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

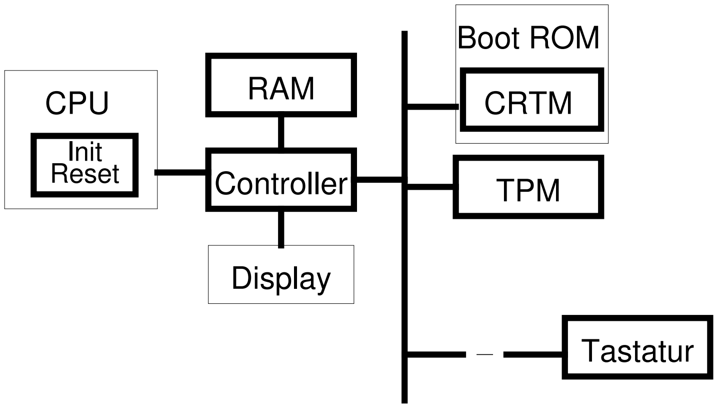
- TPM eindeutig identifizierbar
  - *Endorsement Key* und Zertifikat
  - Integration bei der Chip-Herstellung
  - Privacy-Problem → Endorsement Key gegenüber Dritten verschleiern → *Attestation Identity Keys* (AIK)
- Besitzer muss TCG-Plattform explizit übernehmen
  - Festlegung eines Passworts
  - Basis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



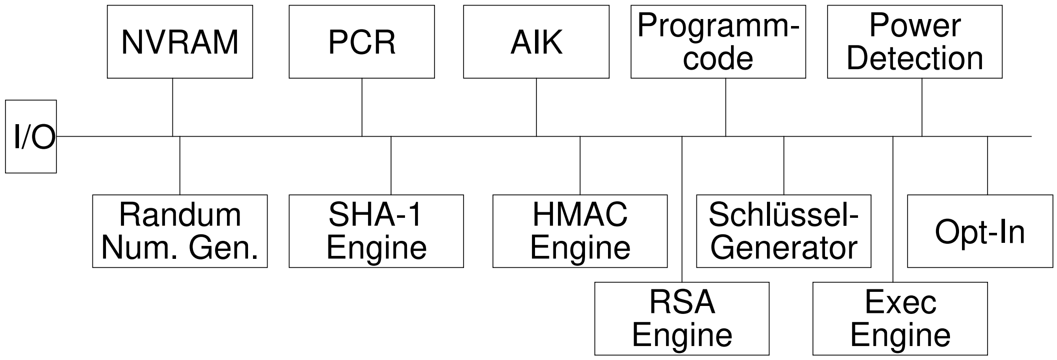
★ häufige Schwachstelle: Verbindung zwischen Tastatur und System

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)