IT Sicherheit: Netzwerksicherheit

Dr. Christian Rathgeb

Hochschule Darmstadt, ATHENE, da/sec Security Group

03.06.2020

Netzwerke: Einführung I

- *Computernetzwerk:* Zwei oder mehrere Computer, die durch ein Übertragungsmedium miteinander verbunden (vernetzt) sind, bilden ein Computernetzwerk
- Ein Computernetz besteht daher mindestens aus zwei Knoten (Rechner) und einer (physikalischen + logischen) Verbindung
- Beispiele: Internet, Computernetzwerke, Mobilfunknetzwerke, Optische Netzwerke
- Fokus der IT-Sicherheit: Datennetzwerke (Internet-Protokoll (IP) Netzwerke)

Netzwerke: Einführung II

- Arten der Vernetzung:
  1. Wireless-LAN
  2. Ethernetkabel
  3. Bluetooth
  4. Near Field Communication (NFC)
  5. Mobilfunk (UMTS, LTE)
  6. Optische-Links (Glasfaser)
  7. ...

Netzwerke: Einführung III

Sinn und Zweck von Computernetzwerken:

- Zugriffe auf Daten, Programme, Ressourcen anderer Rechner ist möglich, z.B.
  - Zugriff auf Hochleistungsrechner
  - Abruf von Filmen aus einem Archiv
- Verteilung von Rechenleistung und Datenhaltung auf unterschiedliche Rechner
  - Erhöhte Flexibilität und Ausfallsicherheit
- Rechnergestützte Aufgaben können arbeitsteilig ausgeführt werden
  - Verteilung von Rechenaufgaben auf unterschiedliche Computer

Netzwerke: Einführung IV

Bausteine eines Computernetzwerkes:

- *Endgeräte/„Computer“:* Laptop, PC, Smartphone, Webserver
- *Hardware für die physikalische Übertragung:* Verkabelung der Netzwerkgeräte (Router, Switches, ...)
- *Netzwerk-Software:* Implementierung von Protokollen
- *Netzwerk-Applikationen:* Web, Email, etc.

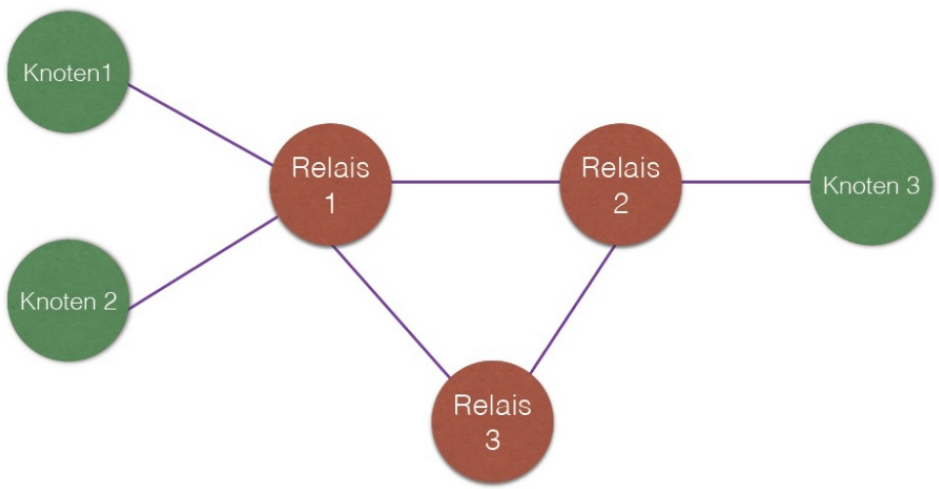
Netzwerke: Einführung V

Eine direkte physikalische Verbindung zwischen allen Knoten eines Netztwerkes ist in der Realität nicht umsetzbar!

- zu viele Verbindungen von jedem Knoten aus; Entfernungen zwischen Knoten

Computernetztwerke haben daher **Relais-Knoten**

- Knoten sind nicht alle direkt miteinander verbunden, Relais-Knoten vermitteln zwischen Knotengruppen



Netzwerke: Einführung VI

Netzwerkmethoden:

1. *Naming:* Ein Name für einen Knoten oder einen Dienst (Knoten 1, Knoten 2, ..., Knoten n)
2. *Addressing:* Eine Adresse für einen Knoten oder Dienst (Wie ist die „Anschrift“ eines Knotens?)

- Kann man mit der Adresse alleine Daten zwischen den Knoten austauschen?

Netzwerke: Einführung VI

Netzwerkmethoden:

1. *Naming:* Ein Name für einen Knoten oder einen Dienst (Knoten 1, Knoten 2, ..., Knoten n)
2. *Addressing:* Eine Adresse für einen Knoten oder Dienst (Wie ist die „Anschrift“ eines Knotens?)

- Kann man mit der Adresse alleine Daten zwischen den Knoten austauschen?
- Nein, denn es fehlt die Information welchen Pfad die Daten durch das Netzwerk nehmen müssen

Netzwerke: Einführung VII

Netzwerkmethoden:

3. *Routing:* Bestimmung des Pfades den die Daten durch das Netzwerk nehmen

- Datenaustausch zwischen beliebigen Konten erfordert die Wahl eines Pfades durch das Netzwerk
- Relais müssen Routen zu den anderen Relais und Knoten kennen $\rightarrow$ Routingtabellen beinhalten diese Information

4. *Forwarding:* Weiterleiten der Daten von einem Netzwerksegment in das nächste

- Versand/Weiterleitung (engl. Forwarding) ist der Prozess des Datentransfer mit den Information aus dem Routing

Das Internet

- Verbindung von mehreren unterschiedlichen Netzwerktechnologien zu einem großen Netzwerk (INTER Networking) $\rightarrow$ ein Netz aus Netzen!
- Millionen vernetzter Computer: Hosts = Endsysteme auf denen Netzwerk-Applikationen laufen
- Verbunden durch Leitungen oder Funkstrecken: Glasfaser, Kupfer, Funk
- Vermittlungsstellen = Router (leiten Datenpakete weiter)

(Kommunikations-)Protokolle

- Ein Protokoll ist eine eindeutig definierte Abfolge von Handlungen zwischen Kommunikationspartnern
- Protokoll setzt sich aus mehreren Schritten zusammen
- Voraussetzungen:
  1. Jede/r muss alle Schritte kennen
  2. Jede/r muss zustimmen den Schritten zu folgen
  3. Protokoll ist eindeutig
  4. Für jede Situation gibt es einen definierten Schritt
- Weiters legt ein Kommunikations-Protokoll das Format der Nachrichten (Syntax) fest!

Schichtenmodelle

Netzwerke sind komplexe Gebilde!

- Unterschiedliche Dienste, Knotenarten, Protokolle, etc.
- Komplexität verlangt die Aufteilung in Funktionsblöcke oder Schichten
- Schichten sind eine Sammlung gleicher Funktionalität
- Beherrschung der Komplexität in einer Schicht einfacher
- Entwicklung der Schichten mit Ihrer Funktionalität teilweise getrennt von anderen Schichten
- Grundprinzip: “Teile und Herrsche!”

OSI-Schichtenmodell I

Das OSI-Schichtenmodell (Abk. OSI: open system interconnections) besteht in der standardisierten Fassung seit 1983 und dient mit sieben Schichten wesentlich genauer als das DoD-Schichtenmodell

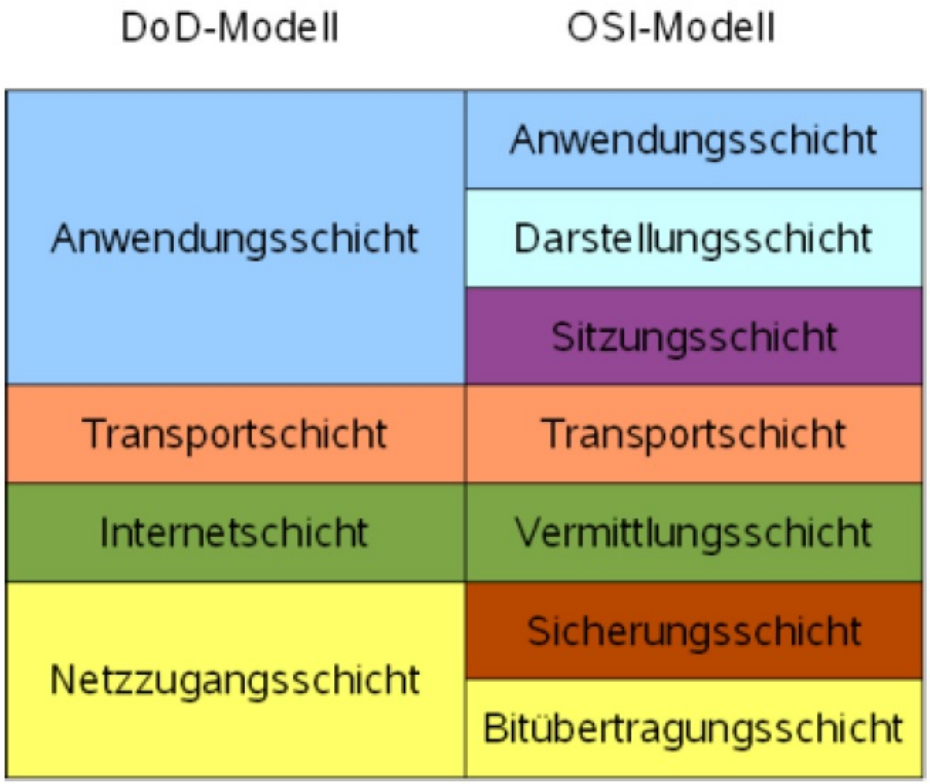
1. *Anwendungsschicht:* stellt den Anwendungen verschiedene Funktionalitäten zur Verfügung
2. *Darstellungsschicht:* wandelt systemabhängige Datendarstellung in eine unabhängige Form um, sorgt für Datenkompression und Verschlüsselung
3. *Sitzungsschicht:* sorgt für die Prozesskommunikation zwischen zwei Systemen, behandelt Sitzungsabbrüche

