Netzsicherheit – Architekturen und Protokolle
TLS/SSL und Policy

Netzsicherheit – Architekturen und Protokolle
TLS/SSL und Policy

1. Einführung
2. TLS-Schlüsselaustausch
3. TLS-Datenaustausch
4. Zusammenfassung
5. Policy

Motivation: SSL/TLS

- Sicherung von Transportverbindungen
  - TCP, UDP, … Anwendungen benötigen Sicherheit
    - Online-Banking, Online-Shopping, …
    - Authentifizierung durch Passwörter
  - am häufigsten benutztes Sicherheitsprotokoll für
    - HTTP (→ HTTPS), FTP (→ FTPS), RMI, SMTP, LDAP, …
- SSL/TLS ermöglicht
  - Ende-zu-Ende-Sicherheit
    - kann Email-Verkehr mit SSL komplett gesichert werden?
  - Gewährleistung der *Integrität*, *Vertraulichkeit* von Daten
  - *Authentifizierung* durch Zertifikate
  - Schutz vor Wiederholungsangriffen

Einführung

1994
- Netscape: HTTP muss gesichert werden
- Entwicklung des Secure Socket Layer Protokolls (SSL)
- V1 Closed Source ohne externes Review, Schwachstellen
- V2: Diskussion mit externen Spezialisten, erstes Produkt

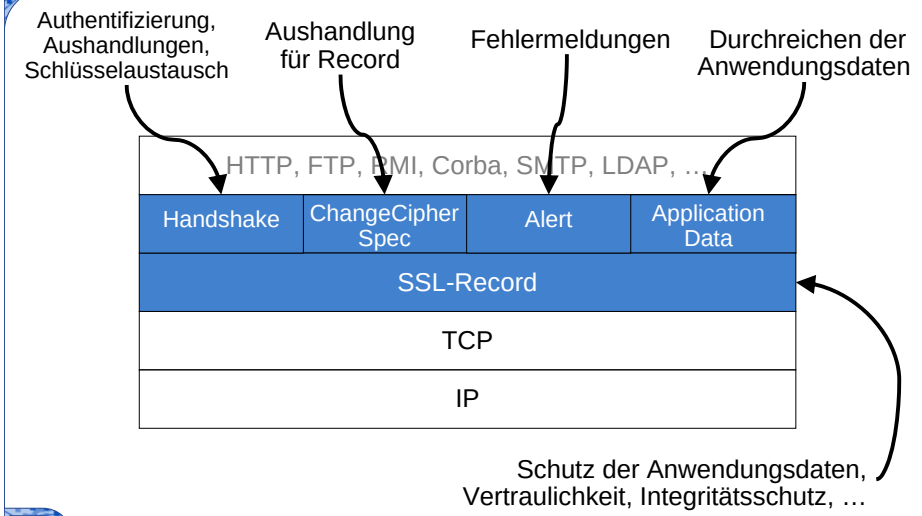
1995
- erstes Treffen der IETF
- V3: vollständige Neuentwicklung des Protokolls

1999
- TLS v1.0: Entwicklung von Transport Layer Security (TLS) in der IETF auf Basis von SSLv3

