Netzsicherheit – Architekturen und Protokolle
PKI: X.509

1. X.509-PKI
2. PKIX-Protokolle

Zertifikatsstandard X.509

- X.509: bekanntester und verbreitetster Zertifikatsstandard
  - ursprünglich Authentifikationsmechanismus für Verzeichnis auf X.500-Basis
  - 5 Versionen, aktuell: X.509-2005 + Korrekturen
  - spezifiziert technisches Framework für eine PKI
    - Syntax eines Zertifikat in ASN.1
    - Syntax einer CRL in ASN.1
    - Validierung einer Zertifikatskette
  - Vielzahl optionaler Parameter und Erweiterungen
  - eine PKI selbst
    - entscheidet welche Teile von X.509 sie nutzt → *Profile*
    - kann Standard durch eigene Erweiterungen ergänzen

ITU-T X.509

Aktiv genutzt von

- SSL/TLS (Schutz von TCP-Verbindungen) (→ Vorlesungsthema)
- S/MIME (Schutz von eMails)
- IPsec/IKE (Schutz von IP-Paketen) (→ Vorlesungsthema)
- SET (Schutz von Kreditkarten-Transaktionen)
- (W)LAN-Sicherheit: 802.1x bzw. 802.11i (→ Vorlesungsthema)
- S-BGP/soBGP/psBGP (Routing-Sicherheit)

Globales Namensschema: Distinguished Names

- Identität des Schlüsselbesitzers ist in X.509 zentral
  - Zertifikat enthält ID der CA
  - Zertifikat enthält ID des Schlüsselbesitzers
  - ID ist Grundlage für Aufbau der Zertifikatskette

- Distinguished Name ist hierarchisches Namenschema, das sich aus mehreren Attributen zusammensetzt
  - Land (country – c)
  - Bundesland (state – s)
  - Stadt (locality – l)
  - Name der Firma/Organisation (organisation – o)
  - Abteilung (organisational unit – ou)
  - Name (common name – cn), einziges nicht optionales Attribut
  - weitere...

Beispiel-Zertifikat: codiert ;)

```
-----BEGIN CERTIFICATE-----
MIIDbjCCAtegAwIBAgIQdP1CoYLH8473qHh4EEcR2zANBgkqhkiG9w0BAQQFADBD
MREwDwYDVQQKEwhWZXJpU2lnbjEuMCwGA1UECxMlVmVyaVNpZ24gQ2xhc3MgMiBP
blNpdGUgSW5kaXZpZHVhbCBDQTAeFw0wNzEwMzEwMDAwMDBaFw0wODEwMzAyMzU5
NTlaMIHlMRswGQYDVQQKDBJORUMgRXVyb3BlIExpbWl0ZWQxRjBEBgNVBAsMPXd3
dy52ZXJpc2lnbi5jb20vcmVwb3NpdG9yeS9DUFMgSW5jb3JwLiBieSBSZWYuLExJ
QUIuTFREKGMpOTkxNTAzBgNVBAsMLENvbXBhbnkgLSBORUMgTGFib3JhdG9yaWVz
IEV1cm9wZSBIZWlkZWxiZXJnMRkwFwYDVQQDDBBtYXJjdXMgc2Nob2VsbGVyMSww
KgYJKoZIhvcNAQkBFh1tYXJjdXMuc2Nob2VsbGVyQG53Lm5lY2xhYi5ldTCBnzAN
BgkqhkiG9w0BAQEFAAOBjQAwgYkCgYEAmWjxP/Nh/00qNWzQPfksojuOx1ltXUpt
HgPssWdZvqt7IfY0d+puDonEVy4qHPVVlfnYcg+FE4B2q3D0OOedmNO5Oz3smXkN
7B9Pl1/9XUVbWOI2ywv66qETSDZ8lB1NceCBhsjzCtz4PJ61pFTqXpopTzo9/Ihf
Z+vDKYBJ//sCAwEAAaOBvzCBvDAJBgNVHRMEAjAAMEQGA1UdIAQ9MDswOQYLYIZI
AYb4RQEHFwIwKjAoBggrBgEFBQcCARYcaHR0cHM6Ly93d3cudmVyaXNpZ24uY29t
L3JwYTALBgNVHQ8EBAMCBaAwEQYJYIZIAYb4QgEBBAQDAgeAMEkGA1UdHwRCMEAw
PqA8oDqGOGh0dHA6Ly9vbnNpdGVjcmwudmVyaXNpZ24uY29tL09uU2l0ZVB1Ymxp
Yy9MYXRlc3RDUkwuY3JsMA0GCSqGSIb3DQEBBAUAA4GBABowBD+ywCKnnP38oaVa
afLnuo8Rr8j+Z1fd95vUNC0yDjwUhQr2dhEOUGoP7CZlS+K38ndIWbGF+s1UKlZF
a8aW6MOHeqcJv6NC9iaZQoIQ78P6PGYli2B8A6/CV1UmWm21kjn1lVhyNteWTTsZ
HnHKZp8JGAowbNM7NVhCGRwZ
-----END CERTIFICATE-----
```

