen modifiziert werden, ohne den lesbaren Inhalt zu verändern
- Modifizierte parallel zwei Texte, bis eine Hashkollision erreicht wird
- Ausnutzung des Geburtstagsparadoxons (Geburtstagsangriff)
- Generischer Angriff auf beliebige Hashfunktion
- Angriff ist gut parallelisierbar (nicht implementiert)
- In CrypTool implementiert im Rahmen der Bachelor-Arbeit „*Methoden und Werkzeuge für Angriffe auf die digitale Signatur*“, 2003.

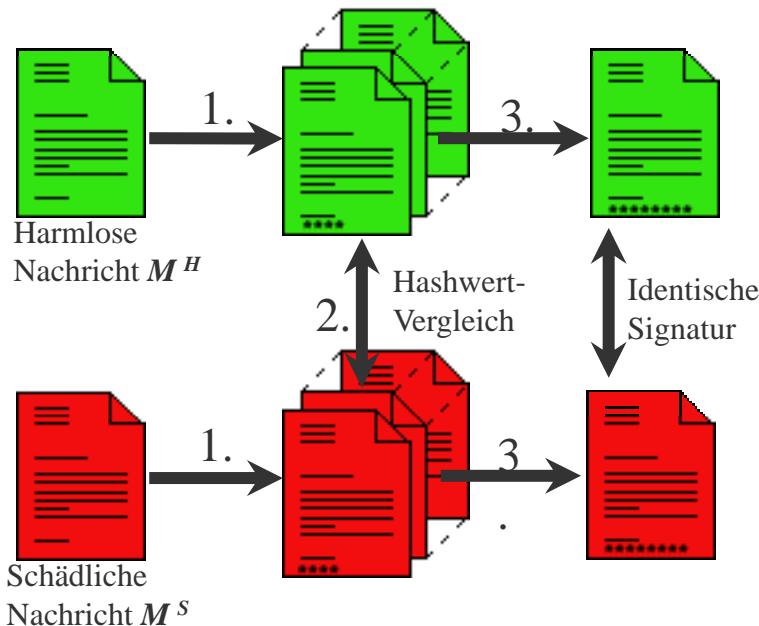
Konzepte:

Mappings, modifizierter Floyd-Algorithmus (konstanter Speicherbedarf) !



Anwendungsbeispiele (7)

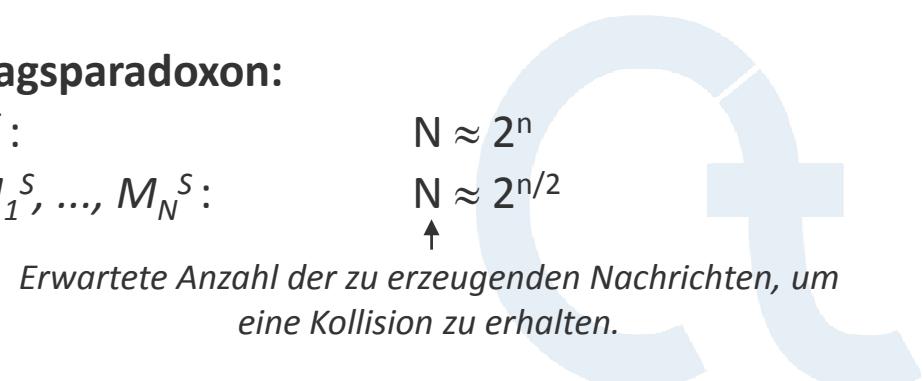
Angriff auf digitale Signatur: Idee (2)



- Modifikation:** Ausgehend von der Nachricht M werden N verschiedene Nachrichten M_1, \dots, M_N – „inhaltlich“ gleich mit der Ausgangsnachricht – erzeugt.
- Suche:** Gesucht werden *modifizierte* Nachrichten M_i^H und M_j^S mit gleichem Hashwert.
- Angriff:** Die Signaturen zweier solcher Dokumente M_i^H und M_j^S sind identisch.

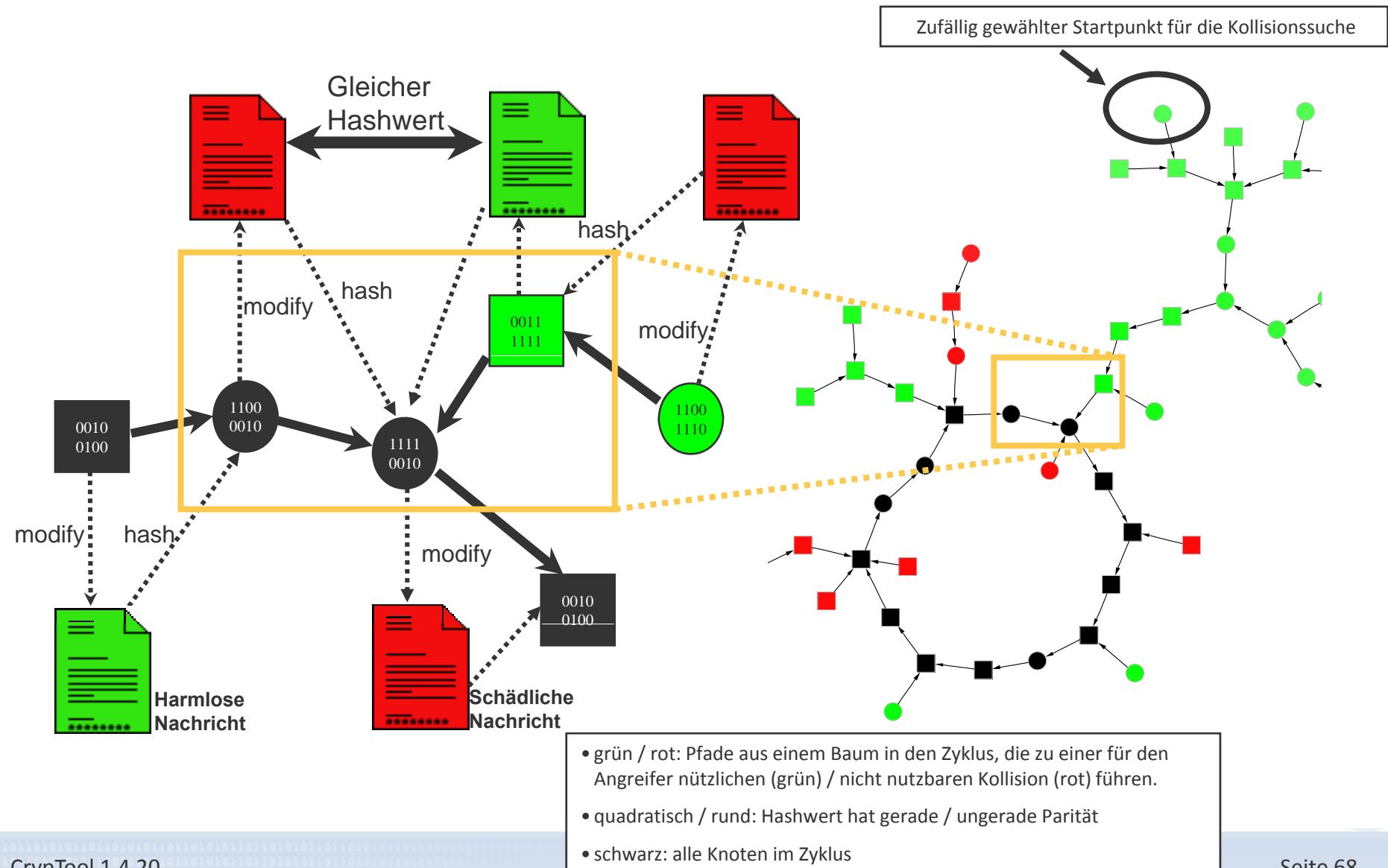
Für Hashwerte der Bitlänge n sagt das Geburtstagsparadoxon:

- Kollisionssuche zwischen M^H und M_1^S, \dots, M_N^S :
- Kollisionssuche zwischen M_1^H, \dots, M_N^H und M_1^S, \dots, M_N^S :



Hashkollisionssuche (1)

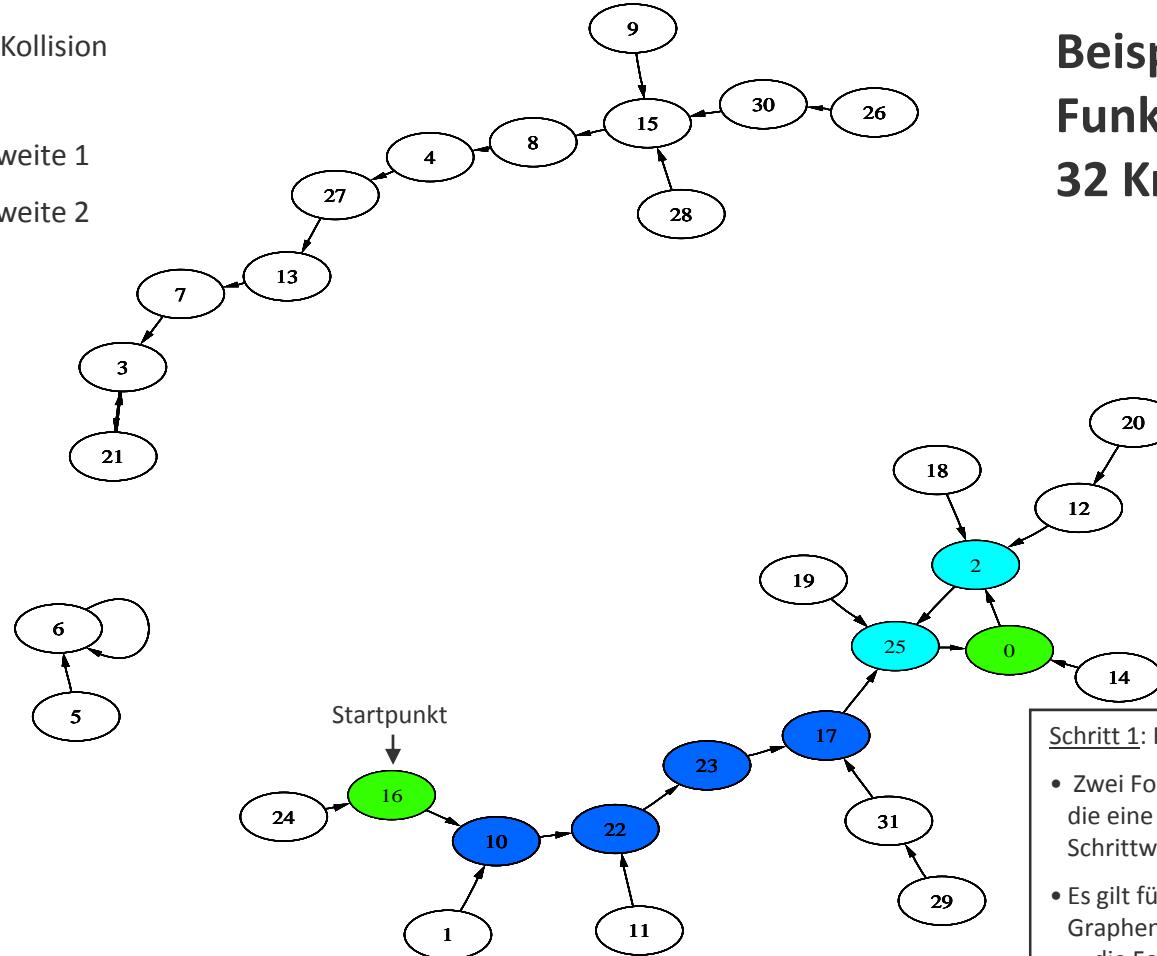
Mapping durch Textmodifikation



Hashkollisionssuche (2)

Floyd-Algorithmus: Treffen im Zyklus

- Start / Kollision
- Zyklus
- Schrittweite 1
- Schrittweite 2



Beispiel:
**Funktionsgraph mit
32 Knoten**

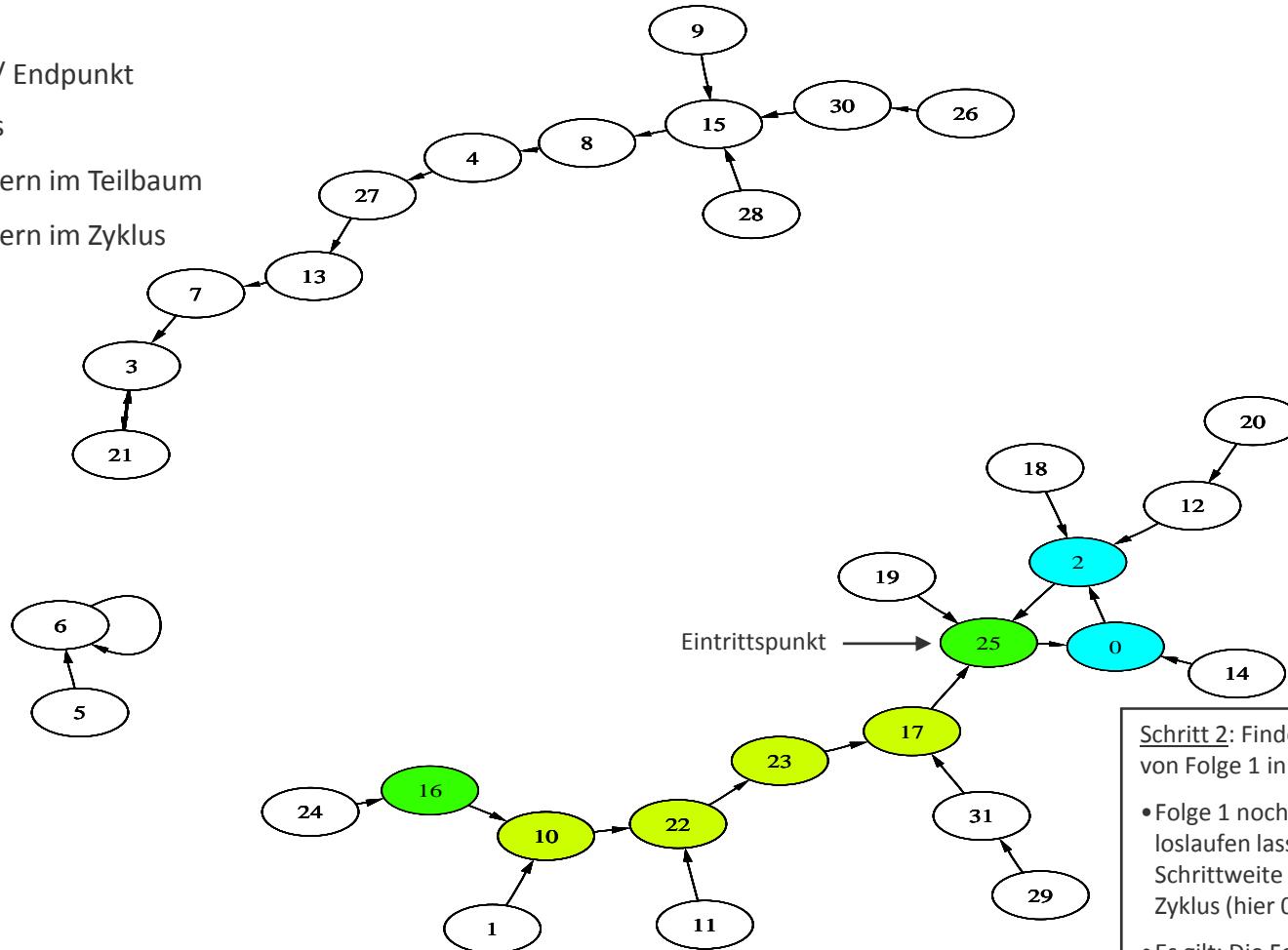
Schritt 1: Finden des Treffpunktes im Zyklus:

- Zwei Folgen mit gleichem Start [16]: die eine Folge hat Schrittweite 1, die andere Schrittweite 2.
- Es gilt für alle Zykluslängen (aufgrund der Graphentheorie):
 - die Folgen enden immer in einem Zyklus.
 - beide Folgen treffen sich in einem Knoten im Zyklus (hier 0).