2006
- TLS v1.1 RFC 4346

2008
- TLS v1.2 RFC 5246

SSL Protokollstruktur



SSL Client Schnittstelle

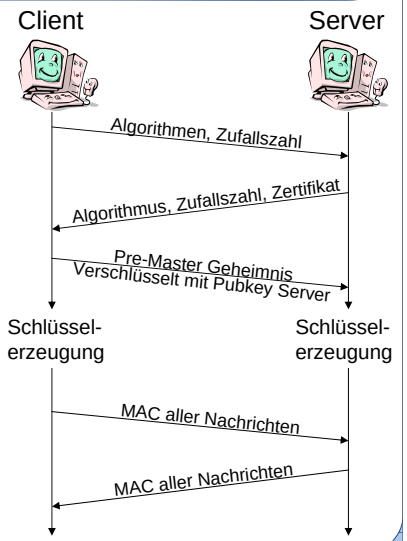
```
sock = socket(AF_INET,
  SOCK_STREAM, IPPROTO_TCP);

connect(sock, (struct sockaddr*)
  &server_addr,
  sizeof(server_addr));

send();
recv();

close();
```

```
OpenSSL_add_all_algorithms();
SSL_load_error_strings();
SSL_METHOD* method =
  SSLv2_client_method();
SSL_CTX* ctx =
  SSL_CTX_new(method);

sock = socket(AF_INET,
  SOCK_STREAM, IPPROTO_TCP);

connect(sock, (struct sockaddr*)
  &server_addr,
  sizeof(server_addr));

SSL* ssl = SSL_new(ctx);
SSL_set_fd(ssl, sock);
SSL_connect(ssl); //SSL handshake

SSL_read();  //SSL-gesichert
SSL_write(); //SSL-gesichert

SSL_free(ssl);
close();
```


SSL-Handshake Protokoll

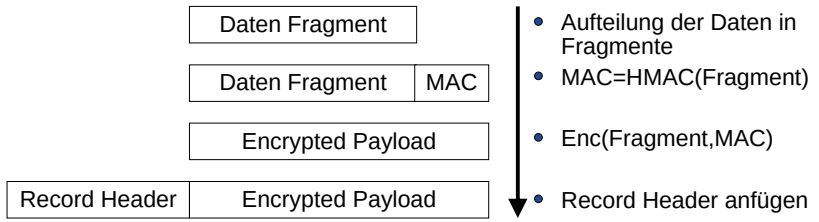
- Handshake
  - Aushandlung von Parametern (1,2)
  - Authentifizierung des Servers (2)
  - Schlüsselaustausch (1,2,3)
  - Sicherung des Handshake, Erkennen von Änderungen durch Angreifer (3,4)

(Details später)



SSL-Record Protokoll

- Handshake
  - authentifiziert Server, erstellt Schlüsselmaterial
  - → aber: möchten gesichert kommunizieren
- Record Protokoll
  - Aufteilung des Datenstrom in Fragmente
  - jedes Fragment einzeln schützen und übertragen



Netzsicherheit – Architekturen und Protokolle
TLS/SSL und Policy

TLS Cipher-Suites

- Definition von *Cipher-Suites*
  - vordefinierte Kombinationen von Sicherungsalgorithmen
  - Präfix: `TLS_`
  - zwei Sektionen
    - Algorithmen für Schlüsselaustausch
    - Algorithmen für Datenaustausch
    - getrennt durch Symbol: `_WITH_`
  - kennt eine Implementierung eine Cipher Suite nicht, so wird diese ignoriert
- Sonderfall: **`TLS_NULL_WITH_NULL_NULL`**
  - kein Schutz
  - Zustand bei Initialisierung

