Kapitel 3: Anwendungsschicht

3.1 Netzanwendungen

3.2 Web und HTTP (HyperText Transfer Protocol)

3.3 DNS (Domain Name System)

3.4 Weitere Anwendungsprotokolle: Mail und FTP

Lernziel:

- Verständnis für Anforderungen von Anwendungen
- Entwicklung und Kerneigenschaften von HTTP als wichtigstem - mit Trend zu universellem – Anwendungsprotokoll
- Funktionsweise von DNS –einer global verteilten Datenbank

Anwendungen

- Web surfen inkl. soziale Netze
- Audio- und Video Streaming (live/on-demand)
- Sprach- und Videotelefonie, Audio- und Videokonferenz
- Dateiübertragung (z.B. Softwareinstallation, Updates, BackUp, FileSharing, ...)
- Email
- Gaming (runden-basiert, Echtzeit)
- Cloud Computing (z.B. Google Docs)
- Remote Access, Remote Desktop
- SAP, Banking, Datenbankanwendungen, ...
- IoT-Anwendungen
- ... und viele, viele mehr

Anforderungen von Applikationen/Anwendungen?

Datenintegrität (data integrity)
(Toleranz gegen Datenverlust)

- einige Anwendungen können Datenverlust tolerieren (z.B. Audioübertragungen)
- andere Anwendungen benötigen einen absolut zuverlässigen Datentransfer (z.B. Dateitransfer)

Zeitanforderungen (timing)

- einige Anwendungen wie Internettelefonie oder Netzwerkspiele tolerieren nur eine sehr geringe Verzögerung

Sicherheit (security)

- Verschlüsselung
- Authentisierung
- Datenintegrität

Durchsatz/Bandbreite (throughput)

- einige Anwendungen (z.B. Multimedia-Streaming) brauchen eine Mindestbandbreite, um zu funktionieren
- andere Anwendungen verwenden einfach die verfügbare Bandbreite (bandbreitenelastische Anwendungen)

Anmerkung:

Datenintegrität, Durchsatz und Verzögerungen beziehen sich auf die Kommunikation von Nachrichten über „Sockets“ nicht auf „Pakete“; Paketverlust bedeutet beispielsweise nicht unbedingt Datenverlust.

Anwendungen und zugehörige Protokolle

Applikation Anwendung	Protokoll der Anwendungsschicht (Application Layer Protocol)	Transport-Protokoll
E-Mail	SMTP, POP3, IMAP (RFCs 5321, 1939, 3501)	TCP
Remote-Terminal	Telnet (RFC 854)	TCP
	SSH (mehrere RFCs)	TCP
Remote-Desktop	RDP (proprietär, Microsoft)	TCP
Web	HTTP (RFC 2616, RFCs 7230-7235)	TCP
File-Transfer	FTP (RFC 959)	TCP
Multimedia Streaming	HTTP (z.B. YouTube)	TCP
	RTP (rückläufig, Live-Streaming)	UDP und TCP
Internet-Telefonie	SIP (3261), RTP (RFC 3550)	UDP
	Skype (proprietär)	UDP oder TCP

Transport-Dienste im Internet

TCP-Dienste:

- Zuverlässiger Transport von Daten zwischen Sender und Empfänger
  - alle Daten ohne Verlust in gleicher Reihenfolge
- Flusskontrolle: Sender überflutet Empfänger nicht mit Daten
- Überlastkontrolle: Drosseln des Senders bei Überlast im Netz
- Keinerlei Garantien für Qualität der Übertragung (Dauer, Durchsatz, Sicherheit)
- Verbindungsorientierung: Herstellen einer Verbindung zwischen Client und Server

UDP-Dienste:

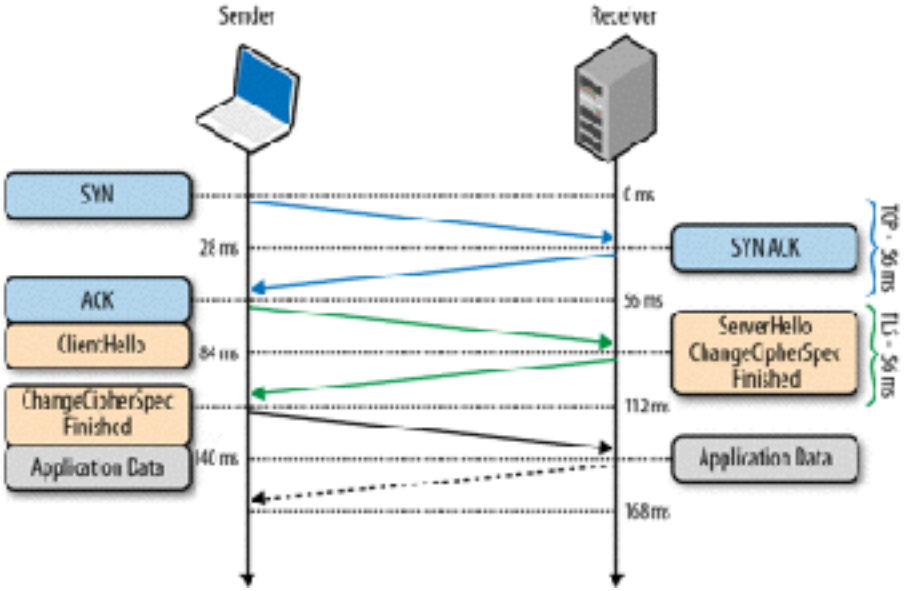
- Unzuverlässiger Transport von Daten zwischen Sender und Empfänger
  - Verlust und Änderung der Reihenfolge möglich
- Keine Verbindungsorientierung, Zuverlässigkeit, Flusskontrolle, Überlastkontrolle, Garantien für Qualität der Übertragung

Frage:
Wozu soll das gut sein?
Warum gibt es UDP?

Sichere Datenübertragung mit TCP

TCP & UDP

- keine Verschlüsselung der Daten
- Passwörter werden im Internet so übertragen, wie sie in den Socket geschrieben werden:
  - wenn Klartext in den Socket, dann auch Klartext im Internet



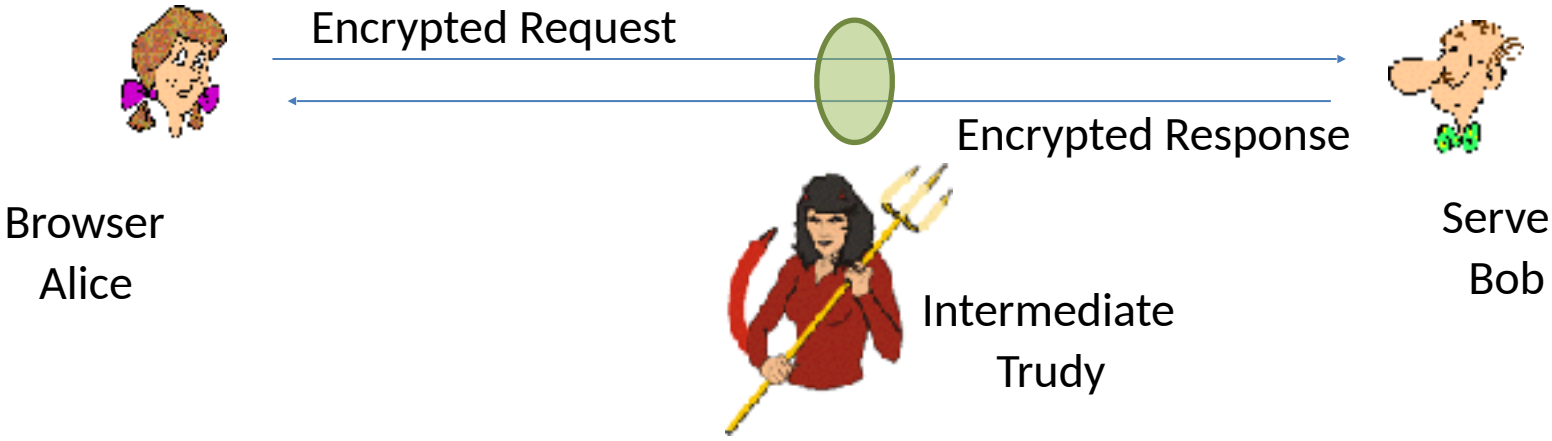
Quelle: O'Reilly: Browser Networking

SSL/TLS (Secure Sockets Layer/ Transport Layer Security)

- bietet verschlüsselte TCP-Verbindungen
- Datenintegrität
- Authentisierung der End-Punkte
- Anwendungen nutzen SSL/TLS Bibliotheken zum Zugriff auf TCP
- SSL/TLS Socket API
  - Klartext im Socket, verschlüsselt im Internet
- Sichere Varianten der Protokolle beruhen auf SSL/TLS
  - https, ftps, imaps, smtps, …
  - http/2.0, SPDY (google)