Hashkollisionssuche (3)

Eintritt in den Zyklus (Erweiterung von Floyd): Finde Eintrittspunkt

- Start / Endpunkt
- Zyklus
- Wandern im Teilbaum
- Wandern im Zyklus

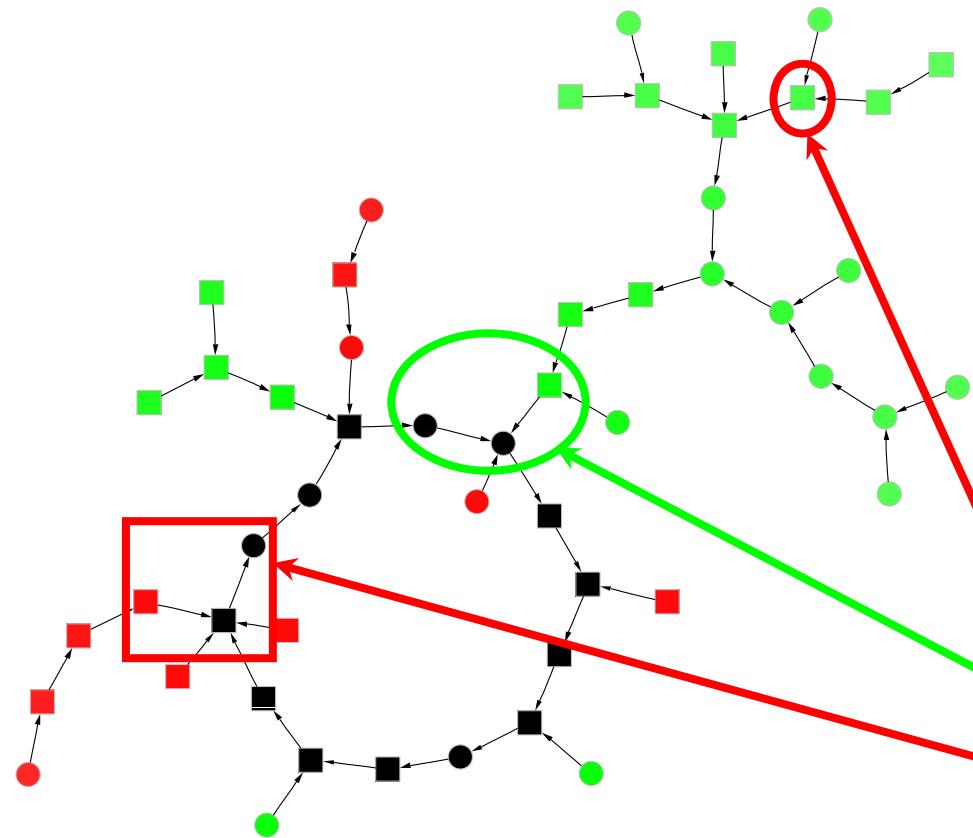


Schritt 2: Finden des Eintrittspunktes von Folge 1 in den Zyklus [25]:

- Folge 1 noch mal vom Startwert loslaufen lassen; dritte Folge mit Schrittweite 1 ab Treffpunkt im Zyklus (hier 0) loslaufen lassen.
- Es gilt: Die Folgen treffen sich im Eintrittspunkt (hier 25) der Folge
- Die Vorgänger (hier 17 und 2) liefern die Hashkollision.

Hashkollisionssuche (4)

Geburtstagsangriff auf die digitale Signatur



Auseinandersetzung mit dem Floyd-Algorithmus

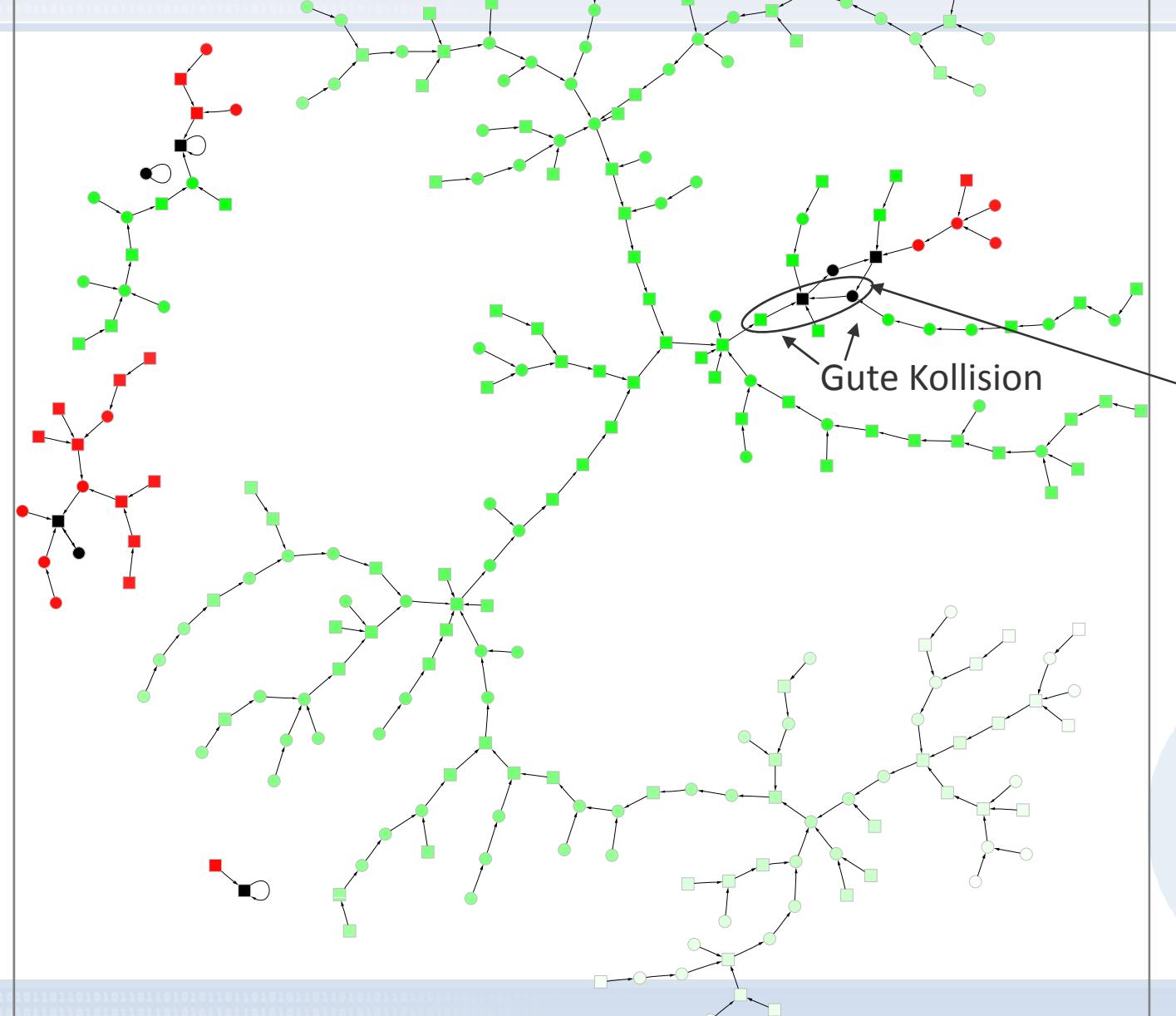
- Visuelle & interaktive Darstellung des Floyd- Algorithmus ("Wanderung im Mapping" in einen Zyklus hinein).*
- Adaption des Floyd- Algorithmus für den Signaturangriff.

Startpunkt
Gute Kollision
Schlechte Kollision

*Der Floyd-Algorithmus ist implementiert. Die Visualisierung von Floyd ist noch nicht in CrypTool integriert.

Anwendungsbeispiele (7)

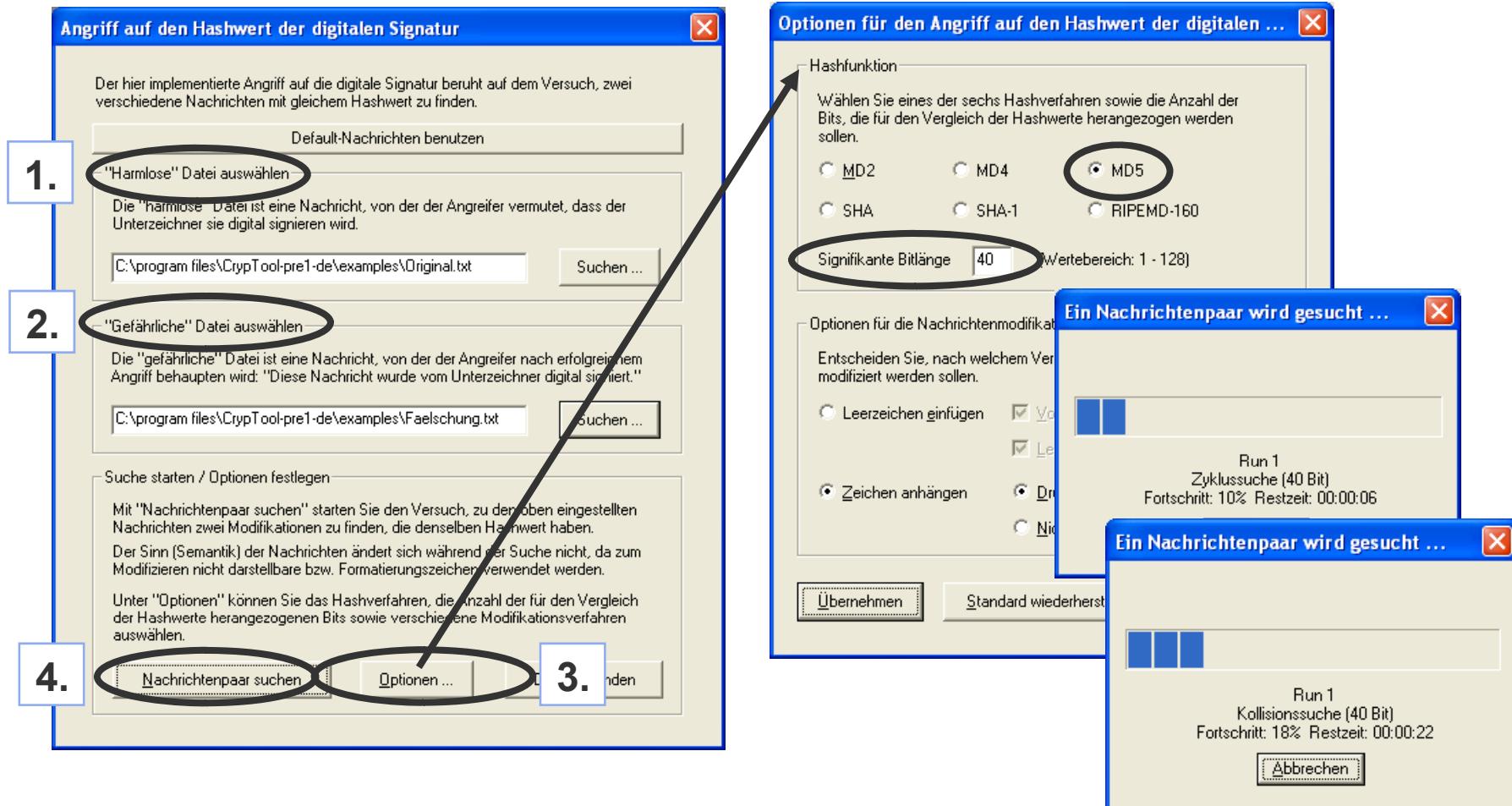
Angriff auf digitale Signatur



Ein Beispiel für ein „gutartiges“ Mapping (fast alle Knoten darin sind grün gefärbt). In diesem Graphen gehören die meisten Knoten zu einem großen Baum, der in den Zyklus mit einem geraden Hashwert gelangt und wo der Eintrittspunkt-Vorgänger im Zyklus ungerade ist. D.h. der Angreifer findet für fast jeden zufälligen Startpunkt eine brauchbare Kollision.

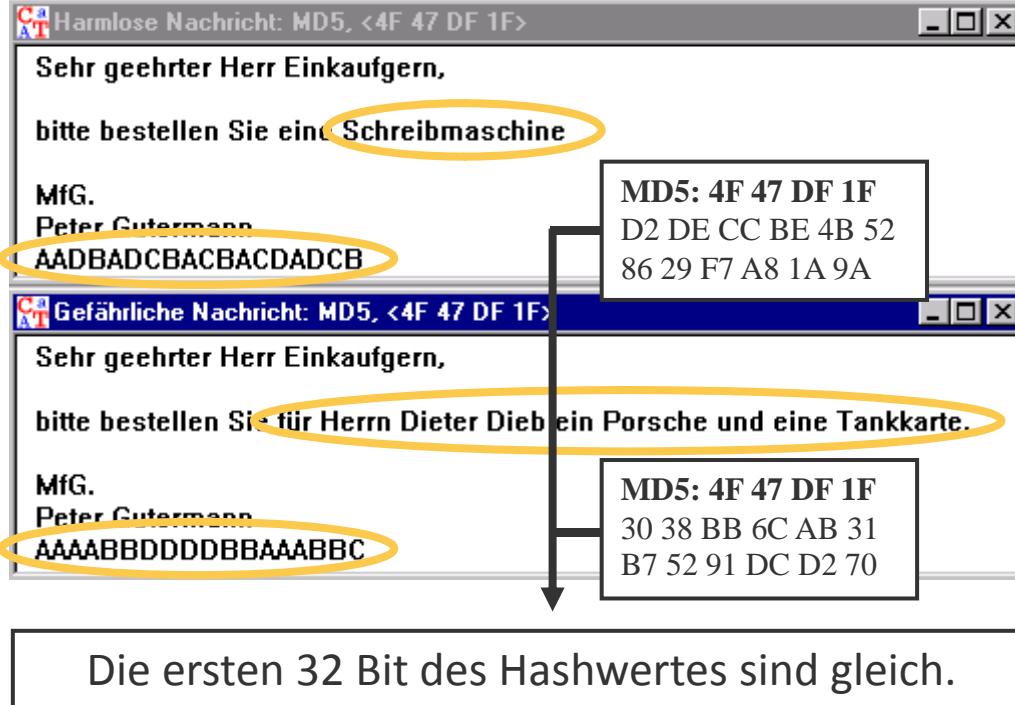
Anwendungsbeispiele (7)

Angriff auf digitale Signatur: Durchführung



Anwendungsbeispiele (7)

