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

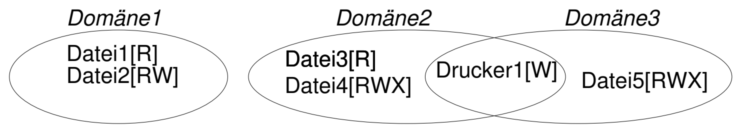
D.2 Speicherschutz

- 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

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



1 Schutzdomänen (2)

- Ein 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

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

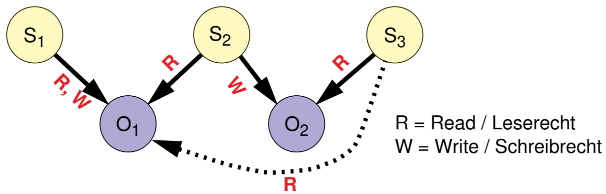
- Schutzmatrix in der Praxis nicht handhabbar
  - ➤ Information aus Spalten: Zugriffskontrolllisten
  - ➤ Information aus Zeilen: Capabilities

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

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)

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

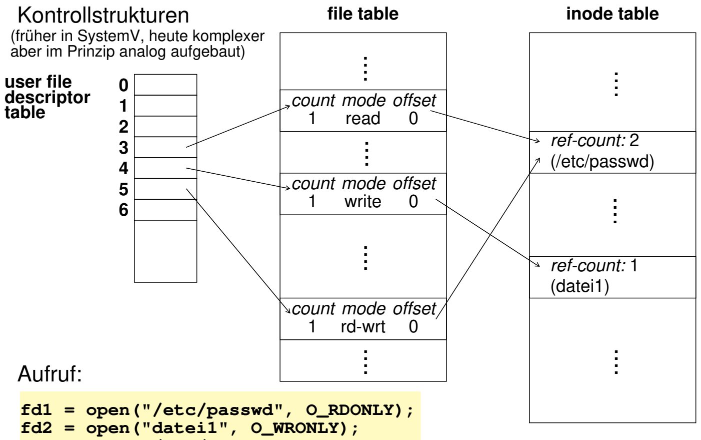
▲ Nachteile
  - Weitergabe nicht kontrollierbar
  - Rückruf von Zugriffsrechten nicht möglich
  - Capability muss vor Fälschung und Verfälschung geschützt werden
    - durch kryptographische Mittel (Capability wird signiert und wird bei Manipulation automatisch zerstört)
    - durch Speicherschutz (Capability wird im Systemkern gehalten und Anwendung erhält nur einen Index darauf)

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 liefert 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 angegebener mode) werden in file handle gehalten

3 Capabilities und ACLs am Beispiel UNIX (2)

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



- Aufruf:

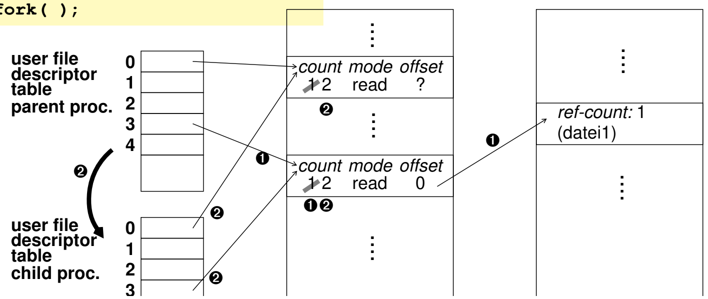
```
fd1 = open("/etc/passwd", O_RDONLY);
fd2 = open("datei1", O_WRONLY);
fd3 = open("/etc/passwd, O_RDWR);

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


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)!

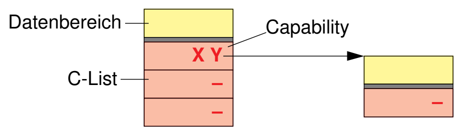
D.4 Konzeptionelle Grundlagen von Capabilities

1 Hydra

- Hydra ist ein Capability-basiertes Betriebssystem
  - ◆ entwickelt Mitte der 1970er 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 "Objekte" vor unberechtigten Zugriffen
  - ◆ Capability-Mechanismen sind integraler Bestandteil des Betriebssystems
  - ◆ Relevanz aus heutiger Sicht:
    - ➤ Hydra-Capabilities sind gut mit geschützten Objekt-Referenzen in einer objekt-orientierten Sprachumgebung (wie Java) vergleichbar

1 Hydra (2)

- Objekte werden in Hydra durch Capabilities angesprochen und geschützt
  - ◆ Objekte haben einen Typ
    (z. B. Prozeduren, Prozesse/LNS, Semaphoren, Dateien 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)



1 Hydra (3)

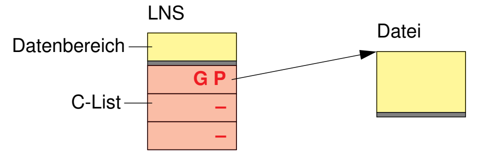
- Prozesse (Subjekte)
  - ◆ Prozesse besitzen einen aktuellen Kontext, den LNS *(Local name space)*
  - ◆ LNS ist ein Objekt
  - ◆ zum LNS gehört ein Aktivitätsträger (Thread)
  - ◆ Prozess kann nur auf Objekte zugreifen, die in der C-List seines LNS stehen (mehrstufige Zugriffe, z. B. auf die C-List 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

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

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

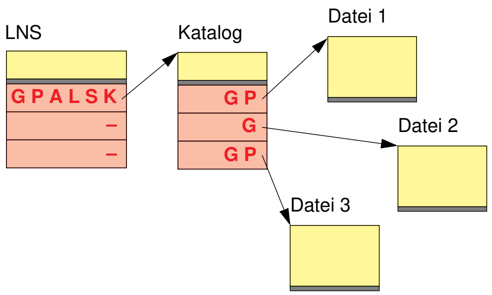


3 Zugriff auf Capabilities in Hydra

- Operationen auf der C-List eines Objekts:
  - ◆ *Load:* kopieren einer Capability aus der C-List eines Objekts in die C-List des LNS (≙ Besorgen einer Objektreferenz von einem Nameserver)
  - ◆ *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*

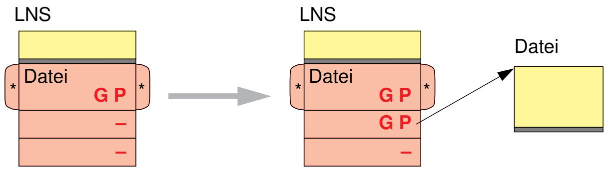
3 Zugriff auf Capabilities in Hydra (2)

- Beispiel: Implementierung von Katalogen
  Katalog = Objekt, das Referenzen (Capabilities) auf Dateien enthält
  - ◆ *Load* erlaubt das Auflösen von Namen / Öffnen einer Datei (Aufrufer bekommt die Capability)
  - ◆ *Store* und *Append* erlauben das Hinzufügen von Dateien zum Katalog
  - ◆ *Delete* erlaubt das Austragen von Dateien aus dem Katalog



