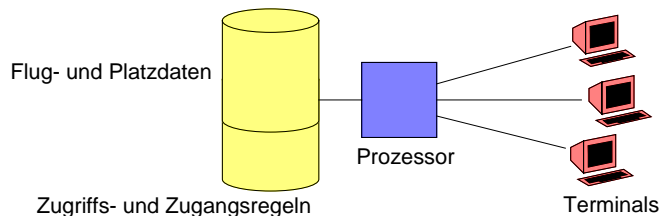


# Datensicherheit und Zugriffsschutz

## Datensicherheit und Zugriffsschutz

### 1 Problemstellung

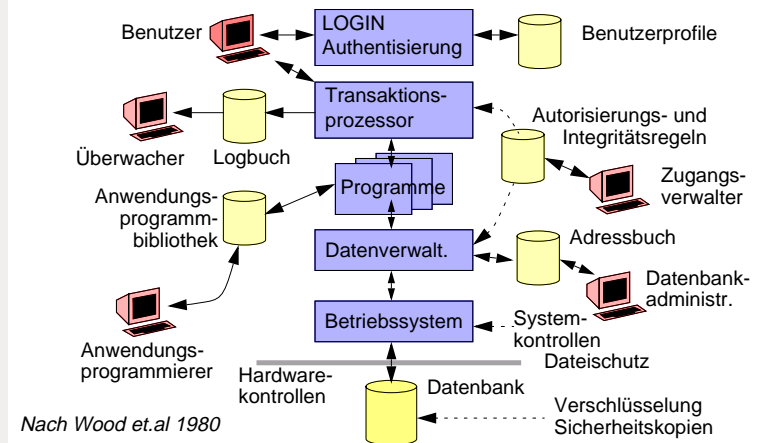
- Beispiel: Zugang zu einer Datenbank zur Flugreservierung und -buchung



- Was sind mögliche Beeinträchtigungen der Datensicherheit?

### 1 Problemstellung (2)

- Überprüfungen beim Transaktionsbetrieb (Datenbankanwendung)



Nach Wood et.al 1980

### 1 Problemstellung (3)

- Illegaler Datenzugriff
  - Daten sind zugreifbar, die vertraulich behandelt werden sollen
- Illegales Löschen von Daten
  - Kein Zugriff, aber Daten werden gelöscht
- Illegales Manipulieren von Daten
  - Daten werden in böswilliger Absicht verändert
- Zerstörung von Rechensystemen
  - physisches Zerstören von Teilen der Rechananlage

## 1.1 Umgebung der Rechananlage

- ▲ Naturkatastrophen
  - ◆ Erdbeben, Vulkanausbrüche etc. können Rechananlage und Datenbestand zerstören
- ▲ Unfälle
  - ◆ Gasexplosion, Kühlwasserlecks in der Klimaanlage oder Ähnliches zerstören Rechner und Daten
- ▲ Böswillige Angriffe
  - ◆ Zerstörung der Rechananlage und des Datenbestands durch Sabotage (Bombenanschlag, Brandanschlag etc.)
- ▲ Unbefugter Zutritt zu den Räumen des Rechenzentrums
  - ◆ Diebstahl von Datenträgern
  - ◆ Zerstörung von Daten
  - ◆ Zugang zu vertraulichen Daten

## 1.3 Systemprogrammierer

- ▲ Umgehen oder Abschalten der Schutzmechanismen
- ▲ Installation eines unsicheren Systems
  - ◆ erlaubt dem Systemprogrammierer die Schutzmechanismen von außen zu umgehen
- ▲ Fehler beim Nutzen von Bibliotheksfunktionen innerhalb sicherheitskritischer Programme
  - ◆ S-Bit Programme unter UNIX laufen mit der Benutzerkennung des Dateibesitzers, nicht unter der des Aufrufers
    - Fehlerhafte S-Bit Programme können zur Ausführung von Code unter einer fremden Benutzerkennung gebracht werden
    - S-Bit Programme mit "root-Rechten" besonders gefährlich

## 1.2 Systemsoftware

- ▲ Versagen der Schutzmechanismen
  - ◆ System lässt Unbefugte auf Daten zugreifen oder Operationen ausführen
- ▲ Durchsickern von Informationen
  - ◆ Anwender können anhand scheinbar unauffälligen Systemverhaltens Rückschlüsse auf vertrauliche Daten ziehen (*Covert channels*)
- Beispiel: verschlüsselt abgespeicherte Passwörter sind zugänglich
  - ◆ Entschlüsselungsversuch der Passwörter außerhalb der Rechananlage
  - ◆ "Wörterbuchattacke": Raten von Passwörtern möglich

## 1.3 Systemprogrammierer (2)

- ◆ Buffer-Overflow Fehler bei Funktionen  
`gets(), strcpy(), strcat(), sprintf( "%s",...)`
  - Zu lange Eingaben überschreiben den Stackspeicher des Prozessors
  - Mit genauer Kenntnis ist das Ausführen beliebigen Codes erzwingbar
- ◆ Fehlerhafte Parameterprüfung beim Aufruf von Funktionen  
`system()`
- ◆ Beispiel: Löschen einer Datei
  - Name der Datei wurde in Variable `file` eingelesen
  - Aufruf von `system` mit Parameter `strcat( "rm ", file)`
  - Gibt man für den Dateinamen den String  
`"fn ; xterm -display myhost:0 &"`  
ein, bekommt man ein Fenster auf der aufgebrochenen Maschine

## 1.4 Rechnerhardware

- ▲ Versagen der Schutzmechanismen
  - ◆ erlauben nicht-autorisierten Zugriff
- ▲ Fehlerhaft Befehlsausführung
  - ◆ Zerstörung von wichtigen Daten
- ▲ Abstrahlungen
  - ◆ erlaubt Ausspähen von Daten

## 1.5 Datenbasis

- ▲ Falsche Zugriffsregeln
  - ◆ erlauben nicht-autorisierten Zugriff

## 1.7 Sicherheitsbeauftragter

- ▲ Fehlerhafte Spezifikation der Sicherheitspolitik
  - ◆ dadurch Zugang für Unbefugte zu vertraulichen Daten oder
  - ◆ Änderungen von Daten durch Unbefugte möglich
- ▲ Unterlassene Auswertung von Protokolldateien
  - ◆ Einbrüche und mögliche Sicherheitslücken werden nicht rechtzeitig entdeckt

## 1.6 Operateur

- ▲ Kopieren vertraulicher Datenträger
- ▲ Diebstahl von Datenträgern
- ▲ Initialisierung mit unsicherem Zustand
  - ◆ Operateur schaltet beispielsweise Zugriffskontrolle ab
- ▲ Nachlässige Rechnerwartung
  - ◆ Nachbesserungen der Systemsoftware (*Patches*) werden nicht eingespielt
    - Sicherheitslücken werden nicht gestopft

## 1.8 Kommunikationssystem

- ▲ Abhören der Kommunikationsleitungen (*Sniffing*)
  - ◆ z.B. Telefonverbindung bei Modemnutzung oder serielle Schnittstellen
  - ◆ z.B. Netzwerkverkehr auf einem Netzwerkstrang
- ◆ Ermitteln von Passwörtern und Benutzerkennungen
  - manche Dienste übertragen Passwörter im Klartext (z.B. ftp, telnet, rlogin)
- ◆ Zugriff auf vertrauliche Daten
- ◆ unbefugte Datenveränderungen
  - Verfälschen von Daten
  - Übernehmen von bestehenden Verbindungen (*Hijacking*)
  - Vorspiegeln falscher Netzwerkadressen (*Spoofing*)

## 1.8 Kommunikationssystem (2)

- ▲ Illegale Nutzung von Diensten über das Netzwerk
  - ◆ Standardsysteme bieten eine Menge von Diensten an (z.B. ftp, telnet, rwho u.a.)
  - ◆ Sicherheitslücken von Diensten werden publik gemacht und sind auch von "dummen" Hackern nutzbar (*Exploit scripts*)  
<http://www.rootshell.org>
  - ◆ Auch bei temporär am Netzwerk angeschlossenen Computern eine Gefahr
    - z.B. Linux-Maschine mit PPP-Verbindung an das Uni-Netz
    - Voreinstellungen der Standardinstallation meist unsicher

## 1.11 Anwendungsprogrammierung

- ▲ Nichteinhalten der Spezifikation
  - ◆ Umgehen der Zugriffskontrollen
- ▲ Einfügen von „böartigen“ Befehlsfolgen
  - ◆ *Back door*: Hintertür gibt dem Programmierer im Betrieb Zugang zu vertraulichen Daten oder illegalen Operationen
  - ◆ *Trojan horse*: Unter bestimmten Bedingungen werden illegale Operationen ohne Trigger von außen angestoßen

## 1.9 Terminal

- ▲ Ungeschützter Zugang zum Terminal
  - ◆ Nutzen einer fremden Benutzererkennung
  - ◆ Zugriff auf vertrauliche Daten
  - ◆ unbefugte Datenveränderungen

### 1.10 Benutzer

- ▲ Nutzen anderer Kennungen
  - ◆ erlauben nicht-autorisierten Zugriff
  - ◆ unbefugte Datenveränderungen
  - ◆ unbefugte Weitergabe von Informationen
- ▲ Einbruch von Innen
  - ◆ leichter Zugang zu möglichen Sicherheitslöchern (z.B. bei Diensten)

## 1.12 "Tracker Queries"

- Beispiel: Datenbanksysteme
  - ◆ Zugriff auf Einzelinformationen ist verboten (Vertraulichkeit)
  - ◆ statistische Informationen sind erlaubt
- ▲ Grenzen möglicher Sicherheitsmaßnahmen:  
Zugriff auf Einzelinformationen dennoch möglich
  - ◆ geeignete Anfragen kombinieren (*Tracker queries*)
- Beispiel: Gehaltsdatenbank

## 1.12 "Tracker Queries" (2)

- Tabelle der Datenbankeinträge:

Nr.	Name	Geschl.	Fach	Stellung	Gehalt	Spenden
1	Albrecht	m	Inf.	Prof.	60.000	150
2	Bergner	m	Math.	Prof.	45.000	300
3	Cäsar	w	Math.	Prof.	75.000	600
4	David	w	Inf.	Prof.	45.000	150
4	Engel	m	Stat.	Prof.	54.000	0
5	Frech	w	Stat.	Prof.	66.000	450
6	Groß	m	Inf.	Angest.	30.000	60
8	Hausner	m	Math.	Prof.	54.000	1500
9	Ibel	w	Inf.	Stud.	9.000	30
10	Jost	m	Stat.	Angest.	60.000	45
11	Knapp	w	Math.	Prof.	75.000	300
12	Ludwig	m	Inf.	Stud.	9.000	0

## 2 Zugriffslisten

- Identifikation von Subjekten, Objekten und Berechtigungen
  - ◆ Subjekt: Person oder Benutzererkennung im System (repräsentiert jemanden, der Aktionen ausführen kann)
  - ◆ Objekt: Komponente des Systems (repräsentiert Ziel einer Aktion)
  - ◆ Berechtigung: z.B. Leseberechtigung auf einer Datei (repräsentiert die Erlaubnis für die Ausführung einer Aktion)
- Erfassung der Berechtigungen in einer Subjekt-Objekt-Matrix: Zugriffsliste (*Access control list, ACL*)

## 1.12 "Tracker Queries" (3)

- Anfragen und Antworten:
  - ◆ Anzahl('w'): 5
  - ◆ Anzahl('w' und (nicht 'Inf' oder nicht 'Prof.')): 4
  - ◆ mittlere Spende('w'): 306
  - ◆ mittlere Spende('w' und (nicht 'Inf.' oder nicht 'Prof.')): 345
- Berechnung:
  - ◆ Spende('David'):  $306 * 5 - 345 * 4 = 1530 - 1380 = 150$

## 2.1 Beispiel für Zugriffslisten

- Personaldatensatz
  - ◆ besteht aus: Name, Abteilung, Personalnummer, Lohn- oder Gehaltsgruppe
- Personaldateien (Objekte)
  - ◆ D<sub>LA</sub>: Personaldaten der leitenden Angestellten
  - ◆ D<sub>AN</sub>: Personaldaten der sonstigen Angestellten
  - ◆ D<sub>AR</sub>: Personaldaten der Arbeiter
- Prozeduren (gehören zu den Aktionen)
  - ◆ R<sub>LA</sub>: Lesen von Pers.-Nr. und Lohn-/Gehaltsgr. aus D<sub>LA</sub>
  - ◆ R<sub>AN/AR</sub>: Lesen von Pers.-Nr. und Lohn-/Gehaltsgr. aus D<sub>AN</sub> oder D<sub>AR</sub>
  - ◆ R<sub>post</sub>: Lesen von Name, Abteilung und Pers.-Nr.

