

2.4 OSI-Referenzmodell: Schicht 4 - Transport

Version: Jan. 2003

- Aufgaben und Funktionen
- Transportprotokoll
- Ende-zu-Ende Flusskontrolle
- Dienstgüte

Die **Transportschicht** stellt den miteinander kommunizierenden Endknoten eine Ende-zu-Ende-Verbindung zur Verfügung. Diese wird als transparent bezeichnet, da sie die Eigenschaften des dazwischen liegenden Netzes verbirgt. Sie stellt den zuverlässigen Transport von Nachrichten (Paketfolgen) zwischen zwei Endsystemen sicher.

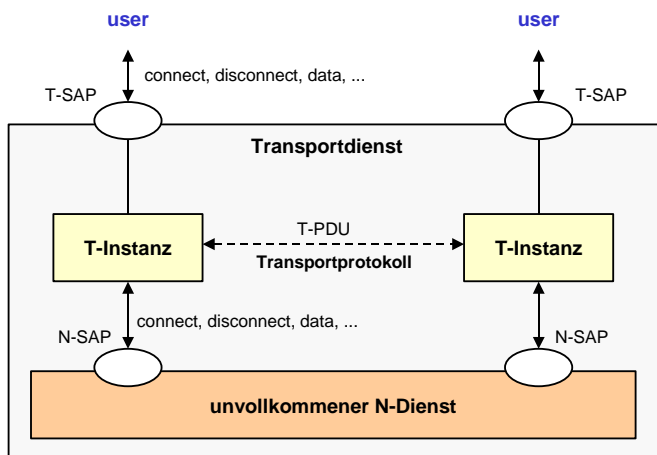


Bild: Der Transportdienst

(1) Aufbau einer Transportverbindung

- in Aufbauphase wird die Dienstgüte zwischen Instanzen der Sitzungsschicht und der Transportschicht ausgehandelt
- funktional unterschiedliche Klassen für Dienstgüte-Auswahl bestehen aus wählbaren und garantierten Parametern (z.B. maximaler Durchsatz, Übertragungsverzögerung)

(2) Abbau einer Transportverbindung

- beteiligte Instanz der Sitzungsschicht kann die Transportverbindung beenden, wobei die andere Instanz über die Beendigung benachrichtigt wird

(3) Datenübertragung

- Transportschicht muss Transport-Dienstdateneinheiten (Transport Service Data Units, T-SDUs) mit beliebiger Länge in Transport-Protokollateneinheiten (Transport Protocol Data Units, T-PDUs) segmentieren können

Paketgrößen

In den diversen Datenetzen gibt es bestimmte Obergrenzen für maximal zulässige Paketgröße, z.B. durch begrenzte Größe der Puffer in Netzknoten

Effektivitätsgesichtspunkte

- bei Störung eines großen Pakets durch Übertragungsfehler gehen viele Daten auf einmal verloren
- bei Übertragung vieler kleiner Pakete steigt der Overhead durch Übertragung von Kontrollinformationen mit jedem Paket

Beschleunigte Übertragung

Die Transportschicht bietet auch beschleunigte Übertragung an

Bild: Dienste der Transportschicht

(1) Abbildung von Transportadressen auf Netzadressen

- Eine eindeutige Identifizierung der entfernten Instanz der Sitzungsschicht-Transportverbindung muss durch ihre Transportadresse aufgebaut werden

(2) Multiplexing von Transportverbindungen auf Netzverbindungen

- Optimierung der Auslastung der Netzverbindungen
- Abbildung Transportverbindung auf Netzverbindung muss nicht 1 : 1 sein sowohl Abbildungen $n : 1$ (Multiplexing) als auch $1 : n$ (Splitten) ist erlaubt

Multiplexing: mehrere Transportverbindungen zwischen zwei Endsystemen eine Netzverbindung abgebildet werden
Eine besseren Auslastung der Netzverbindung ist sinnvoll, weil in vielen Netzwerken die Anzahl der aufgebauten Netzverbindungen bezahlt werden muss
Inverser Vorgang: **Demultiplexing**

Verteilen, Splitting: eine Transportverbindung nutzt mehrere Netzverbindungen bei Ausfall einer Netzverbindung die Kommunikation über die übrigen Verbindungen weitergeführt werden kann -> Verfügbarkeit der Transportverbindung wird erhöht
Inverser Vorgang: **Kombinieren, Recombining**

(3) Auf- und Abbau von Transportverbindungen

Verbindungsaufbauphase:

- Aussuchen einer Netzverbindung
- Entscheidung über Notwendigkeit von Multiplexing oder Splitting
- Festlegung der optimalen Größe der Transport-Protokoll-dateneinheit
- Abbildung von Transportadressen auf Netzadressen
- Identifikation der einzelnen Transportverbindungen

Verbindungsabbauphase

- Identifizierung der abgebauten Verbindung
- Information über Grund des Abbaus

(4) Datenübertragungsphase über die Transportverbindungen

(Funktionen abhängig von ausgehandelter Transportdienstklasse)

- | | |
|--------------------------|--|
| - Reihenfolgesicherung | - Flusskontrolle |
| - Blocking | - Fehlererkennung |
| - Segmentierung | - Fehlerbehebung |
| - Konkatenierung | - beschleunigte Datenübertragung, |
| - Multiplexing/Splitting | - Identifikation der Transportverbindung |

(8) Ende-zu-Ende Blocking, Segmentierung und Konkatenierung

- Blockenformung, Blocking

- Zur Optimierung der Netzauslastung werden eine Anzahl von T-SDUs zusammengefasst. Inverser Vorgang: **Deblocking**

- Segmentierung

- Aufteilen einer (langen) T-SDU in mehrere T-PDUs
- Inverser Vorgang: **Zusammensetzen (Reassembly)**
- Blocking und Segmentierung nur für Dateneinheiten derselben Transportverbindung

