7 Die Transportschicht

7.1 ISO-Definition der Transportschicht

7.2 ISO-Transportdienst

7.3 ISO-Transportprotokoll

7.4 Transportprotokolle im Internet: Architektur

7.5 UDP (User Datagram Protocol)

7.6 TCP (Transmission Control Protocol)

7.1 ISO-Definition der Transportschicht

- Der Transportdienst (Transport Service, TS) stellt eine transparente Datenübertragung zwischen Kommunikationssteuerungsinstanzen (TS-Benutzer) bereit und befreit sie von allem Wissen über die Art und Weise, wie eine zuverlässige und kosteneffektive Datenübertragung erreicht wird.
- Die Transportschicht optimiert die Benutzung des verfügbaren Netzdienstes, um die von den kommunizierenden Kommunikationssteuerungsinstanzen gefordete Dienstgüte zu minimalen Kosten bereitzustellen.
- Die Transportschicht verbirgt vor den TS-Benutzern die Unterschiede in den Dienstgütemerkmalen, die vom Vermittlungsdienst bereitgestellt werden.

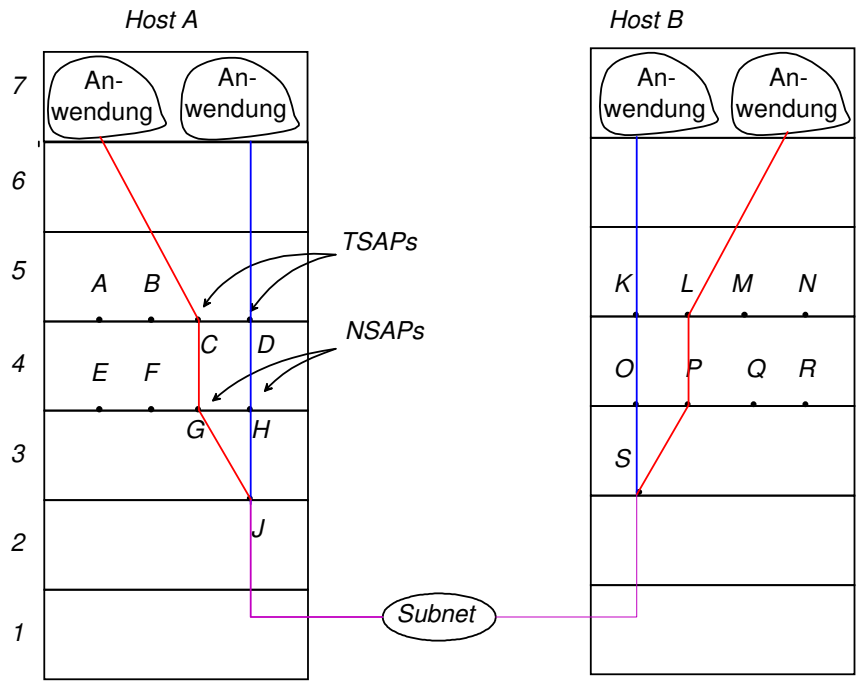
Zuverlässige, effiziente Ende-zu-Ende-Kommunikation zwischen Prozessen.

7.2 ISO-Transportdienst

Verbindungsorientierter Transportdienst
(ISO IS 8072, CCITT X.214)

- Aufbau einer Transportschichtverbindung
- Datenübertragung
- Beschleunigte Datenübertragung (expedited data)
- Abbau einer Transportschichtverbindung
- Eingeschränkte QoS-Parameter (Quality of Service)

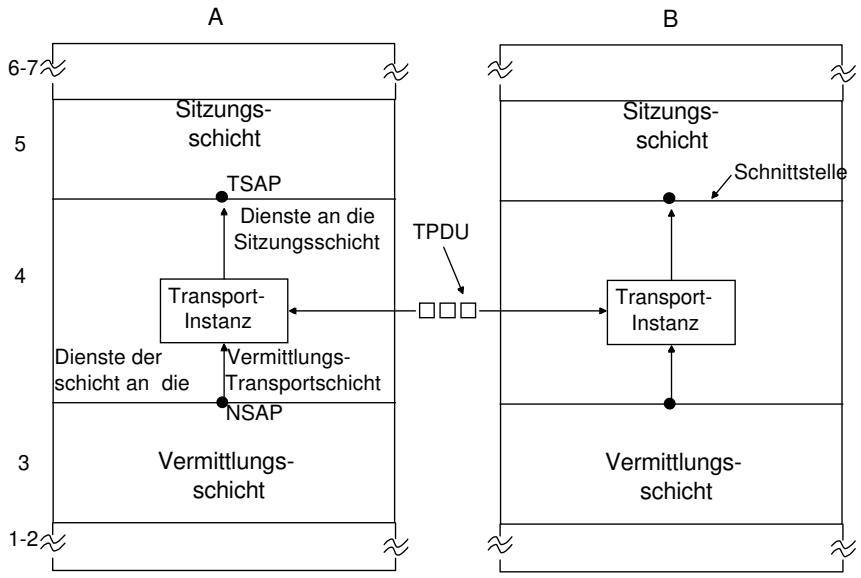
Transportverbindungen und Netzwerkverbindungen



In diesem Beispiel findet kein Multiplexing in Schicht 4 statt. Es werden zwei Vermittlungsschichtverbindungen über eine Sicherungsschicht-Verbindung zeitlich verschränkt.

