

11. Foliensatz

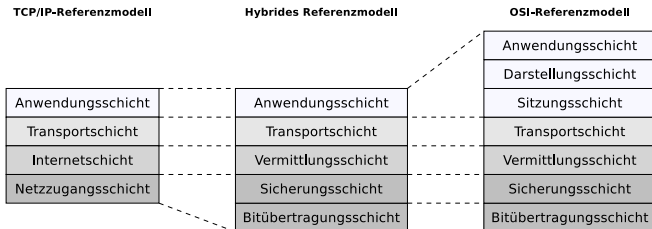
Betriebssysteme und Rechnernetze

Prof. Dr. Christian Baun

Frankfurt University of Applied Sciences
(1971–2014: Fachhochschule Frankfurt am Main)
Fachbereich Informatik und Ingenieurwissenschaften
christianbaun@fb2.fra-uas.de

Transportschicht

- Aufgaben der Transportschicht (Transport Layer):
 - Enthält **Ende-zu-Ende-Protokolle** für Interprozesskommunikation
 - Adressierung der Prozesse mit **Portnummern**
 - Unterteilung der Daten der Anwendungsschicht in **Segmente**



- Geräte: Gateway
- Protokolle: TCP, UDP

Sinnvolle Themen zur Transportschicht...

- ... und was aus Zeitgründen davon übrig bleibt...
 - Eigenschaften von Transportprotokollen
 - Adressierung in der Transportschicht
 - User Datagram Protocol (UDP)
 - Aufbau von UDP-Segmenten
 - Arbeitsweise
 - Transmission Control Protocol (TCP)
 - Aufbau von TCP-Segmenten (Dieser Teil wurde reduziert)
 - Arbeitsweise
 - ~~Flusskontrolle (Flow Control)~~
 - ~~Überlastkontrolle (Congestion Control)~~
 - Denial of Service-Attacken via SYN-Flood

Herausforderungen für Transportprotokolle

- Das Protokoll IP auf der Vermittlungsschicht arbeitet **verbindungslos**
 - IP-Pakete werden unabhängig von anderen zum Ziel vermittelt (*geroutet*)
 - Vorteil: Geringer Overhead
- Nachteile aus Sicht der Transportschicht
 - IP-Pakete gehen **verloren** oder werden **verworfen**, weil TTL abgelaufen
 - IP-Pakete erreichen ihr Ziel häufig in der **falschen Reihenfolge**
 - **Mehrere Kopien** von IP-Paketen erreichen das Ziel
- Gründe:
 - Große Netze sind nicht statisch \implies ihre Infrastruktur ändert sich
 - Übertragungsmedien können ausfallen
 - Die Auslastung und damit die Verzögerung der Netze schwankt
- Diese Probleme sind in Computernetzen alltäglich
 - Je nach Anwendung müssen Transportprotokolle diese Nachteile ausgleichen

Eigenschaften von Transportprotokollen

- Gewünschte Eigenschaften von Transportprotokollen sind u.a.
 - Garantierte Datenübertragung
 - Einhaltung der korrekten Reihenfolge der Daten
 - Unterstützung beliebig großer Datenübertragungen
 - Der Sender soll in der Lage sein, den Datenfluss, also die Übertragungsrate zu kontrollieren \implies Flusskontrolle (**leider gestrichen aus Zeitgründen**)
- Es sind also Transportprotokolle nötig, die die negativen Eigenschaften der Netze in die (positiven) Eigenschaften umwandeln, die von Transportprotokollen erwartet werden
- Die am häufigsten verwendeten Transportprotokolle:
 - **UDP**
 - **TCP**
- Adressierung erfolgt in der Transportschicht mit **Sockets**

