

Inhalt

- Aufgaben und Funktionen

Die Vermittlungsschicht (Netzschicht) ist dafür verantwortlich, dass Pakete von einem Endsystem über das Netz und seine Zwischenknoten hinweg zum anderen Endsystem (Ende-zu-Ende) geleitet werden.

Die **OSI-Vermittlungsschicht (auch Netzschicht, network layer)** besorgt den Aufbau, den Betrieb und den Abbau von Netzverbindungen (d. h. Verbindungen der OSI-Schicht 3) zwischen Endsystemen. Die technische Realisierung dieser Funktionen wird als **Vermittlungstechnik** bezeichnet.

Aufgaben der Vermittlungsschicht

Die Vermittlungsschicht ist für die folgenden **Aufgaben** zuständig:

- **Routing:** dient der Ermittlung geeigneter Kommunikationspfade zwischen Quellen- und Zielsystem. Ein Pfad kann zahlreiche **Zwischensysteme** enthalten.
- **Fehlererkennung:** Fehler sollen soweit irgend möglich erkannt werden. Dazu werden auch Dienste der Sicherungsschicht genutzt.
- **Fehlerbehebung:** Fehler sollen in sinnvollem Umfang behoben werden. Im einfachsten Fall können fehlerbehaftete Pakete verworfen werden; falls die Vermittlungsschicht verbindungsorientiert arbeitet, können Übertragungswiederholungen bei der Fehlerbehebung helfen.
- Netzverbindungen über **Teilnetze** hinweg: Eine Netzverbindung kann über eine Anzahl von Teilnetzen führen, deren Dienstgüten erhebliche Unterschiede aufweisen können. In solchen Fällen gibt es zwei Möglichkeiten: 1. Die Teilnetze werden direkt miteinander verbunden. Dann ist die Dienstgüte des Gesamtnetzes vergleichbar mit der schlechtesten Dienstgüte der Teilnetze. 2. Das schlechteste Teilnetz wird durch zusätzliche Funktionen mit einer höheren Dienstgüte ausgestattet, die sich im Gesamtnetz bemerkbar macht.
- Erhaltung der **Paketreihenfolge:** Die Vermittlungsschicht kann möglicherweise die reihenfolgerichtige Zustellung der Pakete gewährleisten. Falls nicht, muss sich die darüber liegende Transportschicht darum kümmern.

Vereinbarung und Sicherstellung einer bestimmten **Dienstgüte:** Eine zu Beginn der Netzverbindung ausgehandelte Dienstgüte soll für die Verbindungsdauer garantiert sein. Hier kommen u. a. die folgenden Parameter in Betracht: 1. **Restfehlerrate:** Verhältnis der nicht berichtigten fehlerhaften, verlorenen oder duplizierten Pakete zur Gesamtzahl der Pakete. 2. **Verfügbarkeit** des Dienstes: Sie wird hauptsächlich durch Verfügbarkeit der Zwischenknoten und der Teilstrecken bestimmt. 3. **Zuverlässigkeit:** Wahrscheinlichkeit, dass Pakete fehlerfrei beim richtigen Empfänger ankommen. 4. **Durchsatz:** Die Anzahl der pro Zeiteinheit korrekt übertragenen Nutzdaten. 5. **Verzögerung:** Sie wird bestimmt durch die Laufzeit auf den Übertragungstrecken und die Warte- und Bearbeitungszeiten in den durchlaufenen Routern. 6. **Überlaststeuerung:** Die dem Anwender zugesagte Dienstgüte soll durch lokale Überlastung von Netzknoten und Teilstrecken nicht verschlechtert werden.

Vermittlungstechniken

Die **Leitungsvermittlung** (circuit switching) ist im **Telefonnetz** nach wie vor von großer Bedeutung. In der Regel wird eine **Wählleitung** (switched circuit) zu Beginn einer Kommunikationsbeziehung aufgebaut und nach deren Ende wieder abgebaut. Eine **Standleitung** (Mietleitung, leased line) ist eine zwischen zwei Teilnehmern fest geschaltete Leitung. **Synchrone Multiplex-Verfahren** werden eingesetzt, um auf einem breitbandigen, physischen Kanal gleichzeitig viele logische Verbindungen bereitzustellen. Hierfür werden, je nach physischem Kanal, die Multiplex-Verfahren TDM, FDM und CDM eingesetzt. Die **Paketvermittlung** (packet switching) bildet die Basis der eigentlichen Rechnernetze.