## 2.1 Beispiel für Zugriffslisten (2)

- Benutzer (Subjekte)
  - ◆  $S_{pers}$ : Leiter des Personalbüros
    - Besitzer aller Dateien und Prozeduren
    - Lese- und Schreibrecht für alle Dateien
    - Aufrufrecht für alle Prozeduren
  - ◆  $S_{stellv}$ : Sachbearb. leitende Angestellte, stellvertr. Leiter Personalbüro
    - Lese- und Schreibrecht für  $D_{AN}$  und  $D_{AR}$
    - Aufrufrecht für  $R_{LA}$
  - ◆  $S_{sach}$ : Sachbearbeiter Angestellte u. Arbeiter
    - Aufrufrecht für  $R_{AN/AR}$
  - ◆  $S_{post}$ : Poststelle
    - Aufrufrecht für  $R_{post}$  auf alle Dateien

## 2.2 Beispiel: UNIX

- Zugriffslisten für
  - ◆ Dateien und Geräte
  - ◆ Shared-Memory-Segmente
  - ◆ Message-Queues
  - ◆ Semaphore
  - ◆ etc.
- Berechtigungen:
  - ◆ Lesen (*read*), Schreiben (*write*), Ausführen (*execute*)
  - ◆ für Besitzer, Gruppe und alle anderen unterscheidbar
- Subjekte:
  - ◆ Prozesse
  - ◆ Besitzer (Benutzer) und Zugehörigkeit zu einer oder mehreren Gruppen

## 2.1 Beispiel für Zugriffslisten (3)

- Berechtigungen werden in Matrix ausgedrückt:

	$D_{LA}$	$D_{AN}$	$D_{AR}$	$R_{LA}$	$R_{AN/AR}$	$R_{post}$
$S_{pers}$	O, R, W	O, R, W	O, R, W	O, I	O, I	O, I
$S_{stellv}$		R, W	R, W	I		
$S_{sach}$					I	
$S_{post}$						I
$R_{LA}$	R					
$R_{AN/AR}$		R	R			
$R_{post}$	R	R	R			

- O = *Owner*; Besitzer der Datei oder Prozedur
- R = *Read*; volle Leseberechtigung
- W = *Write*; volle Schreibberechtigung
- I = *Invoke*; Aufrufberechtigung

## 2.2 Beispiel: UNIX

- Superuser
  - ◆ Benutzer *root* hat automatisch alle Zugriffsrechte
- S-Bit-Programme
  - ◆ S-Bit ist ein besonderes Recht auf der Binärdatei des Programms
  - ◆ Besitzer der Datei wird bei der Ausführung auch Besitzer des Prozess (sonst wird Aufrufer Besitzer des Prozess)
- ★ Vorteil
  - ◆ Bereitstellen von Prozessen, die kontrolliert Aufrufern höhere Zugriffsberechtigungen erlauben
- ▲ Nachteil
  - ◆ Fehler im Prozess gibt Aufrufer volle Rechte des Programmbesitzers
  - ◆ fatal, falls das Programm *root* gehört

## 2.3 Implementierung

- Globale Tabelle/Matrix
  - ◆ System hält eine Datenstruktur und prüft im betreffenden Eintrag die Berechtigungen
  - ◆ Tabelle üblicherweise recht groß: passt evtl. nicht in den Speicher
- Zugriffslisten an den Objekten
  - ◆ jedes Objekt hält eine Liste der Berechtigungen (z.B. Unix Datei: Inode)
  - ◆ verringert üblicherweise den Platzbedarf für die Einträge (unnötige Felder der Matrix werden nicht repräsentiert)
- Zugriffslisten an den Subjekten
  - ◆ jedes Subjekt hält eine Liste von Objekten und den Berechtigungen, die das Subjekt für das Objekt hat
  - ◆ ähnlich Capabilities

## 3.1 Modulkonzept von Habermann

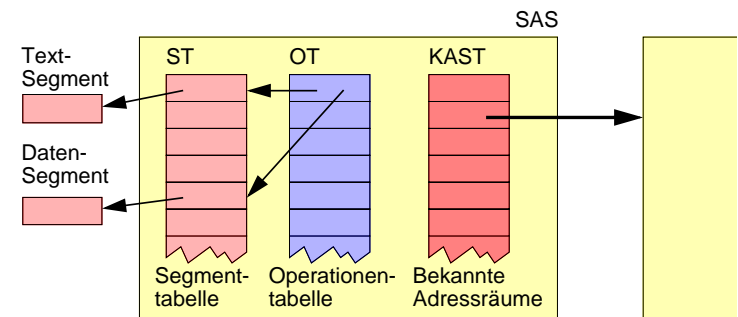
- Idee (von 1976)
  - ◆ Adressräume (Module) bilden Schutzumgebungen
  - ◆ Adressräume bieten definierte Operationen an (ähnlich wie das Betriebssystem Systemaufrufe anbietet)
  - ◆ Parameter werden in speziellen Segmenten übergeben
- ★ Bietet allgemeinen Schutz der Module und erlaubt kontrollierte Interaktionen
- Module besitzen einen statischen Adressraum (SAS, *Static address space*)
  - ◆ enthält Liste von Segmenten, die zu dem Modul gehören bzw. von dem Modul zugegriffen werden dürfen
  - ◆ enthält Liste von angebotenen Operationen mit den Angaben, welche Segmente jede Operation benötigt (u.a. Segment für die auszuführenden Instruktionen)

## 3 Schutz durch Speicherverwaltung

- Schutz vor gegenseitigem Speicherzugriff
  - ◆ Segmentierung und Seitenadressierung erlauben es, jedem Prozess nur den benötigten Speicher einzublenden
  - ◆ Segmentverletzung löst Unterbrechung aus
- Systemaufrufe
  - ◆ definierter Weg von einer Schutzumgebung (der des Prozesses) in eine andere (der des Betriebssystems)
- Erweiterung dieses Konzepts:
  - ◆ allgemeine Prozeduraufrufe zwischen verschiedenen Schutzumgebungen, realisiert mit der Speicherverwaltung und deren Hardware (MMU)

## 3.1 Modulkonzept von Habermann (2)

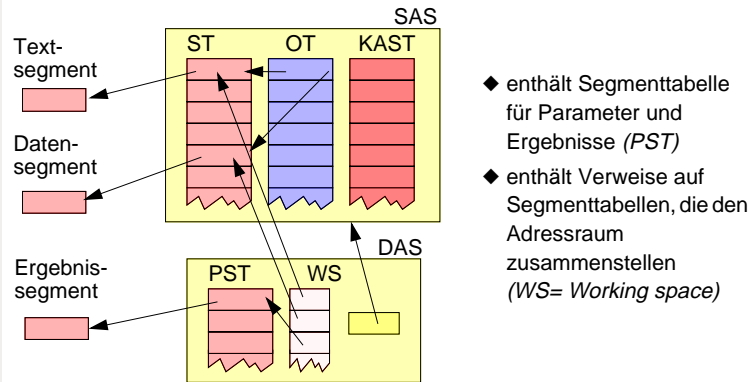
- ◆ enthält Liste von bekannten Adressräumen anderer Module (dort können dann Operationen aufgerufen werden)



KAST = *Known address space table*

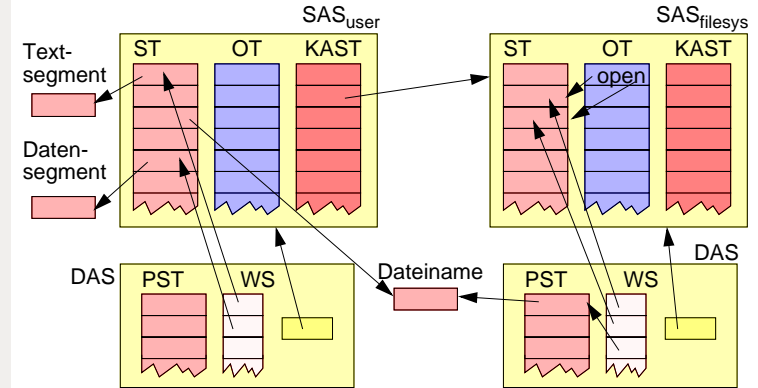
### 3.1 Modulkonzept nach Habermann (3)

- Aktivitätsträger sind einem dynamischen Adressraum zugeordnet (DAS, Dynamic address space)



### 3.2 Beispielaufruf (2)

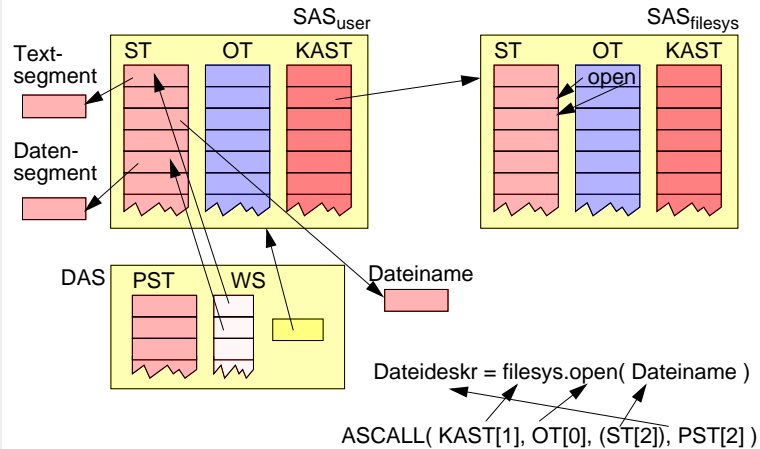
- SAS des Benutzers ruft Operation „open“ des Dateisystem-SAS auf



- ◆ für den Aufruf von „open“ wird ein neuer DAS erzeugt

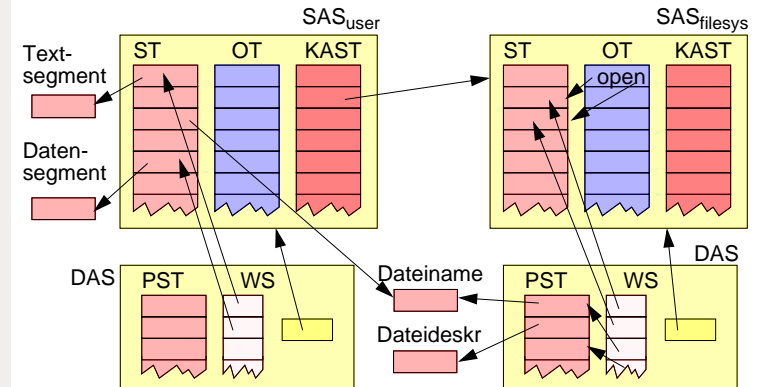
### 3.2 Beispielaufruf

- SAS des Benutzers ruft Operation „open“ des Dateisystem-SAS auf



### 3.2 Beispielaufruf (3)

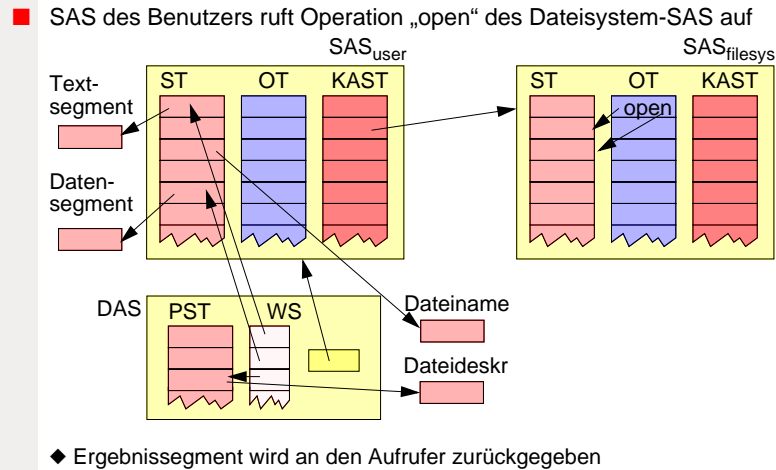
- SAS des Benutzers ruft Operation „open“ des Dateisystem-SAS auf