Angriff auf digitale Signatur: Ergebnisse



Praktische Resultate

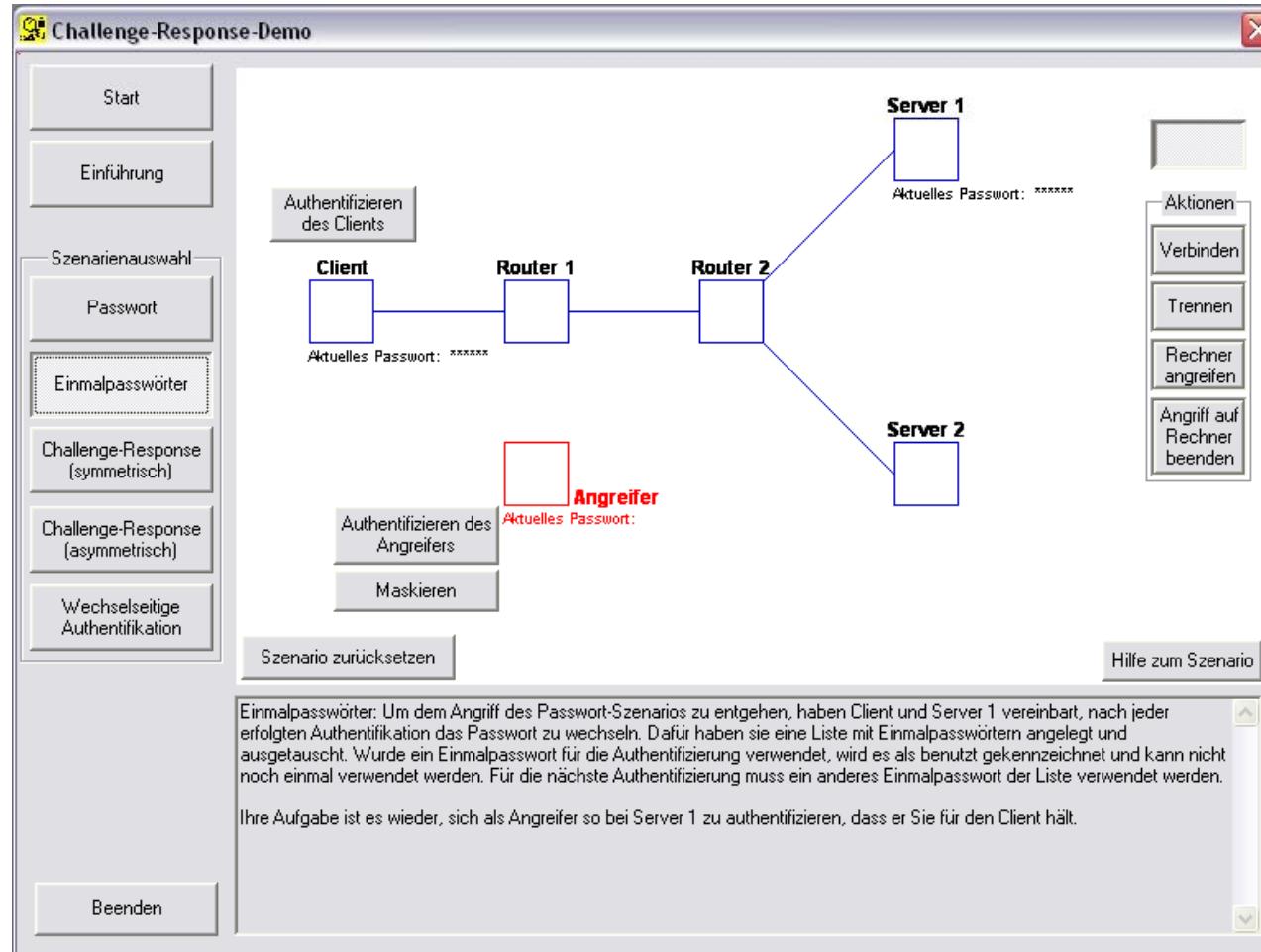
- 72 Bit *Teilkollisionen* (Übereinstimmung der ersten 72 Bit-Stellen der Hashwerte) konnten im Zeitraum von wenigen Tagen auf einem einzigen PC gefunden werden.
- Signaturverfahren mit Hashverfahren bis zu 128 Bit Länge sind heute mit massiv parallelen Verfahren angreifbar!
- Es sollten Hashwerte mit mindestens 160 Bit verwendet werden.

Zusätzlich zur interaktiven Bedienung:

Automatisierte Offline-Funktion in CrypTool: Durchspielen und Loggen der Ergebnisse für ganze Sets von Parameterkonfigurationen. Möglich durch entsprechenden Aufruf von CrypTool über die Eingabeaufforderung.

Anwendungsbeispiele (8)

Authentifizierung in einer Client-Server-Umgebung

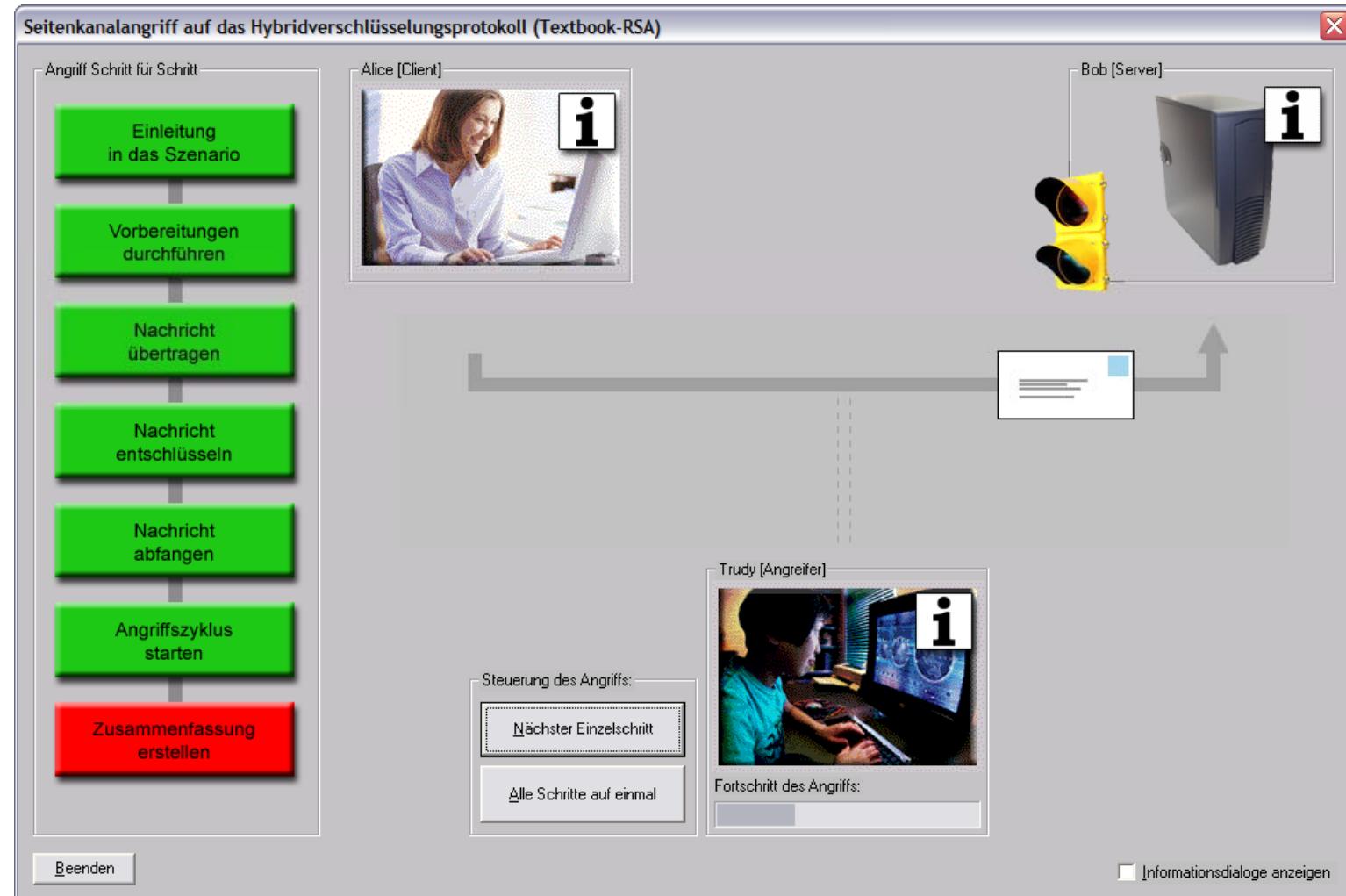


Menü: „Einzelverfahren“ \ „Protokolle“ \ „Authentisierungsverfahren im Netz“

- Interaktive Demo für verschiedene Authentifizierungs-Verfahren.
- Definierte Möglichkeiten des Angreifers.
- Sie können in die Rolle eines Angreifers schlüpfen.
- **Lerneffekt:** Nur die wechselseitige Authentifizierung ist sicher.

Anwendungsbeispiele (9)

Demo eines Seitenkanalangriffes (auf Hybridverschlüsselungsprotokoll)



Menü: „Analyse“ \ „Asymmetrische Verfahren“ \ „Seitenkanalangriff auf Textbook-RSA“

Anwendungsbeispiele (9)

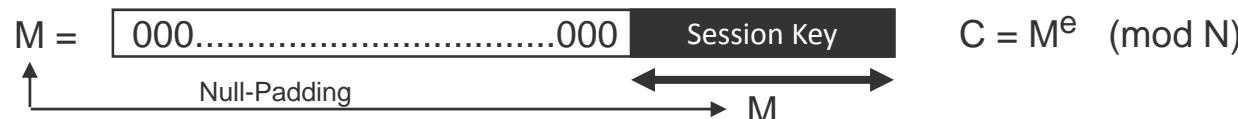
Idee zu diesem Seitenkanalangriff

Ulrich Kühn, *Side-channel attacks on textbook RSA and ElGamal encryption (2003)*

Voraussetzungen:

- RSA-Verschlüsselung: $C = M^e \pmod{N}$ und Entschlüsselung: $M = C^d \pmod{N}$.
- 128-Bit Sessionkeys (in M) werden „Textbuch-verschlüsselt“ (Null-Padding).
- Der Server kennt den geheimen Schlüssel d und
 - benutzt nach der Entschlüsselung nur die 128 niederwertigsten Bit (keine Überprüfung der Null-Padding-Bit) (d.h. er erkennt nicht, wenn dort was anderes als Nullen stehen).
 - liefert eine Fehlermeldung, wenn bei der Entschlüsselung ein „falscher“ Session Key bestimmt wird (entschlüsselter Text kann nicht vom Server interpretiert werden). Im anderen Fall kommt keine Meldung.

Angriffsidee: Approximation von Z auf 129 Bitstellen aus der Gleichung $N = M * Z$ per $M = \lfloor |N/Z| \rfloor$



Für Z werden die Bitstellen sukzessive ermittelt: Pro Schritt erhält man 1 Bit mehr. Der Angreifer modifiziert C nach C' (siehe unten). Abhängig davon, ob es beim Server (Empfänger) zu einem Bit-Überlauf bei der Berechnung von M' kommt, schickt er eine Fehlermeldung oder nicht. Basierend auf dieser Information erhält der Angreifer ein Bit für Z.



Anwendungsbeispiele (10)

Mathematik: Angriffe auf RSA per Gitterreduktion

Angriff auf kleine geheime Exponenten (nach Blömer / May)

Beschreibung:
Mit diesem Angriff ist es möglich, den RSA-Modul N zu faktorisieren, wenn der geheime Schlüssel d im Vergleich zu N zu klein gewählt wurde. Die Zahl $\delta = \log(d)/\log(N)$ bezeichnet man als "Größe von d". Der Angriff funktioniert für $\delta < 0,290$.

Um Beispiele aus der Literatur auszuprobieren, geben Sie zunächst den öffentlichen Schlüssel (N,e) ein. Danach geben Sie einen geschätzten Wert für delta ein. Alternativ können Sie d direkt eingeben, woraus delta berechnet wird.

Um sich ein Beispiel erzeugen zu lassen, geben Sie delta und die Bitlänge von N an.
Durch Klicken auf "Beispielschlüssel erzeugen" werden die Schlüssel erzeugt.

Danach klicken Sie auf "Starten".

Schritt 1: Schlüsselparameter und Schlüssel eingeben

Bitlänge von N: 300 delta: 0,2600 Standard-Schlüsselparameter setzen

N: 857073798346215184382161530544361373050019640299447938271693996822747113271714535706
e: 218305208015393063472478474434063284822795207914943862442679226243449153095110094850
d: 241315232572409146883257

Zufälligen RSA-Schlüssel erzeugen

Schritt 2: Angriffsparameter für das Gitterreduktionsverfahren eingeben

m: 4 Bestimmt die Größe des zu reduzierenden Gitters und die maximale Größe von delta. Sollte mindestens den Wert 4 haben.
t: 2 Wird abhängig von m optimal bestimmt.
Gitterdimension: 15 Größe des zu reduzierenden Gitters. Bestimmt maßgeblich die Laufzeit.
Maximales delta: 0,2653 Maximale Größe von delta für große N ($N > 1000$ Bit).

Schritt 3: Angriff starten

Erzeuge Gitter: 0h 0m 0s Reduktionen: 6237 Starten
Reduziere Gitter: 0h 0m 1s Resultante: 1 Abbrechen
Bilde Resultante: 0h 0m 2s
Gesamtzeit: 0h 0m 5s

Gefundene Faktorisierung:
p: 1037689133569485779480551961279977316026994707 q: 825944659744115722584120500232353574453988321

Logdatei ausgeben Dialog schließen

- Veranschaulicht, wie die Parameter des RSA-Verfahrens beschaffen sein müssen, damit sie den aktuellen, auf Gitterreduktion beruhenden Angriffen aus der Literatur standhalten.

- Drei Varianten**, die nicht standhalten:

- Der geheime Exponent d ist im Verhältnis zu N zu klein.
 - Einer der Faktoren von N ist teilweise bekannt.
 - Ein Teil des Klartextes ist bekannt.
- Diese Annahmen sind realistisch.

Menü: „Analyse“ / „Asymmetrische Verfahren“ / „Gitterbasierte Angriffe auf RSA“ / ...

