D Autorisierung und Zugriffskontrolle

D.1 Autorisierung von Benutzern

- Sonderfall allgemeiner Schutzmechanismen
- Beispiel für einfache Realisierung: UNIX-Dateizugriffe
  - ◆ Benutzer ist UID zugeordnet
    - ➤ Korrektheit wird durch Authentifizierung sichergestellt
  - ◆ System kennt einzelne Benutzer und Gruppen
  - ◆ Für jede Datei kann die Berechtigung für Eigentümer, Gruppe, Rest festgelegt werden
    - ➤ rwx
- Zugriffskontrolle muss sicherstellen, dass jeder Zugriffsversuch kontrolliert wird und nur autorisierte Zugriffe möglich sind

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

D.2 Speicherschutz

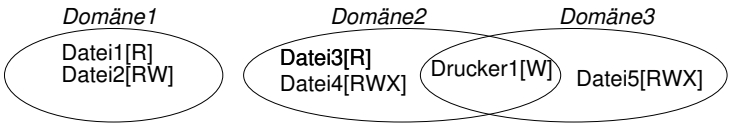
- Schutzräume für Anwendungen (Prozesse) und Betriebssystem (Systemkern)
- Schutz zwischen Systemkern und Anwendungen ist Basis für alle weiteren Zugriffskontrollkonzepte
  - ➤ Verwaltung in Datenstrukturen des Systemkerns
  - ➤ logische/virtuelle Adressräume gewährleisten Abgrenzung Programmadressen → MMU → Maschinenadressen
  - ➤ MMU-Datenstrukturen durch Systemkern-Adressraum geschützt
  - ➤ Kontrollierte Übergänge zwischen Betriebsmodi (*user / kernel mode*) → Trap
- Alternative: Schutz durch Programmiersprache (Typ-Konzept) und Laufzeitsystem
  - ➤ Beispiel: Java + Verifier + Virtuelle Maschine

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

D.3 Objektschutz

1 Schutzdomänen

- Domäne = Menge von (Objekt, Rechte)-Tupeln
  - ◆ Beispiele für Domänen
    - ➤ ein Benutzer
    - ➤ eine Gruppe
    - ➤ eine Rolle
- Recht = Menge von Operationen, die auf dem Objekt ausgeführt werden dürfen



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

1 Schutzdomänen (2)

- Eine Prozess ist zu jedem Zeitpunkt einer Schutzdomäne zugeordnet
- Wechsel der Schutzdomäne (am Beispiel UNIX)
  - ➤ exec einer Datei mit s-bit
  - ➤ setuid-Systemaufruf
- Verwaltung der Schutzdomänen im System
  - ➤ Schutzmatrix

Objekt:	Datei1	Datei2	Datei3	Datei4	Datei5	Drucker1
Domäne:1	R	RW				
2			R	RWX		W
3					RWX	W

- Schutzmatrix in der Praxis nicht handhabbar
  - ➤ Information aus Spalten: Zugriffskontrollllisten
  - ➤ Information aus Zeilen: Capabilities

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

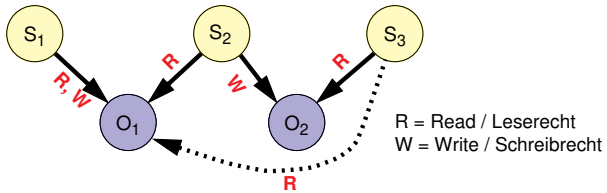
1 Zugriffskontrolllisten (ACLs)

- Zugriffslisten an den Objekten (Dateien)
  - jedes Objekt hält eine Liste der Berechtigungen
    - ➤ welche Domänen haben welche Rechte
    - ➤ z. B. Unix-Datei: Inode enthält UID, GID und Rechte-Bits (primitiv)
- Zugriffslisten an den Subjekten (Prozesse)
  - jedes Subjekt hält eine Liste von Objekten und den Berechtigungen, die das Subjekt für das Objekt hat
  - ähnlich → Capabilities
- sichere Verwaltung
  - zentral: in Datenstrukturen des Systemkerns
  - dezentral
    - ➤ Objektverwaltung durch Serverprozesse
    - ➤ Aufteilung von Berechtigungs- und Zugriffskontrolle
    - ➤ Verwendung von kryptographischen Verfahren

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

2 Zugriffsausweise (Capabilities)

- 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_1 von S_2 nach S_3)

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

2 Zugriffsausweise (Capabilities) (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
  - ➤ durch kryptographische Mittel (Capability wird signiert und wird bei Manipulation automatisch zerstört)
  - ➤ durch Speicherschutz (Capability wird im Systemkern gehalten und Anwendung erhält nur einen Index darauf)

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

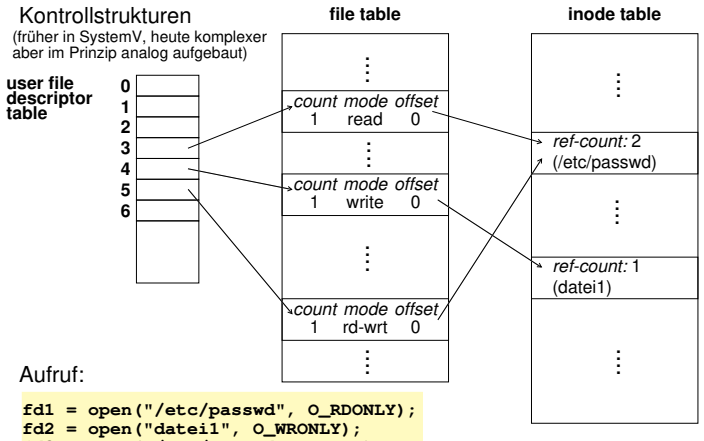
3 Capabilities und ACLs am Beispiel UNIX

- Systemaufruf open
  - überprüft Zugriffsrechte des Prozesses (ACL)
  - erzeugt *file handle* Struktur im Systemkern
    - ➤ Zugriffsmode (read/write) wie bei open angegeben
    - ➤ Verweis of inode-Struktur
  - Verweis auf *file handle* wird in *open file table* im Prozesskontrollblock eingetragen
  - open liefer Filedeskriptor zurück = Index in *open file table*
- Filedeskriptor + file handle = Capabiliy
  - nicht manipulierbar
    - ➤ file handle und open file table liegen im Systemkern
    - ➤ nur Verweise auf erfolgreich geöffnete Dateien werden eingetragen
  - Rechte (bei open angebener mode) werden in file handle gehalten

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

3 Capabilities und ACLs am Beispiel UNIX (2)

- Kontrollstrukturen
  (früher in SystemV, heute komplexer aber im Prinzip analog aufgebaut)



- Aufruf:

```
fd1 = open("/etc/passwd", O_RDONLY);
fd2 = open("datei1", O_WRONLY);
fd3 = open("/etc/passwd, O_RDWR);

-> fd1 == 3, fd2 == 4, fd3 == 5
```