Adressierung in der Transportschicht

- Jede Anwendung, die TCP oder UDP nutzt, hat eine **Portnummer**
 - Diese gibt an, welcher Dienst auf dem Endgerät angesprochen wird
 - Bei TCP und UDP ist die Portnummer 16 Bits groß
 - Portnummern liegen somit im Wertebereich 0 bis 65.535
- Portnummern können im Prinzip beliebig vergeben werden
 - Es gibt Konventionen, welche Standardanwendungen welche Ports nutzen

| Portnummer | Dienst | Beschreibung |
|------------|--------|--|
| 21 | FTP | Dateitransfer |
| 22 | SSH | Verschlüsselte Terminalemulation (Secure Shell) |
| 23 | Telnet | Terminalemulation zur Fernsteuerung von Rechnern |
| 25 | SMTP | E-Mail-Versand |
| 53 | DNS | Auflösung von Domainnamen in IP-Adressen |
| 67 | DHCP | Zuweisung der Netzwerkkonfiguration an Clients |
| 80 | HTTP | Webserver |
| 110 | POP3 | Client-Zugriff für E-Mail-Server |
| 143 | IMAP | Client-Zugriff für E-Mail-Server |
| 443 | HTTPS | Webserver (verschlüsselt) |
| 993 | IMAPS | Client-Zugriff für E-Mail-Server (verschlüsselt) |
| 995 | POP3S | Client-Zugriff für E-Mail-Server (verschlüsselt) |

- Die Tabelle enthält nur eine kleine Auswahl bekannter Portnummern

Ports (2/2)

- Die Portnummern sind in 3 Gruppen unterteilt:
 - 0 bis 1023 (Well Known Ports)
 - Diese sind Anwendungen fest zugeordnet und allgemein bekannt
 - 1024 bis 49151 (Registered Ports)
 - Anwendungsentwickler können sich Portnummern in diesem Bereich für eigene Anwendungen registrieren
 - 49152 bis 65535 (Private Ports)
 - Sind nicht registriert und können frei verwendet werden
- Verschiedene Anwendungen können im Betriebssystem gleichzeitig identische Portnummern verwenden, wenn Sie über unterschiedliche Transportprotokolle kommunizieren
 - Zudem gibt es Anwendungen, die Kommunikation via TCP und UDP über eine einzige Portnummer realisieren
 - Beispiel: Domain Name System – DNS (siehe Foliensatz 10)
- Die Well Known Ports und die Registered Ports werden durch die Internet Assigned Numbers Authority (IANA) vergeben
 - Unter Linux/UNIX existiert die Datei /etc/services
 - Hier sind Anwendungen (Dienste) den Portnummern zugeordnet
 - Unter Windows: %WINDIR%\system32\drivers\etc\services

Sockets

- **Sockets** sind die plattformunabhängige, standardisierte **Schnittstelle** zwischen der Implementierung der Netzwerkprotokolle im Betriebssystem und den Anwendungen
- **Ein Socket besteht aus einer Portnummer und einer IP-Adresse**
- Man unterscheidet zwischen Stream Sockets und Datagram Sockets
 - **Stream Sockets** verwendeten das verbindungsorientierte TCP
 - **Datagram Sockets** verwendeten das verbindungslose UDP

Werkzeug(e) zur Kontrolle offener Ports und Sockets unter...

- Linux/UNIX: `netstat`, `lsof` und `nmap`
- Windows: `netstat`

Alternativen zu Sockets in der Interprozesskommunikation (IPC)

Pipes, Message Queues und gemeinsamer Speicher (Shared Memory)

User Datagram Protocol (UDP)

- **Verbindungsloses Transportprotokoll**

- Datenübertragungen finden ohne vorherigen Verbindungsaufbau statt
- Einfacheres Protokoll als das verbindungsorientierte TCP
 - Nur für die Adressierung der Segmente zuständig
 - Es findet keine Sicherung der Datenübertragung statt
- Übertragungen werden nicht vom Empfänger beim Sender bestätigt
 - Segmente können bei der Übertragung verloren gehen
- Abhängig von der Anwendung, z.B. bei Videostreaming, ist das akzeptabel
 - Geht bei der Übertragung eines Videos via TCP ein Segment, also eine Bildinformation verloren, wird es neu angefordert
 - Es käme zu Aussetzern
 - Um das zu kompensieren, sind Wiedergabepuffer nötig
 - Speziell bei Videotelefonie versucht man aber die Puffer möglichst klein zu halten, weil diese zu Verzögerungen führen
 - Nutzt man UDP zur Übertragung eines Videos oder für Videotelefonie, geht beim Verlust eines Segments nur ein Bild verloren