- Konkatenierung

- Zusammenfassung der T-PDUs verschiedener Transportverbindungen in eine Netz-Dienstdateneinheit (Network Service Data Unit, N-SDU)
- Inverser Vorgang: **Separation**

Unterschied zwischen Konkatenieren und Multiplexing:

keine dauerhafte Assoziation zwischen Transport- und Netzverbindung
Bei einem Datenaufkommen der Transportschicht aus kurzen Nachrichten mit langen Zwischenzeiten (z.B. Dialog-Anwendung) ist Konkatenierung dem Blocking vorzuziehen, weil zu große Wartezeit beim Blockenformung von T-SDUs zu einer T-PDU

(9) Ende-zu-Ende Flusskontrolle

- **Auswirkung von Multiplexing auf Datenfluss:** hohe Last einer Transportverbindung hat Auswirkungen auf alle anderen Transportverbindungen

- Problem durch lokale Flusskontrolle an Schnittstellen Sitzungsschicht/Transportschicht/Netzschicht nicht lösbar, da Rückwirkungen auf andere Transportverbindungen:

- Instanz der Sitzungsschicht lehnt von Transportschicht übergebenes Paket wegen vollen Empfangspuffers ab
- Paket muss von entfernter Transport-Instanz nochmals gesendet werden
- Last steigt

daher: Flusskontrolle zwischen beiden Transport-Instanzen, z.B. durch explizite Empfangsbestätigungen.

(10) Beschleunigte Übertragung von T-SDUs

Wird hauptsächlich zur Übertragung dringender Daten des Netzwerkmanagements genutzt

Bild: Funktionen der Transportschicht

(5) Ende-zu-Ende Reihenfolgeerhaltung

- Transportschicht stellt Ende-zu-Ende Verbindung her
- Pakete können sich in Teilnetzen überholen bzw. verlorengehen
---> Reihenfolgeerhaltung muss sichergestellt werden
- Pakete bekommen vom Sender Sequenznummern zugeordnet
- Funktion kann in Transportschicht entfallen, wenn das unterliegende Netz die reihenfolgegetreue Auslieferung der Pakete garantiert

6) Ende-zu-Ende Fehlererkennung

- Sequenznummern zur Erkennung von fehlenden oder duplizierten Paketen
- zusätzlich: Sicherung gegen Übertragungsfehler, z.B. durch Bilden einer Prüfsumme (**Prüfsumme, Checksum, Cyclic Redundancy Check, CRC**)
- Überwachung und Sicherstellung der ausgehandelten Dienstgüte, z.B. durch Umschalten von einer stark gestörten Netzverbindung auf eine andere

(7) Ende-zu-Ende Fehlerbehebung

- Versuch der Behebung von erkannten Fehlern, z.B. durch Verwendung fehlerkorrigierender Codes (Forward Error Correction, FEC)
- wegen hoher Redundanz der Daten und Overheads weniger häufig
- oder Anforderung wiederholter Sendung des gestörten oder verlorenen Paketes

Verbindungsaufbaudauer: Dies ist die Zeitspanne von der Anforderung einer Transportverbindung bis zum Eintreffen der Bestätigung.
Der Parameter spezifiziert den maximal akzeptablen Wert dieser Zeitspanne.

Ausfallwahrscheinlichkeit beim Verbindungsaufbau: Anteil der fehlgeschlagenen Verbindungsaufbauversuche zur Summe aller Verbindungsaufbauwünsche.

Verzögerung beim Verbindungsabbau: Die Zeitspanne zwischen dem Auslösen eines Verbindungsabbaus durch den Transportdienstbenutzer und der tatsächlichen Trennung am entfernten Ende.

Durchsatz: Anzahl der Nutzbits, die pro Zeiteinheit erfolgreich übertragen werden.
Der Durchsatz ist für jede Übertragungsrichtung getrennt zu ermitteln.

Übertragungsverzögerung: Zeitspanne von einem T-Data.request zu der entsprechenden T-Data.indication, also genau die Zeitspanne zwischen dem Absenden einer Nachricht durch den Transportdienstbenutzer auf dem Quellenknoten bis zum Eintreffen beim Transportdienstbenutzer auf dem Zielknoten. Auch hier sind zwei Werte für die beiden Übertragungsrichtungen zu unterscheiden.

Restfehlerrate: Quotient der Summe aller fehlerhaften, verloren gegangenen oder duplizierten Pakete zur Summe aller übertragenen Pakete.

Fehlerquotient beim Transfer: Quotient aller fehlgeschlagenen Übertragungen zur Summe aller Übertragungsversuche in einem bestimmten Zeitraum.

Fehlerquotient beim Verbindungsabbau: Quotient der gescheiterten Verbindungsabbauwünsche zu der Summe aller Verbindungsabbauwünsche.

Schutz: Mechanismen zum Schutz der übertragenen Nachrichten gegen unerwünschte Manipulationen.

Priorität: Möglichkeit, vorrangige Verbindungen zuerst abzuwickeln und nachrangige entsprechend zu verzögern.

Robustheit (resilience): Mechanismen, dass die Transportschicht bei internen Problemen oder Überlastungen nicht spontan eine Verbindung auslöst, d. h. abbricht.

Aufgaben der Transportschicht

Die Transportschicht bildet den Mittelpunkt eines Protokollstapels. Sie setzt auf der Vermittlungsschicht auf und ist die oberste Schicht des **Transportsystems** (zu dem die Schichten 1 bis 4 zählen). Die Transportschicht arbeitet nur mit Endsystemen und abstrahiert von den Details des darunter liegenden Netzes. Die Vermittlungsschicht steht unter der Kontrolle des Netzbetreibers, der Anwender hat keinen Einfluss auf sie. Die Transportschicht kümmert sich um Probleme, die von der Vermittlungsschicht nicht behandelt werden. Dazu gehören die Überbrückung von Ausfällen der Vermittlungsschicht und Nachlieferung von Paketen, die in der Vermittlungsschicht verloren gegangen sind. Die Transportschicht kann beliebig lange Nachrichten übertragen. Eine (lange) Nachricht wird in **Segmente** unterteilt, die als einzelne **T-PDUs** übertragen werden. Beim Empfänger werden die Segmente wieder zur ursprünglichen Nachricht zusammengesetzt.