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

D.4 Konzeptionelle Grundlagen von Capabilities

1 Hydra

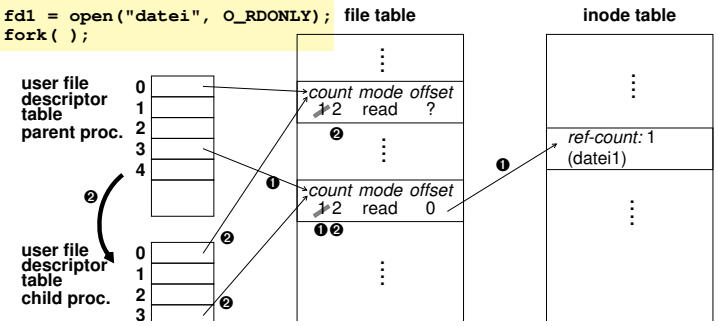
- Hydra ist ein Capability-basiertes Betriebssystem
  - entwickelt Mitte der Siebziger Jahre an der Carnegie-Mellon University
  - lief auf einem speziellen Multiprozessor namens **C.mmp**
  - Ziel: Experimentierplattform für verschiedene Betriebssystemmechanismen
    - ➤ verschiedene Dateisysteme, Scheduler, ...
    - ➤ Policy-Mechanism-Separation:
      Mechanismen im Systemkern, Policies können ausgelagert werden
    - ➤ frühes Mikrokern-Konzept
    - ➤ Problem: Schutz der ausgelagerten "Objekte" vor unberechtigten Zugriffen
  - Capability-Mechanismen sind integraler Bestandteil des Betriebssystems

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

3 Capabilities und ACLs am Beispiel UNIX (3)

- Capabilities können weitergegeben werden
  - ➤ im Rahmen von fork — offene Datei wird vererbt

```
❶ fd1 = open("datei", O_RDONLY);
❷ fork( );
```

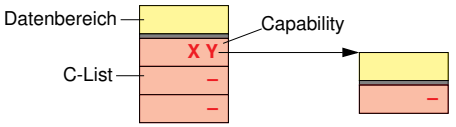


  - ➤ durch Versenden über socketpairs
- Empfangender Prozess benötigt dafür keine Zugriffsrechte (ACL)!

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

1 Hydra (2)

- Objekte in Hydra werden durch Capabilities angesprochen und geschützt
  - Objekte haben einen Typ
    (z.B. Prozeduren, Prozesse/LNS, Semaphoren, Datei etc.)
  - Capabilities haben entsprechenden Typ
  - benutzerdefinierte Typen sind möglich
  - 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 (impl. durch geschütztes Segment)



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

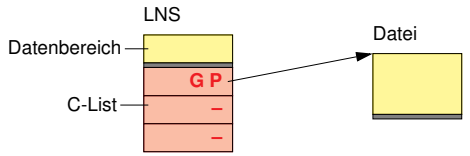
1 Hydra (3)

- 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

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

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



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

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:
  - ***G****ETRTS:* erlaubt den Aufruf von *Getdata*
  - ***P****UTRTS:* erlaubt den Aufruf von *Putdata*
  - ***AD****DRTS:* erlaubt den Aufruf von *Adddata*
- Rechte müssen in der Capability zum Objekt gesetzt sein

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

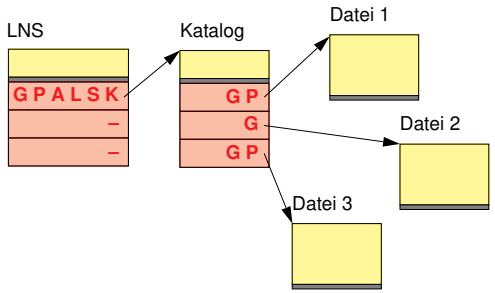
3 Zugriff auf Capabilities in Hydra

- 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:
  - ***L****OADRTS:* erlaubt Aufruf von *Load*
  - ***S****TORTS:* erlaubt Aufruf von *Store*
  - ***A****PPRTS:* erlaubt Aufruf von *Append*
  - ***K****ILLRTS:* erlaubt Aufruf von *Delete*

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

3 Zugriff auf Capabilities in Hydra (2)

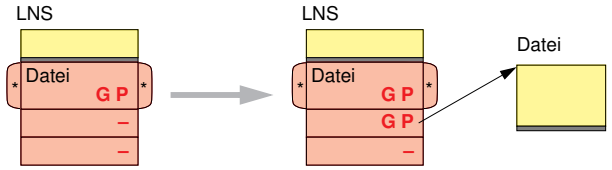
- Beispiel: Implementierung von Katalogen
  - *Load* erlaubt das Auflösen von Namen (Aufrufer bekommt die Capability)
  - *Store* und *Append* erlauben das Hinzufügen von Dateien zum Katalog
  - *Delete* erlaubt das Austragen von Dateien aus dem Katalog



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

4 Objekterzeugung in Hydra

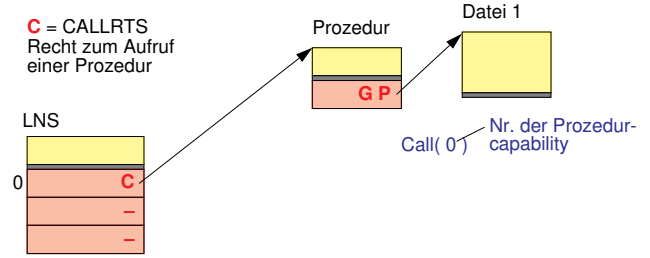
- Objekterzeugung über Erzeugungsschablonen *(Creation Templates)*
  - Erzeugungsschablone enthält den Typ des neu zu erzeugenden Objektes und eine Rechtemaske
  - nur die in der Maske angeschalteten Rechte werden dem Aufrufer in einer neuen Capability gegeben



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

5 Prozeduraufruf in Hydra

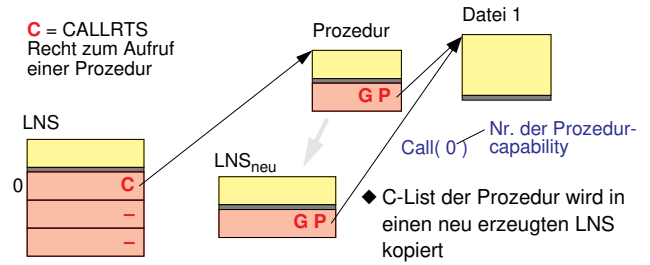
- Prozedur ist ein Objekt, aus dem beim Aufruf ein LNS des laufenden Prozesses erzeugt wird
  - neuer LNS wird aktueller Kontext (alte LNS stehen auf einem Stack; sie werden wieder aktiviert, wenn Prozedur zu Ende)
- Aufruf einer Prozedur



