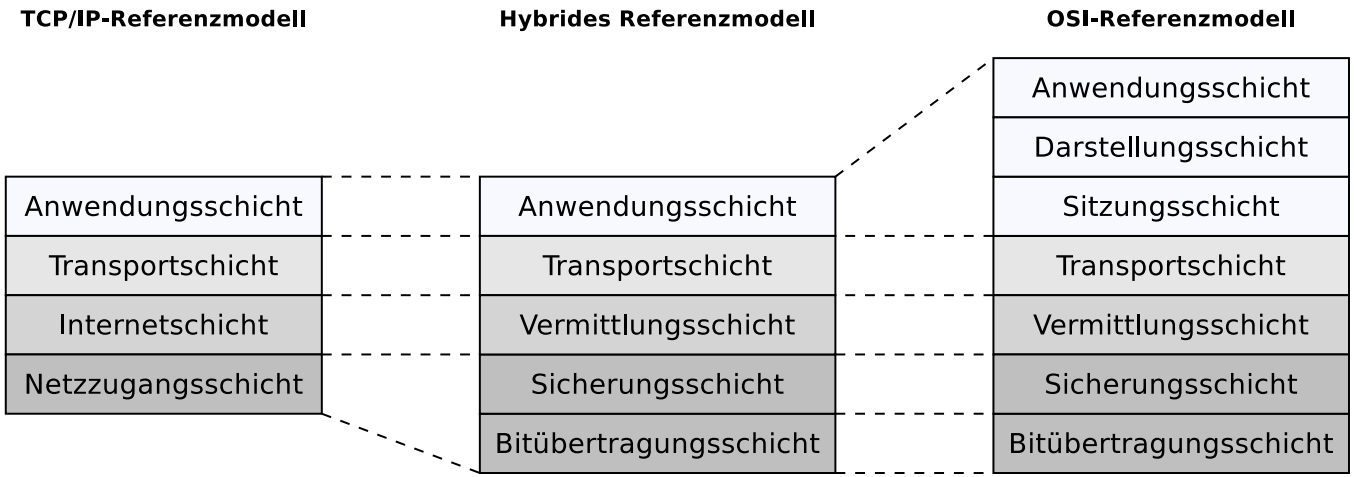
11. Foliensatz
Betriebssysteme und Rechnernetze

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

Übungsblatt 11 wiederholt die für die Lernziele relevanten Inhalte dieses Foliensatzes

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 $\Longrightarrow$ 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 das Netzwerk nicht überlasten
    - Er soll in der Lage sein, den eigenen Datenfluss (die Übertragungsrate) anzupassen $\Longrightarrow$ Flusskontrolle (leider gestrichen aus Zeitgründen)
  - Der Empfänger soll das Sendeverhalten des Senders kontrollieren können, um Überlast beim Empfänger zu vermeiden $\Longrightarrow$ Überlastkontrolle (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 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 12)

- 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) $\Longrightarrow$ siehe Foliensatz 6

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)

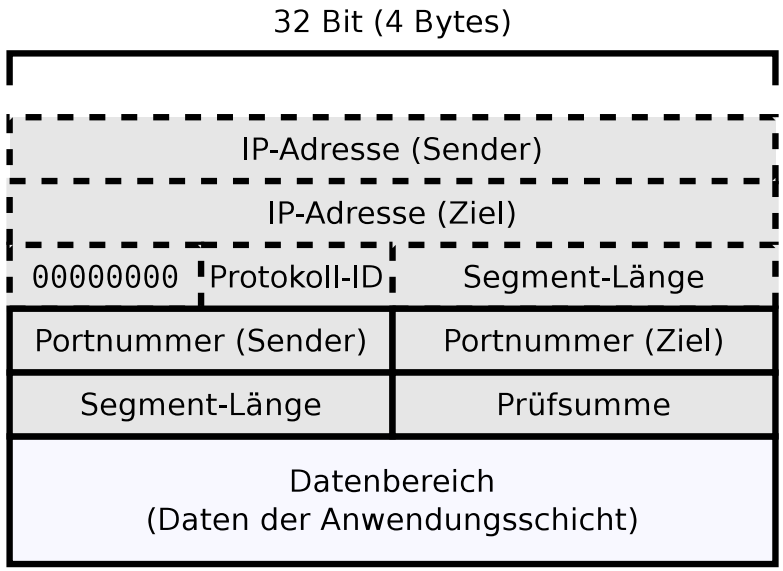
- Maximale Größe eines UDP-Segments: 65.535 Bytes
  - Grund: Das **Länge**-Feld des UDP-Headers, das die Segmentlänge enthält, ist 16 Bits groß
    - Die maximal darstellbare Zahl mit 16 Bits ist 65.535
  - So große UDP-Segmente werden vom IP aber fragmentiert übertragen