Beispiel-Zertifikat: decodiert und interpretiert - Auszug

```
Version: 3 (0x2)
Serial Number: 74 fd 42 a1 82 c7 f3 8e f7 a8 78 78 10 47 11 db
Signature Algorithm: md5RSA
Issuer: OU = „VeriSign Class 2 OnSite Individual CA“
        O  = „VeriSign“
Validity
    Not Before: Wednesday, October 31, 2007 1:00:00 AM
    Not After : Friday, October 31, 2008 12:59:59 AM
Subject: E  = „marcus.schoeller@nw.neclab.eu“
         CN = „marcus schoeller“
         OU = „Company - NEC Laboratories Europe Heidelberg“
         OU = „www.verisign.com/repository/CPS Incorp. … „
         O  = „NEC Europe Limited
  Subject Public Key Info:
    RSA Public Key: (2048 bit)
        30 81 89 02 81 81 00 99 68 f1 ...
Key Usage: Digital Signature, Key Encipherment (a0)
CRL Distribution Point:
  URL=http://onsitecrl.verisign.com/OnSitePublic/LatestCRL.crl
```

Aufbau des ID-Zertifikates

Ein ID-Zertifikat hat folgende Struktur

Feldname der ASN.1-Struktur	Beschreibung
`version`	Versionsnummer des Zertifikatformates
`serialNumber`	Seriennummer, zusammen mit `issuer` eindeutig
`issuer`	ID des Erzeugers des Zertifikates
`signatureAlgorithm`	Für Signatur genutzter Algorithmus
`validity`	Gültigkeitsdauer des Zertifikates
`subject`	X.500-ID des Zertifikatsbesitzers
`subjectPublicKeyinfo`	Öffentlicher Schlüssel
`issuerUniqueIdentifier`	Erweiterte ID des Zertifizierenden (v2)
`subjectUniqueIdentifier`	Erweiterte ID des Besitzers (v2)
`extensions`	Erweiterungen (v3)

Erweiterungen in X.509

- Erweiterungen sind im `extensions`-Feld enthalten und bestehen aus
  - Erweiterungs-ID
  - Critical-Flag: zeigt an ob die Erweiterung kritisch ist
  - Datenwert
- Kennt eine Implementierung eine Erweiterung nicht
  - *Nicht-kritisch*: Erweiterung wird ignoriert
  - *Kritisch*: Zertifikat ist ungültig
- Aktuell existierende Erweiterungen lassen sich gliedern in
  - Informationen über Schlüssel und Sicherheitsrichtlinien
  - Attribute von Zertifikatsbesitzer und signierender CA
  - Einschränkungen des Zertifikatspfades

Verwendung mehrer Schlüssel und Zertifikate

- Problem: Schlüssel- bzw. Zertifikats-Identifizierung
  - Standardfelder enthalten nur Aussteller des Zertifikats
- Erweiterung: Authority key identifier, Subject key identifier
  - Identifizierung des Aussteller- bzw. Inhaber-Schlüssels
  - mögliche IDs:
    - Hashwert des Schlüssels
    - ID + Seriennummer des Zertifikats
  - erlaubt Verwendung mehrer Schlüssel und Zertifikate
  - vereinfacht Pfad-Konstruktion

Schlüssel-Verwendung

- Problem: Einschränkung der Schlüssel-Verwendung notwendig
  - z.B. Zertifizierung nicht mit jedem Schlüssel erlaubt
  - unterschiedliche Policies der Zertifizierung
- Erweiterung: Key usage, Extended key usage
  - Verwendungszweck des Schlüssels
    - Key usage: z.B. digitalSignature, keyCertSign, cRLSign, encipher-only
    - Extended Key usage: z.B. clientAuth, EmailProtection
  - Definition mittels OID (Object Identifier)
  - kann *Critical* sein

Alternativ-Name

- Problem: X.500-Namen wenig verbreitet
  - Assoziation von Schlüssel an andere Namen notwendig
- Erweiterung: Subject-Issuer Alternative Name
  - alternative Namensformen mit dem Zertifikat assoziierbar
  - Beispiele: eMail-Adresse, IP-Adresse, Domain-Name, URI, AS-Nummer
  - jedes strukturiertes Namensschema möglich

