IT-Sicherheit

- Sicherheit vernetzter Systeme -

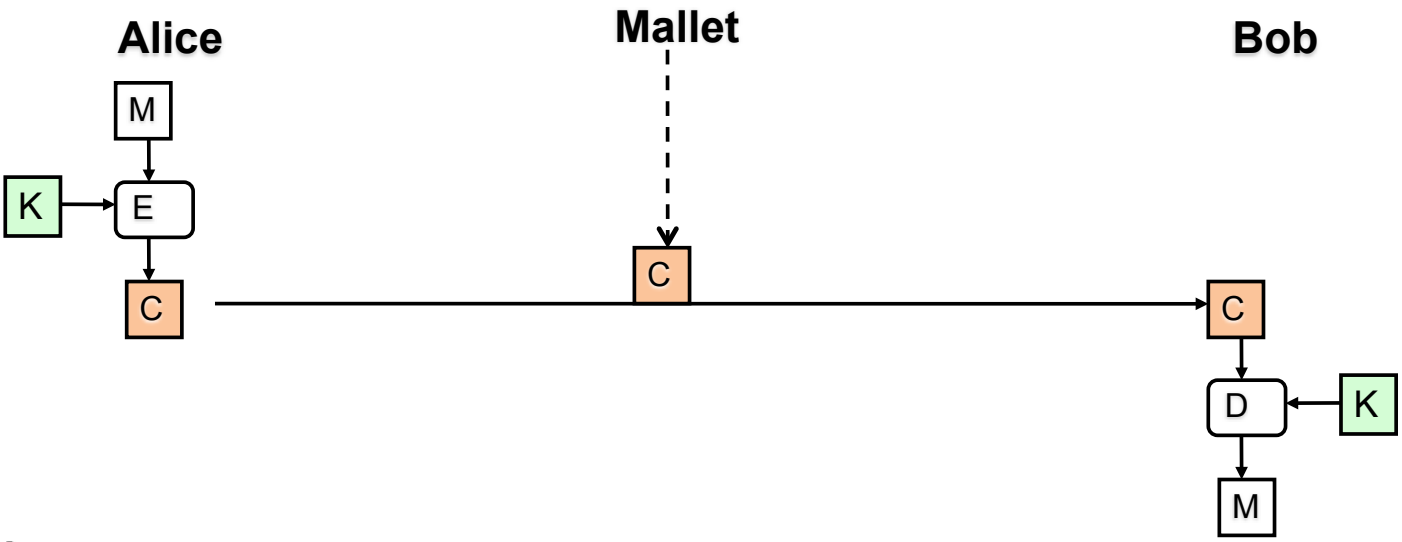
Kapitel 8: Sicherheitsmechanismen

Inhalt

1. Vertraulichkeit
2. Integritätssicherung
3. Authentisierung
   1. Peer Entity / Benutzer
      - Paßwort, Einmalpasswort, Biometrie
   2. Datenursprung
      - Verschlüsselung
      - Message Authentication Code (MAC) und Hashed MAC (HMAC)
   3. Authentisierungsprotokolle
      - Needham Schröder
      - Kerberos
4. Autorisierung und Zugriffskontrolle
   - Mandatory Access Control (MAC)
   - DAC
5. Identifizierung

Vertraulichkeit (Confidentiality)

- Schutz der Daten vor unberechtigter Offenlegung
- Wie kann Vertraulichkeit realisiert werden?
  - Durch Verschlüsselung (Encryption)
  - Mallet kann Chiffrentext **nicht** nutzen



Inhalt

1. Vertraulichkeit
2. Integritätssicherung
3. Authentisierung
   1. Peer Entity / Benutzer
      - Paßwort, Einmalpasswort, Biometrie
   2. Datenursprung
      - Verschlüsselung
      - Message Authentication Code (MAC) und Hashed MAC (HMAC)
   3. Authentisierungsprotokolle
      - Needham Schröder
      - Kerberos
4. Autorisierung und Zugriffskontrolle
   - Mandatory Access Control (MAC)
   - DAC
5. Identifizierung

Integrität

- Erkennung von Modifikationen, Einfügungen, Löschungen, Umordnung, Duplikaten oder Wiedereinspielung von Daten
- Wie kann Integrität realisiert werden?
  - Modifikation, Einfügung, Löschung, Umordnung?
  - Kryptographischer Hash-Wert über die Daten
  - Duplikate, Wiedereinspielung von Daten?
  - Kryptographischer Hash-Wert + „gesicherte“ Sequenznummern und/oder Zeitstempel
- Verschlüsselung ein Mechanismus zur Integritätssicherung?
  - In Allgemeinheit: **NEIN, „**Blinde“ Modifikation des Chiffrentextes möglich
  - Abhängig vom Verschlüsselungsverfahren und den Daten kann es passieren, dass die Veränderung **nicht** automatisch erkannt wird
  - Auch mit semantischem Wissen kann Veränderung unbemerkt bleiben
  - Unwahrscheinliches aber mögliches Bsp.: Angreifer kippt Bit in verschlüsselter Überweisung; Entschlüsselung liefert 1000 statt 10 €

Angriff auf Mechanismen zur Integritätssicherung

- Angreifer verändert unbemerkt Daten **und** Hash-Wert
- Deshalb: Hash-Wert und ggf. Sequenznummern müssen vor Veränderungen geschützt werden
  - Sequenznummern oder Timestamp als Teil der geschützten Daten werden (automatisch) durch Hash geschützt
  - Sequenznummern im Protokoll-Header sind gesondert (durch Hash) zu schützen
  - Hash selbst wird z.B. durch Verschlüsselung geschützt
    - In diesem (Spezial-)Fall ist Verschlüsselung eine Möglichkeit zur Integritätssicherung
    - Bei verschlüsselten Hashes lassen sich „blinde“ Veränderungen am Chiffrentext automatisch erkennen
    - Übertragen wird < m, E(H(m)) >
    - Test beim Empfänger: Ist D(E(H(m))) gleich dem selbst berechneten Wert von H(m)

Inhalt

1. Vertraulichkeit
2. Integritätssicherung
3. Authentisierung
   1. Peer Entity / Benutzer
      - Paßwort, Einmalpasswort, Biometrie
   2. Datenursprung
      - Verschlüsselung
      - Message Authentication Code (MAC) und Hashed MAC (HMAC)
   3. Authentisierungsprotokolle
      - Needham Schröder
      - Kerberos
4. Autorisierung und Zugriffskontrolle
   - Mandatory Access Control (MAC)
   - DAC
5. Identifizierung

Authentisierung: Arten

- Authentisierung wird unterschieden in:
  1. Authentisierung des Datenursprungs
  2. Benutzerauthentisierung
  3. Peer Entity Authentisierung
  - Weitere Unterteilung von 2. und 3.
    - Einseitig oder
    - Zwei- bzw. mehrseitige Authentisierung

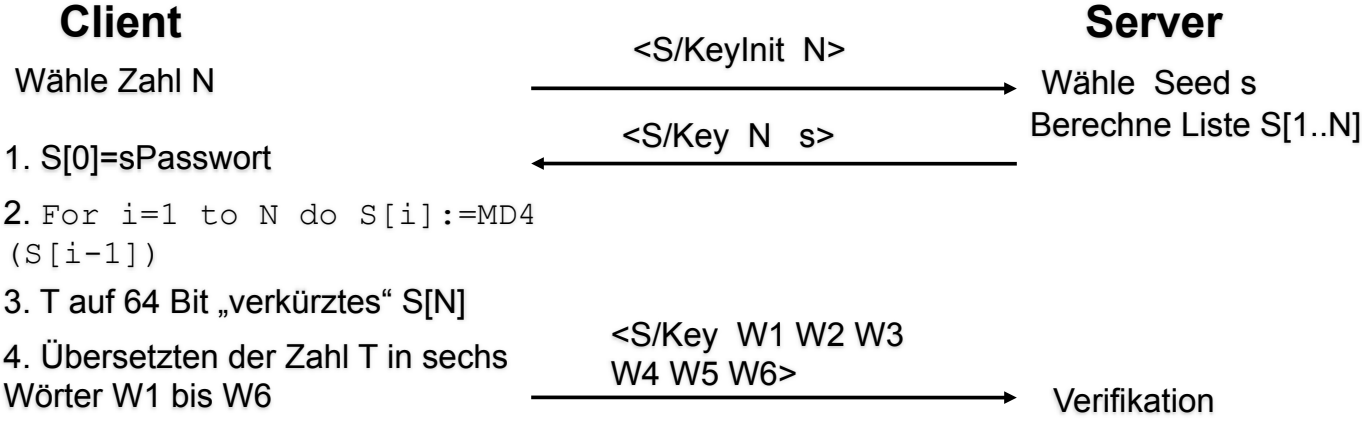
- Grundsätzliche Möglichkeiten zur Authentisierung:
  1. Wissen (Something you know)
  2. Besitz (Something you have)
  3. Persönliche Eigenschaft (Something you are)
  4. Kombinationen aus 1. – 3.