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, wenn es die IP-Adressen ersetzt

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 angeben

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

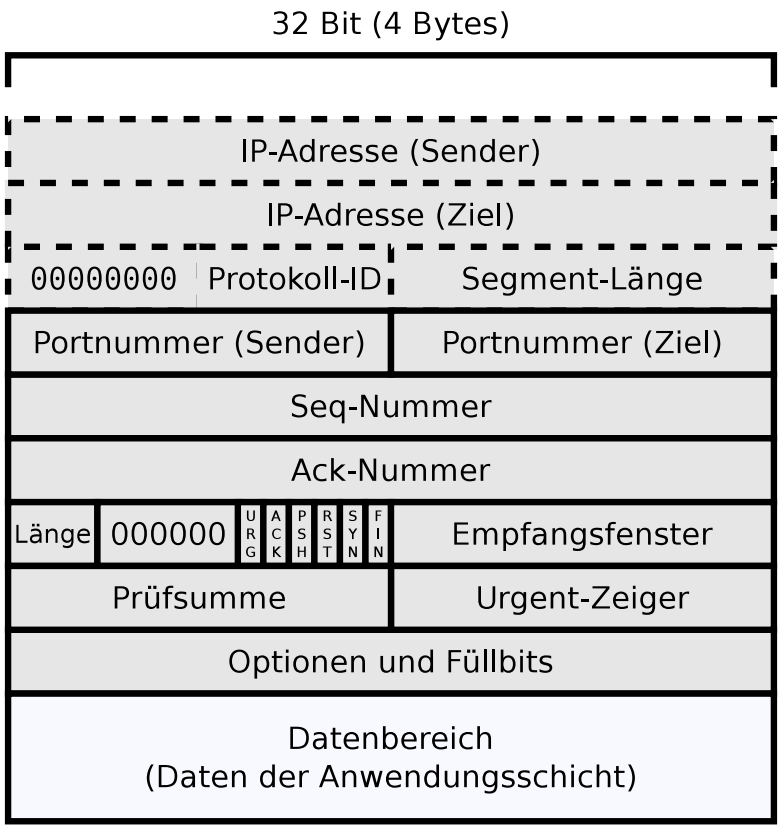
Sequenznummern bei TCP

- 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 Segement Size (MSS): Maximale Segmentgröße
MSS = MTU - 40 Bytes für IPv4- und TCP-Header

Aufbau von TCP-Segmenten (1/5)



