
Datenkommunikation

Grundlagen der Vermittlungsschicht

Wintersemester 2011/2012

Einordnung

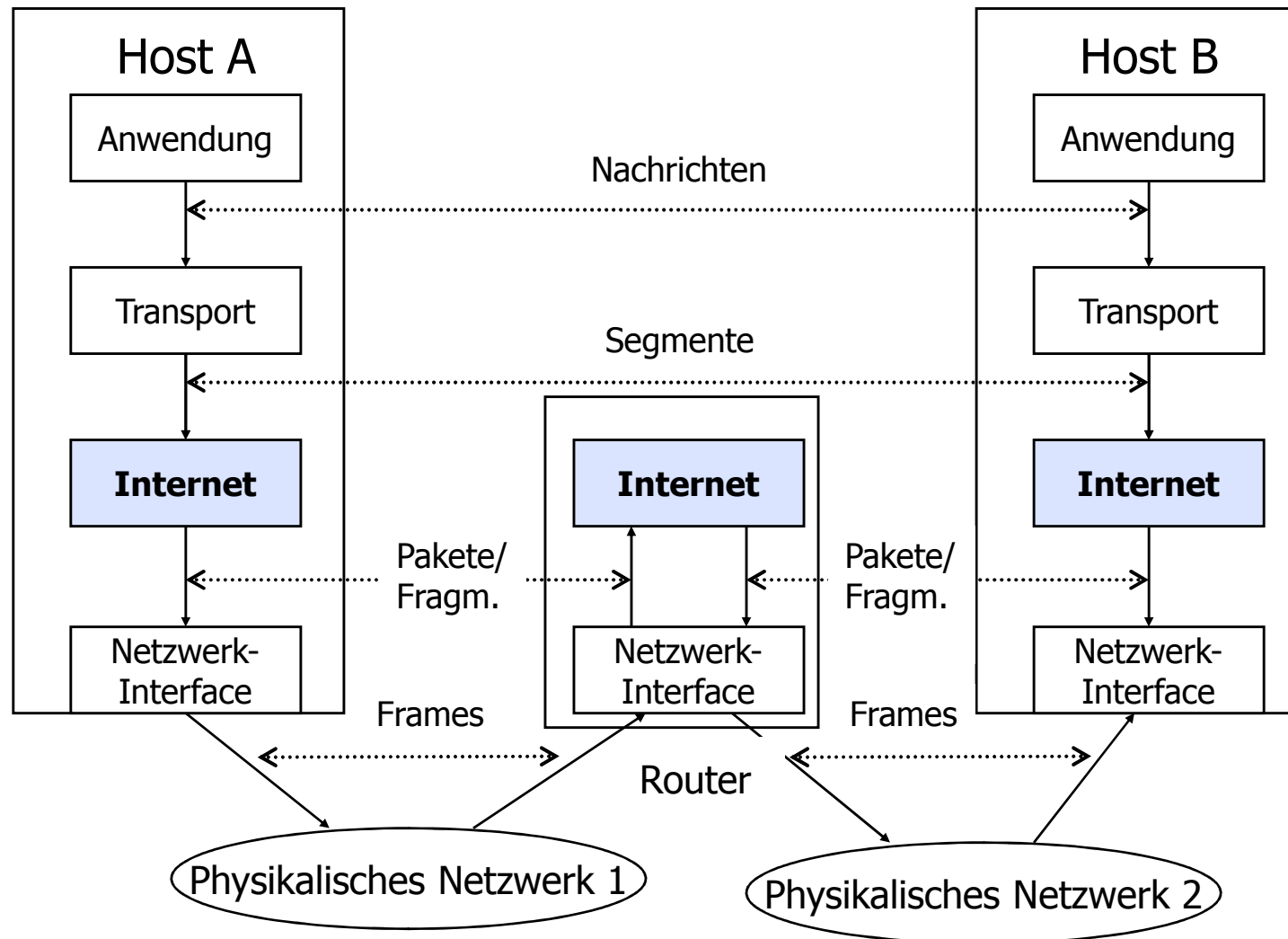
1	Grundlagen von Rechnernetzen, Teil 1
2	Grundlagen von Rechnernetzen, Teil 2
3	Transportzugriff
4	Transportschicht, Grundlagen
5	Transportschicht, TCP (1)
6	Transportschicht, TCP (2) und UDP
7	Vermittlungsschicht, Grundlagen
8	Vermittlungsschicht, Internet
9	Vermittlungsschicht, Routing
10	Vermittlungsschicht, Steuerprotokolle und IPv6
11	Anwendungsschicht, Fallstudien
12	Mobile IP und TCP

