Netzsicherheit – Architekturen und Protokolle
IP Security (IPsec)

1. Bausteine der Datensicherung
2. IPsec
3. Bewertung

Netzsicherheit – Architekturen und Protokolle
IP Security (IPsec)

1. Bausteine der Datensicherung
2. IPsec
3. Bewertung

Reihenfolge Sicherungsmechanismen

Entwurfsentscheidung:

In welcher Reihenfolge sollten MAC und Verschlüsselung angewendet werden?

Reihenfolge Sicherungsmechanismen

- Erst verschlüsseln, dann authentifizieren
  - schnelles Verwerfen von nicht authentischen Paketen
    - Ziel: DoS-Angriffe einschränken
    - Empfänger prüft erst die Authentizität
    - Entschlüsselung nur von authentischen Paketen
    - DoS-Angriff aber nur minimal erschwert
  - Entschlüsselung mit dem falschen Schlüssel nicht erkennbar
- Erst authentifizieren, dann verschlüsseln
  - nur der verschlüsselte MAC für Eve sichtbar
    - grundsätzlich: nur der äußere Sicherungsmechanismus direkt angreifbar
    - Schneier, Ferguson: „Authentizität wichtiger als Vertraulichkeit“
  - Horton-Prinzip
    - „You should authenticate what you mean, not what you say“
- Auch gleichzeitig möglich

•aktuelle Papers zeigen, dass „Erst verschlüsseln, dann authentifizieren“ nicht schlechter ist

Schnittstelle: Schlüsselaustausch

Entwurfsentscheidung:

Wie entkoppelt man Schlüssel-austausch und Sicherung?

•Motivation

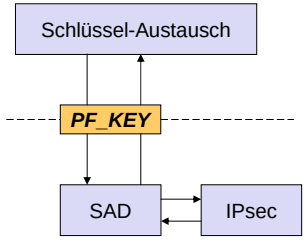
- •verschiedene Schlüsselaustauschverfahren unterstützen
- •verschiedene Anwendungen mit einem Schlüsselaustauschverfahren unterstützen

PF_KEY Key Management API

Key Management API

→ Generisches Management von Schlüsseln

- Konfigurationsschnittstelle SAD
  - **S**ecurity **A**ssociation **D**atabase
  - IPsec-Funktionalität im Kern, im Netzwerk-Treiber oder in Hardware
  - SA aus User-Space Programm (manuell oder automatisch)
  - Nachrichten-basierte Kommunikation



- Konzeptionelles Modell
  - neue SA erforderlich für ausgehendes IP-Paket
  - Anfordern der SA von Schlüsselaustausch-Programm
  - Setzen der SA bei Kommunikationspartnern (Initiator und Responder)

•RFC 2367 - PF_KEY Key Management API, Version 2

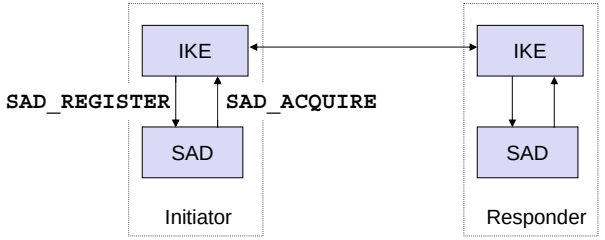
•die SAD kann für IPsec und andere Protokolle verwendet werden

•SAD: (oder auch SADB) Security Association Database

•SA: Security Association

PF_KEY-API Nachrichten

- Anmeldung eines Schlüsselaustauschprogramms
  - **SAD_REGISTER**
  - eine Nachricht pro SA-Typ (AH, ESP, …)
  - Antwort enthält vollständige Liste aller im Kern unterstützten Algorithmen
- Anfordern von Sicherheitsparametern
  - **SAD_ACQUIRE**
  - mehrere ausstehende Anforderungen möglich



•AH: Authentication Header (siehe IPsec)

•ESP: Encapsulating Security Payload (siehe IPsec)

•Beispiele für Algorithmen

- •AES-CTR (CTR: Counter-Modus)
- •3DES-CBC (CBC: Cipher Block Chaining)
- •HMAC-SHA1-96 (HMAC mit SHA1 auf 96 bit gekürzt)
- •…