OSI-Schichtenmodell II

4. *Transportschicht:* sorgt für die Zerlegung in Datenpaketen und die Stauvermeidung
5. *Vermittlungsschicht:* sorgt für die Weitervermittlung von Datenpaketen einschließlich der Wegsuche (Routing), Netzadressen
6. *Sicherungsschicht:* gewährleistet eine weitgehend fehlerfreie Übertragung, regelt den Zugriff auf das Übertragungsmedium
7. *Bitübertragungsschicht:* stellt mechanische, elektrische und weitere funktionale Hilfsmittel zur Verfügung, um physikalische Verbindungen zu aktivieren bzw. deaktivieren, sie aufrechtzuerhalten und Bits darüber zu übertragen

OSI-Schichtenmodell III

Vergleich der beiden Schichtenmodelle:



SSL/TLS: Einführung I

- Mit TLS hat sich ein de facto Internet Standard für die Absicherung von Protokollen der Anwendungsschicht zur Absicherung einer Client-Server- Kommunikation etabliert (aktuelle Version: 1.3 RFC 8446)
- Das gilt insbesondere für HTTP-Verbindungen, da TLS von gängigen Webbrowsern unterstützt wird
- Dabei fügt TLS eine weitere Schicht zwischen die OSI-Schichten Transport und Sitzung ein
- Sofern eine HTTP-Verbindung mit SSL/ TLS abgesichert ist, wird von „HTTP over TLS“ oder auch kurz HTTPS gesprochen
- Kernkonzepte von TLS und SSL sind identisch!

SSL/TLS: Einführung II

- Zuerst findet zunächst eine geschützte Identifikation und Authentifizierung der Kommunikationspartner statt.
- Anschließend wird mit Hilfe asymmetrischer Verschlüsselung (RSA) oder des Diffie-Hellman-Schlüsselaustauschs ein gemeinsamer symmetrischer Sitzungsschlüssel (AES) ausgetauscht um Nutzdaten zu verschlüsseln.
- Eine Reihe von Root-Zertifikaten werden von Browserherstellern akzeptiert und bei der Installation eingetragen.
- Webseiten, die entsprechende Zertifikate haben, werden dann, ebenso wie davon abgeleitete Unter-Zertifikate, bei Aufruf ohne Nachfrage akzeptiert.

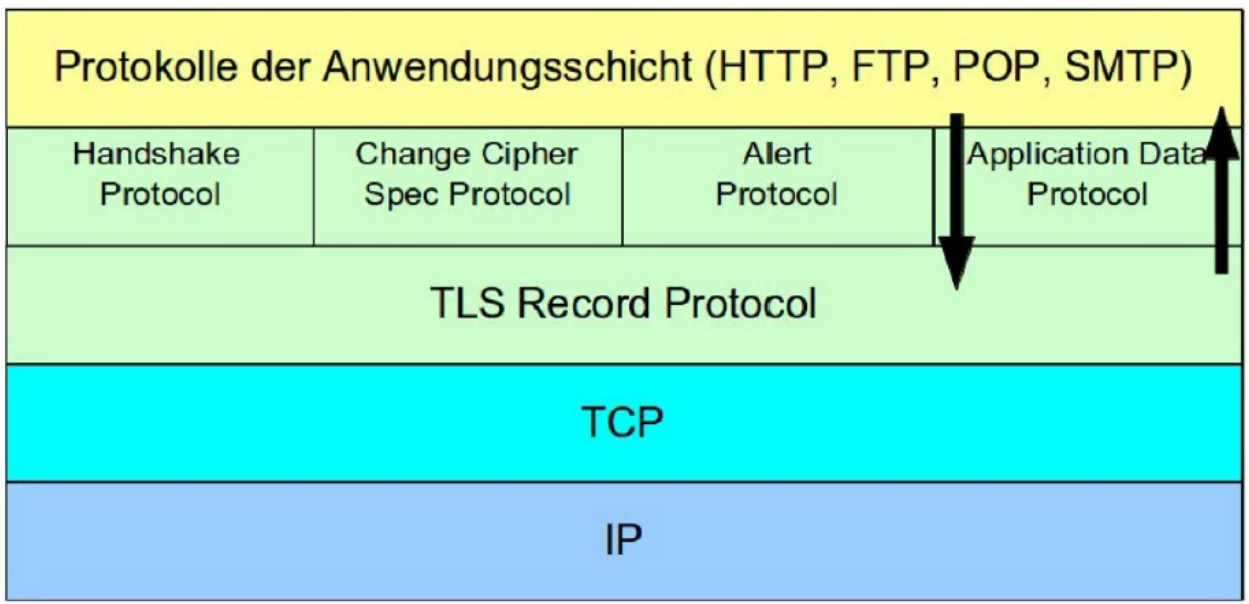
TLS-Verbindung und TLS-Sitzung

- *TLS-Verbindung:* Eine TLS-Verbindung wird (wie im OSI Referenzmodell) als Transportweg zwischen zwei Endpunkten verstanden. Dabei wird jede Verbindung mit einer Sitzung assoziiert.

- *TLS-Sitzung:* Eine TLS-Sitzung ist eine Assoziation zwischen einem Client und einem Server und wird durch den TLS-Handshake initiiert. TLS-Sitzungen definieren außerdem die kryptographischen Parameter, die für die sichere Datenübertragung nötig sind.

TLS Protokollstack

- TLS besteht aus mehreren Teilprotokollen, die als TLS-Protokollstack bezeichnet werden
- Insgesamt gibt es fünf TLS-Teilprotokolle, die auf zwei TLS-Schichten angesiedelt sind



TLS-Layer 1 (TLS Record Protocol)

- Das TLS Record Protocol setzt auf TCP und damit auf die Transportschicht des OSI-Schichtenmodells auf
- Es ist das einzige TLS-Teilprotokoll auf der unteren TLS-Schicht, dem TLS-Layer1
- Das TLS Record Protocol stellt die operativen Dienste von TLS bereit
- Auf Senderseite nimmt es die Daten der oberen Schicht entgegen, teilt sie in Datenstrukturen passender Größe und wendet darauf die ausgehandelten Sicherheitsmaßnahmen wie Verschlüsselung und Message Authentication Codes an
- Das Ergebnis der Verarbeitung heißt TLS Record; Die TLS Records werden an die TCP-Schicht übergeben

TLS-Layer 2

Auf TLS-Layer2 gibt es insgesamt vier Protokolle:

1. *Handshake Protocol:* dient dem Verbindungsaufbau zwischen Client und Server. Es führt insbesondere die Authentifikation durch und handelt die kryptographischen Verfahren sowie Schlüssel aus.
2. *Change Cipher Spec Protocol:* signalisiert, auf die gerade im Rahmen des Handshake Protocols ausgehandelten Sicherheitsparameter zu wechseln.
3. *Alert Protocol:* ist zuständig für die Behandlung von Fehlern, insbesondere im Rahmen des Handshakes.
4. *Application Data Protocol:* leitet einfach die Daten zwischen Anwendungsschicht und TLS-Layer1 durch (siehe Abbildung)

Schutzziele und Mechanismen

- TLS soll je nach Wunsch der beiden Kommunikationspartner die folgenden Schutzziele erreichen:
  1. Vertraulichkeit,
  2. Instanzauthentiziät,
  3. Datenauthentizität,
  4. Datenintegrität.
- Als potenzielle kryptographische Verfahren stehen zur Verfügung:
  1. symmetrische Verschlüsselung (Vertraulichkeit),
  2. asymmetrische Public Key Verfahren (Instanzauthentizität)
  3. MACs auf Basis von Hashfunktionen (Datenauthentizität und -integrität)

