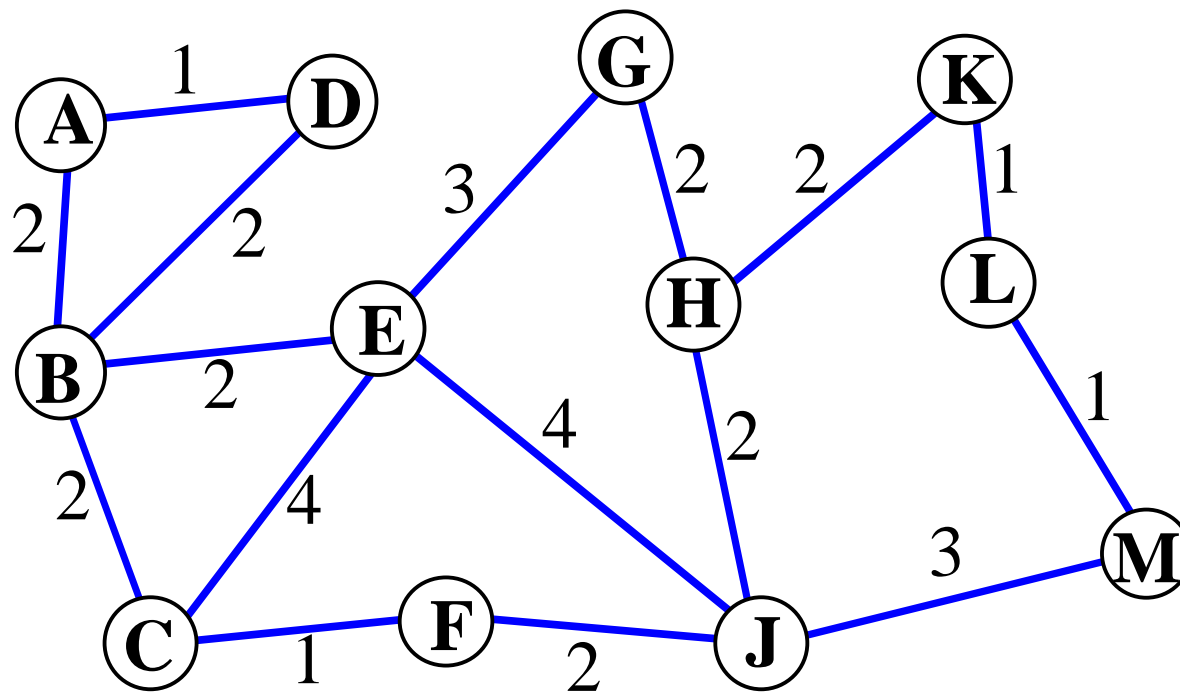




## 9.2. Weglenkungstabelle

- Zieladresse im Paket gibt nicht den gesamten Weg, sondern nur den Zielknoten an.
- Im Prinzip muss jeder Netzknoten eine vollständige Weglenkungstabelle halten.
- Berechnung einer Tabelle:
  - Kürzester Pfad (Distanz, Laufzeit, ...),
  - Kostengünstigster Pfad,
  - Alternative Pfade,
  - Lastabhängig.



## 9.2.1 Tabelle für den Knoten E:

- Rekursive Berechnung mit zunehmendem "Hop-Count".
- Hop-Count=1 (Distanz in „Hops“, Kosten als Ziffer neben Link):

nach	A	B	C	D	F	G	H	J	K	L	M
<b>via</b>		<b>B</b>	<b>C</b>					<b>J</b>			
oder											
Distanz		1	1					1			
Kosten		2	4					4			

.Hop-Count=3:

nach	A	B	C	D	F	G	H	J	K	L	M
<b>via</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>G</b>	<b>G</b>	<b>J</b>	<b>G</b>	<b>J</b>	<b>J</b>
oder	C	C	B	C	J	J	J	C	J	G	G
Distanz	2	1	1	2	2	1	2	1	3	3	2
Kosten	4	2	4	4	5	3	5	4	7	8	7

## 9.3. Vermittlungstechniken

### 9.3.1 Fest geschaltete Verbindungen:

- Weglenkung und Wählvorgang entfällt.
- Permanente Leitung zw. 2 Endpunkten - z.B. im Fernmeldeamt gelötet oder gesteckt.
- sog. HfD-Leitungen ("Hauptanschluß mit fester Durchschaltung", Standleitung) können bei der Telecom angemietet werden.

### 9.3.2 Rundspruch in LAN-Segmenten

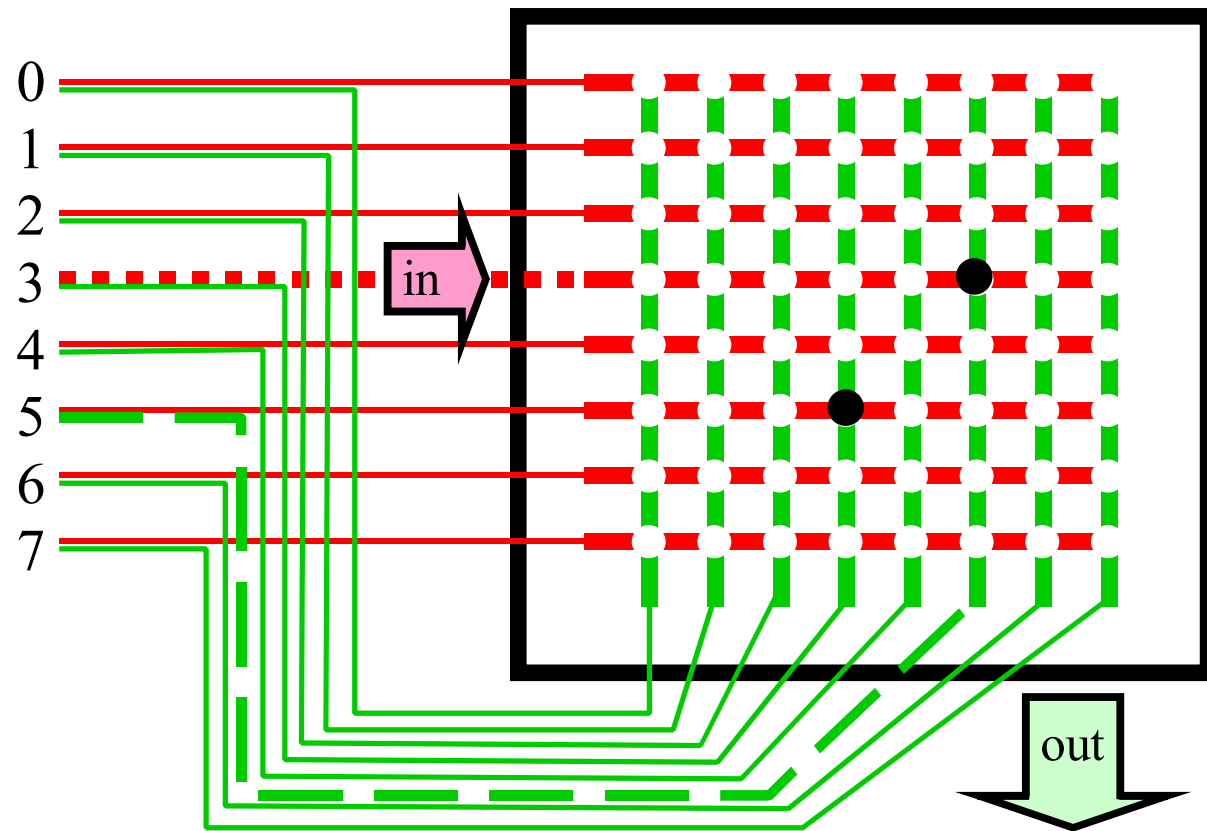
- Meldungen in einem Lokalen Netz führen bei jedem Teilnehmer des aktuellen Netzsegmentes vorbei.
- Der angesprochene Teilnehmer empfängt die Meldung (NIC erkennt Adresse).
- Das Suchen eines Pfades vom Sender zum Empfänger und damit auch die Weglenkungsfunktion entfällt.
- Weglenkung ist erforderlich, wenn ein LAN aus mehreren Segmenten besteht.