1. Einordnung

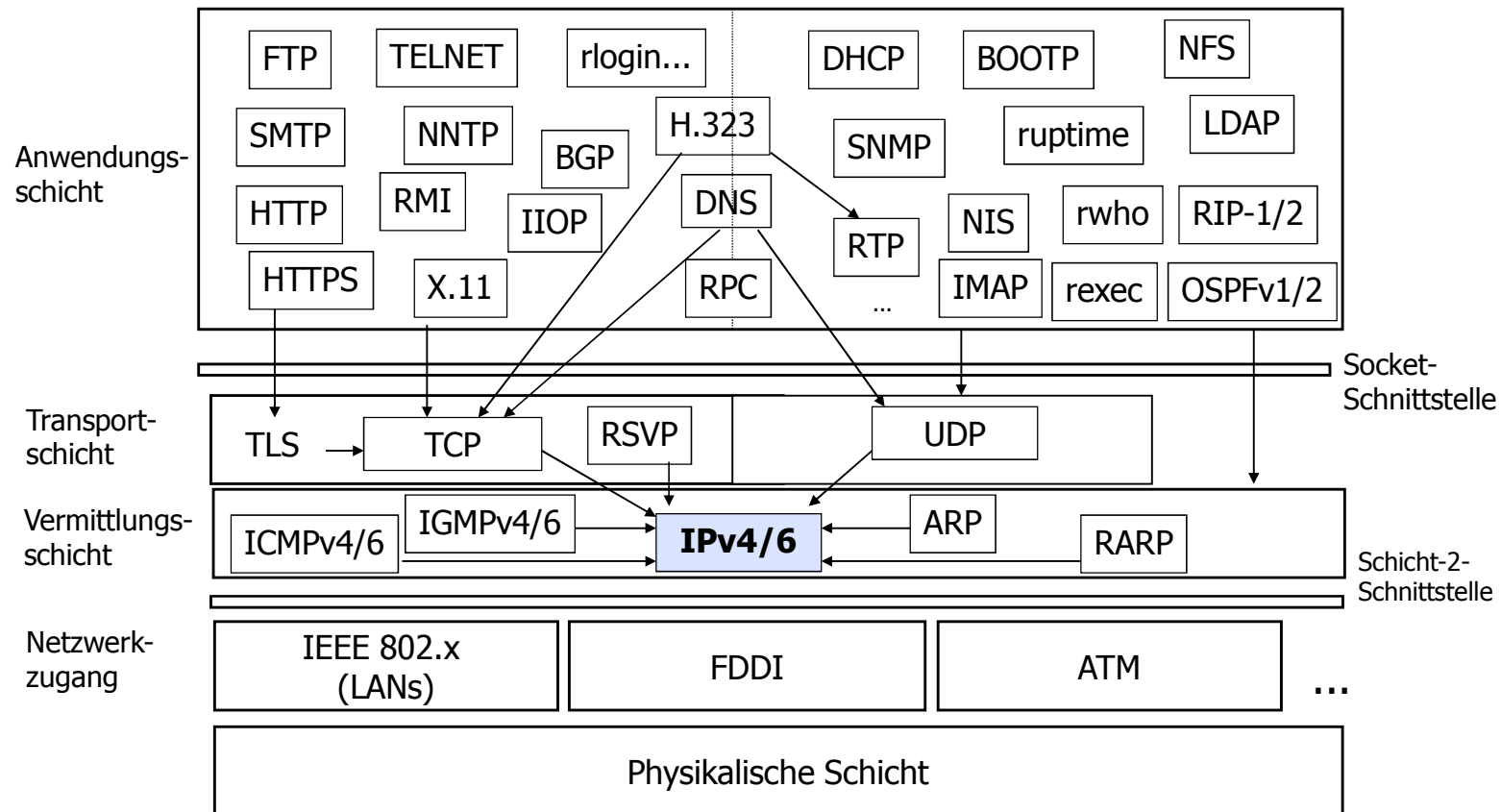
2. Überblick über die Vermittlungsschicht

- Aufgaben und Dienste
- Vermittlungsverfahren
- Wegewahl, Routing
- Diverse Protokollmechanismen