Bei der **verbindungslosen Paketübertragung** werden **Datagramme** (datagram) einzeln und unabhängig voneinander übertragen. Die **verbindungsorientierte** Paketübertragung nutzt **virtuelle Verbindungen** (Kanäle), die - ähnlich wie bei der Leitungsvermittlung - auf- und abgebaut werden. Die zu übertragenden Daten werden in der Regel in mehrere/viele Pakete zerteilt, die sequenziell übertragen werden. Der Fall der **Nachrichtenvermittlung** (message switching) ist hingegen dadurch gekennzeichnet, dass eine vollständige Nachricht des Benutzers auf einmal übertragen wird. Das Source Routing (Token Ring) kann als Sonderfall der Paketvermittlung betrachtet werden.

Alle Formen der Paketvermittlung benötigen Zwischenspeicher, die Pakete so lange zwischenspeichern, bis sie weitergeleitet werden können. Deshalb wird auch der Begriff Store and Forward für die Paketvermittlung verwendet.

Leitungsvermittlung

Konventionelle Kommunikationsnetze wie das öffentliche Telefonnetz (Fernsprechnet) verwenden das Prinzip der Leitungsvermittlung. Für jedes Paar von Kommunikationspartnern wird eine eigene, physische Verbindung aufgebaut und nach abgeschlossener Kommunikation wieder abgebaut. Durch den Verbindungsaufbau entsteht eine Wartezeit bis zum Beginn der Kommunikation. Dafür steht jederzeit eine garantierte Bandbreite zur Verfügung und die Verzögerung auf dem Übertra-

gungsweg ist konstant und minimal. Die Verbindungskosten sind proportional zur Verbindungsdauer, auch wenn darin Pausen enthalten sind.

Paketvermittlung

Bei der **Paketvermittlung** (packet switching) werden Nutzdaten in Pakete (packet) aufgeteilt, die zusammen mit anderen Paketen im asynchronen Zeitmultiplex über Teilstrecken übertragen werden. Teilstrecken sind über **Router** mit weiteren Teilstrecken verbunden, wodurch eine teilweise vermaschte Topologie entsteht. Die verschiedenen Varianten der Paketvermittlung bieten den Vorteil, dass die verfügbare Übertragungskapazität den Teilnehmern entsprechend ihrem Bedarf dynamisch zugeordnet werden kann. Die Kosten sind von der Zahl (und Länge,) der übertragenen Pakete abhängig, entsprechen also der tatsächlichen Nutzung des Netzes. Als Nachteil ergibt sich bezogen auf eine einzelne Kommunikationsbeziehung eine nicht garantierte Bandbreite sowie eine relativ große und variable Verzögerung.

Bei der Paketvermittlung werden die Zwischensysteme im Netz als Router bezeichnet. Der grundlegende Ablauf in einem Router besteht aus dem Zwischenspeicher ankommender Pakete (store), der Ermittlung des nächsten Zwischensystems auf dem Weg zum Ziel (Routing-Entscheidung, routing decision) und der Weitergabe (forwarding) über eine Warteschlange an der richtigen Ausgabeschnittstelle. Die Routing-Entscheidung wird anhand der Zieladresse - die sich im Header eines Pakets befindet - und der Routing-Tabelle getroffen. Der Begriff Routing bezieht sich auf die Erstellung der Routing-Tabellen.

In Abhängigkeit von Übertragungsfehlern, überlasteten oder zeitweise ausgefallenen Teilstrecken und Routern können bei der Paketvermittlung diverse Fehler entstehen:

- Pakete können verloren gehen.
- Die Pakete einer Kommunikationsbeziehung können in falscher Reihenfolge beim Empfänger ankommen und
- ein Paket kann mehrfach (als Duplikat) beim Empfänger ankommen.