  → kein Schlüsselmaterial vorhanden

TLS Cipher-Suites

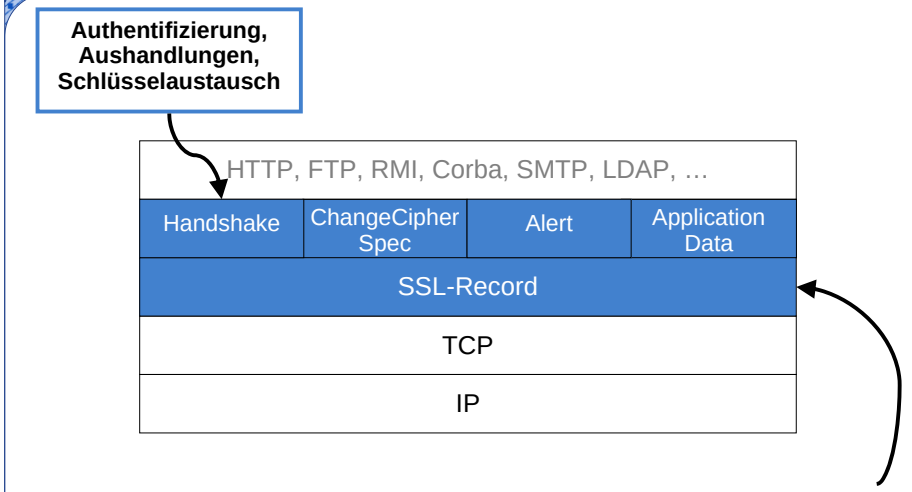
- Beispiel

`TLS_DH_RSA_WITH_AES_256_CBC_MD5`

Präfix | Trenner | Schlüsselaustausch → *Handshake-Protokoll* | Verschlüsselung, Integritätsschutz → *Record-Protokoll*

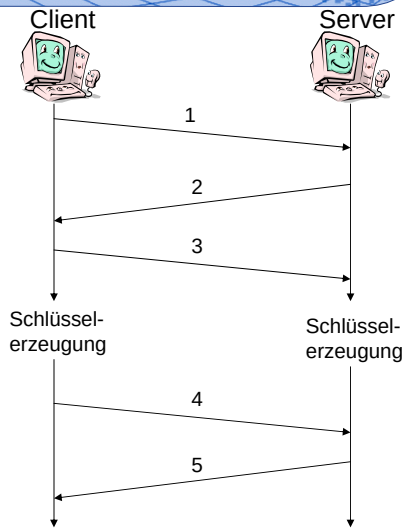
- Erklärung
  - **`TLS`**: Präfix zum Erkennen des Protokolls
  - **`DH`**: Schlüsselaustausch durch Diffie-Hellman
  - **`RSA`**: Authentifizierung durch RSA
  - **`WITH`**: Trenner für die Struktur
  - **`AES_256_CBC`**: Verschlüsselung der Daten mit AES 256 CBC
  - **`MD5`**: Integritätsschutz mittels HMAC-MD5

SSL Protokollstruktur



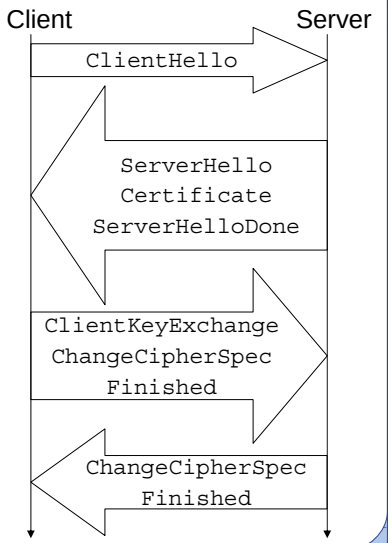
Vereinfachter Ablauf im Überblick

- Algorithmen-Aushandlung
  1. Liste von Cipher-Suites Zufallszahl
  2. Gewählte Cipher-Suite Zertifikat, Zufallszahl
  3. PreMaster-Secret mit Public Key verschlüsselt
- Erzeugung des Master-Secret und der Schlüssel aus dem PreMaster-Secret
  4. Message Authentication Code (MAC) aller Nachrichten
  5. Message Authentication Code (MAC) aller Nachrichten