Sicherheitsparadigmen

- TLS realisiert zwei wichtige Sicherheitsparadigmen:

1. Verwende einen kryptographischen Schlüssel nur für einen dezidierten Zweck
2. Tausche möglichst wenig Informationen zu geheimen kryptographischen Schlüsseln über das nicht vertrauenswürdige Internet aus

Einmalschlüssel

- Das erste Paradigma setzt TLS dadurch um, dass für jedes unidirektionale Sicherheitsziel je ein kryptographischer Schlüssel genutzt wird
- Konkret benötigen wir also für TLS mindestens 4 symmetrische Schlüssel: zunächst 2 Schlüssel für den Client als Sender (zum Verschlüsseln und für den MAC) und 2 für den Client als Empfänger (d.h. für den Server als Sender)
- Die Empfängerschlüssel des Clients sind die Senderschlüssels des Servers und umgekehrt (tatsächlich benutzt TLS je 3 Senderschlüssel pro Seite, insgesamt also 6)
- Hintergrund ist, dass für bestimmte Verschlüsselungsmodi ein Initialisierungsvektor benötigt wird

Austausch kryptographischer Schlüssel

- Um das zweite Paradigma zu berücksichtigen, werden diese Schlüssel aber nie über ein unsicheres Medium übermittelt
- Stattdessen tauschen Client und Server via TLS nur eine einzige Datenstruktur aus: das *Pre-Master-Secret* (PMS)
- Das PMS ist eine Basisinformation zwischen Client und Server, mit der die beteiligten Partner dann dezentral zunächst das gemeinsame Master Secret (MS) ableiten
- Aus dem MS werden ihre symmetrischen Sender- bzw. Empfänger-Schlüssel abgeleitet

CipherSuite I

- Die Informationen zu den gewünschten Kombinationen kryptographischer Verfahren aus einem asymmetrischen Algorithmus zum Schlüsselaustausch, der symmetrischen Verschlüsselung und einer Hashfunktion wird bei TLS mittels einer *CipherSuite* dargestellt
- Der Client schlägt beim Verbindungsaufbau eine Reihe von CipherSuites vor, der Server wählt daraus eine CipherSuite aus, die zur Absicherung der Client-Server-Verbindung genutzt wird
- Die CipherSuites in SSL/TLS werden nach einem bestimmtem Muster angegeben
- Muster: `TLS_<KeyExchange>_WITH_<Cipher>_<Mac>`

CipherSuite II

1. *KeyExchange:* das Verfahren zum Austausch des Pre-Master-Secrets (PMS) (d.h. für den Schlüsselaustausch) sowie das asymmetrische Verfahren zur Instanzauthentifikation (je nach Verfahren ist dazu die Angabe eines oder zweier asymmetrischer Verfahren notwendig)
2. *Cipher:* Symmetrisches Verschlüsselungsverfahren zur Verschlüsselung der TLS Records. Ist die Schlüssellänge nicht durch das Verfahren festgelegt, wird sie hier noch angegeben. Sofern die Chiffre eine Blockchiffre ist, wird zusätzlich der Betriebsmodus (oft CBC, GCM) angegeben
3. *Mac:* Hashverfahren zur Berechnung des MACs zur Datenauthentizität und -integrität der TLS Records

CipherSuite III

- Einige standardisierte CipherSuites aus dem Standard TLS 1.2:

Cipher Suite	Key Exchange	Cipher	Mac
TLS NULL WITH NULL NULL	NULL	NULL	NULL
TLS RSA WITH RC4 128 MD5	RSA	RC4 128	MD5
TLS RSA WITH RC4 128 SHA	RSA	RC4 128	SHA
TLS RSA WITH 3DES EDE CBC SHA	RSA	3DES EDE CBC	SHA
TLS RSA WITH AES 128 CBC SHA	RSA	AES 128 CBC	SHA
TLS DHE RSA WITH AES 128 CBC SHA256	DHE RSA	AES 128 CBC	SHA256

- Das erste Beispiel nutzt keine Sicherheitsmechanismen!

Kryptographische Schlüssel, Pre-Master-Secret, Master-Secret I

- Dient RSA zum Schlüsselaustausch, so bestimmt der Client alleine das Pre-Master-Secret (PMS)
- Der Client übermittelt das PMS an den Server, indem er es mit dem RSA-Public-Key des Servers verschlüsselt
- Dann kann nur der Server daraus das PMS mit seinem zugehörigen Private Key berechnen

Kryptographische Schlüssel, Pre-Master-Secret, Master-Secret II

- Im Fall von Diffie-Hellman als Schlüsselaustauschverfahren erzeugen beide Seiten zunächst ein einmaliges Diffie-Hellman-Schlüsselpaar
- Aus diesem wird nach dem klassischen Diffie-Hellman-Verfahren das PMS abgeleitet
- Beide Seiten kennen also das PMS, obwohl es nie im Klartext übermittelt wurde

Kryptographische Schlüssel, Pre-Master-Secret, Master-Secret III

- Aus dem Pre-Master-Secret (var. Länge je nach Algorithmus) berechnen der Client und der Server dezentral mit Hilfe von Hashfunktionen das 48-Byte lange Master-Secret (MS)
- Daraus berechnen beide Kommunikationspartner abschließend vier kryptographischen Schlüssel:

1. Ein symmetrischer Schlüssel K_C für die Verschlüsselung der Daten, die der Client an den Server sendet. In der TLS-Notation wird er mit `client_write_key` bezeichnet
2. Ein symmetrischer Schlüssel K_S für die Verschlüsselung der Daten vom Server. TLS bezeichnet diesen Schlüssel als `server_write_key`

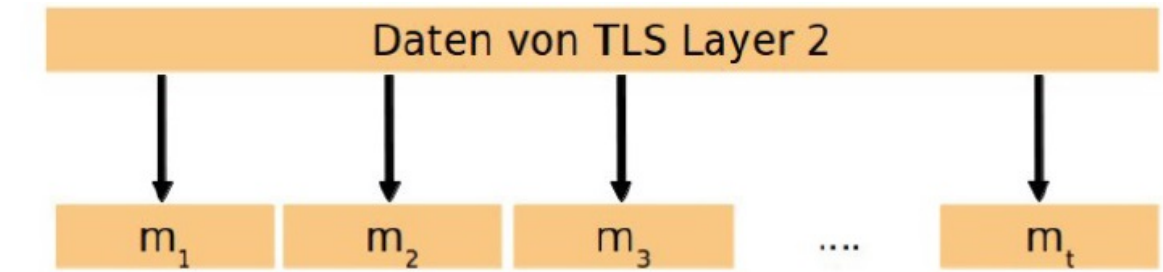
Kryptographische Schlüssel, Pre-Master-Secret, Master-Secret IV

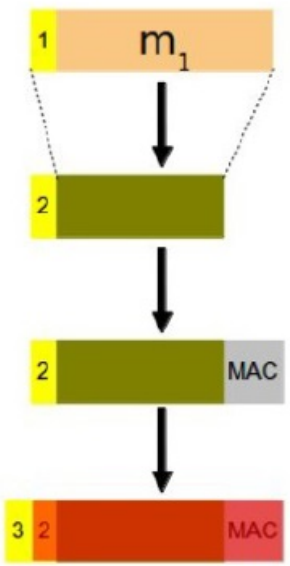
3. Ein symmetrischerMAC-Schlüssel K_{MAC-C} zur Integritätssicherung der TLS Records, die der Client an den Server schickt. TLS nennt diesen Schlüssel `client_write_MAC_key`
4. Ein symmetrischer MAC-Schlüssel K_{MAC-S} zur Integritätssicherung der Daten, die der Client vom Server empfängt. Die TLS-Notation bezeichnet diesen Schlüssel als `server_write_MAC_key`

TLS Record Protocol I

- Das Record Protocol fragmentiert die Daten des TLS-Layer2 in Fragmente m_1, m_2, ... von höchstens 2^{14} Byte, also 16 KiB
- Jedes Fragment erhält einen Header1, aus dem das TLS-Layer2-Protokoll sowie die TLS-Version hervorgehen
- Dieses Fragment samt Header wird komprimiert, sofern das im TLS-Handshake festgelegt wurde (oft wird keine Komprimierung eingesetzt)
- Das komprimierte Fragment erhält einen neuen Header2 mit den gleichen Informationen wie Header1
- Anschließend wird der MAC über Header2 und komprimiertes Fragment berechnet, danach wird das gesamte Fragment samt Header2 verschlüsselt