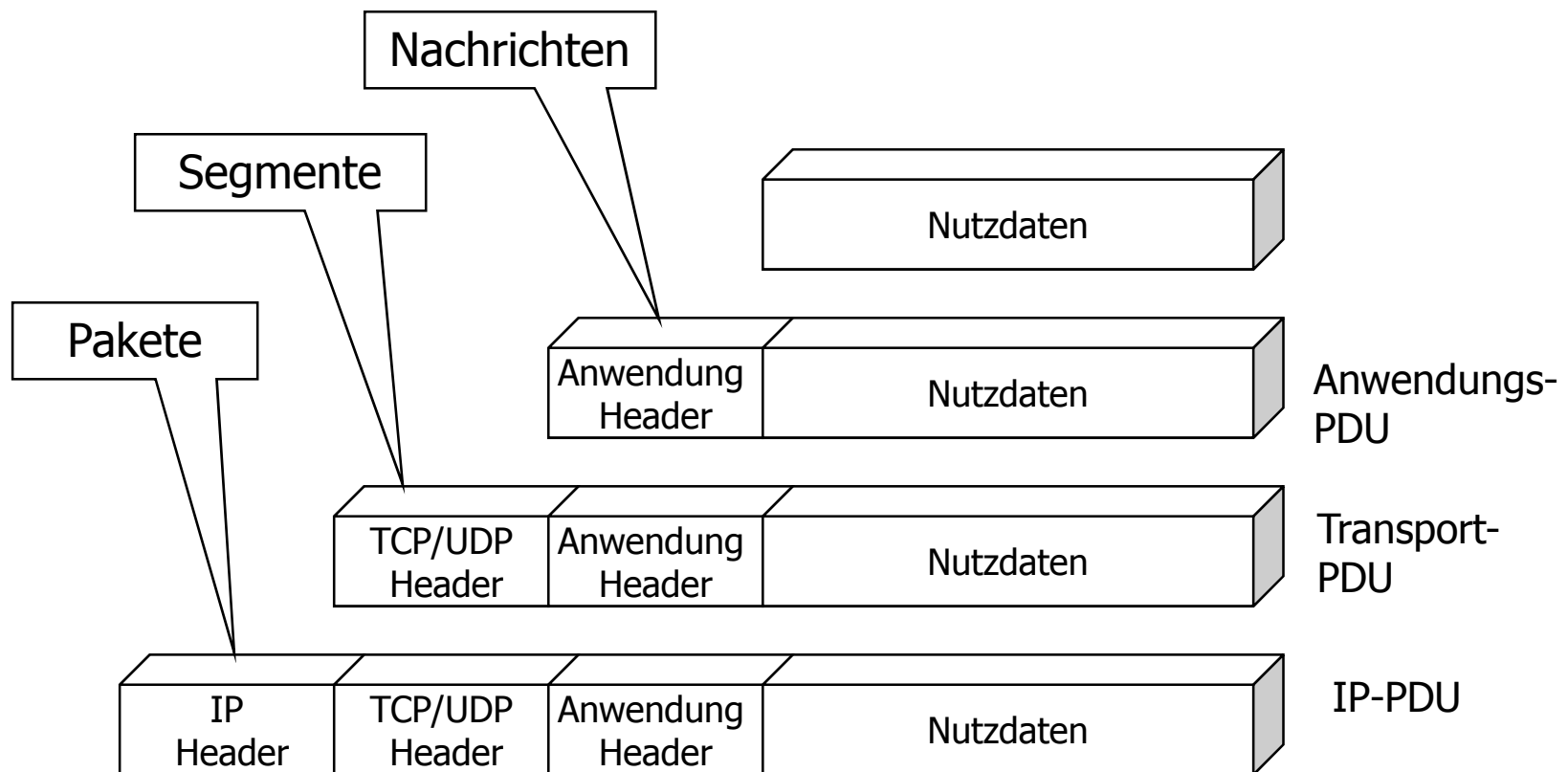
Einordnung: TCP-Referenzmodell



Einordnung TCP/IP-Protokollfamilie



Einordnung TCP/IP-Referenzmodell, Protokollkapselung

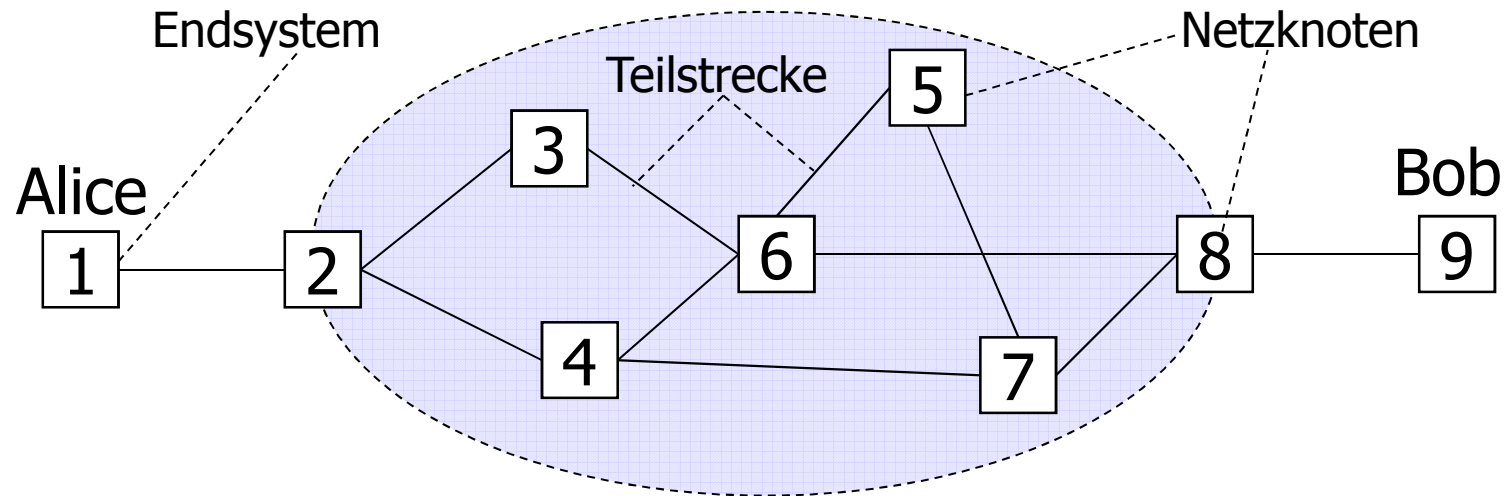


PDU = Protocol Data Unit

Überblick

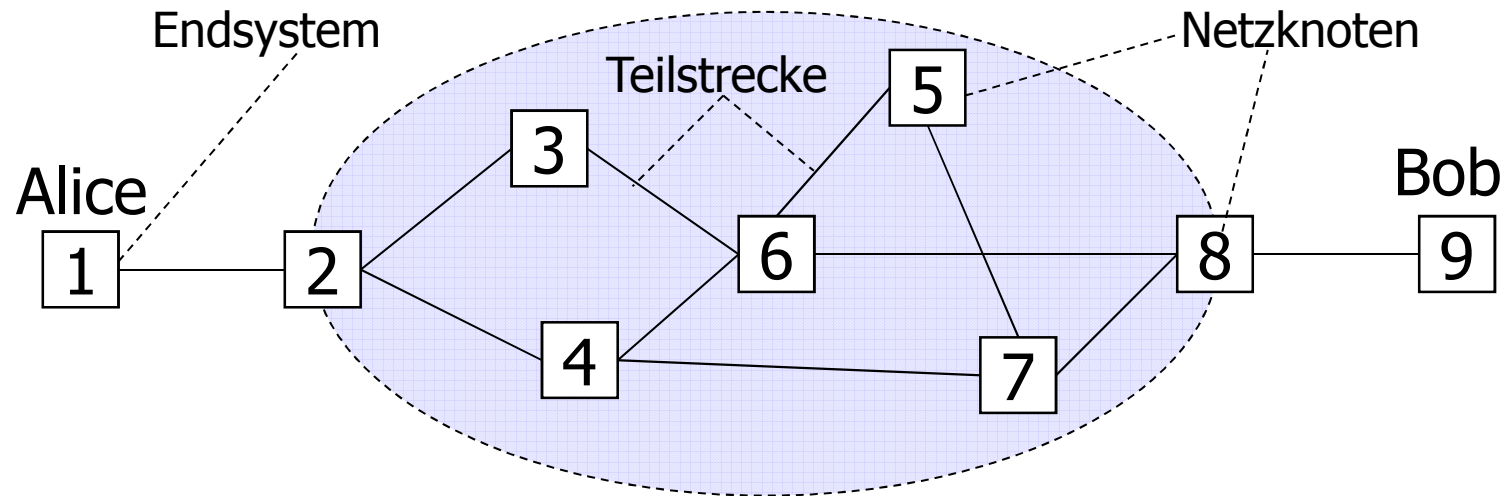
1. Einordnung
2. Überblick über die Vermittlungsschicht
 - **Aufgaben und Dienste**
 - Vermittlungsverfahren
 - Wegewahl, Routing
 - Diverse Protokollmechanismen