### 9.3.3 Netze mit Leitungsvermittlung:

- Auf Wunsch baut das Netz einen temporären Übertragungskanal auf.
- Verbindungswunsch des Teilnehmers spezifiziert die globale Adr. des Komm.partners.
- Die Partneradresse wird nach dem Verbindungsaufbau nicht mehr benötigt:
  - reines Sprachsignal übertragen,
  - PCM-Abtastwerte übertragen,
  - Datenpakete nur noch mit Prüfsumme,
  - Reihenfolge der Pakete ist garantiert.
- Eventuelles Submultiplexing innerhalb des Übertragungskanals vom Netz ignoriert.
- "Switched Circuits", geschaltete Kanäle mit garantierter Bandbreite:
  - im öffentlichen Telephonnetz als Sequenz von Ü-Medien und Subkanälen,
  - in alten Nebenstellenanlagen als Draht,
  - im ISDN als Kanäle mit 64 KBit/sec.,
  - im Datex-L der Bundespost (X.21).

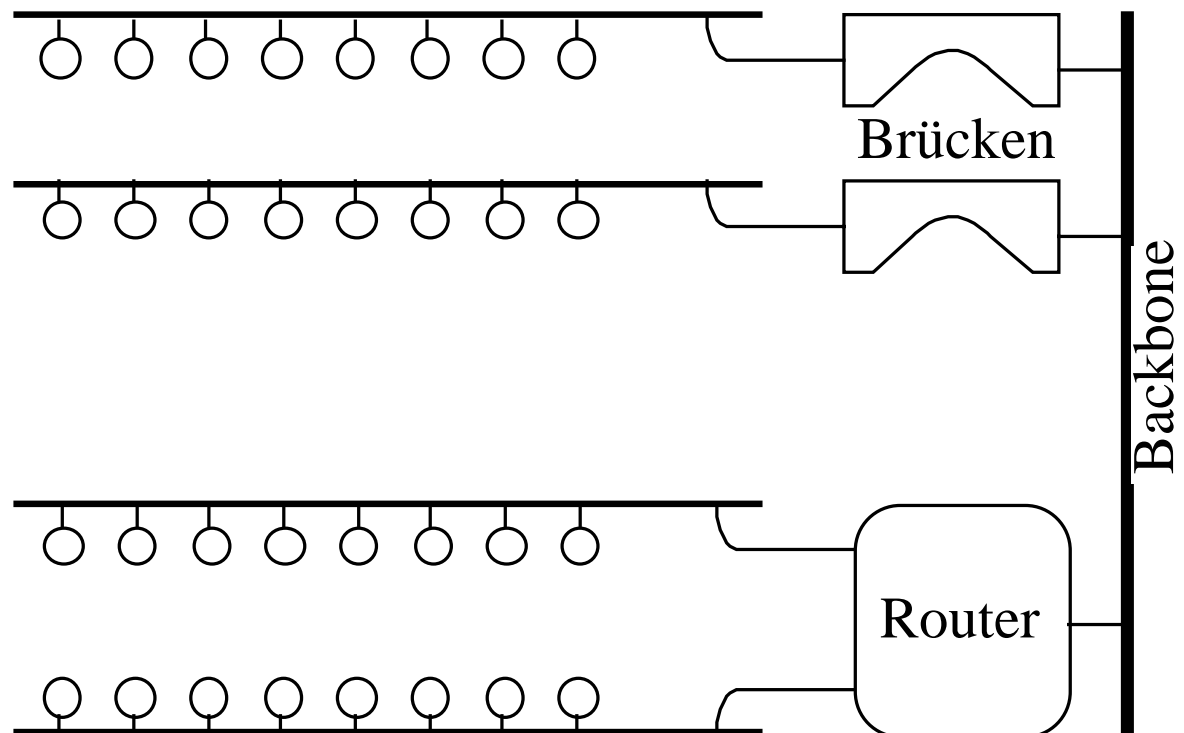
## 9.3.4 Koppelfelder

- Bilden das Herzstück eines (Leitungs-)Vermittlungsknotens:
- Zeit- & Raumkoppelfelder.
- Elektrische Realisierung:
  - Motordrehwähler & Relaiskontakte,
  - Kreuzschienenverteiler,
  - Bus mit Zeitschlitten,
  - MTS-Schaltkreis ...



### 9.3.5 Netze mit Paketvermittlung:

- Ankommende Pakete werden im Vermittlungsknoten zwischengespeichert.
- Der Paket-Header wird analysiert und das Paket wird entsprechend weitergeleitet.
- Zwischen den Vermittlungsknoten bestehen normalerweise feste Leitungen.
- Mehrfachnutzung:
  - der physikalischen Übertragungskanäle zwischen den Vermittlungsknoten,
  - des Hauptanschlusses zur gleichzeitigen Kommunikation mit mehreren Partnern.
  - Figur Pakete mit Zwischenknoten###
- Paketvermittlung läuft auch zwischen den verbundenen Segmenten eines Lokalen Netzes (LAN oder MAN):



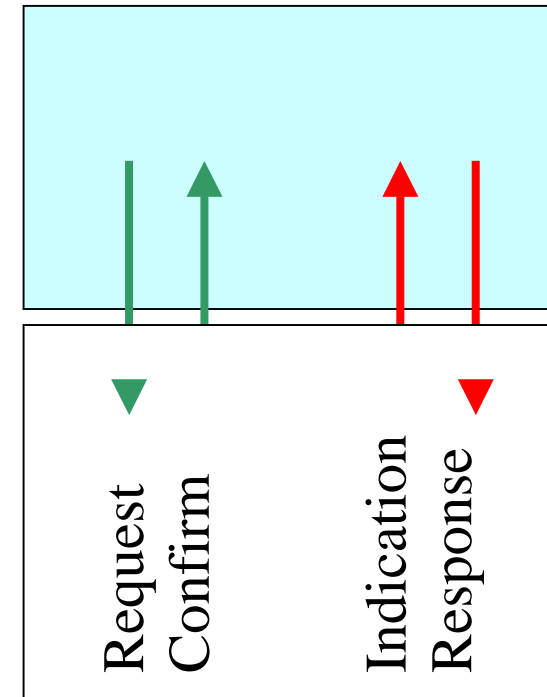
## 9.4. Paketvermittlungsalternativen

- Verbindungsloser Dienst erfordert Fehlerkontrolle auf der darüberliegenden Transportschicht.
- Schnittstelle zum Fernmeldenetz liegt zwischen Netzwerk- & Transportebene.
- Die PTTs wünschen Verbindungen:
  - Abrechnungsmöglichkeit,
  - Mehrwertangebot.