•Nachrichten

- •SAD_REGISTER wird vom Schlüsselaustauschprogramm initiiert
- •SAD_ACQUIRE wird von der Security Associationen Database (SAD) bzw. IPsec initiiert

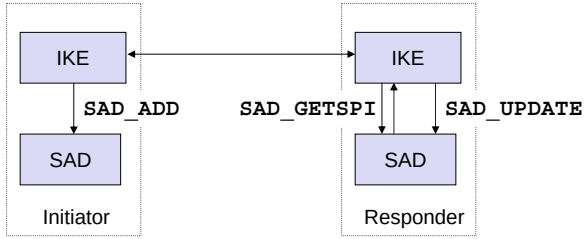
PF_KEY-API Nachrichten

Setzen der SA für den Responder (zwei Nachrichten)

- **SAD_GETSPI**: SAD des Responders legt SPI der SA fest, um Eindeutigkeit des SPI beim Responder zu garantieren. Anlegen einer Platzhalter-SA in SAD
- **SAD_UPDATE**: füllt die Platzhalter-SA mit Daten

Setzen der SA für den Initiator

- **SAD_ADD**



•Nachrichten

- •SAD_GETSPI wird vom Schlüsselaustauschprogramm initiiert
  - •reservieren einer eindeutigen SPI („ID-Zahl“)
- •SAD_UPDATE wird vom Schlüsselaustauschprogramm initiiert
  - •Update einer Security Association (SA)
- •SAD_ADD wird vom Schlüsselaustauschprogramm initiiert

•Bemerkung: für diese Nachrichten kommt natürlich auch ein manuelles Werkzeug statt dem Schlüsselaustausch in Frage

- •Beispiel: Kommandozeile-Tool und Austausch per Treffen

PF_KEY-API Nachrichten

Weitere Funktionen

`SAD_EXPIRE`	Aufforderung zur Neu-Aushandlung der SA zum Warnungs-Zeitpunkt
`SAD_DELETE`	Löschen einer SA aus der SAD
`SAD_FLUSH`	Löschen aller SAs eines Typs aus der SAD
`SAD_GET`	Auslesen der Sicherheits-Parameter durch eine Applikation
`SAD_DUMP`	Anzeigen aller SAs eines Typs (optional, für Debugging)

Baustein: Sequenznummern

- Sequenznummern
  - eindeutig und monoton wachsend
  - Ende der sicheren Verbindung bei Zählerüberlauf
    - Neuaushandlung des Schlüsselmaterials
  - Aufgaben
    - Erkennung von Wiederholungsangriffen
    - mögliche Quelle für Initialisierungsvektor (IV)
      - für z.B. Counter-Modus
    - Anzeige von verloren gegangenen Paketen (nicht bei IPsec)
- Empfänger
  - Sequenznummer echt größer als letzte empfangene?
    - JA: Paket akzeptieren und Nummer speichern
    - NEIN: Paket verwerfen

•Counter-Modus (CTR) ist ein Betriebsmodusverfahren für Blockchiffren (z.B. AES.)

•(siehe auch NIST: http://csrc.nist.gov/CryptoToolkit/modes/800-38_Series_Publications/SP800-38A.pdf

•Recommendation for Block Cipher Modes of Operation - Methods and Techniques)

•(oder auch Ferguson, Schneier: „Practical Cryptography“)

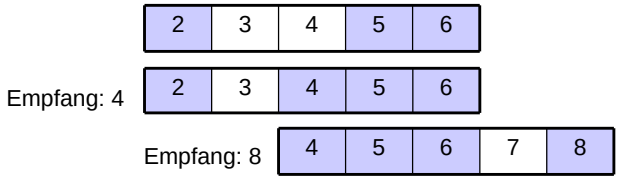
•(oder auch Bless et al: „Sichere Netzwerkkommunikation“)

Sequenznummernfenster

Fenstermechanismus für Sequenznummern auf Empfängerseite

- Erster Test der SA-Verarbeitung für schnelle Paket-Verwerfung
  - Verwerfen von Duplikaten
- Verfahren
  - Oberes Ende des Empfangs-Fenster ist höchste empfangene Sequenznummer
  - Unteres Ende ist um n kleiner als oberes Ende
    - IPsec: n=64 (Empfehlung)
  - Verwerfen von Paketen unterhalb des Fensters u. bereits erhaltene Pakete
  - Markieren von bereits empfangenen Sequenznummern

Beispiel für Fenstergröße 5 (weiß → noch nicht empfangen)



•Motivation: mehrere Pakete können parallel übertragen und dabei umsortiert werden.