- ◆ „open“ erzeugt neues Segment für den Dateideskriptor

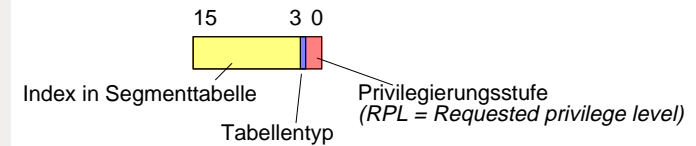


### 3.2 Beispielaufruf (4)



### 3.3 Beispiel: Pentium (2)

- Segmentsselektoren enthalten Privilegierungsstufe



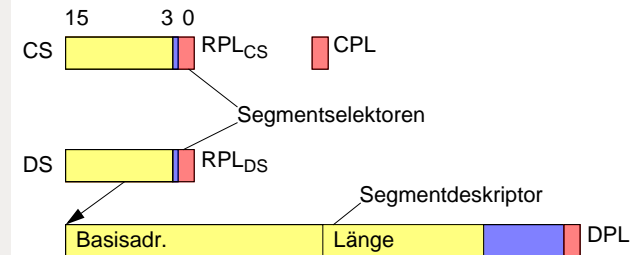
- Codesegmentsелектор (CS) bestimmt aktuelle Privilegierungsstufe
- ◆ CPL = Current privilege level

### 3.3 Beispiel: Pentium

- Privilegierungsstufen
  - ◆ Stufe 0: höchste Privilegien (privilegierte Befehle, etc.): BS Kern
  - ◆ Stufe 1: BS Treiber
  - ◆ Stufe 2: BS Erweiterungen
  - ◆ Stufe 3: Benutzerprogramme
- Merke:
  - ◆ kleine Stufennummer: hohe Privilegien
  - ◆ große Stufennummer: kleine Privilegien

### 3.3 Beispiel: Pentium (3)

- Datenzugriff (z.B. auf Datensegment DS)



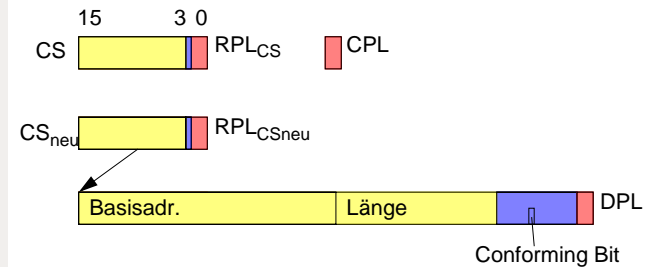
- ◆ DPL = Descriptor privilege level
- ◆ CPL ist normalerweise gleich RPL<sub>CS</sub>
- ◆ Zugriff wird erlaubt, wenn:  $DPL \geq \max(CPL, RPL_{DS})$
- ◆ ansonsten wird Unterbrechung ausgelöst (Schutzverletzung)

### 3.3 Beispiel: Pentium (4)

- Erläuterung:
  - ◆  $DPL < CPL$ : *Schutzverletzung*  
 augenblickliche Privilegierungsstufe hat weniger Privilegien als im Deskriptor verlangt (CPL hat höhere Stufenr. als der Deskriptor)
  - ◆  $DPL \geq CPL$ : *OK*  
 augenblickliche Privilegierungsstufe ist mindestens so hoch wie die im Deskriptor
- ★ Segment kann nur angesprochen werden, wenn augenblickliche Stufe die gleichen oder mehr Privilegien beinhaltet.

### 3.3 Beispiel: Pentium (5)

- Sprünge in andere Codesegmente (*Far Call*)



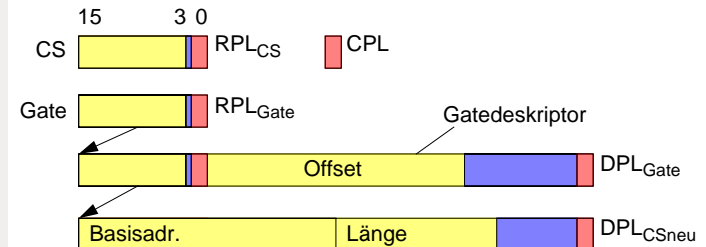
- ◆ Sprung wird erlaubt, falls:  $DPL = CPL$  oder Conforming Bit gesetzt und  $DPL \leq CPL$
- ◆ Im Falle von  $DPL \leq CPL$  wird jedoch CPL nicht geändert (Codesegment hat höheres Privileg, CPL bleibt aber unverändert)

### 3.3 Beispiel: Pentium (5)

- Erläuterung:
  - ◆  $DPL < RPL(ds)$ : *Schutzverletzung*  
 Selektor hat weniger Privilegien als der Deskriptor (Selektor hat größere Stufe als der Deskriptor)
  - ◆  $DPL \geq RPL(ds)$ : *OK*  
 Selektor hat mindestens die gleiche Privilegierungsstufe wie der Deskriptor
- ★ Selektor darf keine geringeren Privilegien versprechen als wirklich verlangt sind.

### 3.3 Beispiel: Pentium (6)

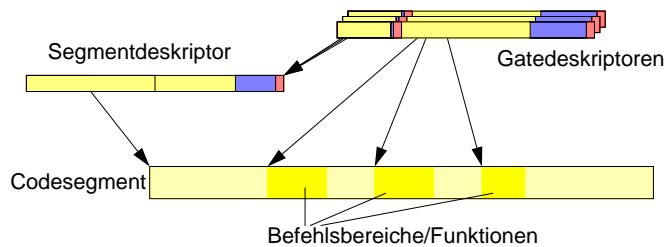
- Kontrolltransfer mit einem Gate



- ◆ Gatedeskriptoren stehen wie Segmentdeskriptoren in der Segmenttabelle
- ◆ Gatedeskriptor enthält Segmentselektor für das Codesegment und einen Offset zu diesem Segment, an dem der Einsprungpunkt liegt
- ◆ Kontrolltransfer (*CALL* Aufruf) wird erlaubt, falls:  
 $DPL_{Gate} \geq \max(CPL, RPL_{Gate})$  und  $DPL_{CSneu} \leq CPL$

### 3.3 Beispiel: Pentium (7)

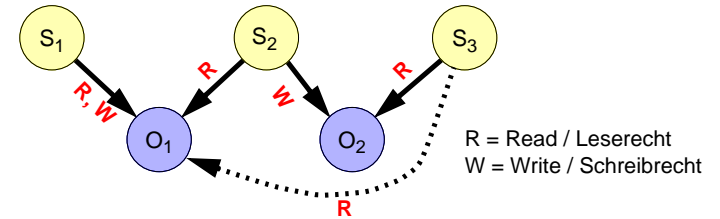
- Gates erlauben den kontrollierten Sprung in ein privilegierten Befehlsbereich



- ◆ es existiert auch der entsprechende Rücksprung
- ◆ für jede Privilegierungsstufe gibt es einen eigenen Stack; dieser wird mit umgeschaltet
- ◆ Parameter werden automatisch auf den neuen Stack kopiert (Anzahl wird im Gatedeskriptor vermerkt)

### 4 Capability-basierte Systeme

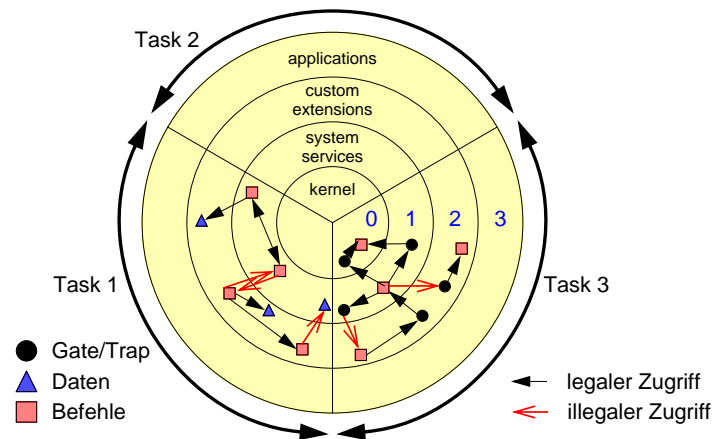
- Ein Benutzer (Subjekt) erhält eine Referenz auf ein Objekt
  - ◆ die Referenz enthält alle Rechte, die das Subjekt an dem Objekt besitzt
  - ◆ bei der Nutzung der Capability (Zugriff auf das Objekt) werden die Rechte überprüft



Subjekte und Objekte; Weitergabe einer Capability (O<sub>1</sub> von S<sub>2</sub> nach S<sub>3</sub>)

### 3.3 Beispiel: Pentium (8)

- Beispiel eines realisierten Schutzsystems



### 4 Capability-basierte Systeme (2)

- ★ Vorteile
  - ◆ keine Speicherung von Rechten beim Objekt oder Subjekt nötig; Capability enthält Zugriffsrechte
  - ◆ leichte Vergabe von individuellen Rechten
  - ◆ einfache Weitergabe von Zugriffsrechten möglich
- ▲ Nachteile
  - ◆ Weitergabe nicht kontrollierbar
  - ◆ Rückruf von Zugriffsrechten nicht möglich
  - ◆ Capability muss vor Fälschung und Verfälschung geschützt werden (z.B. durch kryptographische Mittel oder durch Speicherverwaltung)

## 4.1 Beispiel: Hydra

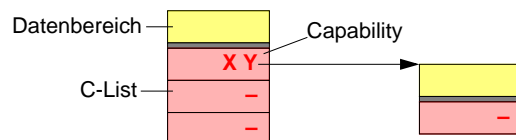
- Hydra ist ein Capability-basiertes Betriebssystem
  - ◆ entwickelt Mitte der Siebziger Jahre an der Carnegie-Mellon University
  - ◆ lief auf einem speziellen Multiprozessor namens **C.mmp**
  - ◆ Capability-Mechanismen sind integraler Bestandteil des Betriebssystems
- Objekte in Hydra werden durch Capabilities angesprochen und geschützt
  - ◆ Objekte haben einen Typ (z.B. Prozeduren, Prozesse/LNS, Semaphore, Datei etc.)
  - ◆ Capabilities haben entsprechenden Typ
  - ◆ benutzerdefinierte Typen sind möglich

## 4.1 Beispiel: Hydra (3)

- Prozesse (Subjekte)
  - ◆ Prozesse besitzen einen aktuellen Kontext, den LNS (*Local name space*)
  - ◆ LNS ist ein Objekt
  - ◆ zum LNS gehört einen Aktivitätsträger (Thread)
  - ◆ LNS kann nur auf Objekte zugreifen, die in seiner C-List stehen (mehrstufige Zugriffe, z.B. auf die C-List eines Objekts, dessen Capabilities in der C-List des LNS steht, sind möglich; Pfad zur eigentlichen Capability)
- Capabilities
  - ◆ Prozesse können nur über Systemaufrufe ihre Capabilities bzw. ihre C-List bearbeiten
  - ◆ Capabilities können nicht gefälscht oder verfälscht werden
  - ◆ Betriebssystem kann sicheres Schutzkonzept basierend auf Capabilities implementieren

## 4.1 Beispiel: Hydra (2)

- ◆ generische Operationen für alle Typen implementiert durch das Betriebssystem
- ◆ Objekte besitzen eine Liste von Capabilities auf andere Objekte (genannt *C-List*)
- ◆ Capabilities enthalten Rechte
- ◆ Objekte besitzen einen Datenbereich (implementiert durch geschütztes Segment)

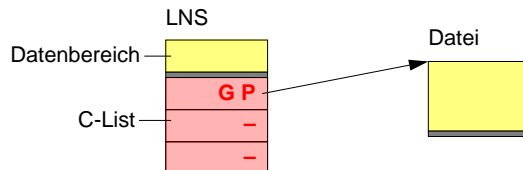


## 4.2 Datenzugriff in Hydra

- Operationen auf dem Datenbereich
  - ◆ *Getdata*: kopiere Abschnitt aus dem Datenbereich eines Objekts in den Datenbereich des LNS
  - ◆ *Putdata*: kopiere Abschnitt aus dem Datenbereich des LNS in den Datenbereich eines Objekts
  - ◆ *Adddata*: füge Daten zu dem Datenbereich eines Objekts hinzu
- Dazugehörige Rechte:
  - ◆ **GETRTS**: erlaubt den Aufruf von *Getdata*
  - ◆ **PUTRTS**: erlaubt den Aufruf von *Putdata*
  - ◆ **ADDRTS**: erlaubt den Aufruf von *Adddata*
- Rechte müssen in der Capability zum Objekt gesetzt sein

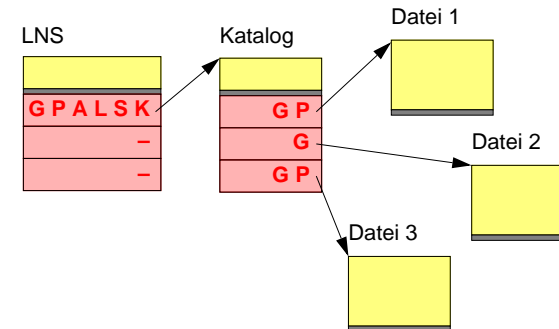
## 4.2 Datenzugriff in Hydra (2)