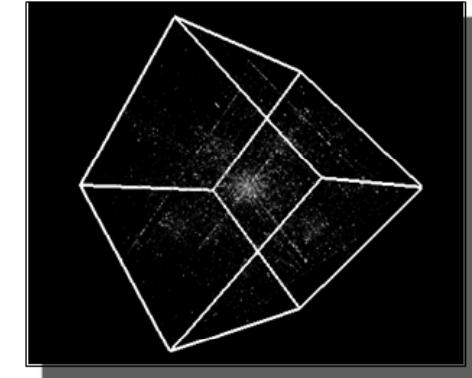
Anwendungsbeispiele (11)

Zufallsanalyse mit 3-D-Visualisierung

3-D Visualisierung zur Analyse von Zufallszahlen

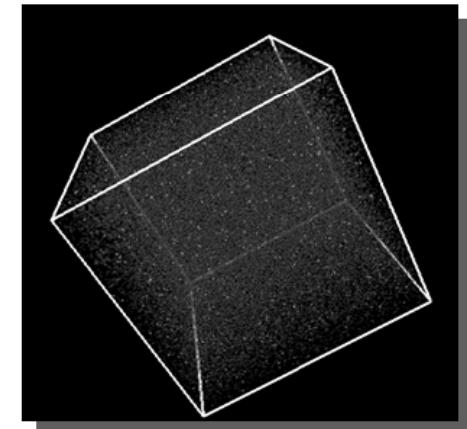
Beispiel 1

- Öffnen einer beliebigen Datei (z.B. Bericht in Word oder PowerPoint-Präsentation)
- Es empfiehlt sich eine zumindest 100 KB große Datei zu wählen
- 3-D-Analyse über das Menü: „Analyse“ \ „Zufallsanalyse“ \ „3-D-Visualisierung“
- Ergebnis: **Strukturen sind offensichtlich erkennbar**



Beispiel 2

- Generierung von Zufallszahlen: „Einzelverfahren“ \ „Tools“ \ „Zufallsdaten erzeugen“
- Hierbei sollte man zumindest 100.000 Bytes an Zufallsdaten erzeugen
- 3-D-Analyse über das Menü: „Analyse“ \ „Zufallsanalyse“ \ „3-D Visualisierung“
- Ergebnis: **Gleichverteilung (keine Strukturen erkennbar)**

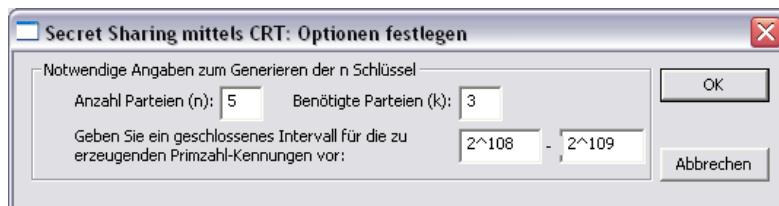


Anwendungsbeispiele (12)

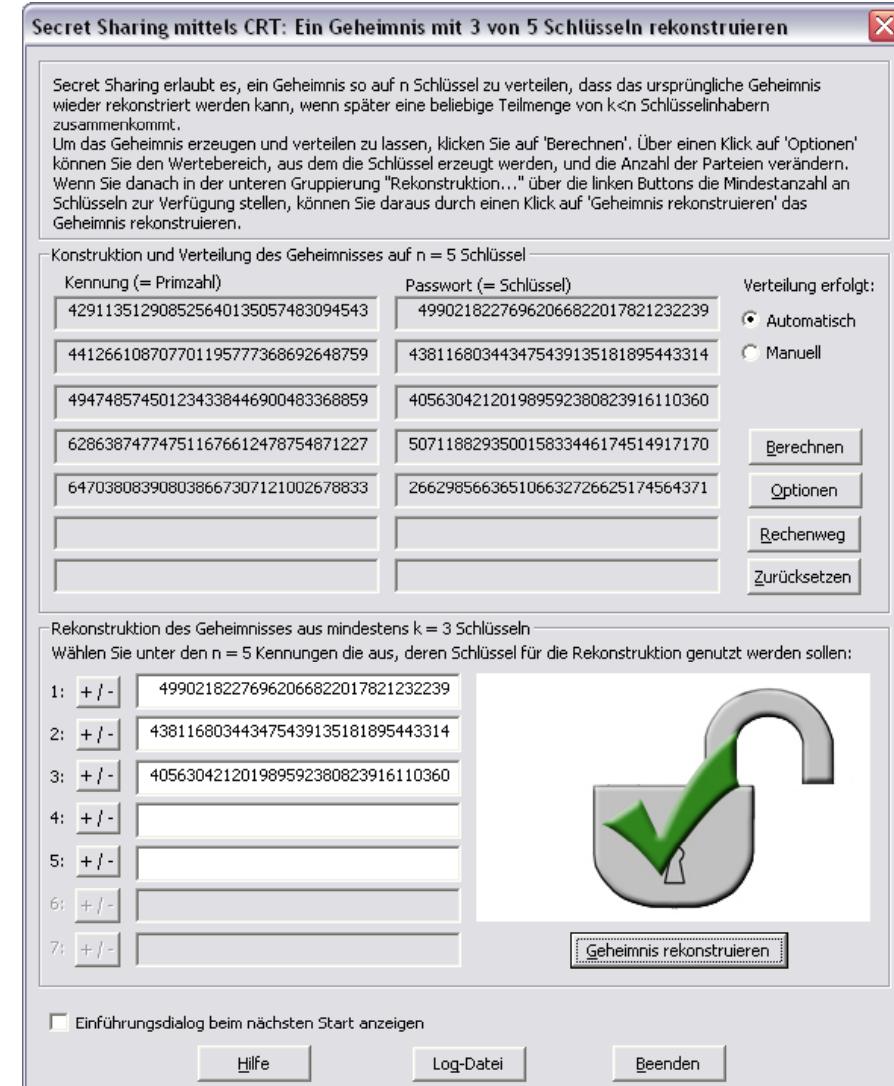
Secret Sharing mittels CRT – Implementierung des Chinesischen Restsatzverfahrens

Secret Sharing Beispiel (1):

- **Problemstellung:**
 - 5 Personen erhalten jeweils einen Schlüssel
 - Um Zugriff zu erlangen, müssen mindestens 3 der 5 Personen anwesend sein
- **Menü: „Einzelverfahren“ \ „Anwendungen des Chinesischen Restsatzverfahrens“ \ „Secret Sharing mittels CRT“**
- **„Optionen“** ermöglicht weitere Details des Verfahrens einzustellen.



- **„Rechenweg“** zeigt die Schritte zur Generierung der Schlüssel.



Anwendungsbeispiele (12)

Secret Sharing mittels Schwellenwertschema von Shamir

Secret Sharing Beispiel (2)

▪ Problemstellung

- Ein geheimer Wert soll unter n Personen aufgeteilt werden.
- t von n Personen sind notwendig um den geheimen Wert wiederherzustellen.
- (t, n) Schwellenwertschema

▪ Menü: „Einzelverfahren“ \ „Secret Sharing Demo (nach Shamir)“

1. Angabe des Geheimnisses K, sowie Anzahl der Teilnehmer n und Schwellenwert t

2. Polynom generieren

3. Parameter übernehmen

▪ Mittels „Rekonstruktion“ kann das eingegebene Geheimnis wiederhergestellt werden

Secret Sharing: Aufsetzen eines Schwellenwertschemas

Mit dem (t, n)-Schwellenwertschema nach Shamir ist es möglich, ein Geheimnis S auf n Personen aufzuteilen. Danach sind t Personen ($t \leq n$) in der Lage, mit ihren Teilgeheimnissen (Shares) das ursprüngliche Geheimnis wiederherzustellen.
Dazu werden ein Polynom $f(x)$ vom Grad $t-1$ [also mit $t-1$ zufälligen Koeffizienten $a[i]$] und eine zufällige Primzahl p erzeugt. Jedem Teilnehmer werden dann ein zufällig gewählter, öffentlicher Wert x und ein geheimer Wert $y=f(x)$ [sein Share] zugewiesen.
Weitere Details erhalten Sie in der Online-Hilfe, indem Sie F1 drücken.

Geheimnis und Steuerparameter wählen (ganze Zahlen)

Geheimnis S mit $S \geq 0$	1244	Beispielparameter setzen
Anzahl der Teilnehmer n mit $n > 0$	8	Optionen
Schwellenwert (Mindestanzahl) t mit $t > 0$	3	

Parameter des Polynoms $f(x)$ vom Grad $t-1$
Alle Operationen finden im diskreten Raum $GF(p)$ statt.

Polynom $f(x)$: $1244+2114x+1519x^2$

Primzahl p: 3049

Parameter übernehmen

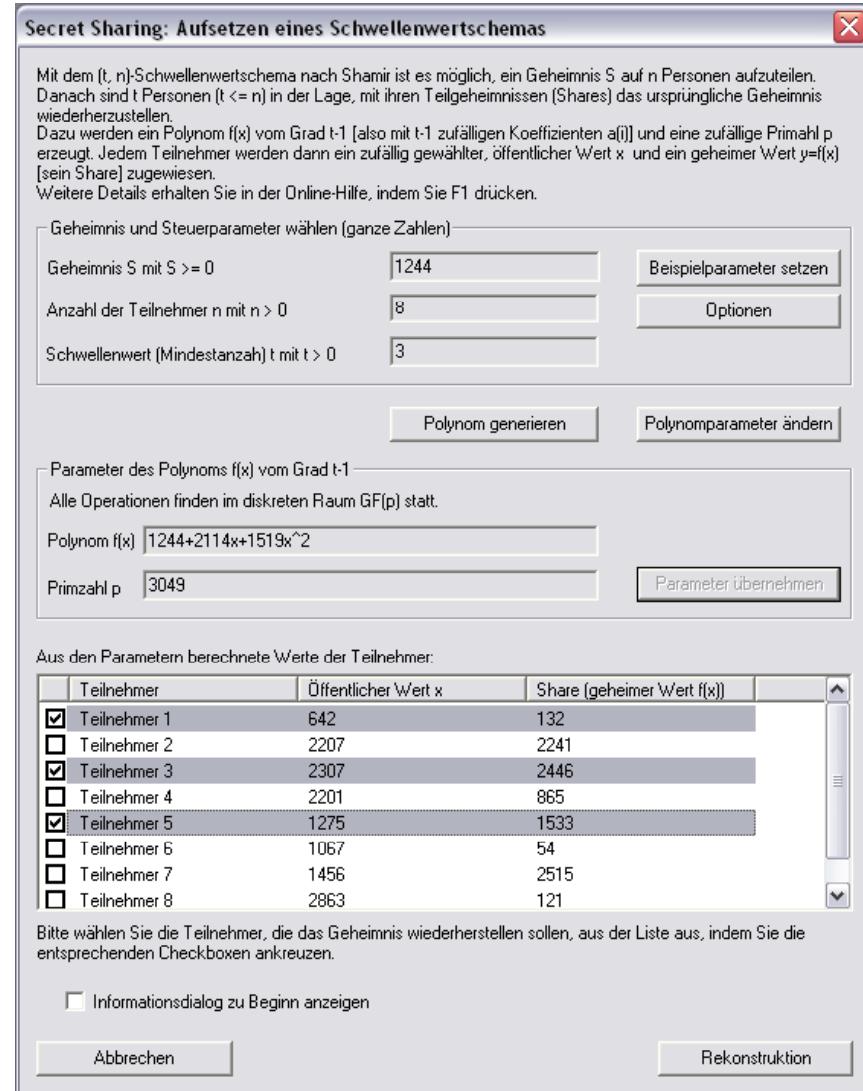
Aus den Parametern berechnete Werte der Teilnehmer:

Teilnehmer	Öffentlicher Wert x	Share (geheimer Wert f(x))
Teilnehmer 1	642	132
Teilnehmer 2	2207	2241
Teilnehmer 3	2307	2446
Teilnehmer 4	2201	865
Teilnehmer 5	1275	1533
Teilnehmer 6	1067	54
Teilnehmer 7	1456	2515
Teilnehmer 8	2863	121

Bitte wählen Sie die Teilnehmer, die das Geheimnis wiederherstellen sollen, aus der Liste aus, indem Sie die entsprechenden Checkboxen ankreuzen.

Informationsdialog zu Beginn anzeigen

Abbrechen Rekonstruktion



Anwendungsbeispiele (13)

Anwendung des CRT in der Astronomie zur Lösung linearer Kongruenzsysteme

Problemstellung aus der Astronomie

- Wie lange dauert es, bis sich eine gegebene Anzahl Planeten (mit unterschiedlichen Umlaufgeschwindigkeiten) auf einem Bahnradiusvektor s treffen.
- Ergebnis ist ein System simultaner Kongruenzen, das sich mit Hilfe des Chinesischen Restsatzes (CRT) lösen lässt.
- In dieser Demo können bis zu 9 Kongruenzen aufgestellt und mittels CRT gelöst werden.

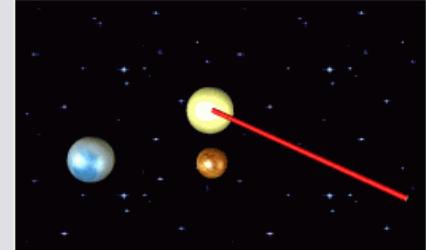
Anwendungsbeispiel des Chinesischen Restsatzes aus der Astronomie: Planetenumlaufbahn

Mit dem Chinesischen Restsatz (CRT) kann man lineare modulare Gleichungssysteme lösen. Unten können Sie 9 Gleichungen der Form $x = a[i] \text{ mod } m[i]$ ($i=1, \dots, 9$) eingeben und anschließend lösen. Solche Gleichungssysteme kann man z.B. nutzen, um herauszufinden, in wie viel Tagen bestimmte Planeten aufgereiht wie auf einer Perlenschnur hintereinander in einer Linie (Strahl) stehen.

Simultane Kongruenzen/ Modulare lineare Gleichungssysteme

$x \equiv 15$	mod 88
$x \equiv$	mod
$x \equiv 100$	mod 365
$x \equiv$	mod
$x \equiv 0$	mod 4327
$x \equiv$	mod
$x \equiv$	mod
$x \equiv 0$	mod 60149
$x \equiv$	mod

Anwendungsbeispiel aus der Astronomie / Film-Visualisierung ist fixiert



Die Umlaufzeiten der Planeten Merkur und Erde um die Sonne betragen 88 und 365 Tage. Bis zum Erreichen eines bestimmten Bahnradiusvektors s (rot) vergehen 15 und 100 Tage.

Kann es vorkommen, dass sich Merkur und Erde irgendwann einmal auf dem Strahl s befinden?