•Dieses Verfahren wird von IPsec verwendet.

•Implementiert wird dies mit einem Zeiger auf das erste Feld und einer Bitmaske für das Markieren.

•Ablauf Empfänger erhält Paket mit Sequenznummer sn:

- •Falls „sn<Zeiger“, verwerfen
- •Falls „sn bereits markiert/erhalten“, verwerfen
- •Authentizität des Pakets prüfen, falls ok, dann sn markieren
- •Restliche IPsec-Bearbeitung

Netzsicherheit – Architekturen und Protokolle
IP Security (IPsec)

1. Bausteine der Datensicherung
2. IPsec
3. Bewertung

IPsec: Erweiterung des IP-Protokolls

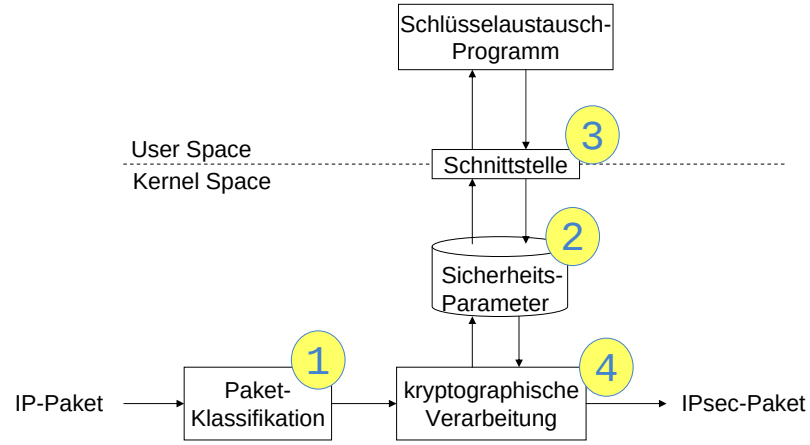
- Zwei neue Protokolle (als Protokollköpfe bei IPv4, als Erweiterungsköpfe bei IPv6)
- Authentication Header (AH): Protokoll für Replay-Schutz sowie Daten- und Sender-Authentifizierung
- Encapsulating Security Payload (ESP): Protokoll zur Daten-Authentifizierung, Replay-Schutz und Vertraulichkeit

- IPsec definiert ausschließlich den gesicherten Datenkanal
  - Schlüsselaustausch durch IKE
  - Speicherung des Schlüsselmaterials in einer Datenbank
  - Multiplexen mehrerer IP-Ströme auf einen Kanal

•Die aktuelle Version von IPsec wird in RFC 4301 definiert: http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4301.txt . Hier wird die Struktur und ein Rahmenwerk für IPsec definiert, welches in weiteren Standards noch ergänzt wird.

•Auch ESP authentifiziert den Sender, aber zumindest nicht die Felder des Senders im IP-Kopf o.ä.

Schema der IPsec-Verarbeitungsschritte eines ausgehenden IP-Pakets



•1. Paket-Klassifikation
  - •Festlegung der Paketverarbeitung
    - •Ankommendes IP-Paket
    - •Ankommendes IPsec-Paket
- •2. Sicherheitsparameter (= SAD)
  - •Finden der „richtigen“ Sicherheitsparameter in der Datenbasis
  - •Auslösen des Schlüsselaustauschs
- •3. Aufbau einer Sicherheitsbeziehung
  - •Austausch der Parameter einer Sicherheitsbeziehung mit der Gegenstelle
  - •Schlüsselaustausch-Programme: z.B. IKEv2
- •4. Paket-Verarbeitung
  - •Ver- bzw. Entschlüsseln der Pakete
  - •Berechnung von MAC
  - •Überprüfung der Integrität
  - •Hinzufügen bzw. entfernen von Protokoll-Köpfen