Benutzerauthentisierung

- Wissen
  - Passwort, Passphrase (Unix Passwort Verfahren, vgl. Kap. 3)
  - Einmal-Passwort
  - PIN
  - .....
- Besitz
  - Smart Card, Token, („physikalischer“) Schlüssel
  - Kryptographischer Schlüssel
- Eigenschaft
  - Biometrie:
    - Fingerabdruck
    - Stimmerkennung
    - Gesichtserkennung
    - Iris-Scan
    - Hand-Geometrie; Venenbild der Hand
    - Behavioral Biometrics, z.B.
      - Anschlags- oder Andruck-Charakteristik beim Schreiben
      - Lippenbewegungen

Einmal-Passwort Verfahren: S/Key

- Authentisierungsserver kennt Passwort des Benutzers



- Bei nächster Authentisierung wird S[N-1] verwendet, dann S [N-2], usw.
- Entwickelt von Bellcore [RFC 1760]

S/Key

- Verkürzungsfunktion
  - T := S[N] (128 Bit lang)
    T[0-31] := T[0-31] XOR T[64-95]
    T[32-63] := T[32-63] XOR T[96-127]
  - Weiter verwendet wird T[0-63]
- Eingabe einer 64 Bit Zahl ist fehleranfällig, daher
- Übersetzungsfunktion für T
  - Ergebnis 6 kurze (1 bis 4 Zeichen lange) englische Wörter
  - Wörterbuch mit 2048 Wörtern
  - Je 11 Bit von T liefern - als Zahl interpretiert - die Adresse des Wortes
  - Bsp. für einen solchen „Satz“: FORT HARD BIKE HIT SWING

OTP (One Time Password System)

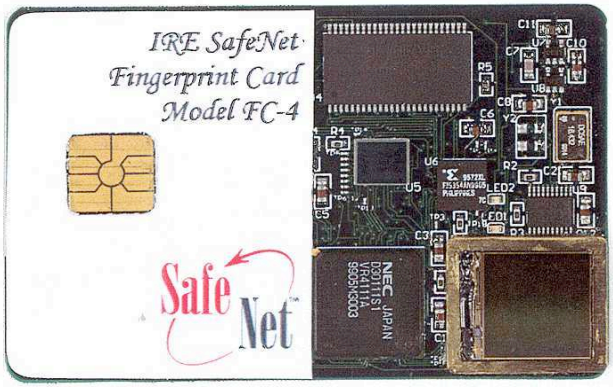
- Entwickelt von Bellcore [RFC 2289] als Nachfolger für S/Key
- Schutz vor Race Angriff:
  - S/Key erlaubt mehrere gleichzeitige Sessions mit einem Passwort
  - Angreifer kann abgehörtes Passwort für kurzen Zeitraum nutzen (Replay Angriff)
- Jede Anmeldung mit OTP braucht eigenes One-Time Passwort
- Sonst nur marginale Änderungen
- Unterstützt verschiedene Hash-Funktionen (MD4, MD5, SHA,..)
- Akzeptiert Passwort auch in Hex Notation
- Passwort muss mind. 10 und kann bis 64 Zeichen lang sein
- Verwendung von IPSec wird „empfohlen“

Angriffe auf S/Key und OTP

- Dictonary Attack:
  - Alle Nachrichten werden im Klartext übertragen, z.B.
    <S/Key 99 12745> <S/Key A GUY SWING GONE SO SIP>
  - Angreifer kann mit diesen Informationen versuchen Passwort des Benutzers zu brechen, z.B.:
    Wort 1: Automobile: BAD LOST CRUMB HIDE KNOT SIN
    Wort k: wireless-lan: A GUY SWING GONE SO SIP
  - Daher empfiehlt OTP die Verschlüsselung über IPSec
- Sicherheit hängt essentiell von der Sicherheit des gewählten Passwortes ab
- Spoofing Angriff:
  - Angreifer gibt sich als Authentisierungs-Server aus
  - Damit Man-in-the Middle Angriff möglich
  - Auch hier: OTP empfiehlt die Verwendung von IPSec zur Authentisierung des Servers

Authentisierung: Smart Cards

- Klassifikation und Abgrenzung:
  1. Embossing Karten (Prägung auf der Karte, z.B. Kreditkarte)
  2. Magnetstreifen-Karten; nur Speicherfunktion (alte EC-Karte)
  3. Smart Card (eingebettete Schaltung):
     - Speicherkarten
     - Prozessor-Karten
     - Kontaktlose Karten

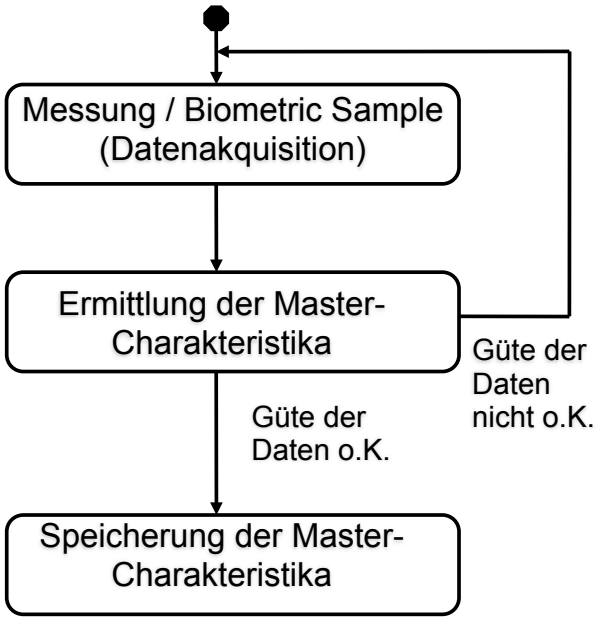


- Bsp.: Prozessor Karte mit Fingerabdruck-Sensor

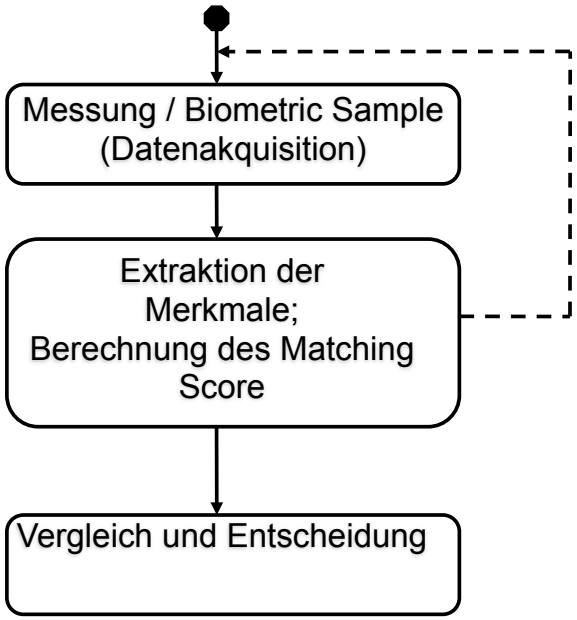
- Zugangsdaten werden auf Karte gespeichert oder erzeugt
  - Schutz der Daten ggf. durch Paßwort und/oder Verschlüsselung

Biometrie: allgemeines Vorgehen

- Initialisierung des Systems pro Nutzer
  - Viele Messungen möglich

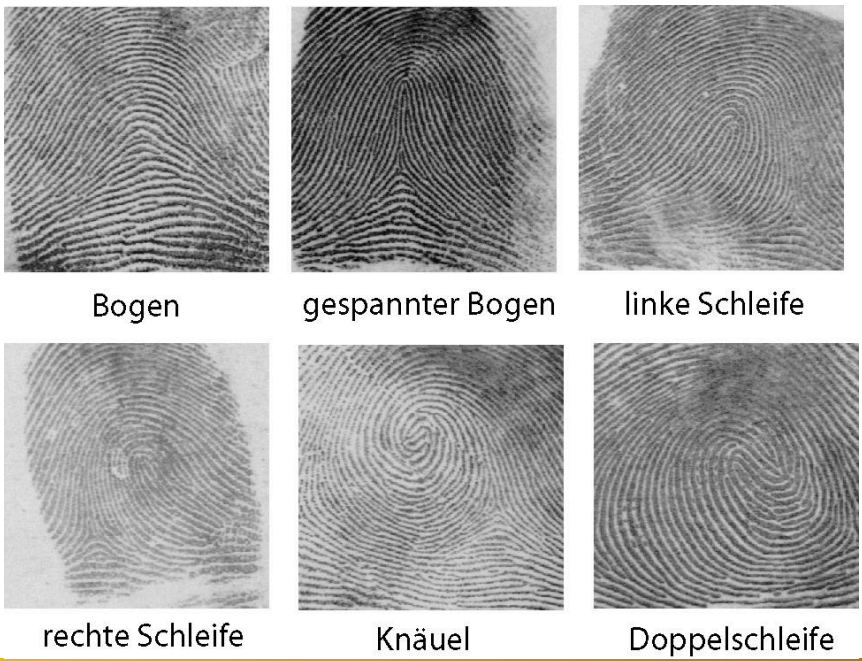


- Authentisierung
  - I.d.R. nur eine Messung möglich



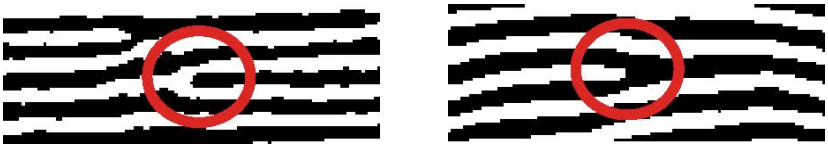
Biometrie am Bsp. Fingerabdruck

- Identifikation anhand des Fingerabdrucks hat lange Geschichte
- Merkmale von Fingerabdrücken sind gut klassifiziert
  Bsp. aus [KaJa96]



Fingerabdruck: Merkmalsextraktion

- Die vorgestellten Klassen lassen sich leicht unterscheiden
- Extraktion sogenannter Minuzien (Minutiae):
  - Repräsentation basierend auf charakteristischen Rillenstrukturen
  - Problem der Invarianz bei unterschiedlicher Belichtung oder unterschiedlichem Druck
    Folgende Beispiele sind äquivalent (entstanden durch untersch. Druck)

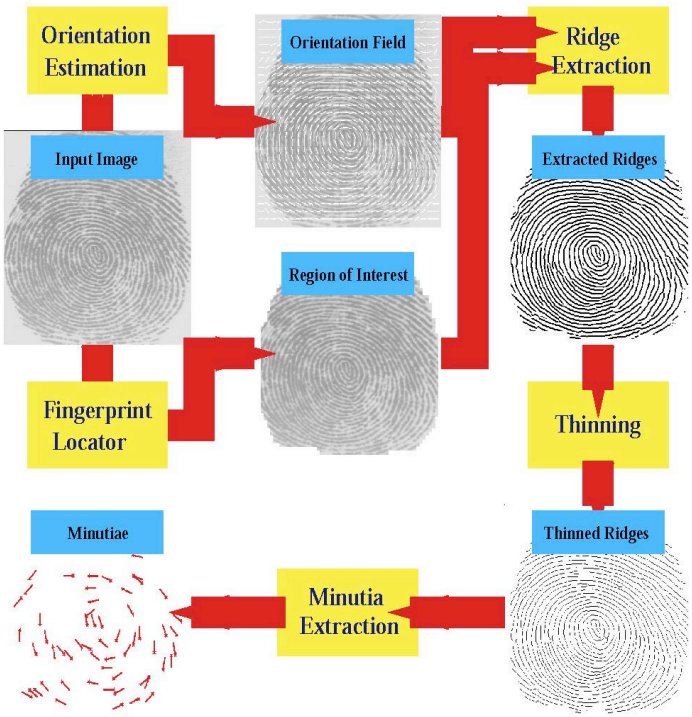


Rillen-Ende Rillen-Verzweigung

  - Solche äquivalente Rillenstrukturen werden zu einer Minuzie zusammen-gefasst
- Merkmale: Lage der Minuzien
  - Absolut bezüglich des Abdrucks, Relativ zueinander
  - Orientierung bzw. Richtung