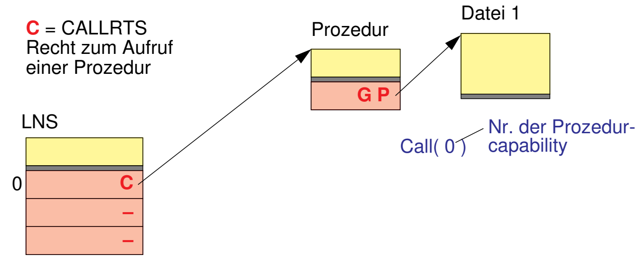
4 Objekterzeugung in Hydra

- Objekterzeugung über Erzeugungsschablonen *(Creation Templates)*
  - ◆ mit der *create*-Operation können neue Objekte eines Typs erzeugt werden
  - ◆ LNS benötigt hierzu eine Erzeugungsschablone
  - ◆ Erzeugungsschablone enthält den Typ des neu zu erzeugenden Objektes und eine Rechtemaske
  - ◆ der Aufrufer der *create*-Operation erhält eine Capability auf das neu erzeugte Objekt, die nur die in der Maske angeschalteten Rechte enthält



5 Prozeduraufruf in Hydra

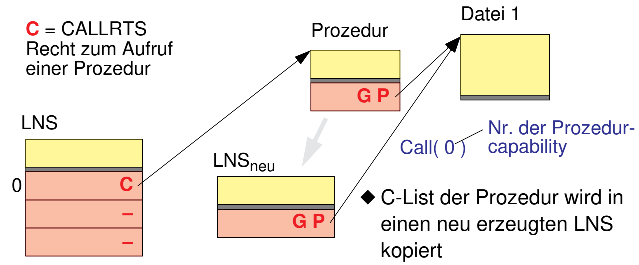
- Prozedur ist ein Objekt, aus dem beim Aufruf ein neuer LNS im laufenden Prozess erzeugt wird
  - ◆ neuer LNS wird aktueller Kontext (alte LNS stehen auf einem Stack; sie werden wieder aktiviert, wenn Prozedur zu Ende)
- Aufruf einer Prozedur



➤ Prozedur kann initiale Capabilities haben

5 Prozeduraufruf in Hydra

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

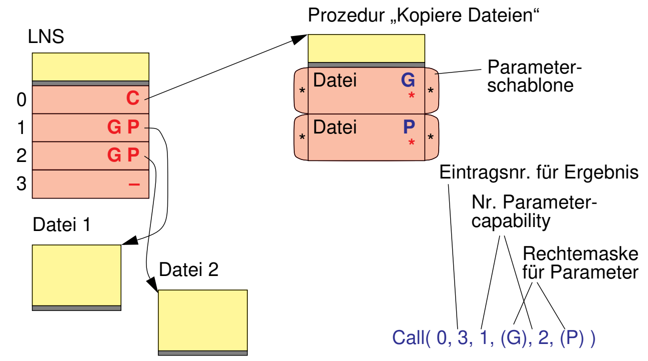


◆ C-List der Prozedur wird in einen neu erzeugten LNS kopiert

➤ Prozedur kann initiale Capabilities haben
... und weitere durch Parameter übergeben bekommen

5 Prozeduraufruf in Hydra (2)

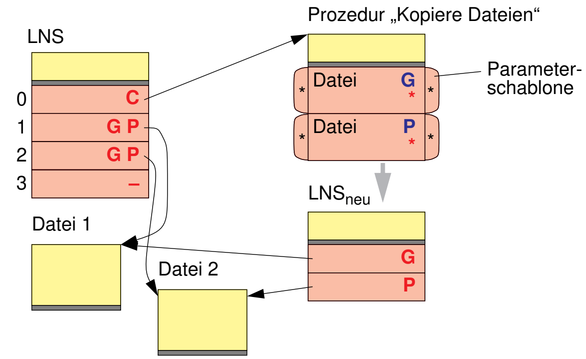
- Übergabe von Parametern
  - ◆ Beispiel: Prozedur zum Kopieren von Dateiinhalten



➤ Parameterschablone zum Überprüfen des Typs des Parameters und der mindestens erforderlichen Rechte

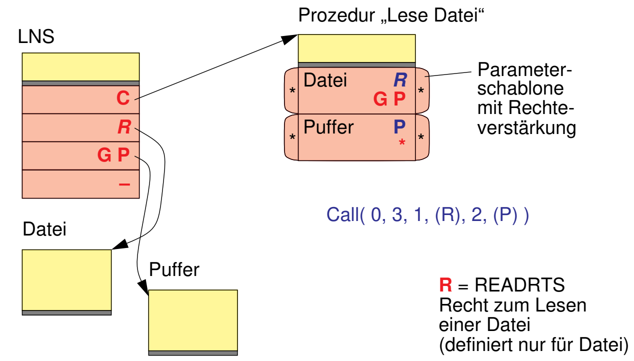
5 Prozeduraufruf in Hydra (3)

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



5 Prozeduraufruf in Hydra (3)

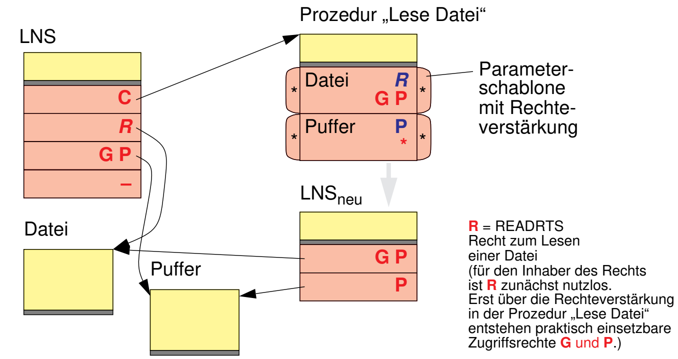
- Verstärken von Rechten
  - ◆ Beispiel: Prozedur zum Lesen von Dateiinhalten in einen Puffer



➤ Prozedur kann mehr Rechte besitzen, als der Aufrufer der Prozedur (analog zu s-bit bei UNIX-Programmen)

5 Prozeduraufruf in Hydra (3)

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



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

6 Problem: Gegenseitiges Misstrauen (2)

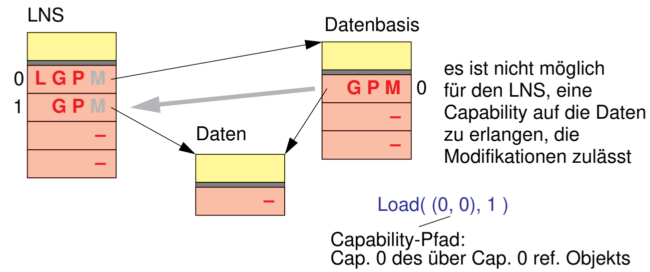
▲ Rechteverstärkung als Sicherheitslücke?
  - ◆ Verstärkungsschablone wird nur an vertrauenswürdige Prozeduren ausgegeben und kann nicht einfach erzeugt werden

7 Problem: Modifikationen

- Aufrufer möchte Modifikationen an und über Parameter ausschließen