- Beispiel: Implementierung von Dateien
  - ◆ *Getdata* erlaubt das Lesen von Daten
  - ◆ *Putdata* erlaubt das Schreiben von Daten
  - ◆ *Adddata* erlaubt das Anhängen von Daten
- Entsprechende Rechte können pro Capability gesetzt werden



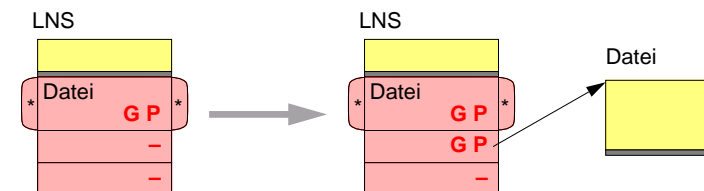
## 4.3 Zugriff auf Capabilities in Hydra (2)

- Beispiel: Implementierung von Katalogen
  - ◆ *Load* erlaubt das Auflösen von Namen (Aufrufer bekommt die Capability)
  - ◆ *Store* und *Append* erlauben das Hinzufügen von Dateien zum Katalog
  - ◆ *Delete* erlaubt das Austragen von Dateien aus dem Katalog



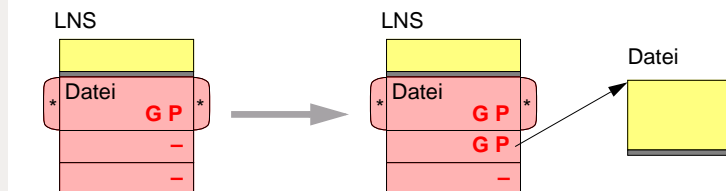
## 4.3 Zugriff auf Capabilities in Hydra

- Operationen auf der C-List:
  - ◆ *Load*: kopieren einer Capability aus der C-List eines Objekts in die C-List des LNS
  - ◆ *Store*: kopieren einer Capability aus der C-List des LNS in die C-List eines Objekts (dabei können Rechte maskiert werden)
  - ◆ *Append*: anfügen einer Capability in die C-List eines Objekts
  - ◆ *Delete*: löschen einer Capability aus der C-List eines Objekts
- Rechte:
  - ◆ **LOADRTS**: erlaubt Aufruf von *Load*
  - ◆ **STORTS**: erlaubt Aufruf von *Store*
  - ◆ **APPRTS**: erlaubt Aufruf von *Append*
  - ◆ **KILLRTS**: erlaubt Aufruf von *Delete*



## 4.4 Objekterzeugung in Hydra

- Objekterzeugung über Erzeugungsschablonen (*Creation Templates*)
  - ◆ Erzeugungsschablone enthält den Typ des neu zu erzeugenden Objektes und eine Rechtemaske
  - ◆ nur die in der Maske angeschalteten Rechte werden dem Aufrufer in einer neuen Capability gegeben

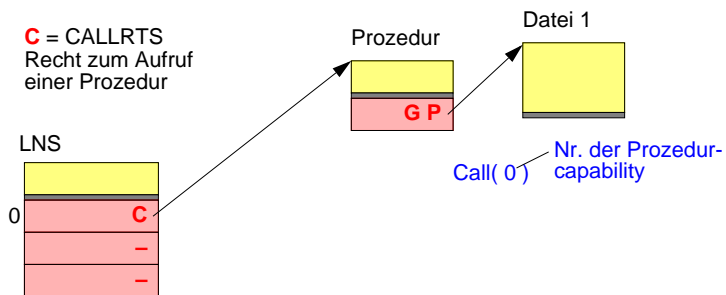


## 4.5 Prozeduraufruf in Hydra

- Prozedur ist ein Objekt, aus dem beim Aufruf ein LNS des laufenden Prozesses erzeugt wird
  - ◆ neuer LNS wird aktueller Kontext (alte LNS stehen auf einem Stack; sie werden wieder aktiviert, wenn Prozedur zu Ende)

### Aufruf einer Prozedur

**C** = CALLRTS  
Recht zum Aufruf einer Prozedur



Systemprogrammierung I

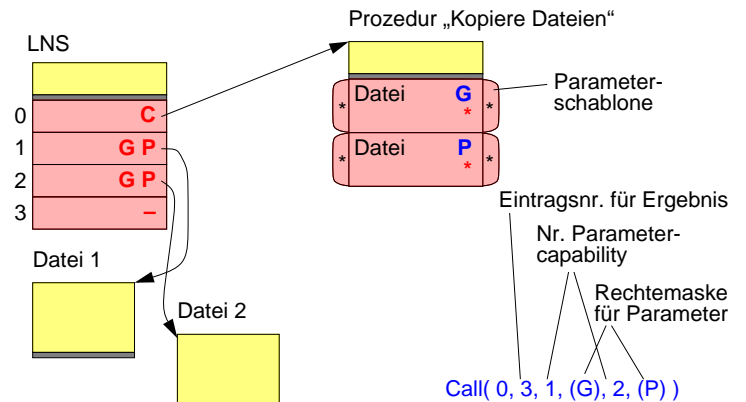
© 1997-2001, Franz J. Hauck; 2002, F. Hofmann, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg|l-Security.fm, 2002-12-16 07.26]  
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

I - 53

## 4.5 Prozeduraufruf in Hydra (2)

### Übergabe von Parametern

- ◆ Beispiel: Prozedur zum Kopieren von Dateiinhalten



Systemprogrammierung I

© 1997-2001, Franz J. Hauck; 2002, F. Hofmann, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg|l-Security.fm, 2002-12-16 07.26]  
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

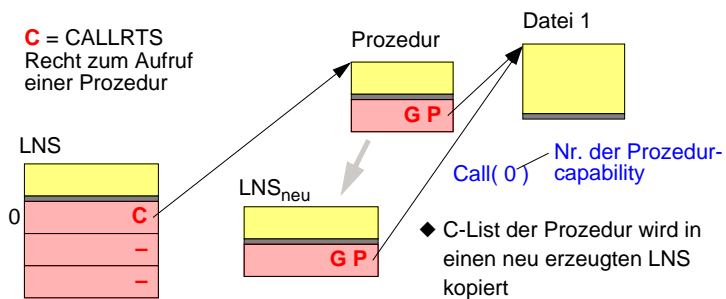
I - 54

## 4.5 Prozeduraufruf in Hydra

- Prozedur ist ein Objekt, aus dem beim Aufruf ein LNS des laufenden Prozesses erzeugt wird
  - ◆ neuer LNS wird aktueller Kontext (alte LNS stehen auf einem Stack; sie werden wieder aktiviert, wenn Prozedur zu Ende)

### Aufruf einer Prozedur

**C** = CALLRTS  
Recht zum Aufruf einer Prozedur



Systemprogrammierung I

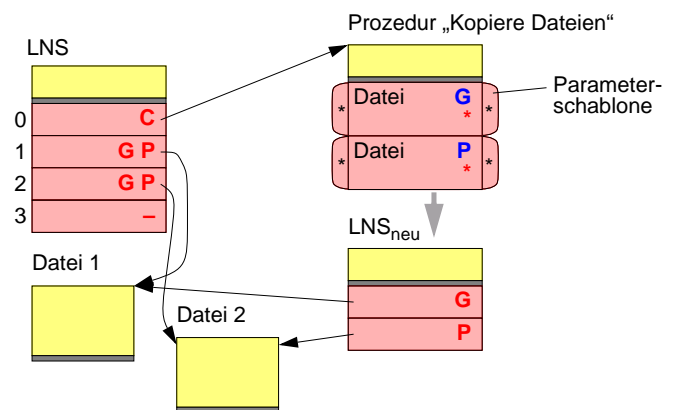
© 1997-2001, Franz J. Hauck; 2002, F. Hofmann, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg|l-Security.fm, 2002-12-16 07.26]  
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

I - 53

## 4.5 Prozeduraufruf in Hydra (3)

### Übergabe von Parametern

- ◆ Beispiel: Prozedur zum Kopieren von Dateiinhalten



Systemprogrammierung I

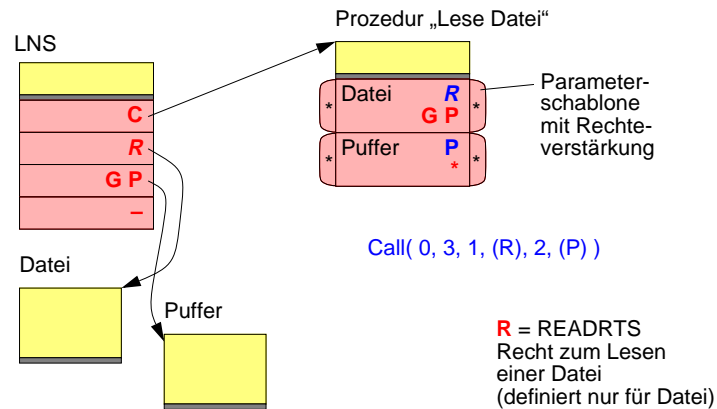
© 1997-2001, Franz J. Hauck; 2002, F. Hofmann, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg|l-Security.fm, 2002-12-16 07.26]  
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

I - 55

## 4.5 Prozeduraufruf in Hydra (3)

### ■ Verstärken von Rechten

- ◆ Beispiel: Prozedur zum Lesen von Dateiinhalten in einen Puffer



## 4.6 Problem: Gegenseitiges Misstrauen

### ■ Aufrufer misstraut einer Prozedur

- ◆ Aufrufer möchte der Prozedur nur soviel Rechte einräumen wie nötig

### ■ Aufgerufene Prozedur misstraut dem Aufrufer

- ◆ Aufrufer soll nur soviel Rechte und Zugang bekommen wie erforderlich

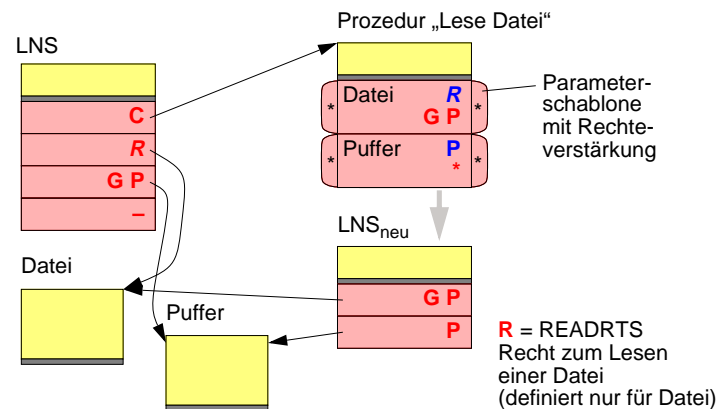
### ★ Hydra Prozeduraufruf unterstützt diese Forderungen direkt

- ◆ Aufrufer übergibt Capabilities, die nötig sind
- ◆ Aufrufer kann Rechte bei der Übergabe maskieren und damit ausschalten
- ◆ Aufrufer erhält nur Zugang zu einem definierten Ergebnis
- ◆ Prozedur kann eigene Capabilities besitzen, die einem LNS zur Verfügung stehen und die dem Aufrufer verborgen bleiben können

## 4.5 Prozeduraufruf in Hydra (3)

### ■ Verstärken von Rechten

- ◆ Beispiel: Prozedur zum Lesen von Dateiinhalten in einen Puffer



## 4.6 Problem: Gegenseitiges Misstrauen (2)

### ▲ Rechteverstärkung als Sicherheitslücke?

- ◆ Verstärkungsschablone wird nur an vertrauenswürdige Prozeduren ausgegeben und kann nicht einfach erzeugt werden

## 4.7 Problem: Modifikationen

### ■ Aufrufer möchte Modifikationen an und über Parameter ausschließen

- ◆ eine Prozedur soll nichts verändern können

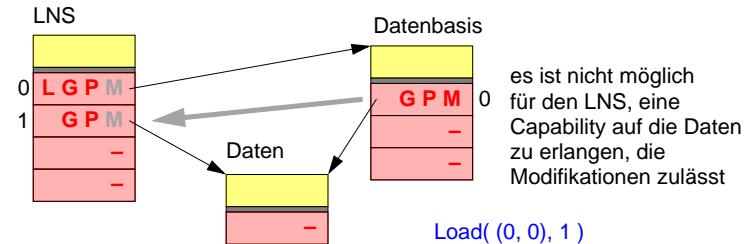
### ■ Wegnehmen der entsprechenden Rechte langt nicht

- ◆ Prozedur kann lesend zu neuen Capabilities gelangen und über diese Änderungen vornehmen (Transitivität)
- ◆ Rechteverstärkung könnte angewandt werden

## 4.7 Problem: Modifikation (2)

### ★ Einführung des Modifikationsrechts **MDFYRTS**

- ◆ für alle modifizierenden Operationen an Datenbereichen und C-Lists muss zusätzlich das Modifikationsrecht für das Objekt vorhanden sein
- ◆ Modifikationsrecht wird automatisch gelöscht, wenn eine Capability über einen Pfad geladen wird, auf dem eine der Capabilities kein Modifikationsrecht besitzt
- ◆ Modifikationsrecht kann nicht über Rechteverstärkung erlangt werden