Überblick über die Vermittlungsschicht: Aufbau eines Vermittlungsnetzes



- **Netznoten** sind über **Teilstrecken** miteinander verbunden
- **Endsysteme** sind mit Netznoten verbunden
- Netznoten verwaltet zwei oder mehr Verbindungen
- Endsystem hat meist nur eine Verbindung

Überblick über die Vermittlungsschicht: Aufgaben



- Nachricht soll von ‚Alice‘ zu ‚Bob‘ übertragen werden
- Voraussetzung ist eine eindeutige **Adressierung**
- Aufgabenstellung ist vergleichbar mit der Zustellung einer Postkarte

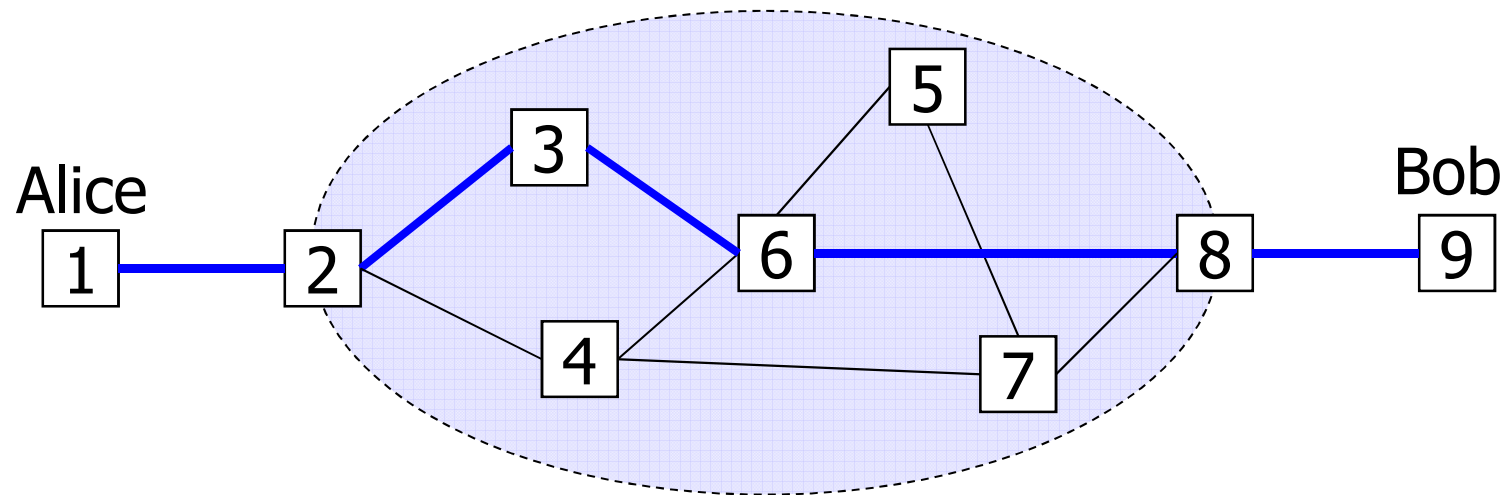
Überblick über die Vermittlungsschicht: Aufgaben

- Die Endsysteme kommunizieren über einen oder mehrere **Netzknotenrechner** (kurz: Netzknoten, Knoten, Router)
- Die Übertragungswege werden von Knoten zu Knoten bereitgestellt (**Teilstrecken**)
- Die **Fehlersicherung** findet auf den Teilstrecken (Schicht zwei) statt
- Die Schnittstelle zur Vermittlungsschicht ist auch meist die **Netzbetreiberschnittstelle**

Überblick über die Vermittlungsschicht: Aufgaben

- Zu den Aufgaben gehören:
 - Wegewahl (auch Routing genannt)
 - Multiplexen und Demultiplexen
 - Staukontrolle (Congestion Control)
 - Fragmentierung/Defragmentierung
- Oft diskutiert:
 - Ist ein verbindungsloser oder verbindungsorientierter Dienst an der Schnittstelle zur Transportschicht besser? (vgl. Tanenbaum)
 - Einschub: Das Internet, verbindungslos oder verbindungsorientiert?