  - ◆ eine Prozedur soll nichts verändern können
- Wegnehmen der entsprechenden Rechte reicht nicht
  - ◆ Prozedur kann lesend zu neuen Capabilities gelangen und über diese Änderungen vornehmen (Transitivität)
  - ◆ Rechteverstärkung könnte angewandt werden

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 Capabilies kein Modifikationsrecht besitzt
  - ◆ Modifikationsrecht kann nicht über Rechteverstärkung erlangt werden



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

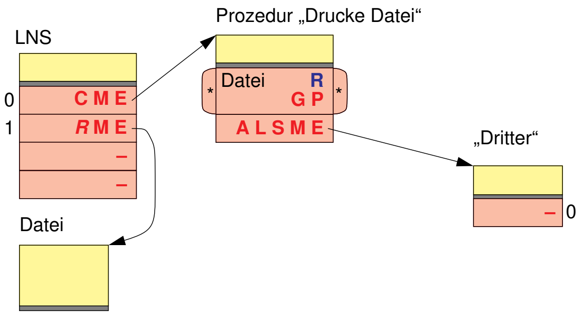
- Aufrufer will verhindern, dass eine übergebene Capability vom Aufgerufenen an einen Dritten weitergegeben wird *(Propagation Problem)*
  - ◆ Beispiel: Prozedur „Drucken“ soll niemandem eine Referenz auf die zu druckenden Daten weitergeben können

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

8 Problem: Ausbreitung von Capabilities (3)

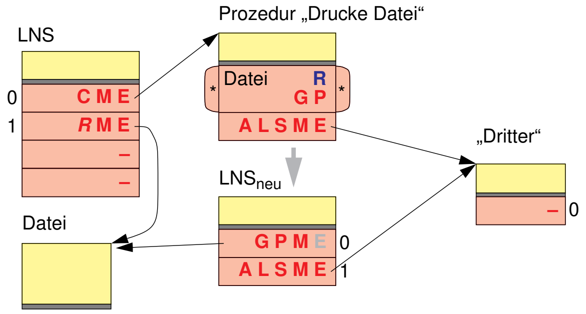
- Versuchte Weitergabe einer Capability an einen Dritten



Call(0, 2, 1, (–E))

8 Problem: Ausbreitung von Capabilities (3)

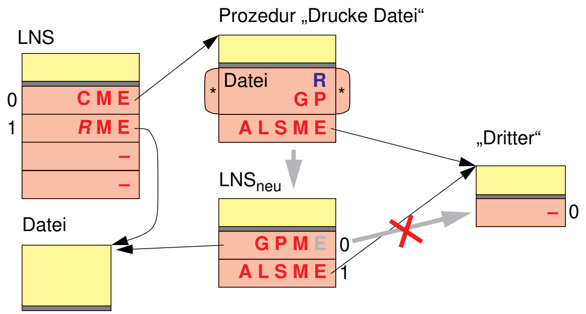
- Versuchte Weitergabe einer Capability an einen Dritten



Call(0, 2, 1, (–E))

8 Problem: Ausbreitung von Capabilities (3)

- Versuchte Weitergabe einer Capability an einen Dritten



Call(0, 2, 1, (–E))   Store(0, (1, 0))

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

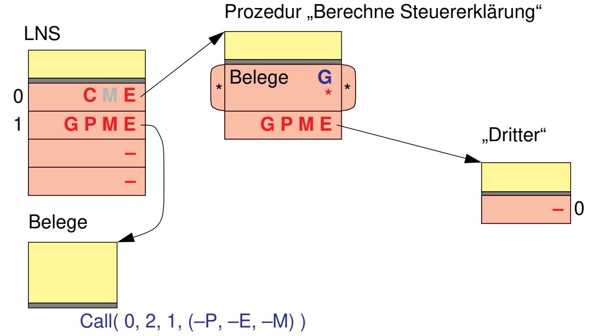
10 Problem: Informationsflussbegrenzung

- 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)

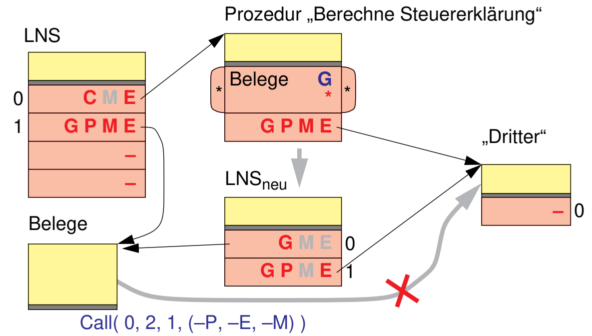
10 Problem: Informationsflussbegrenzung (2)

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



10 Problem: Informationsflussbegrenzung (2)

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



11 Problem: Initialisierung

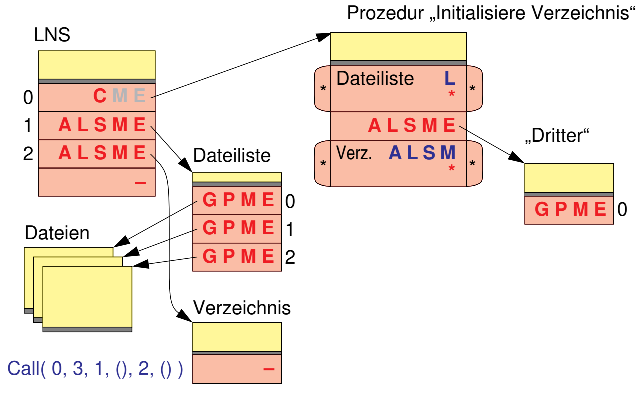
- Initialisierung von Objekten durch Prozeduren
  - ◆ Übergabe eines Objekts und verschiedener Capabilities, mit denen das Objekt initialisiert werden soll
  - ◆ Problem: Parameter-Capabilities müssen Environment-Recht besitzen (sonst ist das zu initialisierende Objekt nicht arbeitsfähig), gleichzeitig 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

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

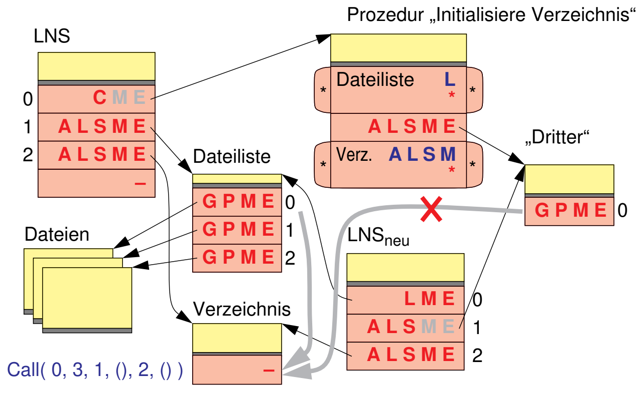
11 Problem: Initialisierung (3)