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

5 Prozeduraufruf in Hydra

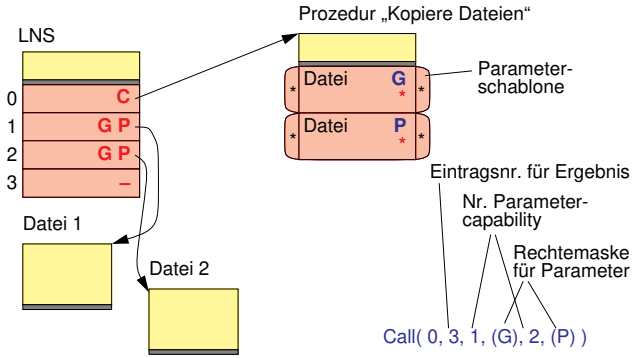
- Prozedur ist ein Objekt, aus dem beim Aufruf ein LNS des laufenden Prozesses erzeugt wird
  - neuer LNS wird aktueller Kontext (alte LNS stehen auf einem Stack; sie werden wieder aktiviert, wenn Prozedur zu Ende)
- Aufruf einer Prozedur



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

5 Prozeduraufruf in Hydra (2)

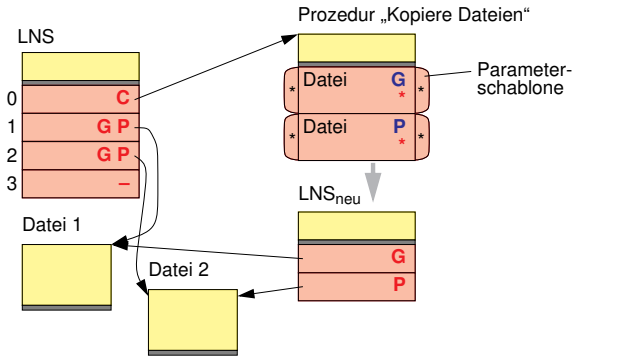
- Übergabe von Parametern
  - Beispiel: Prozedur zum Kopieren von Dateiinhalten



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

5 Prozeduraufruf in Hydra (3)

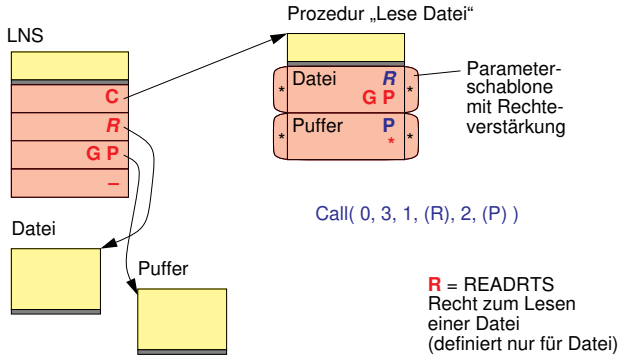
- Übergabe von Parametern
  - Beispiel: Prozedur zum Kopieren von Dateiinhalten



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

5 Prozeduraufruf in Hydra (3)

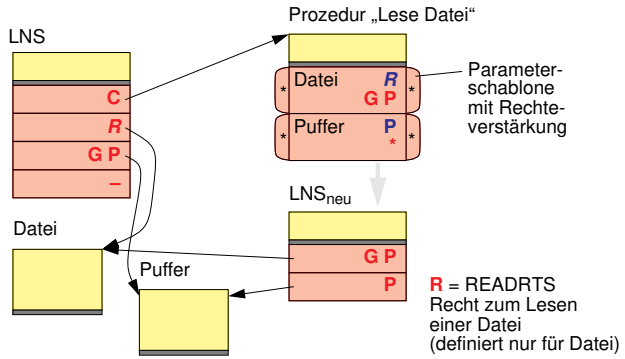
- Verstärken von Rechten
  - Beispiel: Prozedur zum Lesen von Dateiinhalten in einen Puffer



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

5 Prozeduraufruf in Hydra (3)

- Verstärken von Rechten
  - Beispiel: Prozedur zum Lesen von Dateiinhalten in einen Puffer



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

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

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

6 Problem: Gegenseitiges Misstrauen (2)

- ▲ Rechteverstärkung als Sicherheitslücke?
  - Verstärkungsschablone wird nur an vertrauenswürdige Prozeduren ausgegeben und kann nicht einfach erzeugt werden

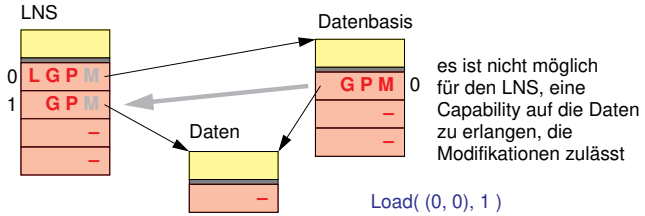
7 Problem: Modifikationen

- 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

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

7 Problem: Modifikation (2)

- ★ Einführung des Modifikationsrechts ***M***DFYRTS
  - 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 Capabilies kein Modifikationsrecht besitzt
  - Modifikationsrecht kann nicht über Rechteverstärkung erlangt werden



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

7 Problem: Modifikation (3)

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

8 Problem: Ausbreitung von Capabilities

- Aufrufer will verhindern, dass eine übergebene Capability vom Aufgerufenen an einen Dritten weitergegeben wird *(Propagation Problem)*
  - Beispiel: Prozedur „Drucken“ soll niemandem eine Referenz auf die zu druckenden Daten weitergeben können

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

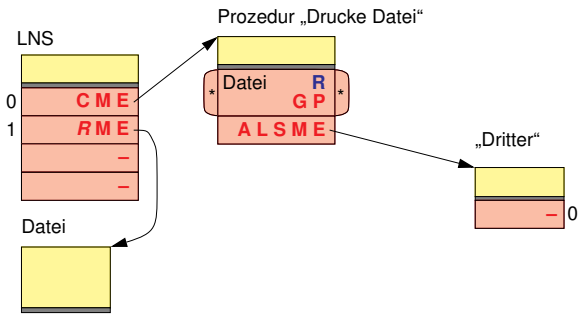
8 Problem: Ausbreitung von Capabilities (2)

- ★ 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

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

8 Problem: Ausbreitung von Capabilities (3)

- Versuchte Weitergabe einer Capability an einen Dritten

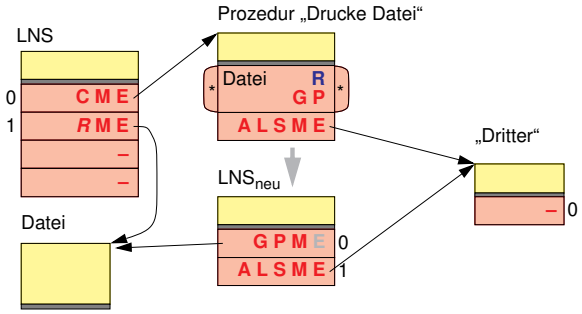


Call(0, 2, 1, (–E))