Fingerabdruck: Minutiae Extraktion

- Algorithmus: Beispiel aus [JHPB 97]

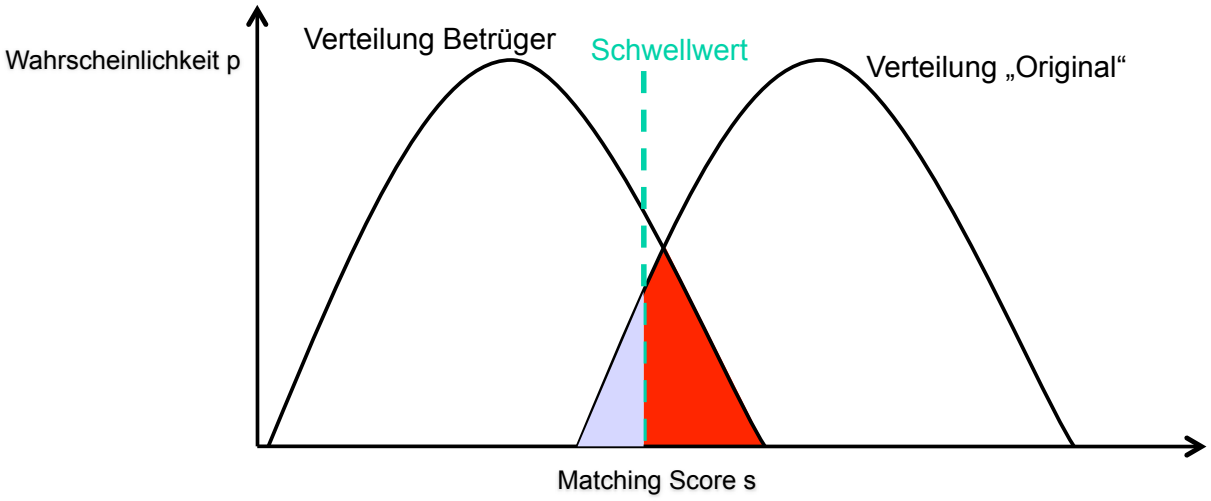


Fingerabdruck: Angriffe

- Sicherheit hängt auch von der Art des Sensors ab
  - Optische Sensoren (Lichtreflexion)
  - Kapazitive Sensoren (elektrische Leitfähigkeit, Kapazität)
  - Temperatur, Ultraschall,.....
- Optische Sensoren können einfach „betrogen“ werden [MaMa 02, Mats 02]
  - Finger-Form mit Hilfe von warmem Plastik abnehmen
  - Form mit Silikon oder Gummi ausgießen
  - Gummi-Finger verwenden
  - Akzeptanzrate bei vielen optischen Sensoren über 80 %
  - Finger-Form kann auch mit einem Fingerabdruck auf Glas erzeugt werden, d.h. der „Original-Finger“ ist **nicht** erforderlich
- Kapazitive Sensoren weisen Gummi Finger i.d.R. zurück
- Verbesserung durch kombinierte Sensoren

Biometrischen Authentisierung: Fehlerarten

- Biometrische Systeme sind fehlerbehaftet
- Fehlerarten:
  1. Falsch Positiv (Mallet wird als Alice authentisiert)
  2. Falsch Negativ (Alice wird nicht als Alice identifiziert)
- Fehler sind abhängig von Schwellwerteinstellungen



Biometrische Authentisierung: Fehlerraten

- Abschätzung der Fehlerraten:
  N: Anzahl der Identitäten
  FP: Falsch Positiv
  FN: Falsch Negativ
- Es gilt [PPK03]:

$$FN(N) \cong FN$$

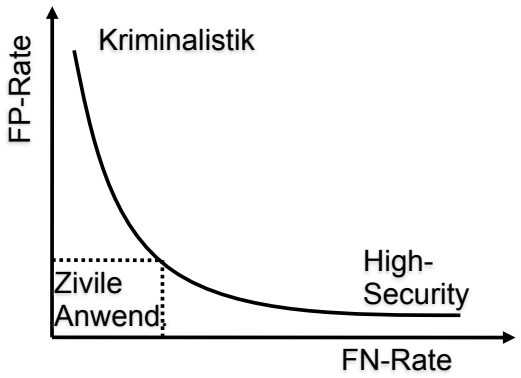
$$FP(N) \cong 1 - (1 - FP)^N \cong N \times FP$$

  falls

$$N \times FP < 0,1$$

- Anwendungsbeispiel:
  - N = 10.000
  - FP = 0,00001
  - Damit FP(N) = 0,1
  - D.h. Fehlerrate von 10 %; Angreifer probiert seine 10 Finger und hat nennenswerte Chance

- Fehlerraten, bzw. Einstellung der Schwellwerte abhängig vom Anwendungsszenario



- Platzierung von Anwendungen?
  - Hohe Sicherheitsanforderungen
  - Kriminalistische Anwendungen
  - "Zivile" Anwendungen

Benutzerauthentisierung: multimodale Systeme

- Sicherheit läßt sich durch multimodale Systeme deutlich erhöhen
- Multimodale Systeme kombinieren versch. Verfahren

	Wissen	Besitz	Biometrie
Wissen			
Besitz			
Biometrie			

- Auch verschiedene biometrische Verfahren lassen sich kombinieren:
  - Erhöhung der Sicherheit
  - Verringerung der Fehlerraten
  - Z.B. Verwendung von mehr als einem Finger

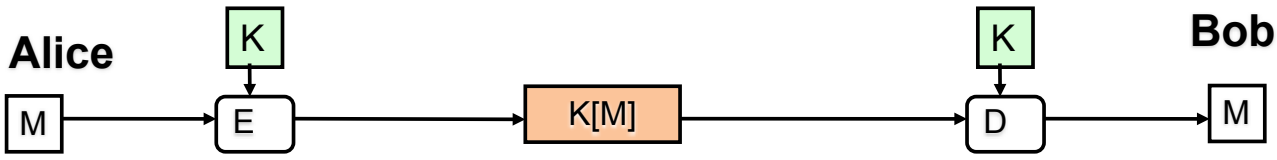
Authentisierung des Datenursprungs

- Möglichkeiten zur Authentisierung des Datenursprungs bzw. zur Peer-Entity-Authentication:

1. Verschlüsselung der Nachricht (Authentisierung erfolgt mittelbar durch Wissen, d.h. Kenntnis des Schlüssels)
2. Digitale Signatur
3. Message Authentication Code (MAC)
   MAC = Hashverfahren + gemeinsamer Schlüssel
4. Hashed Message Authentication Code (HMAC)

- Kombinationen der angegebenen Verfahren

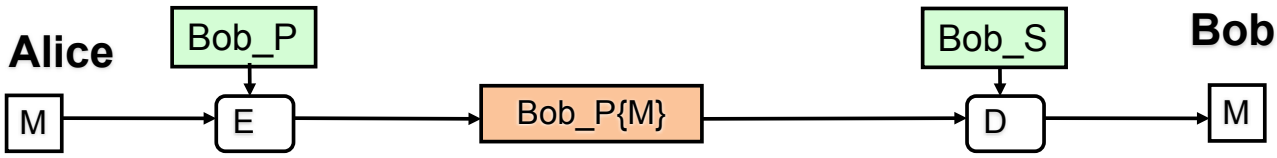
Authentisierung durch symm. Verschlüsselung



- Merkmale:
  - Authentisierung des Datenursprungs (Nachricht kann nur von Alice stammen)
  - Bob wird nicht explizit authentisiert, aber nur Bob kann Nachricht nutzen
  - Vertraulichkeit der Daten (nur Alice und Bob kennen K)

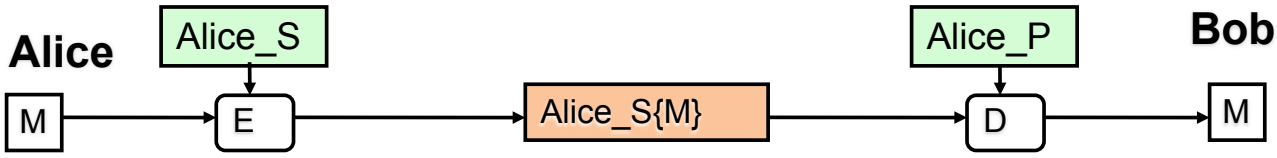
- „Nachteile“:
  - Sender kann die Sendung leugnen
  - Alice / Bob können Zugang / Empfang nicht beweisen

Authentisierung durch asym. Verschlüsselung



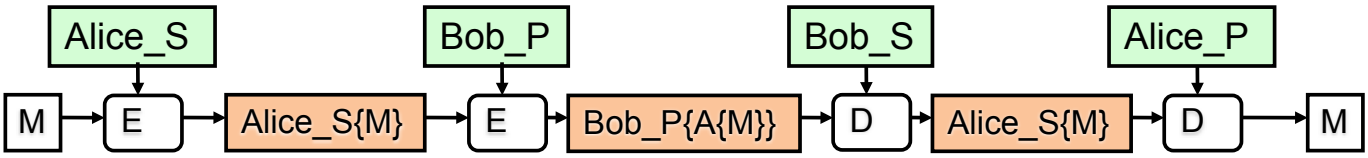
- Merkmale:
  - Bob wird nicht explizit authentisiert, aber nur Bob kann Nachricht nutzen
  - Vertraulichkeit der Daten (nur Bob kennt seinen privaten Schlüssel)
  - KEINE Authentisierung des Datenursprungs (Jeder kann senden)
  - Sender kann die Sendung leugnen
  - Alice / Bob können Zugang / Empfang nicht beweisen