- Beispiel: Initialisierung eines Verzeichnis



11 Problem: Initialisierung (3)

- Beispiel: Initialisierung eines Verzeichnis



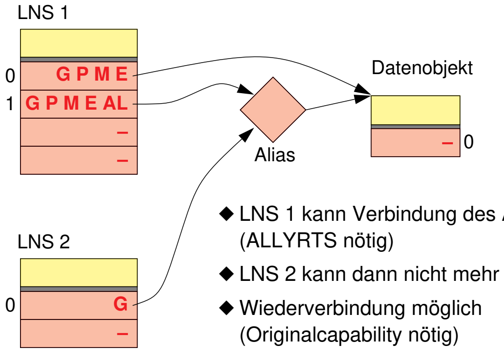
12 Rückruf von Capabilities

- 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 ***AL**LYRTS*
    (engl. *ally* = verbünden)

12 Rückruf von Capabilities (2)

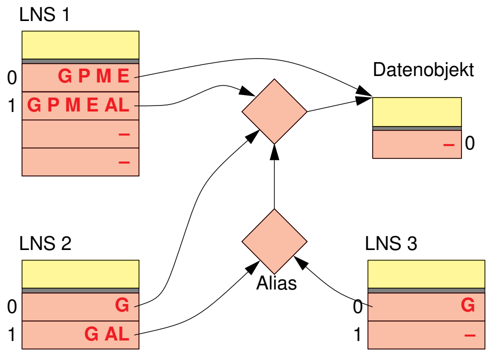
- Beispiel: Weitergabe einer rückrufbaren Capability



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

12 Rückruf von Capabilities (3)

- Beispiel: Aliasketten



12 Rückruf von Capabilities (4)

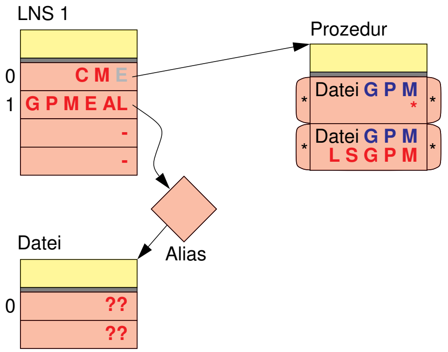
▲ Problem: Rückruf während der Bearbeitung eines Objekts
  - inkonsistente Zustände möglich

★ 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

12 Rückruf von Capabilities (5)

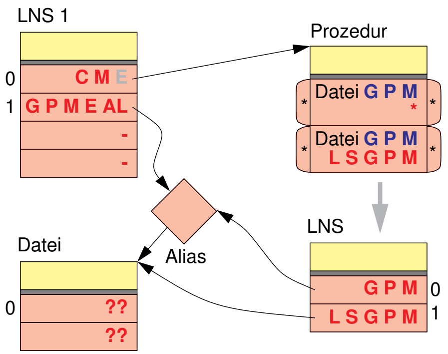
- Beispiel:



Call(0, 2, 1, (–E), 1, (–E))

12 Rückruf von Capabilities (5)

- Beispiel:



Call(0, 2, 1, (–E), 1, (–E))

13 Garantierter Zugriff

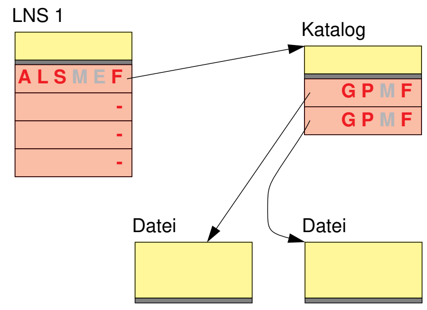
- Schutz vor Rückruf
  - ◆ Modifizierende Benutzer eines Objekts
    - kooperierende Benutzer: Rückruf keine Gefahr
    - nicht kooperierende Benutzer: Rückruf nötig
  - ◆ Benutzer eines Objekts ohne modifizierende Zugriffe
    - Aufruf von Prozeduren ist unkritisch, da Aufrufe nicht rückrufbar sind
    - 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

13 Garantierter Zugriff (2)

- Beispiel:



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

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

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

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

D.6 Verschlüsselung von Dateien

1 Motivation

- 2004 in Londoner Taxis liegen geblieben:
  4.973 Laptops, 5.838 PDAs, 63.135 Mobiltelefone
- 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

...

2 Anforderungen

- Schutz der Dateiinhalte
- Schutz der Metadaten
- Schutz muss auch gewährleistet sein
  - ➤ bei direktem Zugriff auf Datenträger
  - ➤ Transport der Daten über Netzwerke
  - ➤ für Datensicherung und Archivierung
    - – langfristige Schlüsselaufbewahrung
    - – automatische Schlüsselaktualisierung
- Mehraufwand für Benutzer begrenzen
  - ➤ Schutz möglichst transparent gewährleisten
- Einsatz in Mehrbenutzerumgebungen
  - ➤ Gruppenzugriffe