Dienste und Protokolle

Beziehung zwischen dem Transportprotokoll und benachbarten Diensten

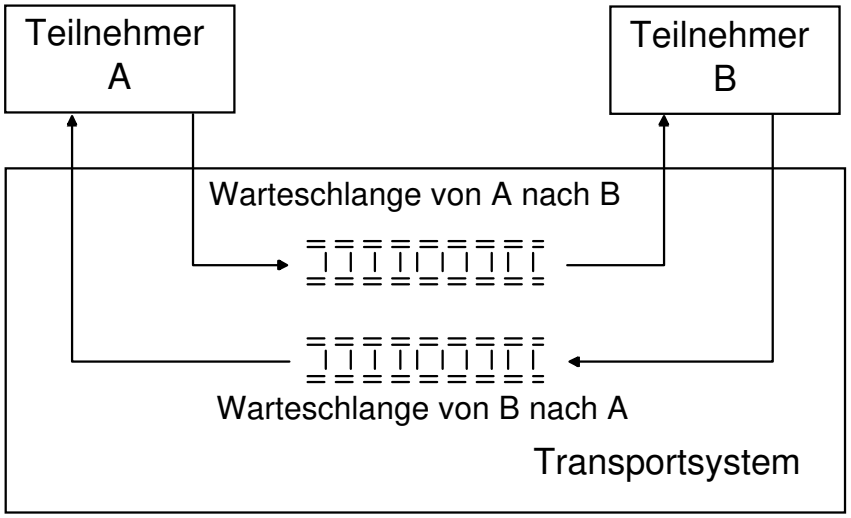


TSAP = Transport Service Access Point
NSAP = Network Service Access Point

Dienste der Transportschicht

- Verbindung Prozeß-zu-Prozeß
  - Verbindungsaufbau
  - Datenübertragung
  - Verbindungsabbau
- Datensegmentierung/-wiedervereinigung (segmentation/reassembly) von Datenpaketen der Dienstschnittstelle
- Fehlerbehebung
  - Verbindungsneuzuordnung
  - Resynchronisation
- Flußkontrolle, Sicherstellung der Reihenfolge
- Bestätigte Datenübertragung
- Multiplexen von Transportverbindungen
- Aufteilung/Zusammenfassung von Transportverbindungen (splitting/recombining)

Modell des Transportdienstes



- Vollduplex-Datenübertragung
- Übergebene Datenpakete werden zuverlässig in der richtigen Reihenfolge übertragen
- Ausnahme: beschleunigte Daten (expedited data). Diese halten untereinander die Reihenfolge ein, werden aber mit normalen Daten-PDUs verschränkt übertragen. Eine separate Warteschlange mit höherer Priorität kann, muß aber nicht existieren.

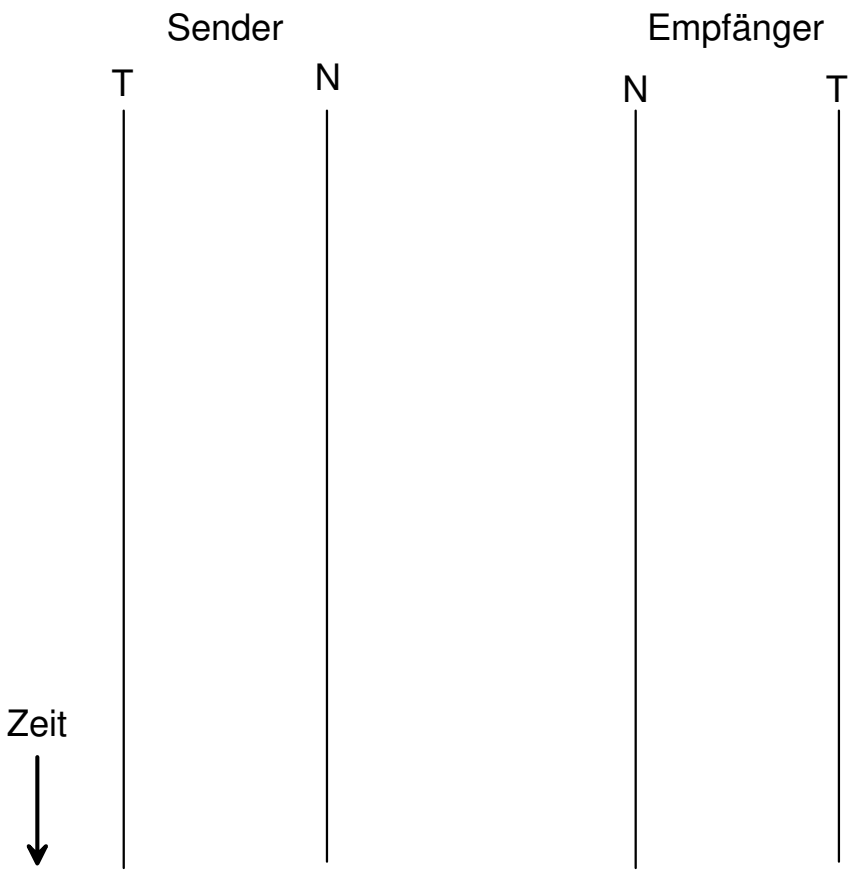
Aufbau einer Transportverbindung: T-Connect

Primitive und Parameter beim Aufbau einer Transportverbindung

TS-Primitive / Parameter	T-CONNECT indication	T-CONNECT indication	T-CONNECT indication	T-CONNECT indication
Called address	X	X		
Calling address	X	X(=)		
Responding address			X	X(=)
Expedited data option	X	X(=)	X	X(=)
Quality of Service	X	X	X	X(=)
TS user-data	X(U)	X(=)	X(U)	X(=)

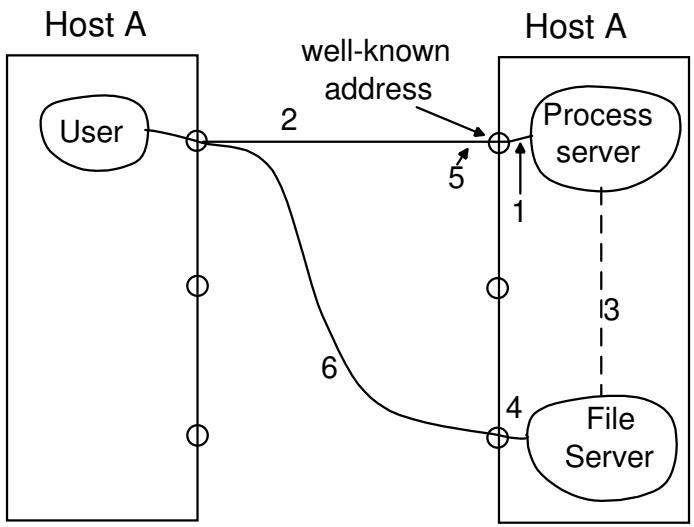
- Adressen: alle Adressen beziehen sich auf TSAPs
- Antwortadresse = Anrufadresse (called address)
- TS-Benutzerdaten: 1 bis 32 Bytes (transparent für die Transportschicht)
- Zurückweisung eines Verbindungsaufbauwunsches durch den TS-Erbringer oder den TS-Benutzer mittels T-DISCONNECT möglich