User Datagram Protocol (UDP)

- Maximale Größe eines UDP-Segments: 65.535 Bytes
 - Grund: Das **Länge**-Feld des UDP-Headers, das die Segmentlänge enthält, ist 16 Bits groß
 - Die maximal darstellbare Zahl mit 16 Bits ist 65.535
 - So große UDP-Segmente werden vom IP aber fragmentiert übertragen

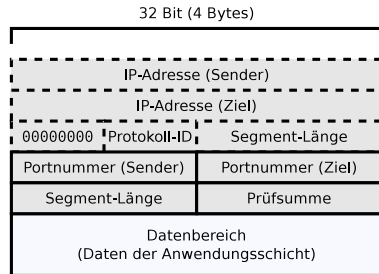


UDP-Standard: RFC 768 von 1980
<http://tools.ietf.org/rfc/rfc768.txt>

Der Ablauf der Kommunikation via UDP und das Beispiel eines Servers und Clients mit Python wurde schon in Foliensatz 6 besprochen

Aufbau von UDP-Segmenten

- Der UDP-Header besteht aus 4 je 16 Bit großen Datenfeldern
 - **Portnummer (Sender)**
 - Kann frei bleiben (Wert 0), wenn keine Antwort erforderlich ist
 - **Portnummer (Ziel)**
 - **Länge** des kompletten Segments (ohne Pseudo-Header)
 - **Prüfsumme** über das vollständige Segment (inklusive Pseudo-Header)
- Es wird ein Pseudo-Header erzeugt, der mit den IP-Adressen von Sender und Ziel auch Informationen der Vermittlungsschicht enthält
 - Protokoll-ID von UDP = 17
- Der Pseudo-Header wird nicht übertragen, geht aber in die Berechnung der Prüfsumme mit ein



Erinnern Sie sich an NAT aus Foliensatz 10...

Wird ein NAT-Gerät (Router) verwendet, muss dieses Gerät auch die Prüfsummen in UDP-Segmenten neu berechnen, es IP-Adressen übersetzt

Transmission Control Protocol (TCP)

- **Verbindungsorientiertes Transportprotokoll**
- Erweitert das Vermittlungsprotokoll IP um die Zuverlässigkeit, die für viele Anwendungen gewünscht bzw. nötig ist
- Garantiert, dass Segmente **vollständig** und in der **korrekten Reihenfolge** ihr Ziel erreichen
 - Verlorene oder nicht bestätigte TCP-Segmente sendet der Sender erneut
- Eine TCP-Verbindung wird wie eine Datei geöffnet und geschlossen
 - Genau wie bei einer Datei wird die Position im Datenstrom exakt angegeben

TCP-Standard: RFC 793 von 1981
<http://tools.ietf.org/rfc/rfc793.txt>

Der Ablauf der Kommunikation via TCP und das Beispiel eines Servers und Clients mit Python wurde schon in Foliensatz 6 besprochen

Sequenznummern bei TCP

- TCP sieht Nutzdaten als unstrukturierten, aber geordneten Datenstrom
- **Sequenznummern** nummerieren den Strom der gesendeten Bytes
 - Die Sequenznummer eines Segments ist die Position des ersten Bytes des Segments im Bytestrom
- Beispiel
 - Der Sender unterteilt den Strom mit Anwendungsdaten in Segmente
 - Länge Datenstrom: 5.000 Bytes
 - MSS: 1.460 Bytes



Einige Eckdaten...