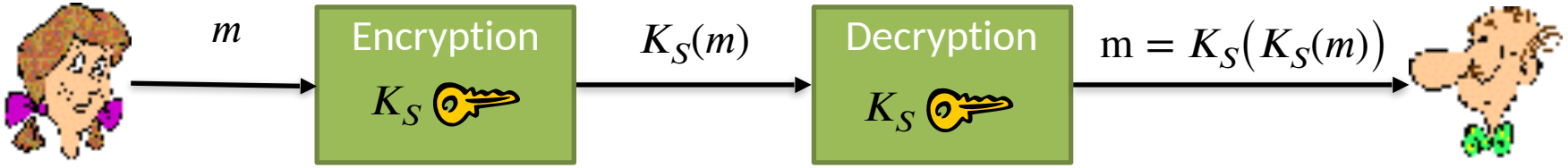
Ende-zu-Ende-Verschlüsselung mit TLS

- Problem:
  - Browser Alice möchte von Web-Server Bob eine Web-Seite laden
  - Intermediate Trudy kann den Netzwerkverkehr mitlesen und auch manipulieren
  - Alice und Bob müssen also die Nachrichten verschlüsselt austauschen
  - Aber wie können Alice und Bob sich auf einen gemeinsamen Schlüssel einigen, ohne dass Trudy den Schlüssel kennt
  - und wie kann Alice sicherstellen, dass der Schlüssel von Bob und nicht von Alice kommt (Man-In-the-Middle-Attack)



Symmetrische und Asymmetrische Verschlüsselung

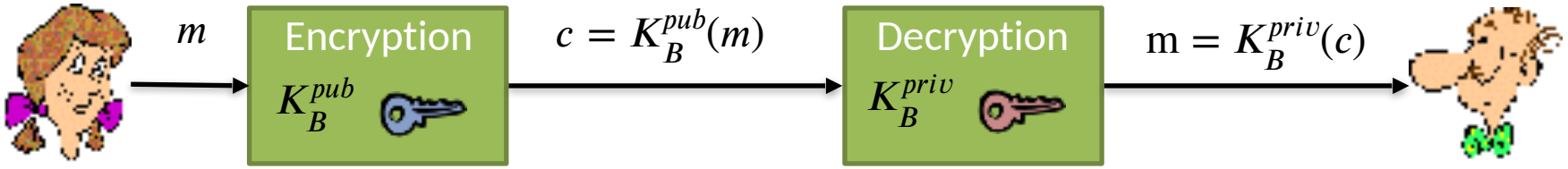
- Symmetrische Verschlüsselung:
  - gleicher Schlüssel K_S zum Ver- und Entschlüsseln einer Nachricht m



  - bekannte Verfahren: DES (Data Encryption Standard), AES (Advanced Encryption Standard), Camellia
  - längere Schlüssel bieten größere Sicherheit
    - 256 Bit-AES gilt als sicher
  - symmetrische Verschlüsselung ist weniger rechenintensiv als asymmetrische Verschlüsselung und wird in TLS zur eigentlichen Verschlüsselung der Nachrichten eingesetzt
  - Problem: beide Seiten benötigen den gleichen Schlüssel

Symmetrische und Asymmetrische Verschlüsselung

- Asymmetrische Verschlüsselung (Public Key Verfahren):
  - verwendet ein Paar von Schlüsseln, dem Public Key zum Verschlüsseln einer Nachricht und dem Private Key zum Entschlüsseln der Nachricht
  - Alice verschlüsselt die Nachricht mit Bob's öffentlich verfügbarem Public Key K_B^{pub} und Bob entschlüsselt die Nachricht mit dem geheimen nur ihm bekannten Private Key K_B^{priv}



  - bekannte Verfahren: RSA (Rivest, Shamar, Adleman), Diffie-Hellman, elliptische Kurven
  - asymmetrische Verschlüsselung ist sehr rechenintensiv und wird in TLS zum initialen Schlüsselaustausch verwendet