Aufbau einer Transportverbindung



Beispiel: Antwortadresse ungleich Aufrufadresse

Verbindung zu einem generischen Server



1. Prozeß-Server lauscht an allgemein bekannter Adresse
2. Benutzer baut Verbindung zu allgemein bekannter Adresse auf
3. Prozeß-Server erzeugt einen File-Server und beauftragt ihn, zu lauschen
4. File-Server lauscht
5. Prozeß-Server teilt dem Benutzer mit, mit welcher Transportadresse er die weitere Verbindung abwikkeln soll
6. Benutzer kontaktiert den File-Server-Prozeß direkt

Dienstgüteparameter

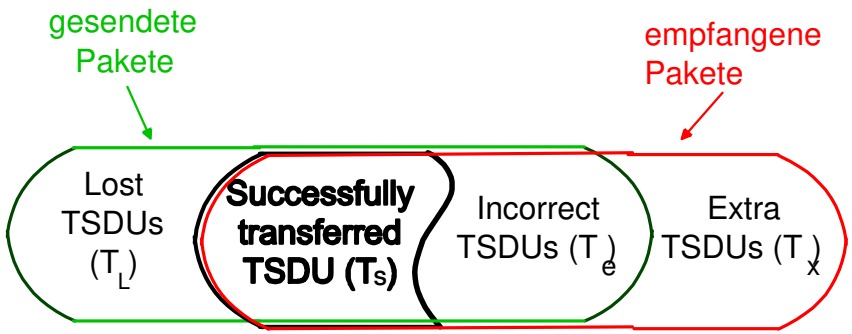
Die Dienstgüte (QoS) bezieht sich auf bestimmte Eigenschaften einer Transportverbindung (TC), wie sie zwischen den TC-Endpunkten beobachtet wird. QoS-Parameter werden zwischen den TS-Benutzern und den TS-Erbringern auf der Basis einer TC ausgehandelt.

Parameter

- TC-Aufbauverzögerung
- TC-Aufbaufehlerwahrscheinlichkeit
- Durchsatz
- Übertragungsverzögerung
- Restfehlerrate
- Übertragungsfehlerwahrscheinlichkeit
- TC-Abbauverzögerung
- TC-Abbaufehlerwahrscheinlichkeit
- TC-Schutz
- TC-Priorität

Beispiel: Restfehlerrate (Residual Error Rate)

Komponenten der Restfehlerrate (RER)



$$RER = \frac{T_e + T_L + T_x}{T}$$

Abbau einer Transportverbindung: T-DISCONNECT

Normaler Abbau

Die Abbauprozedur wird von einer Transportinstanz dazu verwendet, eine Transportverbindung zu beenden. Die implizite Variante wird nur in Klasse 0 benutzt. Die explizite Variante wird in den Klassen 1, 2, 3 und 4 benutzt.

Anmerkungen

- Wenn die implizite Variante benutzt wird (in Klasse 0), dann entspricht die Lebensdauer einer Transportverbindung der Lebensdauer der darunterliegenden Vermittlungsschichtverbindung.
- Die Benutzung der expliziten Variante der Abbauprozedur ermöglicht einen Abbau der Transportverbindung unabhängig von der unterliegenden Vermittlungsschichtverbindung.

7.3 ISO-Transportprotokoll

Das Protokoll richtet sich nach der Mächtigkeit des darunterliegenden Schicht-3-Dienstes.

Klassifikation der Vermittlungsschichtdienste

Klassifikation der Vermittlungschichtdienste bezüglich ihres Fehlerverhaltens

Typ A	Vermittlungsschichtverbindungen mit einer akzeptablen Restfehlerrate (Fehler, die nicht durch ein DISCONNECT oder RESET angezeigt werden) sowie einer akzeptablen Rate von signalisierten Fehlern
Typ B	Vermittlungsschichtverbindungen mit einer akzeptablen Restfehlerrate, aber inakzeptabler Anzahl signalisierter Fehler
Typ C	Vermittlungsschichtverbindungen mit einer inakzeptablen Restfehlerrate

ISO-Transportprotokollklassen 0 - 4

Klasse 0:	Einfache Klasse

- Voll kompatibel mit CCITT T.70
- Für Vermittlungsschichtverbindungen vom Typ A

Klasse 1:	Fehlerbehebungsklasse

- Überlebt ein Schicht-3-DISCONNECT oder RESET
- Für Vermittlungsschichtverbindungen vom Typ B

Klasse 2:	Multiplexing-Klasse

- Multiplexed mehrere Transportschichtverbindungen auf eine Vermittlungsschichtverbindung
- Für Vermittlungsschichtverbindungen vom Typ A

Klasse 3:	Fehlerbehebungs- und Multiplexing-Klasse

- Klasse 2 + Klasse 1 für Vermittlungsschichtverbindungen vom Typ B

Klasse 4:	Fehlererkennungs- und Fehlerbehebungsklasse

- Klasse 3 + Fähigkeiten, unerkannte Vermittlungschichtfehler zu erkennen und zu beheben
- Für Vermittlungschichtverbindungen vom Typ C

Transportprotokoll, Klasse 0

Einfachklasse

Dies ist das einfachste Transportprotokoll. Es ist anwendbar für Vermittlungsschichtverbindungen vom Typ A.

Funktionen

- In der Verbindungsaufbauphase können keine Benutzerdaten transportiert werden.
- Standardmäßig ist die maximale Länge der Daten-TPDUs 128 Bytes, vereinbart werden können auch die Längen 256, 512, 1024, 2048.
- Transport-Dienstdateneinheiten können segmentiert werden.
- Keine eigene Flußregelung; es wird die der Vermittlungsschicht als ausreichend betrachtet.
- Prozedurfehler werden erkannt und gemeldet (ER-Protokolldateneinheit oder N-DISCONNECT-request).
- Nur implizite Verbindungsauslösung

Transportprotokoll, Klasse 1

Einfache Fehlerbehebungsklasse

Diese Klasse liefert einfache Teilnehmerverbindungen mit minimalen Dienstgüteanforderungen, insbesondere die Behebung von Fehlern, die durch die Vermittlungsschicht gemeldet werden (N-DISCONNECT, N-RESET).