Sicherheitsparameter

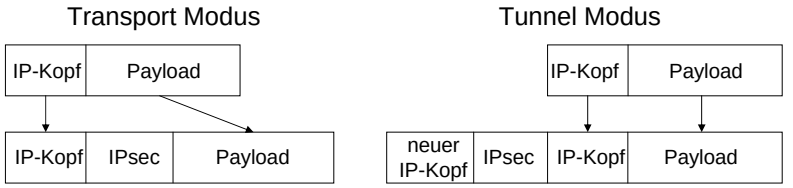
- Sicherheitsbeziehung (Security Association – SA)
  - zwischen zwei IP-Instanzen
  - unidirektional
  - ermöglicht Vertraulichkeit und/oder Authentizität der Daten
- SA-Parameter
  - IPsec-Protokoll: AH oder ESP
    - Authentifizierungsalgorithmus mit Schlüssel, usw.
    - Verschlüsselungsalgorithmus mit Schlüssel, usw.
  - IPsec-Übertragungs-Modus: Tunnel oder Transport
  - Lebenszeit der SA
    - in Bytes oder Zeiteinheiten gemessen
    - Soft-Lifetime (Warnung), Hard-Lifetime (SA deaktiviert)
  - Sequenznummernzähler
  - Anti-Replay-Empfangsfenster beim Empfänger
  - Path Maximum Transfer Unit (Path MTU)
    - für Fragmentierung notwendig

•Alle SAs werden in der SAD (SA Database) gespeichert

•(vergleiche IKEv2, hier allerdings genauer)

IPsec Übertragungsmodi

- Transport-Modus
  - Einfügen von Sicherheitsinformationen in das IP-Paket selbst
- Tunnel-Modus
  - IP-in-IP Kapselung
  - Anhängen der Sicherheitsinformationen an äußeren IP-Paketkopf
  - Anwendung
    - Security Gateway als Stellvertreter für Endsysteme eines Netzes
    - Nutzung von privaten IP-Adressen (RFC1918, z.B. 192.168.0.1)



•Typische Anwendung für IPsec ist VPN

Kryptographische Verarbeitung

- Authentication Header (AH)
  - Authentifizierung des Senders
  - Authentizität der Daten
  - Anti-Replay Protection
- Encapsulating Security Payload (ESP)
  - Authentizität der Daten
  - Anti-Replay Protection
  - Vertraulichkeit der Daten
  - Schutz vor Verkehrsanalyse (nur Tunnel-Modus)

•Schutz vor Verkehrsanalyse: ein Mithörer kann nicht erkennen, wer mit wem kommuniziert und wie viele Daten von einem Teilnehmer zum anderen übertragen werden

Aufbau einer AH-Dateneinheit

Next Header	Payload Length	Reserved
Security Parameter Index (SPI)		
Sequence Number (Anti-Replay)		
Integrity Check Value (abhängig vom Verfahren)		

- Next-Header-Feld
- Security Parameter Index (SPI)
- Anti-Replay-Sequenznummer
- Authentication Data
  - Integrity Check Value (ICV)

•SPI – Security Parameter Index
  •Index in die SAD (Security Association Database)

Bearbeitungsschritte des Authentication Header

- Beispiel für IPv4-AH-Transport Mode

Ver	Len	TOS	Total Length	
Fragment ID			Flags	Offset
TTL		Next Header	Checksum	
Source Address				
Destination Address				
Options plus Padding (optional)				
Payload				

•TTL – Time To Live (siehe Vorlesung Telematik)

•„Options plus Padding“ ist optional

Bearbeitungsschritte des Authentication Header

- IPv4-AH-Transport Mode
  1. Einfügen des AH-Templates
  2. Setzen des „Next Header“- und „Payload Length“-Felds
  3. Setzen des SPI für die ausgewählte SA
  4. Setzen der Anti-Replay Sequenznummer
  5. Ändern des IP „Next Header“-Felds im Transport Mode
  6. Berechnung der Authentifizierungs-Daten
  7. Fragmentieren des Pakets, wenn nötig

Ver	Len	TOS	Total Length	
Fragment ID			Flags	Offset
TTL		Next Header	Checksum	
Source Address				
Destination Address				
Options plus Padding				
Next Header	Payload Length	Reserved (alle 0)		
Security Parameter Index (SPI)				
Anti-replay sequence number				
Integrity Check Value (abhängig vom Verfahren)				
Payload				

Prüfung beim Empfänger

→ Wie prüft Empfänger die Authentizität des Pakets?