Digitale Signatur

- Digitale Signaturen beruhen ebenfalls auf einem Paar aus privatem und öffentlichem Schlüssel
- Alice signiert eine Nachricht m, indem sie einen Hashwert $H(m)$ der Nachricht erzeugt, diesen mit ihrem privaten Schlüssel K_A^{priv} verschlüsselt und den verschlüsselten Hashwert $K_A^{priv}\left(H(m)\right)$ zusammen mit der Nachricht überträgt
- Bob überprüft die Signatur, indem er den empfangenen verschlüsselten Hashwert mit dem öffentlichen Schlüssel K_A^{pub} von Alice entschlüsselt und das Ergebnis mit dem Hashwert der Nachricht vergleicht. Wenn beide gleich sind, kommt die Nachricht sicher von Alice.
- Die Hash-Funktion dient dazu, den Rechenaufwand und die übertragene Datenmenge zu reduzieren
  - Hash-Funktionen: MD5, SHA-1

Digitale Signatur

m

Hash function

$H(m)$

Encryption K_A^{priv}

$K_A^{priv}(H(m))$

Signieren

$m, K_A^{priv}(H(m))$

"Splitten"

$K_A^{priv}(H(m))$

Decryption K_A^{pub}

$K_A^{pub}\left(K_A^{priv}(H(m))\right)$

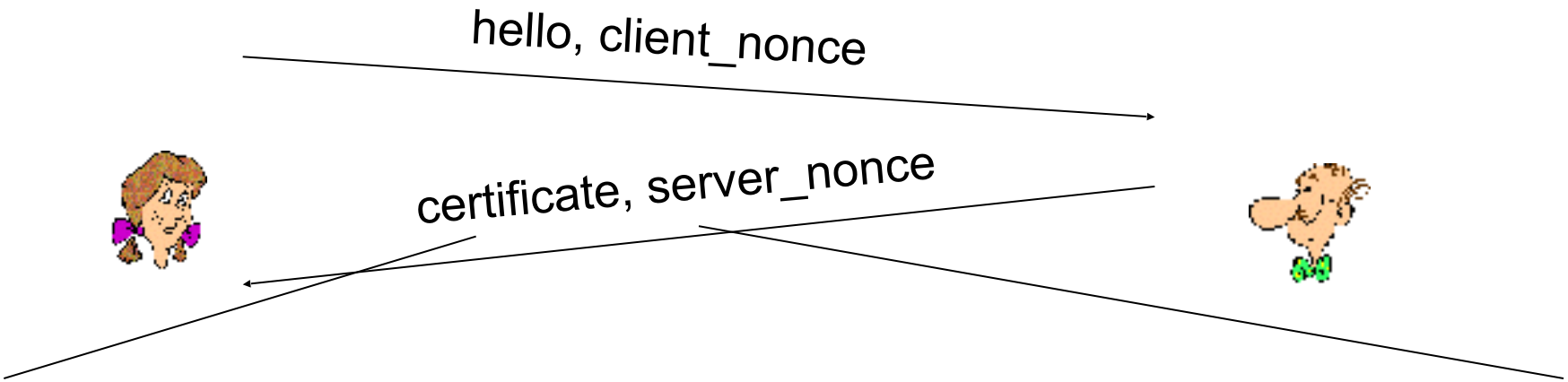
Vergleich

$H(m)$

Hash function

m

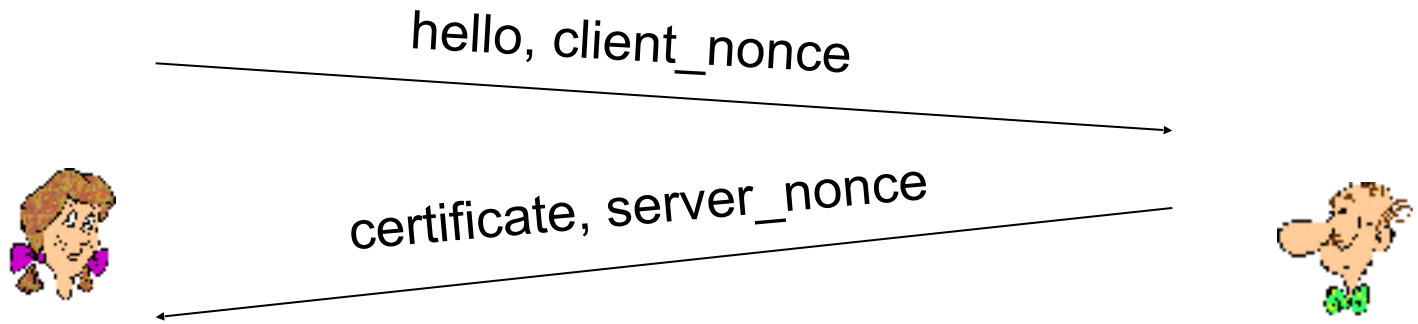
Prinzip TLS



Zertifikat:

- enthält Public Key des Kommunikationspartners (Person, Rechner, Institution) zusammen mit Informationen, die diesen eindeutig identifizieren, und Daten, die den Rahmen des Zertifikats festlegen
  - URL
  - Namen des "Subjects" (Kommunikationspartner)
  - Namen des "Issuers" (Zertifizierungsstelle)
  - Gültigkeit
- wird mit der digitalen Signatur einer Zertifizierungsstelle versehen
  - zur Erinnerung: Hash der Daten inkl. Public Key wird mit Private Key der Zertifizierungsstelle verschlüsselt
  - am populärsten: Symantec (früher Verisign)

Prinzip TLS



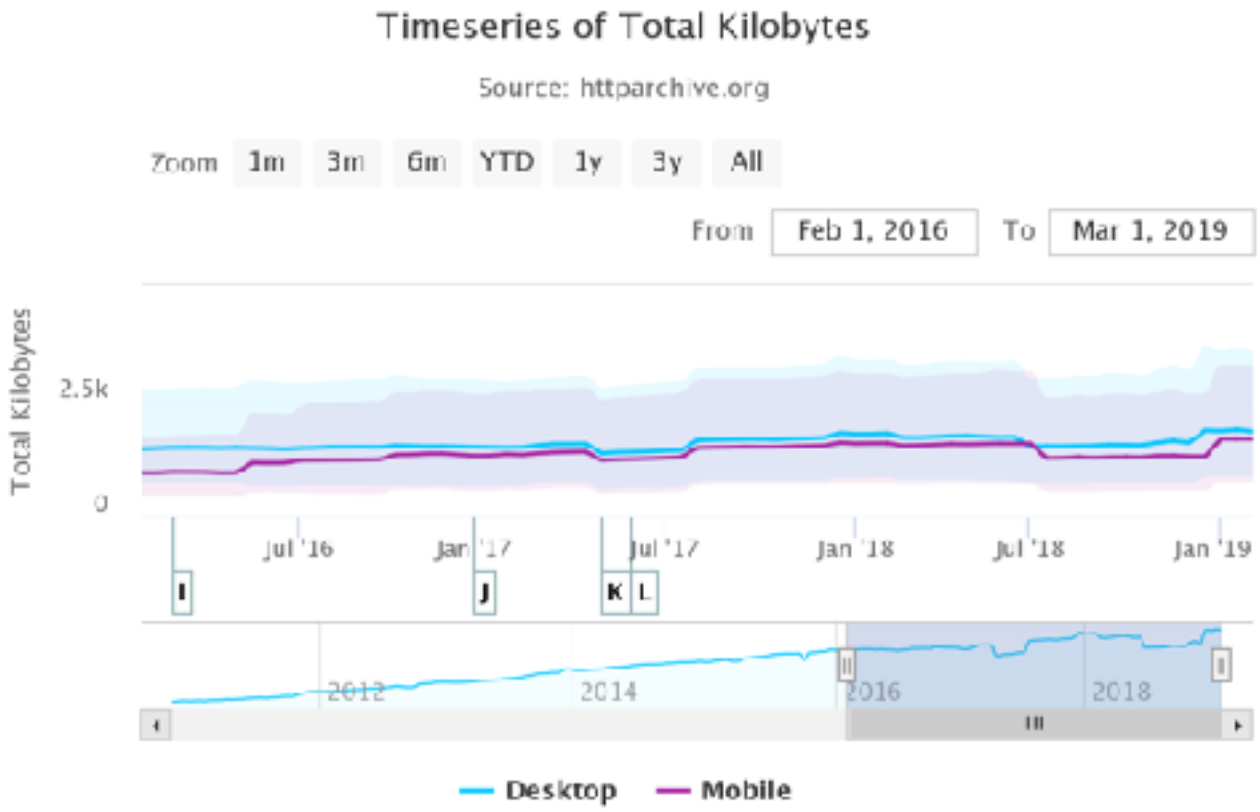
Überprüfen des Zertifikats im Browser:

- Browser enthält Public Keys der wichtigsten Zertifizierungsstellen
- Browser überprüft Signatur des Zertifikats anhand des Public Keys der Ausstellungsstelle
- Browser überprüft Gültigkeit der Daten im Zertifikat, z.B. URL und Ablaufdatum
- stimmt etwas nicht, gibt es eine Fehlermeldung
  - hier sollte vor allem auf falsche URLs geachtet werden