Aufgabe	Verbindungsorientierter Dienst (Virtual Circuit)	Verbindungsloser Dienst (Datagram)
Initialisierung	Erforderlich	nicht möglich
Zieladresse	beim Aufbau	in jedem Paket
Aufwand	Hoch	Niedriger
Paketreihenfolge	Garantiert	Nicht garantiert
Fehlererkennung	Ja	Nein (CRC)
Flusskontrolle	Ja	Nein
Prioritätsdaten	Ja	Nein
Opt. aushandeln	Ja	Nein
Verbindungs-ID	Ja	Nein

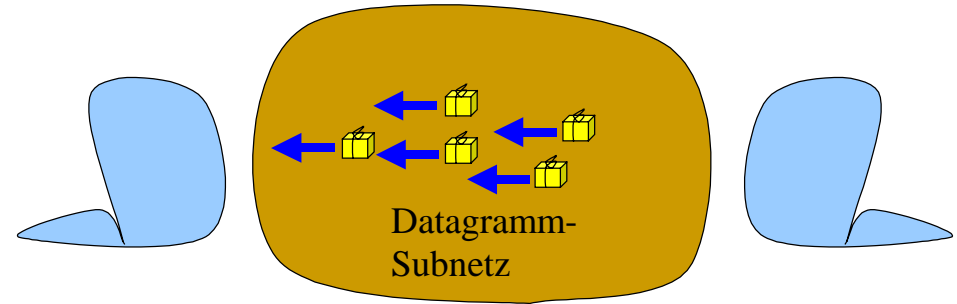
## 9.4.1 ISO Dienstprimitive

- Allgemein 4 Typen:
  - Request - Befehl an das Netz
  - Indication - Mitteilung vom Netz
  - Response - Antwort an das Netz
  - Confirm - Bestätigung vom Netz.
- VC Network-Primitives:
  - N-CONNECT.request, ..confirm, ..indication, .. response,
  - N-DISCONNECT.request/indication,
  - N-DATA.request/indication,
  - N-DATA-ACKNOWLEDGE. request/indication,
  - N-EXPEDITED-DATA. request/indication,
  - N-RESET.request .. confirm;
- Datagram Network-Primitives:
  - N-UNITDATA.request/indication.
- Parameter nach Bedarf:
  - Dienstqualität, Ablieferungsbestätigung,
  - Expresspakete, Userdata ...



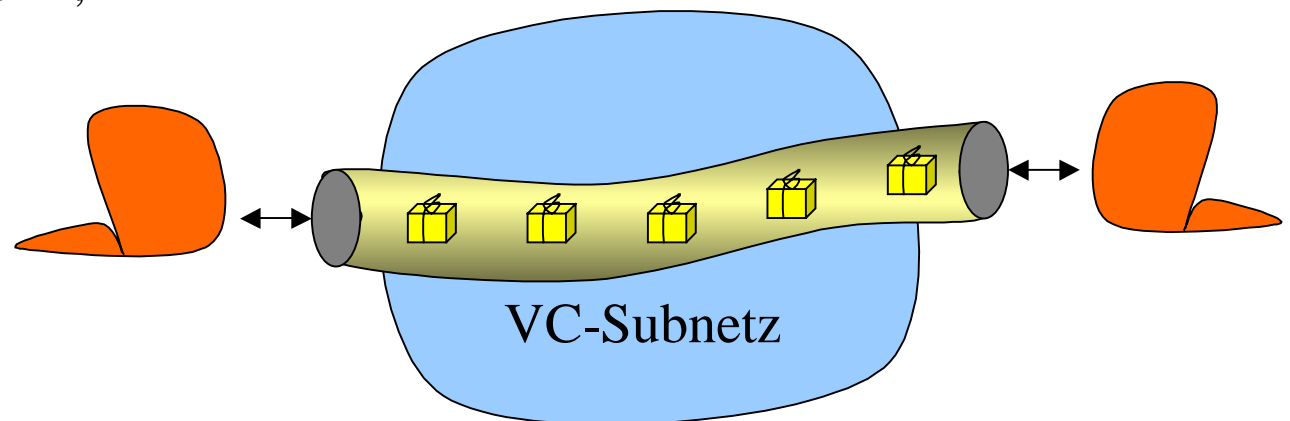
## 9.4.2 Datagrammdienst

- Analog zur Briefpost.
- Jedes Paket sucht sich seinen eigenen Weg durchs Netz:
  - vollständige Adresse nötig,
  - keine Verbindungsaufbauzeiten,
  - Pakete können sich überholen,
  - keine Flusskontrolle,
  - Weglenkungsentscheidung pro Paket.



## 9.4.3 Virtuelle Verbindungen (v. circuit)

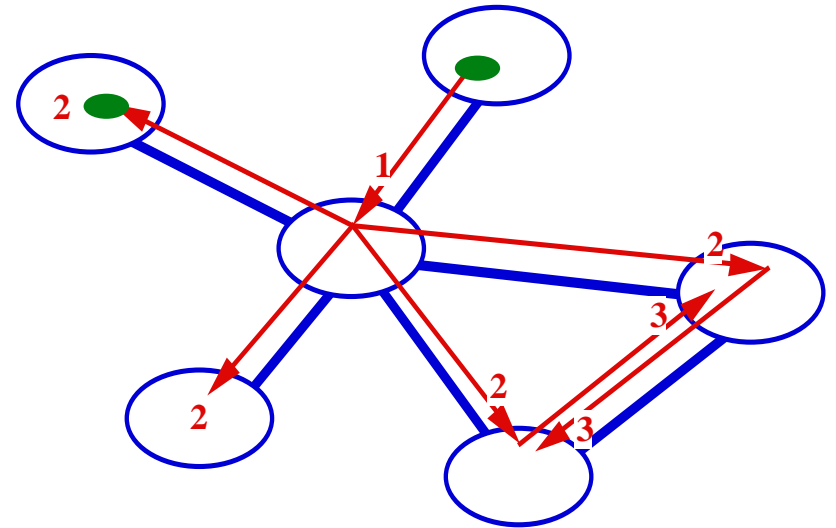
- Analog zum Telefonnetz (phys. Verb.).
- Alle Pakete nehmen denselben Weg:
  - Wegentscheidung beim Verb.-Aufbau,
  - Weglenkung anhand von Verb.-ID,
  - Nur Expresspakete überholen.



## 9.5. Weglenkungsstrategien

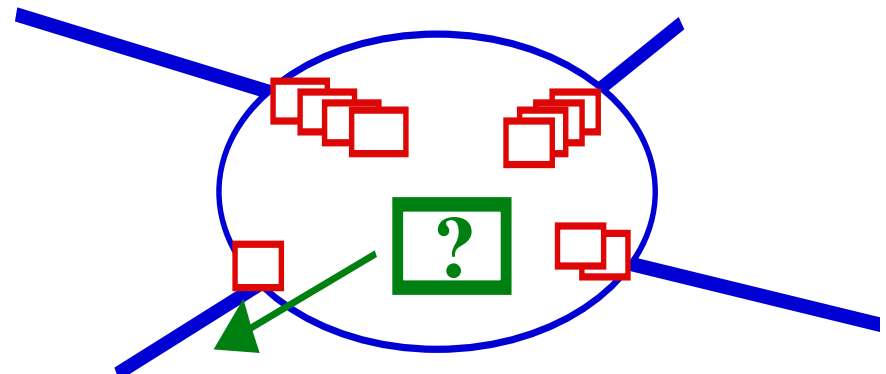
### 9.5.1 Fluten als triviale Strategie

- Nachbarn ausser dem Lieferanten erhalten Kopie:
- Verschwendung von Übertragungskapazität.
- Lebensdauer eines Paketes muß begrenzt werden (z.B. maximal 7 "Hops").
- Militärischer Anwendungsfall denkbar.



