Lehrstuhl für Netzarchitekturen und Netzdienste
Institut für Informatik – Technische Universität München
Prof. Dr.-Ing. Georg Carle

Grundlagen: Rechnernetze und Verteilte Systeme

Kapitel 7: Verkehrssteuerung

Kriterien, Mechanismen, Verfahren

Prof. Dr.-Ing. Georg Carle
Lehrstuhl für Netzarchitekturen und Netzdienste
Technische Universität München
carle@net.in.tum.de
http://www.net.in.tum.de

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Übersicht

1. Einführung und Motivation
   - Bedeutung, Beispiele
2. Begriffswelt und Standards
   - Dienst, Protokoll, Standardisierung
3. Direktverbindungsnetze
   - Fehlererkennung, Protokolle
   - Ethernet
4. Vermittlung
   - Vermittlungsprinzipien
   - Wegwahlverfahren
5. Internet-Protokolle
   - IP, ARP, DHCP, ICMP
   - Routing-Protokolle
6. Transportprotokolle
   - UDP, TCP
7. **Verkehrssteuerung**
   - **Kriterien, Mechanismen**
   - **Verkehrssteuerung im Internet**
8. Anwendungsorientierte Protokolle und Mechanismen
   - Netzmanagement
   - DNS, SMTP, HTTP
9. Verteilte Systeme
   - Middleware
   - RPC, RMI
   - Web Services
10. Netzsicherheit
    - Kryptographische Mechanismen und Dienste
    - Protokolle mit sicheren Diensten: IPSec etc.
    - Firewalls, Intrusion Detection
11. Nachrichtentechnik
    - Daten, Signal, Medien, Physik
12. Bitübertragungsschicht
    - Codierung
    - Modems

Ziele

- In diesem Kapitel wollen wir vermitteln
  - Lastkontrolle
  - Flusssteuerung
  - Überlastung im Netzinnern
  - Verkehrskontrolle
  - Staukontrolle
  - Ratenkontrolle
  - Dienstgüte

Kapitelgliederung

7.1. Lastkontrolle

7.2. Dienstgüte (QoS)

7.1. Lastkontrolle

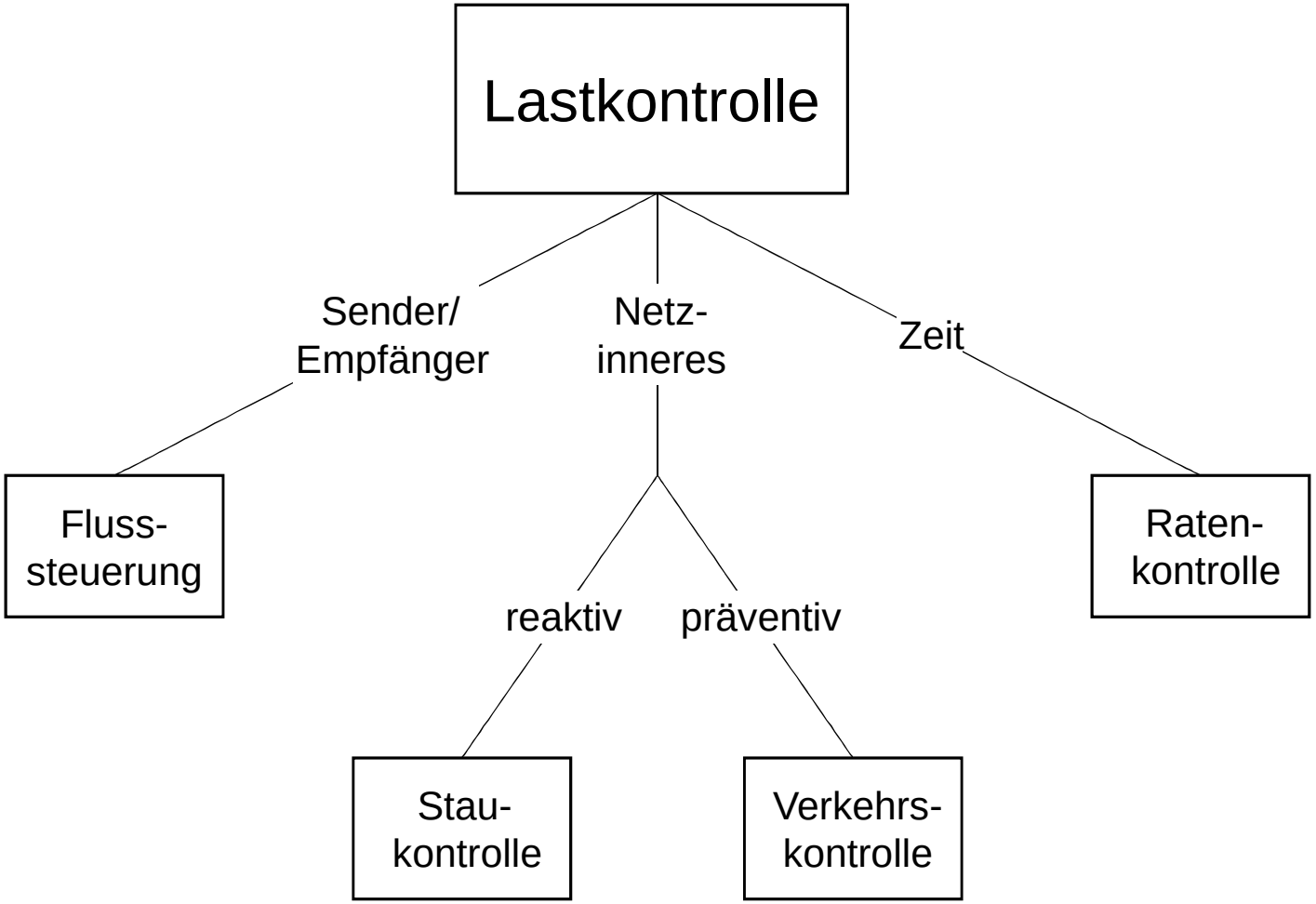
- An einem Kommunikationsvorgang sind üblicherweise mehrere Systeme beteiligt:
  - das den Vorgang initiierende System;
  - das gerufene System;
  - das Netzwerk mit den entsprechenden Zwischensystemen.

- Die auszutauschende Datenmenge muss dabei an aktuelle Eigenschaften der beteiligten Systeme (Netzknoten, Endsysteme) angepasst werden, da es sonst zu unterschiedlichen Problemen kommen kann (siehe die folgenden Folien).

- In der Vorlesung soll als Überbegriff für die Reglementierung der zu sendenden Datenmenge der Begriff ***Lastkontrolle*** stehen.

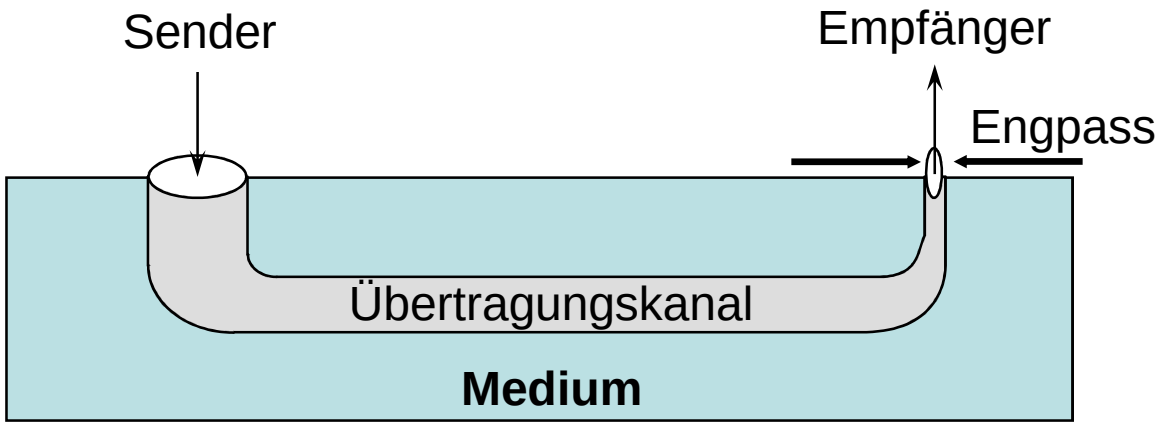
- Es sei hier jedoch darauf hingewiesen, dass dieser Begriff (wie auch die weiteren in diesem Thema eingeführten) in der Literatur leider nicht eindeutig definiert und benutzt wird!