Für die Beseitigung dieser Fehler ist die Transportschicht zuständig.

Frame Relay und ATM werden auch unter dem Begriff der Zellenvermittlung eingeordnet. Darüber hinaus werden Pakete auch über Netze mit Eigenschaften der Leitungsvermittlung übertragen. Beispielsweise wird SDH auch als Transportnetz für Pakete aller Art (IP-Datagramme, X.25-Pakete, Frame-Relay-Pakete, ATM-Zellen, ...) genutzt.

Zellenvermittlung

Die Paketvermittlung wird durch das Prinzip Store and Forward relativ langsam. Die Pakete werden vollständig gespeichert, Adressen ausgewertet und Prüfsummen überprüft bzw. neu berechnet. Zur Erhöhung der effektiven Übertragungsgeschwindigkeit wurden Konzepte wie Fast Packet Switching bzw. Fast Packet Relaying entwickelt. Die Grundidee dabei ist es, Pakete so schnell als möglich weiterzugeben. Das geht nur bei einfachen Paketstrukturen, bzw. wenn nur wenige Inhalte des ausgewertet werden müssen. Zusätzlich wird angestrebt, das Routing möglichst vollständig in Hardware statt in Software zu realisieren.

Vergleich der Vermittlungstechniken

Eine direkte Verbindung (bei der Leitungsvermittlung) benötigt keine Zwischenspeicherung im Netz. Bei Store and Forward ist zunächst eine Zwischenspeicherung auf Massenspeicher realisiert worden. Die Zwischenspeicherung auf einem schnellen Halbleiterspeicher wird durch den Begriff Hold and Forward abgegrenzt. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist die Existenz (bei der Leitungsvermittlung ist das Konzept einer PDU nicht notwendig) bzw. Länge der verwendeten PDUs (Protocol Data Unit).

Vergleich der Vermittlungstechniken

Vermittlungstechnik	Verzögerung	Art der Zwischenpufferung	PDU (Protokolldateneinheit)
Leitungsvermittlung	minimal	direkte Verbindung	transparenter Kanal
Nachrichtenvermittlung	hoch	Store and Forward	variable Länge (komplette Nachricht)
Paketvermittlung	mittel	Hold and Forward	variable Länge
Frame Relay Vermittlung (Schicht 2)	klein	Hold and Forward	variable Länge
Zellvermittlung	sehr klein	Hold and Forward	feste kleine Länge

Die Unterscheidung zwischen verbindungsloser und verbindungsorientierter Kommunikation ist auf der Vermittlungsschicht von besonderer Bedeutung.

Ein **verbindungsloser** Netzdienst (CLNS: Connectionless Network Service) überträgt jedes einzelne Paket (auch als **Datagramm** bezeichnet) unabhängig von vorangehenden oder folgenden Paketen. Dabei wird die Übertragung nicht garantiert, dieses Verhalten wird als best effort bezeichnet. Für jedes Paket wird in jedem Zwischenknoten eine Routing-Entscheidung

getroffen. Deshalb muss jedes Paket die Zieladresse enthalten. Als Konsequenz dieses Verfahrens können die einzelnen Pakete unterschiedliche Wege nehmen.

Je nach Verzögerung (Lauf- und Wartezeiten) kann die Reihenfolge des Eintreffens beim Empfänger verschieden sein von der Reihenfolge beim Absenden. Zudem können Datagramme verloren gehen oder Duplikate dem Empfänger zugestellt werden. Da die Datagramme einer Kommunikationsbeziehung unabhängig voneinander übertragen werden, ist eine Flusssteuerung nicht möglich. Ebenso kann dem Dienstanutzer keine Zusicherung bezüglich der erbrachten Dienstgüte gegeben werden.