### 9.5.2 "Hot Potato" Routing

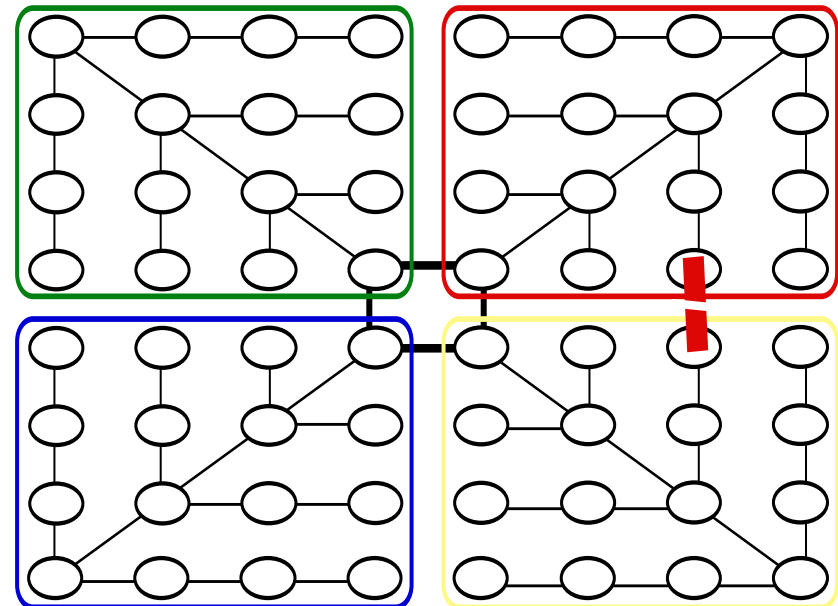
- Meldungen werden immer auf der am wenigsten belasteten Leitung weitergegeben.
- Z.B. Länge der Warteschlange beachten.



## 9.5.3 Hierarchische Weglenkung

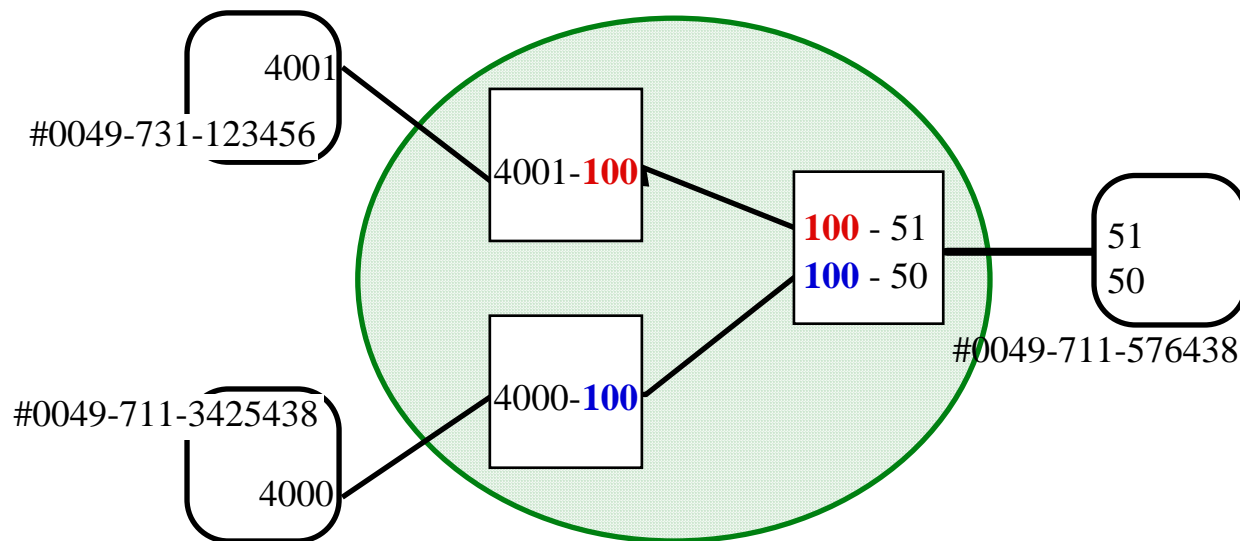
- Einteilung des Netzes in Regionen.
- Erfordert hierarchische Netzwerkadresse:
  - Telefon#: **++49-731-50-24140**
  - E-Mail: **THOMPSON@CS.YALE.EDU**
- Reduzierte Größe der Weglenkungstabellen.
- Reduzierter Datenverkehr beim Verteilen der Weglenkungstabellen.
- z.B. bei 64 Knoten:

ohne Hierarchie:	63	Einträge/Tabelle,
2 Bereiche:	1+31	Einträge/Tabelle,
4 Bereiche:	3+15	Einträge/Tabelle,
8 Bereiche:	7+7	Einträge/Tabelle,
16 Bereiche:	15+3	Einträge/Tabelle,
32 Bereiche:	31+1	Einträge/Tabelle.
- Unter Umständen suboptimales Routing, da der direkte Pfad nicht gefunden wird =>



## 9.5.4 Virtual Channel Switching:

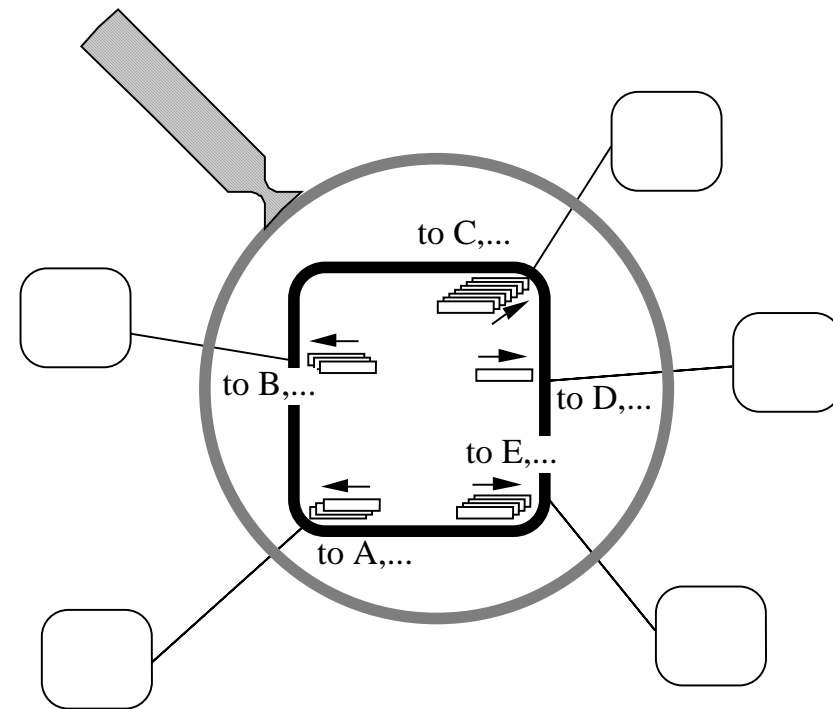
- Die Verbindungsaufbauphase verwendet eine reguläre Routing-Table.
- Nachfolgende Pakete tragen nur noch die Kanalnummer.
- In jedem Knoten wird die Kanalnummer ausgewechselt:



- Gleiche Kanalnummern sind möglich, aber für verschiedene Leitungen.
- Für das Channel-Switching wird neben der Weglenkugstabelle in jedem Knoten eine zweite Tabelle benötigt.