Zusammenfassung

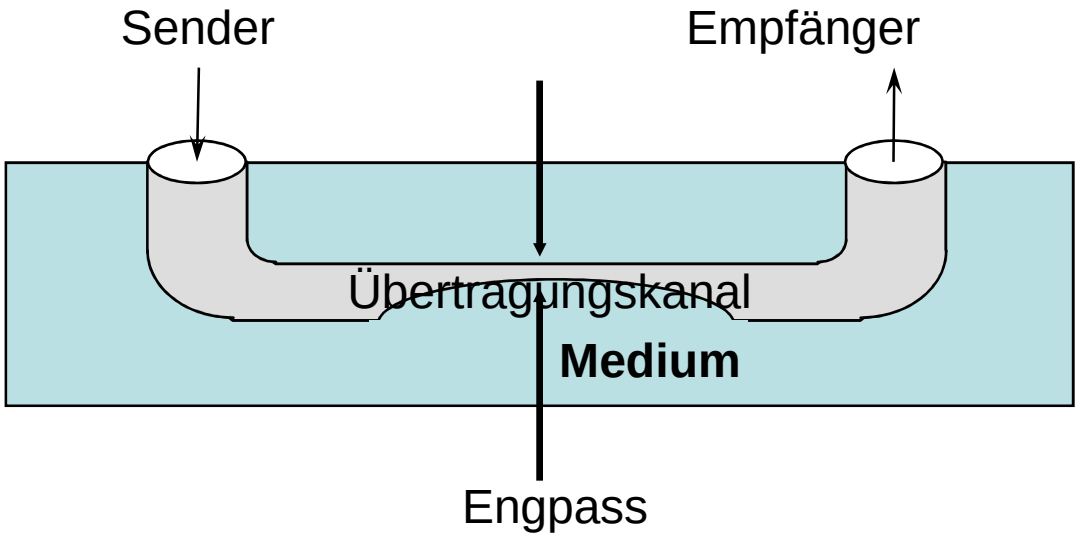


7.1.1. Engpässe in Kommunikationsnetzen

Engpass beim Empfänger

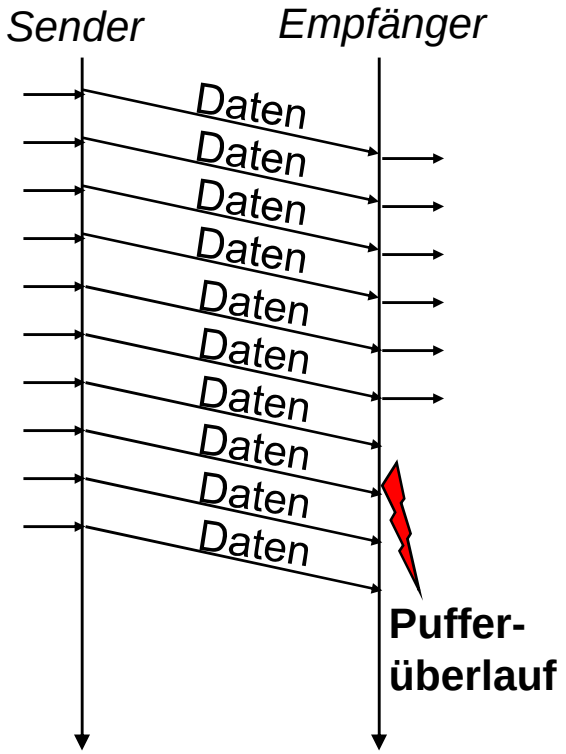


Engpass im Übertragungskanal

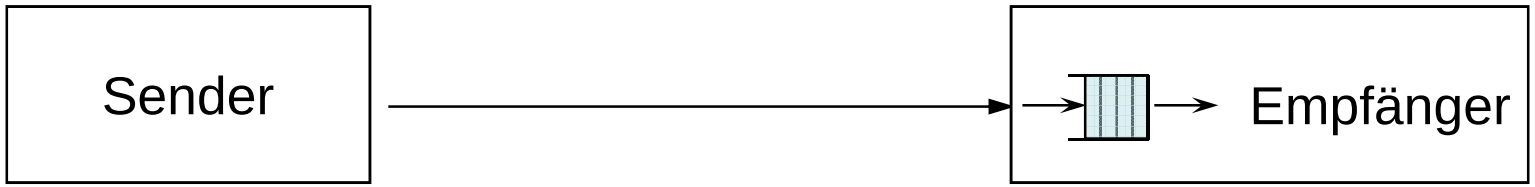


Engpass im Empfänger

- **Annahme:**
  - Netz ist kein Engpass, sondern hält mit Sender(n) mit.
- **Ursachen für Engpass im Empfänger:**
  - In einem Rechnernetz kommunizieren Rechner unterschiedlicher Leistungsfähigkeit (langsamer Empfänger).
  - (oder) Empfänger bekommt Pakete von vielen Sendern
- **Problem:**
  - Leistungsfähiger Rechner sendet mit hoher Rate - oder viele Rechner senden an einen Empfänger
  - Empfänger kann diese nicht in entsprechender Geschwindigkeit verarbeiten.
  - Empfangspuffer läuft über. Daten gehen verloren.



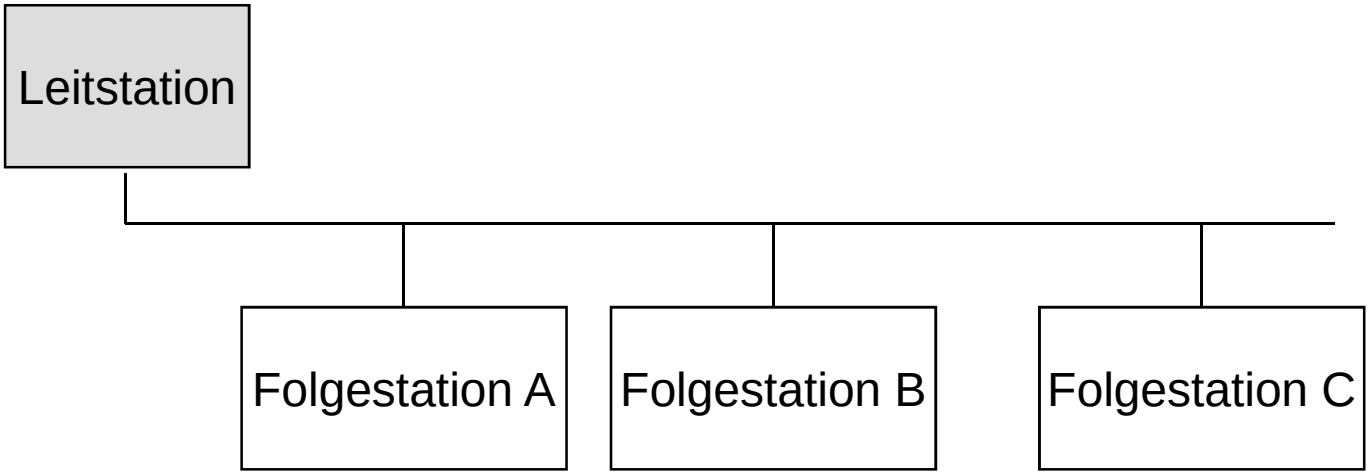
Bsp.: Pufferüberlauf bei Punkt-zu-Punkt-Verbindung



Leistungsfähiger Sender

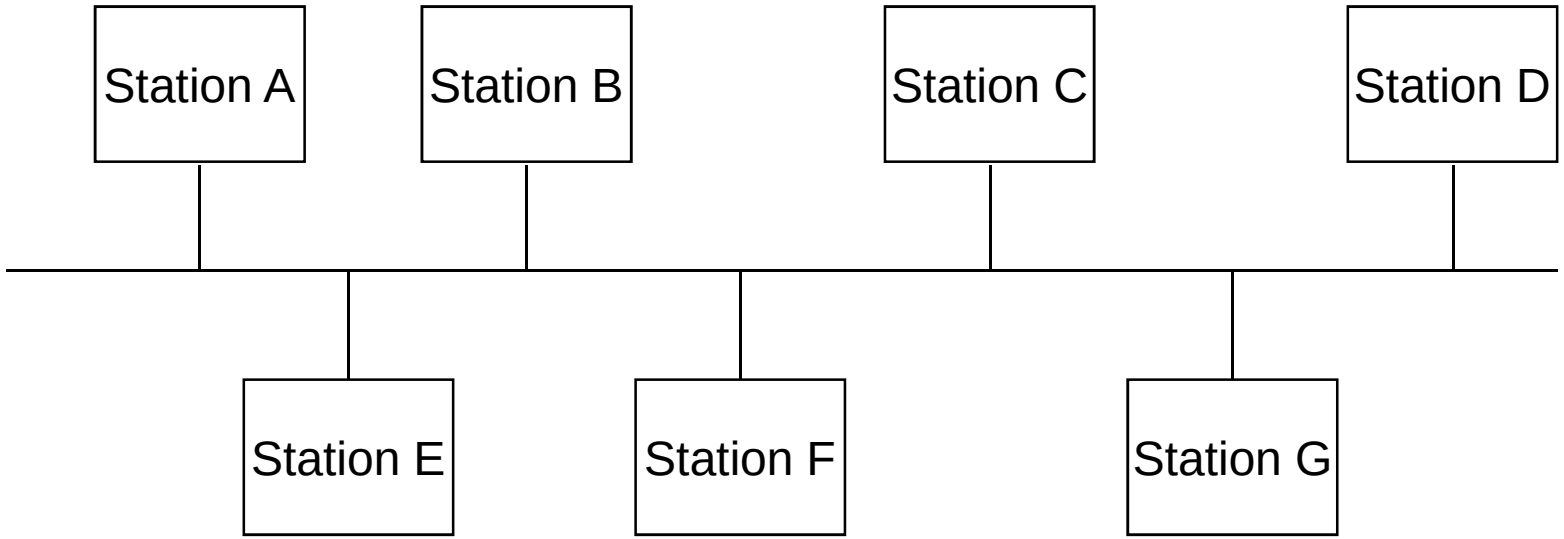
Leistungsschwacher Empfänger

Bsp.: Perfekte Lastkontrolle durch Polling-Betrieb



Engpass im Übertragungskanal

- **Beispiel:** Überlastung des geteilten Mediums
- **Annahme:** alle Stationen könnten die eintreffenden Daten verarbeiten
- **Aber:** Die Kapazität des geteilten Mediums reicht nicht aus für die zahlreichen Übertragungswünsche der Stationen
- **Folge:** Daten gehen schon beim Zugriff auf das Medium verloren und kommen erst gar nicht bei den Empfängern an.