Bei einem **verbindungsorientierten** Netzdienst (CONS: Connection Oriented Network Service) wird zuerst eine virtuelle Verbindung (virtuell bedeutet hier das Gegenteil von durchgeschaltet) aufgebaut. Dazu wird ein Datagramm-Paket verwendet, das in den durchlaufenen Knoten die aufzubauende Verbindung bekannt gibt und dafür eine Verbindungsidentifikation (Label) erhält. Wenn die Verbindung aufgebaut ist, nehmen alle folgenden Pakete denselben Weg, Somit genügt es, den Paketen die Verbindungsidentifikation mitzugeben. Adressen sind dann nicht mehr erforderlich. Es ist sichergestellt, dass die Pakete in der richtigen Reihenfolge beim Empfänger ankommen. Flusssteuerung, Dienstgüteaushandlung und Abrechnung/Tarifierung sind durchführbar.

Verkehrslenkung

Beim Aufbau von Nachrichtenverbindungen über vermaschte Netze besteht die Aufgabe, den Verkehr auf möglichst kurzem Wege und kurzer Zeit zu führen. Die Verkehrslenkung (Routing) umfaßt die Auswahl der Wegeabschnitte beim Aufbau von Nachrichtenverbindungen. Netzstruktur und Verkehrslenkung haben einen wesentlichen Einfluß auf die kostenoptimale Verkehrsführung unter Einhaltung einer garantierten Verkehrsgüte (Grade of Service). Zur Erreichung dieses Ziels werden zunehmend komplexere Verkehrslenkungsverfahren eingesetzt, welche im folgenden kurz dargestellt werden:

- a) Feste Verkehrslenkung
- b) Alternative Verkehrslenkung
- c) Adaptive Verkehrslenkung

a) Feste Verkehrslenkung

Bei fester Verkehrslenkung erfolgt die Auswahl der Wegeabschnitte zwischen Ursprung und Ziel nach Kriterien der kürzesten Entfernung unabhängig vom Belegungszustand des Netzes.

Realisierung

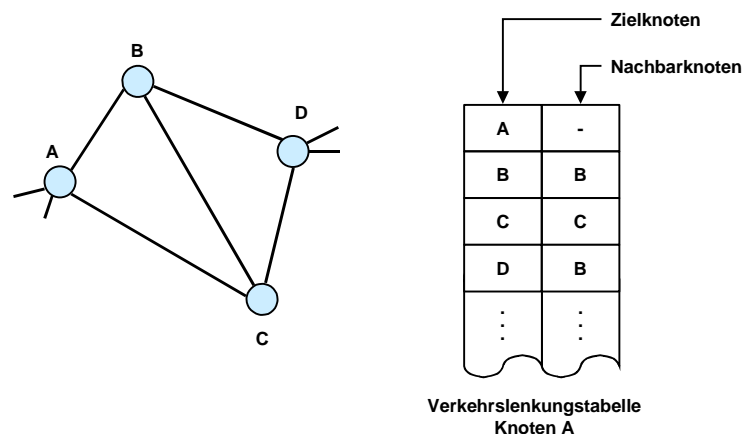


Bild: Feste Verkehrslenkung

- Verkehrslenkungstabelle enthält Strukturinformationen nach Kriterien der kürzesten Entfernung oder anderer Zweckmäßigkeit
- Anwendung bei Durchschalte- oder Paketvermittlung möglich
- Änderung nur bei Netzstrukturänderungen (selten) oder durch Netzführung für bestimmte Zeitdauer zur Erreichung eines bestimmten Ziels wie
 - Ausgleich tageszeitlicher Unterschiede
 - Umgehung einer ausgefallenen Trasse

b) Alternative Verkehrslenkung

Bei alternativer Verkehrslenkung wird der aktuelle Belegungszustand in den einzelnen Netzknoten berücksichtigt. Die Auswahl eines von mehreren Wegeabschnitten erfolgt durch Absuchen in einer fest vorgegebenen Reihenfolge.