→ Welche Schwierigkeit tritt dabei auf?

Ver	Len	TOS	Total Length
Fragment ID		Flags	Offset
TTL	51 (AH)	Checksum	
Source Address			
Destination Address			
Options plus Padding			
Next Header	Payload Length	Reserved (alle 0)	
Security Parameter Index (SPI)			
Anti-replay sequence number			
Integrity Check Value (abhängig vom Verfahren)			
Payload			

•Felder die sich auf dem Übertragungspfad ändern können müssen von der Berechnung des ICV ausgeschlossen werden, sonst ist die Authentifizierung auf der Empfängerseite nicht möglich

- •Veränderliche Felder (werden zum Authentisieren auf 0 gesetzt)
  - TOS
  - Flags
  - Fragment Offset
  - TTL
  - Header checksum
  - Options
- •Vorhersagbare Felder (werden so authentisiert wie sie beim Empfänger ankommen
  - Zieladresse und Quelladresse (NAT oder Source-Routing)

Aufbau einer ESP-Dateneinheit

Security Parameter Index (SPI)		
Anti-replay sequence number		
Initialization Vector (IV)		
IP-Payload		
Padding	Padding Length	Next Header
Integrity Check Value (ICV) (abhängig vom Verfahren)		

- ESP-Kopf
  - Security Parameter Index (SPI)
  - Anti-Replay Sequenznummer
  - Initialisierungsvektor
- ESP-Anhang
  - Padding (0 – 255 Byte)
  - Padding Length
  - Next Header
- ESP-Authentication
  - wie AH-Authentication

•Notwendigkeit von Padding:

- •Ausrichten (Alignment) von Feldern (z.B. ICV)
- •Blockgröße für Krypto-Verfahren zu erreichen („kein Block halbvoll“)

Probleme

- IPsec und NAT
  - UDP-Encapsulation: Kapselung von IKE und IPsec in UDP
    - UDP-Port 4500 [RFC 3948]
  - AH authentisiert den IP-Kopf
    - Änderungen am äußeren IP-Protokollkopf machen Paket ungültig
    - IPsec muss Änderungen vorher in den ICV einberechnen
      - IKEv2 kann mittels NAT-Traversal die notwendigen Daten bestimmen
- IPsec-Köpfe vergrößern Paket
  - Fragmentierung notwendig
  - PMTU-Wert muss bestimmt werden!
    - wer tut dies? Sicherheit?
  - zuerst fragmentieren oder zuerst IPsec?
    - erster Fall: Kenntnis der PMTU notwendig / zweiter Fall: DoS möglich
- IPsec und Firewalls
  - häufiger Firewall Selektor: Portnummer
    - bei ESP ist jedoch die Schicht-4 Portnummer verschlüsselt
  - IPsec-fähige Endsysteme sind nicht sicherer als andere

•Wegen der Firewall Problematik wird meist IPsec für Concentrator-zu-Concentrator verwendet, nicht für Ende-zu-Ende. E2E wird über TLS realisiert.

Änderungen

- Seit Dezember 2005 neu
  - IPsec (RFC 4301)
  - AH (RFC 4302)
  - ESP (RFC 4303)
- Im Folgenden erklärte Neuerungen
  - Erweiterte Sequenznummer mit 64 statt 32 Bit möglich
  - Traffic Flow Confidentiality (TFC) Padding
    - Dummy-Pakete einfügen
    - kurze Pakete verlängern