Sicherheit:

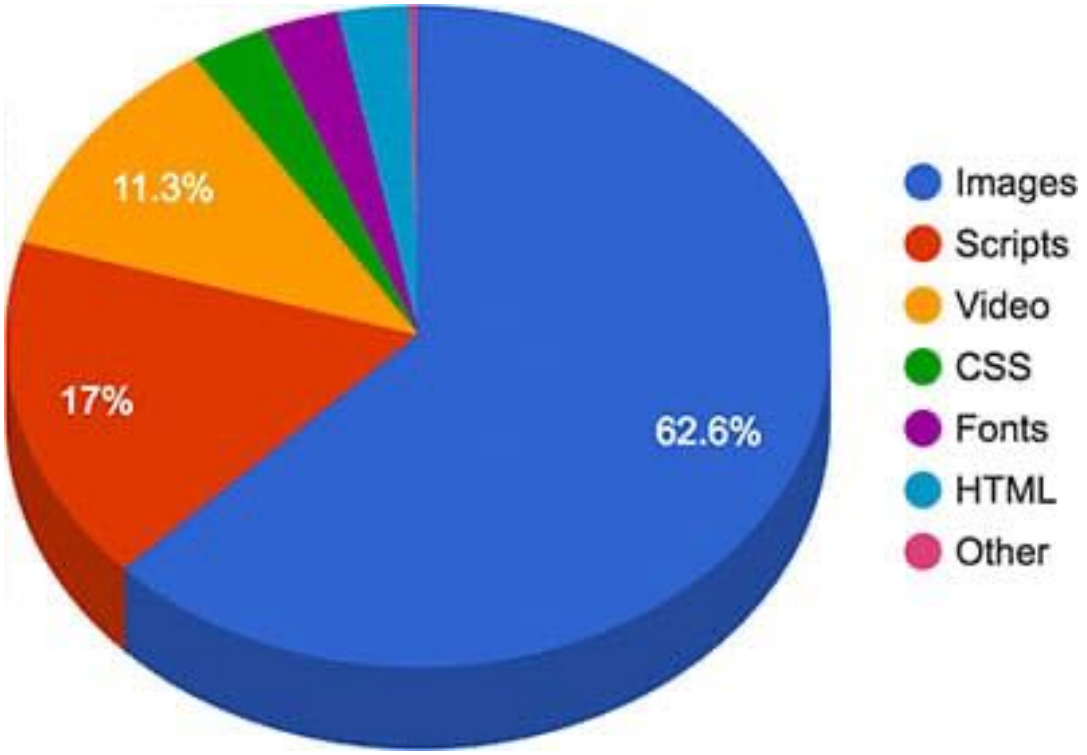
- Zertifikat vermeidet Man-In-The-Middle Attack
- Trudy kann Alice nicht ihren Public Key anstelle von Bob's unterjubeln
- Zertifikat bindet Bob's Public Key an seine URL
- Problem: Trudy kann gültiges Zertifikat kann für ähnliche URL senden

Größe einer Web-Seite



- Median der Seitengröße:
  - Desktop: 1828 kB, Mobil: 1669 kB
- Median der Anzahl Requests/Objekte pro Seite:
  - Desktop: 75, Mobile: 69 (konstant)