TLS Record Protocol II





Fragmentierung der Daten
Hinzufügen des Headers 1

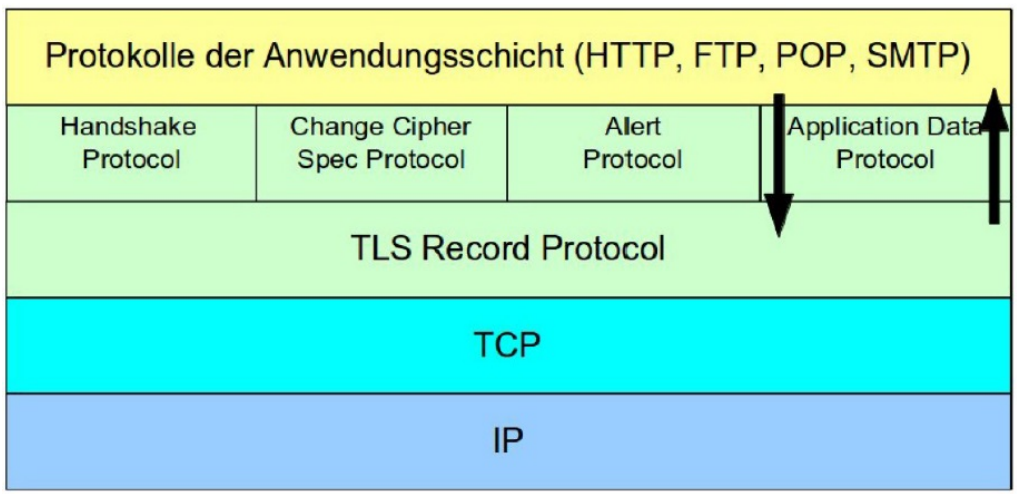
Kompression inklusive Header 1
Hinzufügen des Headers 2

Berechnung u. Anhängen des MAC

Verschlüsselung
Hinzufügen des Headers 3

TLS Application Data Protocol

- Das Application Data Protocol hat eine einfache Aufgabe, nämlich die Durchleitung der Daten zwischen Anwendungsschicht und TLS-Layer1
- Das Application Data Protocol stellt also die operative Schnittstelle zur Anwendungsschicht dar



TLS Handshaking Protokolle

- Die übrigen drei Protokolle auf TLS-Layer2 heißen TLS Handshaking Protokolle
  1. TLS Handshake Protocol
  2. TLS Change Cipher Spec Protocol
  3. TLS Alert Protocol
- Diese sind im Rahmen des TLS Handshakes relevant, sie haben keine Schnittstelle zur Anwendungsschicht
- Hinweis: das TLS Handshake Protocol eines der drei TLS Handshaking Protokolle ist
  (Begrifflichkeiten nicht verwechseln!)

TLS Handshake Protocol

- Das TLS Handshake Protocol dient dem Verbindungsaufbau zwischen Client und Server
- Im Rahmen des TLS Handshakes findet die Authentifikation des oder der Kommunikationspartner, das Aushandeln der zu verwendenden kryptographischen Verfahren und der Austausch benötigter geheimer Informationen statt
- Es gibt für die Authentifikation drei Möglichkeiten: keine Authentifikation, nur der Server authentisiert sich oder beide authentisieren sich
- Wenn der TLS Handshake abgeschlossen ist, liegen die kryptographischen Verfahren fest und beide Seiten haben Zugriff auf alle sechs Sitzungsschlüssel

TLS Change Cipher Spec Protocol

- Das Change Cipher Spec Protocol umfasst lediglich eine Nachricht bestehend aus dem Klartext-Byte mit dem Wert 1
- Sie wird im Rahmen des TLS Handshakes gesendet
- Mit dieser Nachricht signalisiert der Sender, dass er für die folgenden TLS-Records auf die gerade festgelegten Verfahren und Schlüssel umsteigt

TLS Alert Protocol

- Mit diesem Protokoll werden TLS-spezifische Warnungen an den Kommunikationspartner übermittelt
- Eine Alert-Nachricht besteht aus zwei Bytes
- Mit dem ersten Byte wird die Schwere der Warnmeldung angezeigt (Warning $= 1$, Fatal $= 2$)
- Wird ein fataler Zustand signalisiert, führt das zum sofortigen Abbruch der Verbindung
- Ebenso werden keine neuen Verbindungen für diese Sitzung mehr eröffnet
- Das zweite Byte kodiert Hinweise zum Fehler, zB: `decompression_failure`, `protocol_version`, `decrypt_error`, usw.

TLS-Handshake I

- Der Handshake Aufbau einer durch TLS gesicherten Verbindung wird auch als TLS-Handshake bezeichnet.
- Die wesentlichen Ziele des TLS Handshakes sind:

1. Festlegung der verwendeten kryptographischen Verfahren für die Absicherung der TLS-Records
2. Festlegung der Komprimierung bzw. ob komprimiert wird
3. Festlegung, wer sich authentisiert sowie Durchführung der Authentifikation durch den Kommunikationspartner (in den meisten Fällen authentisiert sich nur der Server mittels TLS)

TLS-Handshake II

- Übersicht gesendeter Hand-shake Nachrichten
  (mit * gekennzeichnete Nachrichten sind situationsabhängig und werden nicht immer verschickt).

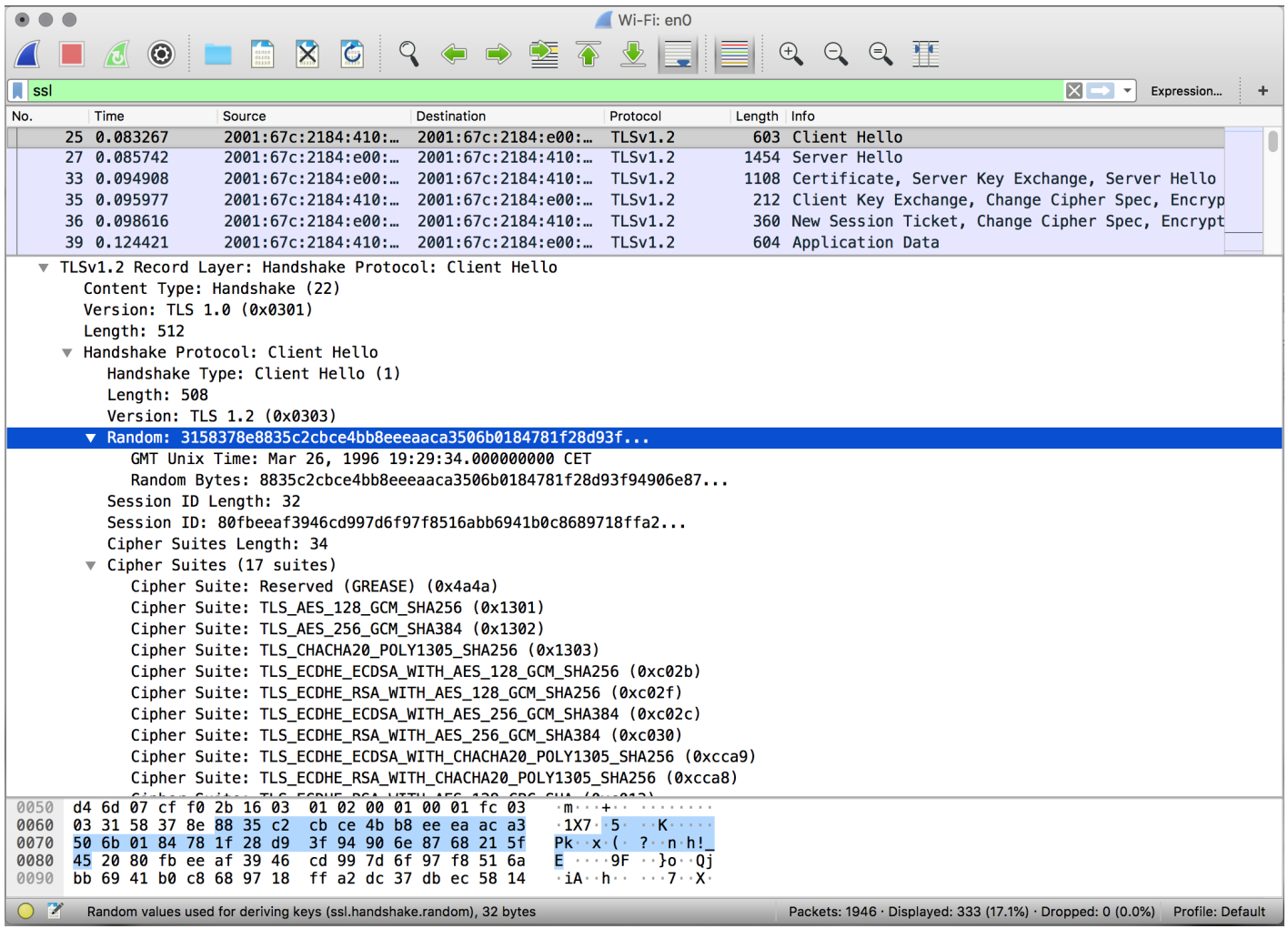
```
Client                                               Server

ClientHello                  -------->
                                                ServerHello
                                               Certificate*
                                         ServerKeyExchange*
                                        CertificateRequest*
                             <--------      ServerHelloDone
Certificate*
ClientKeyExchange
CertificateVerify*
[ChangeCipherSpec]
Finished                     -------->
                                          [ChangeCipherSpec]
                             <--------             Finished
Application Data             <------->     Application Data
```