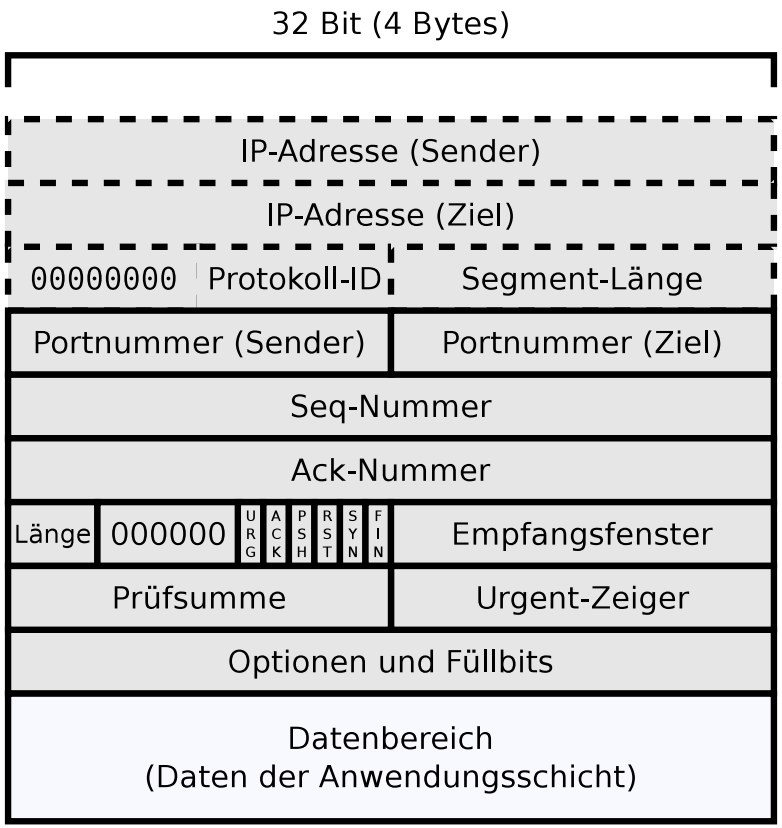
- Ein TCP-Segment kann maximal 64 kB Nutzdaten (Daten der Anwendungsschicht) enthalten
  - Üblich sind kleinere Segmente ($\leq$ 1500 Bytes bei Ethernet)
- Der Header von TCP-Segmenten ist komplexer im Vergleich zu UDP-Segmenten

Overhead

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

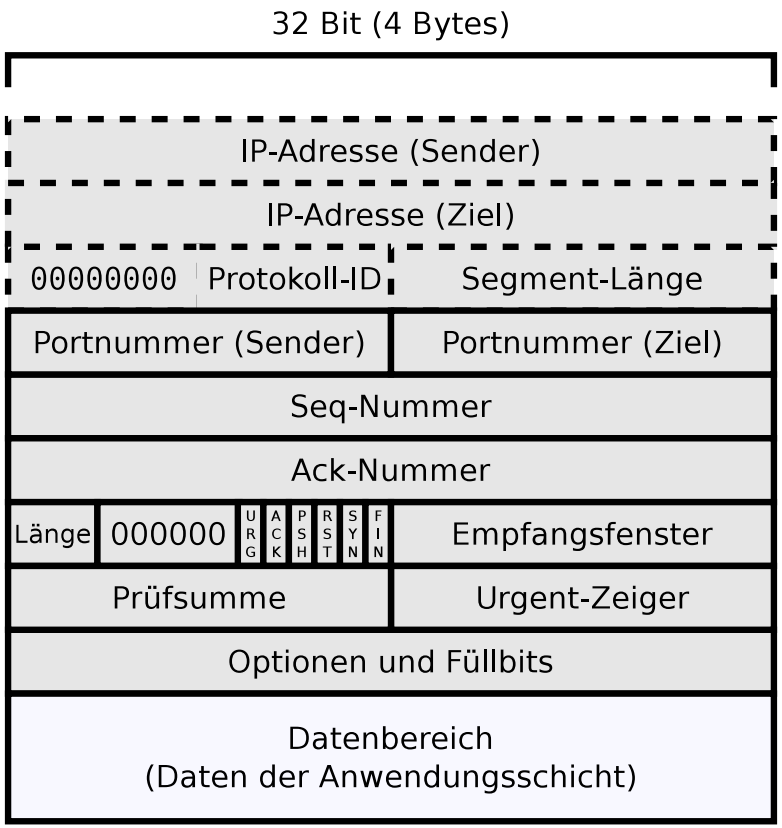
$\Longrightarrow$ Der Overhead, den die TCP- und IP-Header verursachen, ist bei einer IP-Paketgröße von mehreren kB gering