Erweiterte Sequenznummer

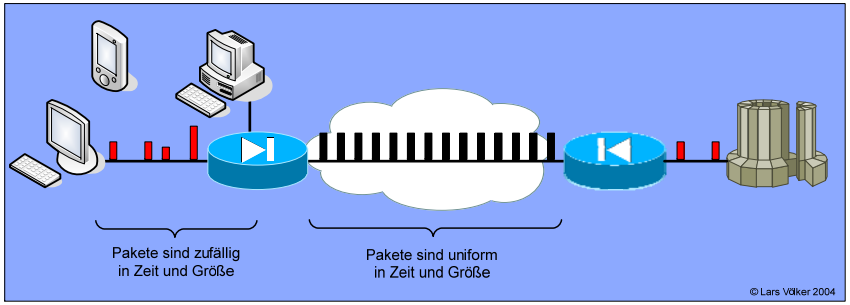
- IPsec-Paket hat eine 32-Bit-Sequenznummer
  - das ergibt etwa 4 Milliarden Pakete
  - für schnelle Netze in Zukunft zu wenig
    - Paketrate für 10Gbit/s: 1 Million/Sekunde (1 KByte) ~ 1,12 h
- Extended Sequence Number (ESN): 64 Bit
  - Für Abwärtskompatibilität können allerdings nur 32 Bit im Nachrichtenkopf stehen
  - Lösung:
    - untere 32 Bit werden übertragen
    - obere 32 Bit nur in der SA geführt
    - die kompletten 64 Bit werden in den ICV eingerechnet und somit in den Schutz aufgenommen

•Neu in RFC 4301 (RFC 2401 hatte dies noch nicht)

•Frage: Warum reicht es, dass nur die „unteren“ 32 Bit im Paket übertragen werden und der Rest implizit geführt werden?

Traffic Flow Confidentiality

- Idee: keine Informationen mittels Paketgröße und Frequenz verraten
  - Padding bis zu 64k Paketgröße
  - Dummy-Pakete einfügen (IP-Protokoll 59)



Netzsicherheit – Architekturen und Protokolle
IP Security (IPsec)

1. Bausteine der Datensicherung
2. IPsec
3. Bewertung

Bewertung

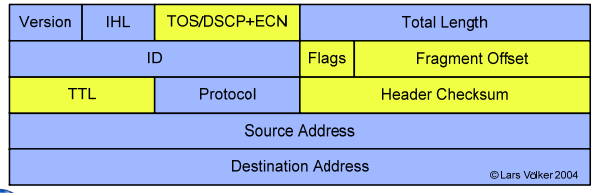
- Kritik von Bruce Schneier und Niels Ferguson

Kritikpunkte (basierend auf dem Stand Ende 1998)

- IPsec zu komplex
  - praktisch nicht möglich, IPsec ausreichend fehlerfrei zu programmieren
  - zu viele unterschiedliche Interessen berücksichtigt
- IPsec schlecht dokumentiert
  - Designziele werden in Dokumenten nicht ausreichend beschrieben. Leser weiß oft nicht, was die Funktionalitäten bedeuten
  - Varianten unterscheiden sich oft kaum
  - Vorschlag: auf AH und Transportmodus ganz verzichten

AH unnötig!?

- AH schützt alle blauen Felder
  - aber: Version, IHL, Protocol und Destination Address sind korrekt
    - sonst wäre das Paket nicht angekommen
  - Schutz der ID relativ wertlos, vor allem solange keine Fragmentierung
  - Schutz von Total Length wertlos, da sonst ICV falsch
- übrig: Source Address – aber was sagt die aus?



- gelb: veränderbar
- blau: geschützt

Literatur

Bücher (beziehen sich noch auf RFC240x-IPsec von 1998)

- S. Frankel; Demystifying the IPsec Puzzle; Artech House, 2001
  - sehr gutes IPsec-Buch
- C. Kaufmann, R. Perlman, M. Speciner; Network Security – Private Communication in a Public World; Prentice Hall; 2003
  - allgemeineres Buch

Standards und Papers

- RFC4301 – RFC4308 Dez. 2005 IPsec Standards, IETF
  - aktuelle Standards
- Furguson, N und Scheier, B.; A Cryptographic Evaluation of IPsec“, http://www.counterpane.com/ipsec.html, Feb. 1999
- Simpson, W.; IKE/ISAKMP Considered Dangerous; Draft; Jun. 1999
- RFC 2401 – RFC 2409 1998 IPsec Standards, IETF
  - veraltete Standards