Realisierung:

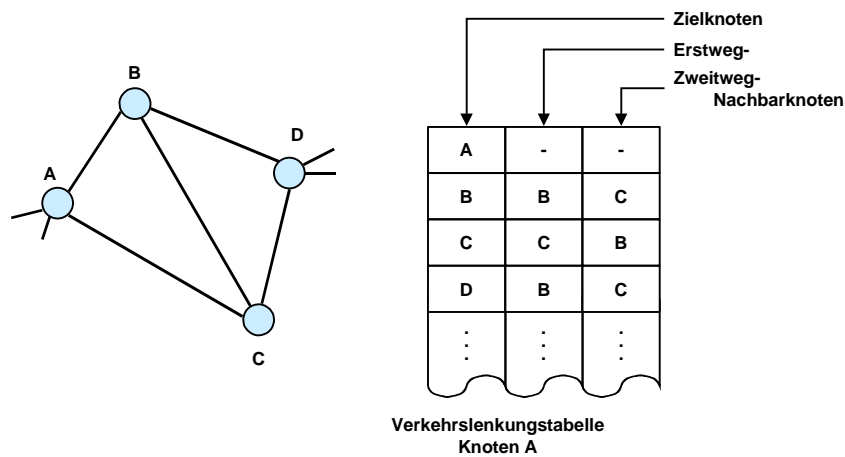


Bild: Alternative Verkehrslenkung

- Überlauf von Erstweg auf Zweitweg bei vollbelegtem Erstweg
- Mehrfachüberlauf möglich
- Staffeln nach Kriterien der kürzesten Entfernung
- Begrenzung der Anzahl von Alternativen sinnvoll
- Anwendungen bei Durchschalte- und Paketvermittlung möglich

Beispiel: Telefon-Fernnetz

c) Adaptive Verkehrslenkung

Bei adaptiver Verkehrslenkung erfolgt die Auswahl der Wegeabschnitte nach netzweiten Bewertungskriterien aufgrund des momentanen Belegungszustandes des gesamten Netzes.

Verkehrslenkung	Merkmal	Bewertungskriterien	
		CS	PS/MS
fest	ein Weg	--	--
alternativ	Erstweg + Folgeweg(e) je Knoten	Belegungszustand abgehender Leitungsbündel	Warteschlangenlänge abgehender Kanäle
adaptiv	mehrere Wege	von Ursprung bis Ziel durchgehend belegbarer Pfad im Rahmen zugelassener Wegabschnitte	Erwartungswert der Ursprungs-Ziel-Durchlaufzeit (Anzahl Wegabschnitte, Warteschlangenlängen)

Realisierungsformen

a) Zentralisierte, adaptive Verkehrslenkung

Einführung eines Netzwerk-Kontrollzentrums

- Periodische Registrierung des Belegungszustandes jedes Knotens
- Berechnung des jeweils optimalen Start-Ziel-Weges für jedes Paar Ursprung-Ziel
- Periodisches Laden der neuen Verkehrslenkungstabellen für nächsten Zeitabschnitt

Nachteil: Sicherheit gegen Ausfall
Verwaltungsaufwand (Netz-Overhead)
Alterung der Aktualität

b) Verteilte, adaptive Verkehrslenkung

Austausch von Belegungszustands-Informationen mit Nachbarknoten (periodisch oder Verbindungs-individuell)

Realisierung bei CS:

- Einführung zentraler Zeichenkanäle getrennt vom Nutzwegenetz
- Signalisierung über spezielles Signalisiernetz vom Ursprung bis zum Ziel
- Wegeauswahl nach Prinzip des kürzesten Weges mit gewissen Alternativen
- Durchschaltung nur im Falle eines durchgehend freien Pfades

Nachteil: Zeitaufwand
 Erfordert schnelles Signalisiernetz

Realisierung bei PS:

- Periodischer Austausch von expliziten Verkehrslenkungen mit allen Nachbarknoten
- Neuberechnung des neuen, günstigsten Nachbarknotens für jedes Ziel sowie der verbesserten Durchlaufzeitschätzung aus den empfangenen Informationen der Nachbarknoten und der erwarteten Verzögerung zu den Nachbarknoten
- Sukzessive Ausbreitung der aktualisierten Informationen über das Netz

Nachteil: Aktualität erfordert häufigen Austausch (Overhead)
 Robust gegen Einzelstörungen

c) Hierarchische und nichthierarchische Verkehrslenkung

- Hierarchische Verkehrslenkung liegt vor, wenn sich die Verkehrslenkung in der Staffelung der ausgesuchten Verbindungswege an der Netzhierarchie orientiert. Dies erfolgt im allgemeinen durch alternative Verkehrslenkung.
- Nichthierarchische Verkehrslenkung liegt vor, wenn mehrere Alternativen unabhängig von der Netzhierarchie zur Auswahl stehen und wenn der Verbindungsversuch alle Alternativen ausschöpft. Hierzu ist ein schnelles Signalisiernetz erforderlich, um diese Möglichkeiten voll ausschöpfen zu können.