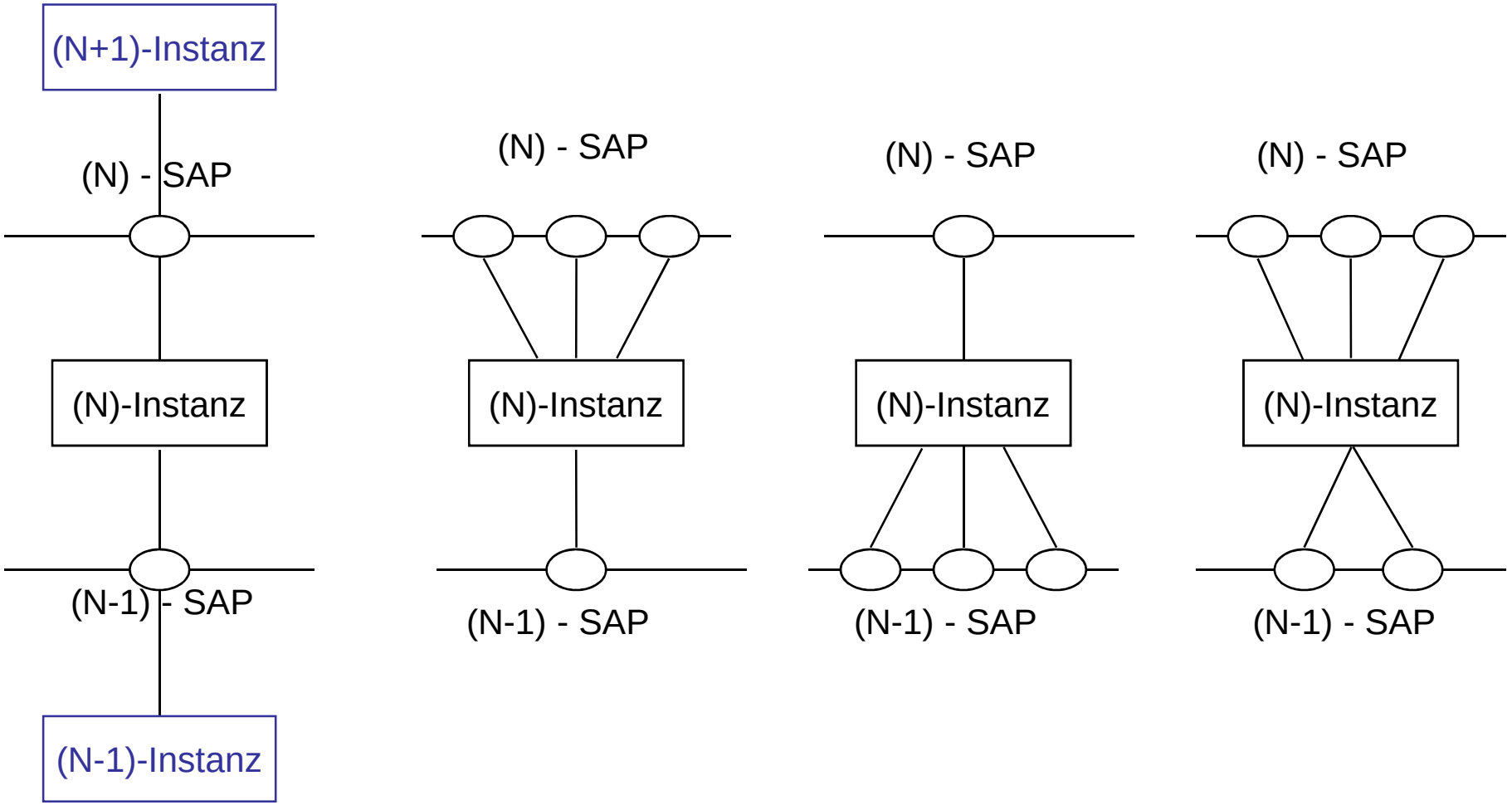
7.1.2. Flusssteuerung

- **Synonyme Begriffe**
  - Flusssteuerung
  - Flussregulierung
  - Flusskontrolle
  - Flow Control

- **Aufgabe**
  - Auf Netzebene ist der **Datenpaketempfänger** vor einem zu großen Zufluss von Paketen eines Paketsenders zu schützen.

- **Ort der Durchführung**
  - Schicht 2 (Sicherungsschicht): Überlastungsschutz von Übermittlungsabschnitten
  - Schicht 3
  - Schicht 4

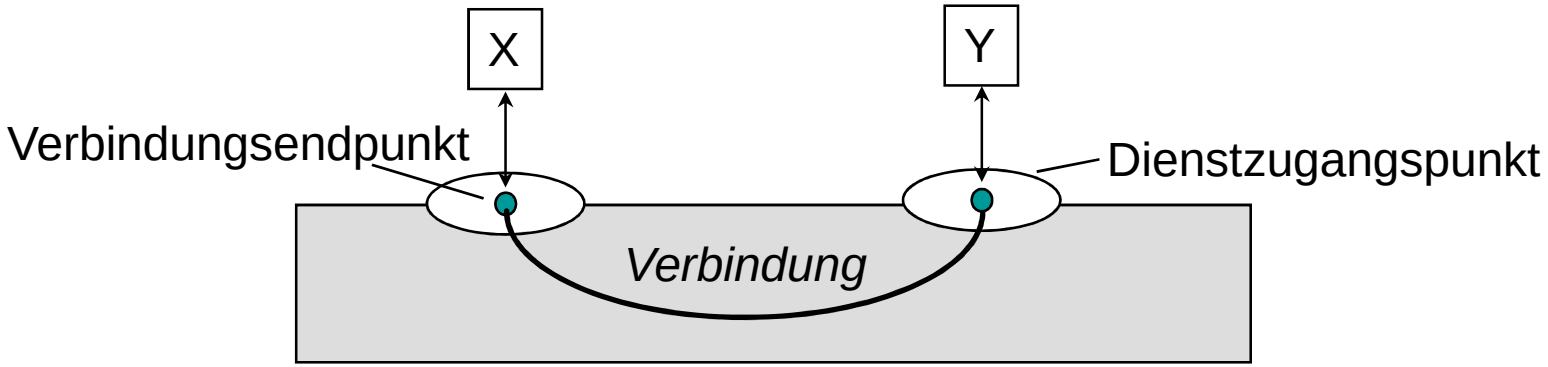
Flusssteuerung auf verschiedenen Schichten des OSI-Modells



7.1.2.1. Datagramm versus Verbindung

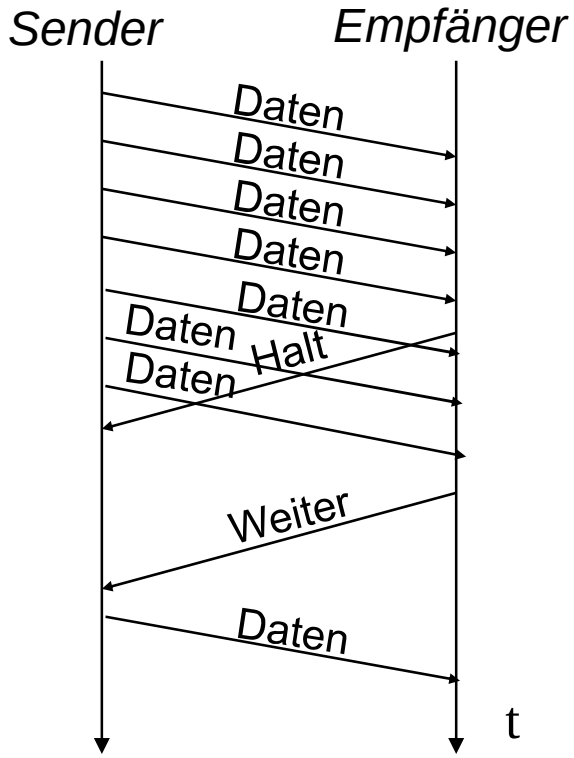
- **Datagramm (verbindungsloser Transportdienst)**
  - Datagramme werden unabhängig voneinander transportiert und laufen ggf. auch auf unterschiedlichen Wegen durchs Netz
  - Keine Kontextinformation innerhalb des Netzes
  - ➔ Flusssteuerung muss auf höheren Schichten erfolgen

- **Verbindungen (verbindungsorientierter Transportdienst)**
  - Kontext, etabliert durch Verbindungsaufbau
  - Kontextinformation beinhaltet Adressinformation und zusätzliche Verbindungsidentifikation (z.B. Portnummer bei TCP/UDP), wenn mehreren Verbindungen vom selben Dienstzugangspunkt ausgehen
  - ➔ Flusssteuerung durch Anpassung der Sendegeschwindigkeit



Flusssteuerung mit Halt-/Weiter-Meldungen

- **Einfachste Methode:**
  - Sender-Empfänger-Flusssteuerung
    - Meldungen:
      - **Halt**
      - **Weiter**
  - Kann der Empfänger nicht mehr Schritt halten, schickt er dem Sender eine **Halt**-Meldung.
  - Ist ein Empfang wieder möglich, gibt der Empfänger die **Weiter**-Meldung.