Authentisierung: digitale Signatur



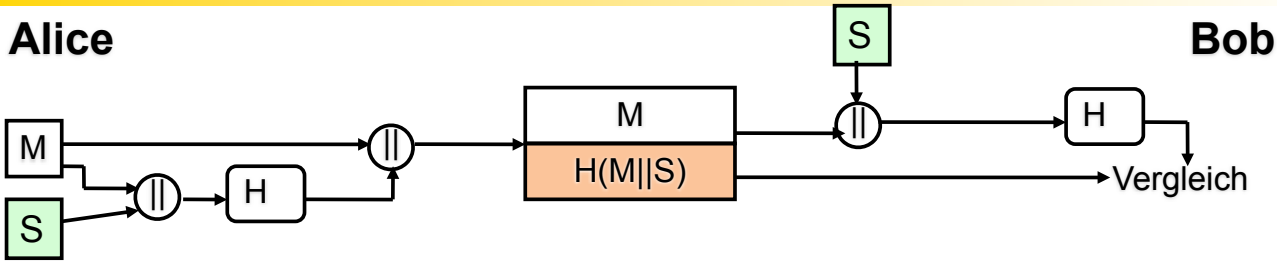
- Merkmale:
  - Authentisierung des Datenursprungs (Nachricht kann nur von Alice stammen, nur Alice kennt ihren geheimen Schlüssel)
  - Jeder kann Signatur verifizieren (auch ohne Mithilfe von Alice)
  - Alice kann Sendung nicht leugnen
  - Bob wird nicht authentisiert
  - Keine Vertraulichkeit (Jeder kann Nachricht lesen, jeder „kennt“ öffentlichen Schlüssel von Alice)
  - Alice kann Zugang nicht beweisen

Authentisierung: asym. Verschlüsselung + Signatur



- Merkmale:
  - Authentisierung des Datenursprungs
  - Nur Bob kann Nachricht nutzen
  - Vertraulichkeit der Daten
  - Vertraulichkeit der Signatur
  - Alice kann Sendung nicht leugnen
- Operationen für Signatur und asymmetrische Verschlüsselung sind „teuer“
- Alice kann Zugang nicht beweisen
- Bei allen Verfahren bisher, **keine** Integritätssicherung

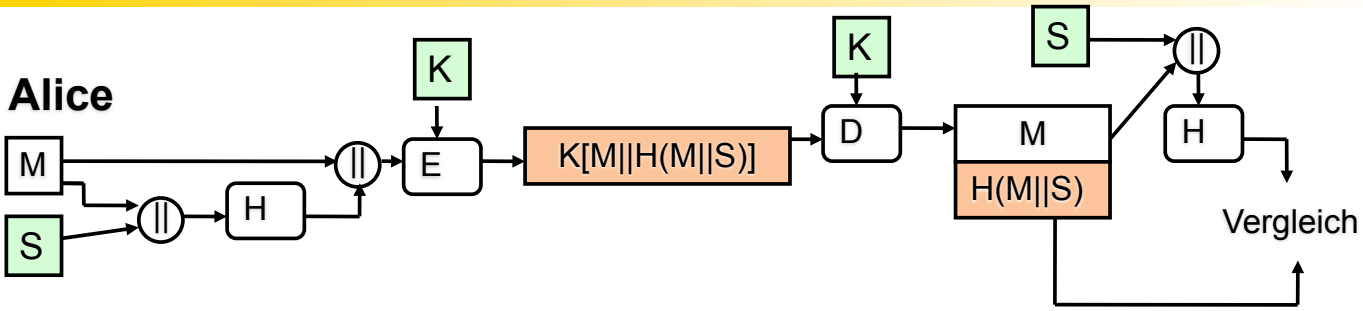
Verwendung von Hash-Fkt. zur Authentisierung



- Authentisierung des Datenursprungs (durch „Geheimnis“ S)
  - Nachricht wird mit S konkateniert und dann der Hash berechnet
- (Daten-) Integrität (durch Hash)

- Keine Vertraulichkeit, jeder kann M lesen
- Alice kann Sendung leugnen
- Alice/Bob können Zugang / Empfang nicht beweisen

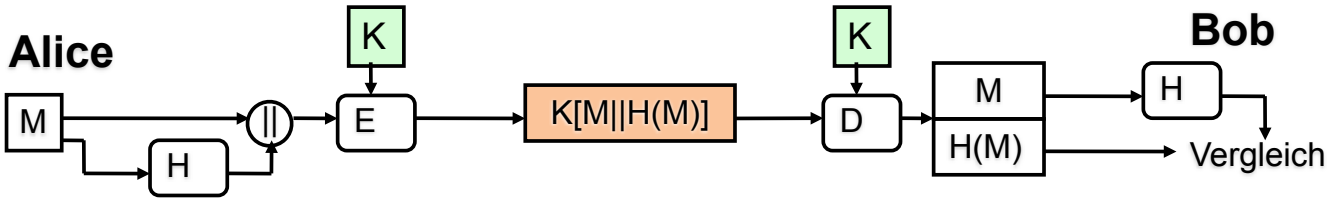
Verwendung von Hash-Fkt. zur Authentisierung



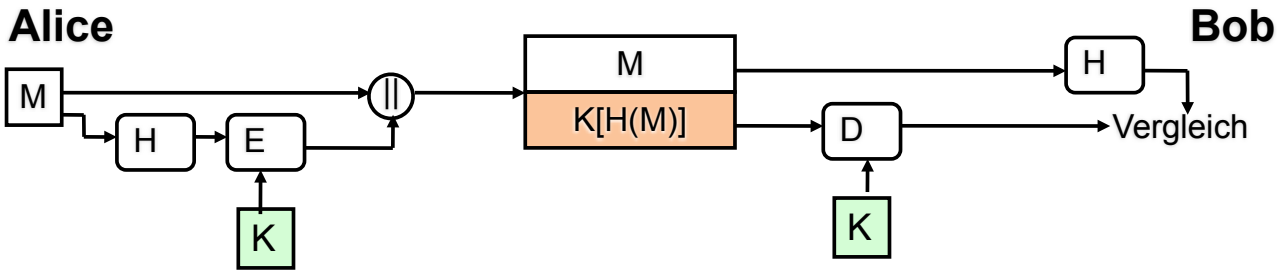
- Zusätzlich Vertraulichkeit durch Verschlüsselung

- Alice kann Sendung leugnen
- Alice/Bob können Zugang / Empfang nicht beweisen

Verwendung von Hash-Fkt. zur Authentisierung

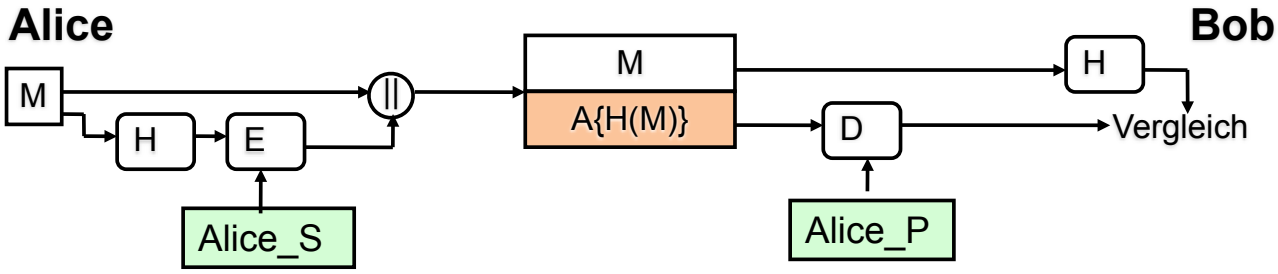


- Authentisierung des Datenursprungs (durch Schlüssel K)
- Vertraulichkeit
- Integrität



- Authentisierung und Integrität, keine Vertraulichkeit

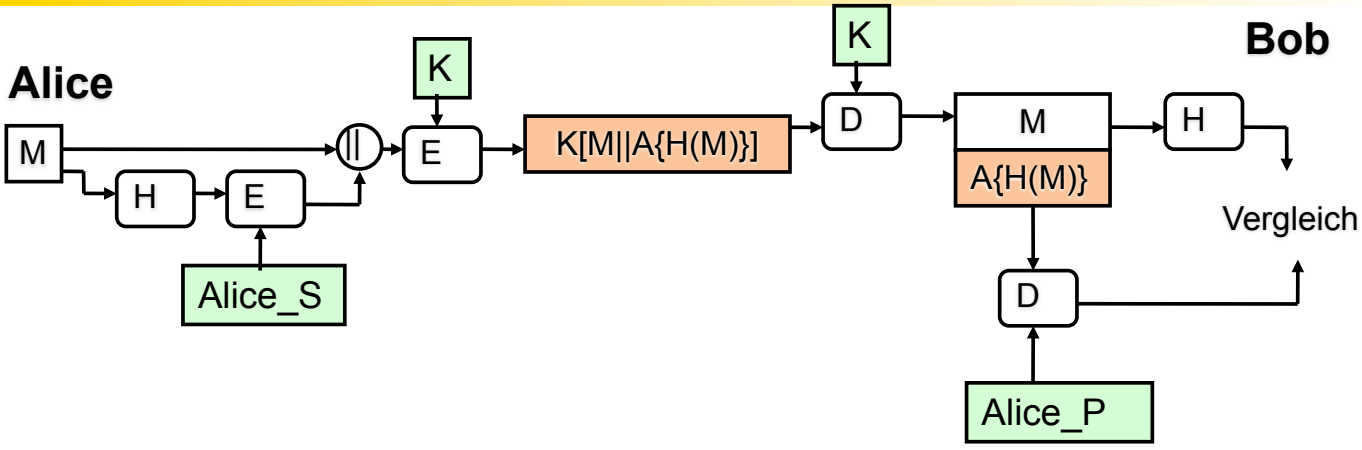
Verwendung von Hash-Fkt. zur Authentisierung



- Authentisierung des Datenursprungs durch digitale Signatur
  - Alice signiert Hash
- (Daten-) Integrität (durch Hash)