- Umgang mit Schlüsselverlust

3 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

\+ unterschiedliche Schlüssel für unterschiedliche Dateien möglich

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

– großes Risiko undichter Stellen (*Leakage*)

4 Undichte Stellen bei Verschlüsselung einzelner Dateien

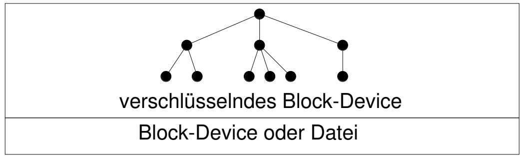
- Um mit den Daten zu arbeiten, müssen sie unverschlüsselt vorliegen
- Viele Programme erzeugen temporäre Kopien
  - ➤ bei Abstürzen des Programms oder des Rechners können die Kopien unbemerkt liegen bleiben
  - ➤ auch wenn die Dateien gelöscht werden, bleiben die Daten auf der Platte, bis der Platz 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

5 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

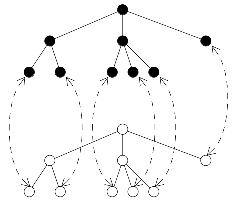
5 Verschlüsselung von Dateisystem-Partitionen (2)

+ 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

6 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



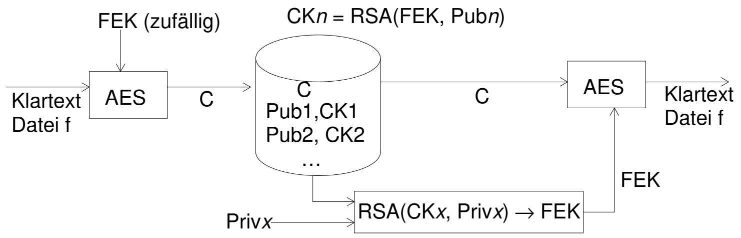
  - ➤ Struktur der Partition bleibt sichtbar (Directorystruktur und Dateiattribute)

6 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?

7 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



7 Verschlüsselnde Dateisysteme — EFS (2)

- ▲ Kritische Punkte
- Speicherung der privaten Schlüssel
  - idealerweise auf Smartcard (ab Vista unterstützt)
  - sonst 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?
    - Benutzerpasswort meist deutlich schwächer als erzeugte Schlüssel
    - Änderung des Benutzerpasswords durch Admin führt dazu, die privaten Schlüssel für den Benutzer nicht mehr lesbar sind (→ private Schlüssel außerhalb sichern!)

7 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)

7 Verschlüsselnde Dateisysteme — EFS (4)

- ▲ Kritische Punkte (3)
- Verschlüsselung auf NTFS-Dateisysteme beschränkt
  - vom Benutzer für ein Verzeichnis und ggf. alle Unterverzeichnisse einstellbar
  - Dateien werden beim Kopieren auf andere Dateisysteme entschlüsselt
  - Transfer von Dateien über Netzverbindungen unverschlüsselt
- Verschlüsselung der privaten Schlüssel mit dem Benutzer-Passwort
  - schwaches Glied in der Kette
  - Problem wenn Administrator Benutzer-PW ändert
    ➥ privaten Schlüssel extrahieren und separat speichern