Diese Protokollklasse ist entworfen für Vermittlungsschichtverbindungen vom Typ B.

Zusätzlich zu den Funktionen der Protokollklasse 0 gelten für die Klasse 1 die folgenden Charakteristika:

- Beim Verbindungsaufbau können auch Benutzerdaten transportiert werden.
- Neuzuordnung einer Teilnehmerverbindung zu einer Vermittlungsschichtverbindung nach einem N-DISCONNECT
- Nummerieren der Daten-TPDUs getrennt für beide Richtungen
- Zwischenspeichern von TPDUs bis zu ihrer Bestätigung durch den Empfänger.

Klasse 1 (2)

- Resynchronisation einer Teilnehmerverbindung nach einem N-Reset; in der Datenphase kann dies geschehen, indem über RJ der nächste erwartetete Datenblock angefordert wird.
- Verketten von TPDUs
- Vorrang-Datenübermittlung (expedited data) mit oder ohne Benutzung des unterlagerten Vermittlungsdienstes für vorrangigen Datentransport. Bestätigung von ED durch EA. Die ED-TPDUs werden nummeriert mit der einzigen Bedingung, daß unterschiedliche ED-TPDUs unterschiedliche Nummern tragen müssen.
- Explizite Verbindungsauslösung
- Für jede Teilnehmerverbindung wird die zugehörige Identifikation nach der Auslösung für eine bestimmte Zeit eingefroren (mit einigen wenigen Ausnahmen).

Transportprotokoll, Klasse 4

Fehlererkennungs- und Fehlerbehebungsklasse
Die Leistungen der Protokollklasse 3 werden in der Klasse 4 ergänzt um die Erkennung von Fehlern eines unterlagerten Vermittlungsdienstes geringerer Qualität. Hierzu gehören Verlust, falsche Reihenfolge oder Verdopplung von TPDUs (sowohl von Daten- als auch anderer TPDUs). Als zugrundeliegende Vermittlungsschichtverbindungen werden solche vom Typ C angenommen.

Im einzelnen sind zusätzlich zur Klasse 3 die folgenden Funktionen enthalten:

- Es werden eine Reihe von Zeitschranken definiert und überwacht:
- **M**: Maximale Verweilzeit einer N-Diensteinheit in der Vermittlungsschicht (getrennt für beide Übermittlungsrichtungen)
- **E**: Erwartete maximale Verweilzeit einer N-Diensteinheit in der Vermittlungsschicht (getrennt für beide Richtungen)
- **A**: Maximale Antwortzeit zwischen Empfang einer TPDU aus der Vermittlungschicht und ihrer Bestätigung; A(L) für die lokale Instanz, A(R) für die entfernte Partnerinstanz

Klasse 4 (2)

- **T1**: Lokale Wiederholungszeit zwischen dem Absenden einer TPDU, dem vergeblichen Warten auf Bestätigung und dem erneuten Senden dieser TPDU
- **R**: Gesamt-Wiederholungszeit: Maximale Zeitspanne, in der das Senden einer TPDU mehrfach wiederholt werden kann
- **L**: Maximale Zeitspanne zwischen dem ersten Senden einer TPDU und dem Empfang einer irgendwie gearteten Quittung darauf. Während dieses Zeitintervalls sollte z.B. eine Folgenummer nicht neu benutzt werden
- **I**: Inaktivitätszeit; maximale Zeitdauer ohne Empfang einer TPDU vom Partner
- **W**: Maximale Zeitspanne zwischen dem Senden von Informationen bzgl. des Fenstermechanismus
- **N**: Maximale Anzahl der Wiederholungen für das Senden einer TPDU; N wird in Abhängigkeit von der gewünschten Qualität der Teilnehmerverbindung und der zur Verfügung stehenden Qualität der Endsystemverbindung gewählt.

Klasse 4 (3)

- Der Verbindungsaufbau ist in der Klasse 4 zweiseitig bestätigt: Eine Verbindung gilt erst dann als aufgebaut, wenn der Sender von CR nach Empfang von CC unmittelbar mit DT, ED oder AK geantwortet hat.
- Infolge Verdoppelung kann ein CR für eine Verbindung empfangen werden, die bereits existiert. Ist der Empfänger schon in der Datenphase, ignoriert er dieses CR; im anderen Fall wird es mit CC beantwortet. Analog wird der Empfang eines CC ignoriert, wenn die Verbindung bereits existiert.
- Ein CC mit einer eingefrorenen Verbindungsidentifikation wird mit DR beantwortet.
- Wurde ein CR mit DR beantwortet, wird diese Verbindungsidentifikation für die Zeitdauer L eingefroren.
- Folgekontrolle: Eine Transportverbindung kann auf mehrere Teilnehmerverbindungen aufgespalten werden. Die Transportinstanzen sind für die Herstellung der richtigen Reihenfolge der TPDUs verantwortlich
- Die Prüfsumme für TPDUs kann benutzt werden.

Klasse 4 (4)

- Verdoppelte Daten-TPDUs können über die Sendefolgenummer T(S) erkannt werden. Daher darf derselbe T(S)-Wert nicht vor Ablauf der Zeitspanne L erneut verwendet werden. Auch duplizierte Daten-TPDUs werden bestätigt; denn die Bestätigung des ersten angekommenen Exemplars könnte verloren gegangen sein.
- Für die Wiederholung von DT- bzw. ED-TPDUs sind die Größen T1 und N maßgebend. Sind alle Versuche gescheitert, wird die Teilnehmerverbindung ausgelöst und der Teilnehmer informiert.
- DT- bzw. ED-TPDUs müssen durch AK bzw. EA bestätigt werden. Hierfür ist die Größe A(L) maßgebend, um unnötige Wiederholungen des Sendens zu vermeiden. Ein AK übermittelt dabei die Sendefolgenummer der nächsten erwarteten Daten-TPDU. Es können mehrere AK-TPDUs mit derselben Quittungsnummer verändert werden. In diesem Fall wird eine Reihenfolge dieser AK-TPDU durch Verwendung einer Unter-Folgennummer definiert.