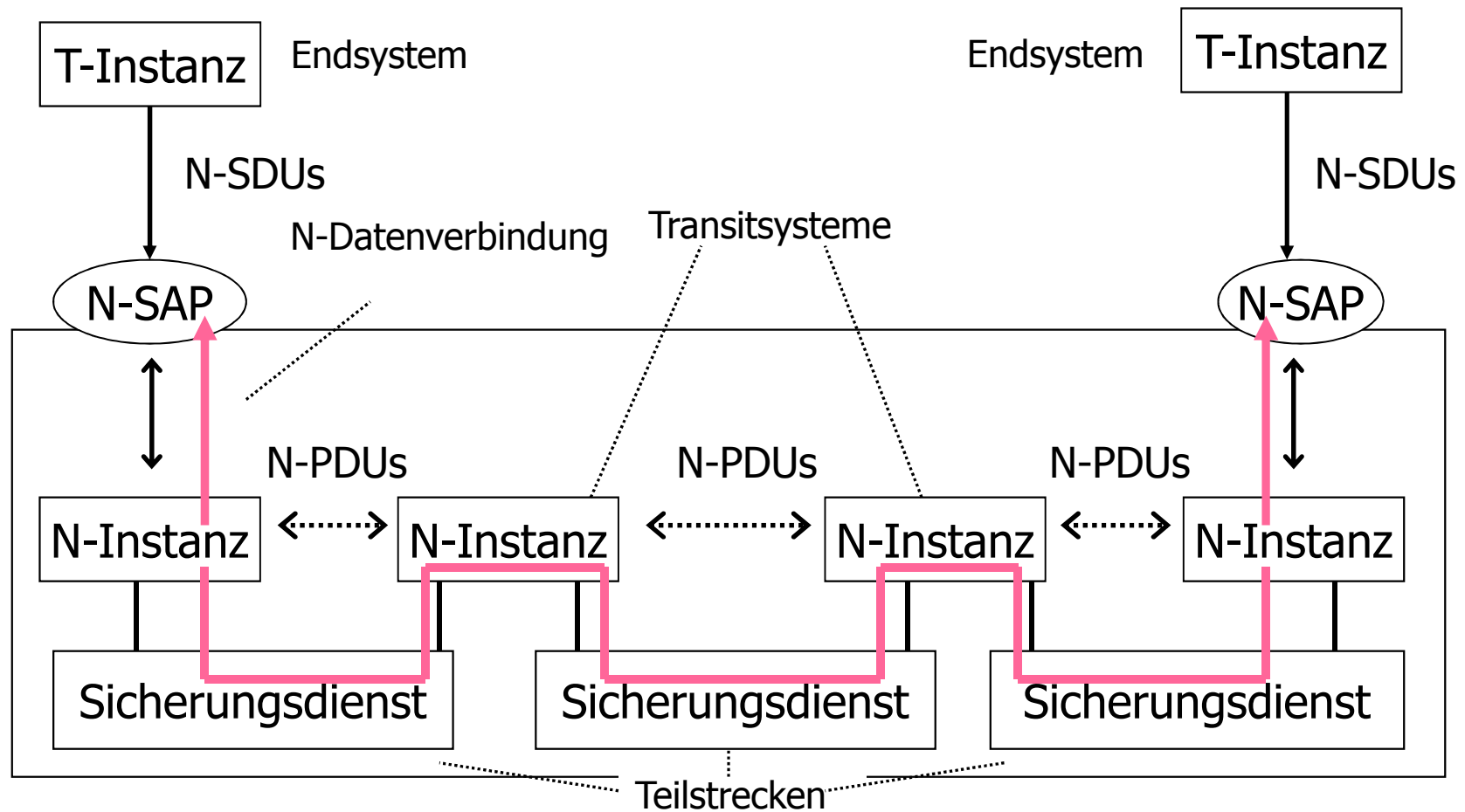
Überblick über die Vermittlungsschicht: Vermittlung, Switching



- Den **Gesamtvorgang** der **Verbindungsherstellung**, des **Halten**s und des **Abbauens** einer Verbindung bezeichnet man als **Vermittlung** (engl. Switching)
- Beispiel: Verbindung von ‚Alice‘ (1) zu ‚Bob‘ (9) über die Netzknoten 2, 3, 6, 8

Überblick über die Vermittlungsschicht: Dienste der Vermittlungsschicht

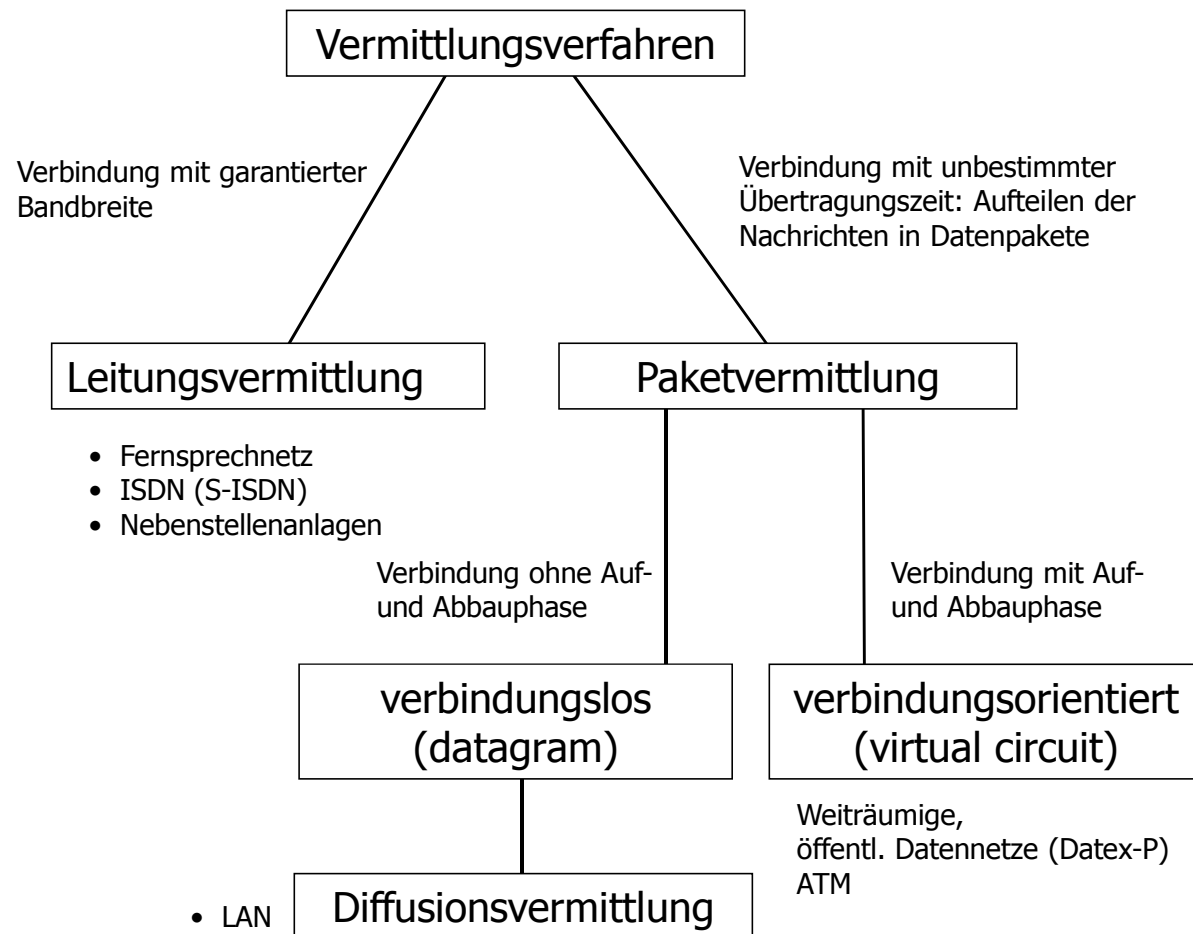
Vgl.: Gerdson, P., Kommunikationssysteme 1