Routing-Verfahren

Routing-Verfahren beschreiben, wie Routing-Tabellen erstellt werden.

Es gibt verschiedene Verfahrenstypen, die sich nach Bild 3.8 einordnen lassen.

- Bei **statischen** (nicht adaptiven) **Verfahren** wird die Routing-Tabelle einmal erstellt und dann nicht mehr verändert. Die Routing-Tabelle wird aufgrund festgelegter **Routing-Metriken** ermittelt. Statische Routing-Verfahren können jedoch nicht auf Veränderungen im Netz reagieren, so dass ihr Nutzen begrenzt ist.
- Adaptive (dynamische) Routing-Verfahren können sich der aktuellen Situation im Netz anpassen, indem die Routing-Tabellen regelmäßig oder bei Bedarf angepasst werden. Basis für die Anpassung sind ebenfalls Routing-Metriken.
- **Isolierte Routing-Verfahren** wählen den Ansatz, dass jeder Knoten nur die ihm verfügbare, lokale Information für seine Routing-Entscheidungen verwendet.
- **Zentrale Routing-Verfahren** übertragen die Ermittlung der Routing-Tabellen einer zentralen Stelle, die aufgrund ihrer umfassenden Information über den Zustand des Netzes qualitativ hochwertige Routing-Entscheidungen treffen kann. Die Reaktionsgeschwindigkeit auf Veränderungen im Netz kann jedoch gering sein. Ein zentral gesteuertes Routing erfordert eine ausfallsichere Plattform, um den Ausfall der gesamten Routing-Funktion zu verhindern. Außerdem kann es einen Engpass bilden, der die gesamte Übertragungsleistung des Netzes ungünstig beeinflusst.
- **Verteilte Routing-Verfahren** sind dadurch gekennzeichnet, dass jeder Router seine Routing-Entscheidungen selbstständig auf Basis der ihm zur Verfügung stehenden Information ermittelt. Die Nachteile des zentralen Routing werden dabei vermieden. In der Praxis werden hauptsächlich verteilte, adaptive Routing-Verfahren eingesetzt. Die wichtigsten Verfahren verwenden Distanz-Vektor-Algorithmen und Link-State-Algorithmen.

Die genannten Routing-Verfahren bzw. Elemente daraus lassen sich in vielfältiger Weise kombinieren.

Routing-Verfahren Fluten

Fluten (flooding) ist ein isoliertes, nicht adaptives Verfahren. Isoliert bedeutet, dass jeder Knoten nur die ihm verfügbare lokale Information verwendet. Diese kann die Länge einer Warteschlange vor einer abgehenden Leitung oder den Zustand eines Nachbarn beinhalten. Das Verfahren gibt jedes erhaltene Paket an alle Nachbarknoten weiter, mit Ausnahme des Knotens, von dem das Paket erhalten wurde. Dadurch entstehen viele Duplikate im Netz. Falls deren Lebensdauer nicht begrenzt wird, wird das Netz in kürzester Zeit hoffnungslos überlastet sein. Jedes Duplikat kann einen Zeitstempel erhalten, der es ermöglicht, das Paket nach Ablauf einer bestimmten Zeitspanne zu vernichten. Wenn einem Paket ein Zählwert (hop count) mitgegeben wird, der nach Durchlaufen eines jeden Zwischenknotens um Eins dekrementiert wird, kann das Paket beim Erreichen des Zählwertes null vernichtet werden. Das Fluten ist ein einfaches Verfahren, das zu einer hohen Netzlast führt. Es ist sehr robust und funktioniert auch dann, wenn viele Knoten ausfallen. Der kürzeste Weg wird immer gefunden, wenn auch später eintreffende Duplikate erkannt und verworfen werden müssen.