- Keine Vertraulichkeit, jeder kann M lesen
- Alice kann Zugang nicht beweisen

Verwendung von Hash-Fkt. zur Authentisierung

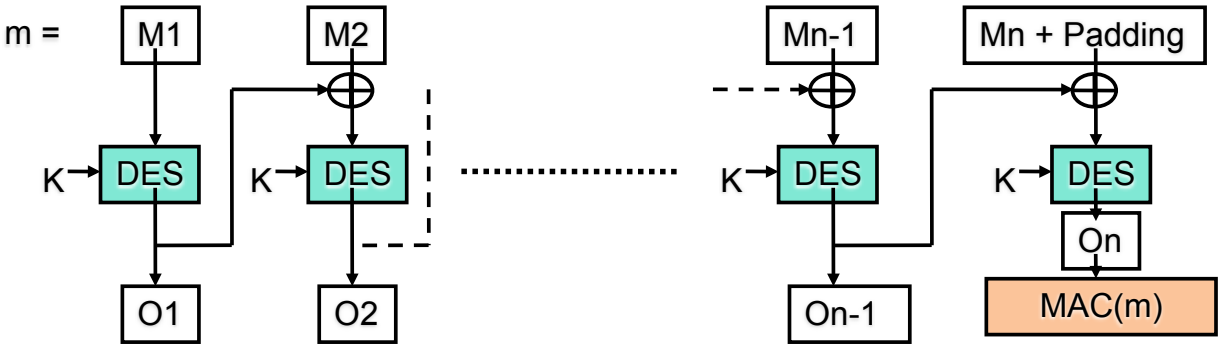


- Zusätzlich Vertraulichkeit durch (symmetrische) Verschlüsselung
- Am häufigsten verwendetes Verfahren

- Alice kann Zugang nicht beweisen

Authentisierung: MAC

- Message Authentication Code (MAC)
- Idee: Kryptographische Checksumme wird mit Algorithmus A berechnet, A benötigt einen Schlüssel
- MAC = A(M,K)
- Authentisierung über Schlüssel K (kennen nur Alice und Bob)
- Beispiel?



- DES im CBC Mode

Sicherheit von MACs

- Wie kann der MAC angegriffen werden?
- Brute force:
  - MAC ist n-Bit lang, Schlüssel K ist k Bit lang mit k > n
  - Angreifer kennt Klartext m und MAC(m,K)
  - Für alle Ki berechnet der Angreifer MAC(m,Ki) = MAC(m,K)
  - D.h. der Angreifer muss 2^k MACs erzeugen
  - Es existieren aber nur 2^n verschiedene MACs (2^n < 2^k)
  - D.h. mehrere Ki generieren den passenden MAC (2^(k-n) Schlüssel)
  - Angreifer muß den Angriff iterieren
    1. Runde liefert für 2^k Schlüssel ca. 2^(k-n) Treffer
    2. Runde liefert für 2^(k-n) Schlüssel 2^(k-2n) Treffer
    3. Runde liefert .... 2^(k-3n) Treffer
  - Falls k < n liefert die erste Runde bereits den korrekten Schlüssel

Hashed MAC (HMAC)

- Gesucht: MAC der **nicht** symm. Verschlüsselung sondern kryptographische Hash-Funktion zur Kompression verwendet
  - Hashes wie SHA sind deutlich schneller wie bspw. DES
- Problem: Hash-Funktionen verwenden keinen Schlüssel
- Lösung HMAC
  - Beliebige Hash-Funktion H verwendbar, die auf (Input) Blöcken arbeitet
  - Sei b die Blocklänge
  - Beliebige Schlüssellänge K mit |K| <= b verwendbar
  - Falls |K| < b:
    - Auffüllen mit 0 Bytes bis |K+| = b; d.h. K+ = K||0....0
  - Schlüssel wird mit Input- (`ipad`) bzw. Output-Pattern (`opad`) XOR verknüpft
    - `ipad` = 0x36 b mal wiederholt
    - `opad` = 0x5c b mal wiederholt

HMAC Algorithmus

$$HMAC(m) = H\Big[(K^+ \oplus opad)||H[(K^+ \oplus ipad)||m]\Big]$$

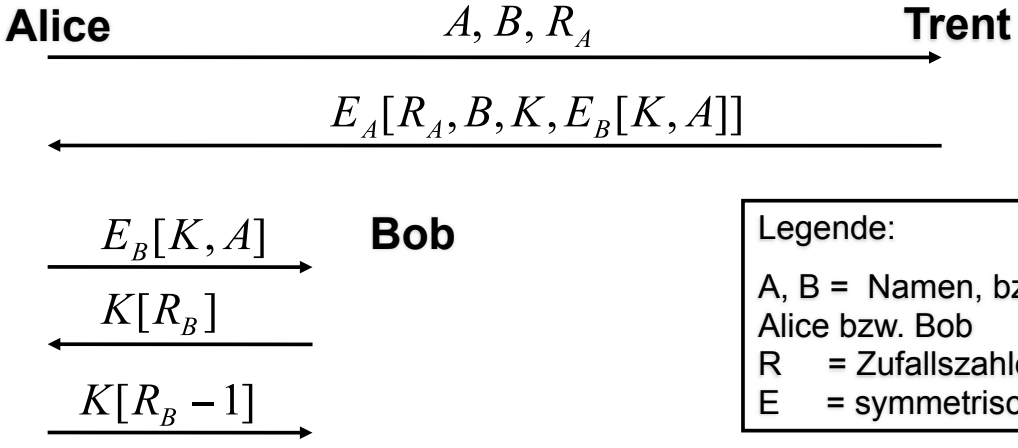
1. $K^+ :=$ Schlüssel K mit Nullen auffüllen bis dieser b Bits lang ist
2. b Bit Block $S_i := K^+ \text{ XOR } ipad$
3. Nachricht m mit dem Block S_i konkatenieren
4. Hash-Wert von $S_i||m$ berechnen
5. b Bit Block $S_o := K^+ \text{ XOR } opad$
6. S_o mit dem Ergebnis von 4. Konkatenieren
7. Hash-Wert über das Ergebnis von 6 berechnen

Inhalt

1. Vertraulichkeit
2. Integritätssicherung
3. Authentisierung
   1. Peer Entity / Benutzer
      - Paßwort, Einmalpasswort, Biometrie
   2. Datenursprung
      - Verschlüsselung
      - Message Authentication Code (MAC) und Hashed MAC (HMAC)
   3. Authentisierungsprotokolle
      - Needham Schröder
      - Kerberos
4. Autorisierung und Zugriffskontrolle
   - Mandatory Access Control (MAC)
   - DAC
5. Identifizierung

Authentisierungsprotokolle: Needham Schröder

- Entwickelt von Roger Needham u. Michael Schroeder (1979)
- Verwendet vertrauenswürdigen Dritten Trent (Trusted Third Party, TTP)
- Optimiert zur Verhinderung von Replay-Angriffen
- Verwendet symmetrische Verschlüsselung
- Trent teilt mit jedem Kommunikationspartner eigenen Schlüssel

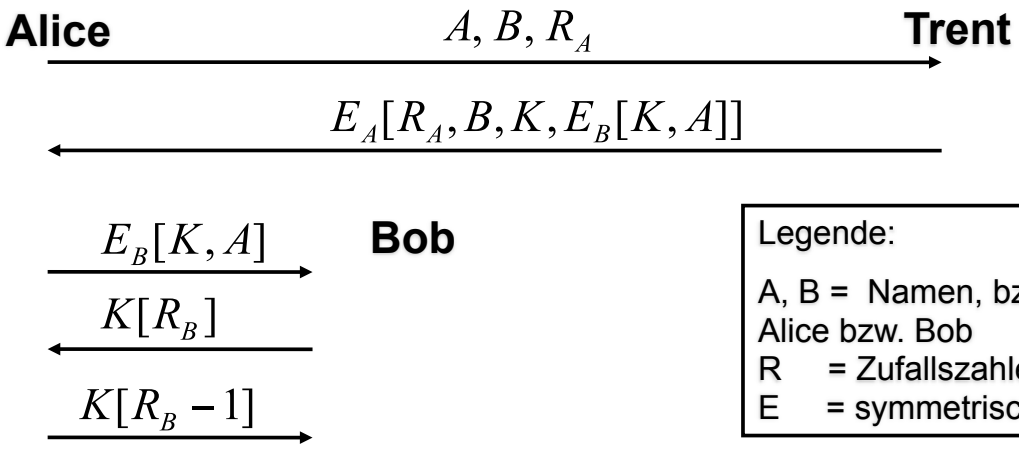


Legende:

A, B = Namen, bzw. Adressen von Alice bzw. Bob
R = Zufallszahlen
E = symmetrisches Verschl.Verf.

Needham Schröder: Diskussion

- Wodurch sollen Reply-Angriffe verhindert werden?
  - Zufallszahlen R_B und „Berechnung“ durch Alice (R_B - 1)
  - Angriff von Mallet die sich durch Reply als Bob ausgeben will werden dadurch verhindert (Protokoll kommt nicht zum Ende)
- Aber Protokollschwäche verhindert Reply-Protection

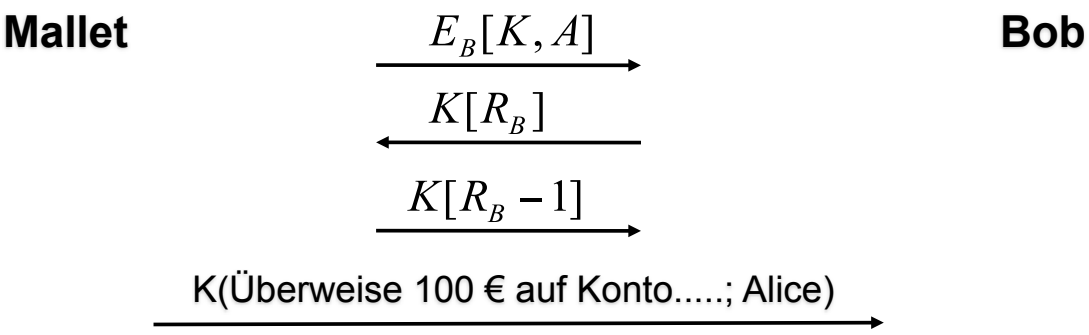


Legende:

A, B = Namen, bzw. Adressen von Alice bzw. Bob
R = Zufallszahlen
E = symmetrisches Verschl.Verf.

