

CrypTool

Ein freies Programmpaket

- **zur Sensibilisierung für IT-Sicherheit**
- **zum Erlernen und Erfahren von Kryptographie**
- **zur Demonstration von Algorithmen und Analyse-Verfahren der Kryptographie**

www.cryptool.de
www.cryptool.com
www.cryptool.org



Inhalt

Einführung

1. Was ist CrypTool?
2. Warum CrypTool?
3. Zielgruppe

Programmüberblick

1. Funktionsumfang
2. Inhalt des Programmpakets
3. Neu in Release 1.3.xx

Anwendungsbeispiele

1. Hybridverschlüsselung visualisiert
2. Elektronische Signatur visualisiert
3. Angriff auf RSA-Verschlüsselung mit zu kurzem RSA-Modul
4. Analyse der Verschlüsselung im PSION 5 PDA
5. Demonstration schwacher DES-Schlüssel
6. Auffinden von Schlüsselmaterial (Stichwort: NSAKEY)

Kontaktadresse

Einführung

1. Was ist CrypTool?

- Freeware-Programm mit graphischer Oberfläche
- kryptographische Verfahren anwenden und analysieren
- sehr umfangreiche Online-Hilfe, verstehbar ohne tiefes Krypto-Wissen
- enthält fast alle State-of-the-art-Kryptofunktionen
- „spielerischer“ Einstieg in moderne und klassische Kryptographie
- kein „Hackertool“

2. Warum CrypTool?

- Ursprung im Deutsche Bank End-User Awareness-Programm
- Entwickelt in Kooperation mit Hochschulen
- Verbesserung der Lehre an Hochschulen und der betrieblichen Ausbildung

3. Zielgruppe

- Kernzielgruppe: Studierende der Informatik, Wirtschaftsinformatik, Mathematik
- Aber auch: Computernutzer und Anwendungsentwickler
- Voraussetzung: Abitur-Mathematik oder Programmierkenntnisse

Programmüberblick

1. Funktionsumfang

Kryptographie

Verschlüsselungsklassiker

- Caesar
- Vigenère
- Hill
- Monoalphabetische Substitution
- Homophone Substitution
- Playfair
- Permutation
- Addition
- XOR
- Vernam

Zum besseren Nachvollziehen von Literaturbeispielen ist

- Alphabet wählbar
- Behandlung von Leerzeichen etc. einstellbar

Kryptoanalyse

Angriffe auf klassische Verfahren

- ciphertext only
 - Caesar
 - Vigenère
 - Addition
 - XOR
- known plaintext
 - Hill
 - Playfair
- manuell
 - Monoalphabetische Substitution

Unterstützende Analyseverfahren

- Entropie, Gleitende Häufigkeit
- Histogramm, N-Gramm-Analyse
- Autokorrelation
- ZIP-Kompressionstest

Programmüberblick

1. Funktionsumfang

Kryptographie

Moderne symmetrische Verschlüsselung

- IDEA, RC2, RC4, DES, 3DES
- AES-Kandidaten der letzten Auswahlrunden
- AES (=Rijndael)

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 Plaintext klein
- Suchraum auf 20 bit eingeschränkt

Angriff auf RSA-Verschlüsselung

- Faktorisierung des RSA-Moduls
- praktikabel bis ca. 250 bit bzw. 75 Dezimalstellen

Angriff auf Hybridverschlüsselung

- Angriff auf RSA oder
- Angriff auf AES

Programmüberblick

1. Funktionsumfang

Kryptographie

Digitale Signatur

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

Hashfunktionen

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

Zufallsgeneratoren

- Secude
- X^2 modulo N
- Lineare Kongruenz Generator (LCG)
- Inverse Kongruenz Generator (ICG)

Kryptoanalyse

Angriff auf RSA-Signatur

- Faktorisierung des RSA-Moduls
- praktikabel bis ca. 250 bit bzw. 75 Dezimalstellen

kein Angriff implementiert

Analyse von Zufallsdaten

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

Programmüberblick

2. Inhalt des Programmpakets

CrypTool-Programm

- alle Funktionen integriert in *einem* Programm mit einheitlicher graphischer Oberfläche
- läuft unter Win32 und unter Linux mit WINE-Emulator
- Kryptographie von Secude-Bibliothek (www.secude.com)
- Langzahlarithmetik: Miracl-Bibliothek (<http://indigo.ie/~mscott/>)

AES-Tool

- Standalone-Programm zur AES-Verschlüsselung

Umfangreiche Online-Hilfe (Winhelp)

- kontextsensitive Hilfe für *alle* Programmfunktionen
- ausführliche Benutzungs-Szenarien für viele Programmfunktionen

Skript (PDF) mit Hintergrundinformationen zu

- Verschlüsselungsverfahren • Primzahlen • Digitale Signatur
- Elliptische Kurven • Public Key-Zertifizierung • Zahlentheorie

Kurzgeschichte „Dialog der Schwestern“ von Dr. C. Elsner



komplett zweisprachig
Deutsch
Englisch

Programmüberblick

3. Neu in Release 1.3.xx

Wichtigste Neuerungen (Details: siehe ReadMe-de.txt):

Release 1.3.00 veröffentlicht Januar 2002

- komplett zweisprachig in Deutsch und Englisch
- Konsistenz und Verständlichkeit der Dialoge verbessert
- Dateigrößenbeschränkung unter Win9x aufgehoben
- Homophone und Permutationsverschlüsselung
- Zufallsgeneratoren, Analyse von Zufallsdaten (FIPS, Perioden, N-Gramm)
- AES-Tool: Erzeugung selbstentschlüsselnder Dateien (AES)
- Demo: Zahlentheorie und RSA-Kryptosystem (weiter verbessert in 1.3.03)
- PKCS#12-Export/Import für PSEs

Release 1.3.03 veröffentlicht September 2002

- Visualisierung der Hybrid-Ver- und Entschlüsselung
- Visualisierung der Erzeugung und Verifikation von Signaturen
- Hashwerte großer Dateien berechnen, ohne sie zu laden
- Visualisierung der Sensibilität von Hashfunktionen bzgl. Änderungen der Daten
- Kurzgeschichte „Dialog der Schwestern“ (Dr. C. Elsner) beigelegt