Elastische Anwendungen

- Hier sind keine Zeitgarantien für diese Auslieferung der Daten erforderlich.
- Die Verzögerungsanforderungen unterschiedlicher elastischer Anwendungen können stark variieren.
- Sie lassen sich dadurch charakterisieren, dass die Daten durch längere Verzögerungszeiten nicht unbrauchbar werden.

Die folgenden drei Kategorien werden unterschieden

- Interaktiv
- Interaktiv Bursts
- Asynchron

Dienstgüte

Die **Dienstgüte** (Quality-of-Service) beschreibt die Qualitätsmerkmale, die ein Dienstbringer seinem Dienstanutzer zur Verfügung stellen kann.

Eine Aufgabe der Transportschicht besteht darin, die Dienstgüte der Vermittlungsschicht zu verbessern. Folglich führt eine gut funktionierende Vermittlungsschicht zu einer einfachen Transportschicht. Bei einer fehleranfälligen Vermittlungsschicht muss die Transportschicht versuchen, dem Transportdienstbenutzer trotzdem eine akzeptable Dienstgüte anzubieten. Die Dienstgüte wird durch einzelne Dienstgütemerkmale beschrieben. Die für diese Merkmale gewünschten Parameter können beim Verbindungsaufbau ausgehandelt werden. Falls die möglichen Werte der Parameter nicht akzeptabel sind, kann ein Verbindungsaufbau auch abgelehnt werden.

Dienstelemente

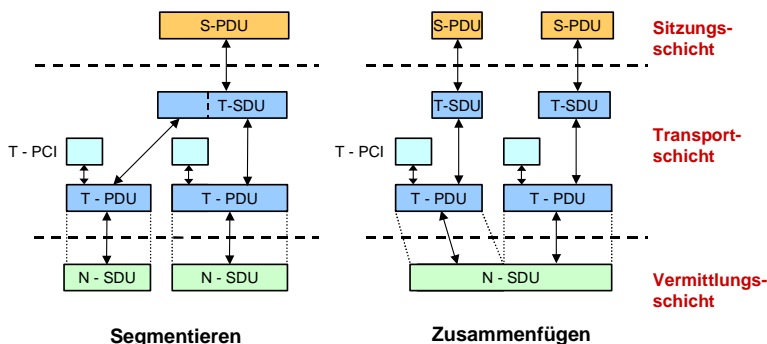
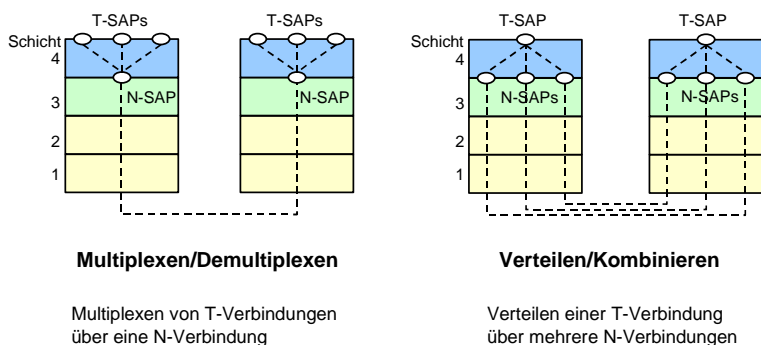
Die Dienstelemente beinhalten Funktionen wie Verbindungsaufbau (CONNECT), Verbindungsabbau (DISCONNECT), Datentransfer (DATA) und beschleunigten Datentransfer (EXPEDITEDDATA) sowie Quittungen (DATA-ACKNOWLEDGE). Diese Dienstelemente beziehen sich auf einen verbindungsorientierten Dienst. Ein verbindungsloser Dienst wird durch die Dienstelemente UNIDATA erbracht. Bei allen Dienstelementen kennzeichnet das vorangestellte T die Transportschicht, die nachgestellten Angaben request, indication, response und confirm sind in Bild 3.6 definiert

Tabelle Verbindungsorientierte Dienstelemente der Transportschicht

T-CONNECT.request (callee, caller, exp-wanted, qos, user-data)
T-CONNECT.indication (callee, caller, exp-wanted, qos, user-data)
T-CONNECT.response (qos, responder, exp-wanted, user-data)
T-CONNECT.confirm (qos, responder, exp-wanted, user-data)
T-DISCONNECT.request (user-data)
T-DISCONNECT.indication (reason, user-data)
T-DATA.request (user-data)
T-DATA.indication (user-data)
T-DATA-ACKNOWLEDGE.request (user-data)
T-DATA-ACKNOWLEDGE.indication ()
T-EXPEDITED-DATA.request (user-data)
T-EXPEDITED-DATA.indication (user-data)

Tabelle Verbindungslose Dienstelemente der Transportschicht

T-UNITDATA.request (callee, caller, user-data)
T-UNITDATA.indication (callee, caller, qos, user-data)



PDU Protocol Data Unit
SDU Service Data Unit
PCI Protocol Control Information

Protokoll-Klasse	Name	Netz-Typ
0	Einfachklasse	A
1	Basisklasse zur Wiederherstellung	B
2	Multiplexklasse	A
3	Klasse zum Wiederherstellen und Multiplexen	B
4	Klasse zur Fehlerbehandlung und Wiederherstellung	C

Netztyp A: vollständig ausreichende Qualität
 B: verbesserungsbedürftig
 C: nicht ausreichende Qualität