Einschränkungen der Pfade-Konstruktion

- Problem
  - Kontrolle bei der Delegation des Zertifizierungsprivileges ist für komplexere Vertrauensmodelle notwendig!
- Erweiterung: Basic constraints
  - Markierung, ob Besitzer eine CA ist
  - maximale Pfadlänge spezifizierbar
- Erweiterung: Name constraints
  - nur für CAs
  - gibt den Namensraum an, in dem die CA Zertifikate ausstellen darf (`permittedSubtree`) bzw. nicht darf (`excludedSubtree`)
- Erweiterung: Policy constraints
  - `requireExplicitPolicy`: jedes Zertifikat im Pfad muss Zertifizierungsrichtlinien explizit enthalten
  - `inhibitPolicyMapping`: verbietet die Nutzung äquivalenter Richtlinien

Fragen zum Zertifikatsformat von X.509?

Praxisteil: openssl - Basics

- OpenSSL bietet u.a. die Möglichkeit, X.509v1 und v3 Zertifikate sowie v1- und v2- CRLs zu erzeugen
- Config-Datei `openssl.cnf` beeinflusst viele Operationen

- Generieren eines Schlüsselpaares (privater Schlüssel wird mit Hilfe eines Passwortes und 3DES verschlüsselt):

```
openssl genrsa -des3 -out mykey.pem <Schlüssellänge>
```

oder

```
openssl dsaparam <Schlüssellänge> >dsaparam.pem
openssl gendsa -out mykey.pem -des3 dsaparam.pem
```

- Erstellen eines Certificate Signing Requests zur Signatur durch eine CA:

```
openssl req -new -key mykey.pem -out mycsr.pem
openssl req -in mycsr.pem -text
```

Praxisteil: openssl – CA

- Erstellen eines selbstsignierten Zertifikates (z.B. für eine CA)

```
openssl req -new -x509 -key mykey.pem -out
        mycacert.pem
openssl x509 -in mycacert.pem -text
```

- Geskripteter Aufbau einer CA (mit openssl mitgeliefert)

  `CA.sh -newca`

  (erzeugt eine Verzeichnisstruktur unterhalb von `./demoCA` zur Ablage der Managementdaten und erzeugt ein selbstsigniertes Zertifikat, siehe oben)

- Signieren eines User-Zertifikates

```
openssl ca -in mycsr.pem -out mycert.pem
```

- CA.sh vereinfacht die meisten Operationen, hier sollten jedoch die genauen Befehle direkt gezeigt werden

X.509-Certificate Revocation Lists

- X.509 spezifiziert keine Protokolle zur Online-Prüfung
  - ob ein Zertifikat widerrufen wurde
  - jedoch das Format für Widerruflisten
- Erweiterung: CRL Distribution Point im Zertifikat
- Format: Effizienz der Validierung? Skalierbarkeit der PKI?
  - Client-seitig unkritisch (geringen Anzahl von Prüfungen)
  - Server-seitig sehr kritisch (hohe Anzahl von Prüfungen)
- Inhaltlich unterscheidet X.509 zwei CRL-Typen
  - End-entity Public-key certificate Revocation List (EPRL)
  - Certification Authority Revocation List (CARL)
    - Erlaubt effiziente Prüfung von CA-Zertifikaten (warum?)

Aufbau einer CRL

X.509-CRL hat in Formatsversion v2 folgende Struktur

Feldname	Beschreibung
`version`	Versionsnummer des CRL-Formates (v2)
`issuer`	ID des Erzeugers der CRL
`signatureAlgorithm`	für Signatur genutzter Algorithmus
`thisUpdate`	Zeitpunkt der Ausstellung dieser CRL
`nextUpdate`	Zeitpunkt der Ausstellung der nächsten CRL
`revokedCertificates` • `serialNumber` • `revocationDate` • `crlEntryExtensions`	Liste widerrufener Zertifikate • Seriennummer • Zeitpunkt des Widerrufs • Eintragsspezifische Erweiterungen (v2)
`crlExtensions`	Globale Erweiterungen (v2)

CRL-Erweiterungen

- Erweiterbarkeit der CRLs ab Format v2
  - CRL-weite Erweiterungen: **`crlExtensions`**
    - z.B. CRL Number, CRL Scope, Issuing distribution point
  - CRL-Eintrags-spezifische Erweiterungen: **`crlEntryExtensions`**
    - z.B. Reason Code, Certificate Issuer

- Abbruch der Prüfung, wenn
  - Erweiterung unbekannt und
  - Erweiterung kritisch