Needham Schröder Protokollschwäche

- Problem: Alte Sitzungsschlüssel K bleiben gültig
- Falls Mallet an alten Schlüssel gelangen und die 1. Nachricht von Alice an Bob mithören konnte, wird Maskerade möglich
- Mallet braucht keine geheimen Schlüssel von Trent ($K_{A,T}$, $K_{B,T}$)



- Lösungsidee:
  - Sequenznummer oder Timestamps einführen
  - Gültigkeitsdauer von Sitzungsschlüsseln festlegen

Authentisierungsprotokolle: Kerberos

- Trusted Third Party Authentisierungsprotokoll
- Entwickelt für TCP/IP Netze
  - Im Rahmen des MIT Athena Projektes (X Windows)
  - 1988 Version 4; 1993 Version 5
- Client (Person oder Software) kann sich über ein Netz bei Server(n) authentisieren
- Kerberos Server kennt Schlüssel **aller** Clients
- Basiert auf symmetrischer Verschlüsselung
- Abgeleitet vom Needham-Schröder Protokoll
- Hierarchie von Authentisierungsservern möglich; Jeder Server verwaltet einen bestimmten Bereich (sog. Realm)
- Über Kooperationsmechanismen der Kerberos Server kann Single-Sign-On realisiert werden

Kerberos Authentisierungsdaten

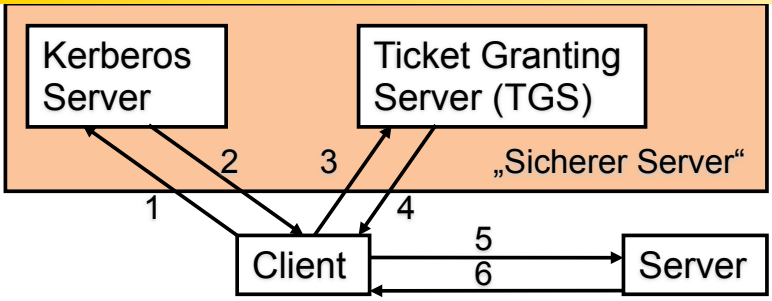
- Authentisierung basiert auf gemeinsamen (Sitzungs-)Schlüssel
- Kerberos arbeitet mit Credentials, unterschieden werden
  1. Ticket
  2. Authenticator
- **Ticket**
  - als „Ausweis“ für die Dienstnutzung; nur für einen Server gültig
  - wird vom Ticket Granting Server erstellt
  - **keine** Zugriffskontrolle über Ticket (nicht mit Capability verwechseln)

$$T_{c,s} = s, c, addr, timestamp, lifetime, K_{c,s}$$

- **Authenticator**
  - „Ausweis“ zur Authentisierung; damit Server ein Ticket verifizieren kann
  - vom Client selbst erzeugt
  - Wird zusammen mit dem Ticket verschickt

$$A_{c,s} = c, addr, timestamp$$

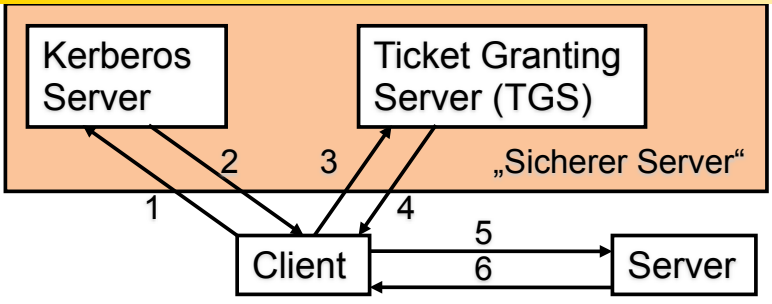
Kerberos Modell



1. Request für Ticket Granting Ticket
2. Ticket Granting Ticket
3. Request für Server Ticket
4. Server Ticket
5. Request für Service
6. Authentisierung des Servers (Optional)

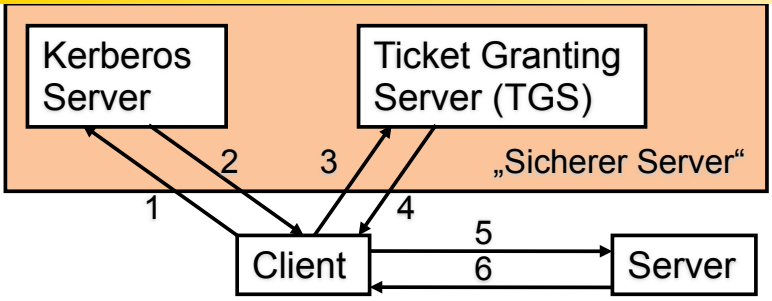
- Im folgenden Kerberos V.5 vereinfacht, d.h. ohne Realms und Optionenlisten; exaktes Protokoll [RFC 1510, Stal98, RFC 4120]

Kerberos: Initiales Ticket (ein Mal pro Sitzung)



c	=	Client
s	=	Server
a	=	Adresse
v	=	Lebensdauer
t	=	Zeitstempel
K_x	=	Schlüssel von x
$K_{x,y}$	=	Sitzungsschlüssel von x u. y
$T_{x,y}$	=	Ticket für x um y zu nutzen
$A_{x,y}$	=	Authenticator von x für y

1. Request für Ticket Granting Ticket:
   c, tgs (Kerberos überprüft ob Client in Datenbank)
2. Ticket Granting Ticket:
   $K_c[K_{c,tgs}], K_{tgs}[T_{c,tgs}]$ mit $T_{c,tgs} = tgs, c, a, t, v, K_{c,tgs}$



c	=	Client
s	=	Server
a	=	Adresse
v	=	Gültigkeitsdauer
t	=	Zeitstempel
K_x	=	Schlüssel von x
$K_{x,y}$	=	Sitzungsschlüssel von x u. y
$T_{x,y}$	=	Ticket für x um y zu nutzen
$A_{x,y}$	=	Authenticator von x für y

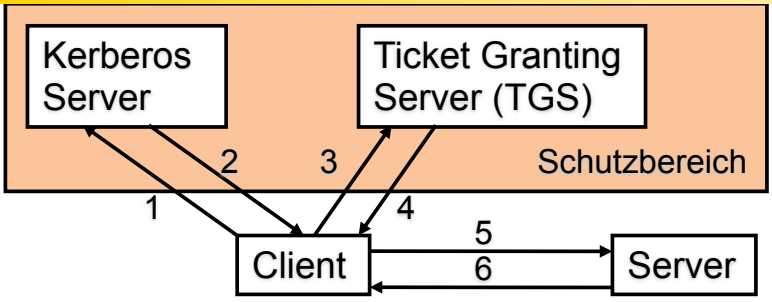
3. Request für Server Ticket:

   $s, K_{c,tgs}[A_{c,tgs}], K_{tgs}[T_{c,tgs}]$ mit $A_{c,tgs} = c, a, t$ $T_{c,tgs} = tgs, c, a, t, v, K_{c,tgs}$

4. Server Ticket:

   $K_{c,tgs}[K_{c,s}], K_s[T_{c,s}]$ mit $T_{c,s} = s, c, a, t, v, K_{c,s}$

Kerberos: Request for Service (pro Service-Nutzung)



c	=	Client
s	=	Server
a	=	Adresse
v	=	Gültigkeitsdauer
t	=	Zeitstempel
K_x	=	Schlüssel von x
$K_{x,y}$	=	Sitzungsschlüssel von x u. y
$T_{x,y}$	=	Ticket für x um y zu nutzen
$A_{x,y}$	=	Authenticator von x für y

5. Request for Service:

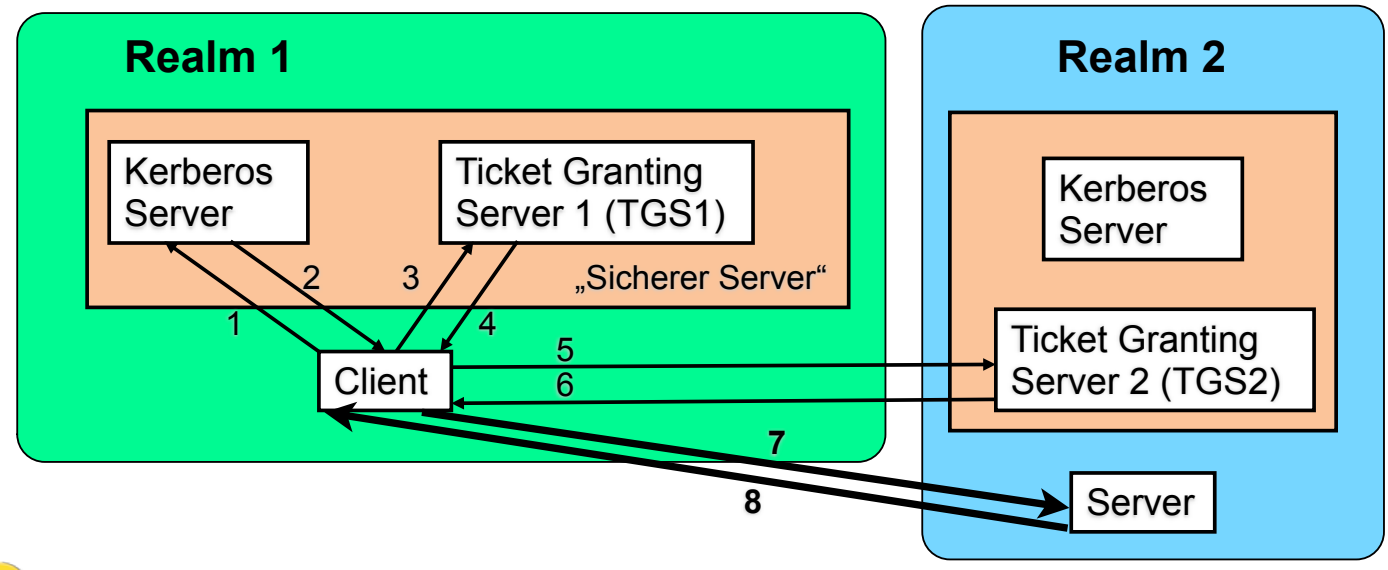
   $K_{c,s}[A_{c,s}], K_s[T_{c,s}]$ mit $A_{c,s} = c, a, t, key, seqNo$ $T_{c,s} = s, c, a, t, v, K_{c,s}$