TLS-Schlüsselaustausch im Detail

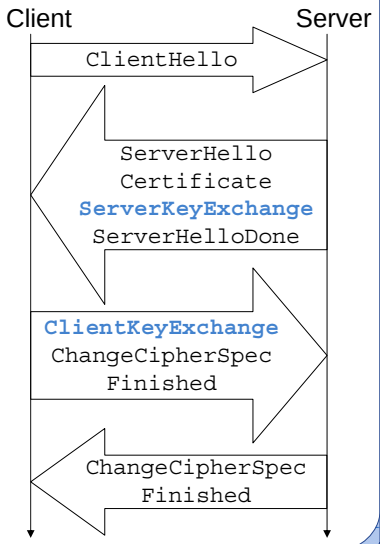
- Schlüsselaustausch ***ohne*** Diffie-Hellmann
  `TLS_RSA_WITH_`
  - `ClientHello`: Liste angebotener Cipher-Suites und eine Zufallszahl
  - `ServerHello`: Gewählte Cipher-Suites und eine Zufallszahl
  - `Certificate`: Server-Zertifikat
  - `ServerHelloDone`: Anzeige, dass alle Nachrichten übertragen wurden
  - `ClientKeyExchange`: RSA-verschlüsseltes ***zufällig gewähltes PreMaster-Secret***
  - `ChangeCipherSpec`: Anzeige, dass alle weiteren Nachrichten gesichert werden
  - `Finished`: Alle Nachrichten wurden übertragen, MAC über alle Nachrichten



TLS-Schlüsselaustausch – Variante

- Schlüsselaustausch ***mit*** Diffie-Hellmann
  `TLS_DH_RSA_WITH_`
  - `ServerKeyExchange` DH-Wert des Servers
  - `ClientKeyExchange` DH-Wert des Client
  - DH-Werte mittels RSA signiert
- TLS unterstützt verschiedene DH-Varianten
  - normales (**`DH`**), ephemeral (**`DHE`**, ähnl. IKE), anonym (**`DH_anon`**, ohne Authentifizierung)
- Key Derivation: Master-Secret
  - Pre-Master-Secret generiert von Client oder DH-Austausch
  - **`master_secret = PRF( pre_master_secret, "master secret", ClientHello.rand+ServerHello.rand);`**
  - ***`PRF`*** ist aus HMAC konstruiert

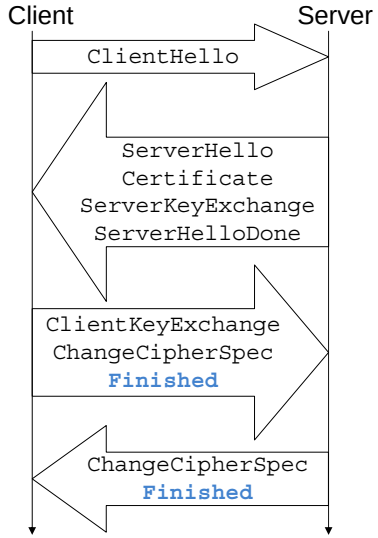
→ Client und Server generieren Master-Secret selbst aus Pre-Master-Secret und Zufallszahlen



TLS-Schlüsselaustausch – Variante

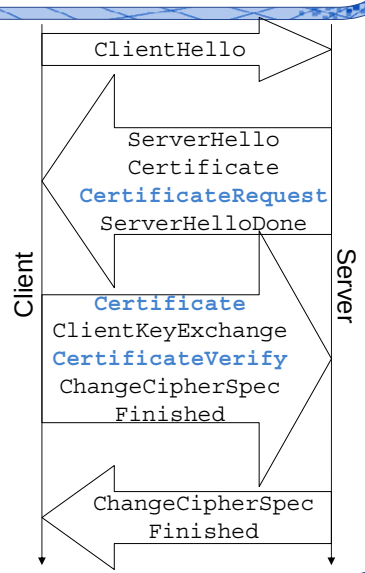
- Downgrade-Angriff
  - Angreifer löscht Cipher-Suites
  - Ziel: Client und Server einigen sich auf ein schwaches Verfahren
  - Bsp: NULL-Verfahren oder DES
- Lösung
  - Signierter MAC über alle ausgetauschten Nachrichten
  - in der `Finished`-Nachricht