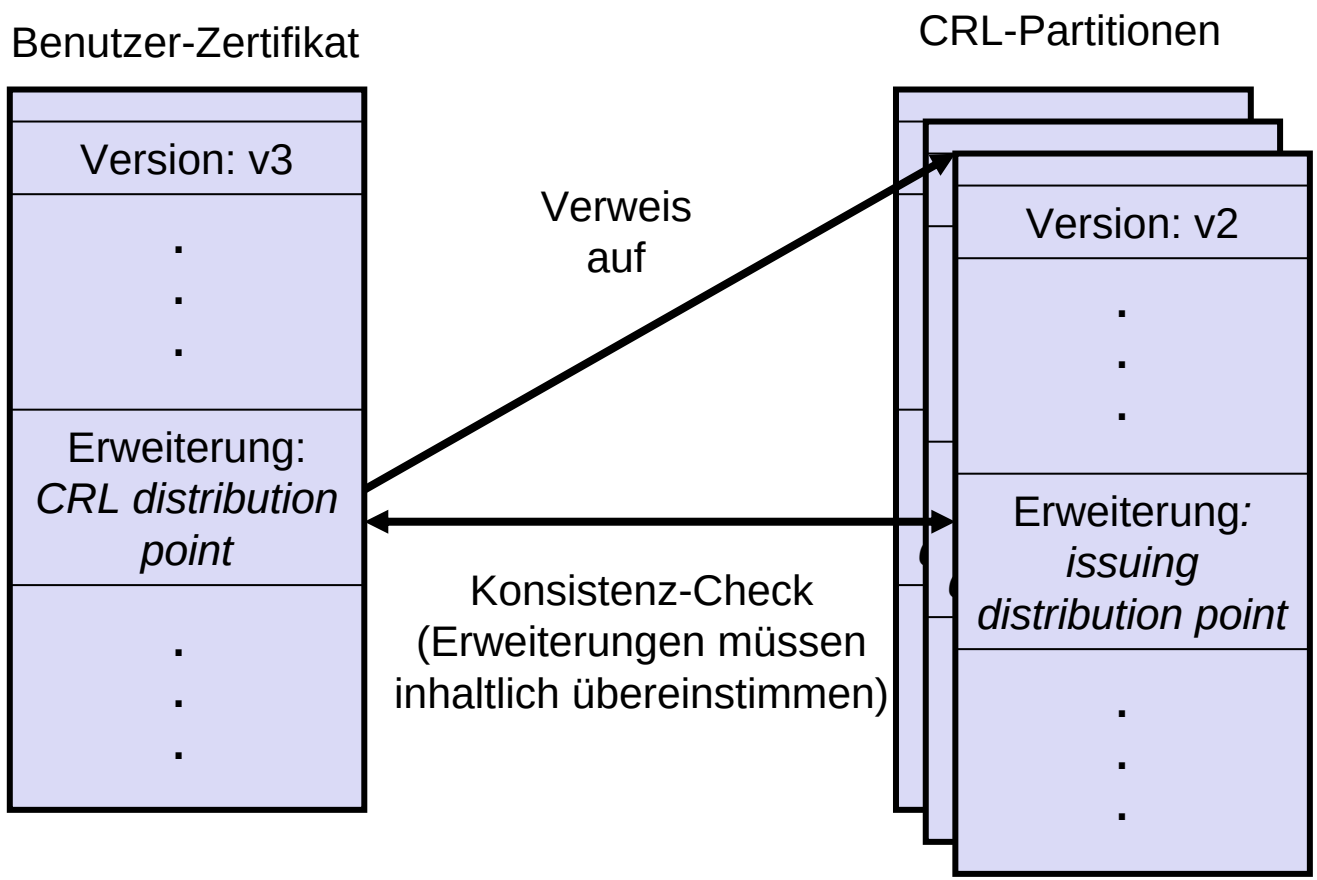
→ durch in den letzten Versionen von X.509 standardisierte CRL-Erweiterungen wird eine Vielzahl von CRL-Strukturen realisierbar