## 4.8 Problem: Ausbreitung von Capabilities (2)

### ★ Einführung des Environment-Rechts **ENVRTS**

- ◆ für das Speichern oder Anfügen einer Capability an eine C-List muss die zu speichernde Capability selbst das Environment-Recht besitzen
- ◆ Environment-Recht wird automatisch gelöscht, wenn eine Capability über einen Pfad geladen wird, auf dem eine der Capabilities kein Environment-Recht besitzt
- ◆ Environment-Recht kann nicht über Rechteverstärkung erlangt werden

## 4.7 Problem: Modifikation (3)

### ■ Parameterübergabe

- ◆ Wegnahme des Modifikationsrecht bei Parametern stellt sicher, dass die aufgerufene Prozedur keinerlei Veränderungen beim Aufrufer durchführen kann

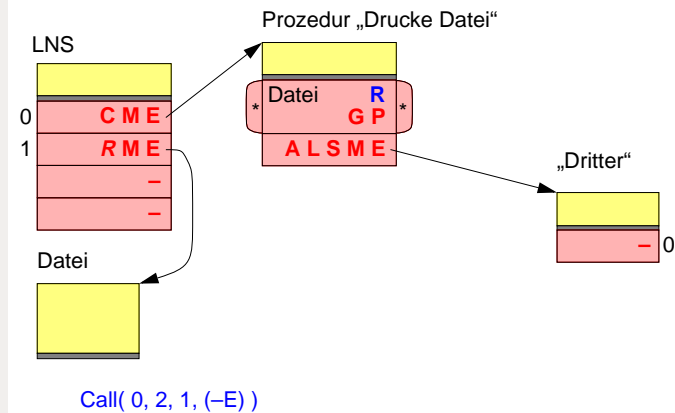
## 4.8 Problem: Ausbreitung von Capabilities

- Aufrufer will verhindern, dass eine übergebene Capability vom Aufrufer an einen Dritten weitergegeben wird (*Propagation Problem*)

- ◆ Beispiel: Prozedur „Drucken“ soll niemandem eine Referenz auf die zu druckenden Daten weitergeben können

## 4.8 Problem: Ausbreitung von Capabilities (3)

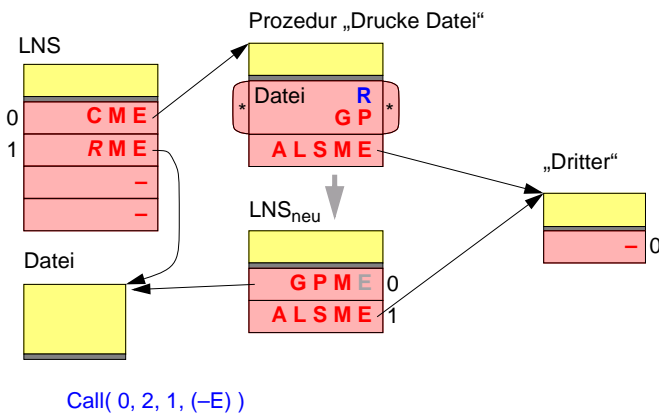
### ■ Versuchte Weitergabe einer Capability an einen Dritten





## 4.8 Problem: Ausbreitung von Capabilities (3)

- Versuchte Weitergabe einer Capability an einen Dritten

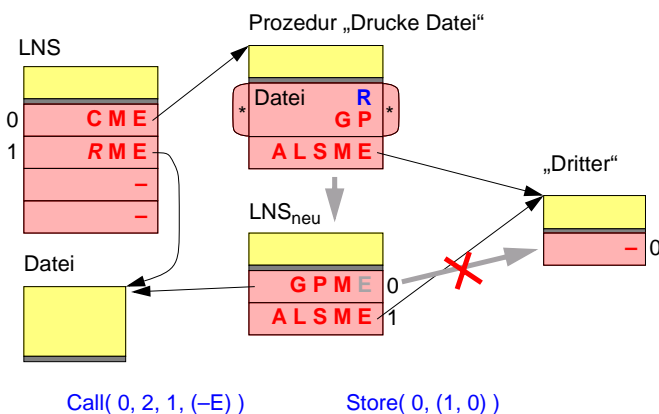


## 4.9 Problem: Aufbewahrung von Capabilities

- Aufrufer möchte sicher sein, dass Aufgerufener keine Capabilities nach der Bearbeitung des Aufrufs zurückbehalten kann (*Conservation Problem*)
- ★ Environment-Recht zusammen mit dem Aufrufmechanismus genügt
  - ◆ Aufgerufener kann Capability ohne ENVRTS nicht weitergeben und folglich nicht abspeichern
  - ◆ der LNS des Aufrufs wird mit Beendigung des Aufrufs vernichtet, so dass die übergebenen Capabilities nicht zurückbehalten werden können
  - ◆ ENVRTS wirkt transitiv, so dass auch die über eine Parameter-Capability gewonnenen Capabilities nicht weitergegeben werden können

## 4.8 Problem: Ausbreitung von Capabilities (3)

- Versuchte Weitergabe einer Capability an einen Dritten



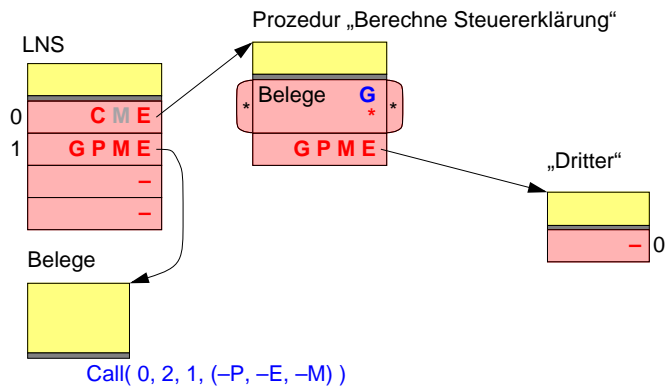
## 4.10 Problem: Informationsflussbegrenzung

- Aufrufer möchte die Verbreitung von Informationen aus übergebenen Parametern einschränken (*Confinement Problem*)
  - ◆ selektiv: bestimmte Informationen sollen nicht nach außen gelangen
  - ◆ global: gar keine Informationen sollen nach außen gelangen
- ◆ ENVRTS ist nicht ausreichend, da Prozedur den Dateninhalt von Parameterobjekten kopieren könnte (ENVRTS wirkt nur auf die Weitergabe von Capabilities)
- Hydra realisiert nur globale Informationsflussbegrenzung
- ★ Modifikationsrecht auf der Prozedur-Capability
  - ◆ wenn kein Modifikationsrecht vorhanden ist, werden bei allen in den LNS übernommenen Capabilities die Modifikationsrechte ausgeschaltet (gilt jedoch nicht für Parameter)

## 4.10 Problem: Informationsflussbegrenzung (2)

### ■ Beispiel: Prozedur zur Steuerberechnung

- ◆ die übergebenen Beleg- und Buchhaltungsdaten sollen nicht weitergegeben werden können



## 4.11 Problem: Initialisierung

### ■ Initialisierung von Objekten durch Prozeduren

- ◆ Übergabe eines Objekts und verschiedener Capabilities, mit denen das Objekt initialisiert werden soll
- ◆ Problem: Parameter-Capabilities müssen Environment-Recht besitzen (sonst ist das zu initialisierende Objekt nicht arbeitsfähig), gleichzeitig soll aber die Ausbreitung solcher Capabilities eingeschränkt werden
  - Lösung: Wegnahme des Modifikationsrechts auf der Prozedurcapability
- ◆ Problem: Es muss verhindert werden, dass die Prozedur in das zu initialisierende Objekt eigene oder fremde Capabilities einsetzt, so dass es später Einfluss auf das zu initialisierende Objekt nehmen kann

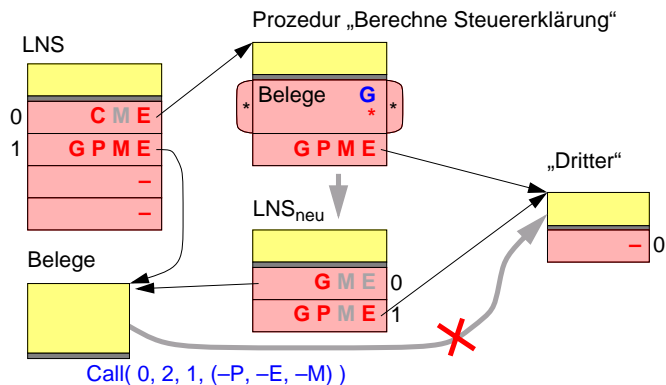
### ■ Beispiel: Prozedur zur Initialisierung eines Katalogs bekommt Capabilities auf die entsprechenden Dateien

- ◆ es soll sichergestellt werden, dass Prozedur keine eigenen Dateicapabilities in den Katalog einfügt

## 4.10 Problem: Informationsflussbegrenzung (2)

### ■ Beispiel: Prozedur zur Steuerberechnung

- ◆ die übergebenen Beleg- und Buchhaltungsdaten sollen nicht weitergegeben werden können



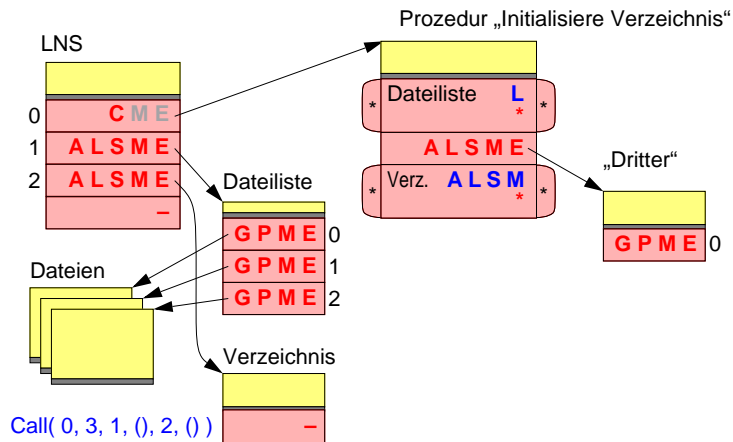
## 4.11 Problem Initialisierung (2)

### ★ Environment-Recht auf der Prozedur-Capability

- ◆ wenn kein Environment-Recht vorhanden ist, werden bei allen in den LNS übernommenen Capabilities die Environment-Rechte ausgeschaltet (gilt jedoch nicht für Parameter)
- ◆ durch das fehlende Environment-Recht können alle bereits vorhandenen Capabilities nicht in das zu initialisierende Objekt gespeichert werden

## 4.11 Problem: Initialisierung (3)

- Beispiel: Initialisierung eines Verzeichnisses



Systemprogrammierung I

© 1997-2001, Franz J. Hauck; 2002, F. Hofmann, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg|I-Security.fm, 2002-12-16 07.26|  
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

– 68

## 4.12 Rückruf von Capabilities

- Anwender möchte ausgegebene Capabilities für ungültig erklären
  - ◆ sofortiger Rückruf — Rückruf nach einiger Zeit erst wirksam
  - ◆ dauerhafter Rückruf — Rückruf nur zeitlich begrenzt wirksam
  - ◆ selektiver Rückruf — Rückruf für alle Benutzer eines Objekts
  - ◆ partieller Rückruf — Rückruf aller Rechte an einem Objekt
  - ◆ Recht zum Rückruf; Rückruf des Rückrufrechts
- ★ Hydra setzt sogenannte Aliase ein
  - ◆ Alias ist eine Indirektionsstufe zu Capabilities
  - ◆ Statt auf ein Objekt können Capabilities auf Aliase verweisen und diese wiederum auf andere Aliase oder schließlich auf das eigentliche Objekt
  - ◆ Verbindung vom Alias zum Objekt kann gelöst werden: Fehler beim Zugriff
  - ◆ Recht zum Lösen der Verbindung **ALLYRTS** (engl. *ally* = verbünden)