## 9.5.5 Isolierte Weglenkung

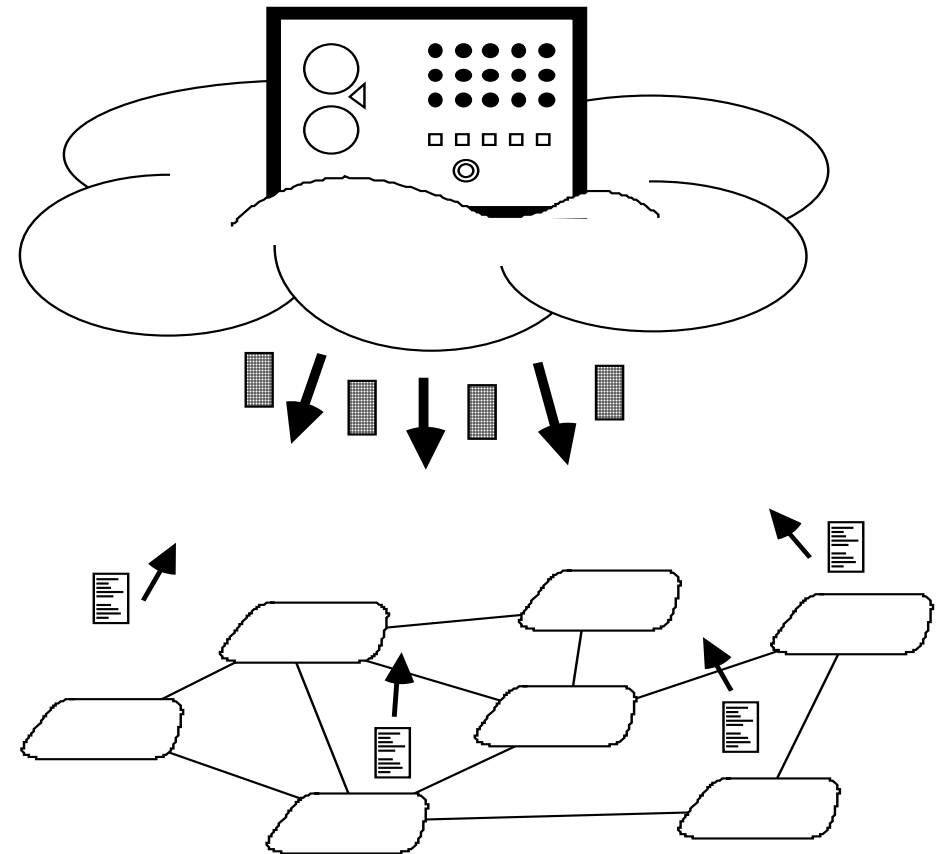
- Dynamische Weglenkungsentscheidung je nach Situation im lokalen Knoten:
  - Statische Vorinformationen,
  - Warteschlangenlänge.
- Nur lokale ("**mikroskopische**") Betrachtung  $\Rightarrow$



- z.B. "Hot Potato" Routing.
- Schnelle Reaktionsmöglichkeit.
- Keine Rücksicht auf die Situation in den anderen Netzknoten.

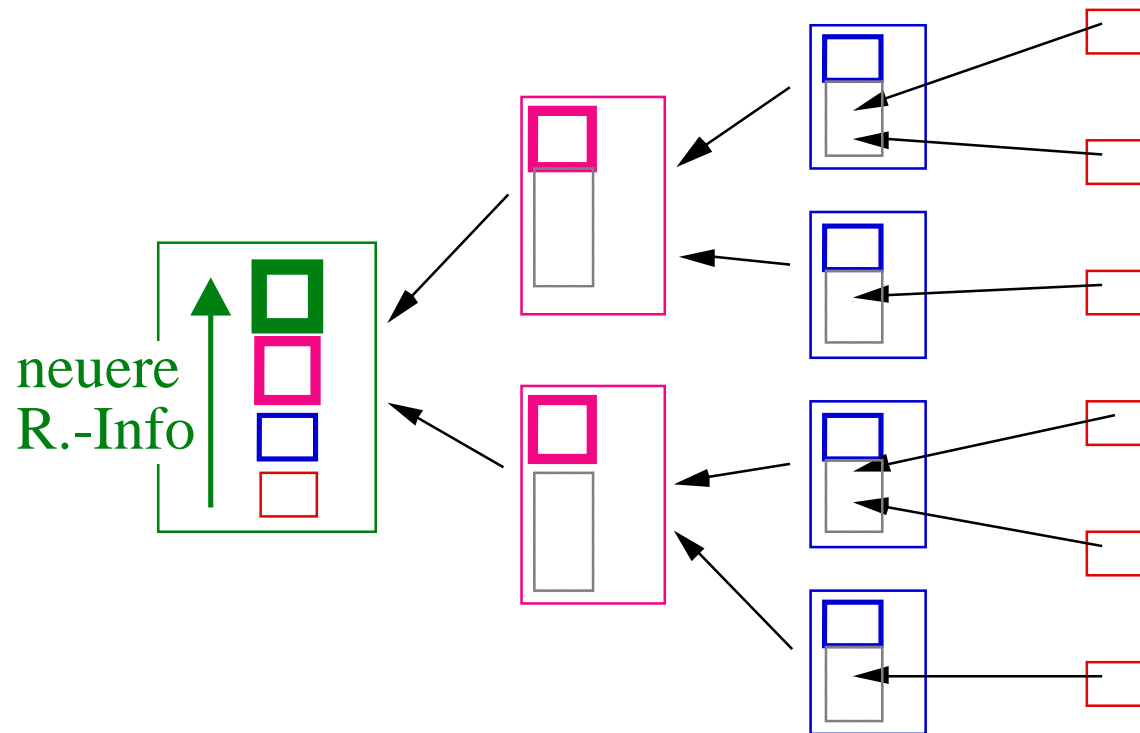
## 9.5.6 Zentrale Weglenkung

- Routing-Center (RC) mit globaler Sicht des Netzes nötig, möglichst redundant.
- Die Netzknoten senden Status an einen zentralen Weglenkungsrechner (RC).
- Die Zentrale versendet Tabellen.
- Zentrale Sicht genau, aber nicht ganz aktuell.
- Gute Nachrichten verbreiten sich schnell, schlechte Nachrichten aber nur indirekt.



