

Datenkommunikation

Teil 2.4: Transportschicht

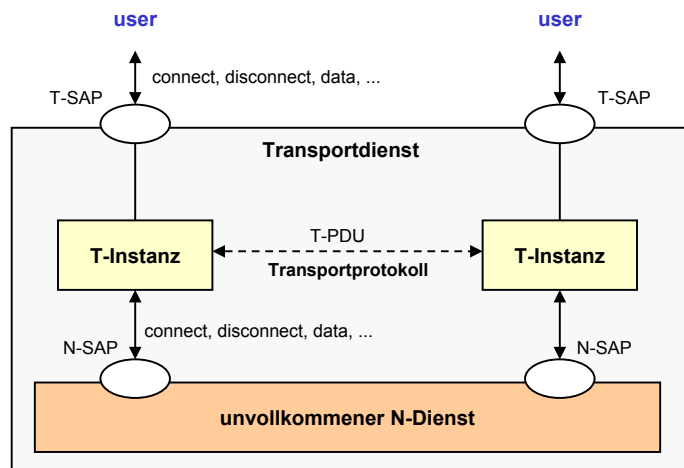
O.Univ.Prof.Dr. Harmen R. van As

Übersicht

2.4 OSI-Referenzmodell: Schicht 4 - Transport

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

Transportdienst



Dienste der Transportschicht (1)

(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

Dienste der Transportschicht (2)

(3) Datenübertragung

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

Paketgrößen

In den diversen Datennetzen 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

Funktionen der Transportschicht (1)

(1) Abbildung von Transportadressen auf Netzadressen

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

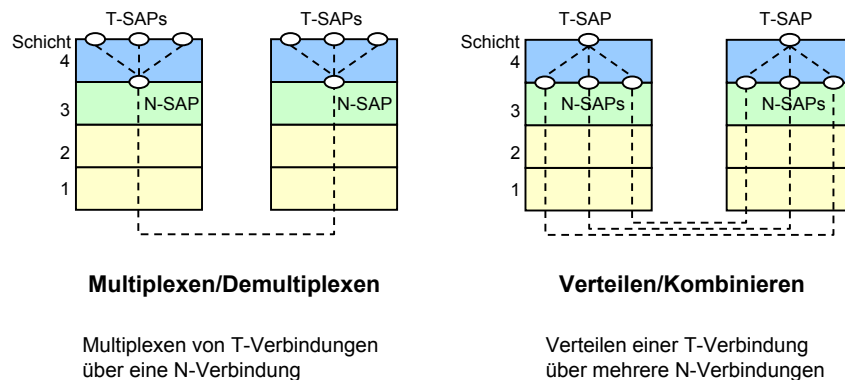
(2) Multiplexing von Transportverbindungen auf Netzverbindungen

- 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 können auf eine Netzverbindung abgebildet werden
Eine besseren Auslastung der Netzverbindung ist sinnvoll, weil in vielen Netzen Gebühr für Anzahl der aufgebauten Netzverbindungen bezahlt werden muss
Inverser Vorgang: **Demultiplexing**

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

Logische Transportverbindungen



Funktionen der Transportschicht (2)

(3) Auf- und Abbau von Transportverbindungen

Verbindungsaufbauphase:

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

Verbindungsabbauphase

- Identifizierung der abgebauten Verbindung
- Information über Grund des Abbaus

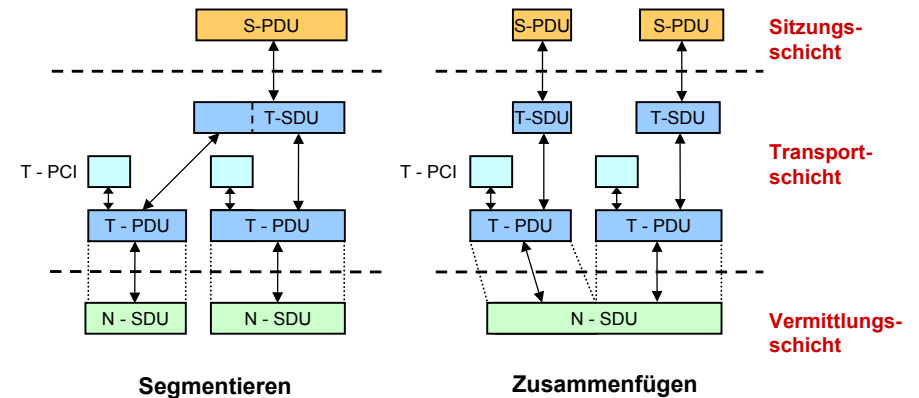
Funktionen der Transportschicht (3)