→ Überprüfung ob gesendete Nachrichten bei Empfänger unverändert ankamen



Client-Authentifizierung

- Client-Authentifizierung
  - `CertificateRequest`: Anforderung vom Server, dass Client ein X.509-Zertifikat zur Identifizierung verwenden muss
    - kann nicht vom Client angeboten werden
    - Beschränkung des Dienstes auf bestimmte Nutzer
  - `Certificate`: enthält das Zertifikat
    - Analog zur Zertifikat-Nachricht des Servers
  - `CertificateVerify` ist ein signierter Hash über die bisherigen Nachrichten
    - Nachweis, dass der Client auch den dazugehörigen privaten Schlüssel besitzt

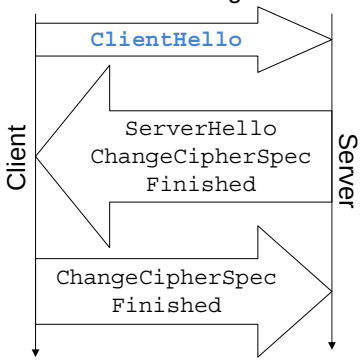


Sitzungswiederaufnahme

Vermeidung rechenintensiver Schlüsselaushandlung

- Erster Verbindungsaufbau wie gezeigt
  - Server wählt und sendet Sitzungs-ID in ServerHello
  - Speichert Master-Secret mit Sitzungs-ID
- Wiederaufnahme einer Verbindung
  - Client verwendet Sitzungs-ID in ClientHello
  - Server zeigt Einverständnis durch Übertragung der gleichen Sitzungs-ID in SeverHello
  - Überspringen der restlichen Aushandlung
- Diskussion
  - wann benötigt man das Verfahren?
  - Server hält Zustand, andere Möglichkeit?

Zweiter Verbindungsaufbau:



Rekeying

Neuaushandlung des Schlüsselmaterials

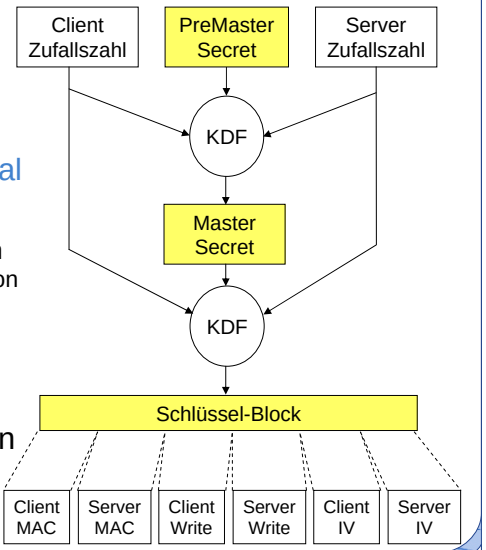
- Jederzeit von Client oder Server aus möglich
  - Aushandlung unter Schutz der bestehenden Verbindung
  - Neuaushandlung des PreMaster-Secrets
- Ablauf
  - Triggern des Rekeying
    - Server sendet eine `HelloRequest`-Nachricht
    - → Anforderung an Client Rekeying zu beginnen
    - Client sendet eine `ClientHello`-Nachricht
  - Neuer Handshake wird durchgeführt
- Neuaushandlung nicht erwünscht
  - Ignorieren der Nachricht oder
  - Alert-Nachricht

Schlüsselgenerierung

- Bisher: Handshake
  - Pre-Master Secret

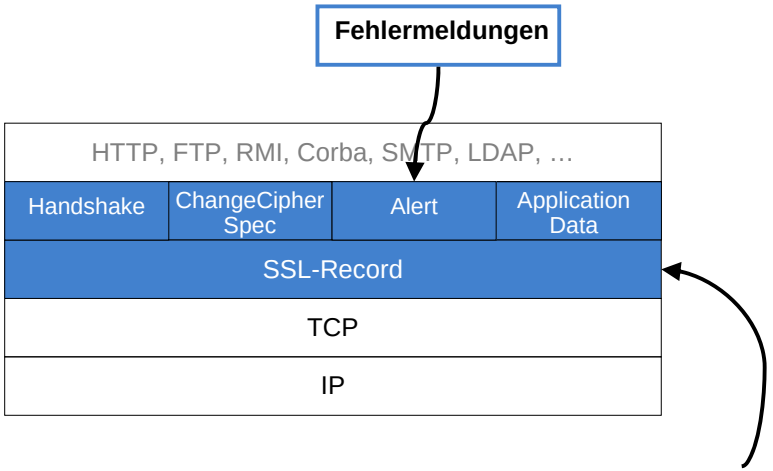
→ Generierung des Master-Secret für Records-Protokoll