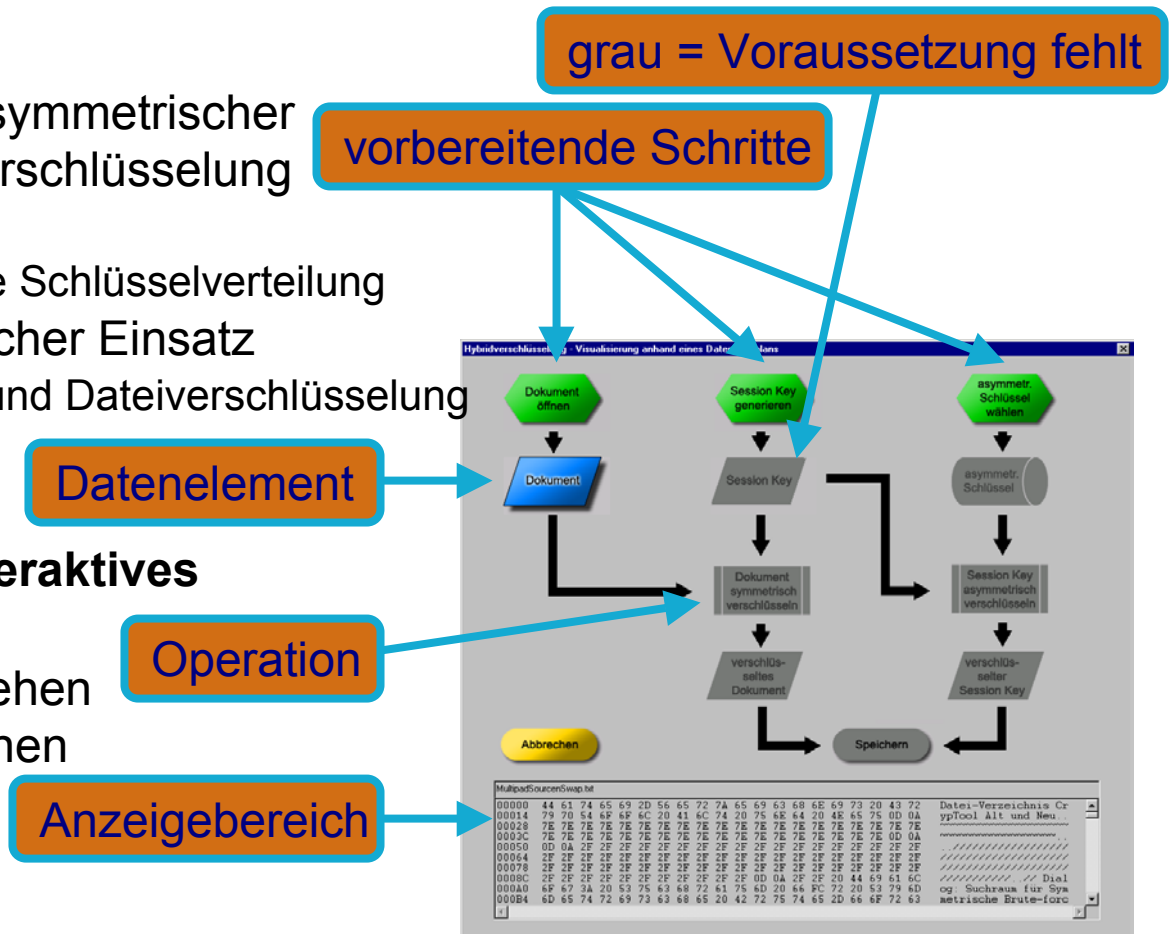
1. Hybridverschlüsselung visualisiert

Hybridverschlüsselung

- kombiniert die Vorteile symmetrischer und asymmetrischer Verschlüsselung
 - Geschwindigkeit
 - einfache und skalierbare Schlüsselverteilung
- weit verbreiteter praktischer Einsatz
 - E-Mail (S/MIME, PGP) und Dateiverschlüsselung
 - SSL (https)

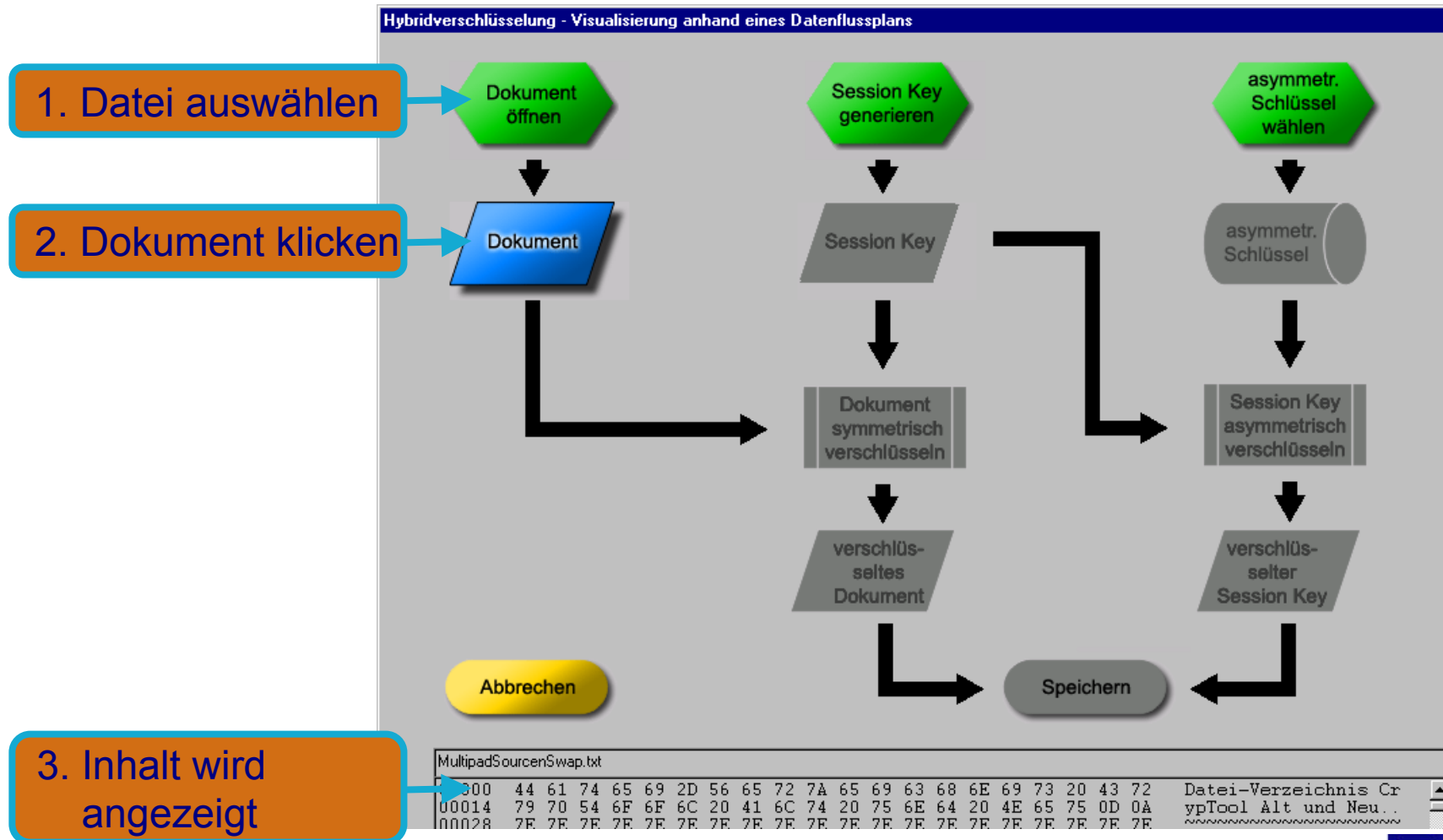
Visualisiert durch ein interaktives Datenflussdiagramm