Maximum Transfer Unit (MTU): Maximale Größe der IP-Pakete

MTU bei Ethernet = 1.500 Bytes, MTU bei PPPoE (z.B. DSL) = 1.492 Bytes

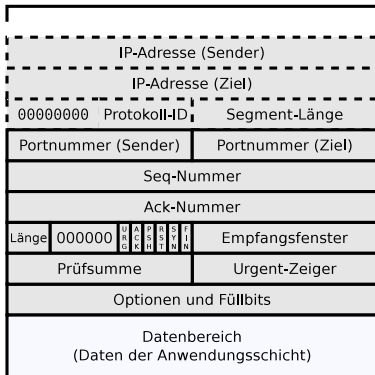
Maximum Segment Size (MSS): Maximale Segmentgröße

MSS = MTU - 40 Bytes für IPv4- und TCP-Header

Aufbau von TCP-Segmenten (1/5)

- Ein TCP-Segment kann maximal 64 kB Nutzdaten (Daten der Anwendungsschicht) enthalten
 - Üblich sind kleinere Segmente (≤ 1.500 Bytes bei Ethernet)

32 Bit (4 Bytes)



- Der Header von TCP-Segmenten ist komplexer im Vergleich zu UDP-Segmenten

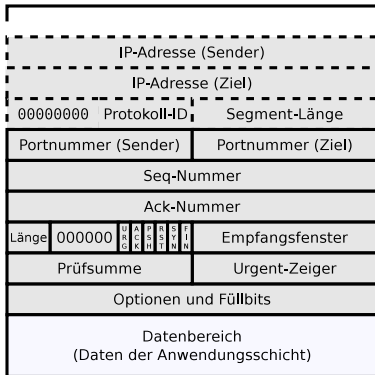
Overhead

- Größe des TCP-Headers (ohne das Optionsfeld): nur 20 Bytes
- Größe des IP-Headers (ohne das Optionsfeld): auch nur 20 Bytes

⇒ Der Overhead, den die TCP- und IP-Header verursachen, ist bei einer IP-Paketgröße von mehreren kB gering

Aufbau von TCP-Segmenten (2/5)

32 Bit (4 Bytes)

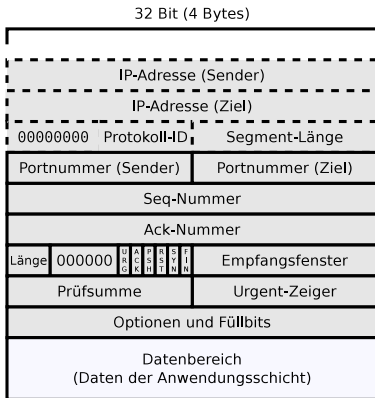


- Ein Datenfeld enthält die Portnummer des sendenden Prozesses
- Ein weiteres Datenfeld enthält die Portnummer des Prozesses, der das Segment empfangen soll
- **Seq-Nummer** enthält die Folgenummer (Sequenznummer) des aktuellen Segments
- **Ack-Nummer** enthält die Folgenummer des nächsten erwarteten Segments

- **Länge** enthält die Länge des TCP-Headers in 32-Bit-Worten, damit der Empfänger weiß, wo die Nutzdaten im TCP-Segment anfangen
 - Dieses Feld ist nötig, weil das Feld *Optionen und Füllbits* eine variable Länge (Vielfaches von 32 Bits) haben kann

Aufbau von TCP-Segmenten (3/5)

- Das Datenfeld 000000 ist 6 Bits groß und wird nicht verwendet
 - Es hat den Wert Null



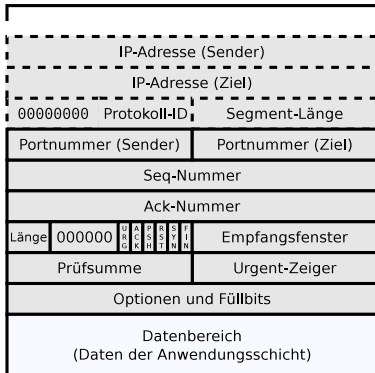
- Die 6 je 1 Bit großen Datenfelder sind für Verbindungsaufbau, Datenaustausch und Verbindungsabbau nötig
 - Im folgenden sind die Funktionen dieser Datenfelder jeweils so beschrieben, das sie den Wert 1 haben, also *gesetzt* sind