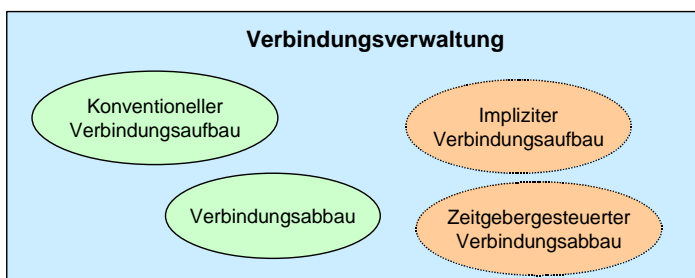
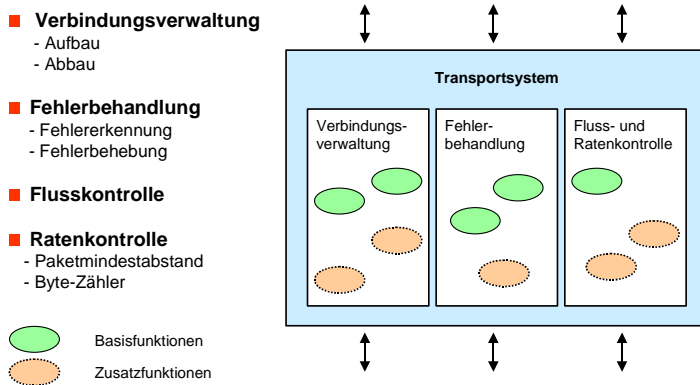
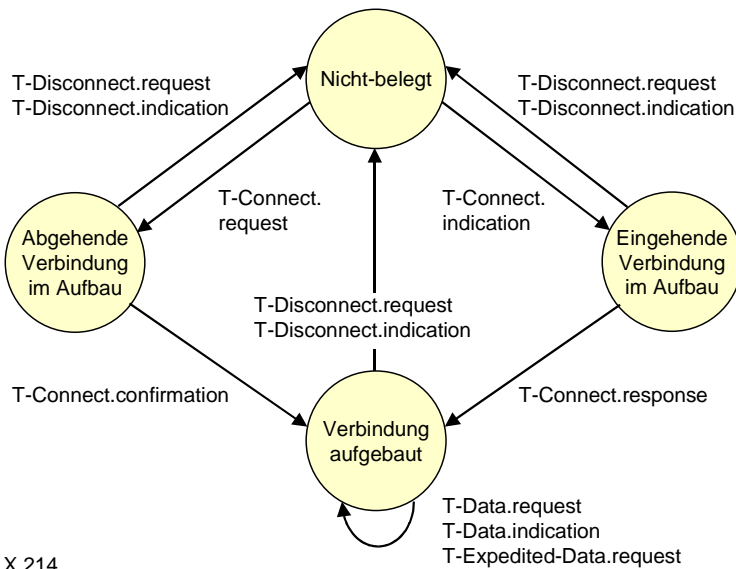
Protokollklasse					
Funktionen	0	1	2	3	4
allgemeine Funktionen:					
T-PDU-Übertragung	x	x	x	x	x
Multiplexen/Demultiplexen			x	x	x
Fehlerbehandlung		(x)	(x)	(x)	x
Wiederherstellen		x		x	x
Funktionen in der Phase Verbindungsherstellung:					
Absprachen mit Vermittlungsdienst	x	x	x	x	x
Adresszuordnung zwischen T-SAP und N-SAP	x	x	x	x	x
Absprachen über Transportverbindung	x	x	x	x	x
Transport von T-SDUs	x	x	x	x	x
Funktionen während der Datentransferphase:					
Zusammenfügen/Trennen von T-PDUs		x	x	x	x
Segmentieren/Aneinanderreihen von T-SDUs	x	x	x	x	x
Splitten/Kombinieren von Netzverbindungen					x
Flusskontrolle			x	x	x
Identifikation der Transportverbindung	x	x	x	x	x
normaler Datentransfer von T-SDUs	x	x	x	x	x
vorrangiger Datentransfer		x	x	x	x
Funktionen zum Verbindungsabbau:					
Auslösen und Abbruch der Transportverbindung	x	x	x	x	x

Verbindungsorientierte Dienstelemente der Transportschicht

T-Connect.request (callee, caller, exp-wanted, qos, user-data)
 T-Connect.indication (callee, caller, exp-wanted, qos, user-data)
 T-Connect.response (qos, responder, exp-wanted, user-data)
 T-Connect.confirm (qos, responder, exp-wanted, user-data)
 T-Disconnect.request (user-data)
 T-Disconnect.indication (reason, user-data)
 T-Data.request (user-data)
 T-Data.indication (user-data)
 T-Data-Acknowledge.request (user-data)
 T-Data-Acknowledge.indication ()
 T-Expedited-Data.request (user-data)
 T-Expedited-Data.indication (user-data)

Verbindungslose Dienstelemente der Transportschicht

T-Unitdata.request (callee, caller, user-data)
 T-Unitdata.indication (callee, caller, qos, user-data)



Zusätzliche Anforderungen an Verbindungsverwaltung:

- Geringe Verzögerung
- Schneller Verbindungsaufbau (z.B. Remote Procedure Call)
- Geringe Anzahl ausgetauschter Dateneinheiten
- Möglichkeiten zur Aushandlung der Dienstgüte

Verbindungslose Kommunikation

Informationen werden versendet, ohne vorherigen Aufbau einer Verbindung

Vorteil: schnelle Datenversendung möglich

Nachteil: keine Möglichkeit der Kontrolle, ob der Kommunikationspartner überhaupt empfängt bzw. empfangen kann

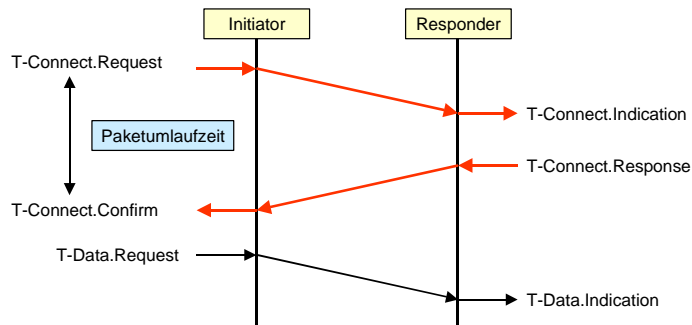
Verbindungsorientierte Kommunikation

Aufbau einer Verbindung bevor der Informationsaustausch stattfindet

Vorteil: Aushandlung von Kommunikationsparametern möglich:
Fenstergrößen, verwendeter Code, verwendete Fehlerkontrollmechanismen, Sequenznummern,...