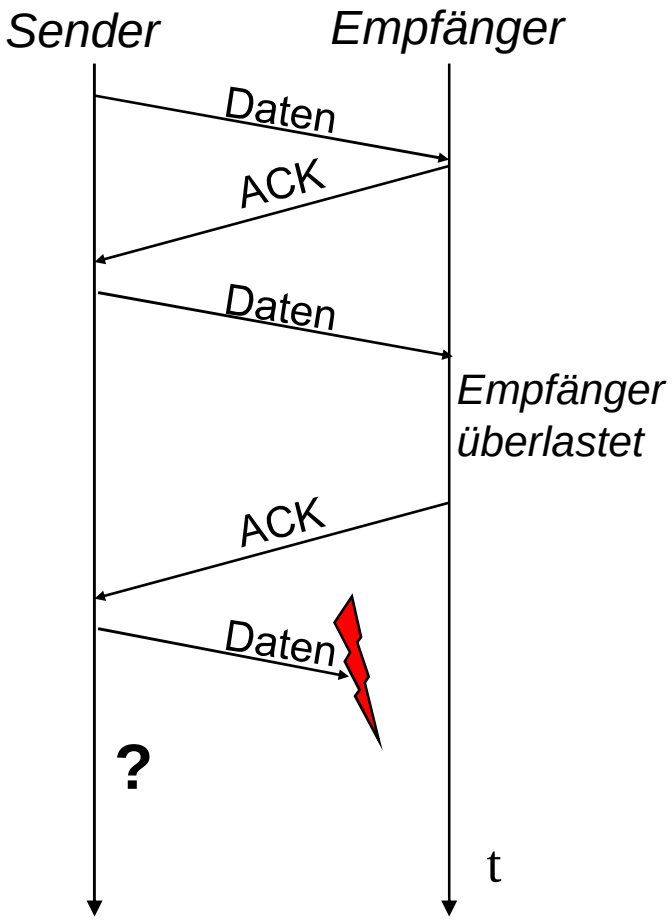


- **Beispiel:** Protokoll XON/XOFF
  - Mit ISO 7-Bit-Alphabetzeichen.
  - XON ist DC_1 (Device Control 1).
  - XOFF ist DC_3 (Device Control 3).
  - Nur auf Vollduplex-Leitungen verwendbar.

Implizite Flusssteuerung

- **Funktionsweise:**
  - Durch Zurückhalten der Quittung (z.B. ACK/NAK) kann der Sender gebremst werden.
  - Das bedeutet, dass ein Verfahren zur Fehlererkennung für die Flusssteuerung mitbenutzt wird.

- **Problem:**
  - Der Sender kann nicht mehr unterscheiden,
    - ob sein Paket völlig verloren ging, oder
    - ob der Empfänger die Quittung wegen Überlast zurückgehalten hat.
  - ➔ ineffizient



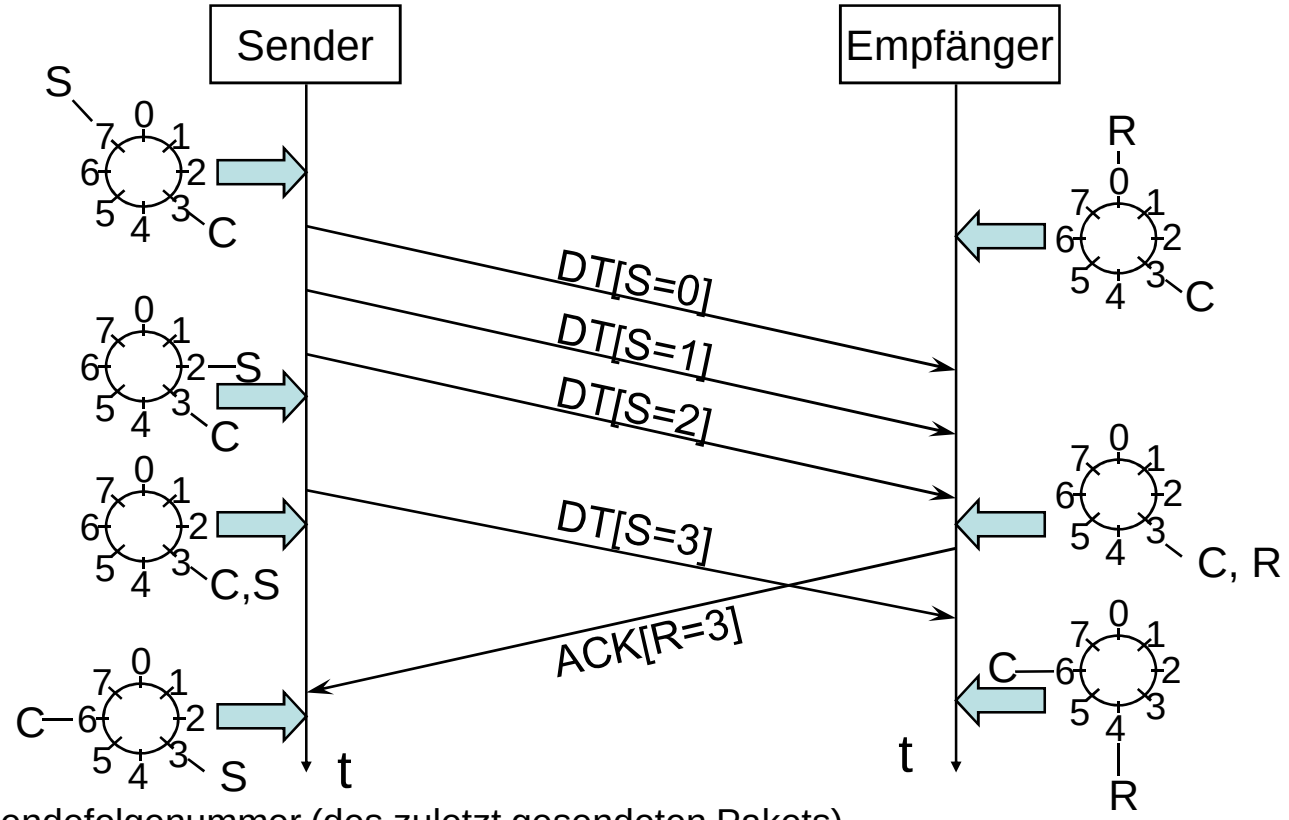
Kreditbasierte Flusssteuerung

- **Funktionsweise:**
  - Der Empfänger räumt dem Sender einen mehrere Transfereinheiten umfassenden Sendekredit ein.
  - Ist der Kredit (ohne neue Kreditgewährung) erschöpft, stellt der Sender den Transfer ein.
  - Dazu ist aber eine verstärkte Fehlerkontrolle, z.B. für den Verlust der neuen Kreditgewährung, erforderlich.

- **Realisierungsmöglichkeiten:**
  - Explizite Kreditgewährung:
    - Empfänger teilt dem Sender explizit den aktuellen Kredit mit.
  - Kreditfenster („Sliding Window“):
    - Mit jedem quittierten Paket wird das Kreditfenster verschoben.

Kreditbasierte Flusssteuerung: Sliding Window

- **Beispiel:** Fenstermechanismus (Kredit 4) für eine Senderichtung

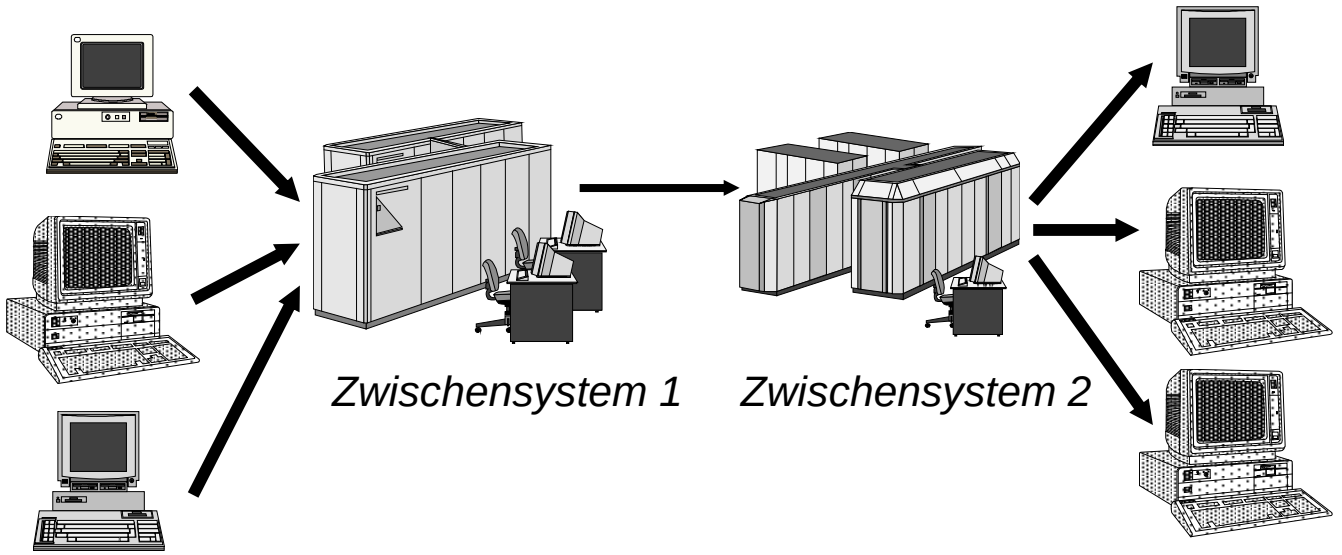


S: Sendefolgenummer (des zuletzt gesendeten Pakets)
R: Nächste erwartete Sendefolgenummer = Quittierung bis Folgenummer R-1
C: Oberer Fensterrand (maximal erlaubte Sendefolgenummer)

- **Nachteil:** Kopplung von Fluss- und Fehlerkontrolle.