TLS-Handshake III

- `ClientHello`: Zunächst signalisiert der Client dem Server, dass er mit ihm eine TLS-Sitzung aufbauen möchte
- Dazu sendet der Client eine ClientHello-Nachricht
- Darin teilt der Client die von ihm unterstützten CipherSuites mit
- Außerdem schickt er zur Vermeidung von Replay-Angriffen eine ID sowie eine vom Client gewählte Zufallszahl RND1 an den Server

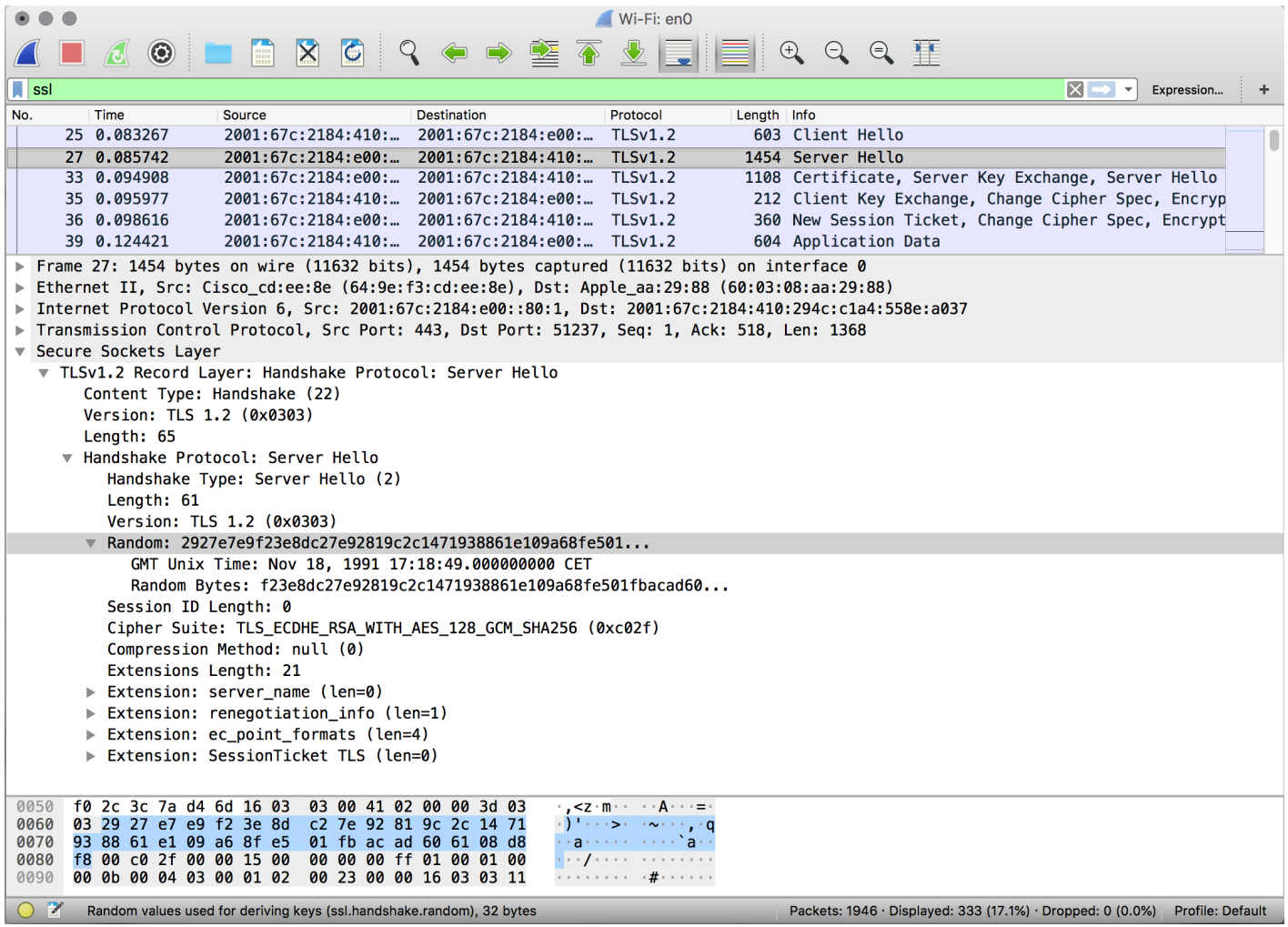
TLS-Handshake IV



TLS-Handshake V

- `ServerHello`: Der Server antwortet mit einer ServerHello-Nachricht antwortet
- Darin teilt der Server die von ihm festgelegte CipherSuite für diese Sitzung mit
- Außerdem schickt er die Client-ID sowie seine Zufallszahl RND2 zurück
- Anzumerken ist, dass der Client lediglich eine Liste der unterstützten Verfahren sendet und der Server über das Verfahren entscheidet

TLS-Handshake VI



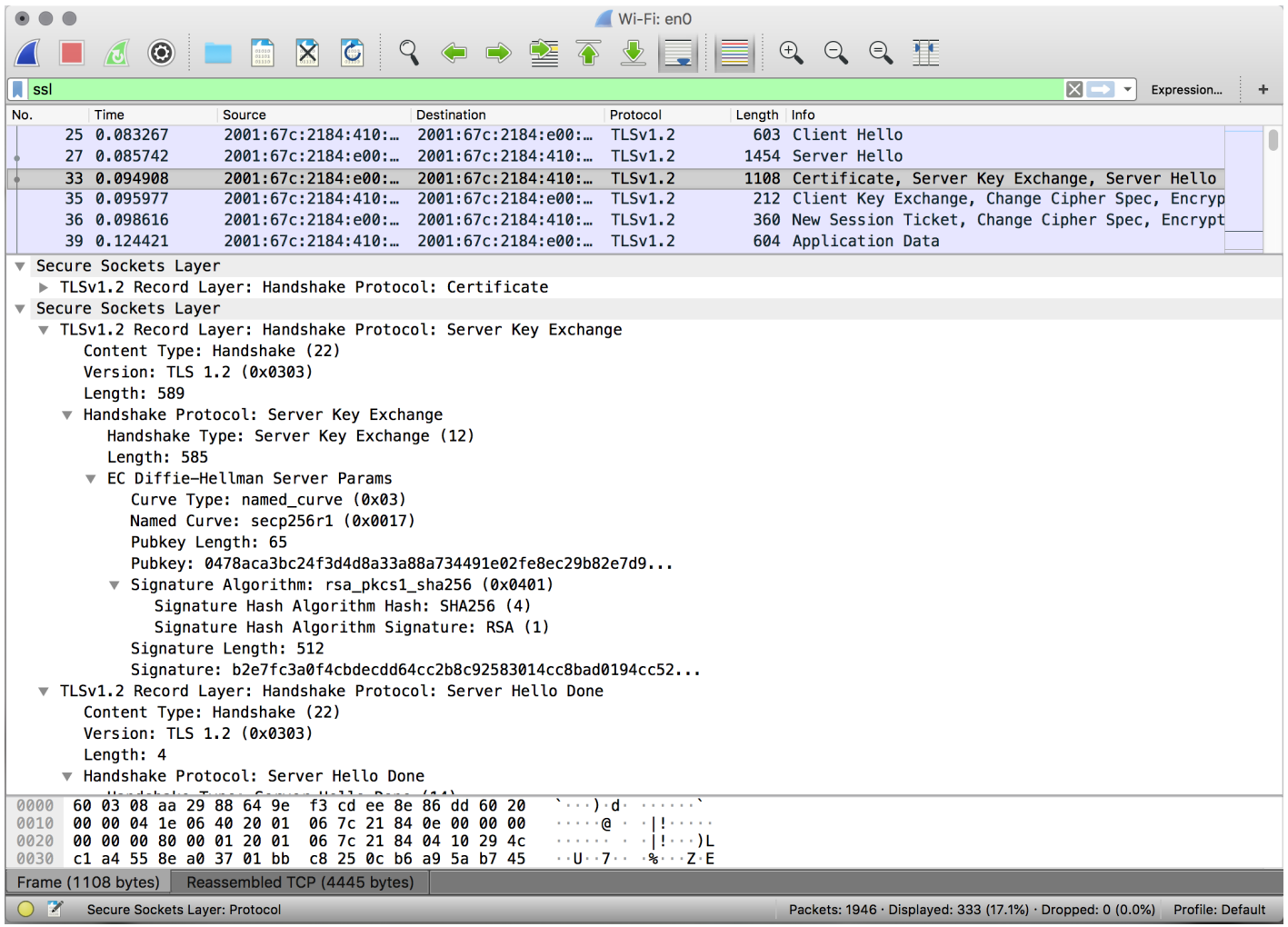
TLS-Handshake VII

- `(Server)Certificate`: Soll der Server authentifiziert werden, sendet er anschließend mit der Certificate-Nachricht sein Zertifikat
- Soll der Server sich nicht authentisieren, unterbleibt die Certificate-Nachricht
- Daher ist sie als optional markiert