Nachteile:

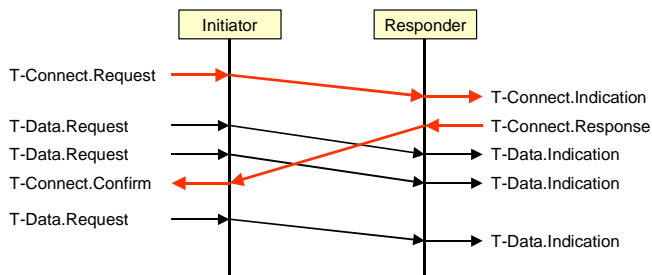
- eigentlicher Datenaustausch verzögert
- Overhead der Verbindungsetablierung und -verwaltung kann höher sein als der eigentliche Datenaustausch (kurze Daten)



- 2-fach oder 3-fach Handshake
- Datenaustausch erst nach T-Connect.Confirm möglich

Nachteil:

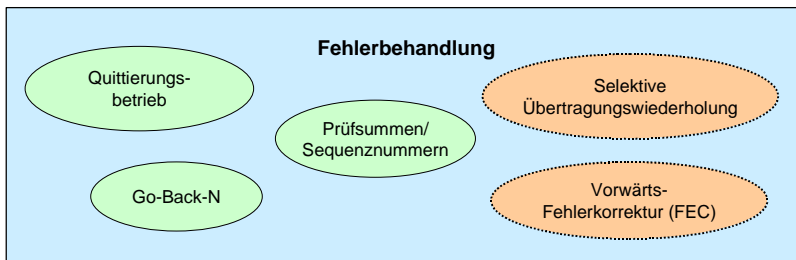
Verzögerung des Datenaustausches um mindestens eine Paketumlaufzeit



- Sofortiger Datenaustausch nach T-Connect.Request möglich
- Evtl. können bereits im Verbindungsaufbau-Paket Nutzdaten enthalten sein

Vorteil: Keine Verbindungsaufbauverzögerung

Nachteil: Erster Datenaustausch vor Aushandlung der Dienstgüte



- Zu berücksichtigende Charakteristiken moderner Netze:
 - Hohe Pfadkapazität
 - Hohe Bandbreite
- Zusätzliche Anforderungen an Fehlerbehandlung:
 - Geringe Übertragungsverzögerung

Go-Back-N basiert auf dem Prinzip der Übertragungswiederholung

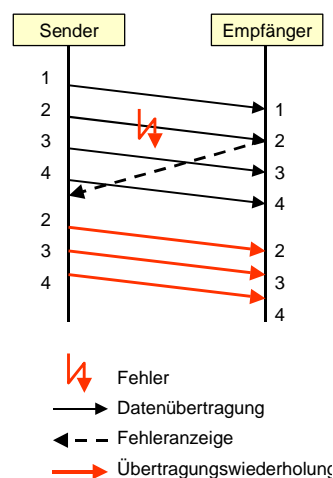
- Empfänger zeigt dem Sender erkannte Fehler an
- Sender überträgt alle Pakete ab dem fehlerhaft übertragenen Paket erneut
- Unter Umständen werden auch korrekt übertragene Pakete wiederholt gesendet

Vorteil:

- Einfacher Algorithmus
- Einfach zu implementieren

Nachteil:

- Hohe Kosten für Übertragungswiederholungen



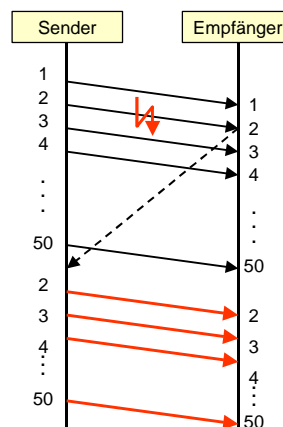
- Fehleranzeige trifft frühestens nach einer Paketumlaufzeit beim Sender ein.
- alle Pakete nach dem fehlerhaften Paket müssen wiederholt werden.

Nachteil:

- Übertragungskapazitätsverlust in Höhe der doppelten Pfadkapazität
- ⇒ Hoher Verlust der Übertragungskapazität in Hochgeschwindigkeitsnetzen

Vorteil:

- Die Datenmenge einer Pfadkapazität muss beim Empfänger nicht gepuffert werden



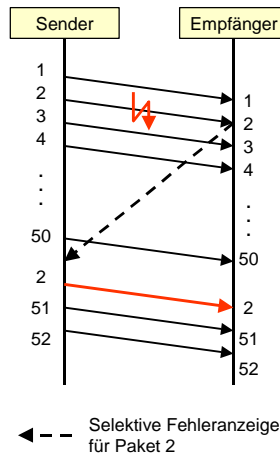
- Vermeidung des Kapazitätsverlusts durch selektive Übertragungswiederholung
- Es werden nur tatsächlich fehlerhaft übertragene Pakete erneut gesendet

Vorteil:

- Geringer Bandbreitenverlust

Nachteil:

- Bei reihenfolgetreuer Auslieferung an den Benutzer sind große Pufferspeicher notwendig
- Hoher Verwaltungsaufwand in den Endsystemen