Planetenauswahl

<input checked="" type="checkbox"/> Merkur	<input type="checkbox"/> Mars	<input type="checkbox"/> Uranus
<input type="checkbox"/> Venus	<input checked="" type="checkbox"/> Jupiter	<input checked="" type="checkbox"/> Neptun
<input checked="" type="checkbox"/> Erde	<input type="checkbox"/> Saturn	<input type="checkbox"/> Pluto

In welchen Zeitabständen (Tagen) wiederholt sich das Ereignis? 8.359.702.902.760

Lösung: 126.228.390.655

Lösen Beenden Löschen aller Parameter Zurücksetzen auf den Initialzustand

Anwendungsbeispiele (14)

Visualisierung von symmetrischen Verschlüsselungsverfahren mit ANIMAL (1)

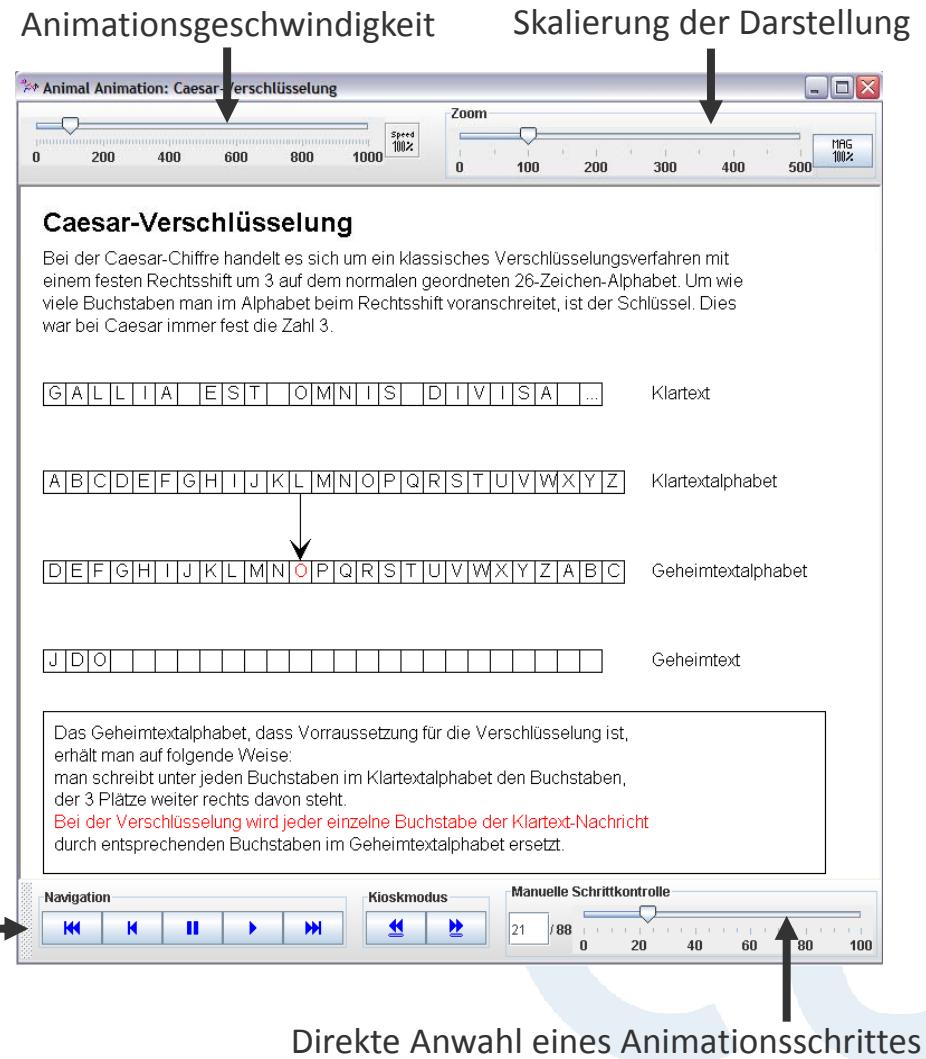
Animierte Darstellung verschiedener symmetrischer Verfahren

- Caesar
- Vigenère
- Nihilist
- DES

CrypTool

- Menü: „Einzelverfahren“ \ „Visualisierung von Algorithmen“ \ ...
- Steuerung der Animation über integrierte Steuerelemente

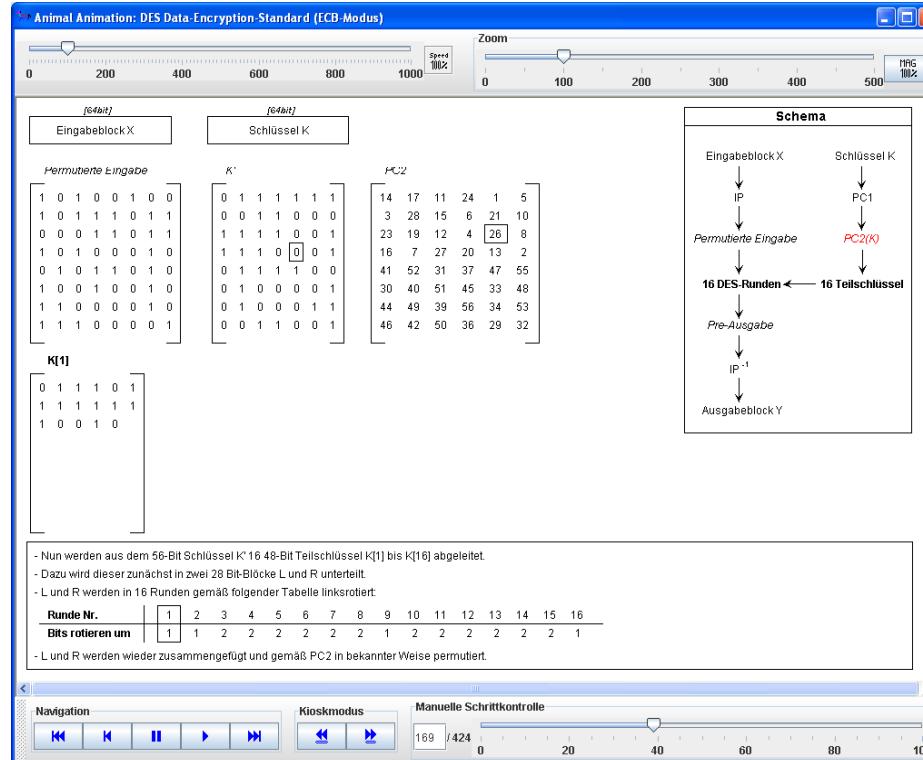
Steuerung der
Animationsschritte
(Vor, Zurück, Pause, etc.)



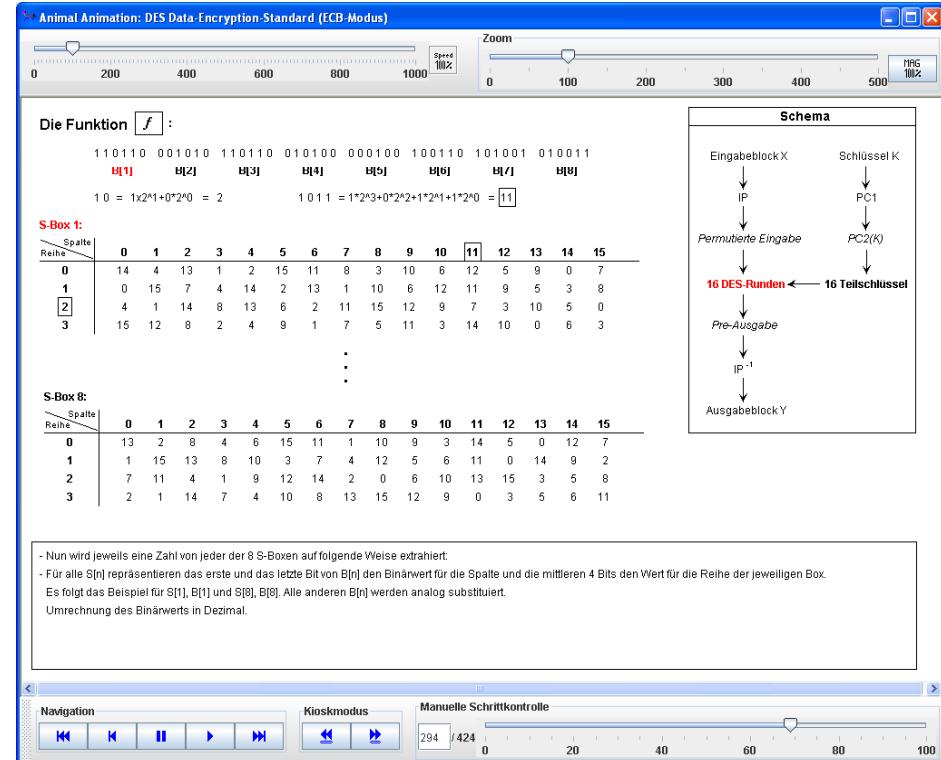
Anwendungsbeispiele (14)

Visualisierung von symmetrischen Verschlüsselungsverfahren mit ANIMAL (2)

Visualisierung der DES-Verschlüsselung



Nach der Permutation des Eingabeblocks mit Hilfe des Initialisierungsvektors IV wird der Schlüssel K mit Hilfe von PC1 und PC2 permutiert.



Die Kernfunktion f des DES verknüpft die rechte Blockhälfte R_{i-1} mit dem Teilschlüssel K_i .

Anwendungsbeispiele (15)

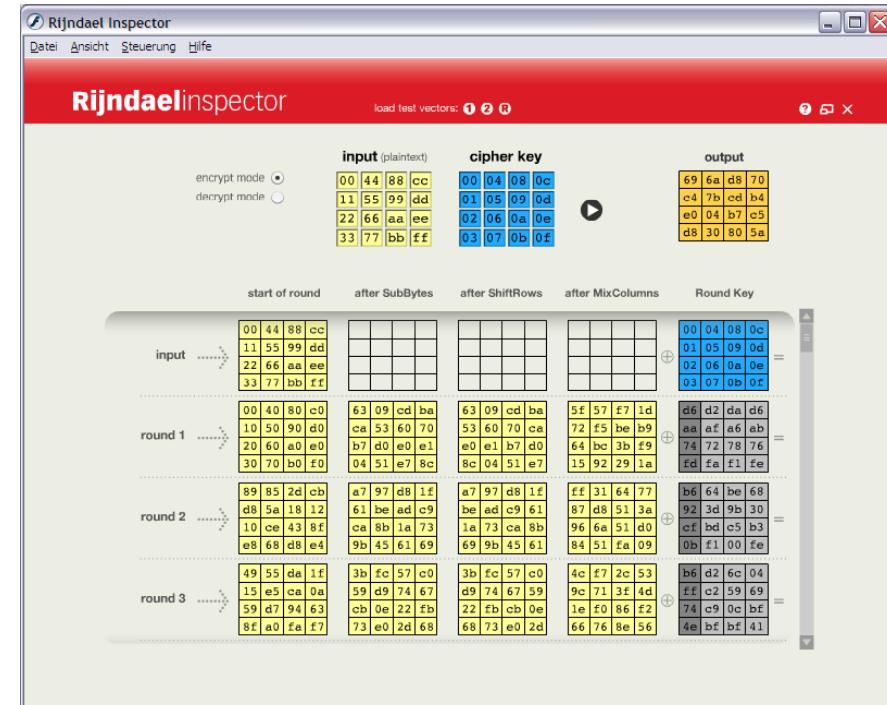
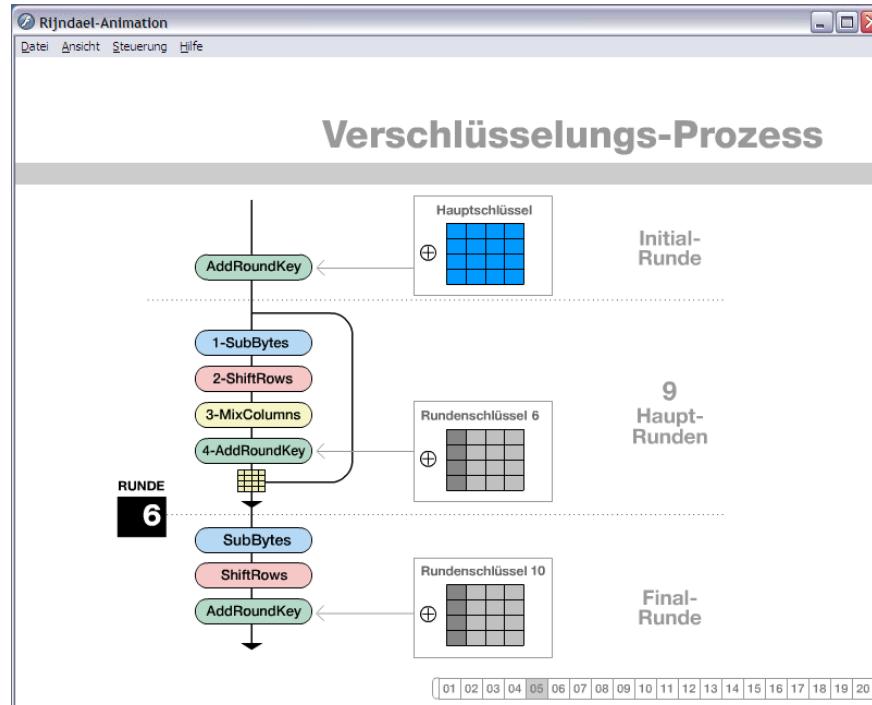
Visualisierung von AES (Rijndael-Chiffre)

Rijndael-Animation (die Rijndael-Chiffre war Gewinner der AES-Ausschreibung)

- Visualisierung durch Animation des rundenbasierten Verschlüsselungsprozesses

Rijndael-Inspector

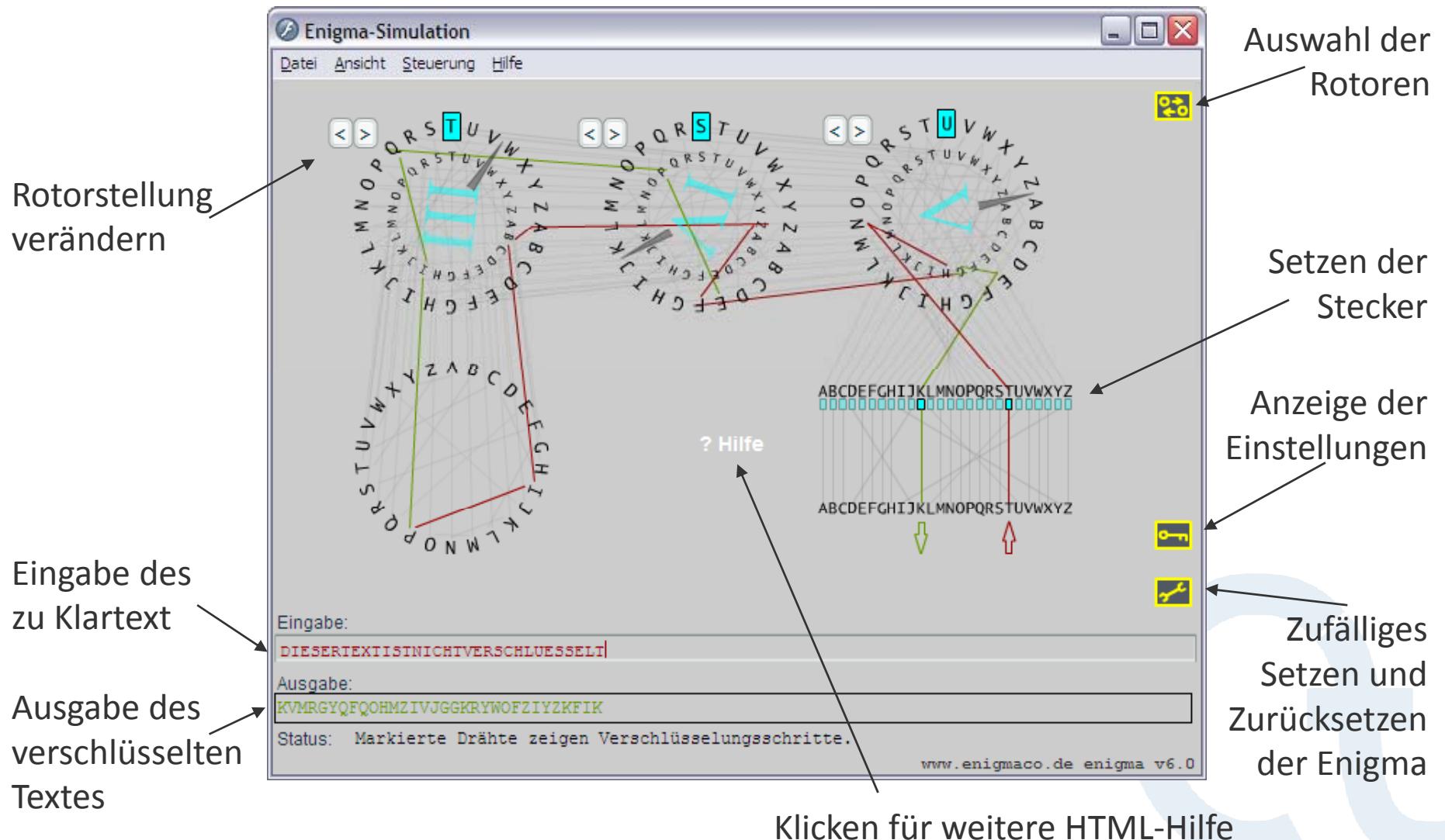
- Verschlüsselungsprozess zum Ausprobieren (mit selbst wählbaren Daten)