Aufbau von TCP-Segmenten (2/5)



- 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)

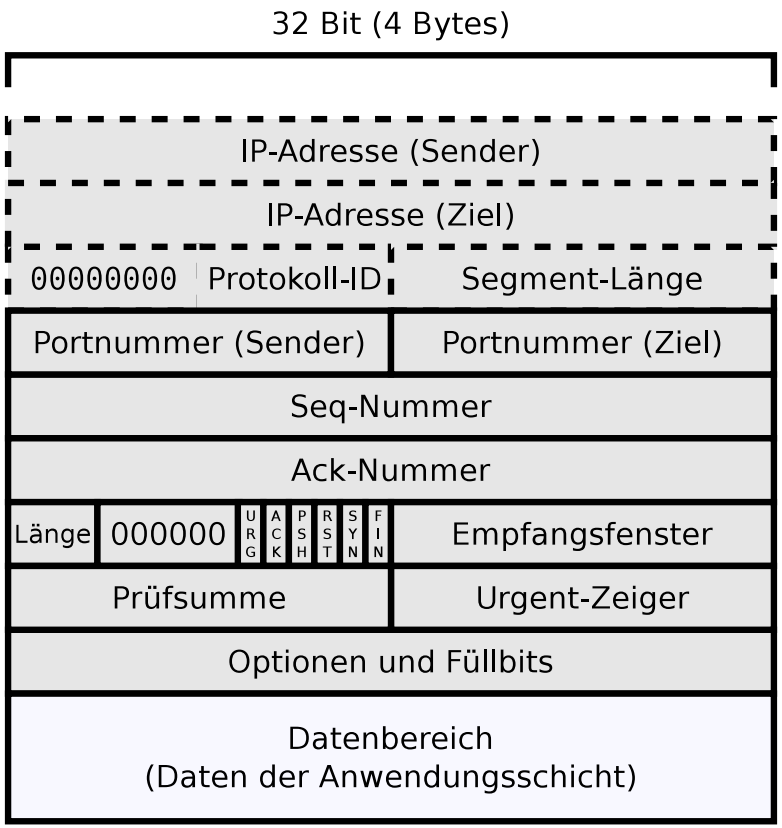


- Das Datenfeld 000000 ist 6 Bits groß und wird nicht verwendet
  - Es hat den Wert Null
- Die 6 je 1 Bit großen Datenfelder sind für Verbindungsaufbau, Datenaustausch und Verbindungsabbau nötig
  - Im folgenden sind die Funktionen dieser Datenfelder jeweils so beschrieben, das sie den Wert 1 haben, also *gesetzt* sind

URG (Urgent) wird im Modul 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)



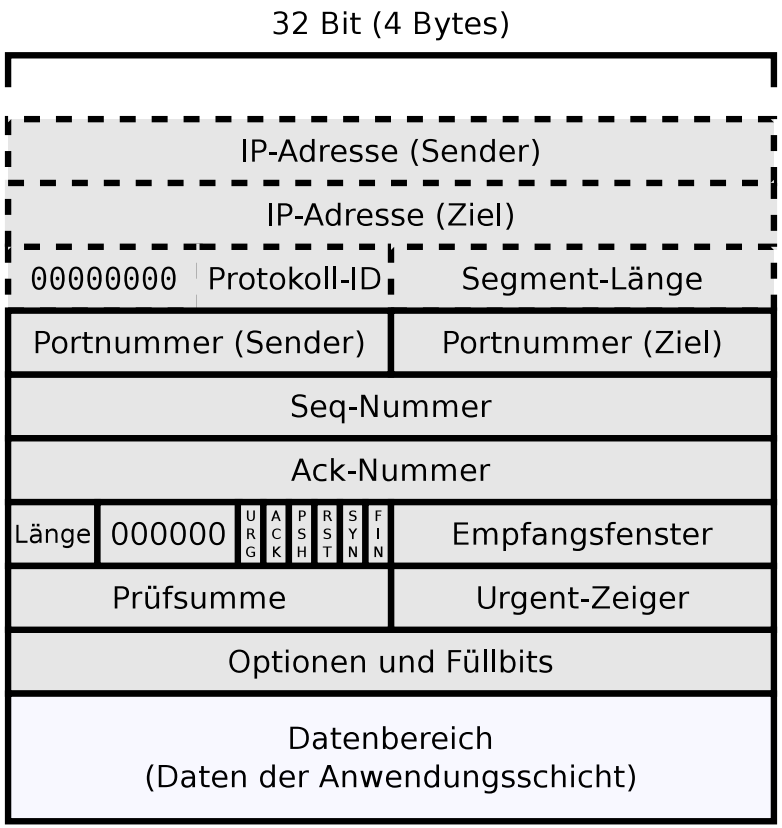
PSH (Push) wird im Modul BSRN nicht behandelt