7.1.3. Überlastung im Netzinnern

- **Ausgangspunkt:**
  - Mehrere Kommunikationsvorgänge werden im Netzinneren über dieselben Zwischensysteme abgewickelt.
- **Problem:**
  - Obwohl die Sender für sich keine sehr große Last produzieren, können die Ressourcenanforderungen der einzelnen Kommunikationsvorgänge in einem Zwischensystem zu einer Überlastsituation führen



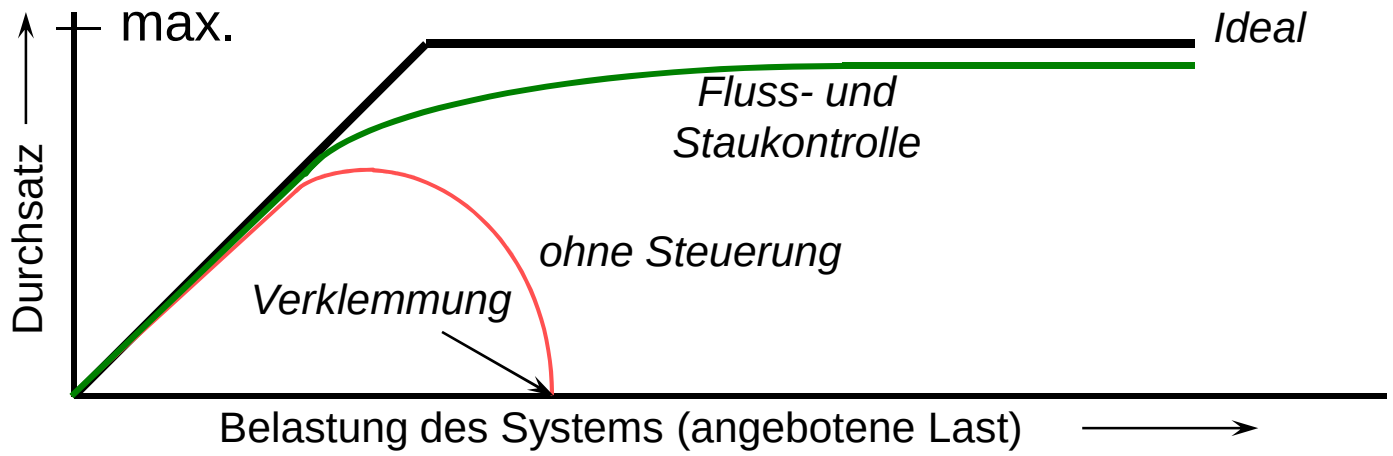
Netzüberlastung

- **Synonyme Begriffe**
  - Netzüberlastung
  - Network Congestion

- **Gefahren**
  - Pufferüberläufe in Zwischensystemen bei speichervermittelten Netzen
  - Bei leitungsvermittelten Netzen werden bei Überlast Verbindungswünsche abgewiesen (Besetzt-Fall)

- **Gründe für lokale oder globale Netzüberlastung**
  - Zu starker Zufluss von Transfereinheiten (Paketen)
  - Ausfall von Speichervermittlungen / Teilnetzen mit Verkehrsverlagerung auf andere Netzkomponenten
  - Zunahme transienter Störungen in Netzkomponenten

- **Begriffe**
  - Staukontrolle (Congestion Control)
  - (Über-)Lastkontrolle
  - Verkehrskontrolle (Traffic Control)
- **Problem und Ziel**
  - Im Überlast-/Staubereich sinkt im ungesteuerten Fall der Durchsatz bis zum totalen Netzstillstand, z.B. durch Verklemmungen (deadlock).
  - Erreichen eines „vernünftigen“ Netzverhaltens bei Hochlast-/Überlastbetrieb ist Ziel der Verfahren



Verkehrskontrolle versus Staukontrolle

- **Verkehrskontrolle/Staukontrolle:**
  - Mechanismen des Netzwerks, um Stausituationen zu vermeiden und Auswirkungen von Staus zu begrenzen (aus Standard ITU-T I.371)
  - **Verkehrskontrolle:** *präventive* Mechanismen zur Stauvermeidung
  - **Staukontrolle:** *reaktive* Mechanismen zur Begrenzung der Auswirkungen in Stausituationen
  - Die Begriffe werden oftmals nicht eindeutig benutzt!

- **Teilaufgaben der Verkehrskontrolle/Staukontrolle:**
  - Zugangskontrolle
  - Nutzungskontrolle

  } Präventiv (Verkehrskontrolle)

  - Prioritätskontrolle
  - Reaktive Staukontrolle

  } Reaktiv (Staukontrolle)

7.1.3.2. Anforderungen an die Verkehrskontrolle/Staukontrolle

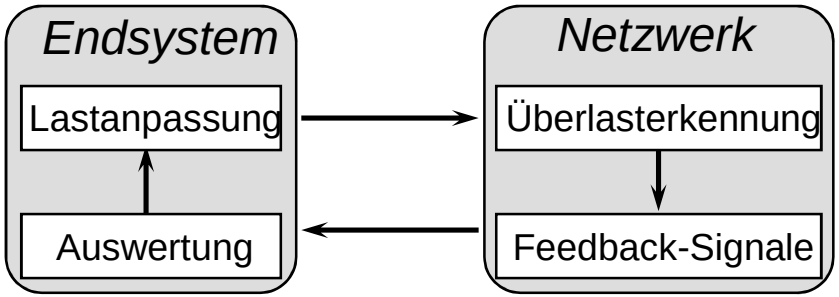
- **Überlastsituationen**
  - Netz ist nicht mehr in der Lage, Ressourcen zur vollständigen (garantierten) Durchführung der Dienste zur Verfügung zu stellen.
  - Verkehrskontrolle
    - Mechanismen, um Überlast möglichst zu vermeiden.
  - Staukontrolle
    - Mechanismen, um eine aufgetretene Überlast einzugrenzen und zu beheben.

- **Anforderungen an die Stau- und Verkehrskontrolle**
  - Einfachheit und Robustheit:
    - geringe zusätzliche Belastung des Netzes
  - Effektivität:
    - eine schnelle und wirkungsvolle Reaktion wird gefordert.
  - Fairness:
    - garantierte Dienste sollten eingehalten werden;
    - sich korrekt verhaltende Benutzer sollen von den Entscheidungen nicht betroffen sein;
    - jeder Benutzer soll angemessen berücksichtigt werden

7.1.3.3. Verkehrs-/Staukontrollverfahren

- **Im Endsystem**
  - Lokal vorliegende Informationen werden ausgewertet (wie z.B. Warteschlangenlänge, Anzahl negativer Quittungen, ...)
  - Die momentane Situation wird bewertet und durch lokale Aktionen zu verbessern versucht.
  - Dies betrifft
    - die weitere Verbindungsannahme,
    - das Verwerfen von ankommenden Paketen,
    - die Wegewahl, etc.
  - Ungenauigkeiten durch rein lokale Sichtweise.

- **Im Netzwerk**
  - Im Netzwerk verteilt arbeiten Mechanismen zur Überwachung der aktuellen Situation.
  - Bei Entdeckung einer Stausituation werden die relevanten Informationen an die entsprechende Stelle im Netz weitergegeben (Feedback).
  - Dort muss die Arbeitsweise dann an eine mögliche Stausituation angepasst werden.
  - Können selbst zum Stau beitragen!



Verkehrskontrolle: Pufferreservierung und Verwerfen von Paketen

- **Pufferreservierung**
  - Geeignete Verwaltung von Puffern in den einzelnen Speichervermittlungsstellen (auch in den Endstellen), z.B. durch rechtzeitige Allokation.
  - Eine Pufferreservierung kann z.B. bei der Verbindungsaufbauprozedur für eine virtuelle Verbindung erfolgen und über die ganze Verbindungsdauer erhalten bleiben.

- **Wegwerfen von Paketen**
  - In Hochlast-Situationen werden Pakete verworfen, die danach nochmals gesendet werden müssen
  - Umsetzung im Internet:
    - Active Queue Management, RFC2309
    - RED (Random Early Detection), RFC 2481, http://www.aciri.org/floyd/red.html

Verkehrskontrolle: Paketzahlbegrenzung und Rückstau

- **Begrenzung der Paketzahl im Netz**
  - Es existieren „Berechtigungspakete“.
  - Diese werden vom Sender benötigt, um ein eigenes Paket an das Netz zu geben.
  - Ein Empfänger erzeugt bei Entgegennahme eines Pakets ein neues Berechtigungspaket.

- **Rückstaumechanismen**
  - Sie regulieren den Zufluss von Paketen und halten diesen gegebenenfalls an.
  - Besonders an den Eintrittspunkten in das Netz von Bedeutung, z.B. unter Nutzung von Maßnahmen der Flusssteuerung.
  - Im Prinzip ist die Flusssteuerung auf die Abstimmung von Arbeitsgeschwindigkeiten der sendenden und empfangenden Endeinrichtungen ausgerichtet.
  - Sie ist daher eigentlich nicht für die Lösung von netzinternen Überlastproblemen gedacht.

Staukontrolle: Reaktion auf Paketverlust

- **Ziel:**
  - Fehlersituationen im Netz auf Grund von Überlastung, Ausfällen etc. entgegenwirken
- **Schema:**
  - Reaktive Verfahren (z.B. bei TCP) arbeiten daher gemäß dem folgenden allgemeinen Schema:
    - Wird ein Paketverlust erkannt, setze das Flusskontrollfenster auf 1.
      - Wird z.B. durch den Ablauf eines Zeitgebers oder den Empfang eines entsprechenden Kontrollpakets des Empfängers erkannt.
    - Erhöhe das Fenster im Zuge erfolgreich übertragener Pakete allmählich, um wieder den maximalen Durchsatz erzielen zu können.
    - Mitunter werden zwei Phasen unterschieden (z.B. Slow-Start bei TCP)
      - Bis zu einem gewissen Schwellwert wird die Fenstergröße verdoppelt.
      - Ab diesem Wert wird die Fenstergröße um 1 vergrößert.
      - Der Schwellwert kann aufgrund erfahrener Paketverluste angepasst werden.
- **Allgemein:**
  - Prinzipien wie AIMD (Additive Increase Multiple Decrease) führen zu einem stabilen Verhalten. AIMD:
    - Bei erfolgreicher Übertragung Fenstergröße additiv (z.B. +1) vergrößern.
    - Bei Misserfolg Fenstergröße multiplikativ (z.B. • 0,5) verkleinern.

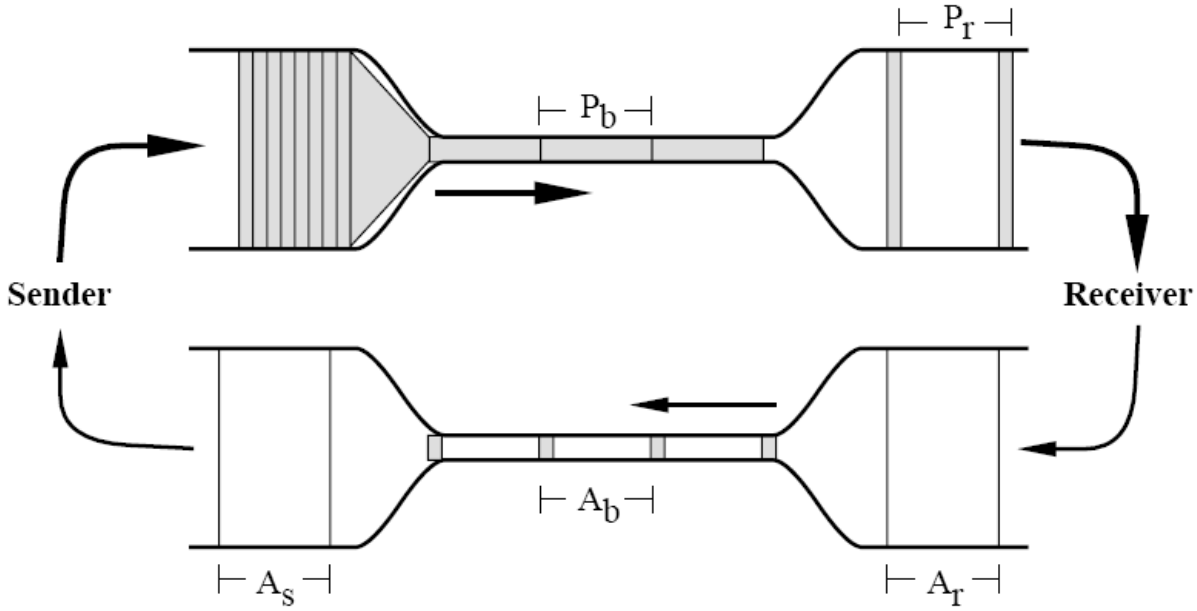
7.1.3.4. TCP: Flusssteuerung / Staukontrolle

- **Flusssteuerung** bei TCP:
  - regelt Datenfluss zwischen Endsystemen durch **kreditbasiertes Verfahren**
  - ACK-Feld im Paketkopf bestätigt alle niedrigeren Bytesequenznummern
  - Window-Feld gibt an, wie viele Bytes der Empfänger noch akzeptiert
- **Staukontrolle** bei TCP:
  - befasst sich mit Stausituationen in den Zwischensystemen
  - Problem: „congestion collapse“
    - Stau in Zwischensystemen führt oftmals dazu, dass Transportprotokolle nach einem Timeout Pakete wiederholen. ➔ Die Stausituation wird verstärkt!
  - Lösung: **„slow start“- und „multiplicative decrease“-Mechanismen**
    - Bei Datenverlust reduziert TCP den Schwellwert, bis zu dem eine Steigerung der Senderate möglich ist, auf die Hälfte des aktuellen Fensterwerts. (multiplicative decrease).
    - Nach einer Stauperiode wird die Fenstergröße um ein Datenpaket erhöht und weiterhin nach jeder empfangenen Quittung (slow start)
    - Der „slow start“ Mechanismus verhindert, dass direkt nach einem Stau zu hoher Verkehr auftritt

Staukontrolle nach Van Jacobson

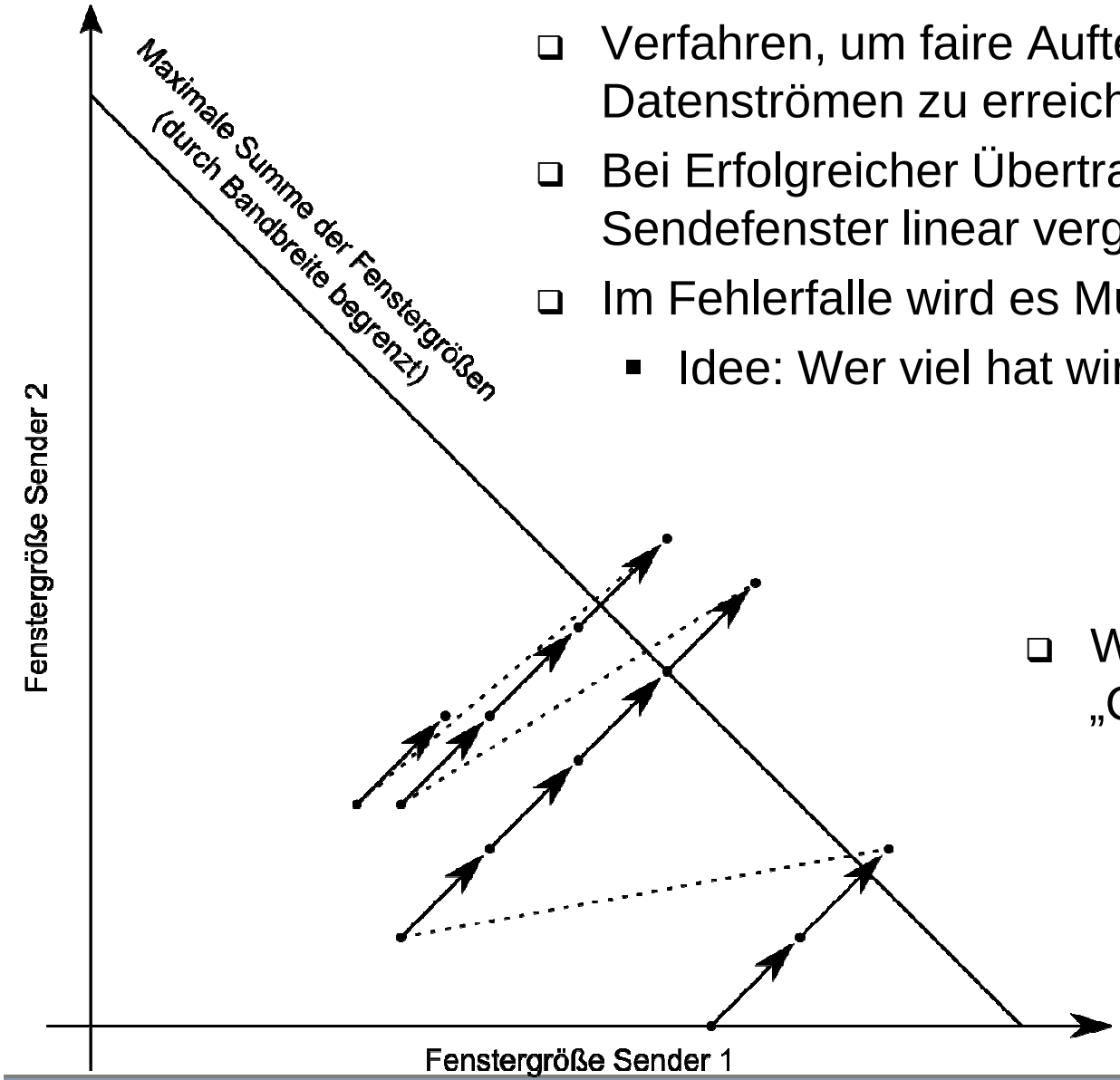
- Problem: Wir wissen im Endsystem normalerweise sehr wenig über das Netz. Alles was wir sehen ist, ob Bestätigungen für unsere Pakete ankommen.
- Selbsttaktung wenn die Größe richtig ist: Für jedes Segment, das das Netz verlässt könnten wir einfach ein Neues senden.
- Annahme bei TCP: Paketverluste sind Anzeichen von Congestion

