Netzsicherheit – Architekturen und Protokolle
Grundlagen PKI/PMI

Vertrauen

Vertrauen ist normal im Alltagsleben(!), im Zusammenhang mit Sicherheit in Netzwerken hingegen nicht.

Was ist Vertrauen? Welche Eigenschaften hat es?

- Definition von Gambetta in „can we trust trust?“

  *“**trust** [..] is a particular level of the subjective probability with which an agent assesses that another agent [..] will perform a particular action, both **before** he can monitor such action [..] **and** in a context in which it affects **his own** action [..]”.*

Vereinfacht

- A vertraut B, wenn A davon ausgehen kann, dass B sich erwartungsgemäß verhält
- A vertraut in einen Sachverhalt, wenn es von seiner Korrektheit überzeugt ist

•Quelle: Gambetta, D.G., „Can we trust trust?“, in: D.G. Gambetta (Hrsg.), Trust, Seiten 213-237, Basil Blackwell, New York, 1988.

Eigenschaften von Vertrauen

Vertrauen ist

- subjektiv
- fuzzy (Misstrauen < Ungewissheit < blindes Vertrauen)
- gerichtet (nicht zwangsläufig gegenseitig)
- bedingt transitiv, nimmt bei Transitivität ab
- an Fragestellung gebunden
- Risiko-abhängig
- basiert auf Erfahrungen

Wie Vertrauen in Zertifikate entsteht, wird durch ein Vertrauensmodell beschrieben…

Vertrauensmodelle

- Ein Vertrauensmodell (*trust model*) beschreibt,
  - welchen Zertifikaten ein Benutzer trauen kann,
  - mit welchen Elementen des Modells Vertrauen hergestellt wird,
  - wie dieses Vertrauen eingeschränkt bzw. kontrolliert werden kann.
- Vertrauen basiert meist auf einem oder mehreren Vertrauensankern (*trust anchor*)
  - Ausgangspunkte für die Validierung eines Zertifikats
  - technisch gesehen: selbstsigniertes Zertifikat
- Bei erfolgreicher Validierung überträgt sich das Vertrauen in eine Vertrauensanker in den Inhalt des von ihr ausgestellten Zertifikats (in Bildern: – – →)

•Vertrauensanker: Diese Rolle uebernehmen in der Regel CAs

Selbstsigniertes Zertifikat:

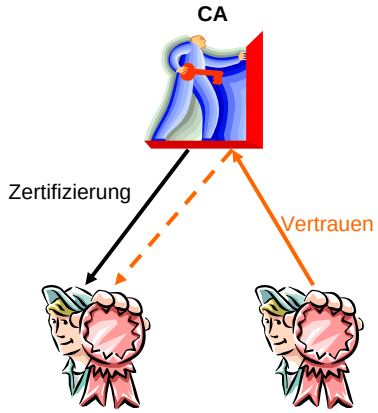
Zertifikat wurde mit dem eignen privaten Schlüssel signiert

Integrität des Zertifikates und Authentizität des öffentlichen Schlüssels selbst ist prüfbar (wenn Signatur korrekt ist)

Authentizität des Zertifikatinhaltes ist nicht verifizierbar und muss über einen anderen Weg sichergestellt werden (z.B. durch persönlichen Kontakt oder Vergleich des Hashwertes des Zertifikates per Telefon)

Modell: Single-CA

- Eine CA erstellt alle Zertifikate, d.h. ist für Registrierung und Zertifizierung zuständig
- Bewertung:
  - ☺ nur ein Vertrauensanker erleichtert Validierung
  - ☹ alle Teilnehmer müssen dieser einen CA trauen
  - ☹ Kompromittierung des CA-Schlüssels hat globale Konsequenzen
  - ☹ CA hat Monopolstellung (politischer bzw. kommerzieller Gesichtspunkt)



Welche Probleme gibt es bei Single-CA mit globaler Abdeckung?

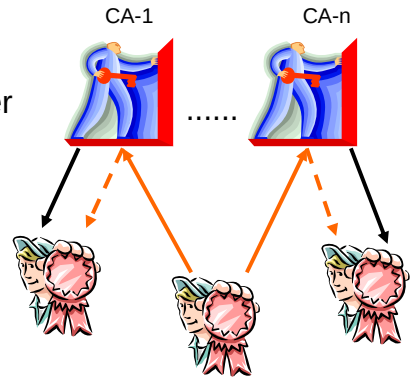
•Probleme bei Single CA mit globaler Abdeckung

- •Welche Organisation käme für aus Vertrauenssicht für die CA in Frage?
- •Aufwand für Zertifizierung? Lösung evtl. Lokale „Ableger“ / Lokale Registration Authorities
- •Qualität der Prüfung der zu verifizierenden Daten? Z.B. Prüfung aller weltweit vorkommenden IDs…
- •Monopolstellung ohne Kontrollinstanz? Wirtschaftliche Auswirkungen!