CRL-Strukturen

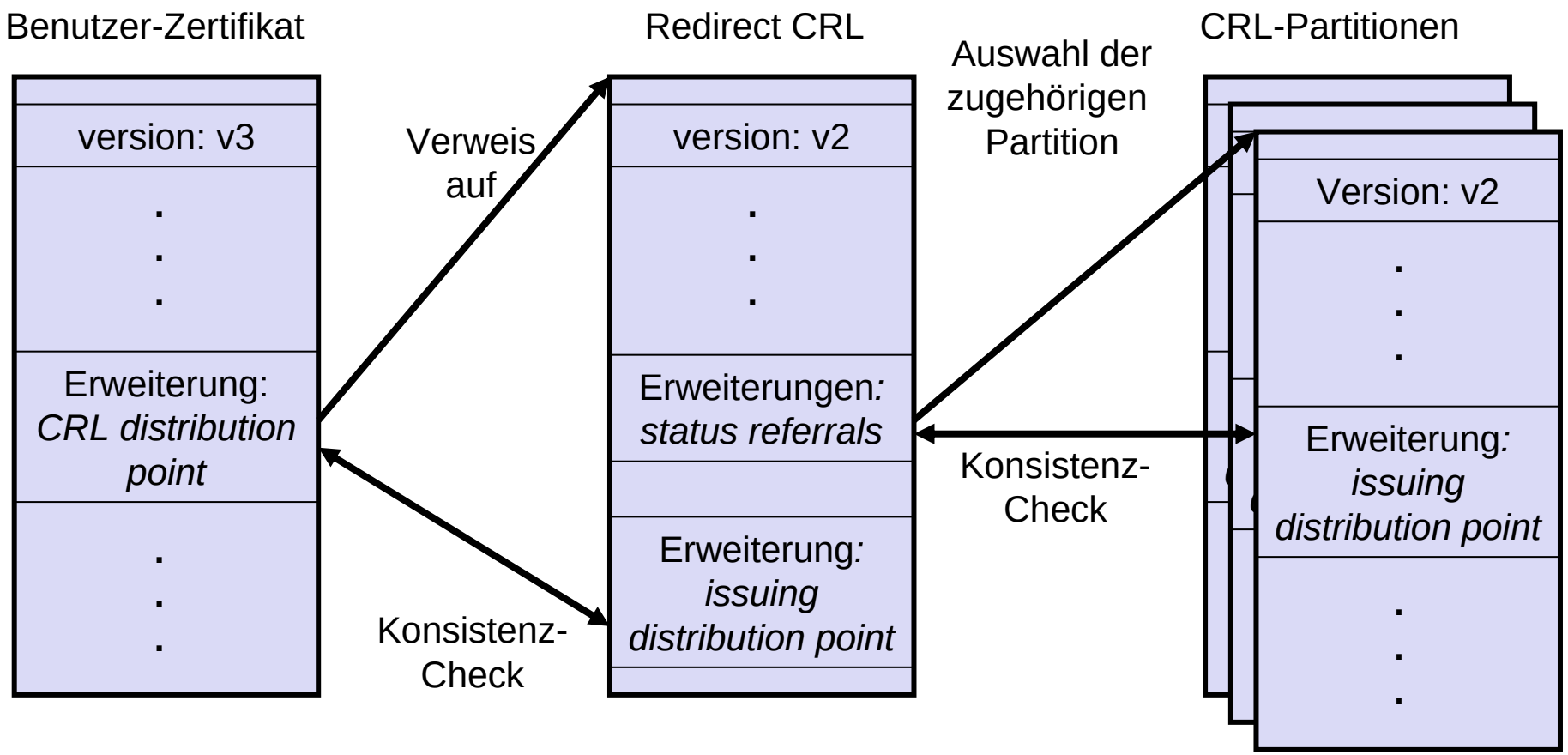
Folgende CRL-Strukturen lassen sich realisieren:

- Vollständige CRL
- Partitioned CRLs
- Redirect CRL
- Delta-CRL (dCRL)
- Indirect-CRL (iCRL)
- Certificate Revocation Tree (CRT)