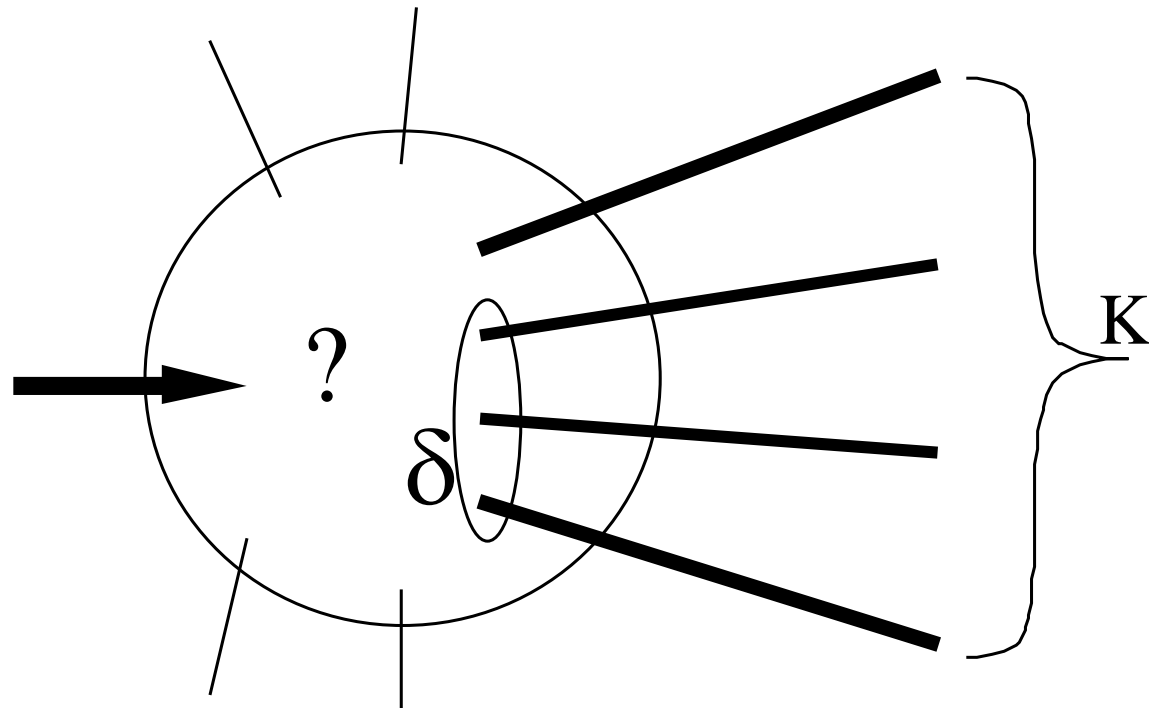
## 9.5.7 Verteiltes Routing

- Ursprüngliche Weglenkung im ARPANET.
- Jeder Netzknoten kennt die Verzögerung zu seinen Nachbarknoten.
- Die Knoten tauschen mit den Nachbarn Informationen aus.
- Nach N Austauschperioden erfährt ein Knoten I den Verzögerungswert zu einem N Schritte entfernten Partnerknoten.

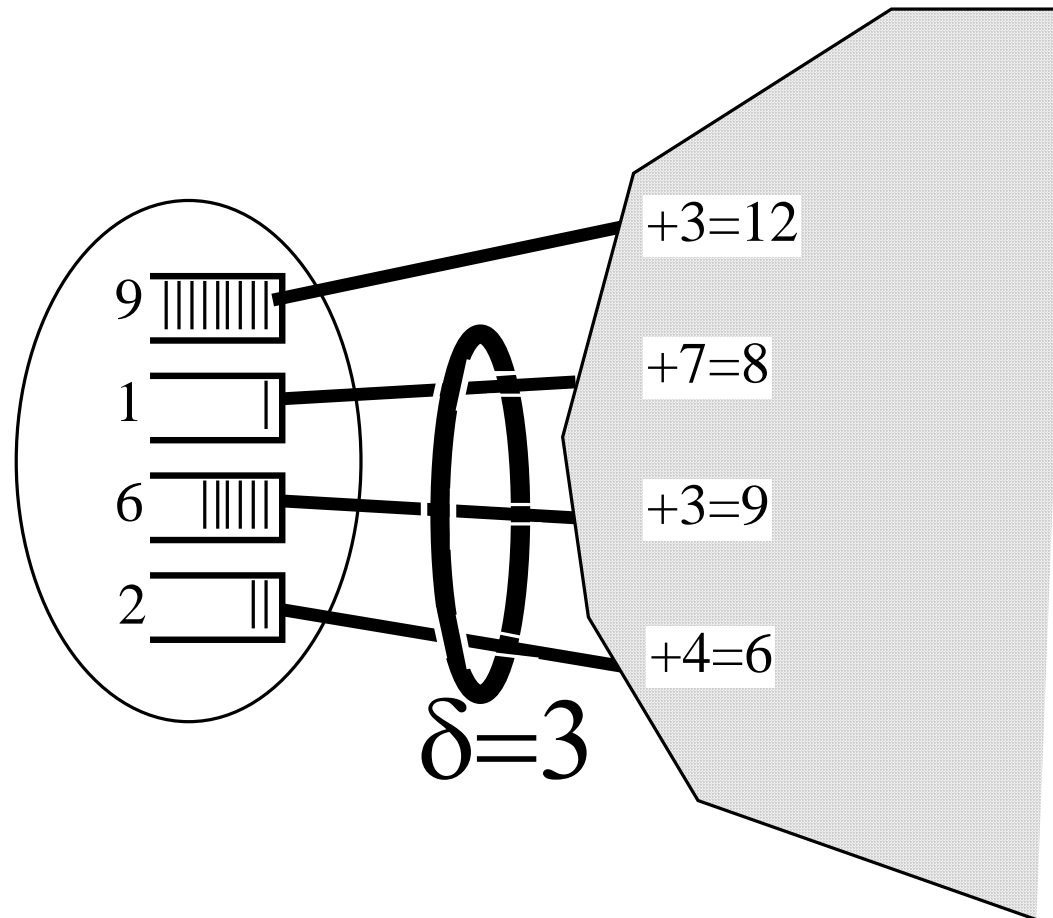


## 9.5.8 Delta Routing

- Nach H. Rudin (1976).
- Mittelweg zwischen Isolierter & Zentraler Weglenkung.
- Kurzzeitige Lastverschiebungen werden lokal entschieden.
- Neue Tabellen im Minutentakt vom RC:
  - berücksichtigen Ausfälle von Leitungen und Netzknoten,
  - enthalten jeweils beste  $K$  Leitungen für ein gegebenes Ziel,
  - $\delta$  Delta als Mass für den lokalen Entscheidungsspielraum,
  - Entscheidung z.B. auf Basis der Länge der Warteschlangen vor den Leitungen.

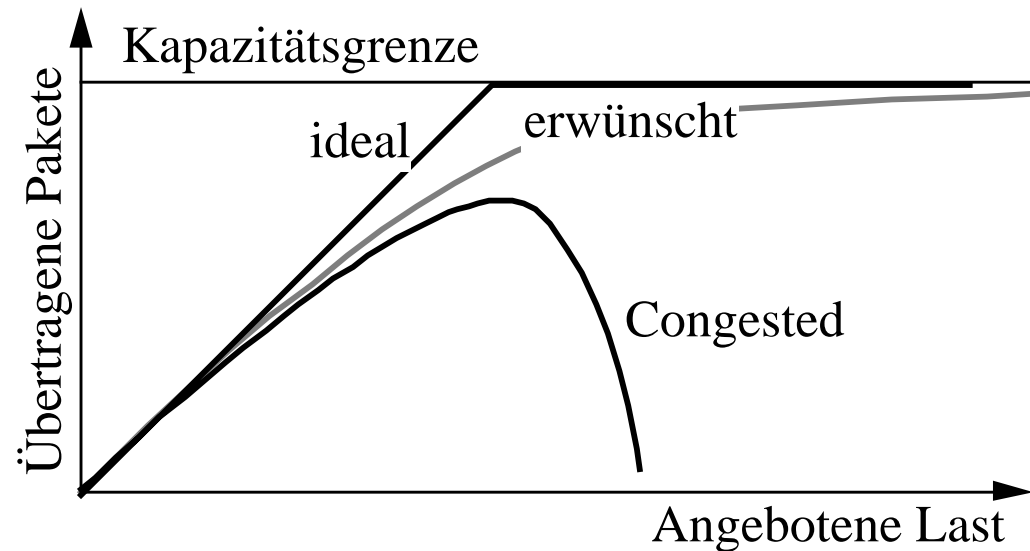


- Knoten schätzt die Verzögerung zu einem bestimmten Ziel ab, für alle K Leitungen.
- Schätzung berücksichtigt globalen Netzzustand & Länge der lokalen Warteschlangen.
- Verkehr zu bestimmtem Knoten wird auf alle Ausgangsleitungen verteilt deren geschätzte Verzögerung nicht um mehr als Delta von der besten Leitung abweicht.