- Zusammenhänge verstehen durch spielerisches Lernen



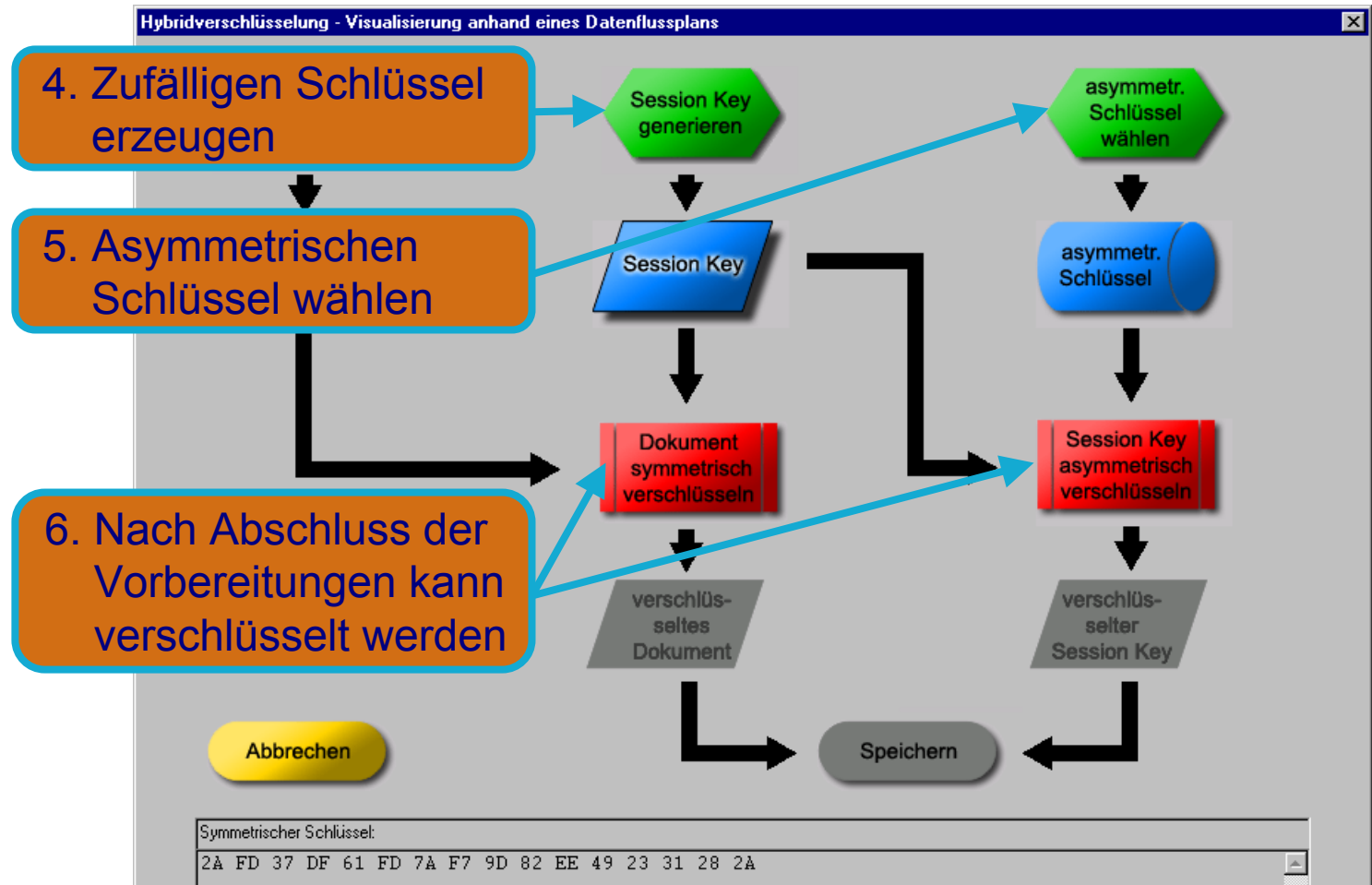
Anwendungsbeispiele

1. Hybridverschlüsselung visualisiert: Vorbereitung



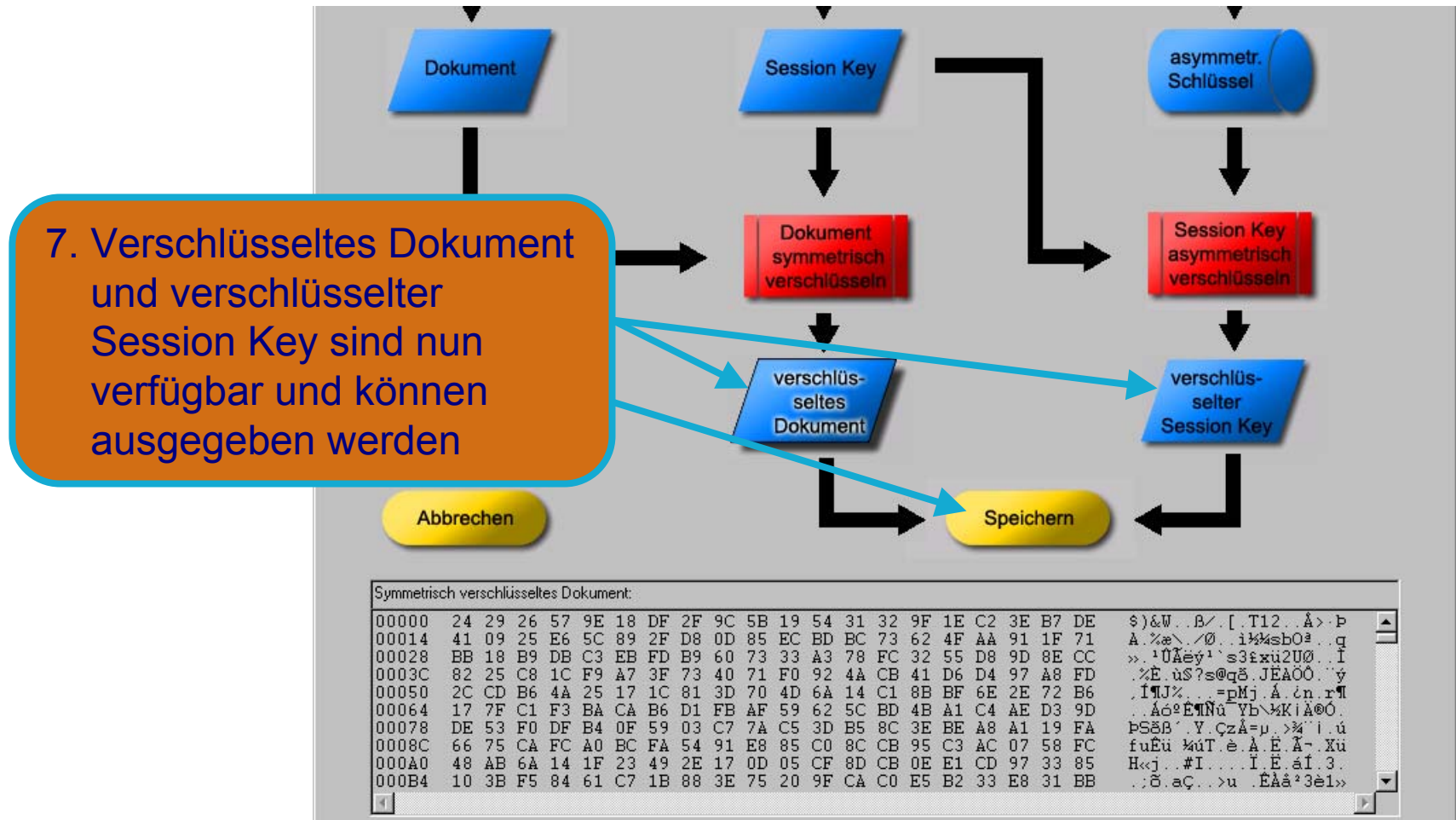
Anwendungsbeispiele

1. Hybridverschlüsselung visualisiert: Kryptographie



Anwendungsbeispiele

1. Hybridverschlüsselung visualisiert: Ergebnis



Anwendungsbeispiele

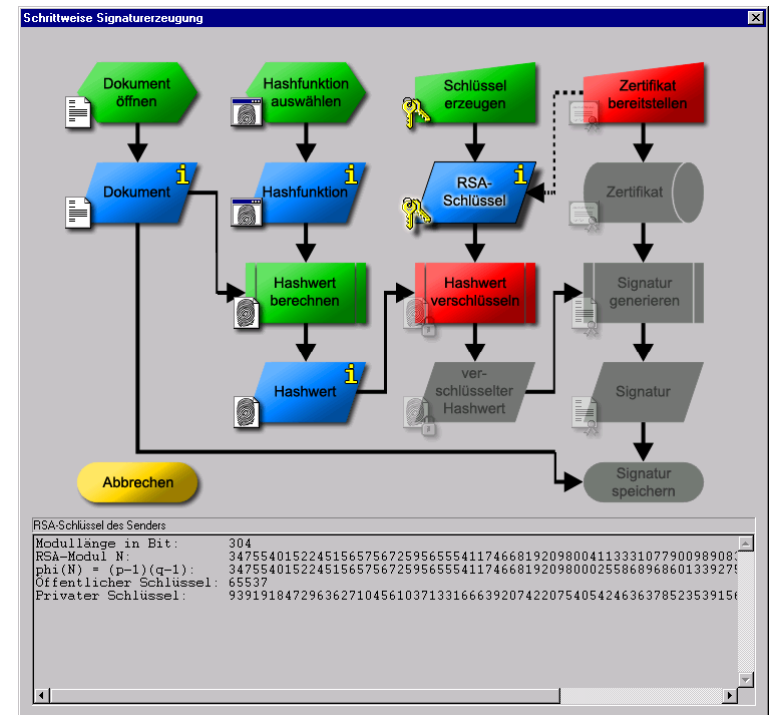
2. Elektronische Signatur visualisiert

Elektronische Signatur

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

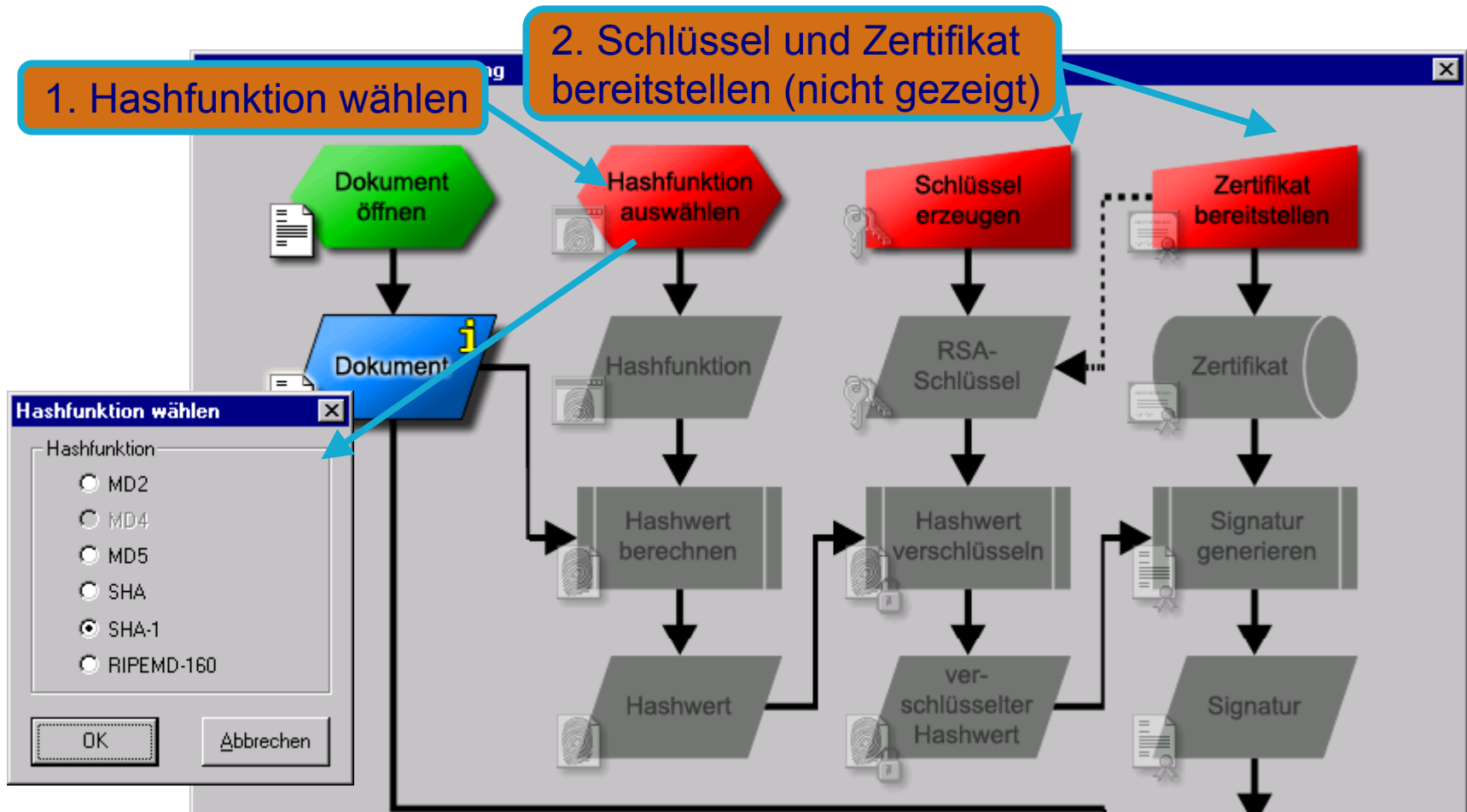
Visualisierung in CrypTool

- Interaktives Datenflussdiagramm
- Ähnlich wie die Visualisierung der Hybridverschlüsselung



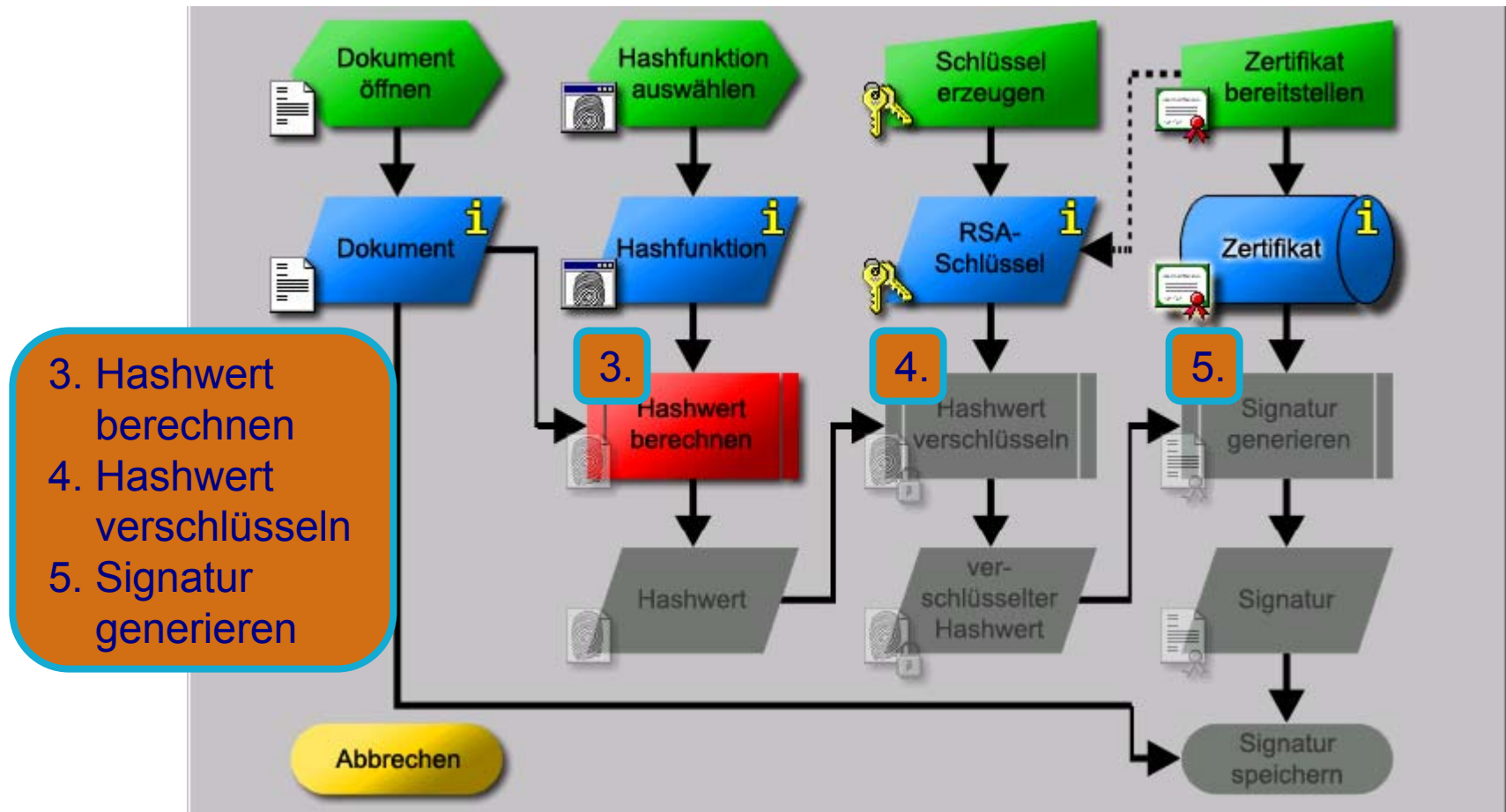
Anwendungsbeispiele

2. Elektronische Signatur visualisiert: Vorbereitung



Anwendungsbeispiele

2. Elektronische Signatur visualisiert: Kryptographie

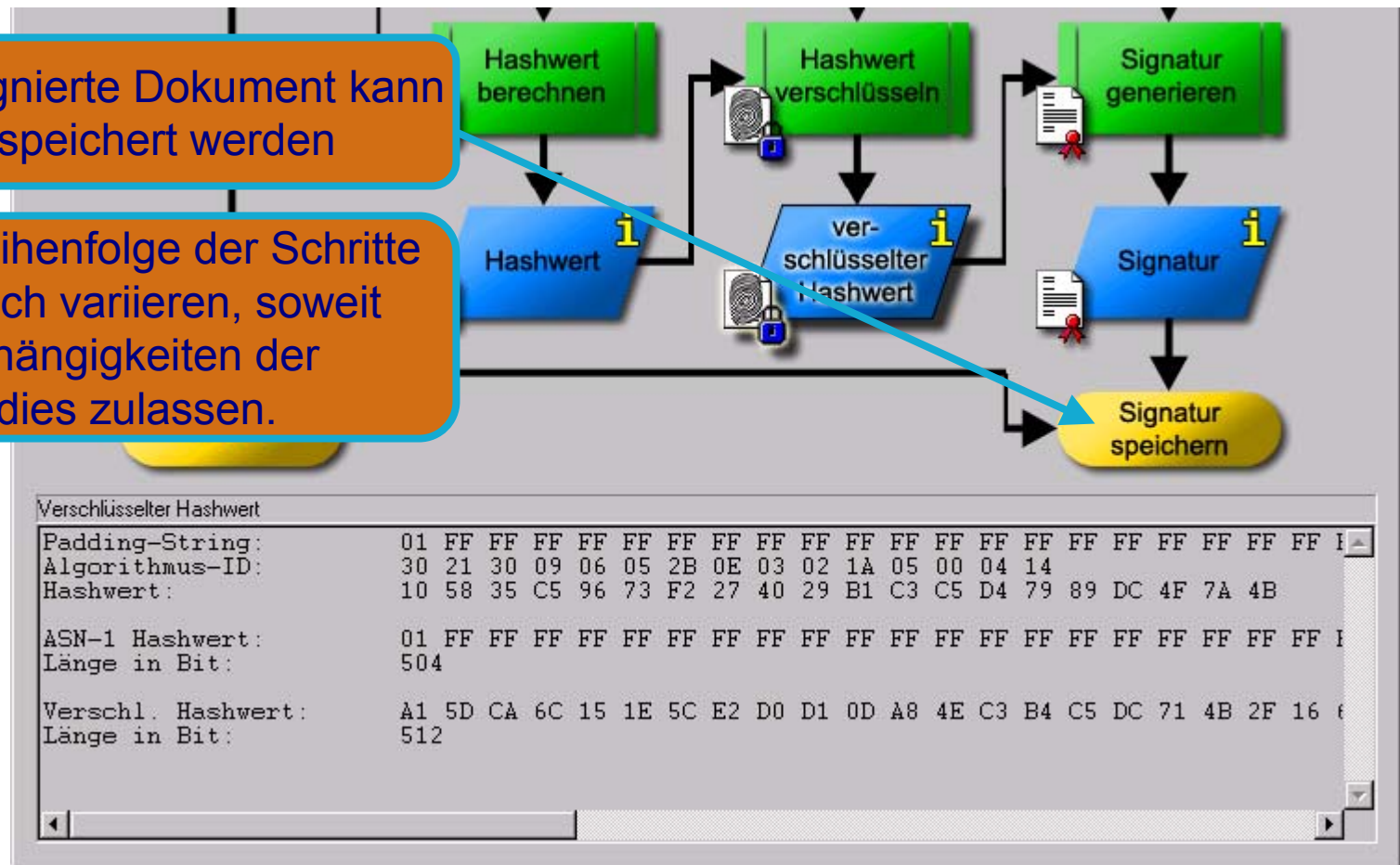


Anwendungsbeispiele

2. Elektronische Signatur visualisiert: Ergebnis

Das signierte Dokument kann nun gespeichert werden

Die Reihenfolge der Schritte lässt sich variieren, soweit die Abhängigkeiten der Daten dies zulassen.



Anwendungsbeispiele

3. Angriff auf zu kurzen RSA-Modul

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

■ Öffentlicher Schlüssel

- RSA-Modul (95bit) $N = 63978486879527143858831415041$
- 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

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

- Öffentliche Parameter in RSA-Kryptosystem (Menü Einzelverfahren) eintragen
- Funktion „RSA-Modul faktorisieren“ liefert 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

Anwendungsbeispiele:

3. kurzer RSA-Modul: öffentliche Parameter eingeben

Das RSA-Kryptosystem

RSA mit privatem und öffentlichem Schlüssel -- oder nur mit öffentlichem Schlüssel

- ☐ Wählen Sie 2 Primzahlen p und q . Die Zahl $N = pq$ ist der öffentliche RSA-Modul und $\phi(N) = (p-1)(q-1)$ ist die Eulersche Zahl. Der öffentliche Schlüssel e ist teilerfremd zu $\phi(N)$. Daraus wird der geheime Schlüssel $d = e^{-1} \pmod{\phi(N)}$ berechnet.
- ☒ Zur Verschlüsselung von Daten oder zur Verifikation einer Signatur genügt es, dass Sie die veröffentlichten RSA-Parameter angeben: den RSA-Modul N und den öffentlichen Schlüssel e .

Faktorisierungsangriff

Sie können mit Hilfe der Faktorisierung versuchen, den öffentlichen RSA-Modul N in seine Primfaktoren p und q zu faktorisieren.

RSA-Parameter

RSA-Modul N	<input type="text" value="63978486879527143858831415041"/>	(öffentlich)
$\phi(N) = (p-1)(q-1)$	<input type="text"/>	(geheim)
öffentlicher Schlüssel e	<input type="text" value="17579"/>	
geheimer Schlüssel d	<input type="text"/>	

☐ RSA-Verschlüsselung mit e / Entschlüsselung mit d

2. Faktorisieren

1. RSA-Parameter N und e eingeben



Anwendungsbeispiele:

3. kurzer RSA-Modul: RSA-Modul faktorisieren

Faktorisieren einer Zahl

Algorithmen zur Faktorisierung:

- ☒ Brute-force Methode
- ☒ Algorithmus nach Brent
- ☒ Pollard Methode
- ☒ Williams Methode
- ☒ Algorithmus nach Lenstra
- ☒ Quadratische Sieb Methode

Eingabe:

Geben Sie die zu faktorisierende Zahl ein:

63978486879527143858831415041

Faktorisierungsergebnis:

Die Faktorisierung wird in dem Format $\langle z1^{a1} * z2^{a2} * \dots * zn^{an} \rangle$ dargestellt. Zusammengesetzte Zahlen sind rot markiert.

Letzte Faktorisierung durch: Pollard

Benötigte Zeit: 01,191 Sekunden.

Produktdarstellung der Faktorisierung:

145295143558111 * 440334654777631

3. Faktorisierung ergibt p und q

CrypTool

Der RSA-Modul N wurde erfolgreich in die Primzahlen p und q faktorisiert! Sie können die RSA-Operation auch mit dem geheimen Schlüssel d durchführen: benutzen Sie hierfür den Knopf Entschlüsseln.

OK

Schließen

Anwendungsbeispiele:

3. kurzer RSA-Modul: geheimen Schlüssel d bestimmen

Das RSA-Kryptosystem

RSA mit privatem und öffentlichem Schlüssel -- oder nur mit öffentlichem Schlüssel

☒ Wählen Sie 2 Primzahlen p und q. Die Zahl $N = pq$ ist der öffentliche RSA-Modul und $\phi(N) = (p-1)(q-1)$ ist die Eulersche Zahl. Der öffentliche Schlüssel e ist teilerfremd zu $\phi(N)$. Daraus wird der geheime Schlüssel $d = e^{-1} \pmod{\phi(N)}$ berechnet.

☐ Zur Verschlüsselung von Daten oder zur Verifikation einer Signatur genügt es, dass Sie die veröffentlichten RSA-Parameter angeben: den RSA-Modul N und den öffentlichen Schlüssel e.

Primzahleingabe

Primzahl p: 145295143558111

Primzahl q: 440334654777631

Primzahlen generieren...

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...

Eingabe der Nachricht als Zahlen im Format: Zahl(1) # Zahl(2) # ... # Zahl(n) (Zahlen zur Basis 10).

4. p und q wurden automatisch eingetragen und geheimer Schlüssel d berechnet

5. Optionen einstellen

Anwendungsbeispiele:

3. kurzer RSA-Modul: Optionen einstellen

The screenshot shows the 'Optionen für die RSA-Verschlüsselung' dialog box. It has four main sections: 'Textoptionen', 'Verfahren bei der Kodierung der Nachricht in Zahlen', 'Blocklänge', and 'Zahlensystem'. Annotations with blue arrows point to specific settings: 'Alphabet vorgeben' (labeled '6. Alphabet wählen'), 'Basissystem' (labeled '7. Kodierung wählen'), and the 'Blocklänge in Zeichen' input field (labeled '8. Blocklänge wählen'). The input field contains the value '8' and a note '(maximale Blocklänge 14 Zeichen)'. The 'Zahlensystem' section has radio buttons for 'Dezimal', 'Binär', 'Oktal', and 'Hexadezimal', with 'Dezimal' selected. The dialog box has 'OK' and 'Abbrechen' buttons at the bottom.

Optionen für die RSA-Verschlüsselung

Textoptionen

☐ Alle 256 Zeichen Anzahl Zeichen: 27

☒ Alphabet vorgeben:

Verfahren bei der Kodierung der Nachricht in Zahlen

Methode: ☐ b-adisch ☒ Basissystem

Blocklänge

Die Anzahl der Zeichen, die pro RSA-Operation verschlüsselt werden.
Die maximale Anzahl ist abhängig von der Bitlänge des RSA-Moduls N, der Anzahl der Zeichen im Alphabet und der Kodierungsmethode der Nachricht.

Blocklänge in Zeichen: (maximale Blocklänge 14 Zeichen)

Zahlensystem

Die Zahlen der RSA-Ver-/Entschlüsselung werden in dem folgenden Zahlensystem dargestellt.

☒ Dezimal ☐ Binär ☐ Oktal ☐ Hexadezimal

OK Abbrechen

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 :

7091621432020076311552201 # 46468979279750354732637631044 # 3287016754590374133981967129

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

00000000000001401202118011200 # 00000000000001421130205181900 # 000000000000011805001301

Ausgabertext aus der Entschlüsselung (in Blöcken der Länge 8; das Symbol '#' dient nur als Trennzeichen).

NATURAL # NUMBERS # ARE MADE # BY GOD

Klartext

NATURAL NUMBERS ARE MADE BY GOD

Verschlüsseln Entschlüsseln Schließen

9. Ciphertext eingeben

10. Entschlüsseln

Anwendungsbeispiele

4. Analyse der Verschlüsselung im PSION 5 PDA

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

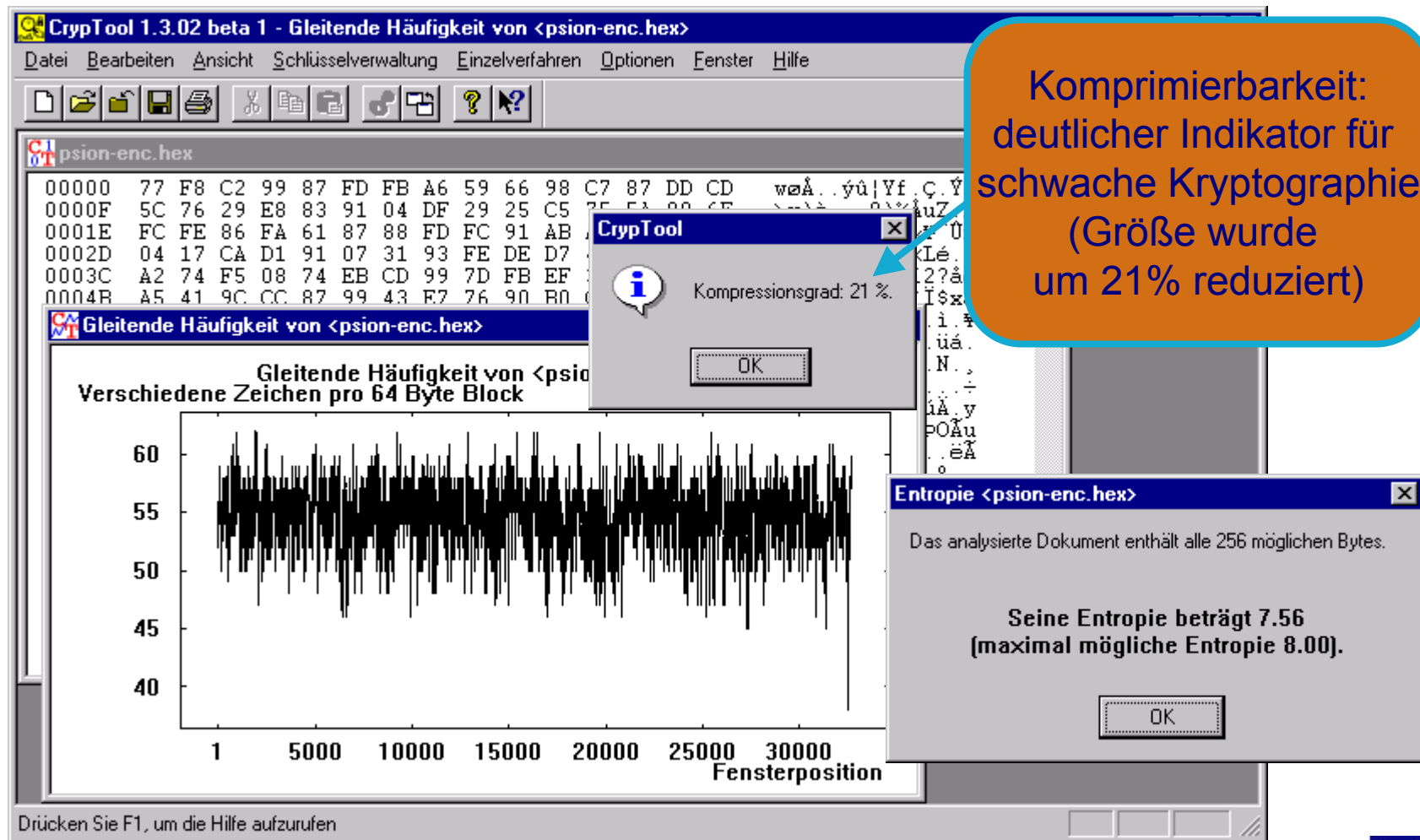
- Voranalyse
 - Entropie
 - gleitende Häufigkeit
 - Kompressionstest
- Autokorrelation
- automatische Analyse klassischer Verfahren durchprobieren

} ⇒ wahrscheinlich klassische Verschlüsselung



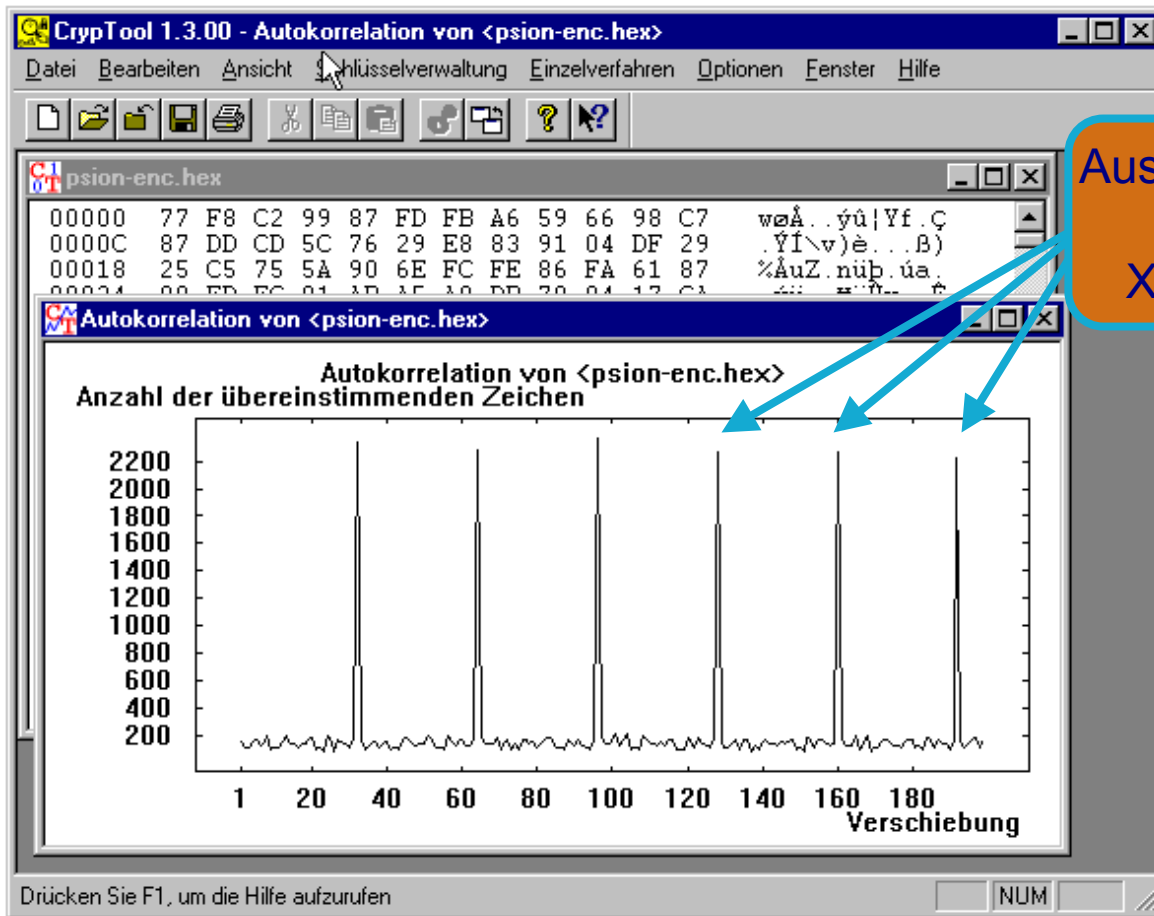
Anwendungsbeispiele

4. PSION-PDA: Entropie bestimmen, Kompressionstest



Anwendungsbeispiele

4. PSION-PDA: Autokorrelation bestimmen



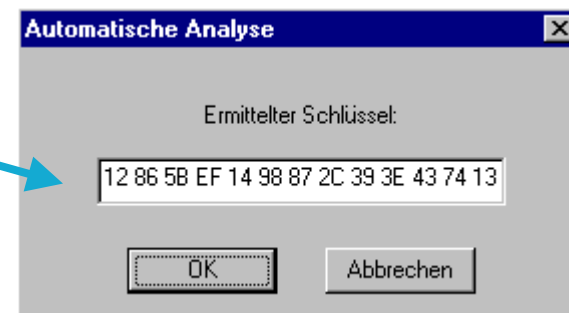
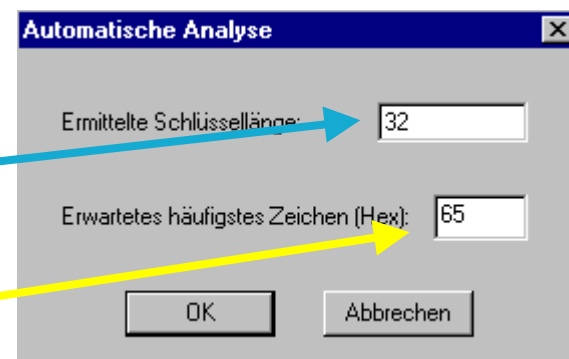
Anwendungsbeispiele

4. PSION-PDA: Automatische Analyse

Automatische Analyse XOR: kein Erfolg

Automatische Analyse binäre 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
- Ergebnis: gut, aber nicht perfekt

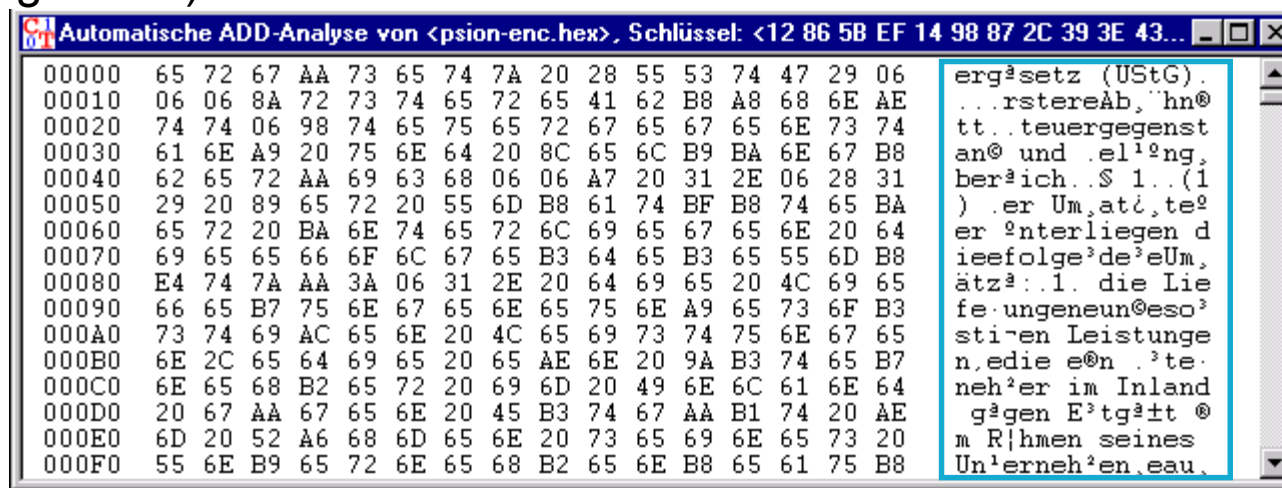


Anwendungsbeispiele

4. PSION-PDA: Ergebnis der automatischen Analyse

Ergebnis der automatischen Analyse mit Annahme „binäre Addition“:

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



The screenshot shows a window titled "Automatische ADD-Analyse von <psion-enc.hex>, Schlüssel: <12 86 5B EF 14 98 87 2C 39 3E 43...". The window is divided into two main sections. The left section displays a hex dump with addresses from 00000 to 000F0 and corresponding hexadecimal values. The right section displays the decrypted text, which appears to be a German document snippet.

Address	Hex Value
00000	65 72 67 AA 73 65 74 7A 20 28 55 53 74 47 29 06
00010	06 06 8A 72 73 74 65 72 65 41 62 B8 A8 68 6E AE
00020	74 74 06 98 74 65 75 65 72 67 65 67 65 6E 73 74
00030	61 6E A9 20 75 6E 64 20 8C 65 6C B9 BA 6E 67 B8
00040	62 65 72 AA 69 63 68 06 06 A7 20 31 2E 06 28 31
00050	29 20 89 65 72 20 55 6D B8 61 74 BF B8 74 65 BA
00060	65 72 20 BA 6E 74 65 72 6C 69 65 67 65 6E 20 64
00070	69 65 65 66 6F 6C 67 65 B3 64 65 B3 65 55 6D B8
00080	E4 74 7A AA 3A 06 31 2E 20 64 69 65 20 4C 69 65
00090	66 65 B7 75 6E 67 65 6E 65 75 6E A9 65 73 6F B3
000A0	73 74 69 AC 65 6E 20 4C 65 69 73 74 75 6E 67 65
000B0	6E 2C 65 64 69 65 20 65 AE 6E 20 9A B3 74 65 B7
000C0	6E 65 68 B2 65 72 20 69 6D 20 49 6E 6C 61 6E 64
000D0	20 67 AA 67 65 6E 20 45 B3 74 67 AA B1 74 20 AE
000E0	6D 20 52 A6 68 6D 65 6E 20 73 65 69 6E 65 73 20
000F0	55 6E B9 65 72 6E 65 68 B2 65 6E B8 65 61 75 B8

The decrypted text on the right is as follows:

```
erg³setz (UStG).  
...rstereAb,`hn@  
tt...teuergegenst  
an@ und .el¹ng,  
ber³ich..$ 1..(1  
) .er Um,at³,te²  
er ²nterliegen d  
ieefolge³de³eUm,  
ätz³:..1. die Lie  
fe·ungeneun@eso³  
stiren Leistunge  
n,edie e@n .³te  
neh²er im Inland  
g³gen E³tg³tt @  
m R³hmen seines  
Un¹erneh²en,eau,
```

Anwendungsbeispiele

4. PSION-PDA: Bestimmung der restlichen Schlüsselbytes

Schlüssel während der automatischen Analyse in die Zwischenablage kopieren

im Hexdump der automatischen Analyse

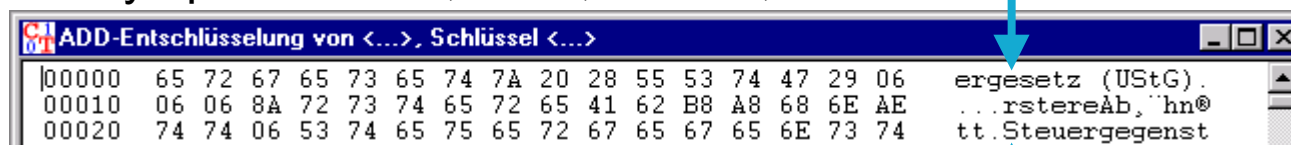
- Falsche Bytepositionen bestimmen, z.B. 0xAA an Position 3
- Korrespondierende korrekte Bytes erraten und notieren: „e“ = 0x65

im Hexdump der verschlüsselten Ausgangsdatei

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

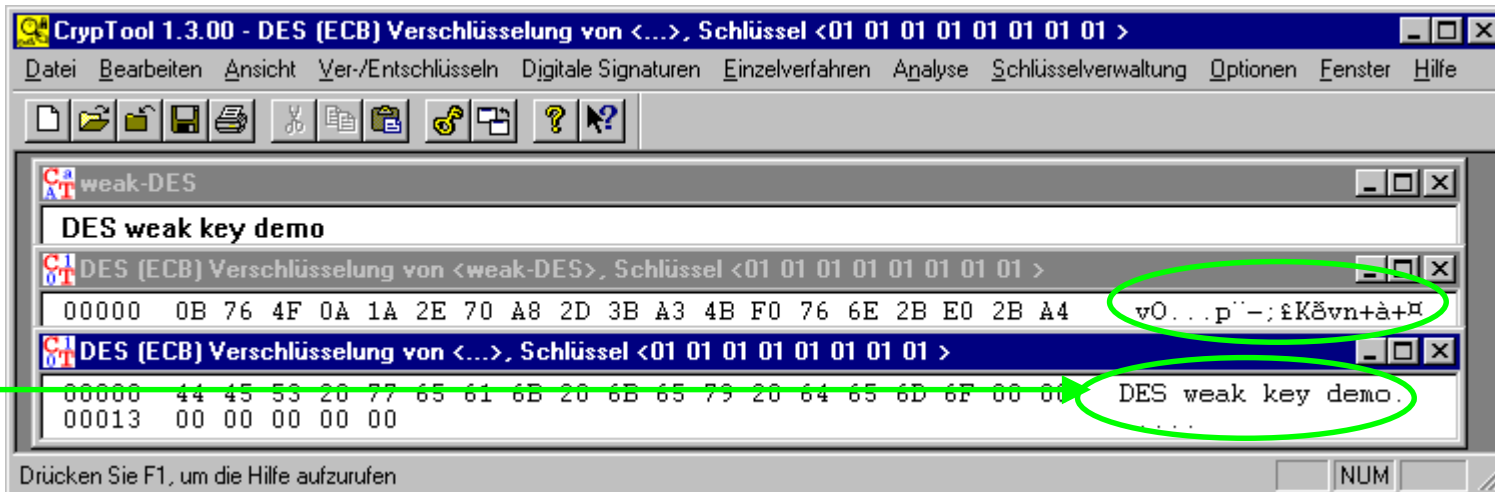
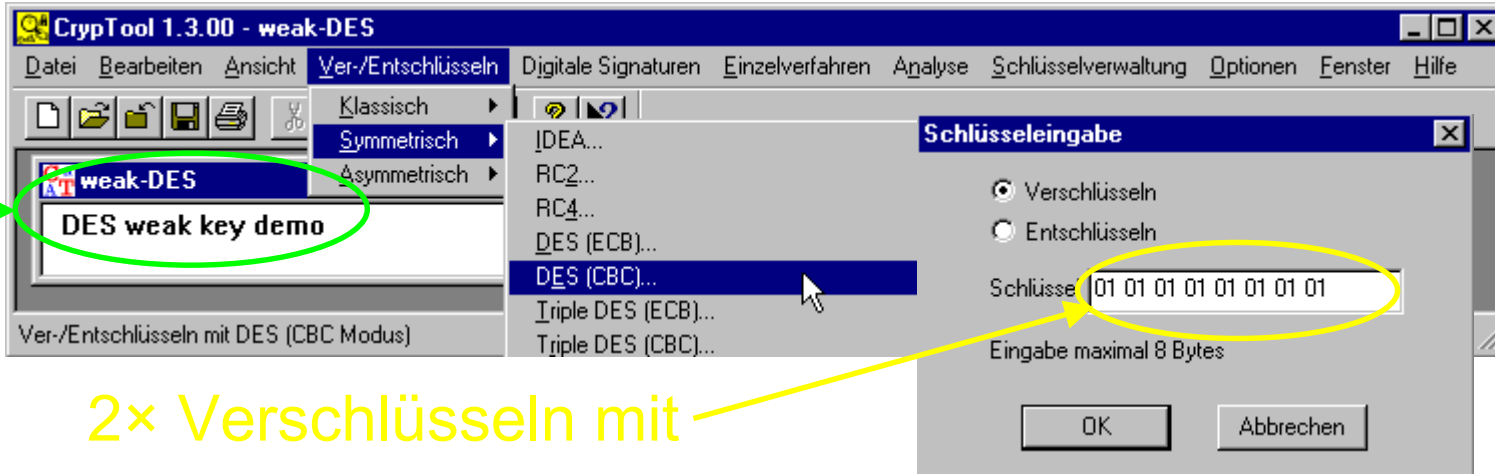
Schlüssel aus der Zwischenablage

- korrigieren
12865B341498872C393E43741396A45670235E111E907AB7C0841...
- verschlüsseltes Ausgangsdokument mittels binärer Addition entschlüsseln
- Nun sind Bytepositionen 3, 3+32, 3+2*32, ... ok



Anwendungsbeispiele

5. Schwache DES-Schlüssel



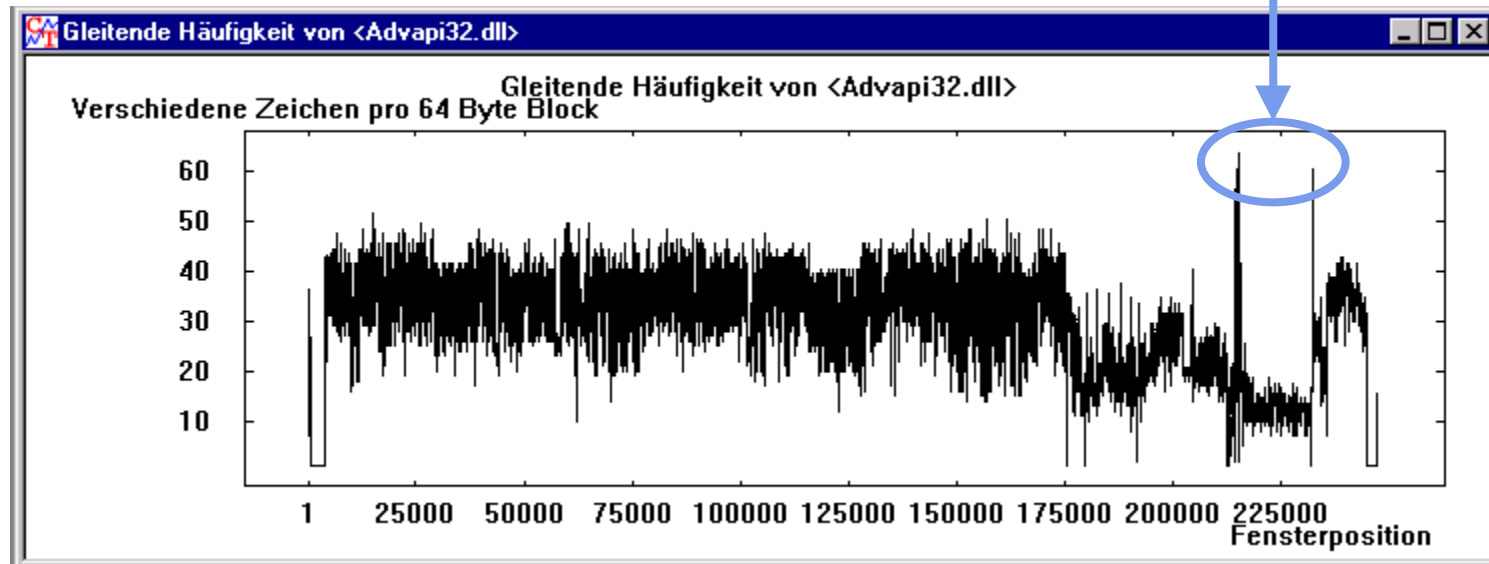
Anwendungsbeispiele

6. Auffinden von Schlüsselmateral

Die Funktion „Gleitende Häufigkeit“ eignet sich zum Auffinden von Schlüsselmateral 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



Kontaktadresse

Prof. Dr. Claudia Eckert

TU Darmstadt

Fachbereich Informatik

Fachgebiet Sicherheit in der IT

Wilhelminenstr. 7

64283 Darmstadt

claudia.eckert@sit.fraunhofer.de

Bernhard Esslinger

- Universität Siegen

Fachbereich 5 Wirtschaftswissenschaften

- Deutsche Bank AG

Leiter Information Security

bernhard.esslinger@db.com

besslinger@web.de

Jörg Cornelius Schneider

Deutsche Bank AG

joerg-cornelius.schneider@db.com

js@joergschneider.com

www.cryptool.de

www.cryptool.org

www.cryptool.com