URG (Urgent) wird in der Vorlesung BSRN nicht behandelt

- **ACK** (Acknowledge)
 - Gibt an, dass die Bestätigungsnummer im Datenfeld **Ack-Nummer** gültig ist
 - Es wird also verwendet, um den Empfang von Segmenten zu bestätigen

Aufbau von TCP-Segmenten (4/5)

32 Bit (4 Bytes)



PSH (Push) wird in der Vorlesung BSRN nicht behandelt

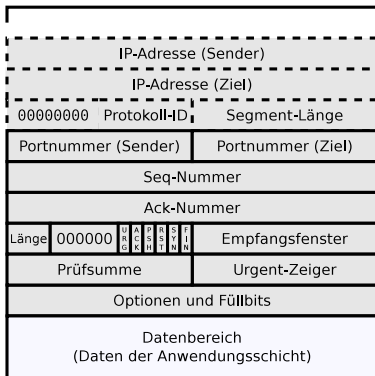
RST (Reset) wird in der Vorlesung BSRN nicht behandelt

- **SYN** (Synchronize)
 - Weist die Synchronisation der Sequenznummern an
 - Das initiiert den Verbindungsaufbau
- **FIN** (Finish)
 - Weist den Verbindungsabbau an und gibt an, dass der Sender keine Nutzdaten mehr schicken wird

Das **Empfangsfenster** wird in der Vorlesung BSRN nicht behandelt

Aufbau von TCP-Segmenten (5/5)

32 Bit (4 Bytes)



- Genau wie bei UDP existiert auch für jedes TCP-Segment ein Pseudo-Header, der nicht übertragen wird
 - Dessen Datenfelder gehen aber inklusive regulärem TCP-Header und Nutzdaten in die Berechnung der **Prüfsumme** mit ein
 - Die **Protokoll-ID** von TCP ist die 6

Der **Urgent-Zeiger** wird in der Vorlesung BSRN nicht behandelt

Das Feld **Optionen und Füllbits** muss ein Vielfaches von 32 Bits groß sein und wird in dieser Vorlesung nicht behandelt

Erinnern Sie sich an NAT aus Foliensatz 8...

Wird ein NAT-Gerät (Router) verwendet, muss dieses Gerät auch die Prüfsummen in TCP-Segmenten neu berechnen, es IP-Adressen übersetzt

Arbeitsweise von TCP

Sie wissen bereits...

- Jedes Segment hat eine eindeutige Folgenummer (**Sequenznummer**)
- Die Sequenznummer eines Segments ist die Position des ersten Bytes des Segments im Bytestrom
- Anhand der Sequenznummer kann der Empfänger...
 - die Reihenfolge der Segmente korrigieren
 - doppelt angekommene Segmente aussortieren
- Die Länge eines Segments ist aus dem IP-Header bekannt
 - So werden Lücken im Datenstrom entdeckt und der Empfänger kann verlorene Segmente neu anfordern
- Beim Öffnen einer Verbindung (**Dreizege-Handshake**) tauschen beide Kommunikationspartner in drei Schritten Kontrollinformationen aus
 - So ist garantiert, dass der jeweilige Partner existiert und Daten annimmt

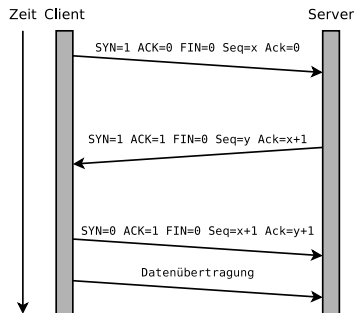
TCP-Verbindungsaufbau (Dreiwege-Handshake)

- Der Server wartet passiv auf eine ankommende Verbindung

- 1 Client sendet ein Segment mit $\text{SYN}=1$ und fordert damit zur Synchronisation der Folgenummern auf
 \Rightarrow *Synchronize*