•Der erste Versuch einer sicheren Internet-Mail-Architektur (PEM) basierte auf einer globalen Single-CA Lösung und ist unter anderem daran gescheitert.

Modell: Oligarchie von CAs

- Zertifizierung durch mehrere CAs:
  → distributed trust architecture
- Bewertung: Wie „Single-CA“, aber
  - ☺ keine Monopolstellung einer CA mehr, Wettbewerb
  - ☺ Kompromittierung hat begrenzte Auswirkung
  - ☹ initiale Prüfung mehrerer CA-Schlüssel
  - ☹ Validierung mittels mehrerer CA-Schlüssel
  - ☹ mehrere CA-Schlüssel müssen geschützt werden
  - ☹ falsche CA einfacher in Software implantierbar



•Begrenzte Auswirkung der Kompromittierung:

- •Vom Widerruf eines CA-Zertifikats sind weniger Benutzer betroffen
- •aber: Mit gestohlenem CA-Schlüssel können Zertifikate für beliebige Benutzer ausgestellt werden (globale Auswirkungen möglich!)

Beispiel: CA-Zertifikate im Firefox

- Welche der folgenden Institutionen haben kein Zertifikat im Firefox Browser (Windows, Version 3.0.8) eingebaut?
  - Go Daddy
  - VeriSign
  - Staat der Nederlanden
  - TURKTRUST
  - AddTrust
  - Microsoft ← einziges Zertifikat, welches nicht im Firefox ist
  - NetLock
  - VISA
  - beTRUSTed
- Welches ist der richtige SHA1-Fingerprint des Entrust-Zertifikats?
  - 99:A6:9B:E6:1A:FE:88:6B:4D:2B:82:00:7C:B8:54:FC:31:7E:15:39
  - FC:31:7E:15:5A:51:BC:8A:7C:B8:DE:F1:00:F1:4D:2B:82:00:54:7A
  - 2B:82:DF:11:99:A6:6D:4A:10:0A:61:AF:FE:9A:AA:8A:7C:31:7E:51

•Alle gelisteten Firmen haben ein Zertifikat im Firefox. Zertifikate von über 60 Firmen werden mit dem Firefox mitgeliefert.

•Die Infos zu allen aktuell ausgelieferten Zertifikaten findet sich hier

•http://lxr.mozilla.org/mozilla/source/security/nss/lib/ckfw/builtins/certdata.txt

•Der erste SHA1-Fingerprint ist der richtige. Quintessenz: da niemand die Fingerprints aufgeschrieben besitzt kann ein User nicht einfach überprüfen, ob die Zertifikate nicht ausgetauscht wurden (z.B. durch einen Virus).

Verbindungsmöglichkeiten zwischen Ankern

- Problem
  - Prüfung eines *fremdsignierten* Zertifikats
- Folgende Möglichkeiten zur Zusammenarbeit mehrerer Vertrauensanker existieren
  - Cross-Certification
  - Certificate Trust List
  - Bridge-CA

•Cross-Certification: Eine CA stellt einer anderen CA ein Zertifikat aus und ermöglicht somit transitive Vertrauensbildung (siehe gleich) in deren Zertifikate.

•Certificate Trust List: Von eigener CA signierte Liste weiterer vertrauenswürdiger CAs, ersetzt Cross-Zertifizierungen

•Bridge-CA: Eine CA, die nach dem „hub and spoke“-Prinzip Vertrauenspfade zwischen zwei CAs herstellt. Somit wird eine Vollvermaschung zwischen CAs vermieden.