Überblick

1. Einordnung
2. Überblick über die Vermittlungsschicht
 - Aufgaben und Dienste
 - **Vermittlungsverfahren**
 - Wegewahl, Routing
 - Diverse Protokollmechanismen

Überblick über die Vermittlungsschicht: Vermittlungsverfahren



Vgl. auch : Gerdson, P., Kommunikationssysteme 1

Überblick über die Vermittlungsschicht: Leitungsvermittlung

- Klassisches Switching-Verfahren, auch **circuit switching** oder **Durchschaltevermittlung** genannt
- Über die gesamte Verbindung wird **ein physikalischer Verbindungsweg** durch das Netzwerk geschaltet
- Es wird eine **feste Bandbreite garantiert** und zwar unabhängig von dem, was tatsächlich übertragen wird
 - Evtl. wird Bandbreite unnötig reserviert
 - Blockierungen (Ablehnung eines Verbindungswunsches), wenn kein Verbindungsweg mehr frei ist
- Beispielnetze, die Leitungsvermittlung nutzen:
 - Analoges Fernsprechnet
 - Digitales ISDN

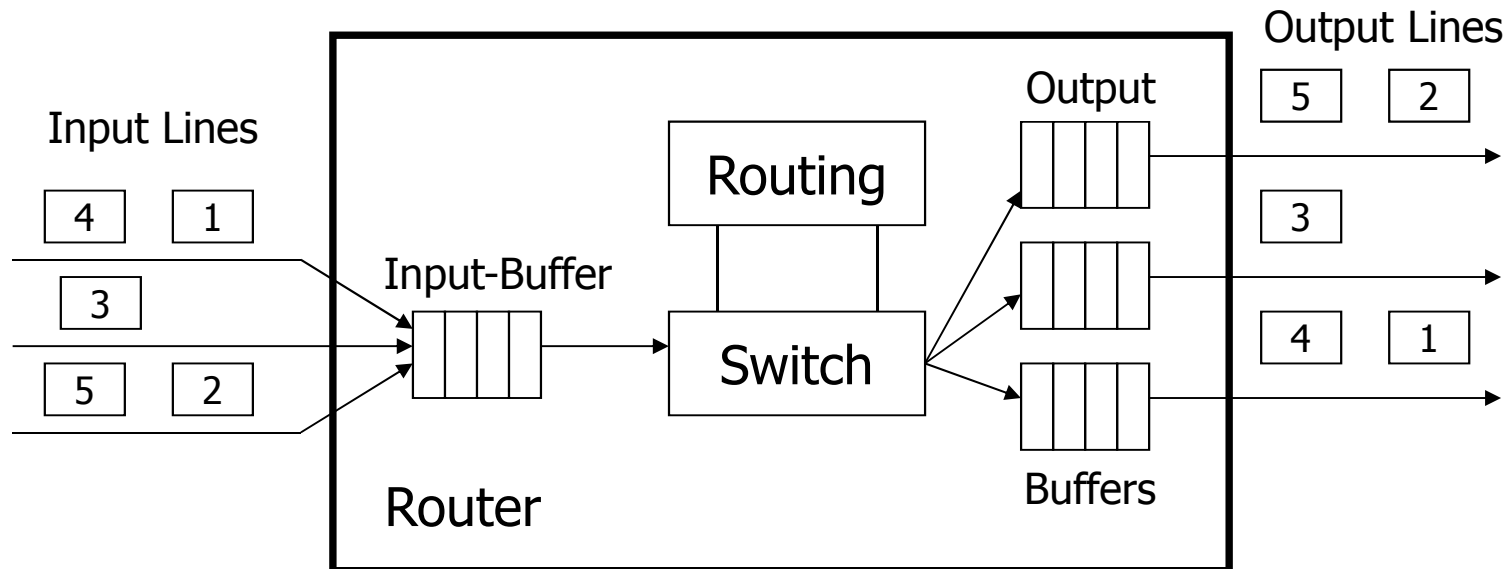
Überblick über die Vermittlungsschicht: Paketvermittlung

- Merkmale:
 - Komplette Nachricht mit Zieladresse wird ins Netz gesendet
 - Netz überträgt die Nachricht evtl. über mehrere Knoten mit Zwischenspeicherung
 - Nachricht wird ggf. in einzelne Pakete (N-PDUs) zerlegt und versendet
- Ist für die Datenübertragung effizienter
- Keine garantierte Bandbreite, dafür aber keine Blockierungen
- Beispiel:
 - Internet Protocol
 - Breitband-ISDN auf Basis von ATM (sehr kurze Pakete, Zellen genannt)