TLS-Handshake VIII

- `ServerKeyExchange`: Des Weiteren wird vom Server je nach festgelegter CipherSuite eine ServerKeyExchange-Nachricht gesendet
- Beispielsweise wenn Diffie-Hellman als Schlüsselaustauschmethode verwendet wird
- Im Fall einer CipherSuite der Form `TLS_RSA_WITH...` sendet der Server keine ServerKeyExchange-Nachricht, weil der Client das Pre-Master-Secret wählt und RSA-verschlüsselt an den Server schickt

TLS-Handshake IX



TLS-Handshake X

- `CerficateRequest`: Optional verlangt der Server eine TLS-Client-Authentifikation
- dazu sendet er eine CerficateRequest-Nachricht.
- `ServerHelloDone`: Zum Abschluss sendet der Server eine ServerHelloDone-Nachricht, um dem Client zu signalisieren, dass der Server auf die Client-seitigen Nachrichten wartet
- `(Client)Certificate`: Sofern der Server eine TLS-Client-Authentisierung wünscht, sendet der Client mittels einer Certificate-Nachricht sein Zertifikat an den Server
- Andernfalls entfällt die (Client)Certificate-Nachricht

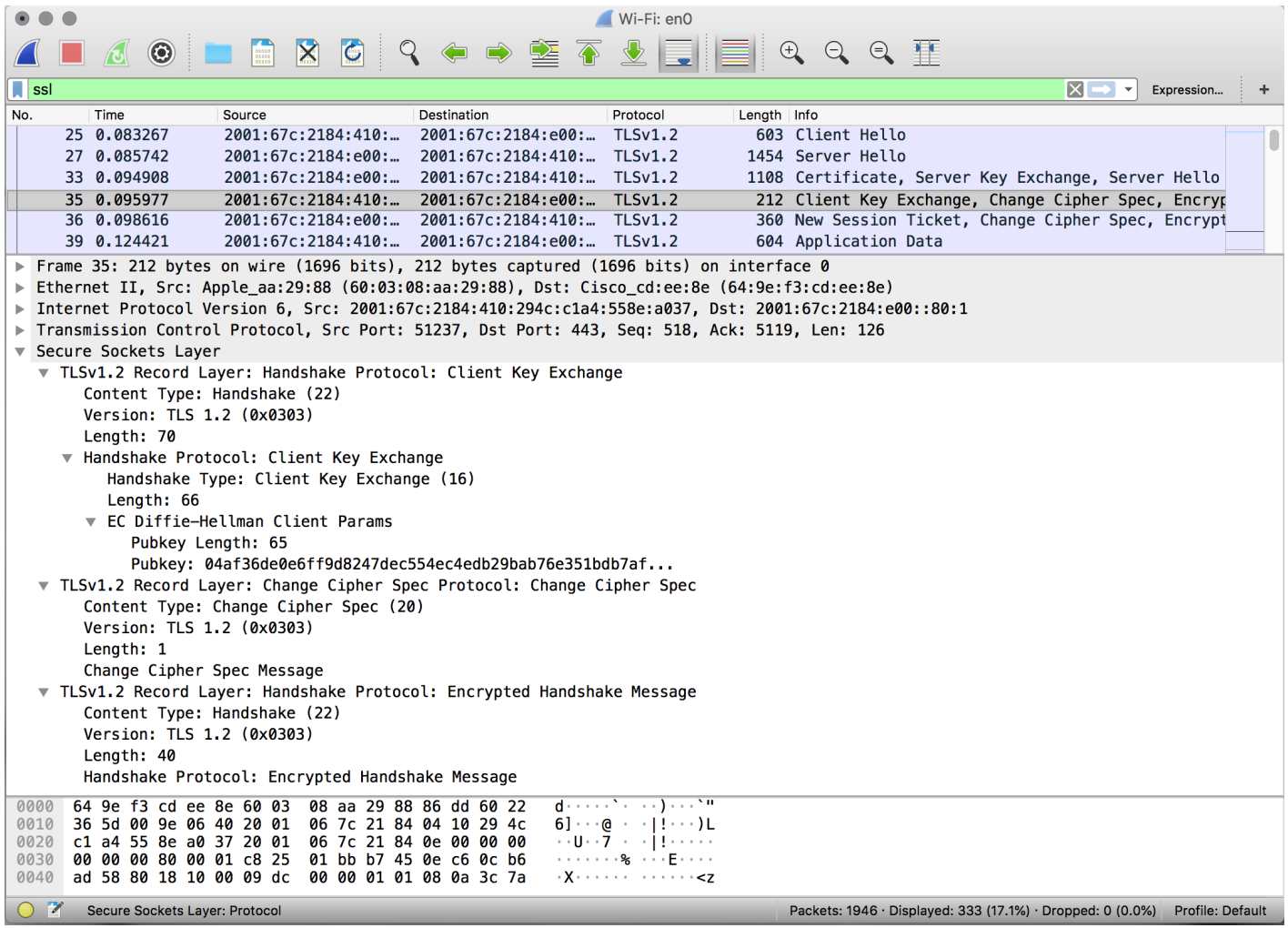
TLS-Handshake XI

- `ClientKeyExchange`: In jedem Fall sendet der Client eine ClientKeyExchange-Nachricht
- Im Fall von Diffie-Hellman als Schlüsselaustauschverfahren sendet der Client seinen DH-Public-Key an den Server
- Im Fall von RSA wählt er das PMS, verschlüsselt es mit dem RSA-Public-Key des Servers und sendet es als ClientKeyExchange-Nachricht
- `CertificateVerify`: Im Falle einer TLS-Client-Authentisierung signiert der Client mit dem zu seinem Zertifikat gehörenden Private Key alle bisherigen Handshake-Nachrichten
- Er sendet diese Signatur als CertificateVerify-Nachricht zum Server

TLS-Handshake XII

- `ChangeCipherSpec`: Der letzte Schritt des Clients beginnt mit der ChangeCipherSpec-Nachricht, die angibt, dass der Client fortan seine gesendeten Nachrichten mit den ausgehandelten kryptographischen Verfahren und Schlüsseln absichert
- `Finished`: Direkt darauffolgend wird eine Finished-Nachricht gesendet, die einen Hashwert enthält, der über alle empfangenen und gesendeten Nachrichten gebildet wird und mit den neuen Sicherheitseinstellungen abgesichert wird
- Dadurch zeigt der Client, dass er das PMS kennt