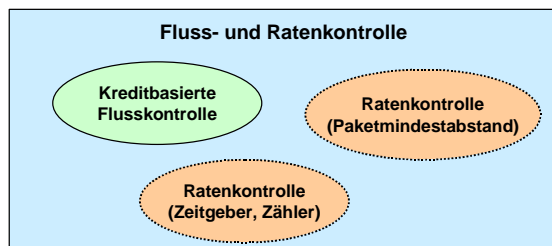
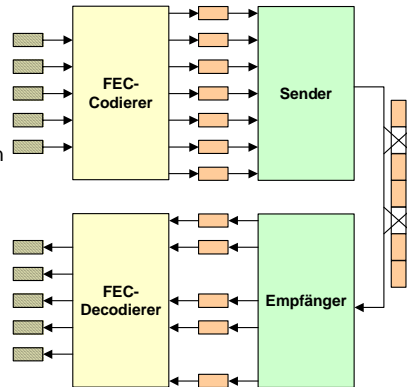


Beispiel für $h=5$ und $k=2$

- Erzeugen von $h+k$ Paketen aus ursprünglich h Paketen mit fehlertolerantem Code
- Übertragen von $h+k$ Paketen
- Empfang von h beliebigen Paketen reicht zur Wiederherstellung der ursprünglichen Daten aus

- Vorteile:**
- Nur geringe Verzögerung
 - Bandbreitenzusatz Aufwand für $h \gg k$ sehr klein

■ Originaldatenblöcke
■ FEC-codierte Datenblöcke



Zu berücksichtigende Charakteristiken moderner Netze

- Hohe Pfadekapazität

Zusätzliche Anforderungen an Fluss- und Ratenkontrolle:

- Gleichmäßiger Datenfluss (z.B. Video- oder Audioübertragung)
- Vermeiden von burstartigem Senden der Daten

Fensterbasierende Flusskontrolle:

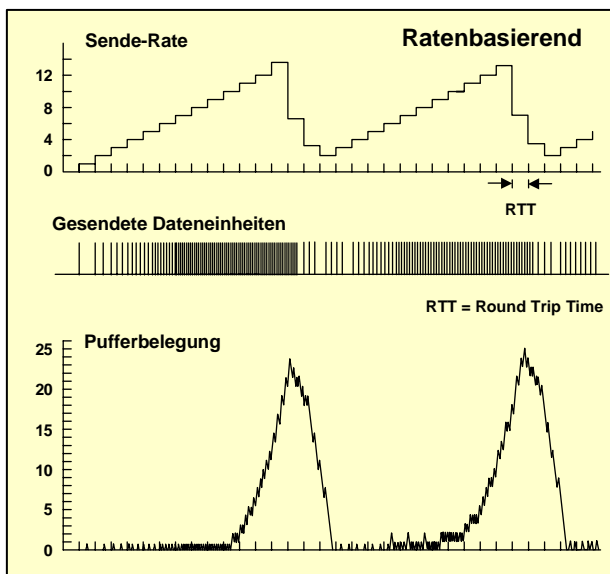
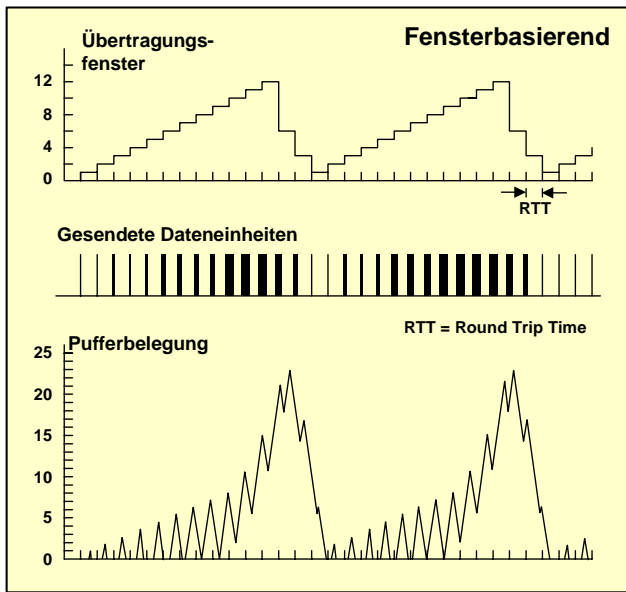
- begrenzt als Reaktion auf Rückmeldungen die Anzahl der von der Quelle ausgesendeten Zellen durch eine veränderliche Fenstergröße.

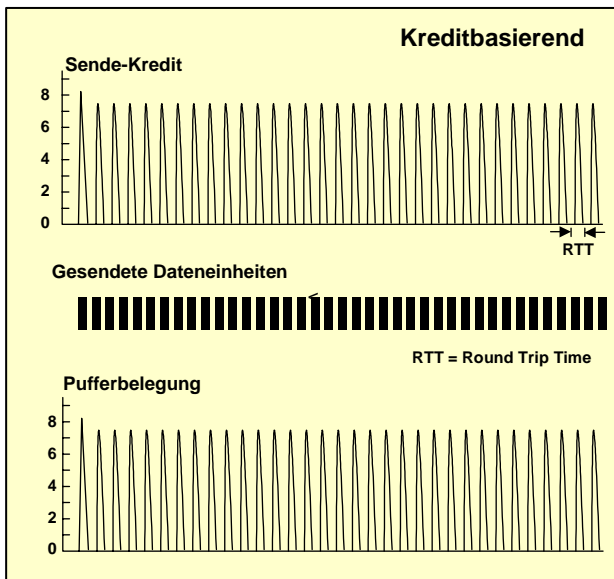
Ratenbasierende Flusskontrolle:

- passt die Quellenübertragungsrate unter Verwendung eines Feedbackalgorithmus an.