- Erzeugung Schlüsselmaterial
  - Verwendung einer Pseudo-Zufalls-Funktion (PRF) in der Schlüsselerzeugungsfunktion
    - KDF: Key Derivation Function
  - PreMaster Secret ist geheim
  - beide Zufallszahlen sind öffentlich bekannt
- Länge des Key Block ist Summe der Schlüssellängen
  - Zerschneiden des Key-Blocks in Schlüssel



Netzsicherheit – Architekturen und Protokolle
TLS/SSL und Policy

SSL Protokollstruktur

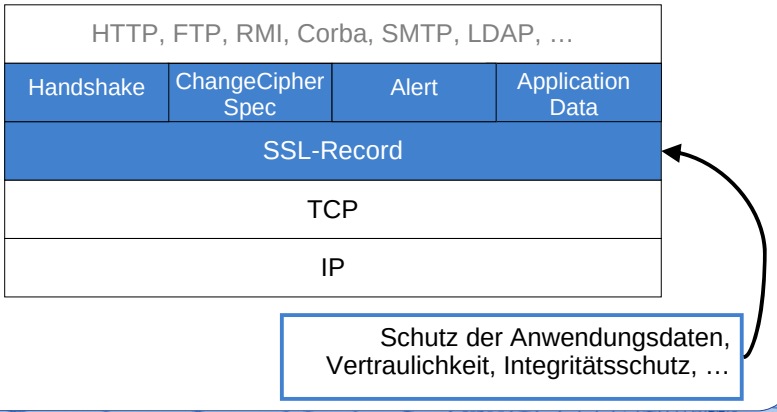


TLS-Alert Protokoll

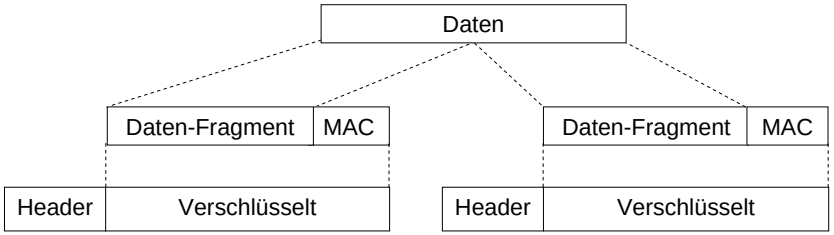
Alert-Protokoll

- zwei Arten von Fehlern
  - Fataler Fehler: sofortiger Verbindungsabbruch
  - Hinweis: **`CloseNotify`** oder **`NoRenegotiation`**
    - später mehr zu **`CloseNotify`**
- Fehler des Zertifikats
  - Signatur-Algorithmus nicht unterstützt
  - Signatur falsch
  - Zertifikat zurückgezogen
  - CA nicht vertrauenswürdig
- Fehler beim Datenempfang
  - MAC des Schlüsselaustauschs falsch
  - entschlüsseltes Paket nicht authentisch
  - überlanges Paket