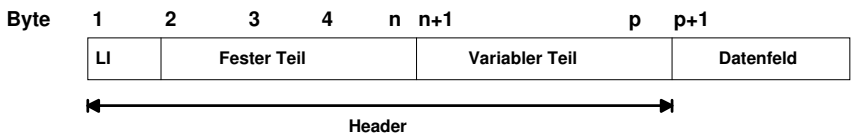
Klasse 4 (5)

- Zur gegenseitigen Synchronisation für den Fenstermechanismus kann der Empfänger B eines AK seinerseits mit einem AK eine Flußregelungs-Bestätigung an den Sender A zurückschicken: Als zusätzlichen Parameter werden in dem bestätigenden AK die empfangenen Werte für die untere Fensterecke und den 'Credit'-Parameter w zurückgesandt. Damit ist der Sender A über den Zustand der empfangenden Transportinstanz B informiert und kann u.U. das häufige Neusenden von Fensterinformationen reduzieren.
- Der Vorrang-Datentransport unterliegt den Bedingungen wie in Klasse 2 und 3. Zusätzlich gilt, daß jede ED-TPDU sofort mit EA quittiert werden muß. Der Sender eines ED darf keine weiteren Daten-TPDUs senden, bevor er nicht die Bestätigung durch EA erhalten hat.
- Ist die Inaktivitätspanne I für eine Transportinstanz abgelaufen, ohne daß sie von der Partnerinstanz Sendungen empfangen hat, wird die Transportverbindung mit DR ausgelöst. Um dies zu verhindern, muß eine Instanz, die keine Daten zu senden hat, wiederholt AK abschicken.

Klasse 4 (6)

- Die DR-TPDU für die Verbindungsauflösung trägt keine Folgenummer. Daten-TPDUs, die später als ein DR eintreffen, werden ignoriert.
- Für jede Teilnehmerverbindung wird die zugehörige Identifikation nach der Auslösung für die Zeitdauer L eingefroren.

Allgemeine Struktur von TPDUs



- Längenindikator LI (1 Byte)
  - Länge des Headers, max. 254 Bytes (1111 1110)
- Fester Teil
  - Enthält häufig auftretende Parameter inklusive des TPDU-Codes
  - Definiert für die verschiedenen TPDU-Typen
  - TPDU-Code: Byte 2 des Headers
- Variabler Teil
  - Enthält weniger häufig benützte Parameter (abhängig vom TPDU-Typ)
- Datenfeld
  - Enthält transparente Nutzerdaten

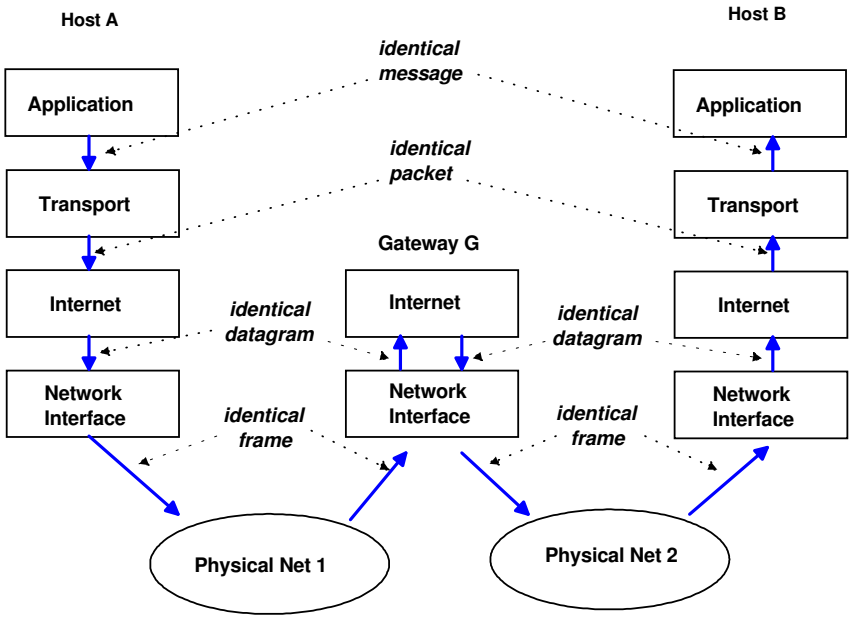
Struktur einer Daten-TPDU (DT)

Normales Format der Klassen 0 und 1 mit einem "More-Data-Bit" zur Segmentierung.

1	2	3	4 ...end
LI	**DT 1111 0000**	**TPDU-NR and EOT**	**Datenfeld**

- DT: TPDU-Code für DT-TPDU (1111 0000)
- TPDU-NR: TPDU Sendesequenznummer, Null in Klasse 0
- EOT: End-of-TSDU (More-Data-Bit)
- Nutzdaten: zu übertragender Teil einer TPDU
  - Die Länge dieses Feldes ist beschränkt durch die maximale TPDU-Größe, die während des Verbindungsaufbaus verhandelt wurde
  - Standard: 128 Bytes
  - Verhandlung: 256, 512, 1024, ..., 8192 Bytes (4096 und 8192 sind in Klasse 0 nicht erlaubt)

7.4 Transportprotokolle im Internet: Architektur



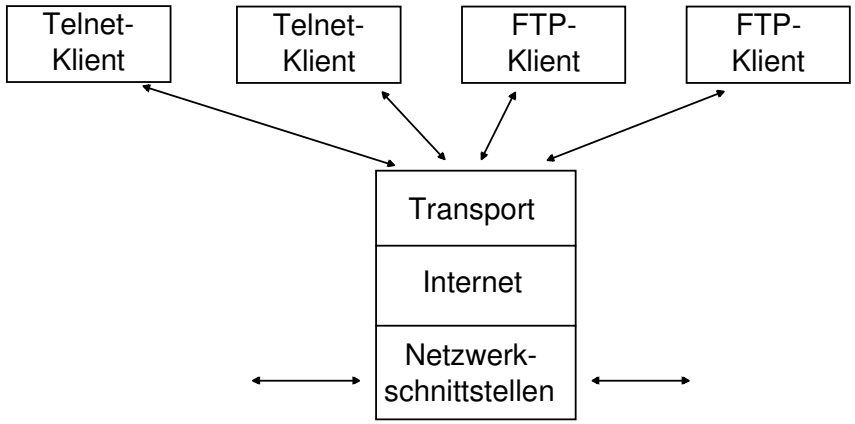
Wichtige INTERNET-Protokolle

SMTP Mail	FTP File Transfer	TELNET Remote Login	NFS
TCP			UDP
IP			
LLC und MAC			
Bitübertragungsschicht			