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

8 Problem: Ausbreitung von Capabilities (3)

- Versuchte Weitergabe einer Capability an einen Dritten

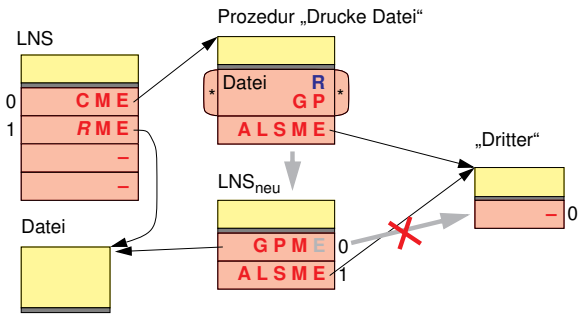


Call(0, 2, 1, (–E))

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

8 Problem: Ausbreitung von Capabilities (3)

- Versuchte Weitergabe einer Capability an einen Dritten



Call(0, 2, 1, (–E)) Store(0, (1, 0))

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

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

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

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

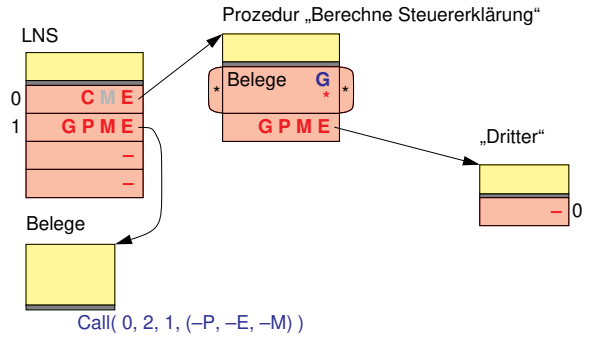
★ Modifikationsrecht auf der Prozedur-Capability

- ◆ wenn kein Modifikationsrecht vorhanden ist, werden bei allen in den LNS übernommenen Capabilities die Modifikationsrechte ausgeschaltet
  (gilt jedoch nicht für Parameter)

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

10 Problem: Informationsflussbegrenzung (2)

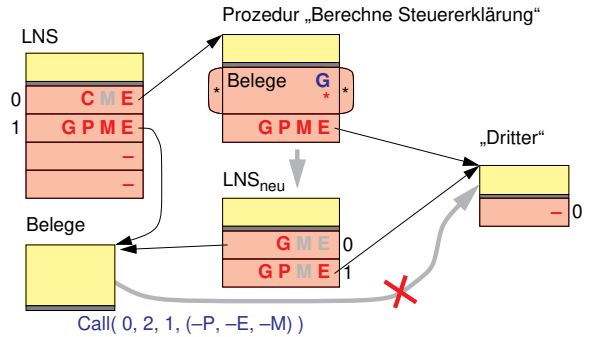
- Beispiel: Prozedur zur Steuerberechnung
  - ◆ die übergebenen Beleg- und Buchhaltungsdaten sollen nicht weitergegeben werden können



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

10 Problem: Informationsflussbegrenzung (2)

- Beispiel: Prozedur zur Steuerberechnung
  - ◆ die übergebenen Beleg- und Buchhaltungsdaten sollen nicht weitergegeben werden können



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

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

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

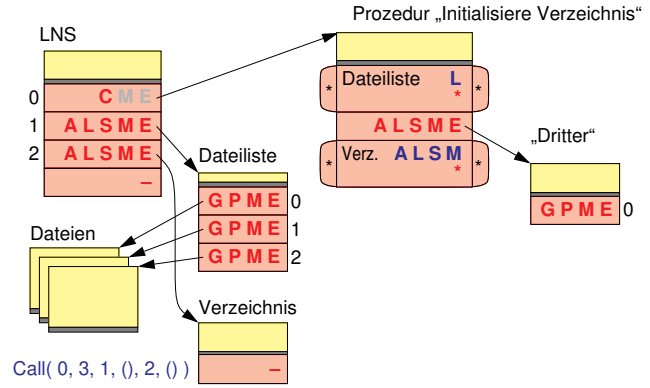
11 Problem Initialisierung (2)

- ★ 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

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

11 Problem: Initialisierung (3)

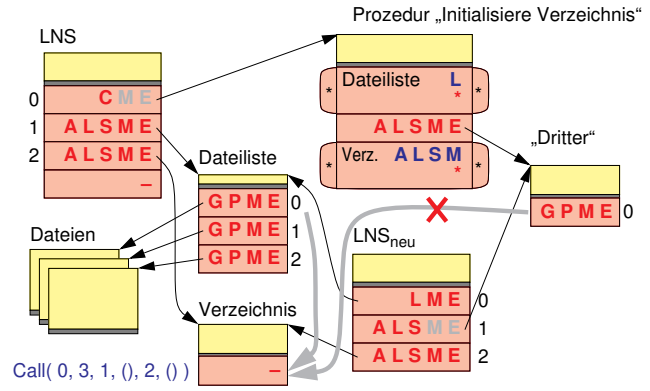
- Beispiel: Initialisierung eines Verzeichnis



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

11 Problem: Initialisierung (3)

- Beispiel: Initialisierung eines Verzeichnis



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

12 Rückruf von Capabilities

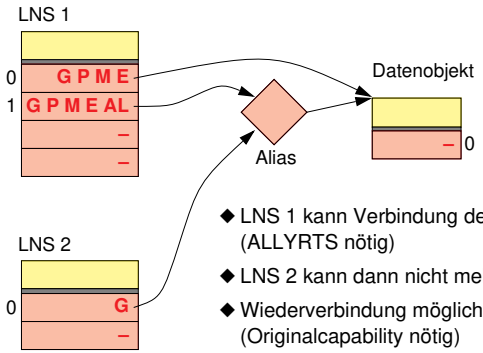
- Anwender möchte ausgegebene Capabilities für ungültig erklären
  - sofortiger Rückruf — Rückruf nach einiger Zeit erst wirksam
  - dauerhafter Rückruf — Rückruf nur zeitlich begrenzt wirksam
  - selektiver Rückruf — Rückruf für alle Benutzer eines Objekts
  - partieller Rückruf — Rückruf aller Rechte 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 ***ALL****YRTS*
  (engl. *ally* = verbünden)

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

12 Rückruf von Capabilities (2)

- Beispiel: Weitergabe einer rückrufbaren Capability

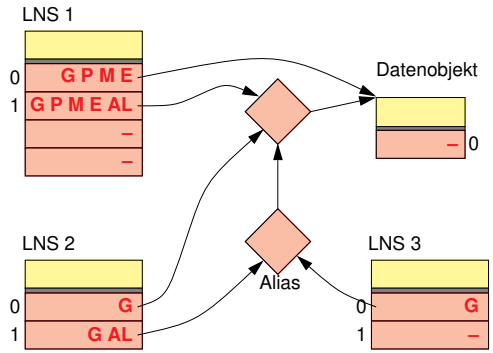


- LNS 1 kann Verbindung des Alias lösen (ALLYRTS nötig)
- LNS 2 kann dann nicht mehr zugreifen
- Wiederverbindung möglich (Originalcapability nötig)
- Aliase können hintereinander auftreten