Routing-Verfahren Hot Potato

Ein Knoten, der ein Paket zur Weitergabe erhält, betrachtet dieses als "heiße Kartoffel", die er schnellstmöglich wieder loswerden möchte. Dazu kann das Paket auf die abgehende Leitung mit der kürzesten Warteschlange gelegt werden. Die Folge ist, dass Pakete erhebliche Umwege nehmen können, da nicht sichergestellt ist, dass die gewählte Leitung einen günstigen Weg in Richtung auf das Ziel ergibt. Das Hot-Potato-Verfahren ist empfindlich gegen Überlast, denn es werden immer noch Pakete angenommen, wenn der Weg zum Ziel bereits verstopft ist.

Überlaststeuerung

Ein Netz kann mit seinen Betriebsmitteln (Teilstrecken, Router) eine bestimmte **Last** (load, Übertragungsanforderungen) bewältigen. Wenn die Last existierende Kapazitäten gegen 100 % ausnutzt, liegt eine Überlast vor, auf die das Netz in geeigneter Weise reagieren muss.

Aufgaben

In einem Telefonnetz wird das Eintreten von Überlast verhindert. Falls die von einem Teilnehmer gewünschte physische Leitung mangels freier Teilstrecken nicht geschaltet werden kann, wird der Verbindungswunsch abgelehnt. Trotzdem wird bei vielen abgelehnten Verbindungswünschen eine hohe Belastung des Vermittlungssystems bestehen. Bei Paketnetzen kann eine Überlastsituation entstehen, wenn zu viele Pakete gleichzeitig übertragen werden wollen. Dadurch können Teilstrecken und/oder Router überlastet werden. Dies führt zu Wartezeiten für die Übertragung, die mit zunehmender Last stark zunehmen. Falls keine geeigneten Maßnahmen ergriffen werden, kann eine Überlast zum Kollaps führen. Die Aufgabe der Überlaststeuerung besteht also darin, bei jeder Teilstrecke und jedem Knoten die Last auf einen bestimmten Wert zu begrenzen.

Verfahren

Grundsätzlich sind zum Umgang mit Überlast die folgenden Ansätze verwendbar:

- **Überdimensionierung des Netzes** (overprovisioning): Das Netz wird so großzügig ausgelegt, dass keine Überlast auftreten kann. Dieser Ansatz ist aus wirtschaftlichen Gründen kaum praktikabel.

- Die **Überlast** wird aus dem Netz **entfernt**. Dies ist nur sinnvoll, wenn die Vermittlungsschicht Kriterien besitzt, welche Pakete entfernt werden sollen. Dazu können von den höheren Schichten Pakete geeignet markiert werden. Beispiele sind das DE-Bit bei Frame Relay und das CLP-Bit bei ATM.
- Quellen** werden **gedrosselt**. Die Quellen können vom Netz aufgefordert werden, vorübergehend weniger Verkehr in das Netz einzuspeisen. Dies können die Quellen auch von sich aus tun, wenn sie eine zu hohe Netzbelastung feststellen. Verfahren dieser Art werden beispielsweise in TCP genutzt.

Neue Kommunikationsbeziehungen werden - analog zum Telefonnetz nur zugelassen, wenn das Netz aktuell über genügend freie Kapazitäten verfügt. Dieser Ansatz wird in ATM (Admission Control) realisiert.

- (1) **Wegwahl** (*Routing*)
- (2) **Betreiben von Netzverbindungen**
- (3) **Multiplexen von Netzverbindungen** (*Multiplexing*)
- (4) **Blocking und Segmentieren**
- für bessere Auslastung der Netzverbindung
- (5) **Fehlererkennung** (Error Detection)
- (6) **Fehlerbehebung** (Error Recovery)
- (7) **Reihenfolgeerhaltung** (Sequencing)
- (8) **Flusskontrolle** (Flow Control)
- (9) **Überlastabwehr** (Congestion Control)