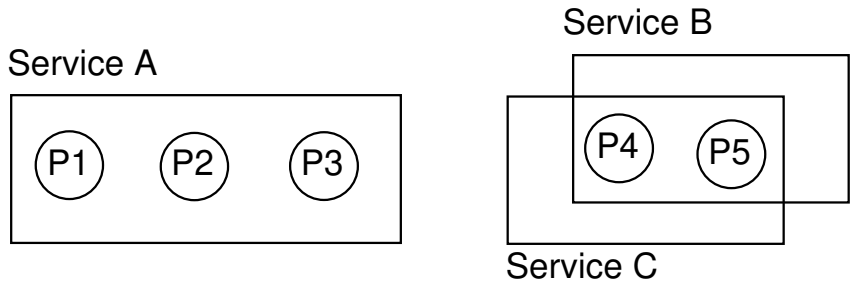
SMTP	=	Simple Mail Transfer Protocol
FTP	=	File Transfer Protocol
TELNET	=	Remote Login Protocol
UDP	=	User Datagram Protocol
NFS	=	Network File System
TCP	=	Transmission Protocol
IP	=	Internet Protocol
LLC	=	Logical Link Control
MAC	=	Media Access Control

Transport-Schicht

- IP ermöglicht Rechner/Rechner-Kommunikation
- Gebraucht wird eine Kommunikation zwischen Anwendungsprozessen:



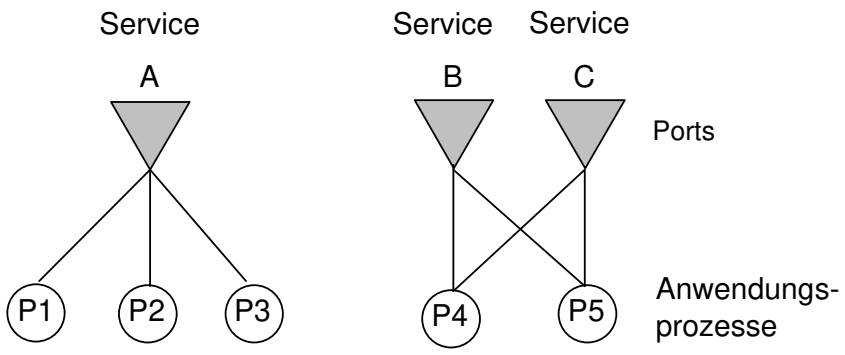
Anwendungs-Adressierung: Ports



- Die Adresse soll einen Service.(Anwendungstyp) identifizieren
- Eine Adressierung mittels Prozeß-Nummer wäre ungeeignet
  - Prozesse werden dynamisch erzeugt, und beendet, deshalb ist die Prozeß-Nummer selten bekannt
  - Zuordnung Dienst ⇒ Prozeß ist nicht fest
  - Ein Prozeß kann mehrere Dienste erbringen
  - Mehrere Prozesse können den gleichen Dienst erbringen

⇒ Konzept eines abstrakten Kommunikations-Endpunktes: **Port**

Kommunikations-Ports



- Ein Service ist genau einem Port zugeordnet
- Über denselben Port können mehrere Verbindungen gleichzeitig laufen
- asynchroner und synchroner Port-Zugriff ist möglich
- Jeder Port ist mit einem Puffer assoziiert
- Der Port stellt eine Programmierschnittstelle für den Anwendungsprogrammierer zur Verfügung (API)

Beispiele für reservierte Port-Nummern

Port-Zuordnungen ("well-known addresses")

Dezimal	Schlüssel-wort	Unix Schlüssel-wort	Beschreibung
0			Reserved
.	.	.	.
.	.	.	.
20	FTP-DATA	ftp-data	File Transfer Protocol (data)
21	FTP	ftp	File Transfer Protocol
23	TELNET	telnet	Terminal Con-nection
25	SMTP	smtp	Simple Mail Transfer Proto-col
42	NAME-SERVER	name	Host Name Server
43	NICNAME	whois	Who Is
103	X400	x400	X.400 Mail Ser-vice

7.5 UDP (User Datagram Protocol)

UDP ist ein

- unzuverlässiges
- verbindungsloses

Transport-Protokoll im Internet. Es dient im wesentlichen dazu, den Anwendungen eine Programmierschnittstelle für den Direktzugriff auf IP, ergänzt um eine Port-Adressierung, anzubieten.

Eigenschaften

- Keine Garantie über Reihenfolge der einzelnen Pakete
- Keine gesicherte Zustellung der Pakete an die Empfänger
- Duplizierte Pakete sind möglich
- Multicast ist möglich

Format von UDP-Nachrichten

UDP-Header

0	16 31
Absender-Port	**Empfänger-Port**
Paket-Länge	**Prüfsumme**
Daten	
...	

- Paket-Länge in Byte (einschließlich UDP-Header)
- Prüfsumme über Header und Daten zur Fehlererkennung
- Verwendung der Prüfsumme ist optional

Einsatzbereiche von UDP

Vorteile von UDP

- geringer Ressourcen-Verbrauch
- kein expliziter Verbindungsaufbau
- einfache Implementierung

UDP ist vor allem für einfache Client-Server-Interaktionen geeignet, d.h. typischerweise

- 1 Anfrage-Paket vom Client zum Server
- 1 Antwort-Paket vom Server zum Client

Anwendungsbereiche

- Domain Name Service
- SNMP: Simple Network Management Protocol
- NFS: Network File System
- Viele Multimedia-Protokolle, die keine Fehlersicherung in Schicht 4 wollen. Alle Multicast-Protokolle. Insbesondere auch RTP für Realzeit-Anwendungen, insbesondere Multimedia-Anwendungen

7.6 TCP (Transmission Control Protocol)

TCP: Transmission Control Protocol

TCP ist das erste Protokoll in der Internet-Protokollhierarchie, das eine gesicherte Datenübertragung zwischen Endsystemen leistet.