Figure 1: Window Flow Control 'Self-clocking'



Bildquelle:
Van Jacobson. *Congestion aviodance and control*. In ACM SIGCOMM, pages 314 -- 329, August 1988

Additive Increase, Multiplicative Decrease - Intuition

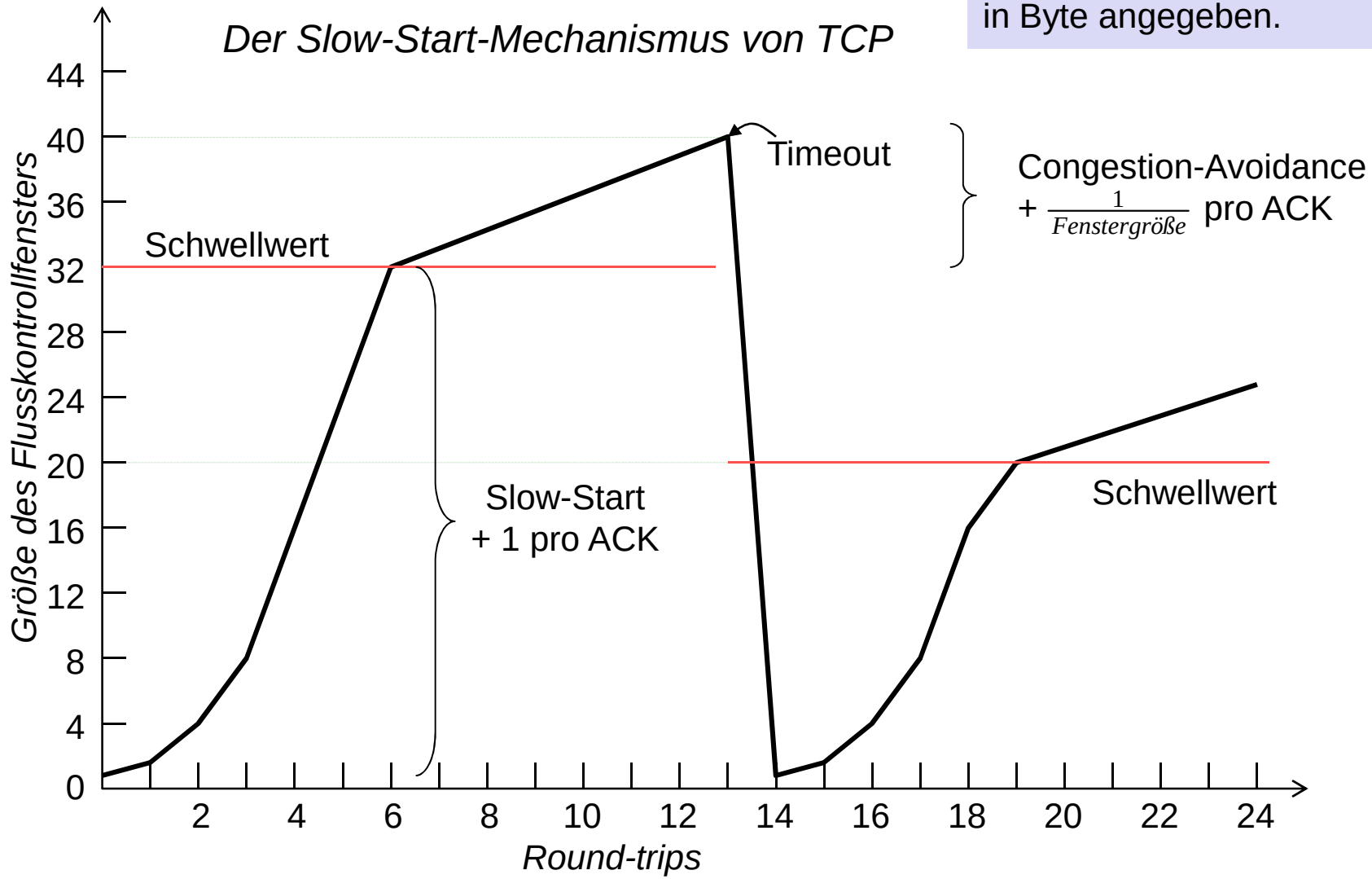


- Verfahren, um faire Aufteilung zwischen Datenströmen zu erreichen.
- Bei Erfolgreicher Übertragung wird das Sendefenster linear vergrößert.
- Im Fehlerfalle wird es Multiplikativ verkleinert.
  - Idee: Wer viel hat wird viel verlieren.

- Wird angewendet in der „Congestion Avoidance“ Phase der TCP Staukontrolle.

Beispielablauf der Staukontrolle

Der Einfachheit halber stellen wir hier die Fenstergröße in Paketen dar.
Tatsächlich wird sie bei TCP in Byte angegeben.



7.1.3.5. TCP: Fast Retransmit, Fast Recovery

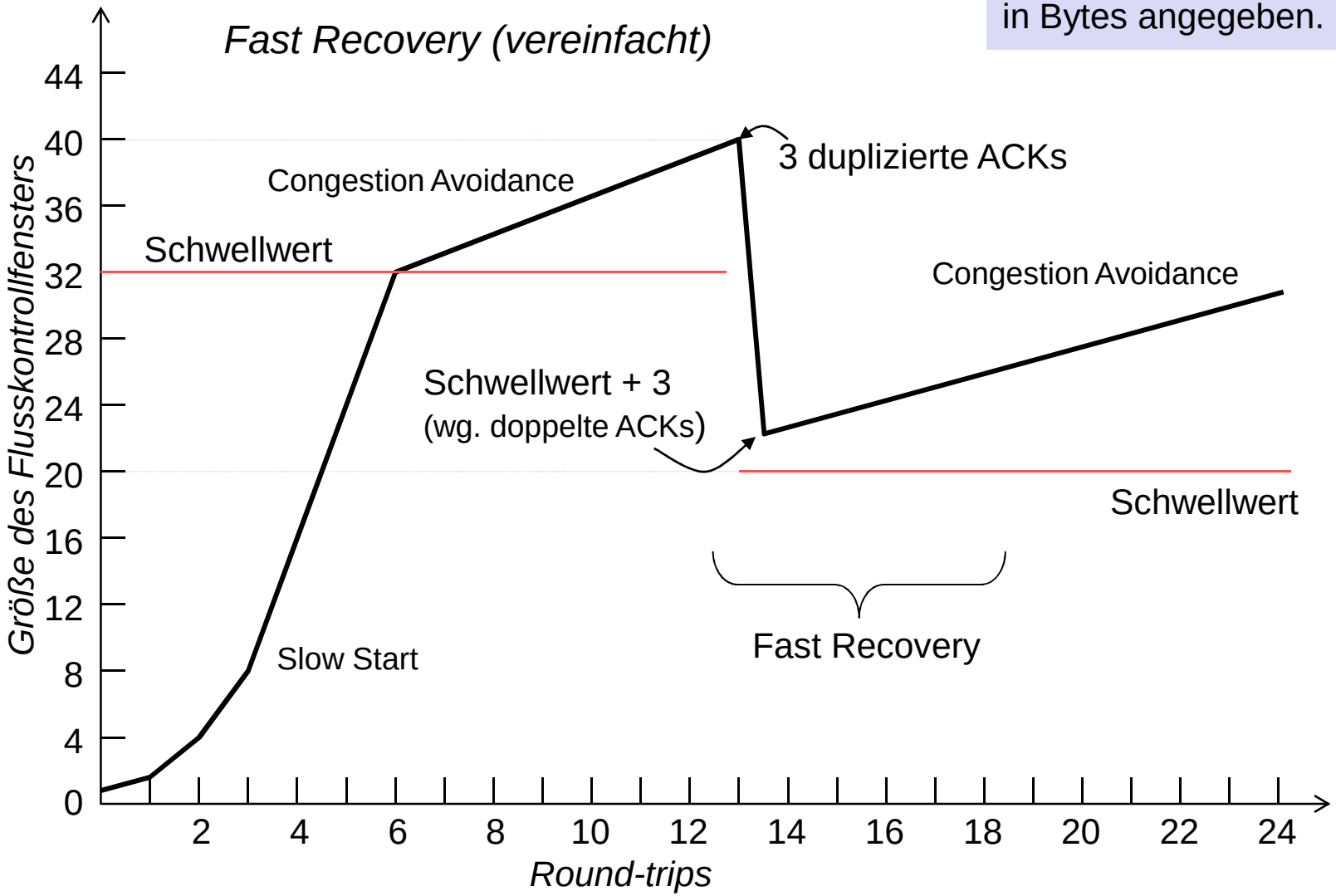
- **Fast Retransmit**
  - 3 duplizierte ACKs (also insg. 4) für Segment n
    ➔ Fehler erkannt ohne auf Timer zu warten
    ➔ erneute Übertragung (Retransmit) von Segment n
  - sonst wie bei Timeout

- **Fast Recovery (Vereinfacht)**
  - Fehlererkennung wie bei Fast Retransmit
  - kein Slow-Start!
  - Geht direkt über in Congestion Avoidance

```
Schwellwert = 0.5 CongestionWindow
CongestionWindow = Schwellwert + 3
Bei ACK mit neuer Sequenznummer (also nicht-dupliziertes ACK)
  CongestionWindow = Schwellwert
Übergang in Congestion Avoidance
```