RST (Reset) wird im Modul 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 im Modul BSRN nicht behandelt

Aufbau von TCP-Segmenten (5/5)



- 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 im Modul 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 10. . .

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

Arbeitsweise von TCP

Sie wissen bereits. . .

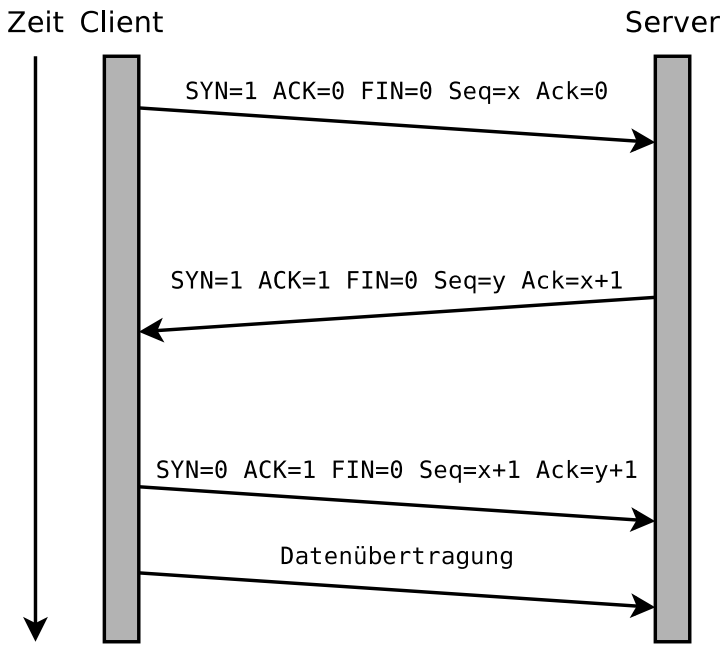
- Jedes Segment hat eine eindeutige Folgenummer (**Sequenznummer**)
- Die Sequenznummer eines Segments ist die Position des ersten Bytes des Segments im Bytestrom

- 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 (**Dreiwege-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 SYN=1 und fordert damit zur Synchronisation der Folgenummern auf
   $\Longrightarrow$ *Synchronize*
2. Server sendet als Bestätigung ein Segment mit ACK=1 und fordert mit SYN=1 seinerseits zur Synchronisation der Folgenummern auf
   $\Longrightarrow$ *Synchronize Acknowledge*
3. Client bestätigt mit einem Segment mit ACK=1 und die Verbindung steht
   $\Longrightarrow$ *Acknowledge*