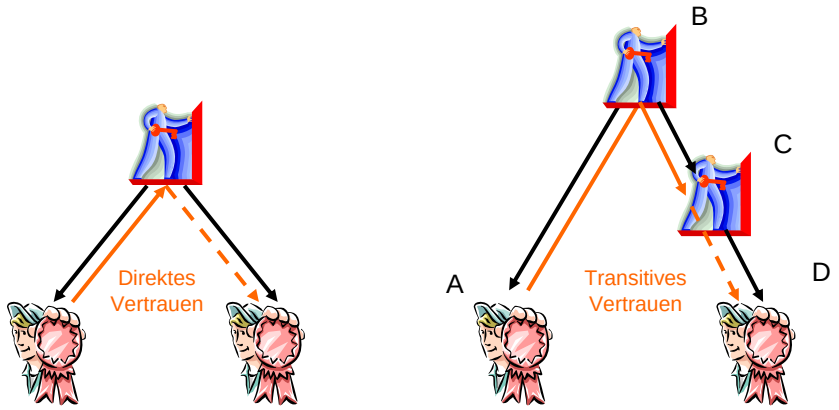
Transitivität von Vertrauen

- Vertrauen
  - bisher basierten alle Modelle auf *direktem Vertrauen*
  - für komplexere Modelle ist jedoch *transitives Vertrauen* notwendig
- Frage: Was ist Transitivität von Vertrauen?
  - wenn A Vertrauen in B (und seine Zertifizierungen) hat, und B Vertrauen in C (und seine Zertifizierungen) hat, so kann A auch C (und seinen Zertifizierungen) vertrauen

→ ist transitives Vertrauen ein *sinnvolles Konzept?*
→ warum bzw. warum nicht?
→ *wieviele Hops* würden Sie zulassen?

- Notwendig für transitives Vertrauen: *Delegierung*

Direktes und transitives Vertrauen

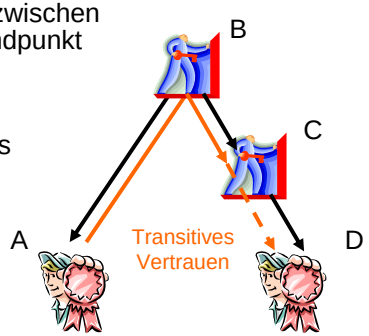


- „Direktes Vertrauen“ ausführlich
  - der Prüfende muss nur der CA und keiner weiteren Instanz mittelbar vertrauen, um den zertifizierten Inhalt prüfen zu können.
- Transitives Vertrauen sinnvoll?
  - Kontra: Komplexität; bei mehreren Hops nicht mehr nachvollziehbar (Vertrauen in eine völlig unbekannte Instanz).
  - Pro: Notwendigkeit, um Vertrauen auch in „weit entfernte“ Teilnehmer herstellen zu können
- Delegierung: Weitergabe des Privileges der Zertifizierung

Validierung bei Transitivität

Bei Transitivität spaltet sich Validierung eines Zertifikats in

- Konstruktion: Zertifikatskette bzw. Zertifikatspfad
  - Ausgangspunkt: Vertrauensanker
  - Endpunkt: zu validierendes Zertifikat
  - Aufgabe: suche nach Zertifikaten, die mittels transitivem Vertrauen einen Pfad zwischen dem Vertrauensanker und dem Endpunkt herstellen
- Validierung der Zertifikatskette
  - Prüfung der Korrektheit des Pfades (Verkettung, Delegierung)
  - Validierung jedes einzelnen Zertifikats



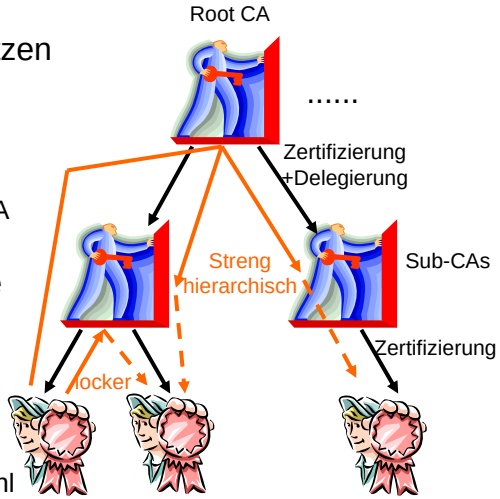
•Probleme bei Zertifikatsketten
  •Pfad evtl. nicht eindeutig
•Beispiel
  •Ausgangspunkt B, Endpunkt D
  •Pfad kann über C hergestellt werden
    •B hat C zertifiziert und hat Zertifizierung an C delegiert
    •C hat D zertifiziert

Weitere Modelle

- Bereits behandelte, nicht-transitive Modelle
  - Single-CA
  - Oligarchie von CAs
- Im Folgenden: komplexere, transitive Modelle
  - Oligarchie von CAs + Delegierung
  - Top-Down
  - Anarchie