8 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*

9 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

9 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!

9 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

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?

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 (Policies) werden von den Mechanismen strikt getrennt.
    - ➤ Policies können Betriebssystem- oder Anwendungs-abhängig sein
    - ➤ Mechanismen sind einheitliche Basis

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 Systemkonfiguration einer Plattform gegenüber Kommunikationspartnern)
  - ➤ sichere Generierung und Aufbewahrung von Schlüsseln
- Trusted Computing Group (TCG)
  - ➤ 2003: AMD, HP, Intel, Microsoft (Beschlüsse mit 2/3-Mehrheit)

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

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

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
- TSS definiert Standard-API für Zugriff auf TPM
  - ➤ Ex- und Import von Kommunikationsschlüsseln
  - ➤ Erstellung Hashwerten und Integritätsbescheinigungen
  - ➤ Basis für Schnittstellen zu existierenden Krypto-APIs

6 Eindeutige Identität und Besitzerkonzept

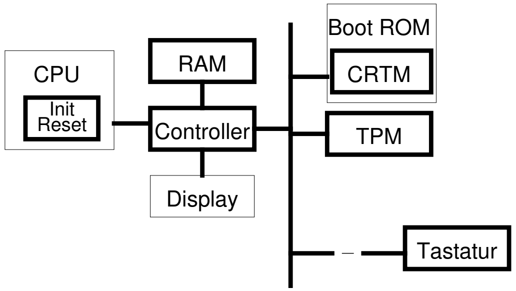
- TPM eindeutig identifizierbar
  - ➤ *Endorsement Key* und Zertifikat
  - ➤ Integration bei der Chip-Herstellung
  - ➤ Privacy-Problem → Endorsement Key gegenüber Dritten verschleiern → *Attestation Identity Keys* (AIK)
- Besitzer muss TCG-Plattform explizit übernehmen
  - ➤ Festlegung eines Passworts
  - ➤ 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

7 Roots 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 einer 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)

8 Trusted Building Blocks

- Komponenten und Verbindungswege, die sicherheitskritisch sind



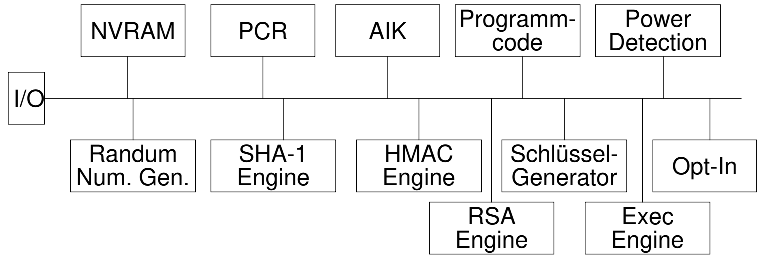
★ häufige Schwachstelle: Verbindung zwischen Tastatur und System

9 TPM im Detail

- Aufgaben
  - ➤ Generierung von symmetrischen und asymmetrischen Schlüsseln (Hardware-basierter 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

9 TPM im Detail (2)

- Architektur



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
    - ➤ …

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

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