Beispielablauf der Staukontrolle

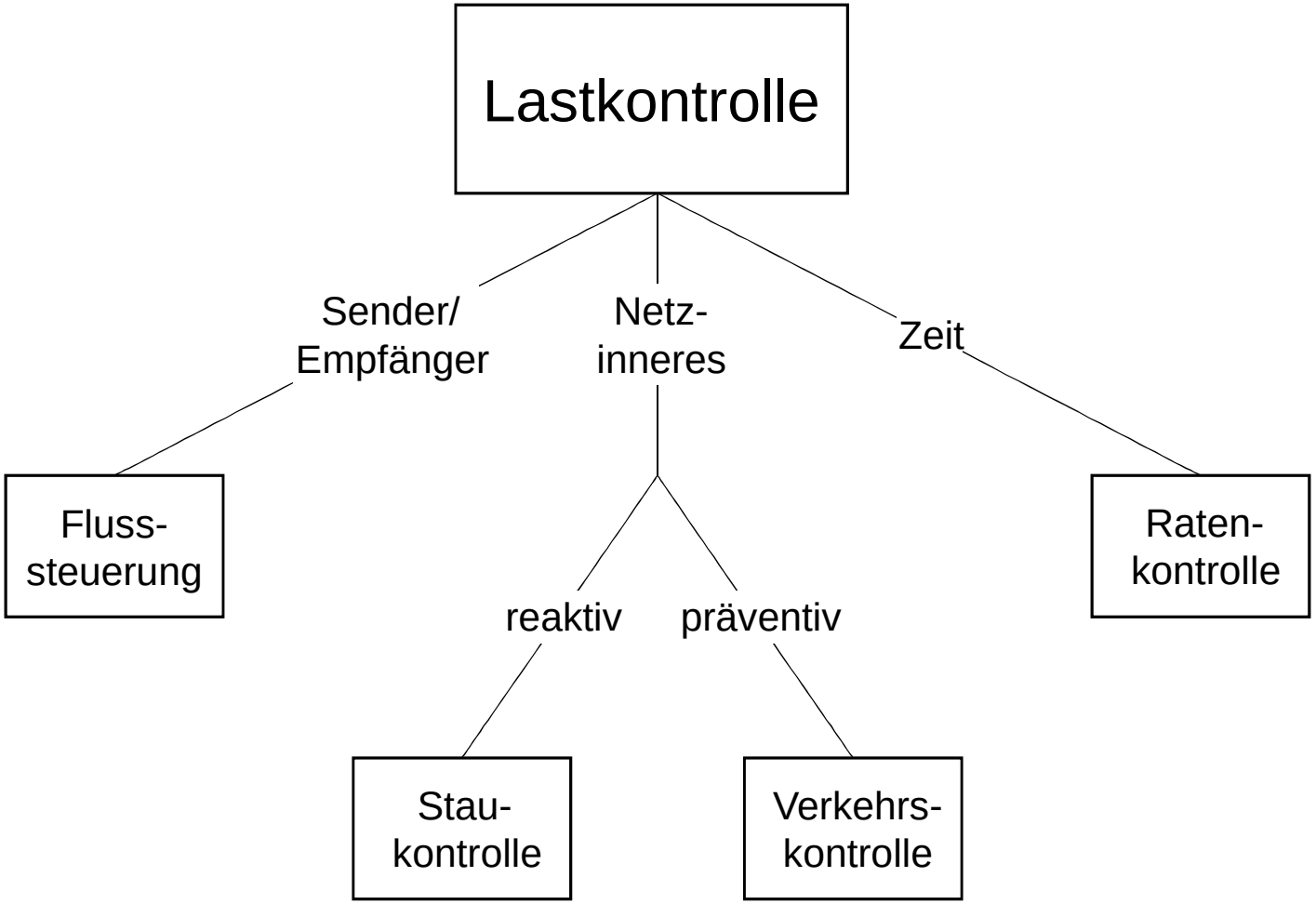
Der Einfachheit halber stellen wir hier die Fenstergröße in Paketen dar.
Eigentlich wird sie bei TCP in Bytes angegeben.



7.1.4. Ratenkontrolle

- Um die Zeit für rücklaufende Quittungen einzusparen und dennoch dem Sender nicht zu viele Freiheiten bei der Lasterzeugung zu lassen, wurde die Ratenkontrolle eingeführt:
  - Der Sender verhandelt mit dem Netz und dem Empfänger eine bestimmte Rate, d.h. eine Datenmenge pro Zeitintervall, die er schicken darf.
  - Er darf während des Zeitintervalls beliebig Daten senden, solange er die maximale Datenmenge nicht überschreitet.
  - Nach Ablauf des Zeitintervalls kann der Sender wieder über die maximale Datenmenge verfügen.

Zusammenfassung



7.2. Dienstgüte - Quality of Service (QoS)

- „**Quality of Service** is the collective effect of service performance, which determine the degree of satisfaction of a user of the service“

- ITU-T Recommendation E.800
  - Von der Zufriedenheit des Benutzers hängt die Güte des Dienstes (QoS) ab - jedoch fehlt die technische Überprüfbarkeit
  - Notwendig:
    - Dienstgüteparameter: beschreiben qualitative Eigenschaften eines Dienstes
    - Dienstklassen: beschreiben den Grad der Garantien
    - Dienstverträge: legen die zu garantierenden QoS-Parameter, deren Werte und den Grad der Einhaltung (Dienstklasse) fest.
    - Dienstgütemechanismen: Maßnahmen zur Einhaltung von Dienstverträgen
    - Management der Dienste: Verwaltung und Reservierung von Ressourcen

7.2.1. Dienstgüteparameter (QoS-Parameter)

- **Leistungsorientierte Dienstgüteparameter:**
  - Verzögerung
    - Ende-zu-Ende-Verzögerung (Delay)
    - Schwankung der Ende-zu-Ende-Verzögerung (Jitter)
  - Durchsatz:
    - min./mittl./max. Durchsatz (in [bit/s] oder [Pakete/s])
    - max. Länge [Pakete] oder Dauer [s] von Lastspitzen (Bursts)

- **Zuverlässigkeitsorientierte Dienstgüteparameter:**
  - Medienabhängige Fehlerraten:
    - z.B.: Bitfehlerrate des Übertragungsmediums
  - Ressourcenabhängige Fehlerraten:
    - z.B.: Paketverlustraten in den Warteschlangen der Zwischensysteme

- **Funktionale Dienstgüteparameter:**
  - Sicherheit
  - Gruppenkommunikation (Multicast)

Ressourcen

- **Ressourcenarten:**
  - Netzwerkressourcen
    - Übertragungskapazität (Bandbreite, Kanäle)
    - Übertragungszeit
  - (Zwischen- bzw. End-) Systemressourcen
    - Pufferspeicher
    - Rechenzeit

- **Reservierung von Ressourcen:**
  - durch Ressourcenmanagement
    - Verwaltung von Ressourcen (Belegung, Überwachung, Freigabe, ...)
  - Verteilung der Reservierungsnachrichten durch Reservierungsprotokolle
    - RSVP (Ressource ReserVation Protocol)
    - NSIS (Next Steps In Signalling protocol)

7.2.2. Dienstklassen (QoS-Klassen)

- **Deterministische Klasse:**
  - vorgegebene Schranken der QoS-Parameter werden exakt eingehalten
  - Ressourcen stehen einem Nutzer exklusiv zur Verfügung
  - keine Konflikte möglich, aber „Besetztfall“ (keine Ressourcen mehr übrig)

- **Statistische Klasse:**
  - vorgegebene Schranken müssen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eingehalten werden
    z.B.: die Ende-zu-Ende-Verzögerung muss für 95% der Pakete unter 100ms liegen.
  - Ressourcen werden bis zu einem gewissen Grad überbelegt
  - Konflikte möglich (je höher die Wahrscheinlichkeit der Garantie, desto geringer sind Ressourcenkonflikte)

- **„Best Effort“-Klasse („so gut es geht“):**
  - es werden keinerlei Garantien für Dienstgüteparameter gemacht
  - keine explizite Ressourcenreservierung für einzelne Verbindungen

7.2.3. Dienstgütemechanismen

- **Dienstgütemechanismen** dienen der Einhaltung und Überwachung von Dienstgüteparametern.

- Man unterscheidet deshalb:
  - Verkehrsmeter (Messen des Verkehrs)
    - Token Bucket
    - Average Rate Meter
  - Verkehrsformer (Beeinflussen/Formen des Verkehrs)
    - Verkehrsglätter (Traffic Shaper)
      - Token Bucket ➔ gibt durchschnittliche Rate und Burst-Größe vor
      - Leaky Bucket ➔ gibt maximale Rate vor
    - Verwerfer (Dropper)
    - Degradierer (Verringern der Dienstgüte oder -klasse)
    - Ändern des Warteschlangen- oder Prozess-Schedulings

7.2.4. QoS-Architekturen

- Eine **QoS-Architektur** definiert:
  - QoS-Parameter
  - Ressourcen
  - Ressourcenreservierung
  - Ressourcenmanagement
  - Dienstklassen
  - Dienstgütemechanismen

- Beispiele für QoS-Architekturen:
  - ATM
  - Integrated Services
  - Differentiated Services