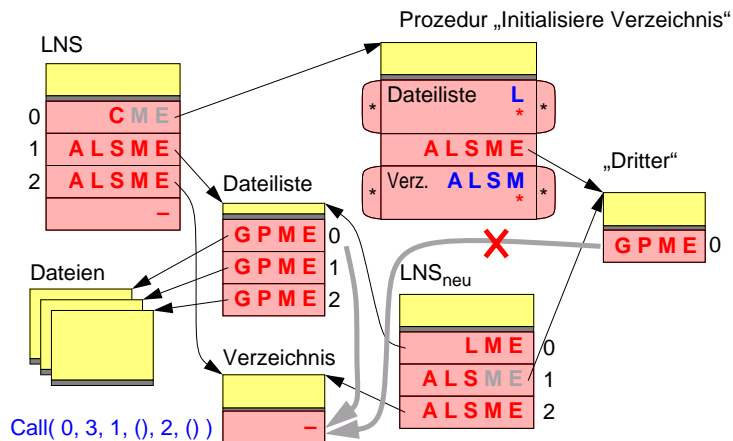
Systemprogrammierung I

© 1997-2001, Franz J. Hauck; 2002, F. Hofmann, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg|I-Security.fm, 2002-12-16 07.26|  
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

– 69

## 4.11 Problem: Initialisierung (3)

- Beispiel: Initialisierung eines Verzeichnisses



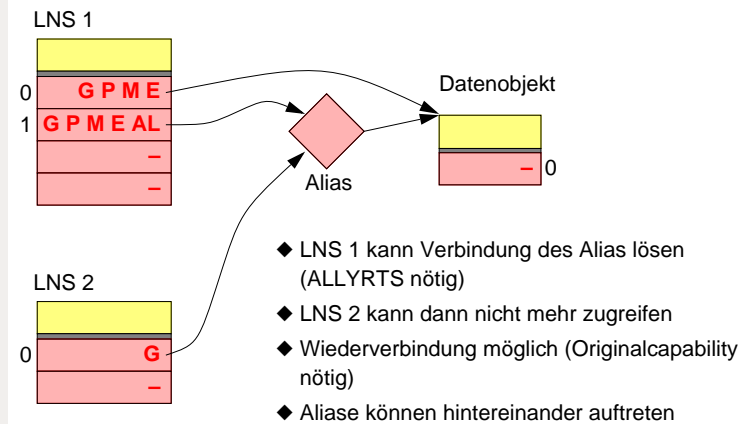
Systemprogrammierung I

© 1997-2001, Franz J. Hauck; 2002, F. Hofmann, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg|I-Security.fm, 2002-12-16 07.26|  
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

– 68

## 4.12 Rückruf von Capabilities (2)

- Beispiel: Weitergabe einer rückrufbaren Capability



- ◆ LNS 1 kann Verbindung des Alias lösen (ALLYRTS nötig)
- ◆ LNS 2 kann dann nicht mehr zugreifen
- ◆ Wiederverbindung möglich (Originalcapability nötig)
- ◆ Aliase können hintereinander auftreten

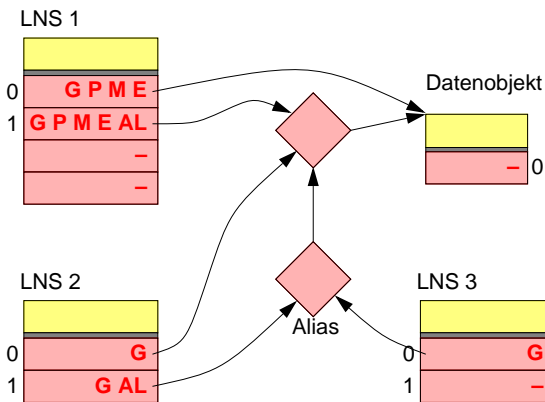
Systemprogrammierung I

© 1997-2001, Franz J. Hauck; 2002, F. Hofmann, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg|I-Security.fm, 2002-12-16 07.26|  
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

– 70

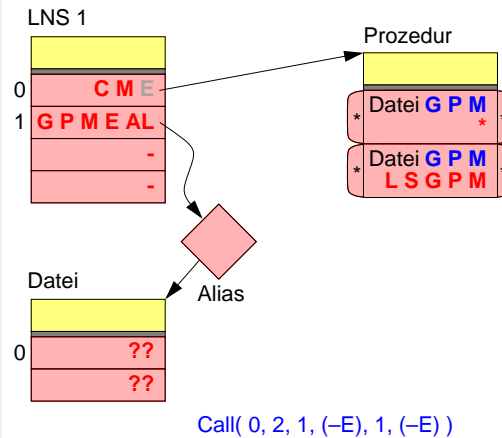
## 4.12 Rückruf von Capabilities (3)

### ■ Beispiel: Aliasketten



## 4.12 Rückruf von Capabilities (5)

### ■ Beispiel:

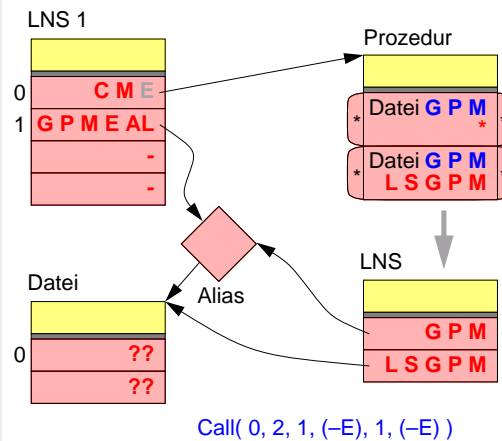


## 4.12 Rückruf von Capabilities (4)

- ▲ Problem: Rückruf während der Bearbeitung eines Objekts
  - ◆ inkonsistente Zustände möglich
- ★ Lösung in Hydra
  - ◆ Parameter-Capabilities, die durch eine rechteveistärkende Parameterschablone angenommen werden, zeigen auf das Originalobjekt
- ▲ Nachteil
  - ◆ nicht vertrauenswürdige Prozeduren können rückruffreie Capability erlangen
  - ◆ Problem fällt in die selbe Kategorie wie rechteveistärkende Parameterschablonen an sich

## 4.12 Rückruf von Capabilities (5)

### ■ Beispiel:



## 4.13 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* **FRZRTS**) ein
  - ◆ Einfrieren nimmt Modifikationsrecht weg
  - ◆ ein Objekt kann nur gefroren werden, wenn alle Capabilities in der C-List bereits das Einfrierrecht haben

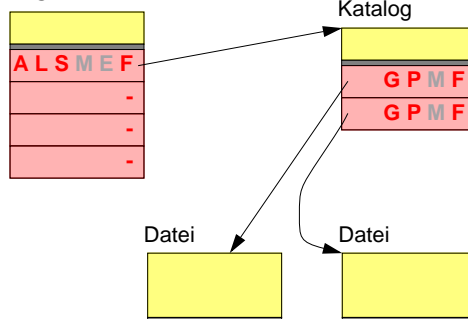
## 4.14 Bewertung von Hydra

- Hydra demonstrierte die Beherrschbarkeit einer ganzen Reihe 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 Spezialhardware zur Unterstützung von Paging

## 4.13 Garantierter Zugriff (2)

- Beispiel:

LNS 1



## 5 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

## 5 Kryptographische Maßnahmen (2)

### ■ Funktionen

- ◆ Verschlüsselungsfunktion  $E$  (encrypt):  $E(K_1, T) \rightarrow C$
- ◆ Entschlüsselungsfunktion  $D$  (decrypt):  $D(K_2, C) \rightarrow T$
- ◆  $K$  = Schlüssel,  $T$  = zu verschlüsselnder Text/Daten

### ■ Verwandte Schlüssel

- ◆ es gilt:  $K_1$  und  $K_2$  sind verwandt, wenn gilt:  $\forall T: D(K_2, E(K_1, T)) = T$

### ■ Symmetrisches Verschlüsselungsverfahren

- ◆ es gilt:  $K_1 = K_2$

## 5.1 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

## 5 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.

## 5.1 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

## 5.2 Polyalphabetische Verschlüsselung

- Einsatz von vielen Abbildungen, die durch einen Schlüssel ausgewählt werden

- ◆ Beispiel: Vigenère (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	
Z	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	

## 5.2 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 Schlüssellänge
- danach Häufigkeitsanalyse pro Buchstabe des Schlüsseltexts

## 5.2 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	Originaltext
G	E	H	E	I	M	G	E	H	E	I	M	G	E	H	E	I	Schlüsselwort (wiederholt)
C	M	J	L	B	U	M	I	U	E	K	T	X	M	J	L	B	verschlüsselter Text

- ▲ Gilt als nicht sicher

- ◆ Koinzidenzanalyse
- ◆ Häufigkeitsanalysen und Brute force Attacke

## 5.3 One-Time Pad Verfahren

- Theoretisch sicheres Verfahren

- ◆ Liste von Zufallszahlen (so viele wie Zeichen in der Nachricht):  $r[i]$
- ◆ Zeichen  $z[i]$  der Nachricht wird verschlüsselt mit  $c[i] = (z[i] + r[i]) \bmod 26$
- ◆ Empfänger braucht die gleiche Liste

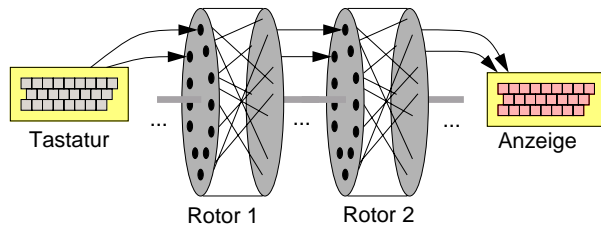
- ◆ theoretisch sicher, da aus dem  $c[i]$  nicht auf  $z[i]$  geschlossen werden kann

- ▲ Praktisch unbrauchbar

- ◆ echte Zufallszahlen nötig
- ◆ lange Liste nötig
  - jede Liste kann nur einmal verwendet werden
  - Liste muss so lang wie die Nachricht sein

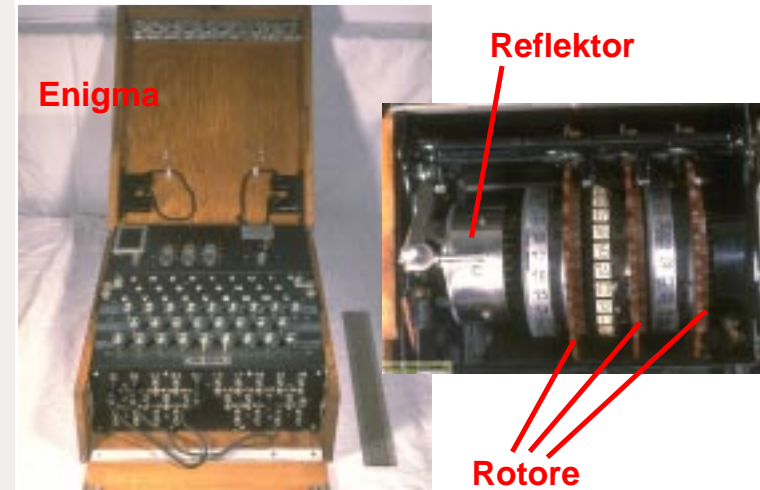
## 5.4 Rotormaschinen

- 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

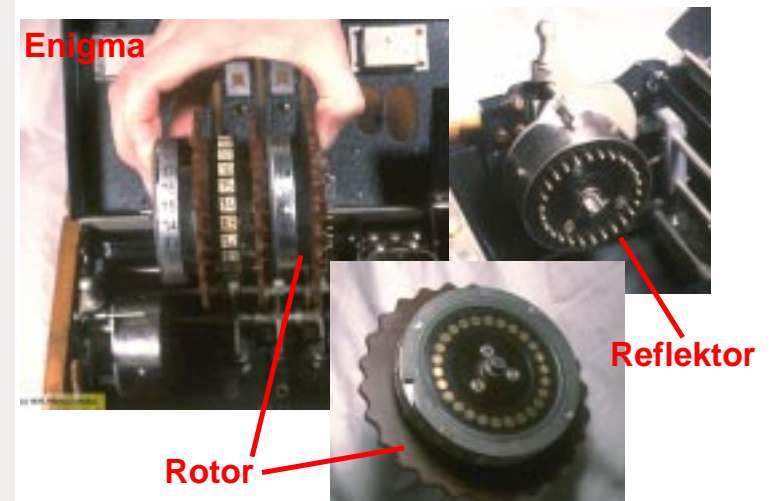
## 5.4 Rotormaschinen



## 5.4 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.ugrad.cs.jhu.edu/~russell/classes/enigma/>

## 5.4 Rotormaschinen (2)





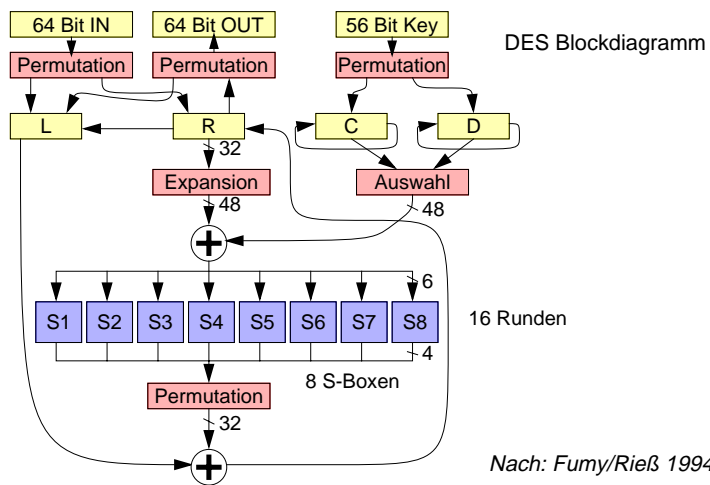
## 5.5 Heutige symmetrische Verfahren

- DES (*Data Encryption Standard*, 1977)
  - ◆ entwickelt von IBM
  - ◆ amerikanischer Standard (Kriegswaffe)
  - ◆ blockorientiertes Verfahren (64 Bit Block, 56 Bit Schlüssel)
  - ◆ 16 Runden
  - ◆ gilt heute als nicht mehr ganz sicher, da Rechenleistung von Großrechnern oder Rechenverbünden zum Brechen manchmal ausreicht