Kreditbasierende Flusskontrolle:

- bietet der Quelle eine Gutschrift für die Anzahl der zu sendenden Zellen.
- Ist das Guthaben aufgebraucht, muss auf eine neuerliche Zuteilung von Krediten gewartet werden.

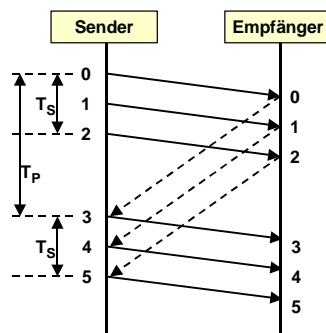
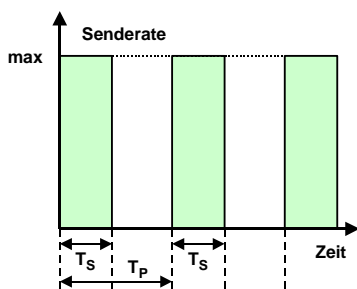
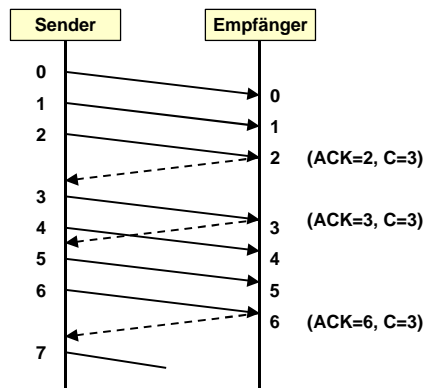




Beispiel (Anfangskredit =3):

ACK = i
 Quittierung der Pakete
 bis zur Paketfolgenummer i

CREDIT = j
 Sender darf bis zur
 Paketfolgenummer i+j senden



Probleme:

Zu welchem Zeitpunkt soll dem Sender ein neuer Kredit gewährt werden
 (Protokolloverhead vs. gleichmäßigem Sendeverhalten)?

- Große Paketumlaufzeit führt bei hoher Übertragungskapazität und kleinem Sendekredit zu burstartigem Sendeverhalten

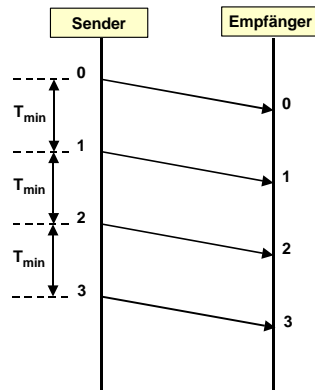
- Begrenzung der maximalen Senderate durch Einführung eines zeitlichen Paketmindestabstands

Prinzip:

- Beim Senden eines Pakets wird ein Zeitgeber gestartet
- Nachfolgendes Paket darf erst nach Ablauf des Zeitgebers gesendet werden

Bewertung:

- gleichmäßiger Paketfluss
- hochauflösende Zeitgeber erforderlich



• Festgelegte Parameter:

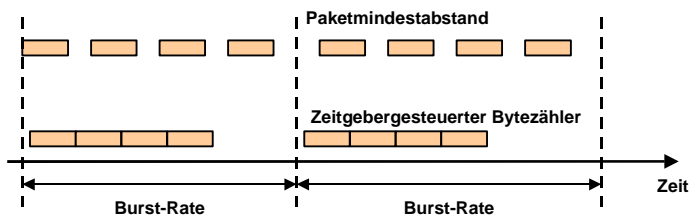
- Rate = Übertragungsrate in Byte/s
- Burst = Anzahl von Bytes, die innerhalb eines Bursts mit beliebiger Rate gesendet werden dürfen

• Definierte Hilfsgrößen:

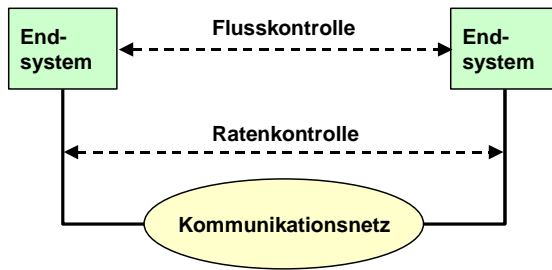
- RTimer = Zeitgeber, der mit dem Wert Burst/Rate initialisiert wird und bei Ablauf sofort wieder neu gestartet wird
- Counter = Anzahl von Bytes, die im aktuellen Burst noch gesendet werden dürfen

• Ablauf der Ratenkontrolle auf Senderseite:

- Bei Ablauf von RTimer wird Counter auf den Wert von Burst gesetzt
- Beim Senden von Daten wird der Zähler Counter um die Anzahl gesendeter Bytes erniedrigt
- Daten dürfen nur gesendet werden, solange Counter > 0



- Ratenkontrolle mittels Paketmindestabstand als Spezialfall der Ratenkontrolle mit zeitgebergesteuertem Bytezähler
- Unterschied der Ratenkontrolle mittels zeitgebergesteuertem Bytezähler zur Flusskontrolle liegt in der Unabhängigkeit von der Paketumlaufzeit



- Flusskontrolle steuert die Datenmenge, die zwischen den Endsystemen ausgetauscht wird
 - **Ziel:** Vermeiden von Pufferüberläufen beim Empfänger
- Ratenkontrolle kontrolliert den Fluss im Kommunikationsnetz
 - **Ziel:** Steuern der Senderate

Verfügbaren Dienstelemente können wie folgt eingesetzt werden:

- Verbindungsaufbau: die Reihenfolge ist : T-CONNECT.request, T-CONNECT.indication, T-CONNECT.response, T-CONNECT.confirm. Die Verbindung wurde erfolgreich aufgebaut.
- Teilnehmer lehnt Verbindung ab (Muster 1): T-CONNECT.request, T-CONNECT.indication, T-DISCONNECT.request, T-DISCONNECT.indication.
- Transportschicht lehnt Verbindung ab (Muster 3): T-CONNECT.request, T-CONNECT.indication.
- Verbindungsabbau (Muster 2): T-DISCONNECT.request, T-DISCONNECT.indication.
- Gleichzeitiger Verbindungsabbau durch beide Teilnehmer (Muster 4): T-DISCONNECT.request (zweimal).
- Verbindungsabbruch durch die Transportschicht (Muster 5): T-DISCONNECT.indication (zweimal).
- Normaler Datentransfer (Muster 2): T-DATA.request, T-DATA.indication.
- Beschleunigter Datentransfer (Muster 2): T-EXPEDITED-DATA.request, T-EXPEDITED-DATA.indication.