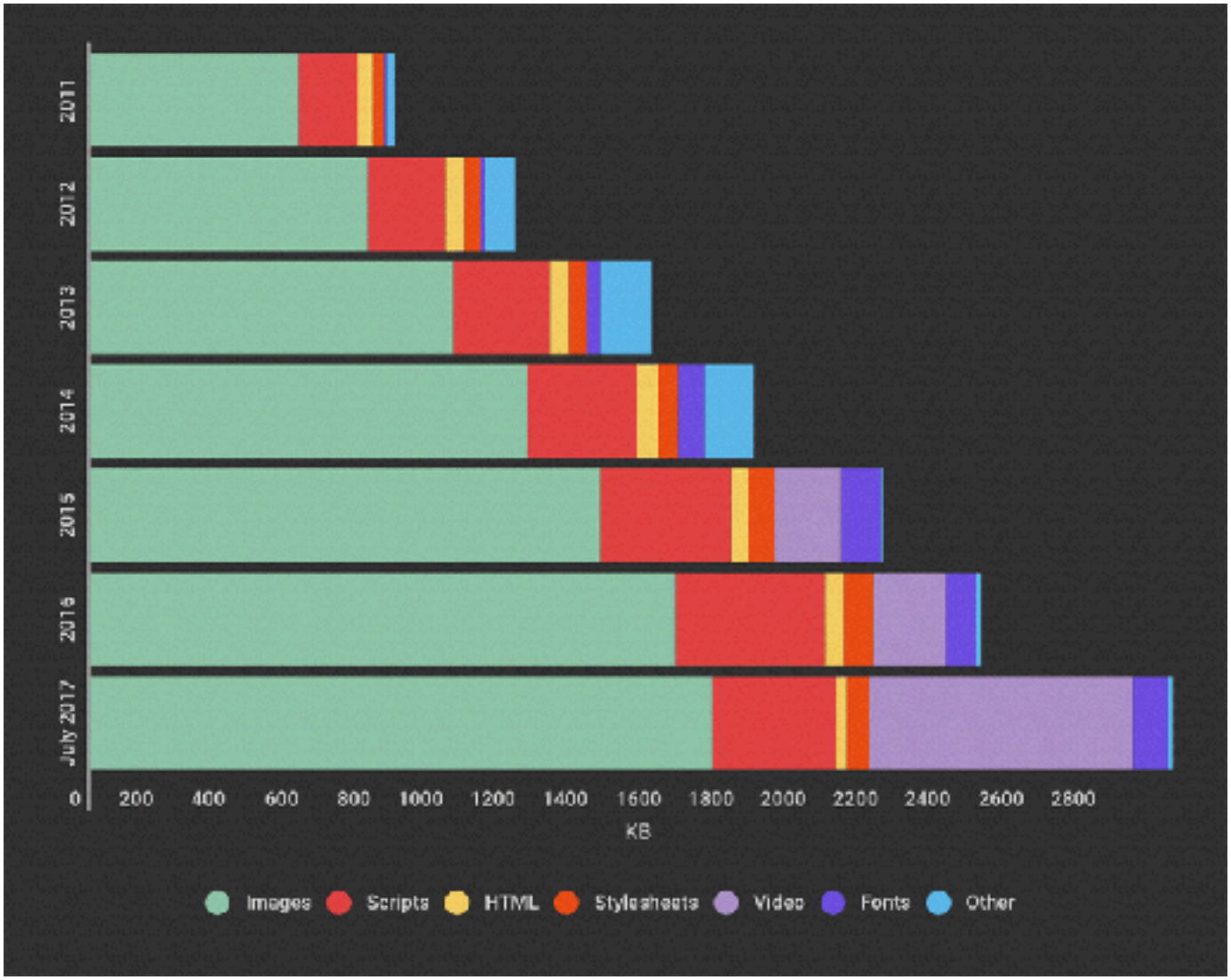
Aufbau einer Web-Seite: Die Objekte



Quelle: developers.google.com

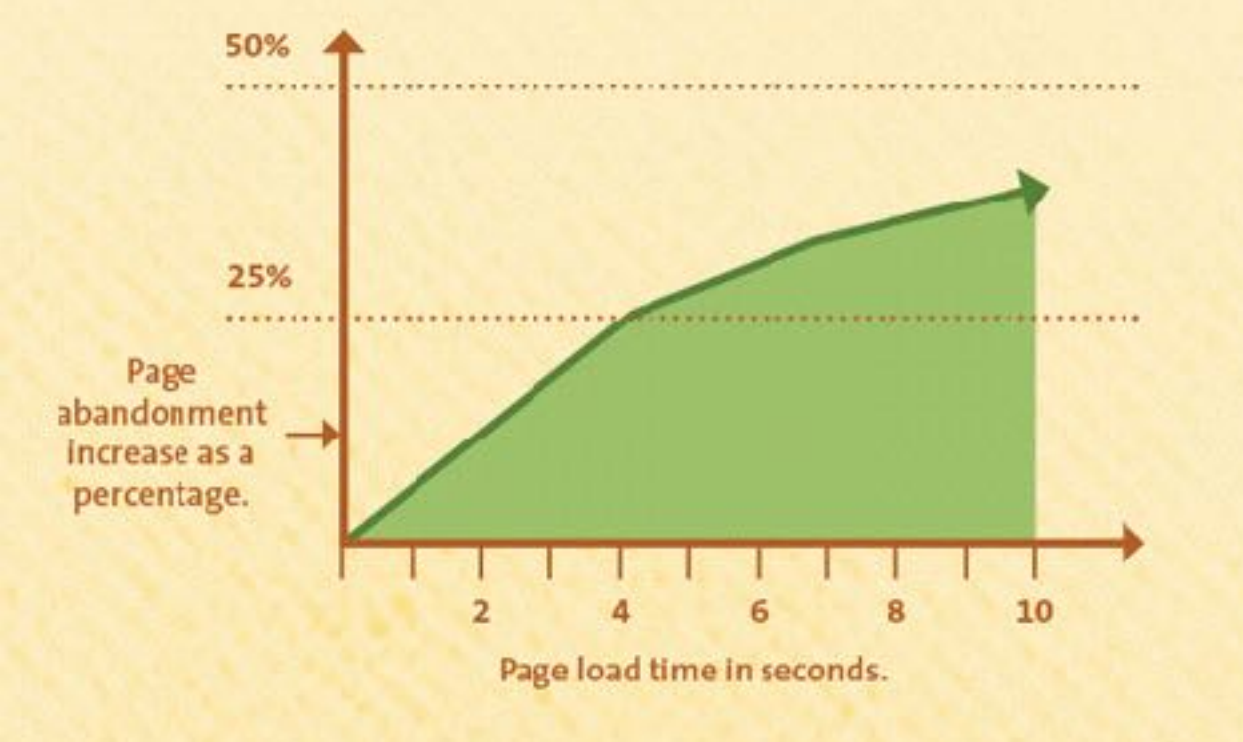
- Bilder machen ca. 60% des Volumens einer Web-Seite aus
- HTML-Code liegt bei unter 5 Prozent des Volumens

Wachstum: Images, Scripts und Videos



Quelle: assets.speedcurve.com

Ladezeiten



Quelle: kiss-metrics.com

- Abbruchraten für Web-Sites wachsen mit der Downloadzeit
- Einer von vier Kunden bricht nach 4s ab
- Web-Seite sollte in wenigen Sekunden (Akamai: 2s) geladen sein

Web-Surfen

- Welche Bandbreite wird zum Web-Surfen benötigt?
  - Spitzendatenrate: 2MBytes pro 2s ➔ 8Mbps
  - Durchschnittliche Rate:
    - durchschnittliche Verweildauer auf einer Seite:
      - 32s ➔ 2MBytes pro 32s ➔ 500 kbps
      - 64s ➔ 2 MBytes pro 64s ➔ 250 kbps
- Welche Bandbreite wird für 1000 aktive Web-Surfer benötigt bei 30s Verweildauer pro Seite?
  - Minimal: 1000 x 500 kbps -> 500 Mbps
    - Auslastung: 100%
  - Optimal: 1000 x 8 Mbps -> 8 Gbps
    - Auslastung: 500Mbps/8 Gbps➔1/16=6,25%
  - Realistisch (25-50% Auslastung): 1-2Gbps