11 Zertifikate (Credentials)

- Ziel: Attestieren der Identität einer Plattform oder eines AIK einer Plattform
- Fünf Zertifikattypen für unterschiedliche Anwendungsbereiche
  - ➤ es werden nur die jeweils benötigten Informationen bereitgestellt
  - ◆ Endorsement (EK)
    - ➤ von TPM-Hersteller ausgestellt und signiert
    - ➤ erlaubt eindeutige Identifikation einer Plattform
  - ◆ Conformance
    - ➤ bestätigt, dass TBB des TPM die Spezifikation erfüllen
  - ◆ Platform
    - ➤ identifiziert Hersteller der Plattform und einige Eigenschaften der Plattform
  - ◆ Validation
    - ➤ attestiert Vertrauenswürdigkeit von einzelnen Komponenten

11 Zertifikate (Credentials) (2)

- ◆ Attestation Identity
  - ➤ beglaubigt private AIK-Schlüssel, die zum Signieren von TPM-Werten verwendet werden können

➥ Entkopplung der Informationen über die TPM-Plattform von den Informationen über die Eigenschaften der Plattform

- ➤ Nutzung der mit dem Edorsement-Zertifikat verbundenen Schlüssel gibt automatisch Informationen über die konkrete Plattform und damit über den Benutzer preis
- ➤ AI-Zertifikate nutzen Trusted Third Party (Privacy CA) zur Anonymisierung

11 Zertifikate (Credentials) (3)

- Erzeugung von AI-Credentials und AIK-Schlüsseln

(1) Kommando TPM-MakeIdentity an TPM
– erzeugt Schlüsselpaar (-AIK, +AIK)
– erzeugt Identity-Binding und signiert dieses mit dem AIK→ AIK-Request

```
AR = (+AIK, EK-Cred, Platform-Cred, Conformace-Cred)
C = {AR}^-AIK
```

(2) Request an CA

```
TPM → CA: {(+AIK, C, EK-Cred, Platform-Cred, Conformace-Cred)}^+CA
```

(3) CA prüft Credentials, extrahiert AR, erzeugt Session-Schlüssel K und erstellt AIK-Credential

```
KC = {K}^+EK          C-Cred = {AIK-Cred}^K
CA → TPM: (C-Cred, KC)
```

(4) TPM kennt -EK und kann damit K und damit AIK-Cred entschlüsseln

11 Zertifikate (Credentials) (4)

- Nutzung von AIK-Credentials bei Diensten
  - AIK-Schlüssel können zum Signieren von PCR-Registerinhalten genutzt werden
  - Ermittlung der PCR-Werte und Signieren laufen vollständig im TPM ab
    - ➤ wenn sichergestellt ist, dass der TPM vertrauenswürdig ist, ist der signierte PCR-Wert authentisch
    - ➤ CA kennt Zertifikate des TPM und kann bestätigen, dass ein AIK von einer Standard-konformen TPM-Plattform stammt

12 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)