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

12 Rückruf von Capabilities (3)

- Beispiel: Aliasketten



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

12 Rückruf von Capabilities (4)

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

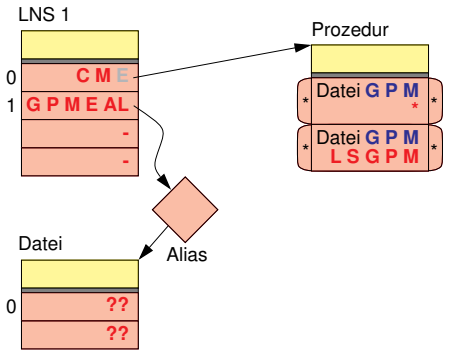
★ Lösung in Hydra
- Parameter-Capabilities, die durch eine rechteverstärkende Parameterschablone angenommen werden, zeigen auf das Originalobjekt

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

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

12 Rückruf von Capabilities (5)

- Beispiel:



Call(0, 2, 1, (–E), 1, (–E))

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

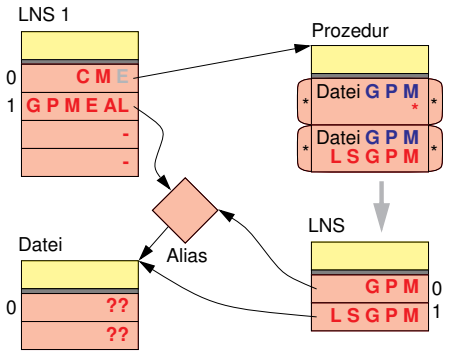
13 Garantierter Zugriff

- 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

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

12 Rückruf von Capabilities (5)

- Beispiel:

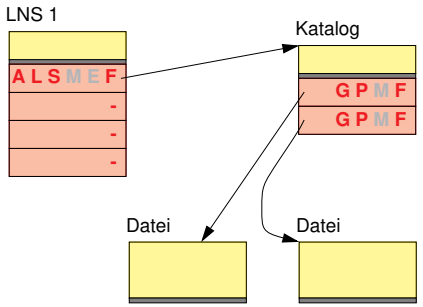


Call(0, 2, 1, (–E), 1, (–E))

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

13 Garantierter Zugriff (2)

- Beispiel:



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

14 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 Spezialhardware zur Unterstützung von Paging

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

1 Zugriffkontrolle in UNIX (2)

- Zugriffsrechte pro Datei
  - ➤ lesen, schreiben, ausführen
  - ➤ ggf. ergänzt durch individuellere ACLs
- Zugriffsrechte im Dateibaum
  - ➤ lesen, schreiben (=Einträge erzeugen/löschen), durchgreifen
  - ➤ Rechte auf Directories limitieren ggf. den Zugriff auf darunterliegende Dateien
  - ➤ Durchgriffsrecht ohne Leserecht wird oft zum "Verstecken" von Dateien verwendet → fragwürdiger Schutz
  - ➤ Schreibrecht auf Directory kann mit Rechten darunterliegender Dateien kollidieren
    - – Löschen und Neuanlegen einer Datei, auf die man kein Schreibrecht hätte ist möglich

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

D.5 Schutz von Dateien

1 Zugriffkontrolle in UNIX

- Beispiel für Zugriffskontrolle in einem klassischen Betriebssystem
  - ➤ zu schützende Objekte: Verzeichnisse und Dateien
  - ➤ Subjekte: Benutzer, Benutzergruppen und Prozesse

  ➥ Zugriffskontrollkonzept zunächst sehr beschränkt
  - ➤ spezielle Objekte (Geräte, Prozesse, Arbeitsspeicher) werden als Dateien modelliert (*special files*)
  - ➤ Konzept wurde nachträglich auch auf einige weitere Systemobjekte (Semaphore, Shared Memory Segmente, Message Queues) erweitert

  ➥ Zugriffskontrolle deckt die meisten relevanten Objekte im System ab
  - ➤ ABER: die Abbildung auf den Typ "Datei" mit den Operationen *read*, *write*, *ioctl* ist äußerst grobgranular

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

2 Zugriffskontrolle unter Windows

- Authentisierung eines Benutzers führt zur Vergabe eines *Access Tokens* (enthält Security-Ids des Benutzers und seiner Gruppen, Default-ACL, …)
  - ➤ entspricht einer Credential-Struktur
  - ➤ Access Token wird Prozess zugeordnet und an neu erzeugte Prozesse vererbt
- Objekte enthalten Security Descriptor
  - ➤ SID des Benutzers und der Gruppe
  - ➤ Discretionary ACL mit Liste von ACE (Access Control Elements)
    - – Erlaubnis- und Verbots-ACEs
    - – geben SID und erlaubte/verbotene Operationen an
    - – pro Objekt 16 verschiedene Zugriffsrechttypen möglich (z. B. synchronize, write_owner, write_DAC, read, write)
- Zugriffsberechtigung bei open
  - ➤ anschließend Vergabe eines Object Handles (Capability) an den Prozess zur Vorlage bei den konkreten Zugriffe

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

D.6 Verschlüsselung von Dateien

1 Motivation

- Reuters, 2005: Citigroup meldet den Verlust von Bändern mit den Daten - einschl. Sozialversicherungsnummern - von 3,9 Mio. Kunden
- Leyden, 2004: Kundendatenbank und die aktuellen Zugriffscodes für das Intranet eines der größten Finanzdienstleister in EU waren auf einer Platte, die bei eBay zum Verkauf angeboten worden war
- Noguchi, 2005: Laptop mit Namen und Sozialvers.nummern von 16.500 MCI Mitarbeitern wurde gestohlen.
- Reuters, 2005: Iron Mountain ... meldet Verlust von Bändern mit den Daten von 600.000 Time Warner Arbeitern

...

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

2 Programme zur Dateiverschlüsselung

- Benutzer kann individuell für einzelne Dateien entscheiden, ob und wie sie verschlüsselt werden sollen
- Realisierung
  - ◆ Werkzeuge
    - ➤ PGP, GnuPG, Ncrypt
  - ◆ Betriebssystemmechanismen

\+ Verschlüsselung nur dort, wo es tatsächlich erforderlich ist

\+ unterschiedl;iche Schlüssel für unterschiedliche Dateien möglich

– Datei-Metadaten (Name, Attribute) sind nicht verschlüsselt

– großes Risiko undichter Stellen (*Leakage*)

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

3 Undichte Stellen bei Verschlüsselung einzelner Dateien

- Um mit den Daten zu arbeiten, müssen sie unverschlüsselt vorliegen
- viele Programme erzeugen temporäre Kopien
  - ➤ bei Abstürzen des Prpgramms oder des Rechners können die Kopien unbemerkt liegen bleiben
  - ➤ auch wenn die Dateien gelöscht werden, bleiben die Daten auf der Platte, bis der Platz wiederverwendet wird
- Absturz/Abschalten des Rechners während die Verschlüsselung noch läuft
- Swap-Partition enthält Teile des Arbeitsspeichers