Menü: „Einzelverfahren“ \ „Visualisierung von Algorithmen“ \ „AES“ \ „Rijndael-Animation“ bzw. „Rijndael-Inspector“

Anwendungsbeispiele (16)

Visualisierung der Enigma-Verschlüsselung



Anwendungsbeispiele (17)

Erzeugung eines Message Authentication Code

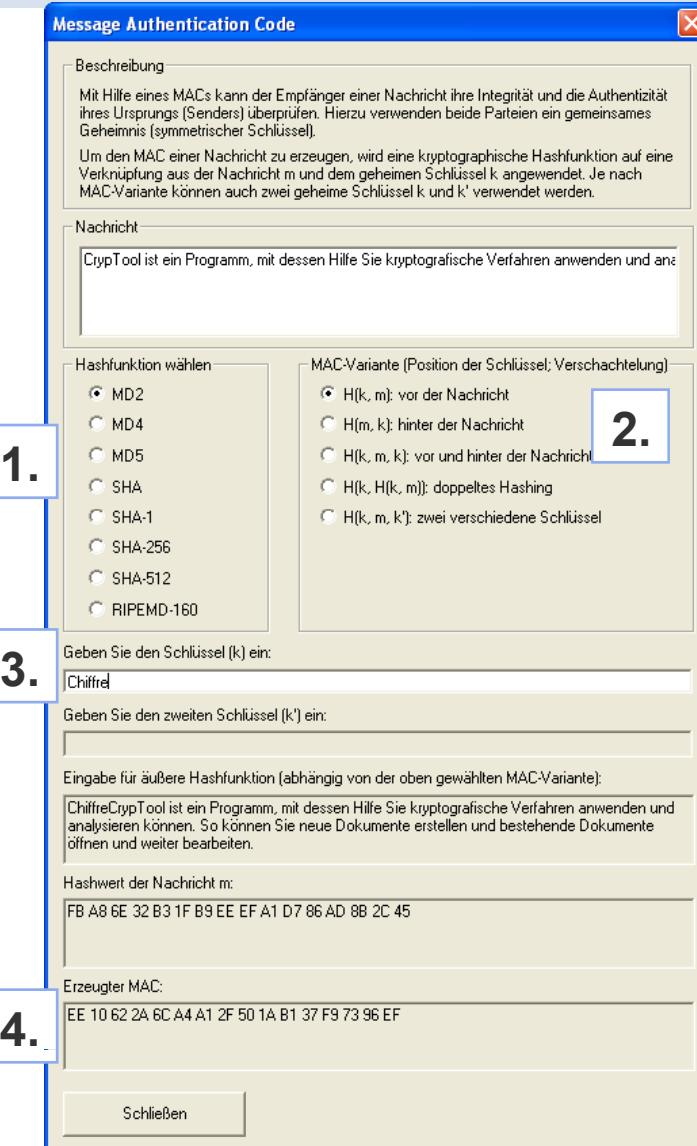
Message Authentication Code (MAC)

- Gewährleistet:
 - Integritätsschutz der Nachricht
 - Authentizität der Nachricht
- Basis: Ein gemeinsamer Schlüssel für Sender und Empfänger
- Alternativ: Digitale Signatur

Berechnung eines MAC in CrypTool

1. Auswahl der Hashfunktion
2. Auswahl der MAC-Variante
3. Angabe eines Schlüssels (je nach MAC-Variante auch zwei Schlüssel)
4. Erzeugung des MAC (automatisch)

Menü: „Einzelverfahren“ \ „Hashverfahren“ \ „Generieren von MACs“



Anwendungsbeispiele (18)

Hash-Demo

Sensitivität von Hashfunktionen bei Änderungen des Originaltextes

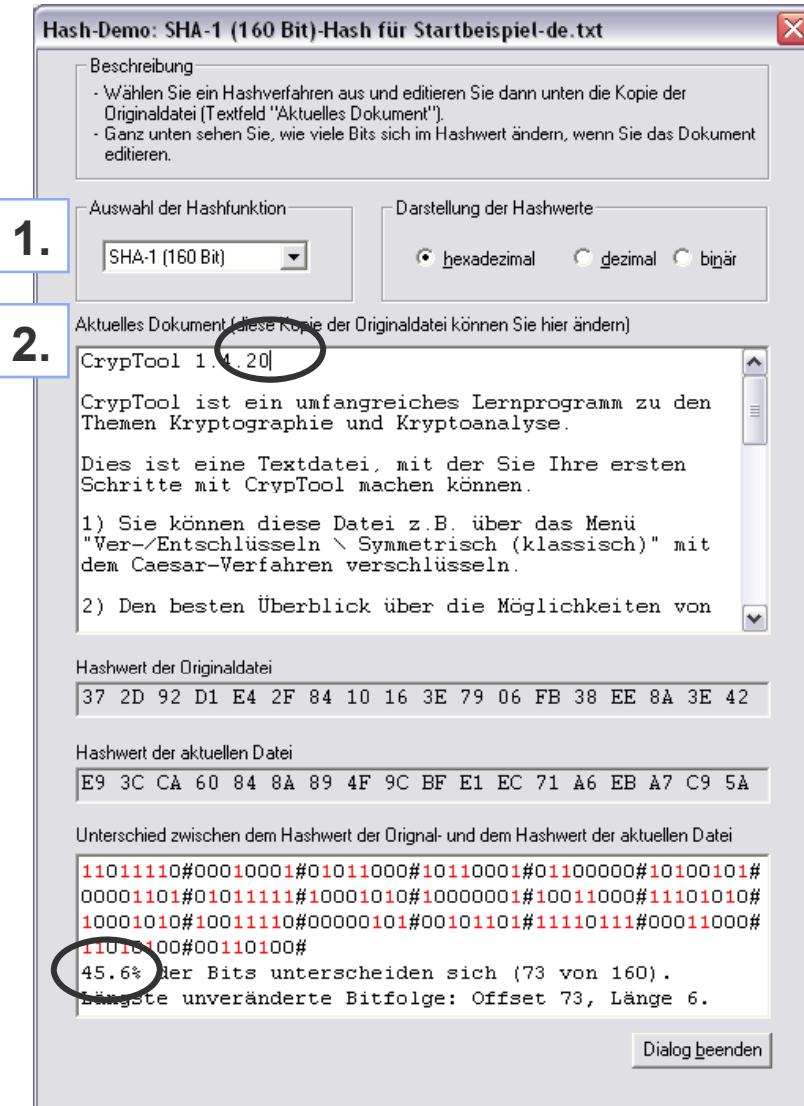
1. Auswahl der Hashfunktion
2. Zusätzliches Einfügen von Zeichen im Text

Beispiel:

Die Eingabe eines zusätzliches Leerzeichens hinter „CrypTool“ in der Originaldatei bewirkt eine 45,6%-ige Änderung der Bits des resultierenden Hashwertes.

Eine gute Hashfunktion sollte auf jede noch so kleine Änderung der Originaldatei möglichst sensitiv reagieren – „*Avalanche effect*“ (kleine Änderung, große Wirkung).

Menü: „Einzelverfahren“ \ „Hashverfahren“ \ „Hash-Demo“



Anwendungsbeispiele (19)

Lernprogramm zur Zahlentheorie und zur asymmetrischen Verschlüsselung

■ Zahlentheorie

Tutorial plus
graphische Elemente
und Tools zum
Ausprobieren

■ Themen:

1. Ganze Zahlen
2. Restklassen
3. Primzahlerzeugung
4. Asymmetrische
Verschlüsselung
5. Faktorisierung
6. Diskrete
Logarithmen

The screenshot shows a window titled 'ZT' with a menu bar: Rechner, Navigation, Verzeichnisse, Hilfe. The main content area is green and titled '1.2 Primzahlen'. On the right, it says 'Seite 5 von 21'. The text defines a prime number p as a natural number with exactly two positive divisors, 1 and p itself. It lists prime numbers less than 100. It then discusses Euclid's proof of the infinitude of primes and the definition of composite numbers. At the bottom are navigation icons and a link to the next page.

Definition: Eine **Primzahl** p ist eine natürliche Zahl mit genau zwei positiven Teilern, nämlich 1 und p selbst. Die Menge aller Primzahlen heißt **IP**.

Beachten Sie, dass 1 keine Primzahl ist. Die Primzahlen < 100 sind:
2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 29, 31, 37, 41, 43, 47, 53, 57, 59, 61, 67, 71, 73, 79, 83, 89, 97.

Definition: Teilt eine Primzahl p eine ganze Zahl a , dann heißt p **Primteiler** von a .

Satz: Jede natürliche Zahl $n > 1$ hat mindestens einen Primteiler. [Beweis](#)

Daraus gewann schon **Euklid** Einsicht in die Anzahl der Primzahlen:

Satz: Es gibt unendlich viele Primzahlen. [Beweis](#)

Definition: Die natürlichen Zahlen zwischen den Primzahlen heißen **zusammengesetzte Zahlen**.

Satz: Jede zusammengesetzte Zahl n hat einen Primteiler $p \leq \sqrt{n}$. [Beweis](#)

Ist also eine natürliche Zahl $n > 1$ durch keine Primzahl $p \leq \sqrt{n}$ teilbar, dann ist n eine Primzahl.
Beispiel: 89 ist Primzahl, denn 2, 3, 5, 7 teilen 89 nicht, und $11 > \sqrt{89}$.

Menü: „Einzelverfahren“ \ „Zahlentheorie interaktiv“ \ „Lernprogramm zur Zahlentheorie“

Anwendungsbeispiele (20)

Punktaddition auf elliptischen Kurven

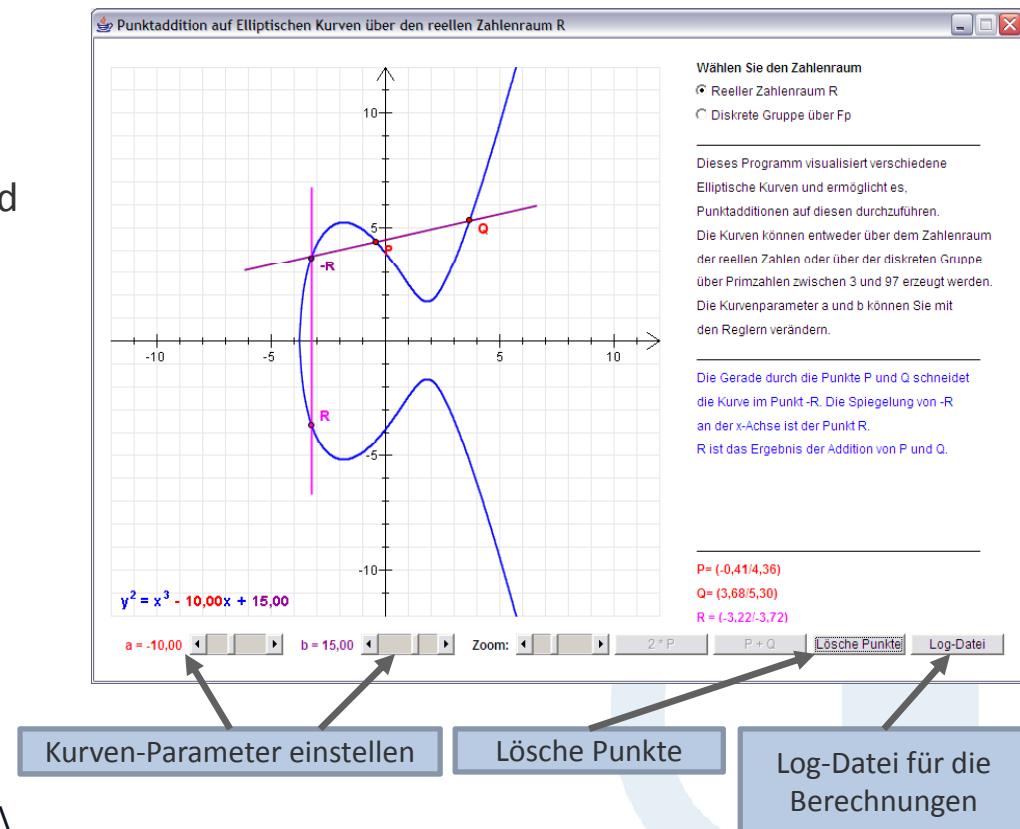
- Visualisierung der Punktaddition auf elliptischen Kurven
- Grundlage der Elliptischen Kurven Kryptographie (ECC)

Beispiel 1

- Punkt P auf der Kurve markieren
- Punkt Q auf der Kurve markieren
- Schaltfläche „P+Q“: Die Gerade durch P und Q schneidet die Kurve im Punkt -R.
- Spiegelung an der X-Achse ergibt R

Beispiel 2

- Punkt P auf der Kurve markieren
- Schaltfläche „2*P“: Die Tangente an P schneidet die Kurve in -R.
- Spiegelung an der X-Achse ergibt R



Menü: „Einzelverfahren“ \ „Zahlentheorie interaktiv“ \ „Punktaddition auf Elliptischen Kurven“

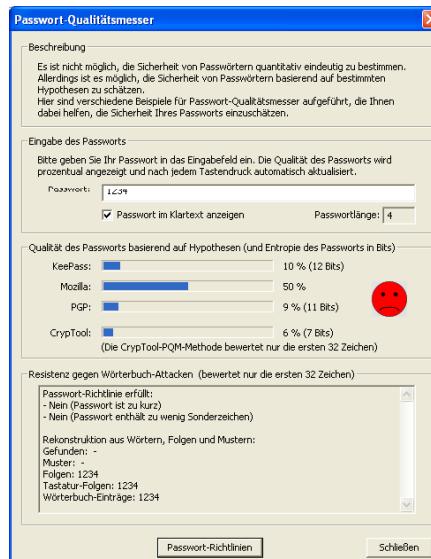
Anwendungsbeispiele (21)

Passwort-Qualitätsmesser (PQM) (1)