Eine zusammenfassende Festlegung der möglichen Abläufe in der Transportschicht gibt der Transportprotokollautomat nach ITU-T X.214. Die verbindungslosen Dienstelemente T-UNIDATA erscheinen dort nicht, da sie nicht an Zustände gebunden sind.

Transportprotokoll

Der Aufwand für ein Transportprotokoll hängt wesentlich von der Qualität des darunter liegenden Vermittlungsdienstes ab. Zur Vereinfachung der Diskussion werden Vermittlungsdienste in drei **Qualitätsklassen (Netzklassen)** eingeteilt:

- Typ A: hochwertiger, fast fehlerfreier Dienst ohne N-RESETs (N-RESETs können von der Netzschicht zur Problembehebung ausgelöst werden, dabei können Pakete verloren gehen). Einige LAN entsprechen dem Typ A. Transportprotokolle für Netze des Typs A sind einfach und leicht verständlich.
- Typ B: perfekte Datenübertragung, aber mit N-RESETs. Die meisten X.25-Protokolle und WAN sind vom Typ B. Transportprotokolle für Netze des Typs B sind komplizierter als für Typ A.
- Typ C: unzuverlässiger Dienst mit verlorenen und duplizierten Paketen und möglicherweise auch N-RESETs. WANs mit verbindungsloser Datagramm-Übertragung, Paket-Funknetze und viele Teilnetze des Internet sind vom Typ C. Die hierfür erforderlichen Transportprotokolle sind aufwändig und kompliziert.

Auf Basis des OSI-Modells wird eine Familie von Transportprotokollen beschrieben, die aus fünf Klassen 0 bis 4 besteht. Die Klassen sind auf bestimmte Netztypen angepasst.

Protokollklassen für OSI-Transportprotokolle

Protokollklasse	verwendet in Netzkategorie	Einsatzbereich
0	A	Einfaches Protokoll für Transportdienst über einem zuverlässigen, verbindungsorientierten Vermittlungsdienst (z. B. X.25). Bietet nur Verbindungsauf- und -abbau.
1	B	Wie Klasse 0, Transportverbindung bleibt bei kurzzeitiger Unterbrechung in der Vermittlungsschicht bestehen. Dazu sind Sequenznummern erforderlich. Keine Fehlerüberwachung oder Flusssteuerung.
2	A	Wie Klasse 0, jedoch mehrere Transportverbindungen über eine Verbindung der Vermittlungsschicht. Flusssteuerung möglich.
	B	Kombination der Klassen 1 und 2: Behandlung von N-Resets und Multiplexen. Flusssteuerung wird immer verwendet.
4	C	Aufwändiges Protokoll für Transportdienst über einem unzuverlässigen, verbindungslosen Vermittlungsdienst. Enthält alle Funktionen der Klasse 3, kümmert sich zusätzlich um verlorene, duplizierte und vertauschte Pakete.

Eine sinnvolle Kombination von Protokollen kann HDLC (Schicht 2), X.25 (Schicht 3) und ein Transportprotokoll der Klasse 1 sein. HDLC garantiert eine fast vollständige Fehlerkorrektur und Erhaltung der Rahmenreihenfolge. X.25 liefert eine fast fehlerfreie, virtuelle Verbindung mit korrekter Paketreihenfolge. Damit kann das Transportprotokoll sehr einfach sein und sich weitgehend auf den Verbindungsauf- und -abbau beschränken.

Transportdienst/-protokoll

Die Normen ISO 8072/ISO 8073 sind für Transportprotokolle in öffentlichen Netzen wichtig. Dort sind zehn verschiedene **T-PDU-Typen** (Transport Protocol Data Unit) definiert. Jeder Typ kann bis zu vier Felder entsprechend Bild 3.12 enthalten. Der Längenindikator gibt die Länge des gesamten Headers (fester plus variabler Teil) an. Der Maximalwert ist 254 Byte. Der feste Teil des Headers hängt vom Typ ab, im variablen Teil stehen Optionen, die nicht immer benötigt werden. Benutzerdaten können in verschiedenen T-PDU enthalten sein, nicht nur in Daten-T-PDU.

Weitere Felder der TPDU-Typen haben die folgende Bedeutung: Mit dem Feld Cdt (Credit) kann der Empfänger dem Sender mitteilen, wie viele TPDU's er bei der ersten Übertragung senden darf. Dieses Feld ist jedoch nur für Protokolle der Klasse 4 relevant. Die Felder Destination Reference und Source Reference identifizieren die beiden kommunizierenden Prozesse. Das Feld Class-Option erlaubt die Wahl einer Protokollklasse und zweier Optionen. Das Feld Reason gibt den Grund für einen Verbindungsabbau an. Das Feld E, TPDU N besteht aus zwei Teilen. E steht für ein einzelnes Bit EOT, das mit dem Wert 1 das Ende einer T-SDU (Transport Service Data Unit) anzeigt, die in T-PDU's segmentiert wurde. Der Rest dieses Feldes und weitere Felder sind für die Flusssteuerung von Bedeutung. Das Feld Variable Part enthält Parameter für Optionen. Im Feld User Data können bis zu 32 Datenbytes enthalten sein.