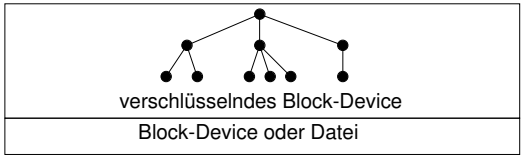
➥ Verschlüsselte Daten sickern in unverschlüsselte Teile des Speichermediums durch

➥ Dateiverschlüsselung wird wirkungslos

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

4 Verschlüsselung von Dateisystem-Partitionen

- Schicht zwischen Dateisystem und Plattentreiber sorgt für Verschlüsselung
  - ➤ Pseudo-Plattentreiber - verhält sich "nach oben" wie eine Partition, ver-/entschlüsselt und greift auf Dateien oder "normale" Partition zu



  - ➤ Aufbau auf herkömmlichem Block-Device: alle Daten werden einheitlich verschlüsselt
  - ➤ Aufbau auf Datei: Benutzer kann sich mehrere kleine Dateisysteme schaffen, die unterschiedlich verschlüsselt sind
  - ◆ Beispiel: *dm-crypt* für Linux

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

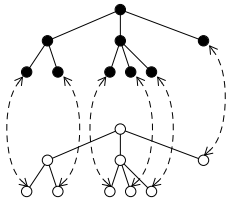
4 Verschlüsselung von Dateisystem-Partitionen (2)

+ Vorteile
  - ➤ Datei-Metadaten (Name, Attribute) werden mitverschlüsselt
  - ➤ alle Daten auf der Partition werden grundsätzlich verschlüsselt
  - ➤ Risiko undichter Stellen wird erheblich reduziert
- Nachteile
  - ➤ Dateibaum und Dateiattribute nicht mehr erkennbar
    - – z. B. kein selektives Backup mehr möglich
  - ➤ ein gemeinsamer Schlüssel für alle Daten der Partition
  - ➤ Austausch von Schlüsseln schwierig
  - ➤ so lange nicht ALLE Partitionen verschlüsselt werden bleibt das Risiko undichter Stellen
    - – problematisch vor allem bei kleinen, benutzerspezifischen Dateisystemen

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

5 Verschlüsselnde Dateisysteme

- Aufsatz eines verschlüsselnden Dateisystems auf einem normalen unverschlüsselten Dateisystem
  - ➤ Stacked filesystem
- ◆ Grundprinzip:
  Inhalt und Meta-Daten von Dateien des verschlüsselnden Dateisystems werden in Dateien des darunterliegenden Dateisystems abgelegt



  - ➤ Struktur der Partition bleibt sichtbar (Directorystruktur und Dateiattribute)

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

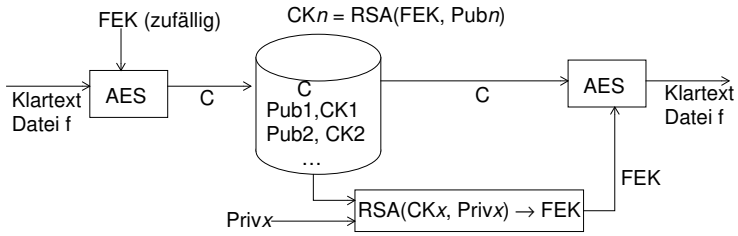
5 Verschlüsselnde Dateisysteme (2)

- Design-Alternativen
  - ◆ Verschlüsselung von Datei- und Directorynamen
    - + zusätzliche Sicherheit, da keine Schlüsse aus den Datei-Metadaten gezogen werden können
    - – Management wird komplexer (z. B. Backup-Restaurierung)
  - ◆ Realisierung als Teil des Betriebssystemkerns
    - ➤ z. B. EFS unter Windows, eCryptfs in Linux
    - + bessere Performance
    - – weniger flexibel
  - ◆ Realisierung als Anwendungsprozess (Userland File System)
    - ➤ z. B. CryptoFS oder EncFS unter Linux
    - ➤ mehr Flexibilität, schlechterer Performance
  - ◆ Ein- oder Mehrbenutzerfähigkeit
    - ➤ wird ein einheitlicher Schlüssel verwendet oder kann jeder Benutzer eigene Schlüssel einsetzen?

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

6 Verschlüsselnde Dateisysteme — EFS

- seit Windows 2000, Erweiterungen in XP und Vista
  - ➤ Verschlüsselung mit AES, früher DES3 oder DESX
  - ➤ setzt auf NTFS auf (nicht auf FAT-Dateisystemen)
- Mehrbenutzerfähig
  - ➤ Datei mit zufälligem Schlüssel (FEK - File Encryption Key) verschlüsselt
  - ➤ FEK wird mit Public Key aller berechtigten Benutzer verschlüsselt (CK), Ablage in Attributen der verschlüsselten Datei



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

6 Verschlüsselnde Dateisysteme — EFS (2)

- ▲ Kritische Punkte
- ■ Speicherung der privaten Schlüssel
  - ➤ idealerweise auf Smartcard (ab Vista unterstützt)
  - ➤ sonst auf verschlüsselt (mit Passwort der Benutzers oder Smartcard-Schlüssel) auf der Festplatte
    - – privater Schlüssel kann bei login in EFS-Prozess geladen werden und steht danach für den benutzer zur Verfügung
    - – EFS-Prozess sperrt Seiten mit Schlüssel-Information gegen Paging
    - – im Hauptspeicher sind die privaten Schlüssel aber vorhanden
    - – Angriffe auf den EFS-Prozess?

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

6 Verschlüsselnde Dateisysteme — EFS (3)

- ▲ Kritische Punkte (2)
- ■ Schlüssel-Recovery
  - ➤ Recovery-Agent (z. B. Administrator) kann verschlüsselte Dateien restaurieren
  - ➤ FEKs werden auch mit Public Key des Recovery Agenten verschlüsselt
    - – aus X509-Zertifikat des Recovery Agenten
    - – wenn Zertifikat abgelaufen ist, muss der Recovery-Schlüssel bei erneutem Speichern einer Datei erneuert werden
  - ➤ Private Recovery Key kann außerhalb des Systems verwahrt werden (eigentlich MUSS! - sonst reicht es, Administrator-Rechte zu erlangen, um alle verschlüsselten Dateien entschlüsseln zu können)
    - – alte Schlüssel müssen aufbewahrt werden (für alte Dateien)
- ■ Verschlüsselung der privaten Schlüssel mit dem Benutzer-Passwort
  - ➤ schwaches Glied in der Kette

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

7 Verschlüsselnde Dateisysteme — eCryptfs

- ■ in Linux ab Version 2.6.19
- ■ ähnliche Struktur wie EFS
  - ➤ Mehrbenutzerfähig
  - ➤ zufälliger FEK wird mit Public Key verschlüsselt und in Metadaten der Datei abgelegt
- ■ Schlüsselverwaltung über *user session key ring* im Kern oder über user-level Prozess *ecryptfsd*

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

8 Generelles Problem partieller Verschlüsselung

- ■ Partielle Verschlüsselung schützt bei Verlust des Mediums oder des Rechners
- ■ sie schützt nur teilweise bei Angriffen auf das laufende System
  - ➤ während der Datenbearbeitung existieren - zumindest temporär - immer undichte Stellen
- ➥ nur in Kombination mit absolut dichtem Zugriffsrechtekonzept wirkungsvoll
- ▲ ABER: zwei große Schwachstellen:
  - ◆ Administrator (Super-User)
    - ➤ hat Zugriff auf Speicher und unverschlüsselte Partitionen
  - ◆ das Betriebssystem selbst
    - ➤ was tut eigentlich das Betriebssystem?
    - ➤ so lange das Betriebssystem selbst nicht verschlüsselt (oder signiert) wird, ist es immer angreifbar

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

8 Generelles Problem partieller Verschlüsselung (2)

? wie sicher sind Daten und Programme auf einem Notebook
- ➤ in einem Hotel-Zimmer
- ➤ im Büro
- ➤ in aufgegebenem Gepäck
- ➤ in einem Schließfach am Bahnhof
- ➤ in einem geparkten Auto

? welches Betriebssystem läuft eigentlich auf dem Rechner (danach!)?

? welchen Wert hat jetzt die Verschlüsselung von Dateien oder Partitionen?

➥ so lange man das Gerät nicht immer im Blick hat, kann man nicht sicher sein, was mit ihm passiert ist!

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

8 Generelles Problem partieller Verschlüsselung (3)

➥ Lösung

■ Verschlüsselung aller Partitionen
inklusive der Root-Partition und der Swap-Bereiche
- ➤ normales Booten nicht mehr möglich

■ Booten von sicherem Medium
- ➤ USB-Stick
- ➤ CD

◆ Eingabe des Root-Dateisystemschlüssels in der frühen Boot-Phase

▲ ABER: auch solch ein System ist angreifbar, wenn es läuft!
- ➤ Netzwerkzugriffe
- ➤ unverschlüsselte NFS-Dateisysteme
- ➤ Schwachstellen in Programmen

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

D.7 Trusted Computing

1 Motivation

■ Verschlüsselte Dateisysteme schützen nur statische Daten
- ➤ Schwachstelle: Software zur Laufzeit
  - ➤ Betriebssystem, Anwendungen

■ Sicherheitskonzepte zur Laufzeit ebenfalls unzureichend
Basis: Speicherschutz, Adressräume
- ➤ Schwachstelle: Betriebssystem - vor allem Treiber
  - ➤ woher kommt Software, ist sie vertrauenswürdig?
- ➤ Auslagerung von Treibern in eigene Adressräume bringt wenig
  - ➤ DMA-Geräte können direkt auf Speicher zugreifen
- ➤ Signieren von Software kann helfen
  - ➤ ABER: wer überprüft die Signatur?
  - ➤ ist diese Einheit angreifbar?

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

2 Fazit: Sicherheitsarchitektur

■ Viele Schutzmechanismen sind zu grob-granular

■ Es wird eine durchgängig Kette vertrauenswürdiger Einheiten vom Systemstart bis hin zu jeder Anwendung benötigt

➥ Vertrauenswürdige Sicherheitsarchitektur benötigt ineinander greifende, wirksame Hardware-, Firmware und Software-Sicherheitskonzepte
- ◆ Hardware: stellt vertrauenswürdige, nicht umgehbare Basisfunktionen zur Verfügung
  - ➥ Beispiel: sichere Erzeugung und Speicherung von Schlüsseln
    - ➤ Nutzung über einheitliche Schnittstelle durch Betriebssystem und Anwendungen
- ◆ BS und Anwendungen bieten darauf aufbauend komplexere Dienste an
  - ➥ Beispiel: Verschlüsselnder Objektspeicher
- ◆ Strategien (Poicies) werden von den Mechanismen strikt getrennt.
  - ➤ Policies können Betriebssystem- oder Anwendungs-abhängig sein
  - ➤ Mechanismen sind einheitliche Basis

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

3 TCPA und TCG

- Trusted Computing Platform Alliance (TCPA)
  - ➤ 1999: Microsoft, Intel, IBM, Compaq, HP
    2003: > 200 Mitglieder
    ➥ handlungsunfähig (Beschlüsse nur einstimmig möglich)
- TCPA-Ziele
  - ➤ Hard- und Softwarestandards für vertrauenswürdigere Rechner-Plattformen (→ E-Business-Transaktionen)
    Plattform = Motherboard, CPU, E/A-Geräte, BIOS, ...
- TCPA-Funktionen
  - ➤ sicheres Booten
  - ➤ *Attestation* (Bestätigung der Integretät der Systemkonfiiguration einer Plattform gegenüber Kommunikationspartnern)
  - ➤ sichere Generierung und Aufbewahrung von Schlüsseln
- Trusted Computing Group (TCG)
  - ➤ 2003: AMD, HP, Intel, Microsoft (Beschlüsse mit 2/3-Mehrheit)

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

4 TCG-Architektur

- **Trusted Platform Module (TPM)**
  = Hardware-Teil (TCG-Chip)
- **Root of Trust for Measuring Integrity Metrics (RTM)**
  = Hardware / Firmware-Teil
  (entweder in TPM integriert oder im BIOS implementiert)
- **Trusted Software Stack (TSS)**
  = Software-Teil
- TPM + RTM + TSS = **TCG-Subsystem**
  - ➤ vertrauenswürdige Basisdienste als Bausteine für Betriebssysteme
  - ➤ OpenTC-Projekt (www.opentc.net) entwickelt Software-Framework für Trusted Computing – u. a. Betriebssystem auf Basis von Xen und L4

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

5 TCG-Subsystem

- TPM: Fest eingelöteter Smartcard-Prozessor
  - ◆ bietet kryptografische Operationen in Hardware
    - ➤ Zufallszahlen
    - ➤ Schlüsselgenerierung mit privatem Schlüssel der Chip nicht verlässt
    - ➤ Signieren und Signaturprüfung
    - ➤ Ver- und Entschlüsseln
- RTM "misst" in speziellen Registern den Systemzustand
  - ➤ bildet Hash über ausgeführte Befehlsfolge
  - ➤ damit können Modifikationen an Code festgestellt werden
- Sicheres Booten über eine BIOS Erweiterung (CRTM = Core RTM)
  - ➤ Spezielle Register "messen" den Bootvorgang vom BIOS über Bootloader zum Systemkern.
  - ➤ Softwareschicht kann aufgrund von Messwerten Rückschlüsse auf Systemintegrität ziehen

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

5 TCG-Subsystem (2)

- Integritäts-Messwerte werden in sicherem Speicher (auf TPM) abgelegt
  - ➤ Attestierung über eine Systemkonfiguration (=Messwert-Report)
  - ➤ Änderungen können durch Vergleich mit den ursprünglichen Messwerten entdeckt werden
- Anwendungen und Kommunikationspartner können Attestierungen abfragen
  - ➤ Gewissheit über Authentizität einer Plattform
  - ➤ Nachweis enthält Identität der Plattform + Angaben über konkrete Konfiguration