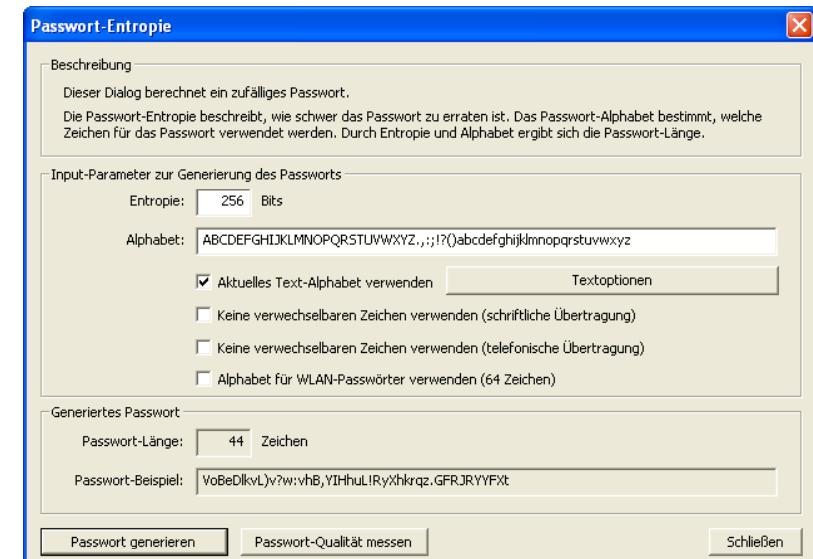
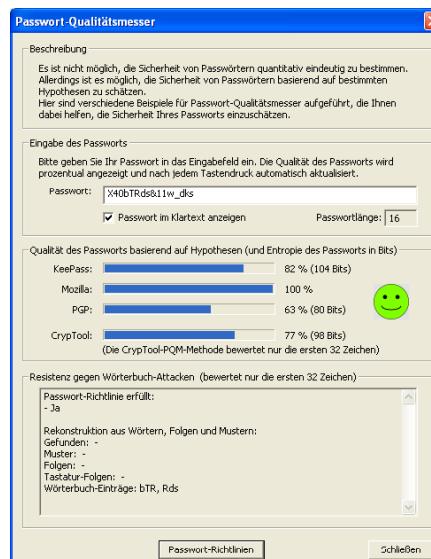
Funktionen

- Messung der Qualität von Passwörtern
- Vergleich mit PQMs aus anderen Applikationen: KeePass, Mozilla und PGP
- Experimentelle Bewertung durch CrypTool-Algorithmus
- Beispiel: Eingabe eines Passwortes im Klartext

Passwort: **1234**



Passwort: **X40bTRds&11w_dks**



Menü: „Einzelverfahren“ \ „Tools“ \ „Passwort-Qualitätsmesser“

Menü: „Einzelverfahren“ \ „Tools“ \ „Passwort-Entropie“

Anwendungsbeispiele (21)

Passwort-Qualitätsmesser (PQM) (2)

Erkenntnisse des Passwort-Qualitätsmessers

- Höhere Qualität des Passwortes durch die Verwendung von **verschiedenen Zeichenarten**: Groß-/Kleinschreibung, Zahlen und Sonderzeichen (**Passwortraum**)
- Passwortqualität hängt primär von der **Länge des Passwortes** ab!
- **Passwortentropie** als Maß der Zufälligkeit der Wahl von Zeichen aus dem Passwortraum (je zufälliger die Wahl, desto besser das Passwort)
- Passwörter sollten **nicht in einem Wörterbuch vorkommen**.

Qualität eines Passwortes aus Angreiferperspektive

- Angriff auf ein Passwort (sofern beliebig viele Versuche zugelassen sind):
 1. Klassischer **Wörterbuchangriff**
 2. Wörterbuchangriff mit **weiteren Varianten** (z.B. 4-stellige Zahlen: Sommer2007)
 3. **Brute-Force-Angriff** durch Test aller Kombinationen (ggf. mit Einschränkungen auf Zeichenarten)
- ⇒ Ein gutes Passwort sollte so gewählt werden, dass es den Angriffen 1. und 2. standhält, im Hinblick auf 3. zumindest 8 Zeichen lang ist und Zahlen sowie Sonderzeichen beinhaltet.

Anwendungsbeispiele (22)

Brute-Force Analyse (1)

Brute-Force-Analyse

Optimierte Brute-Force-Analyse unter der Annahme, dass ein Teil des Schlüssels bekannt ist.

Beispiel: Analyse mit DES (ECB)

Versuch, über Brute-Force den vollständigen Schlüssel zu finden, um den verschlüsselten Text zu entschlüsseln (Annahme: der Klartext ist ein Block aus 8 ASCII-Zeichen).

Schlüssel (Hex)

68ac78dd40bbefd*
0123456789ab****
98765432106*****
0000000000*****
000000000000***
abacadaba*****
ddddddddd*****

Verschlüsselter Text (Hex)

66b9354452d29eb5
1f0dd05d8ed51583
bcf9ebd1979ead6a
8cf42d40e004a1d4
0ed33fed7f46c585
d6d8641bc4fb2478
a2e66d852e175f5c



Anwendungsbeispiele (22)

Brute-Force Analyse (2)

1. Eingabe des verschlüsselten Textes
2. Verwendung der Brute-Force-Analyse
3. Eingabe des teilweise bekannten Schlüssels
4. Start der Brute-Force-Analyse
5. Analyse der Ergebnisse: Kleine Entropie deutet auf eine mögliche Entschlüsselung. Allerdings hat bei diesem Beispiel aufgrund des kurzen Textes der richtige Kandidat nicht die kleinste Entropie.



Menü: „Analyse“ \ „Symmetrische Verfahren (modern)“ \ „DES (ECB)“

Brute-Force-Analyse von DES (ECB)

Sie können den Suchraum einschränken, um die Suchzeit zu verkürzen. Geben Sie dazu bekannte Teile des Schlüssels hexadezimal ein, unbekannte mit <*>.
Beispiel: Mit der Eingabe <00 ** AB ** ... **> durchsuchen Sie alle Schlüssel, die mit einem Nullbyte beginnen, gefolgt von einem unbekannten Byte, dem Byte <AB>, und einem unbekannten Rest.
Tipp: Die Suchzeit bewegt sich im Bereich von Minuten oder Stunden, wenn Sie höchstens 6 Sterne (*) (= 24 Bit) verwenden.

Schlüssellänge: Bit
68 AC 78 DD 40 BB EF D*

Starten Analyseoptionen Abbrechen

Ergebnisse der Brute-Force-Analyse

Die Brute-Force-Analyse entschlüsselte das Chiffraut mit allen möglichen Schlüsseln aus dem gegebenen Schlüsselraum und bestimmte dann für jede entschlüsselte Nachricht deren Entropiewert.
Die folgende Liste enthält die entschlüsselten Nachrichten mit den niedrigsten Entropiewerten.
Gerade bei sehr kurzen Chiffraut kann es sein, dass es falsche Kandidaten mit einem kleinen Entropiewert gibt. Sie haben hier die Möglichkeit, den Kandidaten mit der richtigen Entschlüsselung auszuwählen.

Entropie	Entschlüsselung	Entschlüsselung: Hex-Dump
2.4056	2B AA 0C 13 A9 B0 2B 2B	+.....++
2.5000	62 72 6F 77 73 65 72 73	browsers
2.7500	7A 62 95 C9 2D EB 9C 95	z.....
3.0000	58 FC 0F B9 F2 D2 6E 2A	X....n*
3.0000	22 68 92 41 7E 2F 7A BD	"h.A~z.
3.0000	FF 17 43 46 9A 0D E1 88	..CF....
3.0000	3A AA 63 25 C9 CE 7E EF	:c%..~.
3.0000	C1 67 A7 4B 41 BE 13 D8	.g.KA...

Auswahl übernehmen Abbrechen

Anwendungsbeispiele (23)

CrypTool Online-Hilfe (1)

Hilfe zu CrypTool

Ausblenden Zurück Vorwärts Abbrechen Aktualisieren Startseite Drucken Optionen

Inhalt Index Suchen

Zu suchendes Schlüsselwort:

gitter

Gitterreduktion
Gleichverteilung
Gleitende Häufigkeit
GMP
GnuPG
GPL/GNU
Grafikoptionen
Haftungsausschlussklausel
Hashfunktion
Hashwert einer Datei
Hexadezimale Ein-/Ausgaben
Hilfe
Hill-Verschlüsselungsverfahren
Hin- und Rücktransformation
Histogramm
Historie
Homophone Substitution
Hybrid
Hybridschlüsselung
Hybridverschlüsselung
Hypothese H0
IDEA-Verschlüsselungsverfahren
Importieren (Zertifikat) / PKCS #12
Initialisierungsdatei
Interoperabilität
Inverse Permutation
involutisch
ISIS / MTT
Kartenspiel
Kaskade
Kaskadierende Chiffre
Klartext
Known-Plaintext-Angriff
Komprimieren
Konfigurationsdatei
Kongruenzgenerator
Kontakt
Korrelation
Kryptoanalyse
Krypto-Bibliotheken
Kryptographie
Kryptologie

Anzeigen

Menü Gitterbasierte Angriffe auf RSA (Menü Einzelverfahren \ RSA-Kryptosystem)

Das Menü Gitterbasierte Angriffe auf RSA enthält folgende Befehle:

[Faktorisieren mit teilweise bekanntem p](#)
[Angriff auf stereotype Nachrichten](#)
[Angriff auf kleine geheime Schlüssel](#)

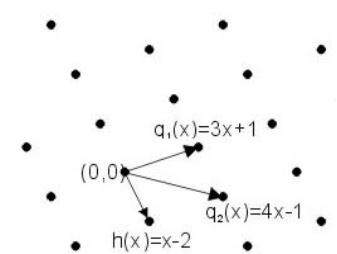
Angriff auf RSA mit Gitterreduktionsverfahren, sofern ein Teil eines der beiden Primfaktoren von N bekannt ist.
Angriff auf RSA mit Gitterreduktionsverfahren, sofern ein Teil des ursprünglichen Klartextes einer abgefangenen Nachricht bekannt und e klein ist.
Angriff auf RSA mit Gitterreduktionsverfahren, sofern d im Verhältnis zu N zu klein gewählt ist.

Allen hier vorgestellten gitterbasierten Angriffen liegt ein ähnlicher Ansatz zu Grunde: Zunächst wird das Problem, RSA zu brechen in die Suche nach Nullstellen eines Polynoms modulo einer ganzen Zahl (meist N) umgeformt. Eine solche Nullstelle zu finden ist ein schwieriges Problem.

Um die Nullstellen zu berechnen werden zu dem ursprünglichen Polynom noch eine Reihe weiterer Polynome aufgestellt, von denen bekannt ist, dass sie die selbe Nullstelle besitzen. Aus den Koeffizienten dieser Polynome wird eine Gitterbasis aufgestellt. Diese wird mit dann z.B. mit dem LLL-Algorithmus reduziert, um einen kurzen Vektor zu finden.

Aus dem gefundenen kurzen Vektor wird wieder ein Polynom aufgestellt. Man kann zeigen, dass wenn der gefundene Vektor kurz genug ist, das aufgestellte Polynom die gesuchte Nullstelle nicht nur modulo N sondern über allen Zahlen besitzt.

Beispiel:



The diagram shows a 2D coordinate system with points plotted. A point at (0,0) is labeled. Three other points are labeled: $q_1(x) = 3x + 1$, $q_2(x) = 4x - 1$, and $h(x) = x - 2$. Arrows point from the origin to each of these three points, indicating they are linear combinations of the basis vectors of the lattice.

- Das Polynom $q_1(x) = 3x+1$ hat eine Nullstelle x_0 modulo 7. Es sei bekannt, dass das Polynom $q_2(x) = 4x-1$ die gleiche Nullstelle x_0 modulo 7 besitzt. Aus den Polynomen werden nun die Vektoren $b_1=[3 1]$ und $b_2=[4 -1]$ aufgestellt. Alle ganzzahligen Linearkombinationen dieser Vektoren stellen Punkte in einem Gitter dar. Die Abbildung links zeigt einen Ausschnitt dieses Gitters. Jeder Gitterpunkt kann wiederum als Polynom interpretiert werden, das ebenfalls die gesuchte Nullstelle besitzt. Ein kurzer Vektor des Gitters ist $b_3=[1 -2]$ aus dem das Polynom $h(x) = x-2$ gebildet wird. Dieses Polynom hat in $x_0=2$ eine Nullstelle sowohl über den ganzen Zahlen als auch über den ganzen Zahlen modulo 7. Man erkennt, dass $x_0=2$ auch Nullstelle der Polynome $q_1(x)$ und $q_2(x)$ modulo 7 ist.
- $(3x_0+1=7, 7 \text{ modulo } 7 = 0)$

Bemerkung:

Anwendungsbeispiele (23)

CrypTool Online-Hilfe (2)

Hilfe zu CrypTool 1.4.20 (DE)

Ausblenden Zurück Vorwärts Abbrechen Aktualisieren Startseite Drucken Optionen

Inhalt Index Suchen | Zu suchendes Schlüsselwort: base

Base64-Codierung BC Bearbeiten Beenden Beispiele/Szenarien Binäres exklusives Oder Bitlänge Blöcke Brute-Force-Angriff Bücher Byteweise Addition Caesar-Verschlüsselungsverfahren CBC-Modus Challenge Challenge-Response-Demo CHM2-Verteilung Chiffrat Chiffretext Chinesischer Restsatz (CRT) Chosen-Plaintext-Angriff Ciphertext Ciphertext-Only-Angriff Codierungen Copyright CrypTool cv cryptovision Datei Default-Settings Demonstrationen/Szenarien DESL-Verschlüsselungsverfahren DES-Verschlüsselungsverfahren Dialog (Übersicht aller Dialoge) Dialog der Schwestern Diffie-Hellman-Schlüsselaustausch Digitale Signaturen/PKI Digitales Zertifikat Diagramm DIN Dokument Dokument-Eigenschaften Drucken DSA ECB-Modus ECSP-DSA-Signatur ECSP-NR-Signatur Einordnung/Überblick/Übersicht Anzeigen

Vergleich von Base64- und UU-Codierung

Die Codierungen bei [Base64](#) und [UUencode](#) sind sehr ähnlich, was nachstehendes Schaubild zeigt:

Base64 UUEncode

1. Schritt: Aufteilung des Datenstromes - bei beiden Verfahren gleich.

2. Schritt: Darstellung der 6-bit Werte - unterschiedliche Methoden.

Aufteilen von 3×8 Bit in 4×6 Bit

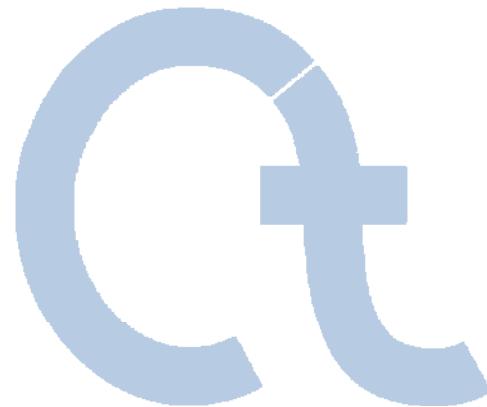
Wert aus Base64-Codetabelle holen (per Standard definiert)

Wert, vermehrt um dezimal 32, aus ASCII-Zeichentabelle auslesen.