Bitraten-Raten und Anforderungen

- Audio-Streaming?
  - oft Datenraten von 64-160 kbps, auch 32kbps und 320kbps
  - relativ konstante Bandbreite, meist geringerer Spielzeitpuffer als bei Video-Streaming
- Video-Streaming?
  - Datenraten von 500 kbps – 5 Mbps, 25 Mbps für Ultra HD
  - gute mittlere Bandbreite, Schwankungen können toleriert werden, hohe Bandbreite am Anfang
- Sprach-Telefonie?
  - Datenraten von 30kbps-100kbps (Skype empfiehlt 100kbps)
  - konstante Delays von unter 180 ms
- Video-Konferenz?
  - ab 300 kbps, 500 kbps bis 1,5 Mbps für gute Qualität

Übersicht zu Anwendungen und Anforderungen

Delay-Anforderungen	Bandbreiten-Anforderung: keine/gering	mittel	hoch: durchschnittliche Bandbreite	hoch: konstante Bandbreite
keine/gering	Datentransfer im Hintergrund (Software Upgrades, Email, Backup)	App-Installation, Email	Video-Streaming (on-demand)	
niedrig	Chat	Web-Surfen, runden-basierte Spiele, Audio-Streaming		Live-Streaming (kleiner Puffer)
hoch	Online-Trading, Alarme von Sensoren	Cloud-Computing, Echtzeit-Spiele, Sprache		Video-Telefonie/-konferenz