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

6 Eindeutige Identität und Besitzerkonzept

- TPM eindeutig identifzierbar
  - ➤ Endorsement Key und Zertifikat
  - ➤ Integration bei der Chip-Herstellung
  - ➤ Privacy-Problem → Endorsement Key gegenüber Dritten verschleiern → Attestation Identity Keys (AIK)
- Besitzer muss TCG-Plattform explizit übernehmen
  - ➤ Festlegung eines Passworts
  - ➤ Basis für Aktvierung und Deaktivierung
  - ➤ Basis für Zugriff auf geschützte Objekte im TPM-Speicher
- Rücksetzen des TPM durch Jumper auf dem Board möglich
  - ➤ Löscht das Besitzer-Passwort
  - ➤ Verlust aller Schlüssel auf dem TPM

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

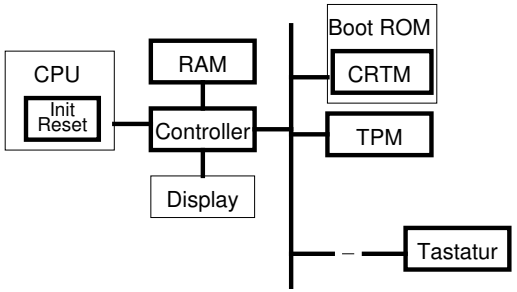
7 Root of Trust

- "Vertrauenswurzeln" = Ausgangspunkte für den Aufbau einer vertrauenswürdigen Systemkonfiguration
  - ➤ den Roots of Trust muss vertraut werden - Fehlverhalten ist nicht aufdeckbar
- Root of Trust for Measurement (RTM)
  - ➤ Funktionen, die Integrität eine Konfiguration beim Booten, bei Reset und nach Suspend prüfen können
  - ➤ teilweise auf TPM, teilweise BIOS-Komponente (nicht ersetzbar!)
- Root of Trust for Storage (RTS)
  - ➤ schützt Schlüssel und vertrauenswürdige Daten
  - ➤ hierarchische Schlüsselverwaltung - Elternknoten verschlüsselt darunter liegende Schlüssel, Wurzel = Storage Root Key (SRK)
  - ➤ SRK wird bei Plattform-Inbesitznahme generiert und verlässt TPM nie
- Root of Trust for Reporting (RTR)

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

8 Trusted Building Blocks

- Komponenten und Verbindungswege, die sicherheitskritisch sind



- ★ häufige Schwachstelle: Verbindung zwischen Tastaur und System

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

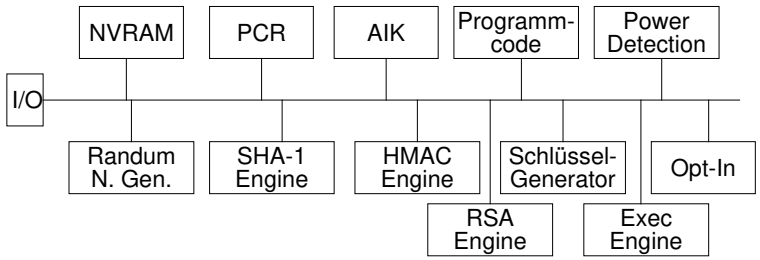
9 TPM im Detail

- Aufgaben
  - ➤ Generierung von symmetrischen und asymmetrischen Schlüsseln (Hardware-basierte Zufallszahlengenerator), Signaturerstellung, Hashwertberechungen, Chip-interne Verschlüsselung
  - ➤ Verschlüsseln von kryptographischen Schlüsseln (Wrapping) (zur Verwaltung der Schlüssel außerhalb des TPM)
  - ➤ sichere Speicherung von (kleinen) Objekten und Hashwerten → shielded Register, Zugriff nur über bestimmte Sicherheitsdienste (Signieren, Verschlüsseln)
  - ➤ Erstellen von signierten Reports über gespeicherte Werte (nur nach Autorisierung durch den Plattformbesitzer)
  - ➤ Endorsement-Key und Generierung/Bestätigung von AIKs
  - ➤ Vertrauenswürdiger Timer für Zertifikate mit Gültigkeitsdauer

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

9 TPM im Detail (2)

- Architektur



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

10 Sicheres Booten

- sicheres Booten und TCG
  - ➤ Aufbau einer Vertrauenskette vom Einschalten bis zu den Anwendungen
- Power-on → CRTM
  - ◆ CRTM berechnet Hash-Werte und speichert sie in Register PCR_0 auf TPM
    1. HASH(CRTM) → PCR_0 – bevor CRTM in Speicher geladen wird
    2. HASH(BIOS) → PCR_1
- BIOS laden und starten
    3. HASH(Motherboard-Firmware | PCR_1) → PCR_1
    4. HASH(Hardware-Konfiguration | PCR_1) → PCR_1
    5. HASH(Option ROMS) → $PCR_{2/3}$
    6. HASH(MBR) → PCR_4
- MBR laden
    7. HASH(Boot-Block | PCR_4) → PCR_4

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

10 Sicheres Booten

- normaler Botvorgang:
  Power-on → ROM → BIOS → MBR → Boot-Block → BS-Kern → …
- Sicherheitprobleme
  - ◆ MBR (Master Boot Record) modifiziert (Boot-Sektor-Virus)
    - ➤ wird ungeschützt in den nackten Speicher geladen
  - ◆ Boot-Block manipuliert
    - ➤ kann modifiziertes Betriebsystem laden
  - ➤ Modifizierter Betriebssystemkern
    - ➤ kann überall zugreifen
    - ➤ kann Anwendungen falsche Tatsachen vorspiegeln
    - ➤ …

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

10 Sicheres Booten (2)

- Boot-Loader ausführen
    8. HASH(Betriebssystem-Kern | PCR_4) → PCR_4
- Betriebssystem laden und ausführen
  - ◆ BS kann verschlüsselt auf Platte abgelegt sein
    - ➤ TPM übernimmt sichere Speicherung des Schlüssels und Entschlüsselung
    - ➤ BS kann Hashwerte über Anwendungen erstellen
- Referenzwerte für gemessene Hash-Werte müssen über vertrauenswürdigen Kanal zugeführt werden
  - ➤ Vergleich mit aktuellen Werten führt zur Erkennung von Manipulationen

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

11 TCG für Digital Rights Management

- Idee: Software oder Daten (z. B. Musikstücke) sind mit Regeln verknüpft, die die Eigenschaften der Umgebung spezifizieren
  - ➤ Software läuft nur in bestimmmter Umgebung
  - ➤ Daten können nur in bestimmter Umgebung genutzt werden

➥ Durchsetzung von Lizenzbestimmungen

➥ Schutz vor Raubkopien

- Konsequenz: private Rechner arbeiten unter der Policy eines Software- oder Content-Anbieters

- Verallgemeinerung:
  - ◆ Policy wird an Inhalte geknüpft um geistiges Eigentum zu schützen
    - ➤ Anwendungsszenarien in betrieblichen Geschäftsprozessen
    - ➤ Geschützter Austausch von Dokumenten (Schutz aber auch nur beschränkt möglich)

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