Durch die ähnliche Art der Codierung weisen die Codierungen auch gemeinsame Vor- und Nachteile auf:

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none">Beliebige Binärdaten können mit einem 6-bit Zeichensatz dargestellt werden:<ul style="list-style-type: none">Keine Probleme mit 7-bit Zeichensatzbeschränkungen.Keine Probleme mit Zeilenlängenbeschränkungen oder besonderen Steuerzeichen.Vergrößerung nur um ca. 33 % (anstelle von z.B. Kodierung in Hexadezimalwerte = Vergrößerung um 100 %).	<ul style="list-style-type: none">Keine Unterstützung für die Aufteilung von großen Dateien.Vergrößerung der Dateien um ca. 33 % (im Vergleich zur Originaldatei). Nur UUencode:Keine EBCDIC Unterstützung.Keine definierten Standards.

Inhalt



- I. CrypTool und Kryptologie – Überblick
- II. Was bietet CrypTool?
- III. Ausgewählte Beispiele
- IV. Projekt / Ausblick / Kontakt**

Weiterentwicklung (1)

Geplant nach 1.4.20 (vgl. Readme-Datei)

CT = CrypTool
CT2 = Cryptool 2.0
JCT = JavaCrypTool

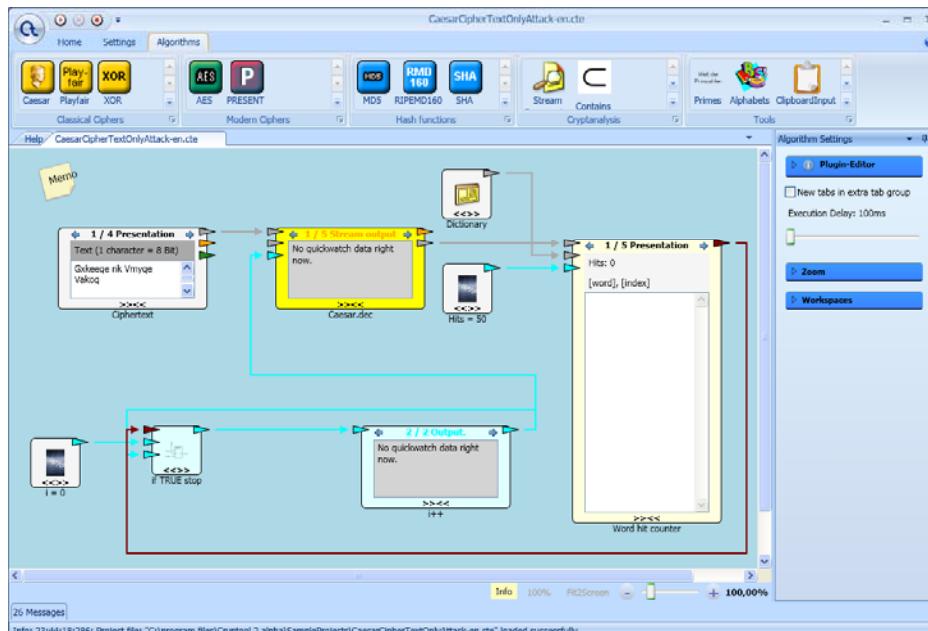
- CT 1.x Massenmustersuche
- JCT Visualisierung der Interoperabilität von S/MIME- und OpenPGP-Formaten
- JCT Tri-partite Schlüsselvereinbarung
- JCT Entropie-Untersuchungen
- JCT Statistische Untersuchung von Blockchiffreverfahren
- CT2 Umfangreiche Visualisierungen zum Thema Primzahlen
- CT2 Demo von Bleichenbachers Angriff auf RSA-Signaturen
- CT2 Demo virtueller Kreditkartennummern als Ansatz gegen Kreditkartenmissbrauch
- CT2 WEP-Verschlüsselung und WEP-Analyse
- CT2 Grafik-Design-orientierter Modus für Einsteiger plus Expertenmodus
- CT2/JCT Erstellung einer Kommandozeilenversion für Batch-Steuerung
- CT2/JCT Moderne Pure-Plugin-Architektur mit Nachladen von Plugins
- Alle Weitere Parametrisierung / Flexibilisierung der vorhandenen Verfahren
- ? Visualisierung des SSL-Protokolls
- ? Demo zur Visuellen Kryptographie
- ? Einbindung der Krypto-Bibliothek „Crypto++“ von Wei Dai



Weiterentwicklung (2)

In Arbeit (vgl. Readme-Datei)

1. JCT: Portierung und Neodesign von CrypTool in Java / SWT / Eclipse 3.4 / RPC
(siehe: <http://jcryptool.sourceforge.net/>)
 - Meilenstein 2 für Benutzer und Entwickler verfügbar ab Ende Juli 2008
2. CT2: Portierung und Neodesign von CrypTool mit C# / WPF / VS2008 / .NET 3.5
 - Direkter Nachfolger des aktuellen Releases: erlaubt visuelle Programmierung, ...
 - Alpha 2 für Benutzer und Entwickler verfügbar ab Ende Juli 2008
3. C2L: Direkte Portierung der bisherigen C++-Version nach Linux mit Qt4
(siehe: <http://www.cryptoolinux.net/>)



Cryptool 2 (CT2)

CrypTool 1.4.20



JCrypTool (JCT)

Seite 99

CrypTool als Framework für eigene Arbeiten

Angebot

- Man kann auf einem umfassenden Set aus Algorithmen, inkludierten Bibliotheken und Oberflächenelementen aufsetzen (Re-Use)
- Kostenlose Schulung, wie man in die CrypTool-Programmierung einsteigt
- Vorteil: Der eigene Code aus Seminar-, Diplom- und Doktorarbeiten „verschwindet“ nicht, sondern wird weiter gepflegt.

Aktuelle Entwicklungsumgebung: Microsoft Visual Studio C++ , Perl, Subversion Source-Code-Management

- Bis CrypTool 1.3.05: nur Visual C++ 6.0 (gab es als Buchbeilage kostenlos)
- Bis CrypTool 1.4.20: Visual C++ .net (= VC++ 7.1)(= Visual Studio 2003)
- Beschreibung für Entwickler: siehe readme-source.txt
- Download: Sourcen und Binaries der Release-Versionen
Interessierte und Entwickler erhalten auch die Sourcen der aktuellen Betas.

Zukünftige Entwicklungsumgebungen

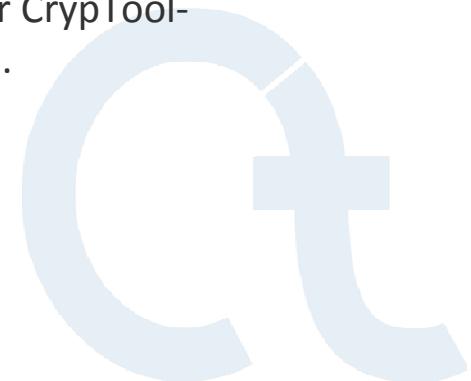
- Für Versionen nach 1.4.20:
 - CT2 – C#-Version: .NET mit Visual Studio 2008 Express Edition (kostenlos), WPF und Perl
 - JCT – Java-Version: mit Eclipse 3.4, SWT, RCP (kostenlos)
 - C2L – C++-Version für Linux mit Qt 4.x, GCC 4.x und Perl



CrypTool – Bitte um Mitwirkung

Wir freuen uns über jede weitere Mitarbeit

- Feedback, Kritik, Anregungen und Ideen
- Einbau weiterer Algorithmen, Protokolle, Analysen (Konsistenz und Vollständigkeit)
- Mithilfe bei der Entwicklung (Programmierung, Layout, Übersetzung, Test, Webseiten-Erweiterung)
 - Sowohl im bisherigen C/C++ Projekt als auch in den neuen Projekten:
 - C#-Projekt: „CrypTool 2.0“
 - Java-Projekt: „JCrypTool“
 - Insbesondere Lehrstühle, die CrypTool zur Ausbildung verwenden, sind herzlich eingeladen, zur Weiterentwicklung beizutragen.
- Signifikante Beiträge können namentlich erwähnt werden (in der Hilfe, Readme, About-Dialog und auf der Webseite).
- Derzeit wird das gesamte Programmpaket etwa 3.000 mal pro Monat von der CrypTool-Webseite herunter geladen (davon etwas mehr als 1/3 die englische Version).



CrypTool – Fazit

- DAS E-Learning-Programm für Kryptologie
- Seit 10 Jahren ein erfolgreiches Open-Source-Projekt
- Mehr als 150.000 Downloads
- Weltweiter Einsatz in Schulen und Universitäten sowie Firmen und Behörden
- Umfangreiche Online-Hilfe und Dokumentation
- Frei verfügbar und mehrsprachig



Kontaktadresse

Prof. Bernhard Esslinger

Universität Siegen
Fachbereich 5, Wirtschaftsinformatik

Deutsche Bank AG
Direktor, IT-Security Manager

esslinger@fb5.uni-siegen.de

www.cryptool.com

www.cryptool.de

www.cryptool.org

www.cryptool.pl

www.iec.csic.es/cryptool

Weitere Kontaktadressen: siehe Readme im CrypTool-Programmpaket



Weitere Lektüre

als Einstieg in die Kryptologie

- Simon Singh: „*Geheime Botschaften*“, 2000, Hanser
- Klaus Schmeh: „*Codeknacker gegen Codemacher. Die faszinierende Geschichte der Verschlüsselung*“, 2. Auflage, 2007, W3L
- Udo Ulfkotte: „*Wirtschaftsspionage*“, 2001, Goldmann
- Johannes Buchmann: „*Einführung in die Kryptographie*“, 3. Auflage, 2004, Springer
- Claudia Eckert: „*IT-Sicherheit*“, 5. Auflage, 2008, Oldenbourg
- A. Beutelspacher / J. Schwenk / K.-D. Wolfenstetter: „*Moderne Verfahren der Kryptographie*“, 5. Auflage, 2004, Vieweg
- [HAC] Menezes, van Oorschot, Vanstone: „*Handbook of Applied Cryptography*“, 1996, CRC Press
- van Oorschot, Wiener: „*Parallel Collision Search with Application to Hash Functions and Discrete Logarithms*“, 1994
- Vielfältige Krypto-Literatur – siehe Links auf der CrypTool-Webseite sowie Quellenangaben in der Online-Hilfe von CrypTool (z.B. Bücher von Wätjen, Salomaa, Brands, Schneier, Shoup, Stamp/Low, ...)
- Bedeutung der Kryptographie in dem breiteren Rahmen von IT-Sicherheit, Risiko-Management und organisatorischen Kontrollen
 - Siehe z.B. Kenneth C. Laudon / Jane P. Laudon / Detlef Schoder, „*Wirtschaftsinformatik*“, 2005, Pearson, Kapitel 14
 - Siehe Wikipedia (<http://de.wikipedia.org/wiki/Risikomanagement>)

The screenshot shows the homepage of the Cryptool website. At the top left is the logo 'CRYpTOOL' with a stylized 'C'. The top navigation bar includes links for 'Über', 'Funktionen', 'Screenshots', 'Dokumentation', 'Download', and 'Cryptoportal für Lehrer'. A yellow banner at the top right displays the text 'Aktuelle Beta-Version: 1.4.20' and a 'Download' link, along with small flags for Germany, UK, Spain, and Poland. The main content area features a section titled 'Was ist Cryptool?' with a sub-section 'Über' containing a list of links: 'Was ist Cryptool?', 'Cryptool in der Lehre', 'Cryptool für Awareness', 'Präsenz in Printmedien', 'Auszeichnungen', 'Mitwirkende', 'Partnerprojekte', and 'Kontakt'. Below this is a section about being selected for the 'Deutschland Land der Ideen' program in 2008, featuring a logo of colorful circles and the text 'Tag der Offenen Tür am 22. Juli in Siegen'. To the right of the main content is a sidebar with a large 'CRYPTOOL' watermark.

Was ist Cryptool?

Das Programm Cryptool ist ein freies E-Learning-Programm für Windows, mit dem kryptographische Verfahren angewendet und analysiert werden können. Diese Software wird weltweit eingesetzt. Dabei unterstützt sie eine moderne Lehre an Schulen und Hochschulen sowie die Sensibilisierung von Firmenangehörigen.

Die aktuelle Version bietet unter anderem:

- Zahlreiche klassische und moderne kryptographische Algorithmen (Ver- und Entschlüsselung, Schlüsselerzeugung, sichere Passworte, Authentisieren, sichere Protokolle, ...)
- Visualisierung einiger Verfahren (z.B. Caesar, Enigma, RSA, Diffie-Hellman, Digitale Signaturen, AES)
- Kryptoanalyse gegen ausgewählte Algorithmen (z.B. Vigenère, RSA, AES)
- Kryptoanalytische Messverfahren (z.B. Entropie, N-Gramme, Autokorrelation)
- Unterstützende Verfahren (z.B. Primzahltest, Faktorisierung, Base64-Kodierung)
- Lernprogramm zur Zahlentheorie
- Umfangreiche Online-Hilfe
- Begleitendes Skript mit weiterführenden Informationen über Kryptologie

Ursprünglich für IT-Sicherheits-Schulungen im Unternehmen entwickelt, hat sich Cryptool inzwischen zu einem bedeutenden Open-Source-Projekt im Bereich Kryptologie entwickelt.

Seit dem Frühjahr 2008 wird durch das Cryptool-Projekt auch das [Cryptoportal für Lehrer](#) betrieben. Dieses Portal wurde auf Anregung mehrerer Lehrer ins Leben gerufen. Hier soll insbesondere Schul-Lehrern eine Plattform geboten werden, auf der sie Unterrichtsmaterialien und Links rund um das Thema Kryptologie zur Verfügung stellen können.

The screenshot shows the homepage of the CRYPTOPORTAL website for teachers. The header features a chalkboard illustration of a teacher writing on it. The main navigation menu includes links for "Über", "Unterrichtsmaterial", "Linksammlung", "Registrierung", "Cryptool", and "Einloggen". On the left, there is a sidebar titled "Filterkriterien" with dropdown menus for "Land" (set to "alle Länder"), "Schultyp" (set to "alle Schultypen"), and "Autor" (set to "alle Autoren"). Below these are fields for "Material enthält folgenden Text:" and two buttons: "Filtern" and "Zurücksetzen". The main content area is titled "Unterrichtsmaterial" and lists three items:

- [1] Die Stromchiffre A5**
Autor: PS
Land: Deutschland - alle Bundesländer
Schultyp: Gymnasien
In dieser Ausarbeitung zum Seminar IT-Sicherheit wird der auf der Verschaltung von linear rückgekoppelten Schieberegistern (LFSR) basierende Algorithmus A5 und die bisher gefundenen [...]
[a5_thesis.pdf](#) 8 mal heruntergeladen
- [2] Die wichtigsten Verfahren der Kryptologie**
Autor: HW
Land: Deutschland - Berlin
Schultyp: alle Schultypen
Die Präsentation besteht aus zwei Folien. In der ersten wird die Entwicklung der klassischen Kryptographie (von Caesar bis zum one-time-pad) dargestellt. In der zweiten wird ein Überblick zur [...]
[Krypto-Entwicklung.ppt](#) 15 mal heruntergeladen
- [3] Kryptografie für Jedermann**
Autor: Consultant
Land: Deutschland - alle Bundesländer
Schultyp: alle Schultypen
Einführung in die Kryptografie, Erläuterungen zu populären kryptografischen Primitiven und Protokolle [...]
[Orginalpraesentation.pdf](#) 14 mal heruntergeladen