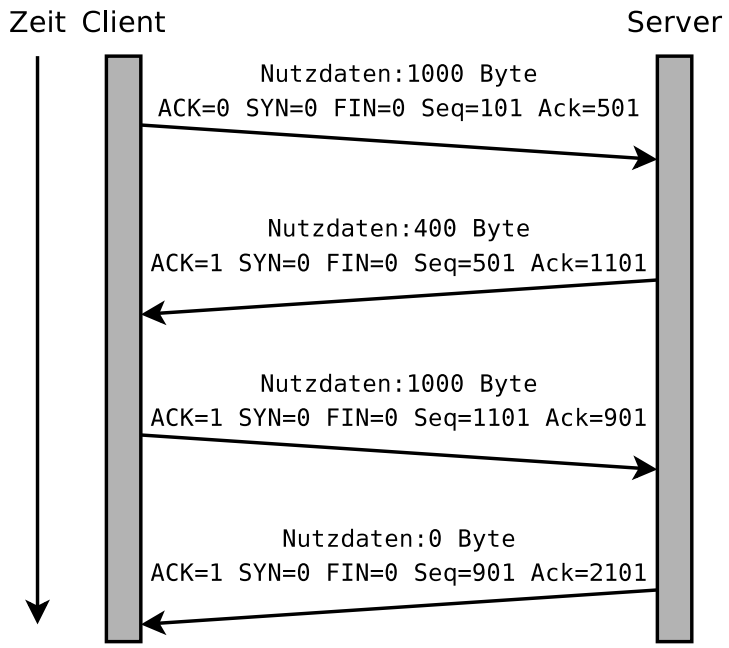
- Die Anfangs-Sequenznummern (x und y) werden zufällig bestimmt
- Beim Verbindungsaufbau werden keine Nutzdaten ausgetauscht!

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 Dreiwege-Handshake die Folgenummer des Clients x=100 und die des Servers y=500
- Nach Abschluss des Dreiwege-Handshake: x=101 und y=501

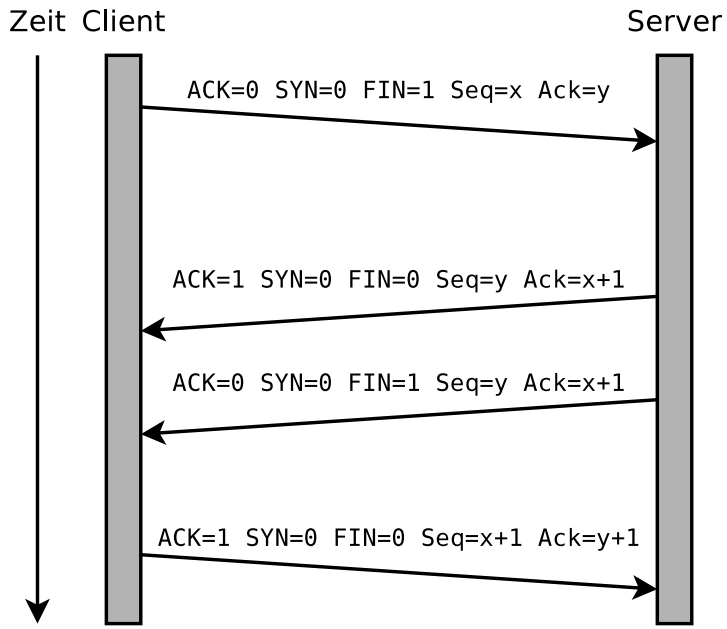
1. Client übertragt 1000 Byte Nutzdaten
2. Server bestätigt mit ACK=1 die empfangenen Nutzdaten und fordert mit der Ack-Nummer 1101 das nächste Segment an. Im gleichen Segment überträgt der Server 400 Bytes Nutzdaten
3. Client übertragt weitere 1000 Byte Nutzdaten. Zudem bestätigt er den Empfang der Nutzdaten mit ACK=1 und fordert mit der Ack-Nummer 901 das nächste Segment an
4. Server bestätigt mit ACK=1 die empfangenen Nutzdaten und fordert mit der Ack-Nummer 2101 das nächste Segment an



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
  $\Longrightarrow$ Der Server kann keine neuen Verbindungen mehr aufbauen
- Der Speicherverbrauch auf dem Server kann so groß werden, dass der Hauptspeicher komplett gefüllt wird wird und der Server abstürzt
- Gegenmaßnahme: Echtzeitanalyse des Netzwerks durch intelligente Firewalls