SSL Protokollstruktur



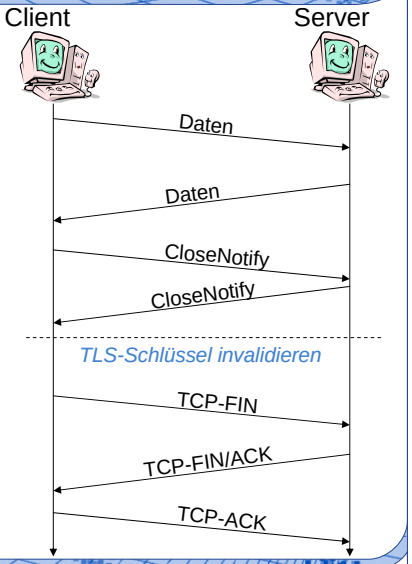
TLS: Record Layer-Protokoll



- Funktionsweise des Record Layers
  - Zerlegen der Daten in Fragmente
  - Berechnen des MAC und Anhängen an das Fragment
  - Verschlüsseln von (Fragment + MAC)
    - Null-Verschlüsselung während Handshake
  - Anfügen des Record Headers
    - Type, Version, Länge

TLS-Verbindungsabbau

- Einleitung durch `CloseNotify`
  - Alert-Nachricht des Typs Hinweis
  - Schlüsselmaterial/Kontext löschen
- Schutz vor Verkürzungsangriffen
  - Truncation-Angriffen
  - bis SSLv2 keine Nachricht für SSL-Session Ende
    - Beenden der Session bei Ende der TCP-Verbindung
    - Angreifer kann TCP-FIN an Alice schicken. Für Bob ist SSL-Session noch offen → je nach Implementierung Fehleverhalten möglcih
- Fehlerfälle
  - Empfang eines TCP-FIN ohne vorheriges `CloseNotify`
    - Lässt auf möglichen Angriff schließen
    - Sitzung darf nicht wieder aufgenommen werden, da TLS nicht korrekt abgebaut
  - Auslassen der zweiten `CloseNotify`-Nachricht
    - End-Timer in der Anwendung nötig
    - Direktes close() durch Peer



Netzsicherheit – Architekturen und Protokolle
TLS/SSL und Policy

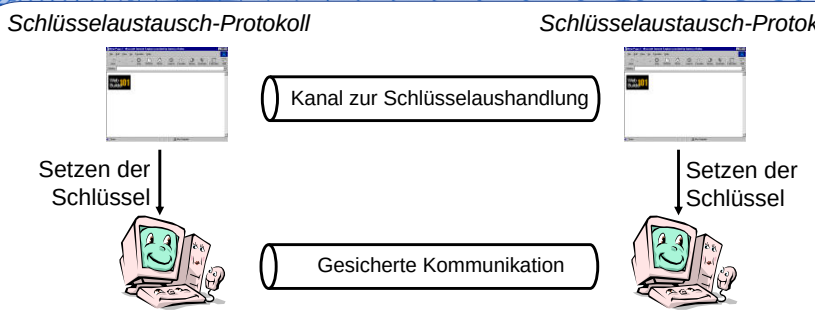
TLS Zusammenfassung

- Transport Layer Security
  - TLS erzeugt einen sicheren Kanal
  - mehrere Verbindungen in einem TLS-Kanal
  - Server-Authentifizierung
    - Client-Authentifizierung durch Anwendung
    - z.B. Name/Passwort
  - Wiederaufnahme einer Sitzung

TLS für TCP entwickelt, welche Änderungen für UDP notwendig?

Netzsicherheit – Architekturen und Protokolle
TLS/SSL und Policy

Übersicht



- wie beschreibt man den „gesicherten Kanal“?
- wie sieht die Schnittstelle zur Anwendung aus?
  - explizite Schnittstelle für Anwendung → TLS
  - implizite Schnittstelle für Anwendung → IPsec

Einbau von Sicherheitsfunktionalität

- Socket-Schnittstelle
  - Transport Layer Security (TLS)
    - UDP Version DTLS
  - nutzen einer speziellen API im Programm
    - vollständig im User-Space
- Netzwerk-Protokollstapel
  - IPsec
  - transparent für die Anwendung
    - keine Änderungen an der Anwendung notwendig
  - Änderung am Betriebssystem
    - Schutz durch Administration, nicht durch Anwendung/Benutzer
  - Ort der Schutzfunktionalität frei wählbar
    - Endsystem: komplexe Konfiguration
    - Gateway: zentraler Punkt, aber kein Schutz im internen Netz