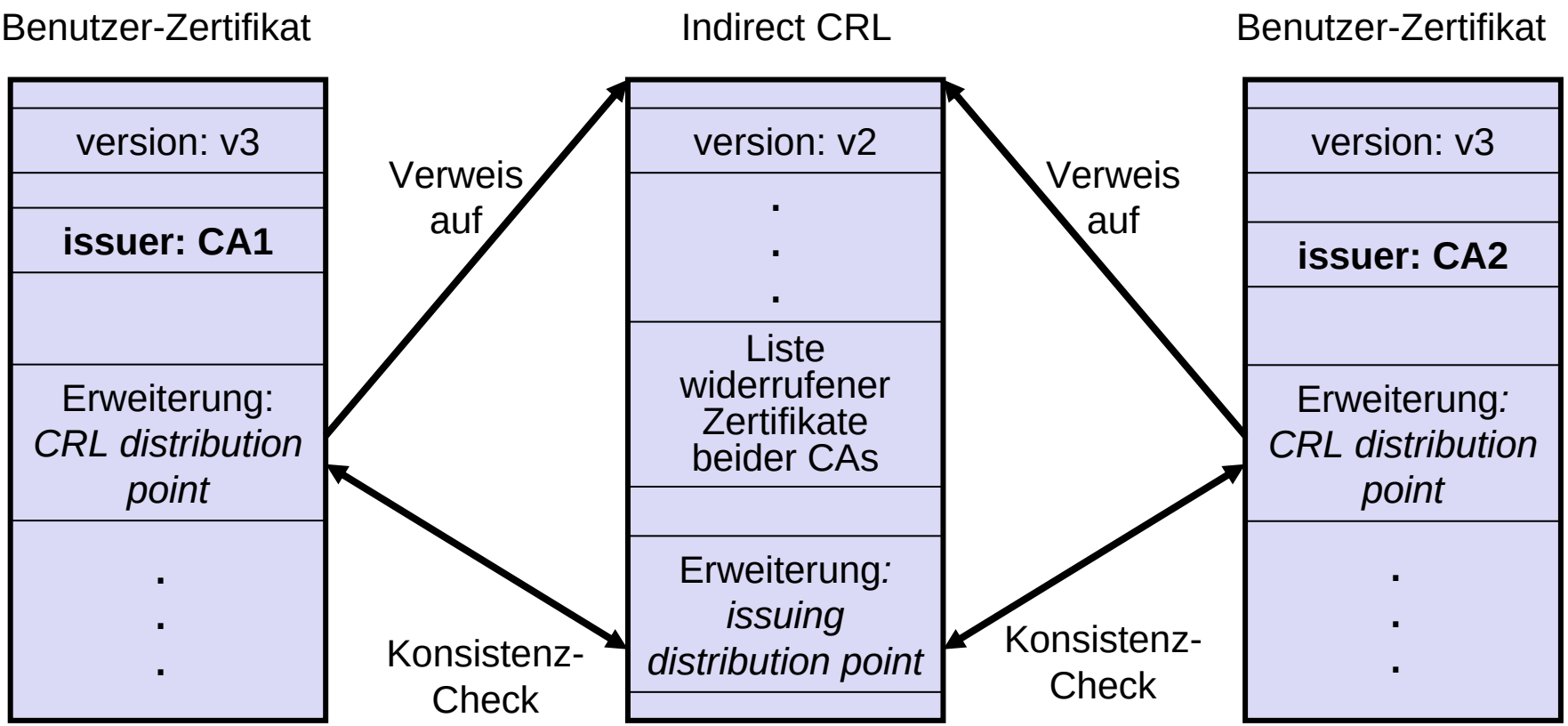
Partitionierte CRL



Redirect CRL



Indirect CRL



Gültigkeitsprüfung – Ein-/Ausgabe

- Eingabe
  - Zertifikatskette
  - aktuelle Uhrzeit
  - Menge von akzeptablen Sicherheitsrichtlinien bzw. deren OIDs
  - Flags
    - ob Richtlinien explizit in den Zertifikaten enthalten sein müssen
    - ob Äquivalenzzuweisungen zwischen Richtlinien zulässig sind
    - ob die Richtlinie `anyPolicy` zulässig ist
- Ausgabe
  - Erfolg oder Misserfolg der Prüfung
  - Fehlercode bei Misserfolg
  - Richtlinien, die aufgrund von CA-Einschränkungen gültig sind
  - Richtlinien, die aufgrund von Eingabe- und CA-Einschränkungen gültig sind
  - Flag, ob die Sicherheitsrichtlinie explizit enthalten sein musste
  - Äquivalenzzuweisungen während der Prüfung

Gültigkeitsprüfung – Ablauf

- Basis-Checks
  - Korrektheit der Kettenbildung
  - Korrektheit der Signaturen
  - zeitliche Gültigkeit
  - Prüfung jedes Zertifikates auf Widerruf
- Prüfung von Einschränkungen
  - sind Zwischenzertifikate CA-Zertifikate?
  - wird die maximale Pfadlänge eingehalten? (vorgegeben durch CA-Zertifikate)
  - werden Namenseinschränkungen eingehalten?
  - werden Richtlinieneinschränkungen eingehalten?

Bewertung des X.509-PKI-Frameworks

Vorteile und Nachteile der X.509-PKI

- ☺ flexibles Zertifikatsformat, viele Vertrauensmodelle realisierbar
- ☺ flexibles CRL-Format, viele CRL-Modelle realisierbar
- ☺ von vielen Anwendungen eingesetzt, praxisnah entwickelt

- ☹ Verwendung von ASN.1
  - sehr komplex und mächtig
  - in der Vergangenheit waren Implementierungen geprägt von Sicherheitslöchern (siehe SNMP)
- ☹ Komplexität des Standards

Kritik an X.509 an sich (auch PMI-Teil)

PKI allgemein und X.509 (PKI/PMI-Teil) wurden von vielen prominenten Kryptologen kritisiert:

- Bruce Schneier und Niels Ferguson im Buch
  "Practical Cryptography"  [5.3]
- Bruce Schneier und Carl Ellison in *Computer Security Journal* :
  "Ten Risks of PKI"  [5.4]
- Carl Ellison auf dem **1st Annual PKI Research Workshop**:
  "Improvements on Conventional PKI Wisdom"  [5.5]
- Peter Gutmann in *IEEE Computer*:
  "PKI: It´s not dead, just resting"  [5.6]
- Peter Gutmann in
  "X.509 Style Guide"  [5.7]

Praxisteil: openssl – Widerruf

- Widerrufen eines Zertifikates

```
openssl ca -revoke usercert.pem
```

- Erstellen einer CRL

```
openssl ca –updatedb
openssl ca -gencrl -crldays 60 -out mycrl.pem
```

Netzsicherheit – Architekturen und Protokolle
PKI: X.509

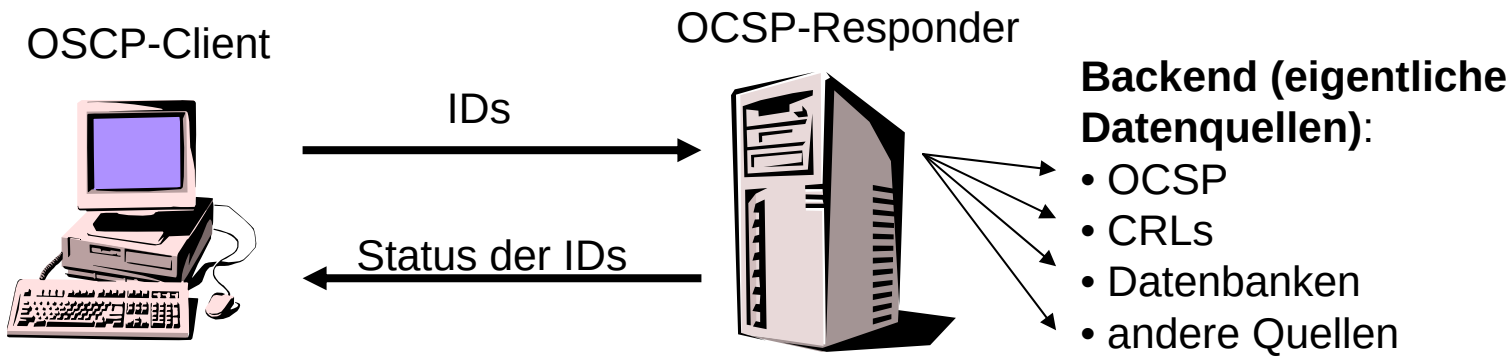
1. X.509-PKI
2. PKIX-Protokolle

Überblick: IETF PKIX WG

- Aufgabe der Working Group ist
  - das Erstellen von Profilen für Zertifikate und CRLs von X.509 für die Nutzung im Internet
  - die Entwicklung von Managementprotokolle zur Online-Realisierung von PKI-Diensten
- Überblick über existierende Standards
  - Profile
  - Managementprotokolle
  - Protokolle zur Status-Prüfung
    - Online Certificate Status Protocol (OCSP, v1 RFC 2560)
    - Server-based Certificate Validation Protocol (SCVP, RFC5055)
  - Protokolle für erweiterte PKI-Dienste

OCSP: Online Certificate Status Protocol

- OCSP war der erste Ansatz eines Protokolls zur Online-Prüfung von Zertifikaten auf Widerruf
  - einfaches Frage-Antwort-Schema
  - Erweiterung im Zertifikat: `AuthorityInfoAccess`
    - u.a. Lokalisierung von OSCP-Respondern und das verwendete Protokoll (z.B. http, ldap, ...)
  - durch die `extendedKeyUsage`-Erweiterung (Wert: OCSPSigning) autorisiert die CA den Responder zur Signatur von Antworten



Einsatz-Beispiele von OCSP

- Von der PKIX-Mailingliste:

- *The main [reference] mechanism(s) at, and shortly after, the time of writing OCSP IDs included:-*

(1) *VeriSign, who used an oracle database-based repository to feed data to OCSP daemons acting in cached and interactive, direct-trust mode; CRLs were not involved. OCSP proxing/multiplexing interactive direct-trust mode was added, shortly after standardization, for a defense customer bridging multiple certification domains.*

(2) *ValiCert, who used direct CRLs to feed data to direct/indirect OCSP daemons. Indirect CRLs and CRLDPs support was added slightly after the architects had harmonized their work.*

(Anmerkung des Kopierers: CRLDP = CRL Distribution Point)

Aufgaben und Einschränkungen von OCSP

- OCSP antwortet nur in Bezug auf Widerruf, prüft nicht
  - zeitliche Gültigkeit des Zertifikates
  - korrekter Verwendungszweck des Zertifikates
- On-line vs. Up-to-date
  - Unterschied?
- Signieren der Daten gefährdet Skalierbarkeit
  - CPU-Bedarf fällt synchron und bei jeder Anfrage an, nicht wie bei einer CRL einmalig
  - evtl. Vorbereiten von Antworten, wenn Aktualität ausreichend
- Nur geringe Verringerung der Komplexität der Validierung auf Client-Seite
  - Konstruktion der Zertifikatskette bleibt
  - Validierung der Zertifikatskette bis auf Widerrufprüfung bleibt

} siehe SCVP

SCVP: Server-based Certificate Validation Protocol

- SCVP soll Client ein partielles bis vollständiges Auslagern der Zertifikat-Validierung ermöglichen
- Fokus auf zwei Klassen von Benutzern
  - Auslagerung der Konstruktion, Validierung wird selbst gemacht
  - Vollständige Auslagerung, nur Ergebnis ist interessant
- Protokollseitige Abwicklung von Anfragen zur
  - Konstruktion einer Zertifikatskette (Delegated Path Discovery)
  - Validierung einer Zertifikatkette (Delegated Path Validation)

SCVP: Protokollabläufe

SCVP folgt wie OCSP dem einfachen Frage-Antwort-Modell und spezifiziert zwei Abläufe

1. Client befragt den Server nach unterstützten Validierungsrichtlinien (validation policy)

2. Client beauftragt Server mit der (teilweisen) Validierung von Zertifikaten

Fragen zu PKIX-Protokollen?

Aus der Praxis: EV-Zertifikate

- Ziel von X.509-ID-Zertifikaten
  - Vertrauen in Identität des Zertifikatsinhabers herstellen
- X.509-Standard kennt nur zwei Vertrauensstufen
  - Vertrauen besteht / besteht nicht
- Wunsch aus der Praxis: höheres Maß an Vertrauen für bestimmte Anwendungen
  - Online-Banking u.ä.
- Wie lässt sich das mit X.509 umsetzen?

EV-Zertifikate: Technische Umsetzung

- Definition einer Richtlinie mit technischen und organisatorischen Anforderungen
  - insbesondere an Durchführung der Identitätsprüfung durch die CA
- Zertifikate enthalten certificatePolicies-Erweiterung
  - im Wesentlichen enthalten
    - OID der Policy der CA für EV-Zertifikate
    - URL des Certification Practice Statement
- Prüfende Instanz kennt OIDs der EV-Policies vertrauter CAs
- Ergebnis: weitere Vertrauensstufe
  - sollte dem Nutzer deutlich angezeigt werden

PKI-Unfall: Microsoft und Verisign

→ Schwächste Glied der Kette bestimmt Gesamtsicherheit

 [5.8]

- Verisign
  - stellte Code-Signing-Zertifikate für eine Firma Microsoft aus
  - Routine-Check stellte fest, dass die Zertifikate fälschlicher Weise ausgestellt wurden
  - Zertifikate wurden zurückgezogen, via CRL bekannt gegeben

- Microsoft-OSe erfuhren von dem Widerruf nichts
  - Windows enthält die CA-Zertifikate von Verisign
  - Verisign-Zertifikate enthalten keine Erweiterung CrlDistributionPoint (weil Verisign-PKI schon älter als X.509v3)
  - CRL ist unter bekannter und dokumentierter URL zu finden, die jedoch durch Windows nicht genutzt wurde

→ Ergebnis: Windows kann einige Verisign-Zertifikate nicht auf Widerruf prüfen

Literatur

[5.1] C. Kaufmann, R. Perlman, M. Speciner; Network Security – Private Communication in a public world; Prentice Hall; 2003

[5.2] ITU-T Recommendation X.509, 2000.URL: http://www.itu.int/ITU-T/asn1/database/itu-t/x/x509/2005/index.html

[5.3] N. Ferguson, B. Schneier: Practical Cryptography, Wiley, 2003.

[5.4] B. Schneier, C. Ellison: Ten Risks of PKI: What You're not Being Told about Public Key Infrastructure, Computer Security Journal 16 (1), S. 1-7, 2000.

[5.5] C. Ellison: Improvements on Conventional PKI Wisdom, Proceedings of the 1st Annual PKI Research Workshop, online verfügbar: http://www.cs.dartmouth.edu/~pki02/

[5.6] P. Gutmann: PKI: it's not dead, just resting, IEEE Computer 35 (8), S. 41-49, August 2002.

[5.7] P. Gutmann: X.509 Style Guide, 2000. URL http://www.cs.auckland.ac.nz/~pgut001/pubs/x509guide.txt

[5.8] Microsoft warnt vor Cracker-Zertifikat, Meldung im Heise-Newsticker vom 24.3.2001, URL http://www.heise.de/newsticker/meldung/16482