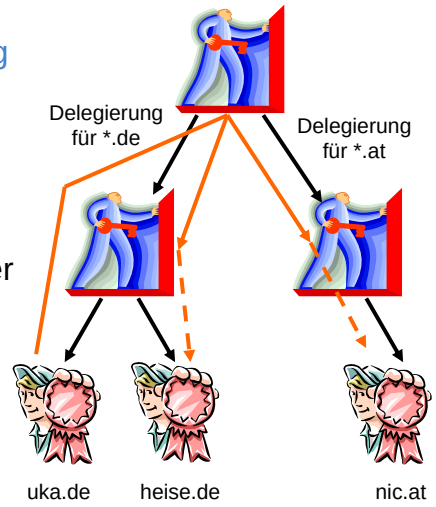
Modell: Oligarchie von CAs + Delegierung

- Delegierung: CAs können untergeordnete CAs einsetzen
- CA-Bezeichnungen
  - Root-CA: Vertrauensanker
  - Parent-CA: direkt übergeordnete CA
  - Sub-CA: untergeordnete CA
- Bewertung: wie „Oligarchie von CAs“, aber
  - ☺ Kompromittierung eines Sub-CA-Schlüssels hat beschränkteren Wirkungsbereich
  - ☺ Skalierbarkeit
  - ☹ höhere CA-Schlüsselanzahl
  - ☹ Validierung aufwändiger



Modell: Top-Down

- Single-CA mit Delegation und Einschränkung der Delegierung auf Teilbereich eines hierarchischen Namensraums (name subordination)
  - Beispiele: DNS oder X.500
- Bewertung: wie Single-CA, aber
  - ☺/☹ Delegation (siehe letztes Modell)
  - ☺ kontrollierte Delegation
  - ☹ Validierung des ganzen Pfades (nie One-Hop)



•Lockere Vertrauensbildung: Vertrauenspfad muss nicht über Root-CA, sondern kann auch über eine Parent-CA verlaufen

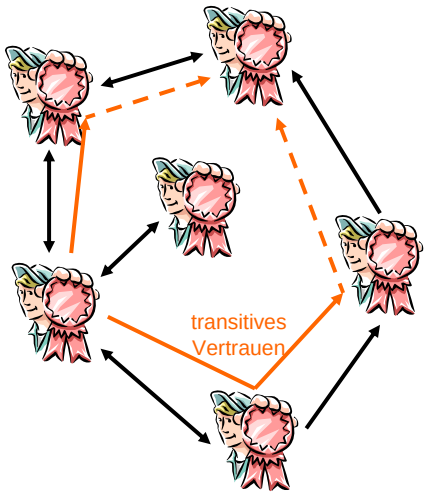
•Strikte Vertrauensbildung: Vertrauenspfad muss über Root-CA verlaufen.

•Beachte: Auch hier kann ein gestohlener Schlüssel globale Auswirkungen haben (auch, wenn die betroffene CA wenige Kunden hat; vgl. Oligarchie ohne Delegierung)

Modell: Anarchie

Jeder Benutzer ist eine CA und kann je nach Vertrauen eingesetzt werden (auch transitiv)

- Bewertung:
  - ☺ Auswirkung bei Kompromittierung beschränkt
  - ☹ alle Schlüssel sind CA-Schlüssel
  - ☹ Skalierbarkeit
  - ☹ keine einheitliche Zertifizierungspolitik, somit Transitivität von Vertrauen problematisch
  - ☹ Zertifizierungen schwer kontrollier- bzw. einschränkbar



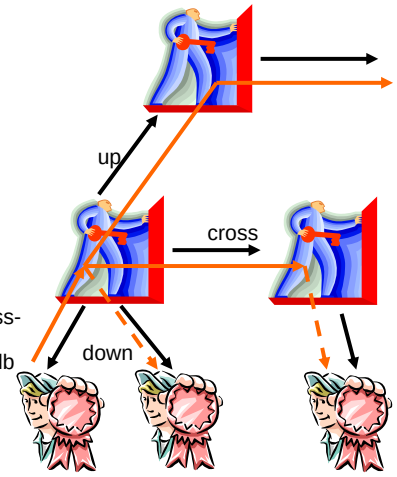
•Negativ-Faktoren in Bezug auf Skalierbarkeit:

- •Hohe Anzahl von Signaturen
- •Pfadfindung schwer, da nicht eindeutig

Modell: Up-Cross-Down

- Jeder Knoten kann 3 Typen von Zertifikaten besitzen:
  - ***Down***: Zertifikat eines Kindknoten
  - ***Up***: Zertifikat des Elternknotens
  - ***Cross***: Zertifikat eines beliebigen anderen Knotens