6. Server Authentication:

   $K_{c,s}[t, key, seqNo]$

Multi-Domain-Kerberos

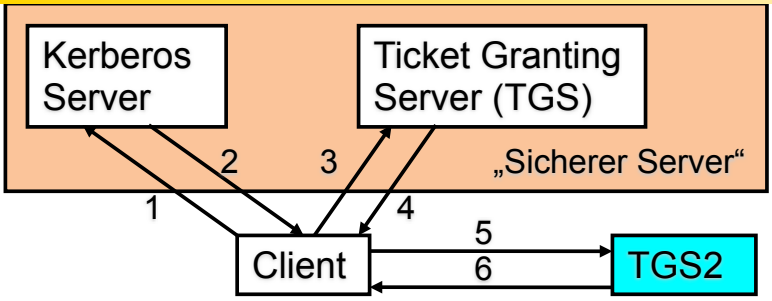
- Kerberos Server immer für eine Domäne (Realm) zuständig
- Frage: Domänenübergreifendes Kerberos (z.B. Kooperation von zwei unabhängigen Unternehmen)
- Idee: TGS der fremden Realm wird „normaler“ Server



Multi-Domain Kerberos

- Domänenübergreifende Authentisierung
- Erfordert Schlüsselaustausch zwischen TGS1 und TGS2: $K_{TGS1,TGS2}$
- Vertrauen (Trust) erforderlich:
  - Besuchende Domäne muss Authenticator und TGS der Heimat-Domäne vertrauen
  - Beide Domänen müssen sich auf „sichere“ Implementierung verlassen
- Skalierungsproblem:
  n Realms erfordern n * (n-1) / 2 Schlüssel, d.h. $O(n^2)$

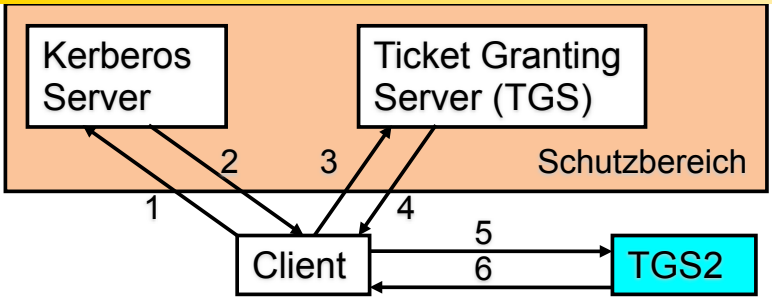
Multi-Domain Kerberos: Erweiterungen



c	=	Client
s	=	Server
a	=	Adresse
v	=	Gültigkeitsdauer
t	=	Zeitstempel
K_x	=	Schlüssel von x
$K_{x,y}$	=	Sitzungsschlüssel von x u. y
$T_{x,y}$	=	Ticket für x um y zu nutzen
$A_{x,y}$	=	Authenticator von x für y

3. Request für Server Ticket für fremden TGS (TGS2):
   $tgs2, K_{c,tgs1}[A_{c,tgs1}], K_{tgs1}[T_{c,tgs1}]$
   mit $A_{c,tgs1}=c,a,t$; $T_{c,tgs1}=tgs1,c,a,t,v,K_{c,tgs1}$
4. Server Ticket:
   $K_{c,tgs1}[K_{c,tgs2}], K_{tgs2}[T_{c,tgs2}]$ mit $T_{c,tgs2} = tgs2,c,a,t,v,K_{c,tgs2}$

Kerberos: Request for Service (pro Service-Nutzung)



c	=	Client
s	=	Server
a	=	Adresse
v	=	Gültigkeitsdauer
t	=	Zeitstempel
K_x	=	Schlüssel von x
$K_{x,y}$	=	Sitzungsschlüssel von x u. y
$T_{x,y}$	=	Ticket für x um y zu nutzen
$A_{x,y}$	=	Authenticator von x für y

5. Request for Server Ticket beim TG2:
   $s, K_{c,tgs2}[A_{c,tgs2}], K_{tgs2}[T_{c,tgs2}]$
   mit $A_{c,tgs2} = c,a,t$ $T_{c,tgs2} = tgs2,c,a,t,v,K_{c,tgs2}$
6. Server Ticket:
   $K_{c,tgs2}[K_{c,s}], K_s[T_{c,s}]$
7. Weiterer Ablauf wie bei single Domain Kerberos

Kerberos Bewertung

- Sichere netzwerkweite Authentisierung auf Ebene der Dienste
- Authentisierung basiert auf IP-Adresse
  - IP Spoofing u.U. möglich
  - Challange Response Protokoll zur Verhinderung nur optional
- Sicherheit hängt von der Stärke der Passworte ab (aus dem Passwort wird der Kerberos Schlüssel abgeleitet)
- Lose gekoppelte globale Zeit erforderlich (Synchronisation)
- Kerberos Server und TGS müssen (auch physisch) gesichert werden
- Verlässt sich auf „vertrauenswürdige“ Software (Problem der Tojanisierung, vgl. CA-2002-29)

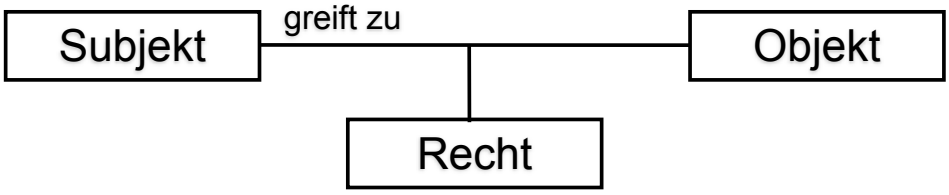
Inhalt

1. Vertraulichkeit
2. Integritätssicherung
3. Authentisierung
   1. Peer Entity / Benutzer
      - Paßwort, Einmalpasswort, Biometrie
   2. Datenursprung
      - Verschlüsselung
      - Message Authentication Code (MAC) und Hashed MAC (HMAC)
   3. Authentisierungsprotokolle
      - Needham Schröder
      - Kerberos
4. Autorisierung und Zugriffskontrolle
   - Mandatory Access Control (MAC)
   - DAC
5. Identifizierung

Autorisierung und Zugriffskontrolle

- Autorisierung: Vergabe / Spezifikation von Rechten
- Zugriffskontrolle: Durchsetzung dieser Rechte
- Häufig werden Autorisierung und Zugriffskontrolle zusammengefasst

- Handelnde werden als Subjekt bezeichnet
- Rechte werden an Subjekte erteilte
- Rechte gelten für Objekte
- Objekte sind die schützenswerten Einheiten im System



Zugriffskontrollstrategien: Klassifikation

- DAC (Discretionary Access Control)
  - Basieren auf dem Eigentümer Prinzip;
  - Eigentümer spezifiziert Rechte an seinen Objekten
  - Zugriffsrechte auf Basis der Objekte vergeben
- MAC (Mandatory Access Control)
  - Regelbasierte Festlegung der Rechte
  - Systemglobal
  - Z.B. Bell-LaPadula; Regeln werden über Sicherheitsklassen (unklassifiziert, vertraulich, geheim, streng geheim) spezifiziert
- RBAC (Role based Access Control)
  - Trennung von Subjekt und Aufgabe
  - Rechte werden nicht mehr an Subjekt sondern an bestimmte Aufgabe geknüpft
  - Subjekte erhalten Recht über Rollenmitgliedschaft(en)

Zugriffsmatrix

- Schutzzustand eines Systems zum Zeitpunkt t wird durch Matrix M(t) modelliert:
  - M(t) = S(t) x O(t); es gilt M(t): S(t) x O(t) ⟶ 2^R
  - R ist die Menge der Zugriffsrechte
  - Subjekte S bilden die Zeilen der Matrix
  - Objekte O bilden die Spalten
  - Ein Eintrag M(t,s,o) = {r1,r2,...,rn} beschreibt die Menge der Rechte des Subjekts s zum Zeitpunkt t am Objekt o

	Datei1	Datei2	Prozess 1
Prozess 1	read		
Prozess 2		read, write	signal
Prozess 3	read, write, owner		kill

  - Implementierung „spaltenweise“: Zugriffskontrolllisten (z.B. Unix)
  - Implementierung „zeilenweise“: Capabilities

Zugriffskontrolle: Referenzmonitor

- Zur Realisierung der Zugriffskontrolle ist „gesicherte“ Systemkomponente erforderlich
- Häufig als Referenzmonitor oder Access Control Monitor bezeichnet
- Erfüllt folgende Anforderungen:
  - Zugriff auf Objekte nur über den Monitor möglich
  - Monitor kann Aufrufenden (Subjekt) zweifelsfrei identifizieren (Authentisierung)
  - Monitor kann Objektzugriff unterbrechen bzw. verhindern

Inhalt

1. Vertraulichkeit
2. Integritätssicherung
3. Authentisierung
   1. Peer Entity / Benutzer
      - Paßwort, Einmalpasswort, Biometrie
   2. Datenursprung
      - Verschlüsselung
      - Message Authentication Code (MAC) und Hashed MAC (HMAC)
   3. Authentisierungsprotokolle
      - Needham Schröder
      - Kerberos
4. Autorisierung und Zugriffskontrolle
   - Mandatory Access Control (MAC)
   - DAC
5. Identifizierung

Identifikation (Identification)

- Zweifelsfreie Verbindung (Verknüpfung) von digitaler ID und Real-World Entity (Person, System, Prozess,....)
- Ohne sichere Identifikation kann es keine Authentisierung geben
- Mindestens zweistufiger Prozess:
  1. **Personalisierung**:
     Zweifelsfreie Ermittlung der Real-World Identität (bei Personen, z.B. durch Personalausweis) und Vergabe einer digitalen ID (z.B. Benutzername)
  2. **Identifikation**:
     Verbindung von digitaler ID mit Informationen die nur die Entität nutzen / kennen kann (z.B. Passwort, Schlüsselpaar, bzw. öffentlicher Schlüssel)
- Problem: Falls Angreifer in der Lage ist seine Informationen mit fremder ID zu verbinden, kann er Maskerade Angriff durchführen

Identifikation durch digitale Signatur / Zertifikat

- Grundidee: Trusted Third Party (TTP) „unterschreibt“ für Identität einer Entität (vergleichbar mit einem Notar)
- Begriffe:
  - **Zertifikat**: Datenstruktur zur Verbindung von Identitätsinformation und öffentlichem Schlüssel der Entität; digital signiert von einer
  - **Certification Authority (CA) / Trust Center:** Trusted Third Party
  - **Realm**: Benutzerkreis der CA
    - Alle Benutzer in einer Realm „vertrauen“ der CA, d.h.
    - „Aussagen“ der CA werden von allen Benutzern als gültig, richtig und wahr angenommen
  - **(Local) Registration Authority (LRA):** Nimmt Anträge auf ein Zertifikat (**Certification Request**) entgegen; führt Personalisierung durch

Identifikation: Aufgabenspektrum einer CA

- **Generierung von Zertifikaten (Certfication Issue):** Erzeugung der Datenstrukturen und Signatur
- **Speicherung (Certification Repository):** Allgemein zugängliches Repository für Zertifikate
- **Wiederruf und Sperrung (Certification Revocation):** Falls geheimer Schlüssel des Zertifizierten komprimitiert wurde
- **Aktualisierung (Certifcation Update):** Erneuerung des Zertifikates nach Ablauf der Gültigkeit
- **Schlüsselerzeugung (Key Generation)**
- **Historienverwaltung (Certification History):** Speicherung nicht mehr gültiger Zertifik. (zur Beweissicherung)
- **Notardienst (Notarization):** CA signiert Vorgänge zwischen Benutzern (z.B. Verträge)
- **Zeitstempeldienst (Time Stamping):** CA bindet Info an Zeit
- **Realm-übergreifende Zertifizierung (Cross Certification):** Eigene CA zertifiziert fremde CAs
- **Attribut Zertifikate (Attribute Certificate):** Verbindung von Attributen an eine Identität (z.B. Rechte, Vollmachten,....)