## 9.6. Verstopfungskontrolle

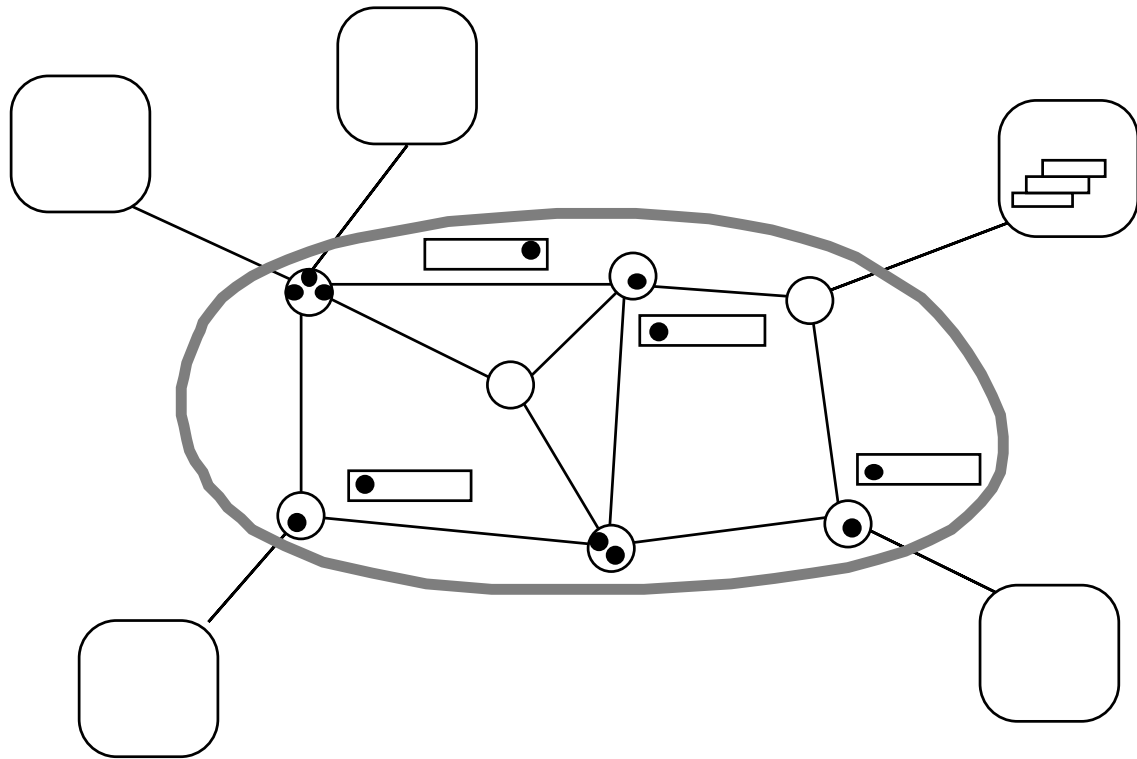
- Typischer Durchsatzverlauf:
- Ursachen:
  - Puffermangel,
  - „Monopolisten“,
  - Leitungsengpässe.
- Im Gegensatz zur Flusskontrolle ist die Verstopfungskontrolle ein Phänomen im Netz drin und nicht eine Verstopfung im Endknoten.
- Traditionelle Flusskontrolle vermeidet die Verstopfung des Netzes nicht :
  - Verstopft sind nur die Netzknoten,
  - erst die Kumulation vieler Verbindungen führt zur Überlastung.
- Notfalls müssen Pakete weggeworfen werden - vor allem in Datagrammnetzen.





## 9.6.2 Isarithmische V-Kontrolle:

- Sendebewilligungen (Token) zirkulieren frei im Netz (nach Davies, 1972):
- Beschränkt nur global die Zahl der Meldungen im Netz.
- Die Tokenverteilung erfordert Übertragungsleistung.
- Lokale Verstopfungen immer noch möglich.
- Verzögerung bis ein Token eintrifft.
- Gefahr von Tokenverlusten.



### 9.6.3 Reservierungsverfahren

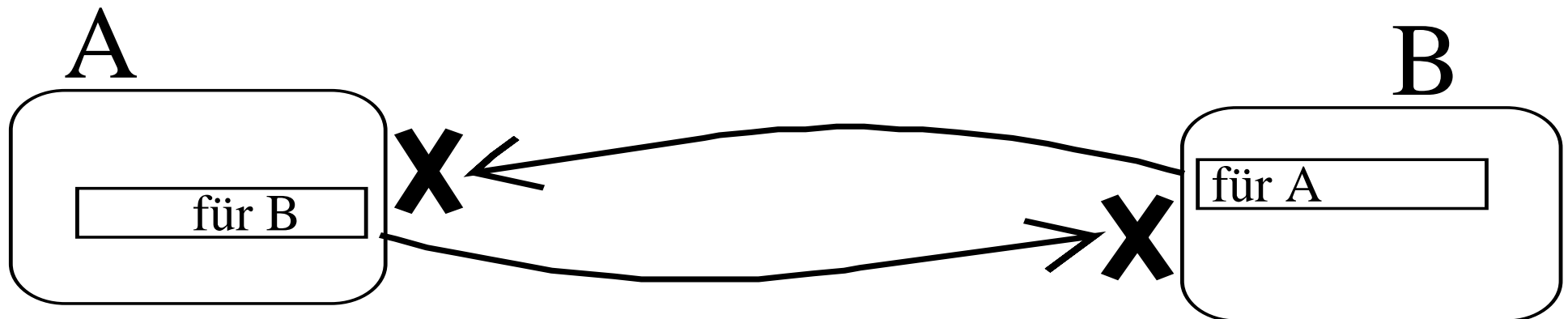
- Nicht alle Puffer für eine Leitung einsetzen.
- Pufferreservierung:
  - Pro Leitung wird in jedem Knoten mindestens ein Puffer reserviert.
  - Bei bekannter Paketlänge gut möglich.
- Begrenzt den Einfluss von Monopolisten.
- Eventuell getrennte Pufferreservierung für lange und kurze Meldungen.
- Faustregel:

$$\text{Puffer pro Leitung} = \frac{\text{Puffer insgesamt}}{\sqrt{\text{Anzahl Leitungen}}}$$