- Datenstrom-orientiert: TCP überträgt einen seriellen Bit-Strom der Anwendung in der Form von 8-Bit Bytes
- Verbindungsorientierung: Vor der Datenübertragung wird eine Verbindung zwischen beiden Kommunikationspartnern aufgebaut, die fehlergesichert und reihenfolgeerhaltend ist
- Gepufferte Datenübertragung: Der sequentielle Datenstrom wird zur Übertragung in einzelne Segmente (Pakete) aufgeteilt.
- Unstrukturierter Datenstrom: Innerhalb des Datenstroms unterstützt TCP keinerlei Einteilung in höhere Strukturen (z.B. Datensätze einer Datei)
- Zwei-Weg-Kommunikation: Über eine TCP-Verbindung können gleichzeitig Daten in beide Richtungen übertragen werden (duplex-Verbindung)

Was ist TCP?

Der TCP-Standard (RFC) spezifiziert

- Format von Daten und Kontrollinformation
- Prozeduren für
  - Flußkontrolle
  - Fehlererkennung und -behebung
  - Verbindungsaufbau und -abbau

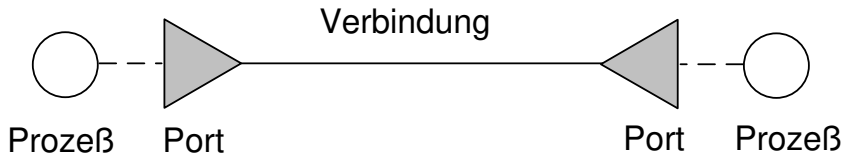
TCP spezifiziert **nicht** die Schnittstelle zum Anwendungsprogramm (sockets, streams)

Eine Verbindung wird eindeutig bestimmt durch ein Quintupel aus

- IP-Adressen von Sender und Empfänger
- Port-Adressen von Sender und Empfänger
- TCP-Protokoll-Identifikator

Anwendungen können dieselben lokalen Ports für mehrere TCP-Verbindungen verwenden.

TCP-Adressierung



Passive Open: Prozeß zeigt an, daß er Verbindungswunsch akzeptieren würde
Active Open: Prozeß fordert eine Verbindung an

Adressierung

- Die Port-Nummer identifiziert die Prozeß-Instanz im Endsystem eindeutig (z.B. SMTP-Dämon in Unix)
- Die IP-Adresse identifiziert das Endsystem eindeutig

Protokollelemente von TCP

- Positive Bestätigung ("positive acknowledgement or retransmission")
- Übertragungswiederholung nach Ablauf einer Wartezeit. Keine NACKs
- "sliding window"-Mechanismus zur Flußkontrolle
- Variable Fenstergröße: bei jeder Bestätigung wird die ab sofort zu verwendende Fenstergröße mit übertragen
- Fehlererkennung durch Prüfsumme (ähnlich CRC)
- Piggybacking: Kontrollinformation und Daten können im gleichen Paket übertragen werden.
- Out-of-Band Data: wichtige Information soll dem Empfänger zugestellt werden, bevor er früher gesendete Daten verarbeitet (ähnlich Expedited Data bei der ISO-Transportschicht)

Übertragungswiederholung in TCP

Sequenznummern: nicht einzelne Datenpakete, sondern **Byte-Positionen** im Datenstrom werden bestätigt. Diese steuern die Übertragungswiederholung im Fehlerfall und das Schiebefenster für die Flußkontrolle.

Kumulierte Bestätigungen: nicht jedes Paket wird bestätigt, sondern die Byte-Position im Datenstrom, bis zu der alle Daten empfangen worden sind. Dadurch ist Kumulation über mehrere Pakete leicht möglich.

Anpassung des Timeout-Intervalls:

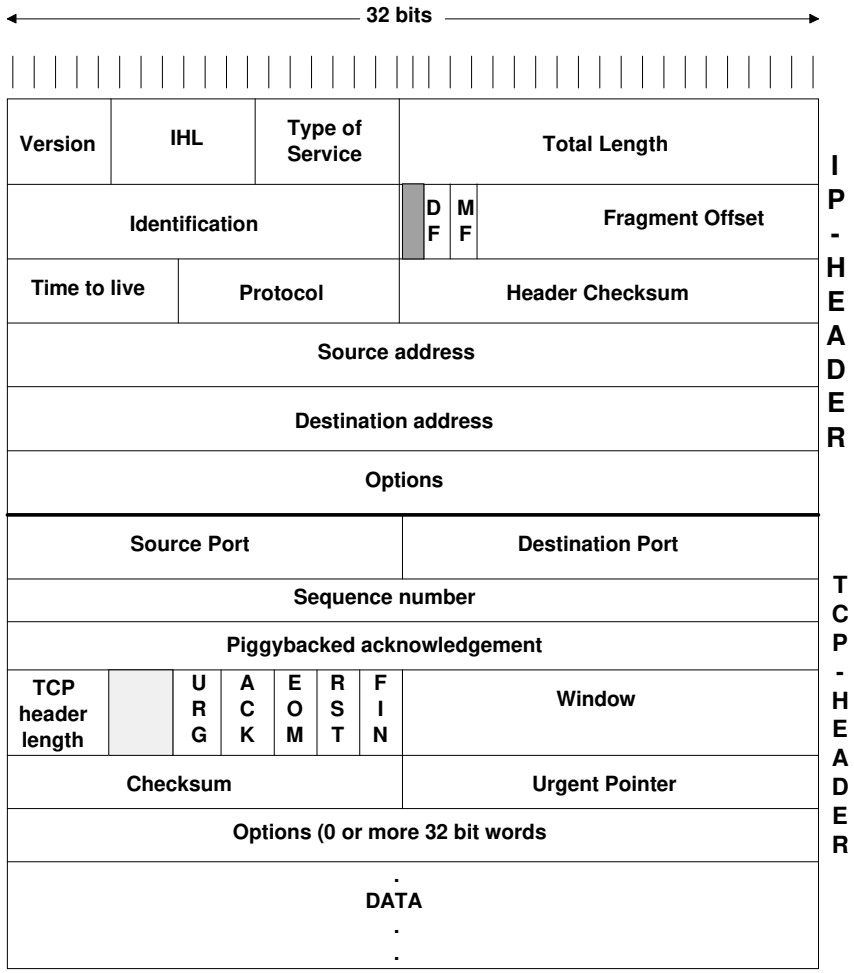
- Die Wartezeit bis zu einer Übertragungswiederholung wird kontinuierlich an eine berechnete voraussichtliche Wartezeit angepaßt.
- Für jede Wiederholung des gleichen Pakets nach einer Fehlersituation erhöht sich die Wartezeit.