Überblick über die Vermittlungsschicht: Paketvermittlung

■ Prinzip der Paketvermittlung in einem Knotenrechner

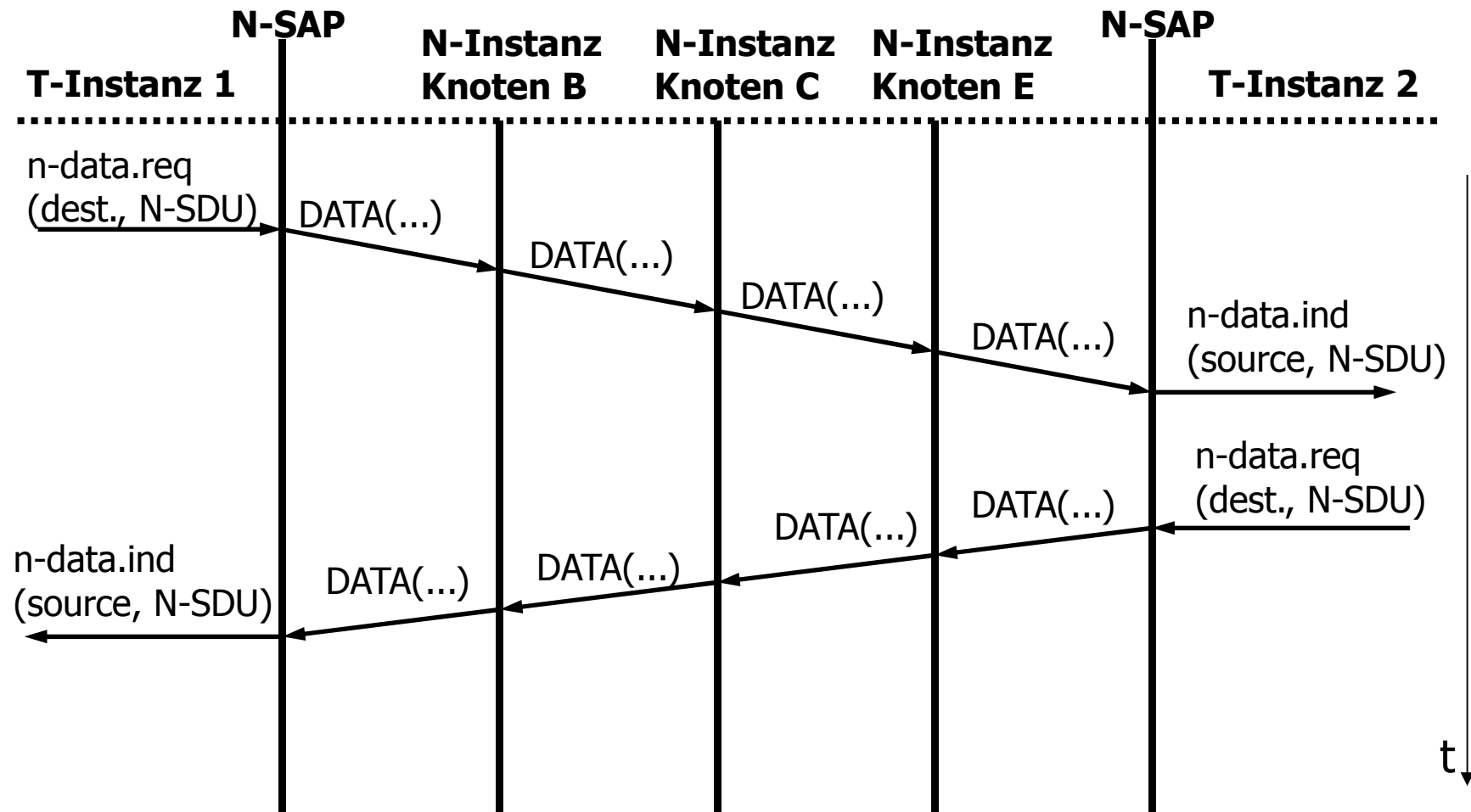
Vgl.: Gerdson, P., Kommunikationssysteme 1



Überblick über die Vermittlungsschicht: Nutzung von Datagrammen

- Datagramme (N-PDUs) werden bei einer einfachen Paketvermittlung ohne vorhergehenden Verbindungsaufbau verwendet
- Jedes Datagramm enthält die Quell- und die Zieladresse
- Die Knoten **ermitteln** für jedes Datagramm einen **optimalen Weg**
- Wird auch als **verbindungslose** Vermittlung bezeichnet
- Nur ein einfacher data-Dienst zum Senden von Datagrammen erforderlich

Überblick über die Vermittlungsschicht: Datagramm-Vermittlung



Überblick über die Vermittlungsschicht: Datagramm-Vermittlung

- Einfache Form der Datagramm-Vermittlung ist die **Diffusionsvermittlung**
- Hier sendet jeder Knoten die empfangenen Pakete an alle Nachbarknoten weiter
 - mit Ausnahme des sendenden Knotens!
- Sinnvoll bei Netzen mit geringer Knotenanzahl
- Klassische Vermittlungsform **in LANs**
 - Siehe z.B. Ethernet-LAN

Überblick über die Vermittlungsschicht: Nutzung von Virtual Circuits

- Virtual Circuits werden auch „**scheinbare Verbindungen**“ genannt
- Reduzierung des aufwändigen Routens bei jedem Paket durch verbindungsorientiertes Verfahren
- Verbindung bleibt für die Dauer der Datenübertragung erhalten
- Kein physikalisches Durchschalten der Verbindung, sondern Nutzung von Routing-Informationen in den Knoten