Bild: Funktionen der Netzschicht

- (1) **Netzadressierung**
- (2) **Betrieb von Netzverbindungen**
- (3) **Einrichtung von Verbindungsendpunkt-Identifikatoren**
- (4) **Übertragung von Netz-Dienstdateneinheiten**
- (5) **Einrichtung und Sicherstellung der Dienstgüte-Parameter**
- (6) **Benachrichtigung über Fehler** (Error Notification)
- (7) **Reihenfolgeerhaltung** (Sequencing)
- (8) **Flusskontrolle** (Flow Control)
- (9) **Überlastabwehr** (Congestion Control)
- (10) **Beschleunigte Übertragung** (Expedited Data, optional)
- (11) **Verbindungsabbau** (Connection Release)
- (12) **Unbedingter Verbindungsabbruch** (Reset, optional)

Bild: Dienste der Netzschicht

- **Restfehlerrate** (*Residual Error Rate*)
Verhältnis von nicht entdeckten fehlerhaften, dupliziert oder verlorengegangenen Paketen zu Anzahl der insgesamt weitergegebenen Pakete
- **Verfügbarkeit des Dienstes** (*Service Availability*)
z.B. von Verfügbarkeit der Netzknoten beeinflusst
- **Zuverlässigkeit** (*Reliability*)
beeinflusst durch etwaige Ausfälle von Übertragungskanälen
- **Durchsatz** (*Throughput*)
pro Zeiteinheit korrekt weitergeleitete Daten
- **Übertragungsverzögerung** (*Transit Delay, End-to-End Delay*)
zusammengesetzt aus Laufzeit der einzelnen Pakete und Summe der Verarbeitungszeiten in beteiligten Knoten

Bild: Netzschicht: Dienstgüte-Parameter

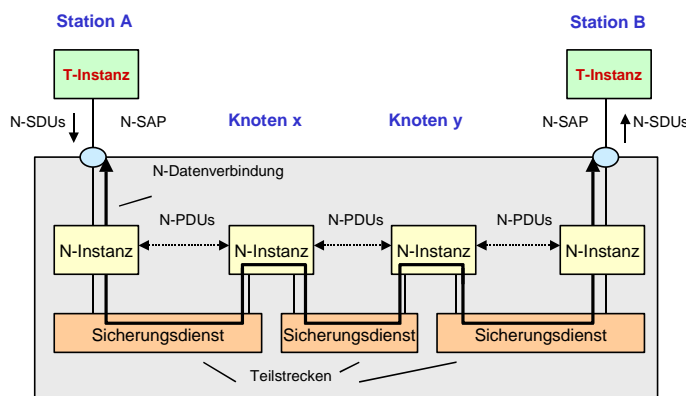


Bild: Vermittlungsdienst

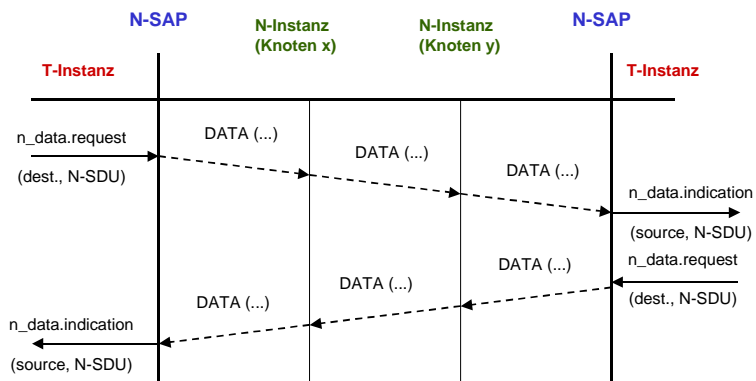


Bild: Datagram-Vermittlung

Dienst	req.	ind.	resp.	conf.	Parameter
Aufbau/Abbau:					
connect	x	x	x	x	Adressen der Verbindung vorrangiger Datentransfer, Bestätigungen, QoS, Information N-SDU
disconnect	x	x			Antwort. Adresse (bei Rückweisung), Grund
Transferphase:					
data	x	x			Information N-SDU
data_acknowledge	x	x			
expedited_data	x	x			Information N-SDU
reset	x	x	x	x	Adressen der Verbindung

QoS = Quality of Service (Dienstgüteparameter)

Bild: Verbindungsorientierte Vermittlungsdienste