(4) Datenübertragungsphase über die Transportverbindungen

(Funktionen abhängig von ausgehandelter Transportsdienstklasse)

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

Zusammenfügen/Segmentieren



Funktionen der Transportschicht (4)

(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

Funktionen der Transportschicht (5)

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

Funktionen der Transportschicht (6)

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

- **Blockenformung, Blocking**
 - Zur Optimierung der Netzauslastung werden eine Anzahl von T-SDUs zu einer T-PDU 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 zu einer 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 überlegen, weil zu große Wartezeit beim Blockenformung von T-SDUs zu einer T-PDU entstehen.

Funktionen der Transportschicht (7)

(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 oder Transportschicht/Netzschiicht nicht lösbar, da Rückwirkungen auf andere Verbindungen:
 - 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 Netzmanagement verwendet

Transportprotokoll-Klassen

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

Funktionen der T-Instanzen

	Protokollklasse				
Funktionen	0	1	2	3	4
allgemeine Funktionen:					
TPDU-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

Dienstelemente der Transportschicht

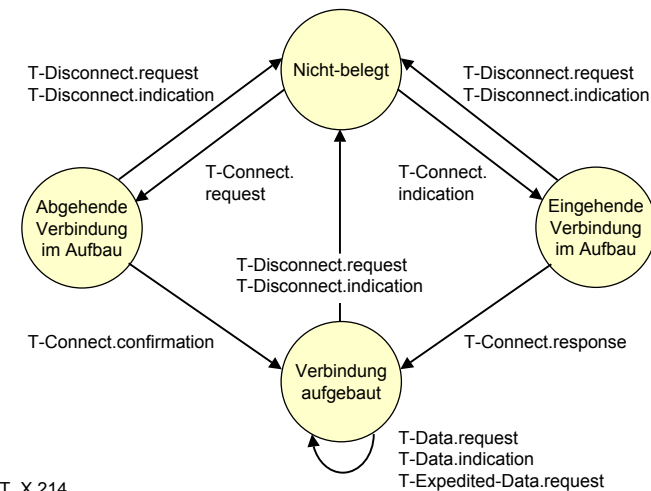
Verbindungsorientierte Dienstelemente der Transportschicht

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)

Zustandsdiagramm des Transportprotokolls



ITU-T X.214

Mechanismen des Transportprotokolls

Verbindungsverwaltung

- Aufbau
- Abbau

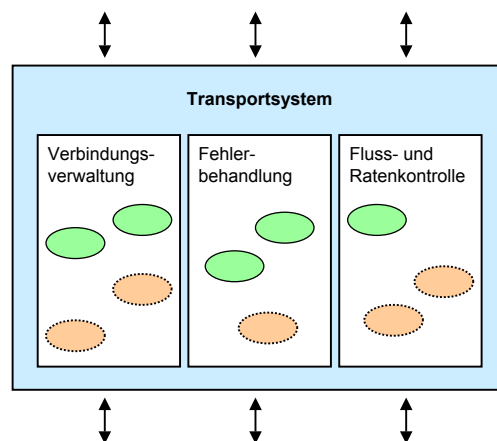
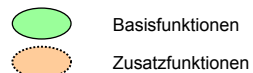
Fehlerbehandlung

- Fehlererkennung
- Fehlerbehebung

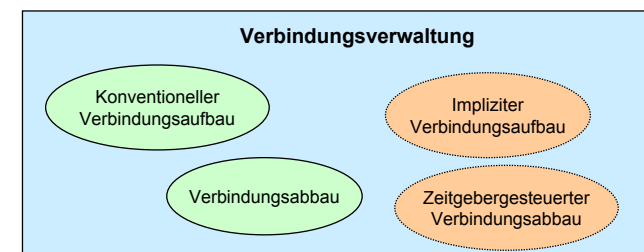
Flusskontrolle

Ratenkontrolle

- Paketmindestabstand
- Byte-Zähler



Verbindungsverwaltung



Zusätzliche Anforderungen an Verbindungsverwaltung:

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

Verbindungslos vs. Verbindungsorientiert

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

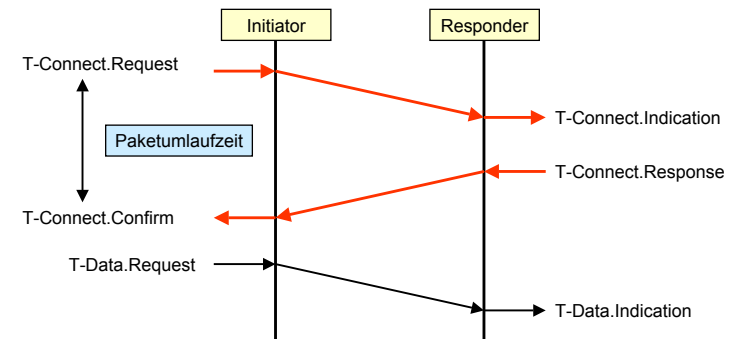
Aufbau einer Verbindung bevor der Informationsaustausch stattfindet

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)

Konventioneller Verbindungsaufbau

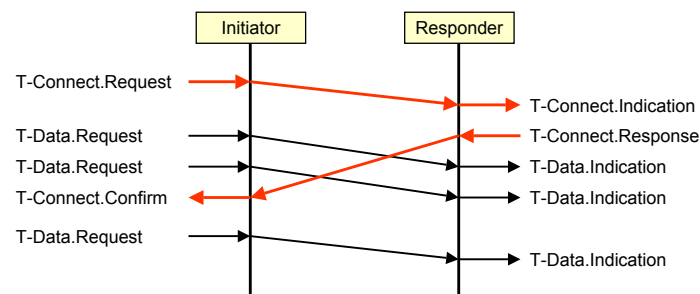


- 2-fach oder 3-fach Handshake
- Datenaustausch erst nach T-Connect.Confirm möglich

Nachteil:

Verzögerung des Datenaustausches um mindestens eine Paketumlaufzeit

Impliziter Verbindungsaufbau

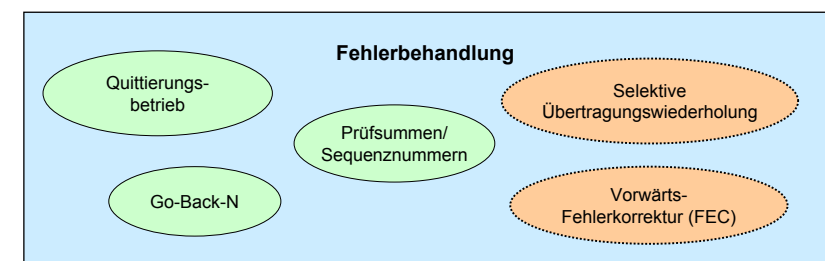


- Sofortiger Datenaustausch nach T-Connect.Request möglich
- Evtl. können bereits im Verbindungsaufbau-Paket Nutzdaten enthalten sein

Vorteil: Keine Verbindungsaufbauverzögerung

Nachteil: Erster Datenaustausch vor Aushandlung der Dienstgüte

Fehlerbehandlung



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

Fehlerbehandlung mittels Go-Back-N

Go-Back-N basiert auf dem Prinzip der Übertragungswiederholung

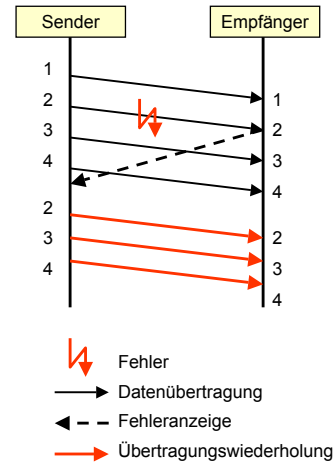
- Empfänger zeigt dem Sender erkannte Fehler an
- Sender überträgt alle Pakete ab dem fehlerhaft übertragenen Paket erneut
- Unter Umständen werden auch korrekt übertragene Pakete wiederholt gesendet