SSL/TLS: Paketklassifikation

- Welche Pakete sollen wie geschützt werden?
- Selektoren
  - ausgehende Pakete: Verbindungskontext
  - eingehende Pakete: Verbindungskontext
- Klassifikation durch Anwendungsport
  - Nutzer kontrolliert explizit durch Portwahl
  - HTTP auf Port 80 → HTTPS auf Port 443
  - Alternative: StartTLS durch Anwendung (smtp, http, …)
    - nur ein Port notwendig, Anwendungen entscheiden ob gesichert kommuniziert wird durch Umschalten auf TLS

IPsec: Paketklassifikation

- Welche Pakete sollen wie geschützt werden?
- Selektoren für ausgehende Pakete
  - Quell- und Zieladresse (IPv4 oder IPv6)
  - Schicht-4-Protokoll (TCP oder UDP), Quell- und Zielports
  - Name (nur auf Endsystem)
    - Voll qualifizierter DNS-Benutzername (z.B.: administrator@tm.uka.de)
    - X.500 name
- Selektoren für eingehende Pakete
  - Zieladresse (IPv4 oder IPv6)
  - IPsec-Protokoll
  - SPI (Security Parameter Index)
- Klassifikation durch Regelwerk der *Security Policy Database* (SPD)
  - Festlegung der Verarbeitungsstrategien

IPsec: Paket-Klassifikation – Beispiel

Beispiel: SPD auf einem Security Gateway

Regel	Src-Addr	Dest-Addr	Src-Port	Dest-Port	Protocol	Action
1	SG1	SG2	500	500	UDP	Bypass
2	SG1	SG2	*	*	*	IPsec – SA 1
3	Host 1	*	*	*	*	IPsec – SA 2
4	Netz 1	Netz 2	*	*	*	IPsec – SA 3

- Regel 1: IKE-Verkehr wird nicht durch IPsec geschützt
- Regel 2: Sonstiger Verkehr zwischen den beiden SGs wird durch SA 1 geschützt
- Regel 3: Verkehr von Host 1 wird durch SA 2 geschützt
- Regel 4: Sämtlicher Verkehr von Netz 1 (außer Host 1) ins Netz 2 wird durch SA 3 geschützt

Vergleich

- IPsec
  - ☺ mächtiges, flexibles Verfahren
  - ☺ Administrator kann in Policy eingreifen
  - ☺ Aggregation mehrerer Verbindungen möglich
  - ☺ schützt transparent alle Schicht-4-Protokolle
  - ☹ hohe Komplexität
- TLS
  - ☺ einfaches Verfahren
  - ☺ Anwendungsnah
  - ☺ nutzt Kontext von TCP
  - ☹ Aggregation Verbindungen unterschied. Systeme nicht möglich
  - ☹ TLS schütze nur Anwendungsdaten, nicht Schicht 3/4
  - ☹ Administrator kann nicht in Policy eingreifen, von Anwendung def.

Fazit

- Fazit
  - Policy definiert „was“ „wie“ geschützt wird
  - Umsetzung und Ort hängen vom Protokoll ab
- Sicherheitstechniken
  - IPsec
    - komplex aber mächtig
    - schwierig für den Anwender
  - TLS
    - einfach aber weniger mächtig
    - für den Anwender einfacher

Literatur

- SSL and TLS – Designing and Building Secure Systems, E. Rescorla; Addison-Wesley, 2001
  - Buch vom Autor des TLS-Standards
- Private Communication in a Public World, C. Kaufmann, R. Perlman, M. Speciner; Network Security, Prentice Hall; 2003
  - Allgemeines Buch, hier findet man sehr viel
- The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.2, T. Dierks, E. Rescorla, RFC 5246, August 2008
  - Aktueller TLS Standard