## 9.7. Deadlocks / Verklemmungen

### 9.7.1 Store-and-Forward Lockup

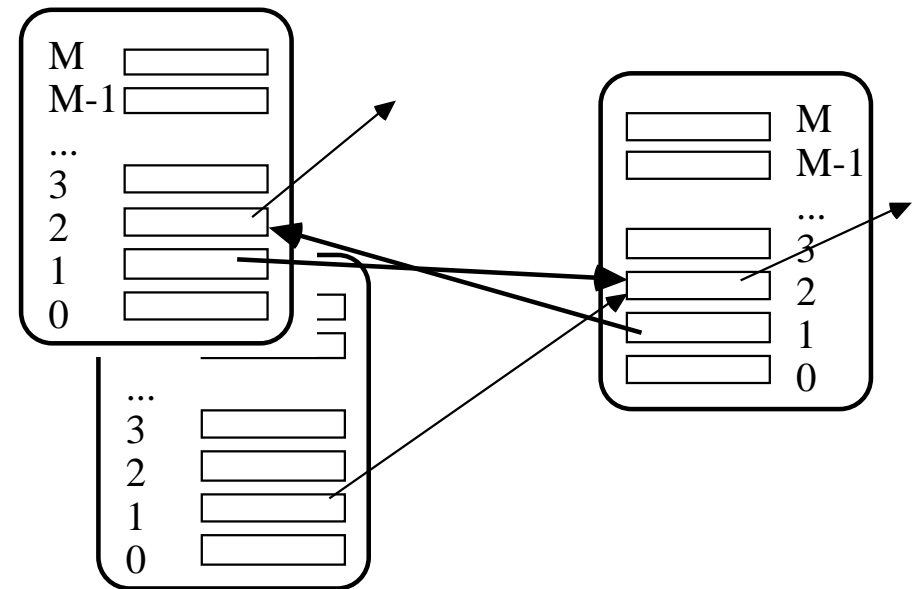
- **Direct Store & Forward Lockup** („Direkte Speichervermittlungsverklemmung“?):
  - Die Knoten A, B seien benachbart,
  - A könnte eine Meldung von B empfangen, wenn er einen freien Puffer hätte,
  - A hätte einen freien Puffer, wenn B die in diesem Puffer sitzende Meldung empfangen würde,
  - B würde die Meldung von A empfangen, wenn er einen freien Puffer hätte,
  - B hätte einen freien Puffer, wenn A die in diesem Puffer sitzende Meldung empfangen würde,
  - A würde Meldung von B empfangen, wenn ...



- **Indirect S & F Lockup**, wenn Pufferverklemmung über mehrere Knoten hinweg wirkt.

## 9.7.2 Abhilfe

- Pufferhierarchie:
  - M verschiedene Pufferebenen,
  - der längste Weg ist M „Hops“,
  - Pakete der Stufe M+1 verwerfen,
  - nur Pakete, die H „Hops“ zurückgelegt haben, erhalten Anrecht auf einen Puffer der Stufe H.
- > garantierter Pakettransport:

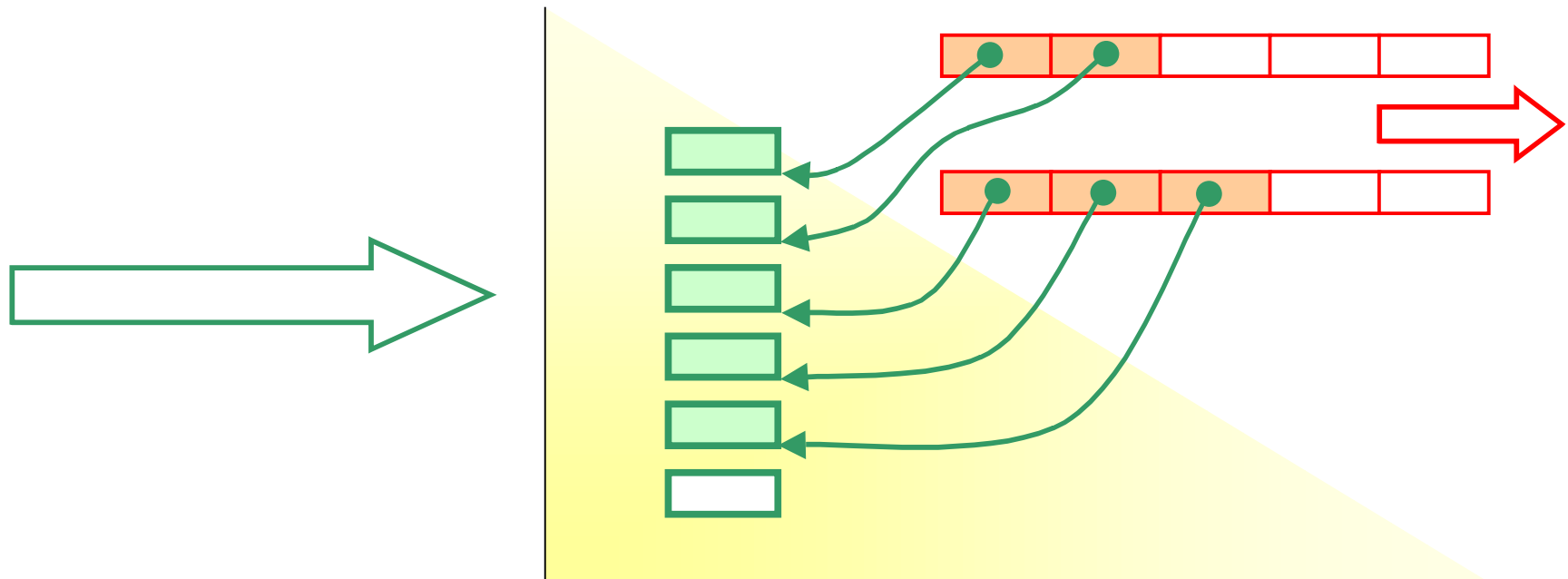


## 9.7.3 Alternative z.B.:

- 1 Puffer für jede ankommende Leitung.
- Bestätigung berücksichtigen, wenn auch das Paket gleich verworfen werden muss.
- Ältestes Paket wegwerfen, falls „idle“.

## 9.7.4 Reassembly Lockup

- Ergibt sich beim Transport von Meldungsfragmenten (ArpaNet).
- Reassembly-Buffer für die komplette Meldung.
- Erst die vollständige Meldung wird an den Host (Endknoten abgeliefert).
- Evtl. sind in einem Knoten zuviele unfertige Meldungen - die Paketpuffer können dann nicht freigegeben werden.
  - > Pufferreservierung für die ganze Meldung verlangen (Multi-Packet Reservation).
- Segmentierung (und "Reassembly") von Meldungen in mehrere Pakete ist eigentlich Aufgabe der Transportschicht.



## 9.8. Übertragungsratensteuerung

- (= "Rate Control")
- Endgeräte und Netz vereinbaren eine maximale garantierte Übertragungsrate,
- "Congestion" bedeutet, daß nicht genügend Bandbreite / Puffer bereitgestellt werden.
- Herkömmliche Systeme verwenden "Congestion Control" Mechanismen:
  - keine Garantie für Durchsatz und Verzögerung (QoS, Quality of Service).
  - funktionieren nur bei einigermaßen stationären Lastbedingungen,
  - drosseln die Netzlast nachdem sie manifest geworden ist,
  - träge & schwer kontrollierbare Regelung,
- Neuere Systeme unterstützen Rate Control und damit potentiell auch QoS-Zusicherung:
  - Falls möglich übernimmt das Netz mehr Last,
  - bei hoher Last markierte Pakete verwerfen,
  - IPv6 (IPng) als verbessertes Internet-Protokoll,
  - XTP Protokoll als End-to-End Protokoll,
  - ATM & Frame Relays.
- Abstimmung zwischen QoS & Rate Control erforderlich.

## 9.9. Slow Start im TCP Protokoll

- Verstopfungskontrolle im Internet.
- Verlorene Pakete sind ein Anzeichen von Verstopfung im Netz.
- "Slow Start" Arbeitsweise:
  - zurücksetzen des Fensters auf 1 bei Paketverlust,
  - Fenster verdoppeln nach erfolgreicher Übertr. ,
  - beim Erreichen eines Schwellwertes nur noch um 1 incrementieren,
  - Schwellwert evtl. dynamisch anpassen:

