9 Rückruf von Capabilities (4)

▲ Problem: Rückruf während der Bearbeitung eines Objekts
- ◆ inkonsistente Zustände möglich

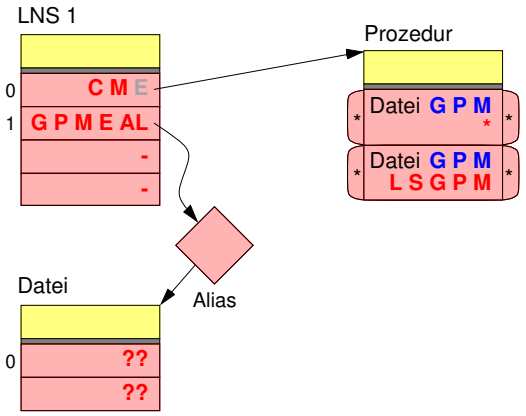
★ Lösung in Hydra
- ◆ Parameter-Capabilities, die durch eine rechteverstärkende Parameterschablone angenommen werden, zeigen auf das Originalobjekt

▲ Nachteil
- ◆ nicht vertrauenswürdige Prozeduren können rückruffreie Capability erlangen
- ◆ Problem fällt in die selbe Kategorie wie rechteverstärkende Parameterschablonen an sich

© Franz J. Hauck, Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD IV, 1998
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

9 Rückruf von Capabilities (5)

■ Beispiel:

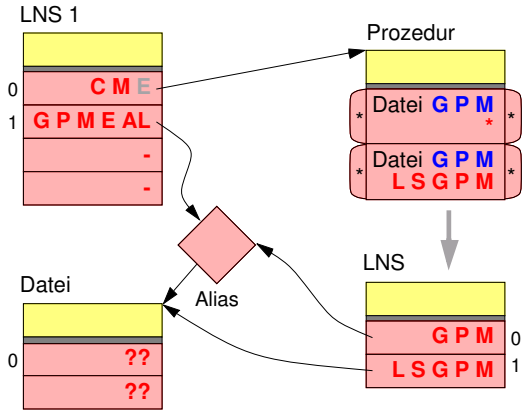


Call(0, 2, 1, (–E), 1, (–E))

© Franz J. Hauck, Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD IV, 1998
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

9 Rückruf von Capabilities (6)

■ Beispiel:



Call(0, 2, 1, (–E), 1, (–E))

© Franz J. Hauck, Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD IV, 1998
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

10 Garantierter Zugriff

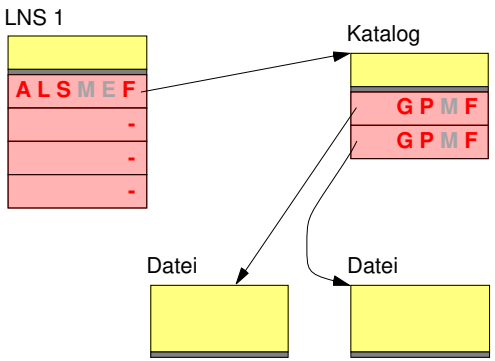
■ Schutz vor Rückruf
- ◆ Modifizierende Benutzer eines Objekts
  - • kooperierende Benutzer: Rückruf keine Gefahr
  - • nicht kooperierende Benutzer: Rückruf nötig
- ◆ Benutzer eines Objekts ohne modifizierende Zugriffe
  - • Aufruf von Prozeduren ist unkritisch, da Aufrufe nicht rückrufbar sind
  - • lesende Zugriffe auf Objekte sind kritisch:
    Verhindern des Rückrufs ist jedoch nicht ausreichend
    – Daten im Objekt könnten gelöscht oder verfälscht werden
    – Capabilities im Objekt oder deren Rechte könnten entfernt werden

★ Hydra führt das Einfrierrecht *(Freeze right **F**RZRTS)* ein
- ◆ Einfrieren nimmt Modifikationsrecht weg
- ◆ ein Objekt kann nur gefroren werden, wenn alle Capabilities in der C-List bereits das Einfrierrecht haben

© Franz J. Hauck, Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD IV, 1998
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

10 Garantierter Zugriff (2)

- Beispiel:



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

11 Bewertung von Hydra

- Hydra demonstrierte die Beherrschbarkeit einer ganzen Reihen von Sicherheitsproblemen
  - Ergebnisse flossen in eine ganze Reihe von Systemen
  - reine Capability-basierte Systeme haben sich jedoch nie durchgesetzt
- Hydras Probleme
  - lagen im wesentlichen nicht am Capability-Mechanismus
  - es gabe keine vernünftigen Editoren und Compiler
  - Hardware besaß keine Hardware zur Unterstützung von Paging

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

I.6 Kryptographische Maßnahmen

- Verschlüsseln und Entschlüsseln vertraulicher Daten
  - aus den verschlüsselten Daten soll die Originalinformation nur mit Hilfe eines Schlüssels restauriert werden können
  - Schlüssel bleibt geheim
- Authentisierung
  - Empfänger kann verifizieren, wer der Absender ist
- Sicherer Kanal
  - gesendete Informationen können nicht gefälscht und verfälscht werden
  - nur der adressierte Empfänger kann die Informationen lesen
  - Empfänger kann den Absender authentisieren

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

I.6 Kryptographische Maßnahmen (2)

- Funktionen
  - Verschlüsselungsfunktion *E (encrypt): E(K, T)*
  - Entschlüsselungsfunktion *D (decrypt): D(K, T)*
  - *K* = Schlüssel, *T*= zu verschlüsselnder Text/Daten
- Verwandte Schlüssel
  - es gilt: K_1 und K_2 sind verwandt, wenn gilt: $D(K_2, E(K_1, T)) = T$
- Symmetrisches Verschlüsselungsverfahren
  - es gilt: $K_1 = K_2$

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

I.6 Kryptographische Maßnahmen (3)

- Forderungen an ein Verschlüsselungsverfahren
  - Wenn K_2 unbekannt ist, soll es sehr aufwendig sein aus $E(K_1, T)$ das T zu ermitteln (Entschlüsselungsangriff)
  - Es soll sehr aufwendig sein aus T und $E(K_1, T)$ den Schlüssel K_1 zu ermitteln (Klartextangriff)
  - Bei asymmetrischen Verfahren soll es sehr aufwendig sein, aus K_1 den Schlüssel K_2 zu ermitteln und umgekehrt.

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Monoalphabetische Verfahren

- Verfahren nach Caesar

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

  - Verschlüsselungsfunktion: $E: M \rightarrow (M + k) \bmod 26$
  - k ist variierbar (26 Möglichkeiten)
- Zufällige Substitution

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

  - 26! Möglichkeiten

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Monoalphabetische Verfahren (2)

- ★ Nachteil
  - vollständiges Ausprobieren möglich bei Caesar
  - Häufigkeitsanalyse der Buchstaben
    - für eine Sprache gibt es häufigere Buchstaben, z.B. e im Deutschen
    - durch die Häufigkeitsanalyse können die Möglichkeiten stark eingeschränkt werden; vollständiges Probieren wird ermöglicht

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Polyalphabetische Verschlüsselung

- Einsatz von vielen Abbildungen, die durch einen Schlüssel ausgewählt werden
  - Beispiel: Vigenére (Caesar-Verschlüsselung mit zyklisch wiederholten Folgen von Verschiebungswerten)

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

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Polyalphabetische Verschlüsselung (2)

- Auswahl der Zeile durch den entsprechenden Buchstaben des Schlüsselwortes

W	I	C	H	T	I	G	E	N	A	C	H	R	I	C	H	T
G	E	H	E	I	M	G	E	H	E	I	M	G	E	H	E	I
C	M	J	L	B	U	M	I	U	E	K	T	X	M	J	L	B

Originaltext

Schlüsselwort (wiederholt)

verschlüsselter Text

▲ Gilt als nicht sicher
- Koinzidenzanalyse
- Häufigkeitsanalysen und Brute force Attacke

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Polyalphabetische Verfahren (3)

■ Koinzidenz
- Wahrscheinlichkeit für zwei gleiche Buchstaben untereinander bei umbrechendem Text
  - zufällige Buchstabenwahl: 3,8%
  - englischer Text: 6,6%
- Brechen polyalphabetischer Verfahren
  - Bestimmen der Koinzidenz für verschiedene Textlängen
  - Textlänge mit höchster Koinzidenz ist wahrscheinlich Schlüsseltextlänge
  - danach Häufigkeitsanalyse pro Buchstabe des Schlüsseltexts

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3 One-Time Pad Verfahren

■ Theoretisch sicheres Verfahren
- Liste von Zufallszahlen (soviele wie Zeichen in der Nachricht): *r[i]*
- Zeichen *z[i]* der Nachricht wird verschlüsselt mit *c[i] = (z[i] + r[i]) mod 26*
- Empfänger braucht die gleiche Liste

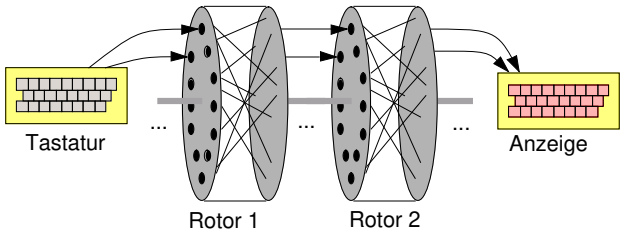
- theoretisch sicher, da aus dem *c[]* nicht auf *z[]* geschlossen werden kann

▲ Praktisch unbrauchbar
- echte Zufallszahlen nötig
- lange Liste nötig
  - jede Liste kann nur einmal verwendet werden
  - Liste muß so lang wie die Nachricht sein

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4 Rotormaschinen

■ Drehende Scheiben verändern ständig die Permutation



- Einstellen einer Anfangsposition für die Rotoren
- bei jedem Zeichen wird erster Rotor um eine Position weitergedreht
- zweiter Rotor rotiert mit niedrigerer Geschwindigkeit
- zum Entschlüsseln sind entsprechende Gegenstücke nötig

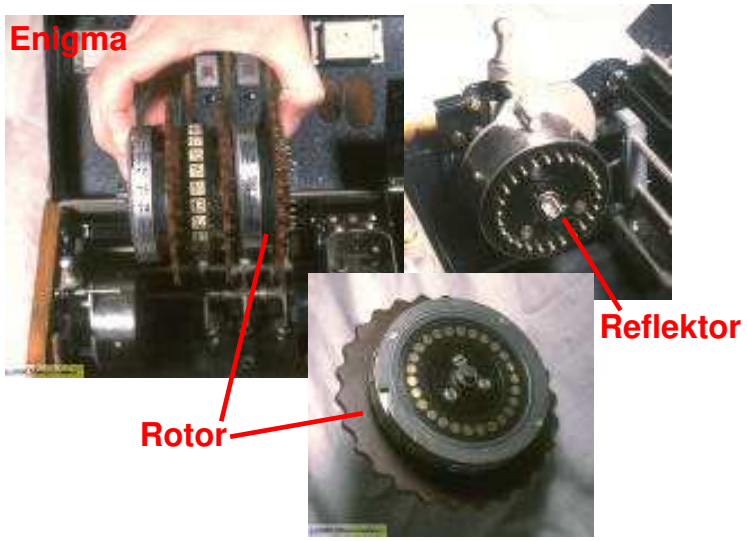
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4 Rotormaschinen (2)

- Enigma
  - deutsche Chiffriermaschine aus dem zweiten Weltkrieg
  - drei Rotore und Reflektor
    - Reflektor leitet Strom wieder bei einer anderen Position durch die Rotoren zurück: Verfahren wird symmetrisch
    - Entschlüsseln mit den gleichen Rotoren möglich
- Verfahren gilt als nicht sicher
  - Brute force Attacke: *Collosus* Computer
- Schlüsseldemo
  - http://www.cs.uoregon.edu/~inoble/enigma/applet/

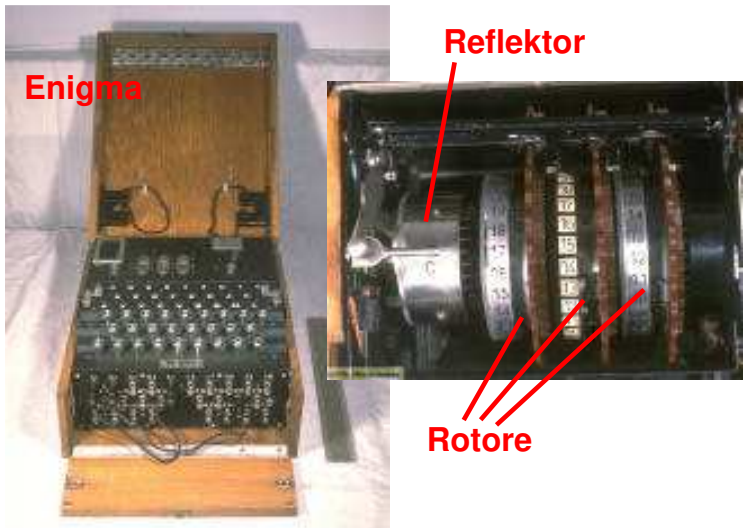
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4 Rotormaschinen



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4 Rotormaschinen



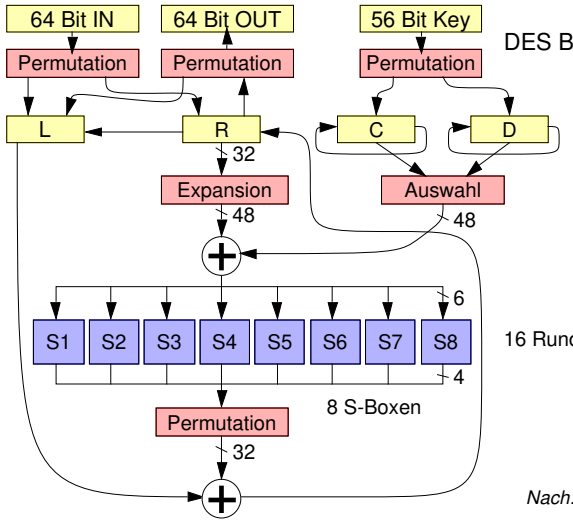
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 Heutige symmetrische Verfahren

- DES *(Data Encryption Standard, 1977)*
  - entwickelt von IBM
  - amerikanischer Standard (Kriegswaffe)
  - blockorientiertes Verfahren (64 Bit Block, 56 Bit Schlüssel)
  - 16 Runden
  - trotz vieler Angriffe und trotz des Alters: gilt praktisch als sicher

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 Heutige symmetrische Verfahren (2)



DES Blockdiagramm

16 Runden

Nach: Fumy/Rieß 1994

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6 Beispiel: UNIX Paßwörter

- Paßwörter wurden zunächst im Klartext gespeichert
  - Paßwortdatei muß streng geschützt werden
  - strenger Schutz oft nicht möglich (z.B. Backup der Platte)
  - Superuser kann die Paßwörter von Benutzern einsehen
- Verschlüsseln der Paßwörter
  - nur die verschlüsselte Version wird gespeichert
  - verschlüsselte Paßwörter dürfen nicht leicht entschlüsselt werden können
- ▲ Ausprobieren von Paßwörtern
  - Benutzer wählen Namen und Gegenstände als Paßwort
  - Verschlüsseln von gängigen Begriffen und Vergleich mit verschlüsselt gespeicherten Paßwörtern
  - Verschlüsselungszeit fließt mit ein in die Sicherheitsbetrachtung

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 Heutige symmetrische Verfahren (3)

- Tripple DES
  - dreifache Verschlüsselung mit DES
  - Nutzung von drei oder mindestens zwei verschiedenen Schlüsseln
- IDEA *(International Data Encryption Algorithm)*
  - Alternative zu DES
  - 64 Bit Blockgröße
  - 128 Bit Schlüssel
  - keine Permutationen und S-Boxen
  - stattdessen: Addition, Multiplikation und XOR
  - 8 Runden und Output-Transformation
  - Einsatz: z.B. PGP *(Pretty Good Privacy)*

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6 Beispiel: UNIX Paßwörter (2)

- Heutiges Verfahren
  - zufällige Auswahl eines von 4096 Werten *(Salt)*
  - der Salt fließt mit in die Verschlüsselung ein, so daß ein und dasselbe Paßwort in 4096 Varianten vorkommen kann
  - Verschlüsselung mit DES
  - Zugriff auf verschlüsselte Paßwörter wird weitestgehend verhindert (Shadow-Paßwortdatei)
- ★ Vorteil
  - Ausprobieren von Paßwörtern benötigt mehr Zeit
  - Vergleich zweier Paßwörter weitgehend unmöglich

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6 Beispiel: UNIX Paßwörter (3)

- Politik am IMMD
  - Mindestlänge 8 Zeichen
  - mindestens 5 verschiedene Zeichen
  - mindestens 3 Zeichenklassen (Groß-, Kleinbuchstaben, Ziffern, Sonderzeichen)
  - keine Wiederholungen von Zeichenfolgen erlaubt
  - keine aufeinanderfolgenden Zeichen erlaubt, z.B. "123"
  - ...
  - Begriffe, Namen, etc. werden ausgeschlossen und müssen hinreichend verfremdet sein
- ★ Angriff durch Ausprobieren wird weitestmöglich erschwert

© Franz J. Hauck, Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD IV, 1998
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

7 Heutige asymmetrische Verfahren

- RSA (Rivest, Shamir und Adleman)
  - Öffentlicher Schlüssel (zum Verschlüsseln) besteht aus *(e, N)*
  - Ein Block *M* wird verschlüsselt durch: $C = E((e, N), M) = M^e \bmod N$
  - *C* wird entschlüsselt durch: $M = D((d, N), C) = C^d \bmod N$
  - Wahl der Schlüssel:
    - Es muß gelten $\forall M: (M^e)^d = M \bmod N$
    - Aus Kenntnis von *e* und *N* darf *d* nur mit hohem Aufwand ermittelbar sein
  - Lösung:
    - $N = pq$ mit *p* und *q* zwei hinreichend große Primzahlen
    - zufällige Wahl von *d*, teilerfremd zu $(p-1)(q-1)$
    - Berechnung von *e* aus der Bedingung: $ed = 1 \bmod ((p-1)(q-1))$
  - Es ist aufwendig die Primfaktoren von *N* zu berechnen (mit diesen wäre es möglich *d* zu ermitteln)

© Franz J. Hauck, Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD IV, 1998
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

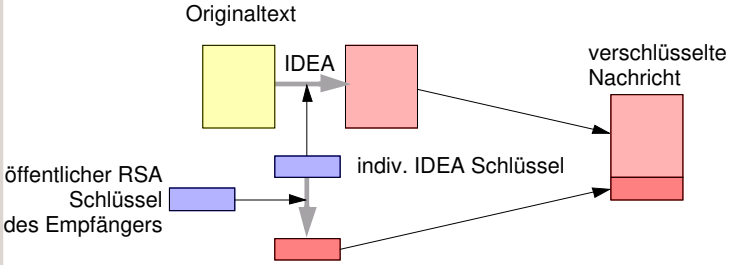
7 Heutige asymmetrische Verfahren (2)

- Vorteil asymmetrischer Verfahren (*Public key*-Verfahren)
  - nur ein Schlüsselpaar pro Teilnehmer nötig (sonst ein Schlüsselpaar pro Kommunikationskanal!)
  - Schlüsselverwaltung erheblich vereinfacht
    - jeder Teilnehmer erzeugt sein Schlüsselpaar und
    - veröffentlicht seinen öffentlichen Schlüssel
  - Authentisierung durch digitale Unterschriften möglich
  - gilt als sicher bei hinreichend großer Schlüssellänge (1024 Bit)
- Nachteil
  - relativ langsam berechenbar
  - gemischter Betrieb von asymmetrischen und symmetrischen Verfahren zur Geschwindigkeitssteigerung

© Franz J. Hauck, Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD IV, 1998
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

7 Heutige asymmetrische Verfahren (3)

- Beispiel: PGP Verschlüsselung



  - Daten werden mit einem individuellen Schlüssel IDEA-verschlüsselt
  - IDEA-Schlüssel wird RSA-verschlüsselt der Nachricht angehängt
- ★ Nachricht an mehrere Adressaten verschickbar
  - lediglich der IDEA-Schlüssel muß in mehreren Varianten verschickt werden (je eine Version verschlüsselt mit dem öffentl. Schlüssel des Empfängers)

© Franz J. Hauck, Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD IV, 1998
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.