## 5.5 Heutige symmetrische Verfahren (3)

- Triple 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*)

## 5.5 Heutige symmetrische Verfahren (2)

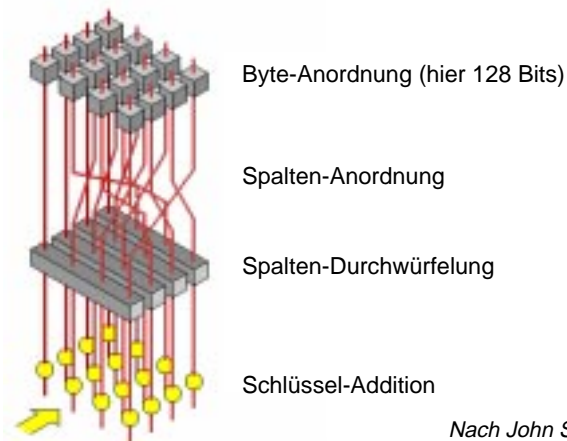


## 5.5 Heutige symmetrische Verfahren (4)

- AES — Advanced Encryption Standard (Rijndael)
  - ◆ entwickelt von Joan Daemen und Vincent Rijmen
  - ◆ blockorientiertes Verfahren
    - Blockgröße 128, 192 oder 256 Bits
    - Schlüsselgröße 128, 192 oder 256 Bits
  - ◆ 9, 11 oder 13 Runden je nach Schlüssellänge
  - ◆ wurde aus mehreren Vorschlägen als Nachfolger für DES ausgewählt

## 5.5 Heutige symmetrische Verfahren (5)

- Blockdiagramm einer Runde (stark vereinfacht)



Nach John Savard 2000

## 5.6 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

## 5.6 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

## 5.6 Beispiel: UNIX Passwörter (3)

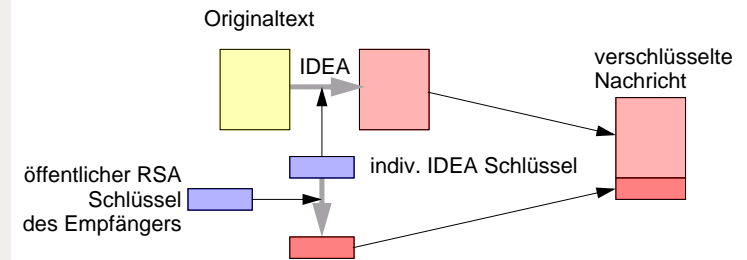
- Politik am Institut für Informatik
  - ◆ Mindestlänge 8 Zeichen
  - ◆ mindestens 5 verschiedene Zeichen
  - ◆ mindestens 3 Zeichenklassen (Groß-, Kleinbuchstaben, Ziffern, Sonderzeichen)
  - ◆ keine Wiederholungen von Zeichenfolgen erlaubt
  - ◆ keine aufeinanderfolgenden Zeichen erlaubt, z.B. "123"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

## 5.7 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)

## 5.7 Heutige asymmetrische Verfahren (3)

- Beispiel: PGP Verschlüsselung



- ◆ Daten werden mit einem individuellen Schlüssel IDEA-verschlüsselt
- ◆ IDEA-Schlüssel wird RSA-verschlüsselt der Nachricht angehängt

## 5.7 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

## 5.7 Heutige asymmetrische Verfahren (4)

- ★ Nachricht an mehrere Adressaten verschickbar
  - ◆ lediglich der IDEA-Schlüssel muss in mehreren Varianten verschickt werden (je eine Version verschlüsselt mit dem öffentl. Schlüssel des jeweiligen Empfängers)

## 5.8 Digitale Unterschriften

- Authentisierung des Absenders
  - ◆ Bilden eines Hash-Wertes über die zu übermittelnde Nachricht
    - Hash-Wert ist ein Codewort fester Länge
    - es ist unmöglich oder nur mit hohem Aufwand möglich, für einen gegebenen Hash-Wert eine zugehörige Nachricht zu finden
  - ◆ Verschlüsseln des Hash-Wertes mit dem geheimen Schlüssel des Absenders (digitale Unterschrift, digitale Signatur)
  - ◆ Anhängen des verschlüsselten Hash-Wertes an die Nachricht
- ◆ Empfänger kann den Hash-Wert mit dem öffentlichen Schlüssel des Absenders dechiffrieren und mit einem selbst berechneten Hash-Wert der Nachricht vergleichen
- ◆ stimmen beide Werte überein muss die Nachricht vom Absender stammen, denn nur der besitzt den geheimen Schlüssel

## 5.8 Digitale Unterschriften (3)

- Woher weiß ich, dass ein öffentlicher Schlüssel authentisch ist?
  - ◆ Ich bekomme den Schlüssel vom Eigentümer (persönlich, telefonisch).
    - Hash-Wert auf öffentlichen Schlüsseln, die leichter zu überprüfen sind (Finger-Prints)
  - ◆ Ich vertraue jemandem (Bürge), der zusichert, dass der Schlüssel authentisch ist.
    - Schlüssel werden von dem Bürgen signiert.
    - Bürge kann auch eine ausgezeichnete Zertifizierungsstelle sein.
    - Netzwerk von Zusicherungen auf öffentliche Schlüssel (*Web of Trust*)
  - ◆ Möglichst weite Verbreitung von öffentlichen Schlüsseln erreichen (z.B. PGP: Webserver als Schlüsselservers)

## 5.8 Digitale Unterschriften (2)

- Kombination mit Verschlüsselung
  - ◆ erst signieren
  - ◆ dann mit dem öffentlichen Schlüssel des Adressaten verschlüsseln
  - ◆ sonst Signatur verfälschbar
- ▲ Reihenfolge wichtig
  - ◆ Man signiere nichts, was man nicht entschlüsseln kann / versteht.
- Heute gängiges Hash-Verfahren
  - ◆ MD5
  - ◆ 128 Bit langer Hash-Wert

## 5.8 Digitale Unterschriften (4)

- ▲ Mögliche Probleme von Public key-Verfahren
  - ◆ Geheimhaltung des geheimen Schlüssels (Time sharing-System, Backup; Schlüsselpasswort / Pass phrase)
  - ◆ Vertrauen in die Programme (z.B. PGP)
  - ◆ Ausspähung während des Ver- und Entschlüsselungsvorgangs

## 6 Authentisierung im Netzwerk

- Viele Klienten, die viele Dienste in Anspruch nehmen wollen
  - ◆ Dienste (*Server*) wollen wissen welcher Benutzer (*Principal*), den Dienst in Anspruch nehmen will (z.B. zum Accounting, Zugriffsschutz, etc.)
  - ◆ Im lokalen System reicht die (durch das Betriebssystem) geschützte Benutzerkennung (z.B. UNIX UID) als Ausweis
  - ◆ Im Netzwerk können Pakete abgefangen, verfälscht und gefälscht werden (einfache Übertragung einer Benutzerkennung nicht ausreichend sicher)
- Public key-Verfahren
  - ◆ Authentisierung durch digitale Unterschrift (mit geheimen Schlüssel des Senders) und Verschlüsseln (mit öffentlichem Schlüssel des Empfängers)
  - ◆ Nachteile
    - jeder Dienst benötigt sicheren Zugang zu allen öffentlichen Schlüsseln
    - Verschlüsseln und Signieren mit RSA ist sehr teuer

## 6 Authentisierung im Netzwerk (3)

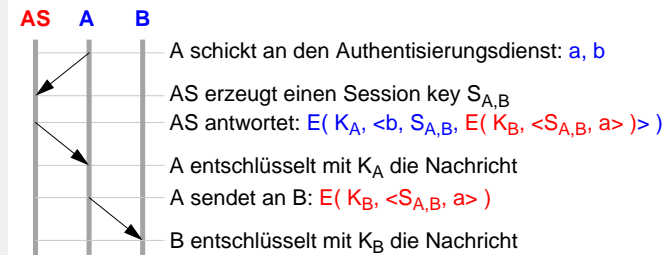
- Vorgang
  - ◆ Benutzer (*Principal*) will mit einem Programm (*Client*) einen Dienst (*Server*) in Anspruch nehmen
  - ◆ durch geeignetes Protokoll erhalten Client und Server jeweils einen nur ihnen bekannten Schlüssel, mit dem sie ihre Kommunikation verschlüsseln können (*Session key*)

## 6 Authentisierung im Netzwerk (2)

- ★ Einsatz von Authentisierungsdiensten
  - ◆ zentraler Server, der alle Benutzer kennt
  - ◆ Authentisierungsdienst garantiert einem Netzwerkdienst, dass ein Benutzer auch der ist, der er vorgibt zu sein
- Benutzerausweis
  - ◆ Authentisierungsdienst erkennt den Benutzer anhand eines geheimen Schlüssels oder Passworts
  - ◆ Schlüssel ist nur dem Authentisierungsdienst und dem Benutzer bekannt

## 6.1 Einfacher Authentisierungsdienst

- A will den Dienst B in Anspruch nehmen (Nach Needham-Schröder):



- ◆  $K_x$  ist der geheime Schlüssel, den nur Authentisierungsdienst und X kennen
- ◆ nach dem Protokollablauf kennen sowohl A und B den Session key
- ◆ A weiß, dass nur B den Session key kennt
- ◆ B weiß, dass nur A den Session key kennt

## 6.1 Einfacher Authentisierungsdienst (2)

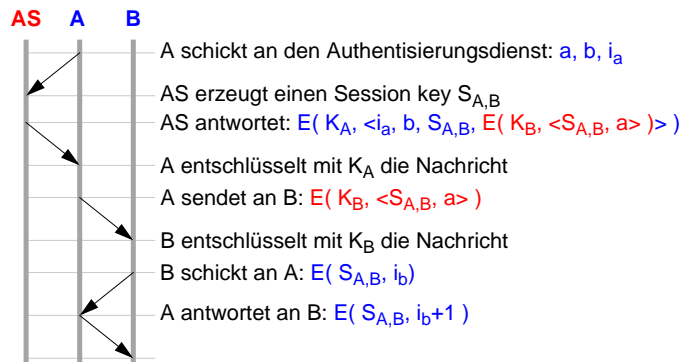
- ▲ Problem
  - ◆ letzte Nachricht von A an B könnte aufgefangen und später erneut ins Netz gegeben werden (*Replay attack*)
  - ◆ Folge: Kommunikation zwischen A und B kann gestört werden
- ★ Korrektur durch zusätzliches Versenden einer Verbindungsbestätigung durch B und A

## 6.2 Authentisierungsdienst mit Bestätigung (2)

- ▲ Problem
  - ◆ Aufzeichnen von  $E(K_B, \langle S_{A,B}, a \rangle)$  und
  - ◆ Brechen von  $S_{A,B}$  erlaubt das Aufbauen einer Verbindung.
  - ◆ ein Dritter kann dann die erste Bestätigung abfangen und die zweite Bestätigung verschicken
- ★ Lösung
  - ◆ Einführung von Zeitstempeln (*Time stamp*) und
  - ◆ Angaben zur Lebensdauer (*Expiration time*)

## 6.2 Authentisierungsdienst mit Bestätigung

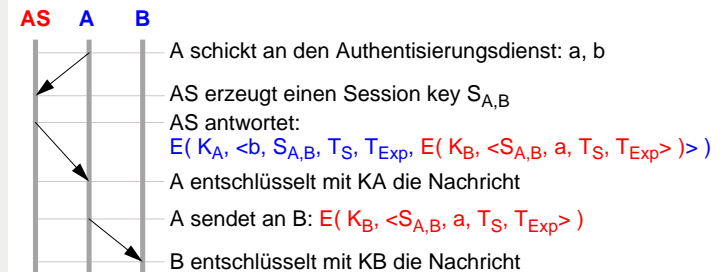
- Bestätigung enthält Einmalinformation (*Nonce*)



- ◆ ein Wiedereinspielen der Nachricht  $E(K_B, \langle S_{A,B}, a \rangle)$  oder  $E(S_{A,B}, i_b+1)$  wird erkannt und kann ignoriert werden

## 6.3 Authentisierungsdienst mit Zeitstempeln

- Authentisierungsdienst versieht seine Nachrichten mit Zeitstempeln



- ◆  $T_S$  = Zeitstempel der Nachrichtenerzeugung
- ◆  $T_{Exp}$  = maximale Lebensdauer der Nachricht
- ◆ aufgezeichnete Nachricht kann nach kurzer Zeit (z.B. 5min) nicht noch einmal zum Aufbau einer Verbindung verwendet werden

## 6.4 Beispiel: Kerberos

- Kerberos V5
  - ◆ Softwaresystem implementiert Weiterentwicklung des Needham-Schröder-Protokolls
  - ◆ entwickelt am MIT seit 1986
- Ziel
  - ◆ Authentisierung und Erzeugung eines gemeinsamen Schlüssels durch den vertrauenswürdigen Kerberos-Server
- Idee
  - ◆ Trennung von Authentisierungsdienst und Schlüsselerzeugung
  - ◆ reduziert die nötige Übertragung einer Identifikation oder eines Passworts zum Kerberos-Server

## 6.4 Beispiel: Kerberos (3)

- Authentisierungsdienst versieht seine Nachrichten mit Zeitstempeln
- TGS A B**
- 
- A schickt an den Ticket granting server:  
 $E(S_{A,TGS}, T_s), E(K_{TGS}, \langle S_{A,TGS}, a, T_{Exp} \rangle), b, T_{Exp}, i_a'$
- TGS erzeugt einen Session key  $S_{A,B}$
- TGS antwortet:  
 $E(S_{A,TGS}, \langle S_{A,B}, b, T_{Exp}, i_a' \rangle), E(K_B, \langle S_{A,B}, a, T_{Exp} \rangle)$
- A entschlüsselt mit  $S_{A,TGS}$  die Nachricht
- A sendet an B:  $E(S_{A,B}, \langle T_s, C, S_{sub} \rangle), E(K_B, \langle S_{A,B}, a, T_{Exp} \rangle)$
- B entschlüsselt mit  $K_B$  den zweiten Teil der Nachricht (Ticket) und mit  $S_{A,B}$  den ersten Teil
- B antwortet (optional):  $E(S_{A,B}, T_s)$
- ◆ C = Checksumme zur Überprüfung der richtigen Entschlüsselung
  - ◆ A kann mehrere Verbindungen mit seinem Ticket öffnen

## 6.4 Beispiel: Kerberos (2)

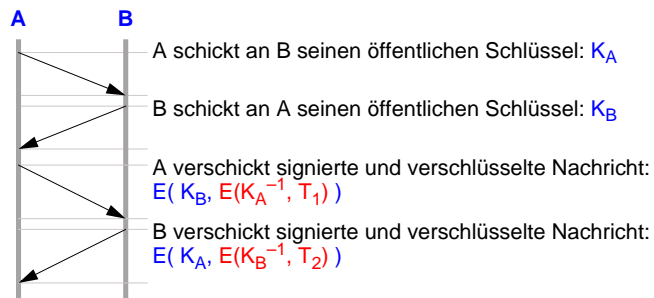
- Benutzer holt sich zunächst ein Ticket vom Authentisierungsdienst
- AS A**
- 
- A schickt an den Authentisierungsdienst:  $a, tgs, T_{Exp}, i_a$
- AS erzeugt ein Ticket für den Ticket Server tgs
- AS antwortet:  
 $E(K_A, \langle S_{A,TGS}, tgs, T_{Exp}, i_a, E(K_{TGS}, \langle S_{A,TGS}, a, T_{Exp} \rangle) \rangle)$
- A entschlüsselt mit  $K_A$  die Nachricht
- ◆ das Ticket besteht aus  $\langle S_{A,TGS}, a, T_{Exp} \rangle$
  - ◆ es enthält einen Session key für die Kommunikation mit einem Ticket granting server, der dann die Verbindung zu einem Netzwerkdienst bereitstellen kann

## 6.4 Beispiel: Kerberos (4)

- Unterscheidung zwischen Benutzer (*User*) und Benutzerprogramm (*Client*)
  - ◆ Wie kann ein Benutzerprogramm seinen Benutzer identifizieren?
  - ◆ Geheimer Schlüssel vom Benutzer ( $K_X$ ) hängt von einem Passwort ab
  - ◆ mittels einer Einwegfunktion wird aus dem Passwort der Schlüssel  $K_X$  erzeugt
  - ◆ Benutzerprogramm braucht also das Passwort zur Verbindungsaufnahme
- Beispiel: *kinit*, *klogin*
  - ◆ Anmeldung beim Authentisierungsdienst mit *kinit* und Passworteingabe
  - ◆ Ticket wird im Benutzerverzeichnis gespeichert
  - ◆ *klogin* erlaubt das Einloggen auf einem entfernten Rechner mit Datenverschlüsselung und ohne Passwort

## 6.5 Austausch öffentlicher Schlüssel

- A und B tauschen ihre öffentlichen Schlüssel aus

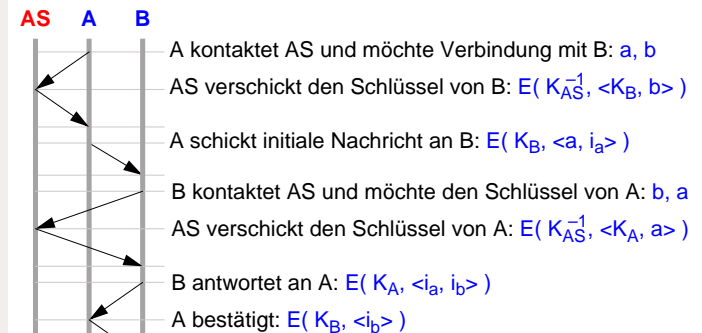


### Problem

- A und B können nicht sicher sein, dass der öffentliche Schlüssel wirklich vom jeweils anderen stammt

## 6.5 Austausch öffentlicher Schlüssel (3)

- Einsatz eines Authentisierungsdienstes

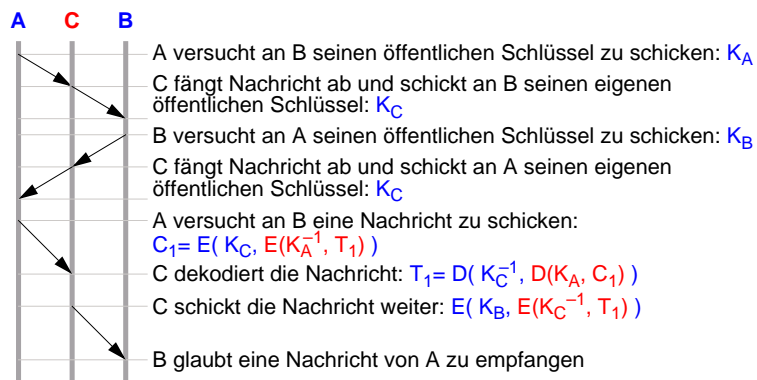


- Replay-Probleme

- Hinzunahme von Zeitstempel und Lebendauer

## 6.5 Austausch öffentlicher Schlüssel (2)

- Aktiver Mithörer C fängt Datenverbindungen ab (*Man in the middle attack*)



## 7 Firewall

- Trennung von vertrauenswürdigen und nicht vertrauenswürdigen Netzwerksegmenten durch spezielle Hardware (*Firewall*)
  - Beispiel: Trennen des firmeninternen Netzwerks (Intranet) vom allgemeinen Internet

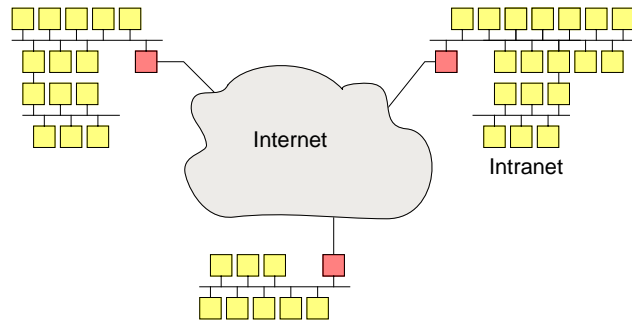
- Funktionalität

- Einschränkung von Diensten
  - von innen nach außen, z.B. nur Standarddienste
  - von außen nach innen, z.B. kein Telnet, nur WWW
- Paketfilter
  - Filtern „defekter“ Pakete, z.B. SYN-Pakete
- Inhaltsfilter
  - Filtern von Pornomaterial aus dem WWW oder News
- Authentisieren von Benutzern vor der Nutzung von Diensten



## 7 Firewall (2)

- Virtual private network
  - ◆ Verbinden von Intranet-Inseln durch spezielle Tunnels zwischen Firewalls
  - ◆ getunnelter Datenverkehr wird verschlüsselt
  - ◆ Benutzer sieht ein „großes Intranet“ (nur virtuell vorhanden)



## 8.1 Passwörter

- Eingabe
  - ◆ niemals über eine unsichere Rechnerverbindung eingeben
    - **ftp**, **telnet**, **rlogin** Dienste vermeiden
    - nur sichere Dienste verwenden: **ssh**, **slogin**
    - Datenweg beachten, über den das Passwort läuft: ein unsicheres Netzwerk ist bereits genug
- Änderung
  - ◆ Passwörter regelmäßig wechseln
  - ◆ alte Passwörter nicht wiederverwenden

## 8 Richtlinien für den Benutzer

### 8.1 Passwörter

- Wahl eines Passworts
  - ◆ hinreichend komplexe Passwörter wählen
  - ◆ Schutz vor Wörterbuchangriffen
  - ◆ verschiedene Passwörter für verschiedene Aufgaben (z.B. PPP-Passwort ungleich Benutzerpasswort)
- Aufbewahrung
  - ◆ möglichst nirgends aufschreiben
  - ◆ nicht weitergeben
  - ◆ kein Abspeichern auf einem Windows-Rechner (Option immer wegklicken)

### 8.2 Schlüsselhandhabung

- Einsatz von PGP oder S/MIME
  - ◆ Zugang zu den privaten Schlüsseln für andere verhindern
  - ◆ Dateirechte auf der Schlüsseldatei prüfen
  - ◆ privater Schlüssel nur auf Diskette
  - ◆ Passphrase wie ein Passwort behandeln
  - ◆ privaten Schlüssel nie über unsichere Netze transportieren

## 8.3 E-Mail

- Authentisierung
  - ◆ Bei elektronischer Post ist der Absender nicht authentisierbar
  - ◆ Digitale Unterschriften einsetzen (z.B. mit PGP oder S/MIME)
- Abhören
  - ◆ Elektronische Post durchläuft viele Zwischenstationen und kann dort jeweils gelesen und verfälscht werden
  - ◆ Verschlüsselung einsetzen (z.B. mit PGP oder S/MIME)

## 8.5 World Wide Web

- Cookies
  - ◆ Akzeptieren von Cookies erlaubt einer Website die angesprochenen Seiten genau einem Benutzer zuzuordnen
  - ◆ funktioniert über Sessions hinweg
- JavaScript
  - ◆ schwere Sicherheitslücken erlauben es, alle für den Benutzer lesbare Dateien an einen Dritten weiterzugeben
  - ◆ Ausschalten!
- Abhören
  - ◆ WWW-Verbindungen können abgehört werden
  - ◆ keine privaten Daten, wie z.B. Kreditkartennummern übertragen
  - ◆ Secure-HTTP mit SSL-Verschlüsselung benutzen; https-URLs

## 8.4 Programmierung

- S-Bit Programme vermeiden
  - ◆ Oft kann das S-Bit durch geschickte Vergabe von Benutzergruppen an Dateien vermieden werden
- Verwendung zusätzlicher Rechte (z.B. durch S-Bit) nur in Abschnitten
  - ◆ Trusted Computing Base (TCB) [hier kein vollständiger Schutz]

```
seteuid(getuid());/* am Programmanfang Rechte wegnehmen */
...
seteuid(0);          /* setzt root Rechte */
fd = open("/etc/passwd", O_RDWR);
seteuid(getuid());/* nimmt root Rechte wieder weg */
...
```
- Sorgfältige Programmierung
  - ◆ Funktionen wie `strcpy`, `strcat`, `gets`, `sprintf`, `scanf`, `sscanf`, `system`, `popen` vermeiden oder durch `strncpy`, `fgets`, `snprintf` ersetzen