Ablauf der Benutzerzertifizierung

1. Schlüsselgenerierung:
   - Zentral durch CA oder dezentral durch Benutzer
   - „Ausreichend sichere“ Schlüssel müssen erzeugt werden
   - Nur der Zertifizierte darf geheimen Schlüssel kennen
2. Personalisierung, Certification Request:
   - Benutzer beantragt ein Zertifikat (Certification Request)
   - Feststellung der Identität des Benutzers (z.B. durch pers. Erscheinen)
   - Benutzer muss belegen dass er im Besitz des passenden privaten Schlüssels ist (z.B. durch Challenge-Response-Protokoll)
3. Generierung der Datenstruktur für das Zertifikat:
   - Entsprechende Attribute werden aus dem Certification Request des Benutzers entnommen
   - Im folgenden X.509 Zertifikate als Beispiel
4. Digitale Signatur durch die CA

X.509v3 Zertifikat: Attribute

- X.509 internationaler ITU-T Standard als Teil der X.500 Serie:
  - Verzeichnisdienst
  - X.500 - X.530 wurde nie vollständig implementiert
- X.509 hat sich auf breiter Basis durchgesetzt
- Drei Versionen:
  - V1: 1988
  - V2: 1993
  - V3: 1995
- Definiert:
  - Datenformat für Zertifikat
  - Zertifikatshierarchie
  - Widerrufslisten (Certificate Revocation Lists, CRL)

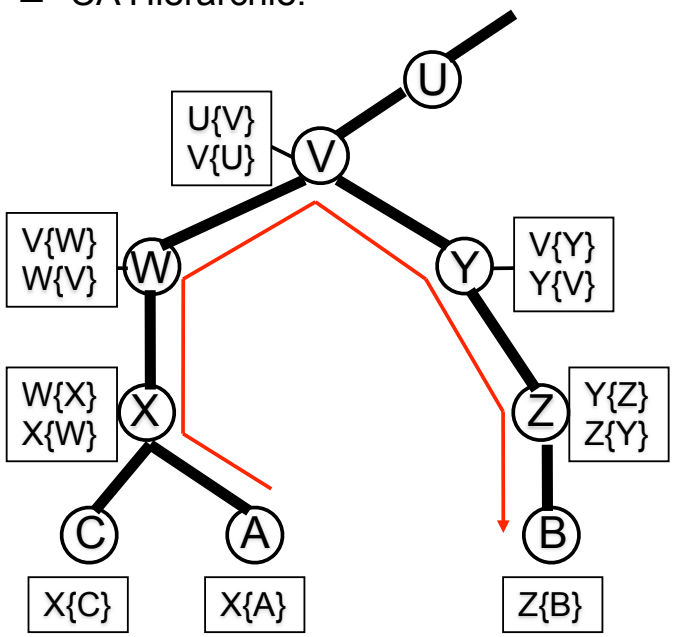
X.509v3 Zertifikat: Attribute

Version 3
Version 2
Version 1

Version	Versionsnummer (1,2,3); Default 1
SerialNumber	Pro CA eindeutige Nummer des Zertifikates
SignatureAlgorithm	Verw. Algorithmus für die digitale Signatur
Issuer	Distinguished Name (DN, vgl. X.500) der CA
Validity	Gültigkeitsdauer; Angegeben in notBefore und notAfter
Subject	„Gegenstand“ des Zert.; z.B. DN des Zertifizierten
SubjectPublicKey-Info	Öffentlicher Schlüssel, des Zertifizierten; Algorithmus für den Schlüssel; ggf. weitere Parameter
IssuerUnique-Identifier	Eindeutiger Bezeichner der CA (ab Version 2 optional); vgl. auch Issuer Feld
SubjectUnique-Identifier	Zusätzliche Info über Subject des Zertifikates (ab Version 2 optional)
Extensions	Ab V. 3: Einschränkungen, Bedingungen, Erweiterungen
Signature	digitale Signatur der gesamten Datenstruktur

Kopplung von Realms; Zertifizierungspfade

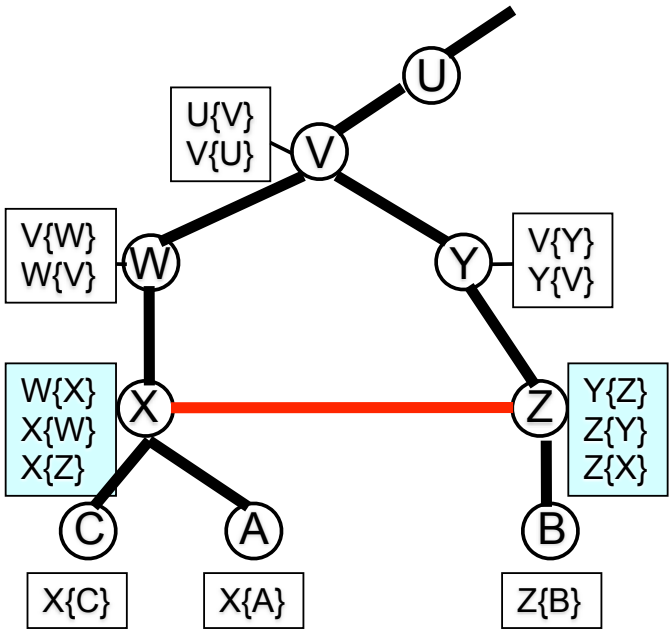
- Bisher wurde nur eine CA betrachtet, nun
- CA Hierarchie:



- Legende: X{A} = Zertifikat ausgestellt von X für A (X zertifiziert A)
- A kommuniziert mit B und möchte dessen Zertifikat verifizieren?
- Dazu Aufbau eines Zertifizierungs-pfades erforderlich:
  - A braucht folgende Zertifikate X{W},W{V},V{Y},Y{Z},Z{B}
  - **Alle** Zertifikate längs dieses Pfades müssen verifiziert werden
  - D.h. A braucht öffentliche Schlüssel von: X, W, V, Y und Z
- Im Bsp. eine streng hierarchische CA Infrastuktur
- Optimierung des Pfades?

Zertifizierungspfade; Cross Zertifizierung

- CA Hierarchie:
- Optimierung des Pfades?



- Cross-Zertifizierung nicht entlang der Hierarchieebenen
- Damit Aufgabe des hierarchischen Ansatzes
- Vermaschte bzw. vernetzte CA Infrastruktur
- Es entsteht ein „Web of Trust“ (vergleichbar PGP)
- Damit Pfade deutlich kürzer
- Pfadermittlung und Pfadverwaltung damit aber u.U. deutlich aufwändiger

Widerruf von Zertifikaten

- Falls Schlüssel kompromittiert wurde muss Zertifikat widerrufen werden
- Dazu Certificate Revocation Lists (CRLs):
  Liste aller Zertifikat-ID mit Datum der Ungültigkeit; digital signiert von CA
- Problem der Informationsverteilung:
  - Zeitnah, d.h. möglichst aktuell
  - Vollständig
  - Effiziente Verteilung
- Grundsätzliche Ansätze:
  - Push-Modell (regelmäßige Übersendung der CRL)
  - Pull Modell (Verifikator fragt bei Überprüfung aktuell nach ob Zertifikat noch gültig oder lädt sich CRL)
  - Vollständige CRL oder Delta Listen

Online Certificate Status Protocol (OCSP)

- Ermöglicht Clients die Abfrage des Zertifikatszustandes (zeitnah) bei einem Server (OCSP-Responder)
- OCSP-Responder i.d.R. betrieben von ausstellender CA
- Ablauf:
  - Client schickt Hash des zu verifizierenden Zertifikats
  - Responder prüft und antwortet mit einer der folgenden **signierten** Nachrichten:
    - „Good“ (Zertfikat ist gültig)
    - „Revoked“ (Zertifikat ist widerrufen, mit entsprechender Zeitangabe)
    - „Unknown“ (Responder kennt das Zertifikat nicht)
  - Reply Protection über optionale Zufallszahl (in Client Nachricht)
  - Client kann Positiv-Antwort fordern; Responder antwortet dann mit Hash des gültigen Zertifikates
- Kein eigenes Transportprotokoll; verwendet HTTP oder HTTPS
- Implementiert von den meisten Browsern

OSCP Diskussion

- Vorteile:
  - Geschwindigkeitsvorteil gegenüber CRL
  - Möglichkeit gesperrte von gefälschten Zertifikaten zu unterscheiden:
    - Responder darf „Good“ nur liefern, wenn Zertifikat gültig (Standard erlaubt Good auch bei Zertifikat nicht in Sperrliste)
  - Individuelle Abfrage für aktuell verwendetes Zertifikat
- Nachteile:
  - Aktualität hängt von Implementierung ab; es gibt Responder die CRL nutzen
  - Zertifikatskette muss vom Client geprüft werden (lässt sich ggf. über Server-based Certification Validation Protocol (SCVP) an den Server auslagern)