Vorteil:

- Einfacher Algorithmus
- Einfach zu implementieren

Nachteil:

- Hohe Kosten für Übertragungswiederholungen



Go-Back-N in schnellen Netzen

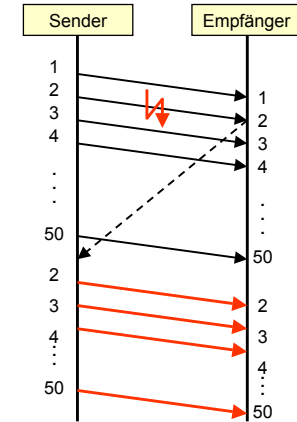
- Fehleranzeige trifft frühestens nach einer Paketumlaufzeit beim Sender ein.
- alle Pakete nach dem fehlerhaften Paket müssen wiederholt werden.

Nachteil:

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

Vorteil:

- Die Datenmenge einer Pfadkapazität muss beim Empfänger nicht gepuffert werden



Selektive Übertragungswiederholung

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

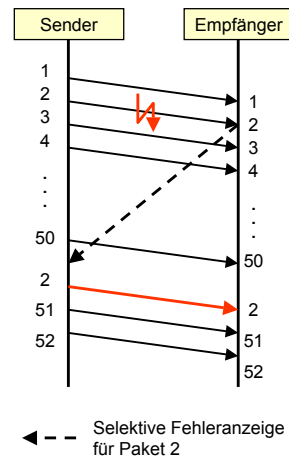
Vorteil:

- Geringer Bandbreitenverlust

Nachteil:

- Bei reihenfolgetreuer Auslieferung an den Benutzer sind große Pufferspeicher notwendig

- Hoher Verwaltungsaufwand in den Endsystemen

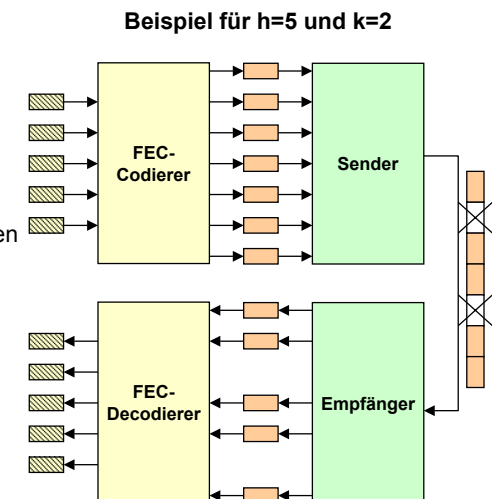
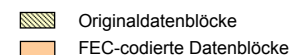


Vorwärtsfehlerkorrektur

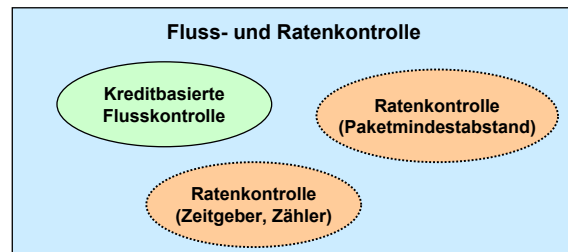
- Erzeugen von $h+k$ Paketen aus ursprünglich h Paketen mit fehlertolerantem Code
- Übertragen von $h+k$ Paketen
- Empfang von h beliebigen Paketen reicht zur Wiederherstellung der ursprünglichen Daten aus

- Vorteile:

- Nur geringe Verzögerung
- Bandbreitenzusatz aufwand für $h \gg k$ sehr klein



Fluss- und Ratenkontrolle



Zu berücksichtigende Charakteristiken moderner Netze

- Hohe Pfadkapazität

Zusätzliche Anforderungen an Fluss- und Ratenkontrolle:

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

Methoden der Flusskontrolle

Fensterbasierende Flusskontrolle:

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

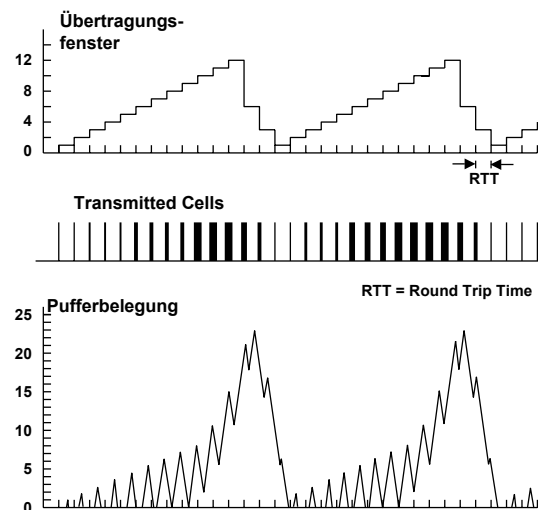
Ratenbasierende Flusskontrolle:

- passt die Quellenübertragungsrate unter Verwendung eines Feedbackalgorithmus an.

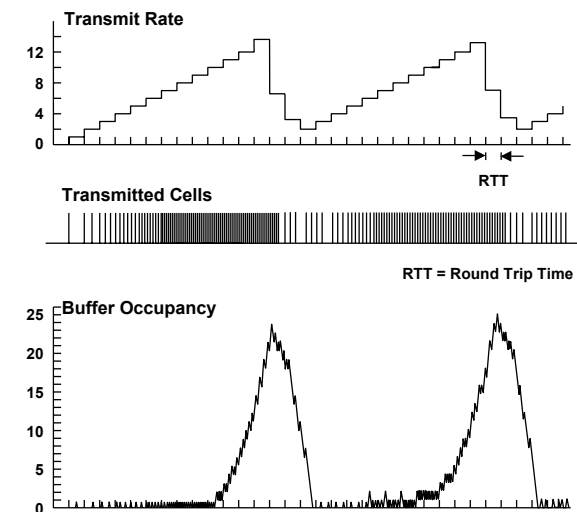
Kreditbasierende Flusskontrolle:

- 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

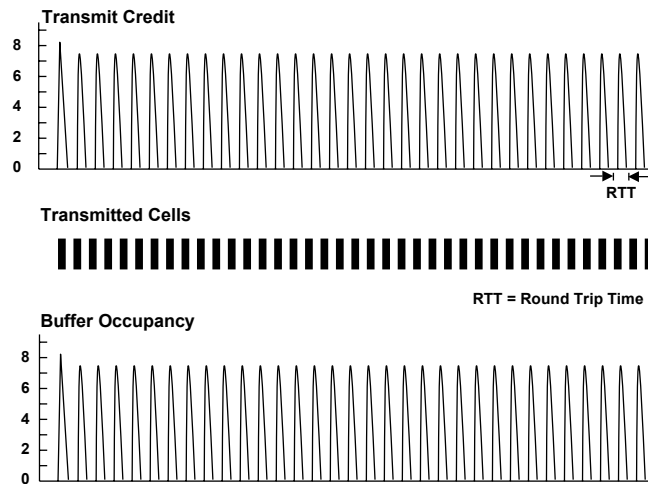
Fensterbasierte Flusskontrolle



Ratenbasierte Flusskontrolle



Kreditbasierte Flusskontrolle

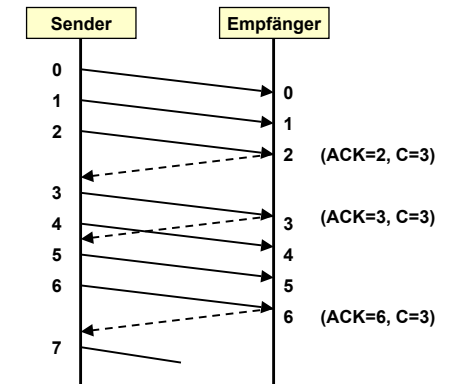


Flusskontrolle

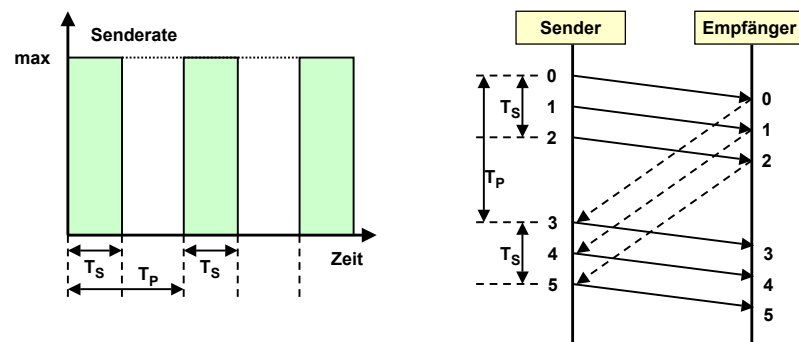
Beispiel (Anfangskredit = 3):

ACK = i
Quittierung der Pakete
bis zur Paketfolgennummer i

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



Flusskontrolle



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

Ratenkontrolle mittels Paketmindestabstand

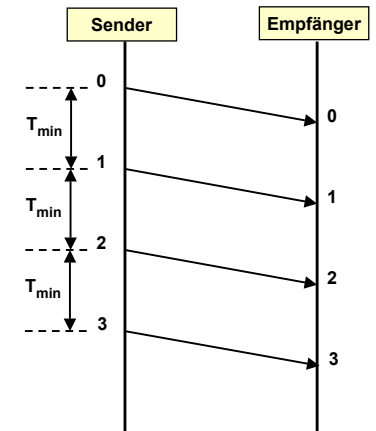
- Begrenzung der maximalen Senderate durch Einführung eines zeitlichen Paketmindestabstands

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



Ratenkontrolle mittels Zeitgeber-Bytezähler

• Festgelegte Parameter:

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

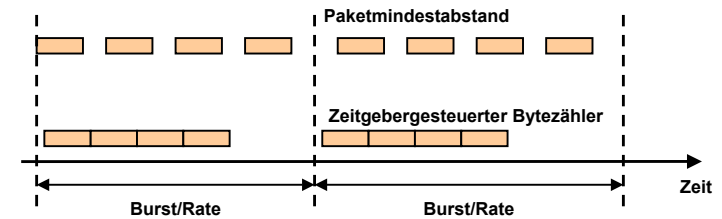
• Definierte Hilfsgrößen:

- 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:

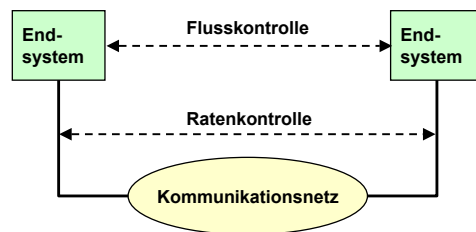
- Bei Ablauf von RTimer wird Counter auf den Wert von Burst gesetzt
- Beim Senden von Daten wird der Zähler Counter um die Anzahl gesendeter Bytes erniedrigt
- Daten dürfen nur gesendet werden, solange Counter > 0

Ratenkontrolle



- 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

Unterschied zwischen Fluss- und Ratenkontrolle



- 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

Traditionelle Anwendungen

Elastische Anwendungen

- Hier sind keine Zeitgarantien für diese Auslieferung der Daten erforderlich.
- Die Verzögerungsabforderungen 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, Dienstqualität (quality of service)

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 Quellknoten bis zum Eintreffen beim Transportdienstbenutzer auf dem Zielknoten. Auch hier sind zwei Werte für die beiden Übertragungsrichtungen zu unterscheiden.

Dienstgüte, Dienstqualität (quality of service)

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.