- 2 Server sendet als Bestätigung ein Segment mit $\text{ACK}=1$ und fordert mit $\text{SYN}=1$ seinerseits zur Synchronisation der Folgenummern auf
 \Rightarrow *Synchronize Acknowledge*

- 3 Client bestätigt mit einem Segment mit $\text{ACK}=1$ und die Verbindung steht
 \Rightarrow *Acknowledge*



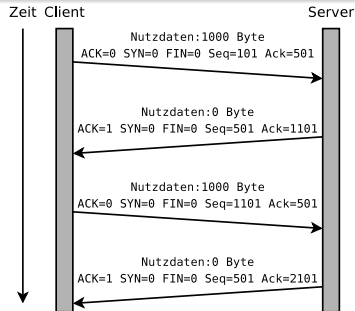
- Die Anfangs-Sequenznummern (x und y) werden zufällig bestimmt
- Beim Verbindungsaufbau werden keine Nutzdaten ausgetauscht!

TCP-Datenübertragung

Um eine Datenübertragung zu zeigen, sind für die **Seq-Nummer** (Folgenummer aktuelles Segment) und die **Ack-Nummer** (Folgenummer nächstes erwartetes Segment) konkrete Werte nötig

- Im Beispiel ist zu Beginn des Dreizeige-Handshake die Folgenummer des Clients $x=100$ und die des Servers $y=500$
- Nach Abschluss des Dreizeige-Handshake: $x=101$ und $y=501$

- Client überträgt 1000 Byte Nutzdaten
- Server bestätigt mit $ACK=1$ die empfangenen Nutzdaten und fordert mit der Ack-Nummer das nächste Segment an
- Client überträgt weitere 1000 Byte Nutzdaten
- Server bestätigt mit $ACK=1$ die empfangenen Nutzdaten und fordert mit der Ack-Nummer das nächste Segment an

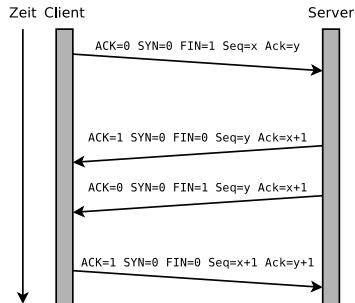


Im Beispiel zählt der Server seine Seq-Nummer nicht hoch, weil er keine Nutzdaten an den Client überträgt

TCP-Verbindungsabbau

- Der Verbindungsabbau ist dem Verbindungsaufbau ähnlich
- Statt des SYN-Bit kommt das FIN-Bit zum Einsatz, das anzeigt, dass keine Nutzdaten mehr vom Sender kommen

- 1 Client sendet den Abbauwunsch mit FIN=1
- 2 Server sendet eine Bestätigung mit ACK=1
- 3 Server sendet den Abbauwunsch mit FIN=1
- 4 Client sendet eine Bestätigung mit ACK=1



- Beim Verbindungsabbau werden keine Nutzdaten ausgetauscht

Denial of Service-Attacken via SYN-Flood

- Ziel des Angriffs: Dienste oder Server unerreichbar machen
- Ein Client sendet viele Verbindungsanfragen (**SYN**), antwortet aber nicht auf die Bestätigungen (**SYN ACK**) des Servers mit **ACK**
- Der Server wartet einige Zeit auf die Bestätigung des Clients
 - Es könnten ja Netzwerkprobleme die Bestätigung verzögern
 - Während dieser Zeit werden die Client-Adresse und der Status der unvollständigen Verbindung im Speicher des Netzwerkstacks gehalten
- Durch das Fluten des Servers mit Verbindungsanfragen wird die Tabelle mit den TCP-Verbindungen im Netzwerkstack komplett gefüllt
⇒ Der Server kann keine neuen Verbindungen mehr aufbauen
- Der Speicherverbrauch auf dem Server kann so groß werden, dass der Hauptspeicher komplett gefüllt wird und der Server abstürzt
- Gegenmaßnahme: Echtzeitanalyse des Netzwerks durch intelligente Firewalls