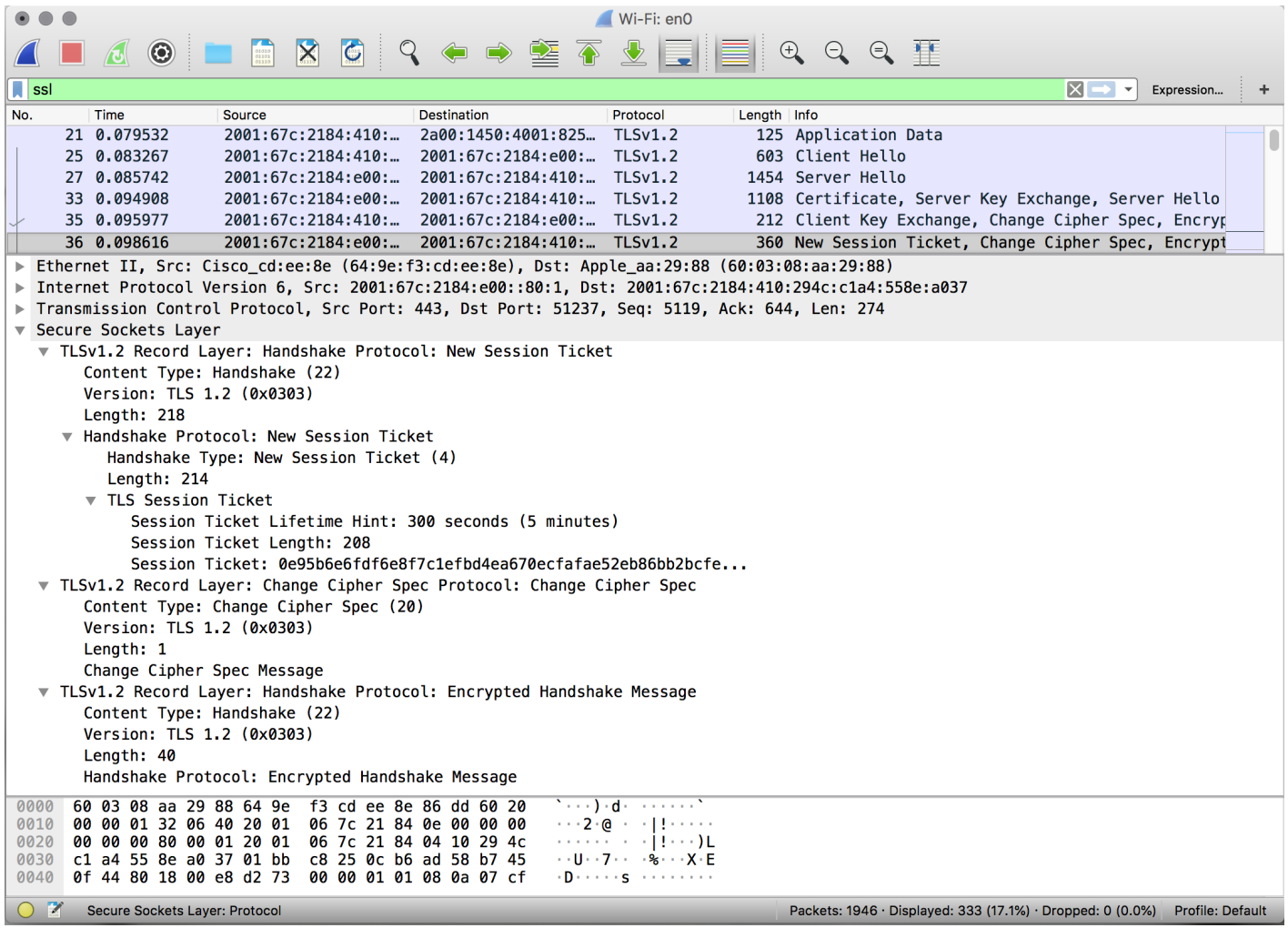
TLS-Handshake XIII



TLS-Handshake XIV

- Der TLS-Handshake wird dadurch abgeschlossen, dass auch der Server den Umstieg der von ihm gesendeten TLS-Records auf die neuen Sicherheitseinstellungen mittels einer ChangeCipherSpec-Nachricht signalisiert
- Danach weist er durch eine gültig abgesicherte Finished-Nachricht nach, dass auch er das PMS kennt, weil er die daraus abgeleiteten Schlüssel nutzt
- Ab diesen Zeitpunkt werden alle Informationen mit den neuen Sicherheitseinstellungen abgesichert

TLS-Handshake XV



Sicherheit von TLS I

- Eine wichtige Beobachtung ist, dass TLS selbst als sicher zu betrachten ist
- In der Praxis ist oft der Mensch zu einer Fehlhandlung 'motiviert' (Social Engineering) oder eine Implementierung zeigt sich als fehlerhaft
- *Authentifikation:* wichtiger Punkt zur Sicherheit von TLS ist die Art der Authentifikation
- Zunächst bestimmt allein der Server die CipherSuite und damit das Authentifikationsverfahren
- Der Client muss also seine Vorschlagsliste auf CipherSuites beschränken, die er für sicher hält

Sicherheit von TLS II

- Weiterhin ist die Prüfung der Zertifikatskette des Public Key des Servers sicherheitskritisch; diese übermittelt der Server mit seiner Certificate-Nachricht
- Die Zertifikatskette muss aus vertrauenswürdigen Zertifikaten bestehen, insbesondere mit einem solchen enden
- Andernfalls sind Phishing-Angriffe auch über eine HTTPS-Verbindung möglich

Sicherheit von TLS III

Verbindlichkeit und Pseudonymität/Anonymität:

- Die übertragenen Daten werden nicht signiert, TLS erzielt also keine Verbindlichkeit von Aktionen (meist nicht weiter wichtig)
- Relevanter ist, dass TLS keine Maßnahmen zur Abwehr von Verkehrsflussanalysen bereitstellt, da nur die Nutzdaten in den TCP/IP-Paketen verschlüsselt werden
- Das Sicherheitsziel Pseudonymität oder gar Anonymität ist außerhalb des Fokus von TLS

Sicherheit von TLS IV

CipherSuite:

- Die Sicherheit des Protokolls hängt auch von den verwendeten kryptografischen Verfahren ab, die die Kommunikationspartner im Handshake miteinander abstimmen
- Falls ein Angreifer dafür sorgen kann, dass die Kommunikationspartner schwache Verschlüsselungsverfahren oder schwache Schlüssel aushandeln, könnte er anschließend versuchen, den verwendeten Kommunikationsschlüssel zu brechen

Sicherheit von TLS V

Forward Secrecy:

- Eine wichtige Eigenschaft ist Forward Secrecy
- Das bedeutet, dass ein in der Vergangenheit ausgetauschtes PMS weiterhin sicher bleibt, selbst wenn ein Private Key (typischerweise der des TLS-Servers) heute kompromittiert wird und die alte TLS-Kommunikation gespeichert wurde
- Die CipherSuite `TLS_RSA_WITH_...` gewährleistet kein Forward Secrecy, weil das PMS mit dem kompromittierten RSA-Private Key berechnet werden kann
- Daher verwenden heutige TLS-Verbindungen CipherSuites der Form `TLS_DHE_RSA_WITH_...`, da die Diffie-Hellman-Schlüssel genau einmal verwendet werden

Sicherheit von TLS VI

TLS 'gebrochen':

- Des Öfteren lesen Sie über Angriffe, die SSL/TLS 'gebrochen' haben sollen
- Meist wird nicht das TLS-Konzept selber kompromittiert, sondern der Angreifer hat spezielle Voraussetzungen auf dem Zielrechner oder es betrifft eine bestimmte Implementierung
- Beispiele:
  - BEAST: Angreifer hat Zugriff auf ein Java Applet,
  - CRIME: hier muss Komprimierung eingesetzt werden,
  - Poodle-Angriff: zielt auf Rückwärtskompatibilität von TLS ab
  - Heartbleed

Virtual Private Network I

- Mit einem VPN (Virtual Private Network) können Sie eine sichere Verbindung zu einem anderen Netzwerk über das Internet herstellen.
- Sie waren ursprünglich nur eine Möglichkeit, Unternehmensnetzwerke sicher über das Internet miteinander zu verbinden oder von zu Hause aus auf ein Unternehmensnetzwerk zuzugreifen (über ein VPN-Gateway).
- VPNs leiten im Wesentlichen Netzwerkverkehr an das Netzwerk weiter, wo Dienste/Ressourcen zur Verfügung stehen (z.B. Zugriff auf lokale Netzwerkressourcen oder die Umgehung der Internetzensur)

Virtual Private Network II

- Vereinfacht ausgedrückt verbindet ein VPN einen PC, Smartphone oder Tablet mit einem Server und ermöglicht das Surfen im Internet über die Internetverbindung des Servers.
- Wenn sich der Server in einem anderen Land befindet, sieht es so aus, als ob man aus diesem Land kommt.
- Beliebte Anwendungen:
  - Umgehen Sie geografische Einschränkungen auf Websites oder Streaming von Audio und Video.
  - Schutz in offenen Wi-Fi-Hotspots.
  - Anonymität online, indem Sie Ihren wahren Aufenthaltsort verbergen.

Virtual Private Network III

- Um einen Teilnehmer aus seinem ursprünglichen Netz heraus an ein von dort aus erreichbares Netz zu binden, wird eine VPN-Software benötigt.
- Ursprünglichen Netzwerkpakete werden für den Transport in ein VPN-Protokoll gelegt (VPN-Tunnel)
- In der klassischen Konfiguration wird sie zum einen auf dem Gerät installiert, das die Netzwerke miteinander verbindet, und zum anderen auf den einzubindendenen Teilnehmer gebracht.
- Abhängig vom verwendeten VPN-Protokoll lassen sich die Netzwerkpakete verschlüsseln.

SSL-VPN

- SSL-VPN (auch Web-basierendes VPN) unterstützt Lösungen, die einen verschlüsselten Fernzugriff auf Anwendungen und gemeinsam genutzte Ressourcen
- SSL-VPNs nutzen das gesicherte SSL- oder TLS-Protokoll für die Übertragung ihrer Daten.
- Der Client kann beispielsweise einem mobilen Computer Zugang auf ein Firmennetz verschaffen.
- Viele VPN-Protokolle bauen jedoch IPsec-basierte VPN-Verbindungen auf, welche wesentliche Vorteile bieten.