- Bewertung von „Up-Cross-Down“
  - ☺ Teilbäume sind unabhängig, funktionieren auch ohne Vaterknoten
  - ☺ keine Root-CA als globalen Single Point of Failure
  - ☺ lose Kopplung von Teilbäumen mittels Cross-Zertifikate möglich
  - ☺ Kompromittierung von Zertifikaten außerhalb eines Teilbaumes beeinflussen nicht die Sicherheit zwischen Knoten im Teilbaum
  - ☹ Unkontrolliert
  - ☹ Komplexere Prüfoperation, Pfadfindung
  - ☹ Anzahl der Zertifikate

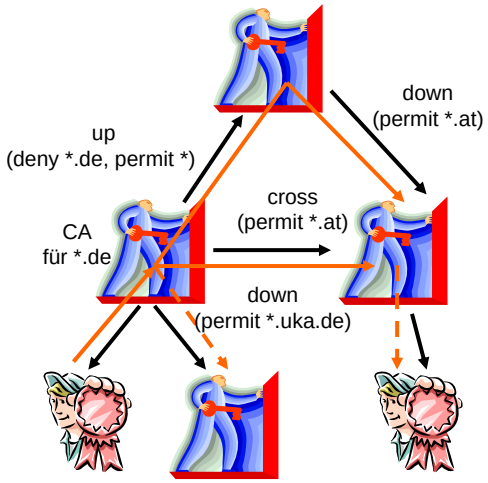


•Verifikation

- •Up: so weit aufsteigen wie nötig
- •Cross: Übergang in den Ziel-Teilbaum
- •Down: bis zum Ziel

Modell: Flexibles Bottom-Up

- Wie Up-Cross-Down, aber kontrollierter durch name constraints
  - permit/deny schränken den delegierten Namensraum beliebig flexibel ein
  - kein eindeutiger Pfad, sondern mehrere mögliche Pfade



- Bewertung von „ Flexibles Bottom-Up“
  - ☺ sehr flexibles Modell
  - ☺ hohes Maß an Kontrolle
  - ☹ Skalierbarkeit aufgrund mehrerer Pfade

Zusammenfassung Modelle

- Abschließende Bewertung
  - Single-CA nur in kleinen Umgebungen realisierbar, sonst Oligarchie
  - Skalierbarkeit durch Verteilung/Delegierung möglich
  - Anarchie leicht einsetzbar, aber schwer kontrollierbar
- Implementierung des gewünschten Vertrauensmodells über einen technischen Zertifikats-Standard
  - **X.509** (siehe Abschnitt PKI)
  - **PGP** (siehe Abschnitt über PGP-Mail)

Aus der Praxis

- Bisher präsentiert: Vertrauensmodelle
  - mit binären Vertrauensentscheidungen
    - Alice vertraut Bob voll oder gar nicht
      - ist das eine sinnvolle Modellierung?
      - lassen sich Zwischenstufen finden?
    - Abweichende Lösung: PGP-Vertrauensmodell
    - Zwischenweg: Beispiel EV-SSL-Zertifikate
  - die sich nur auf Identitäten beziehen
    - Wiederum: PGP-Vertrauensmodell weicht ab
  - die direkt in Zertifikaten abgebildet sind
    - Alice vertraut Bob ⇔ Alice stellt Bob Zertifikat aus

•Binäre Vertrauensentscheidungen sinnvoll?

•Pro

•geringe Komplexität

•Contra

•bildet die Realität nicht unbedingt ab (z.B. Prüfungsintensität durch CA)

•Einführung von EV-SSL-Zertifikaten zeigt: Nachträgliches Einfügen unterschiedlicher Vertrauensstufen in ein Modell, dass dies nicht vorsieht (also scheint Bedarf für Vertrauensabstufungen vorhanden zu sein!). Konzept: Zwei Vertrauensstufen (normal, extended validation). Aus technischer Sicht bestätigt die CA lediglich im Zertifikat, dass sie eine „erweiterte Überprüfung“ vorgenommen hat.

Literatur

Buch (wie auch für das vorige Kapitel)

- Carlisle Adams, Steve Lloyd: Understanding PKI, Addison Wesley, 2003

Artikel:

- R. Perlman: An Overview of PKI Trust Models, IEEE Network 13(6):38-43, 1999.
  - Wie der Titel sagt: Überblick über (theoretische und praktisch eingesetzte) Vertrauensmodelle.
- PKI-Forum: CA-CA Interoperability, 2001
  - online verfügbar

•CA-CA Interoperability: http://www.apectelwg.org/apecdata/telwg/23tel/estg/estg_11.pdf (siehe auch voriges Kapitel)