TCP: PDU-Format

<table>
<tr><td colspan="2">0</td><td>4</td><td>10</td><td colspan="2">16</td><td colspan="2">24</td><td>31</td></tr>
<tr><td colspan="4">Source Port</td><td colspan="4">Destination Port</td></tr>
<tr><td colspan="8">Sequence Number</td></tr>
<tr><td colspan="8">Acknowledgement Number</td></tr>
<tr><td>HLEN</td><td>Res.</td><td colspan="2">Code Bits</td><td colspan="4">Window</td></tr>
<tr><td colspan="4">Checksum</td><td colspan="4">Urgent Pointer</td></tr>
<tr><td colspan="6">Options (if any)</td><td colspan="2">Padding</td></tr>
<tr><td colspan="8">Data</td></tr>
<tr><td colspan="8">...</td></tr>
</table>

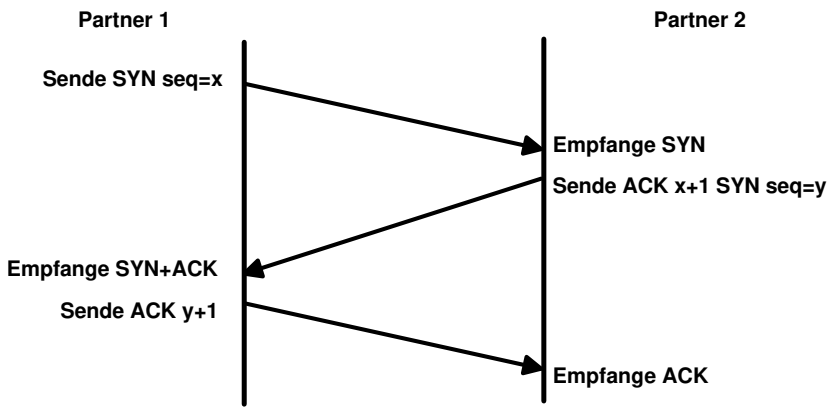
SEQUENCE NUMBER **ACKNOWLEDGMENT**	Bytenummern
HLEN	headerlänge = Offset des Datenfeldes
CODEBITS	(6 Bits von links nach rechts)
URG	Urgent Pointer wird verwendet
ACK	Ack. Nummer ist gültig
EOM	Ende der Nachricht
RST	Reset der Verbindung
SYN	Synchronisiere Sequenznummern
FIN	Ende des Datenstroms
WINDOW	Puffergröße in Bytes
URGENT POINTER	Byteoffset zur aktuellen Sequenz-nummer, an der wichtige Daten beginnen

TCP/IP: Format des gesamten Headers



TCP Verbindungsaufbau

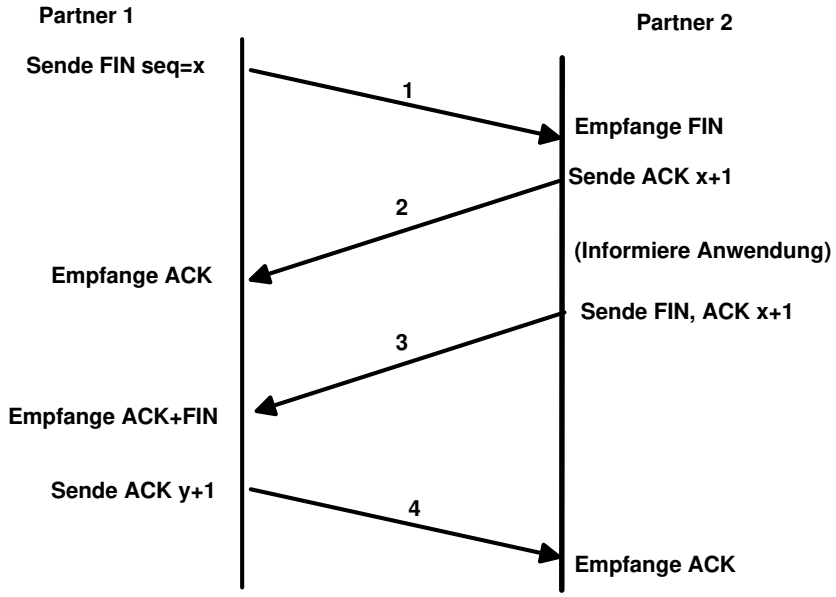
Three-Way-Handshake: Verbindungsaufbau durch 3 Pakete:



Beim Verbindungsaufbau werden auch die initialen Sequenznummern beider Seiten ausgetauscht und bestätigt.

TCP Verbindungsabbau und -abbruch

Geordneter **Verbindungsabbau** durch vier Pakete:



Zwischen 2. und 3. kann Partner 2 weiterhin Daten an A senden

Verbindungsabbruch:
Gegenseite kann keine Daten mehr übertragen

- sofortige Bestätigung, Freigabe aller Ressourcen.
- Daten in Transit können verlorengehen

Einsatzbereiche von TCP

Vorteile von TCP

- gesicherte Datenübertragung
- effiziente Datenübertragung trotz Komplexität (bis zu 100 Mbit/s auf Standard-Maschinen experimentell nachgewiesen)
- einsetzbar im LAN- und WAN-Bereich
- für geringe Datenraten (z.B. interaktives Terminal) und hohe Datenraten (z.B. Dateitransfer) verwendbar

Nachteile gegenüber UDP

- höherer Ressourcenbedarf (Zwischenspeicherung, Zustandsinformation, viele Timer)
- Verbindungsaufbau und -abbau auch bei kurzen Datenübertragungen notwendig
- **Multicast nicht möglich**

Anwendungsbereiche von TCP

- E-Mail (SMTP)
- Dateitransfer (FTP)
- Interaktives, zeichenorientiertes Terminal (Telnet)
- Interaktives, grafikfähiges Terminal: X.11-Protokoll für X-Windows
- http, das Hypertext Transfer Protocol des WWW

und viele mehr