IPsec I

- Beim Entwurf von IP wurden keine Sicherheitsmechanismen integriert
- Das Internet-Protokoll-Security (IPSec) ist ein Rahmenwerk, welches in einem IP-Netz folgende Schutzziele erfüllt:
  1. Vertraulichkeit,
  2. Authentizität,
  3. Integrität
- Dazu werden verschiedene Mechanismen eingesetzt, etwa Verschlüsselung einzelner IP-Pakete und Einfügen eines zusätzlichen Paket-Headers mit einem MAC

IPsec II

- IPSec wird in einer Reihe von Standarddokumenten, den Request For Comments (RFCs) definiert
- Beim Einsatz von IPSec kann entschieden werden die Daten entweder nur zu Verschlüsseln, nur zu Authentifizieren, oder sie zu Verschlüsseln und zu Authentifizieren
- Die IPSec-Spezifikation umfasst dabei drei Protokolle:
  1. Das Internet Key Exchange (IKE) für die Autorisierung der Kommunikationspartner und deren Austausch von Schlüsseln bzw. Schlüsselparametern
  2. Das Encapsulating Security Payload (ESP) für den verschlüsselten und integren Datentransfer
  3. Den Authentication Header (AH) für authentifizierten Datenaustausch

IPsec III

- Für die Verwendung von AH und ESP gibt es zwei verschiedene Modi:

1. Transport-Modus: Sicherung der Nutzdaten
2. Tunnel-Modus: Schutz des gesamten IP-Paketes; dazu wird das zu schützende IP-Paket in ein neues IP-Paket verpackt

IPsec IV

- Das IKE-Protokoll arbeitet dabei in zwei Phasen
- In der ersten Phase wird eine Verbindung mit Sicherheitsparameter ausgehandelt
- Die Verbindungen von IPSec Security Association werden als Sicherheitsassoziationen (engl.: Security Association (SA)) bezeichnet
- Jeder Kommunikationspartner speichert zu seiner SA alle Daten, die für die kryptographische Verarbeitung der zugehörigen Daten notwendig sind
- Die Datenstruktur, in der SAs gespeichert werden, heißt Security Association Database (SAD)

IPsec V

- Diese Verbindungen gelten jeweils nur in eine Richtung, sodass für eine bidirektionale Kommunikation von zwei Parteien auch zwei SAs nötig sind
- Eine SA zwischen den Kommunikationspartnern beinhaltet die,

1. Identifikation der Kommunikationspartner z.B. mit IP-Adressen oder Zertifikaten
2. Festlegung der eingesetzten Kryptoalgorithmen
3. Quell- und Zieladresse im (IP)-Netz für die IPSec-Verbindung
4. Zeitspanne, in der eine erneute Authentifizierung erforderlich wird und in der IPSec-Schlüssel zu erneuern sind

IPsec VI

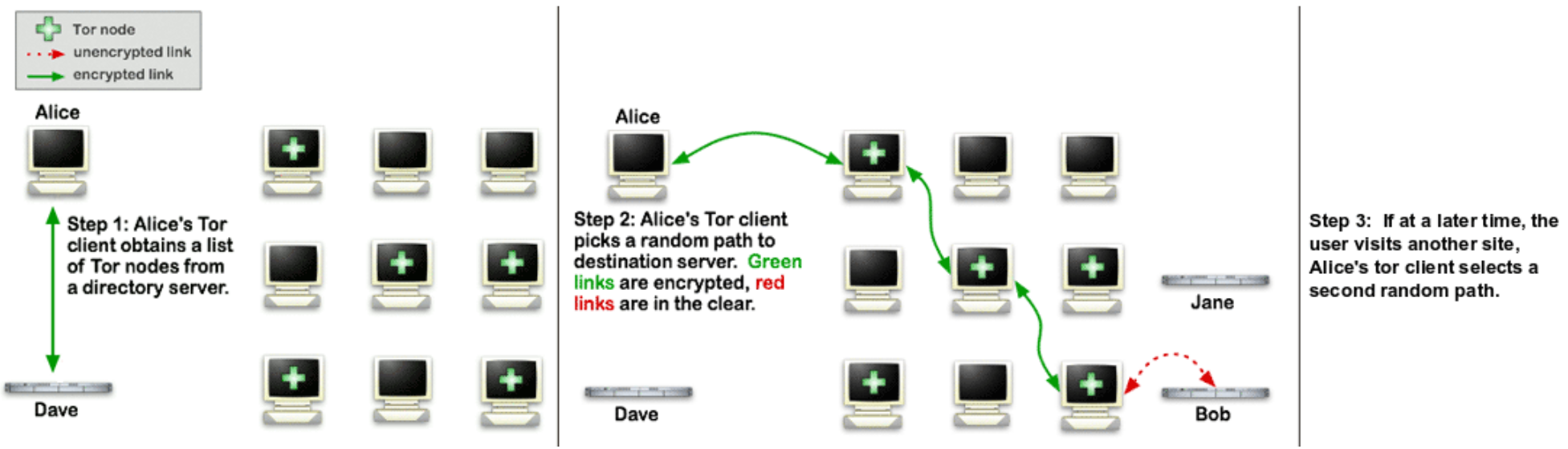
- In Phase 1 werden Parameter, wie die Lebensdauer und die Authentisierungsmethoden für eine IPSec-Verbindung ausgehandelt
- Anschließend werden in Phase 2 entweder Zertifikate oder Schlüssel aus einem zuvor vereinbartem Geheimnis, so Pre-Shared-Keys genannte Pre-Shared Keys (PSK) verwendet um die Autorisierung umzusetzen
- Verwendungszweck: IPSec wird hauptsächlich zur Realisierung von Virtual Private Networks (VPNs) benutzt

Tor I

- Tor ist die Abkürzung für "The Onion Router". Dies bezieht sich sowohl auf die Software um Tor auszuführen, als auch auf das Netzwerk von Computern, die Tor-Verbindungen verwalten.
- Einfach gesagt, Tor ermöglicht den Web-Datenverkehr über mehrere andere Computer im Tor-Netzwerk zu leiten, sodass der Teilnehmer am anderen Ende der Verbindung den Datenverkehr nicht zurückverfolgen kann.
- Auf diese Weise schützt man Informationen umso mehr, je mehr Torbenutzer vorhanden sind.
- Wie der Name schon sagt, wird eine Reihe von Ebenen erzeugt, die eine Identität verbergen sollte.

Tor II

- Die Computer, die den Verkehr handhaben, werden Tor-Relais genannt (mittlere Relais, Endrelais und Brücken).
- Jeder kann Relais hosten wobei diejenigen, die Exit-Relays hosten, ein größeres Risiko tragen.



WPA I

- Wi-Fi Protected Access (WPA) und WPA2 sind Sicherheitsprotokolle und Sicherheitszertifizierungsprogramme entwickelt um drahtlose Computernetzwerke zu sichern.
- Ziel war es die große Sicherheitslücke, die durch den Einsatz von WEP entstanden ist, zu schließen.
- Mit WPA2 erfolgte dann endlich die vollständige Umsetzung von IEEE 802.11i.
- WPA2 unterstützt den Verschlüsselungsstandard AES (WPA lediglich RC4).

WPA II

- Die Netzwerk-Authentifizierung zwischen *Client* und *Access-Point* (AP) erfolgt mit einem Pre-Shared-Key (PSK).
- Der Client sendet eine Authentifizierungsanfrage an AP und ein 4-Wege-Handshake wird ausgeführt:

1. AP sendet eine Nonce N_a, (256-bit Zufallszahl).
2. Client berechnet mit N_a und einer eigenen Nonce (N_s) den individuellen Pairwise Transient Key (PTK) und sendet N_s und einen MAC an AP.

   $PTK = PMK + N_a + N_s +$ ClientMacAdr. $+$ APMacAdr.
3. Der Pairwise-Master Key (PMK) wird aus einem Hash des Passworts abgeleitet.

WPA III

- PTK ist unterteilt in KCK (Key Confirmation Key, 128 Bit), KEK (Key Encryption Key, 128 Bit) und TEK (Temporal Encryption Key, 128 Bit).
  - KCK wird verwendet, um MAC zu generieren.
  - KEK wird verwendet, um einige an den Client gesendete Daten zu verschlüsseln (z.B. GTK).
  - TEK wird verwendet, um den Verkehr zwischen Client und AP später während der Sitzung zu verschlüsseln.
- Nachdem AP N_s erhalten hat und dessen Integrität mit MAC überprüft hat kann dieser auch den PTK berechnen.
- Eine verschlüsselte Unicast-Kommunikation zw. Client und AP kann nun durchgeführt werden.

WPA IV

- Für deine Multicast-Kommunikation zwischen dem Client und anderen Clients wählt der AP einen zufälligen Group Master Key (GMK).
- Aus diesem leitet sich der Group Transient Key (GTK) ab, der wiederum an die Gruppenmitglieder verteilt wird.

3. AP sendet MAC und GTK an den Client.
4. Client sendet zum Abschluss eine Bestätigung (ACK) und einen MAC an den AP.

- Damit ist der 4-Wege-Handshake abgeschlossen.