Überblick über die Vermittlungsschicht: Nutzung von Virtual Circuits

- Drei Phasen der Datenübertragung mit entsprechenden Diensten:
 - Verbindungsaufbau (connect-Dienst)
 - Datenübertragung (data-Dienst)
 - Verbindungsabbau (disconnect-Dienst)
- Die Verbindung zwischen zwei Endsystemen wird schrittweise über Teilstrecken aufgebaut
 - Knoten müssen in der Verbindungsaufbauphase Informationen über das Mapping von eingehenden Paketen zu Ausgangsteilstrecken speichern
 - Statusverwaltung
 - Verbindungstabellen in den Knoten erforderlich

Überblick über die Vermittlungsschicht: Übung zur Wiederholung

- Was versteht man unter einem Teilstreckennetz, auch Store-and-Forward-Netz genannt?
- Was ist im Gegensatz dazu ein Diffusions- oder Broadcast-Netz?

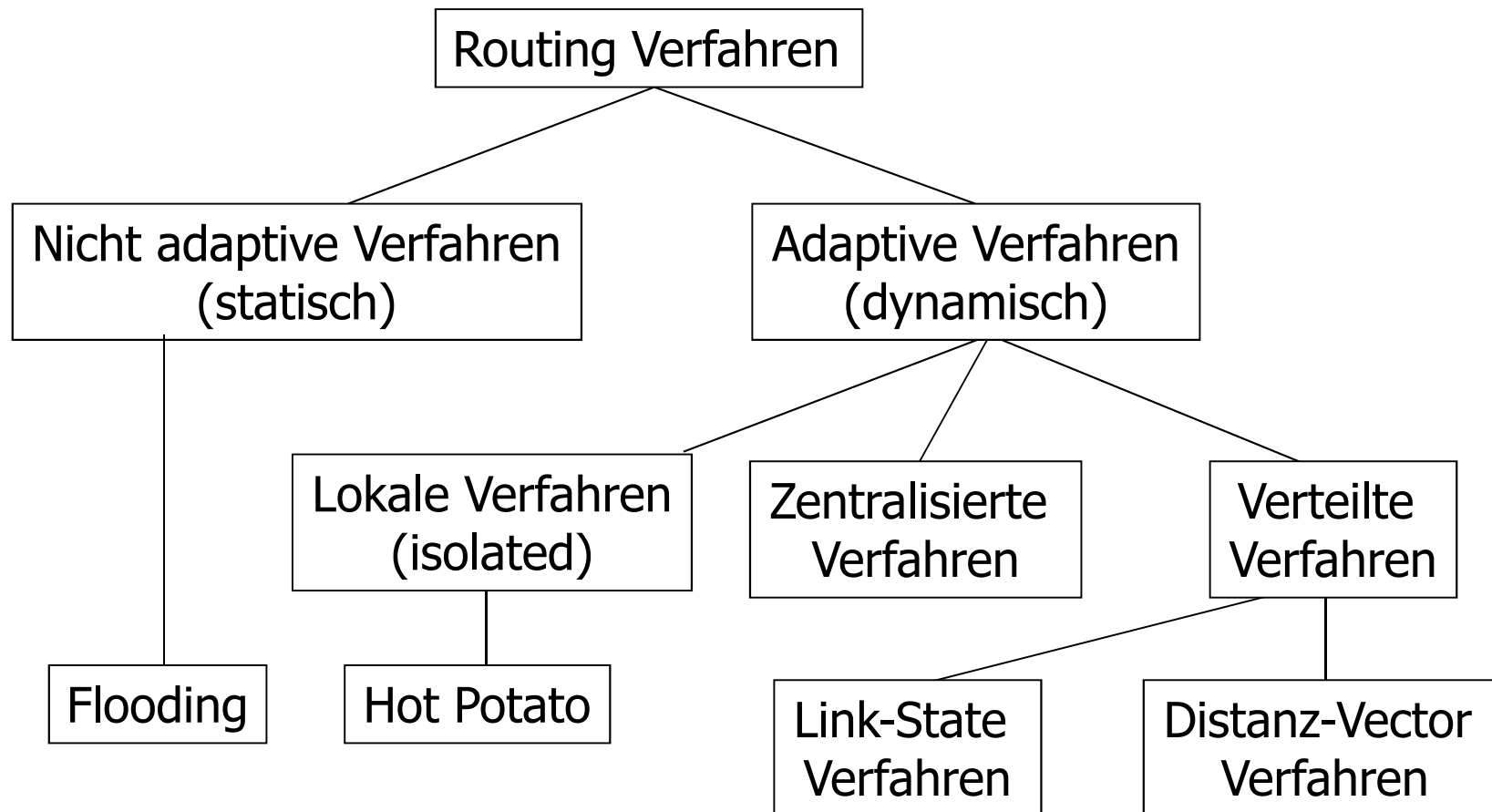
Überblick

1. Einordnung
2. Überblick über die Vermittlungsschicht
 - Aufgaben und Dienste
 - Vermittlungsverfahren
 - **Wegewahl, Routing**
 - Diverse Protokollmechanismen

Überblick über die Vermittlungsschicht: Routing

- Die Wegewahl (Routing) ist eine der wesentlichen Aufgaben der Schicht-3-Instanzen
- Ziel ist es den ‚optimalen‘ Weg zwischen den Endsystemen zu wählen
- Notwendig bei alternativen Wegen zwischen den Endsystemen
- Verschiedene Routing-Kriterien und -Algorithmen sind möglich:
 - Suche der geringsten Entfernung
 - Möglichst geringe Anzahl von Hops (Anzahl der zu durchlaufenden Knoten)
 - Geringste Netzlast
 - ...

Überblick über die Vermittlungsschicht: Routing – Klassifikation der Verfahren



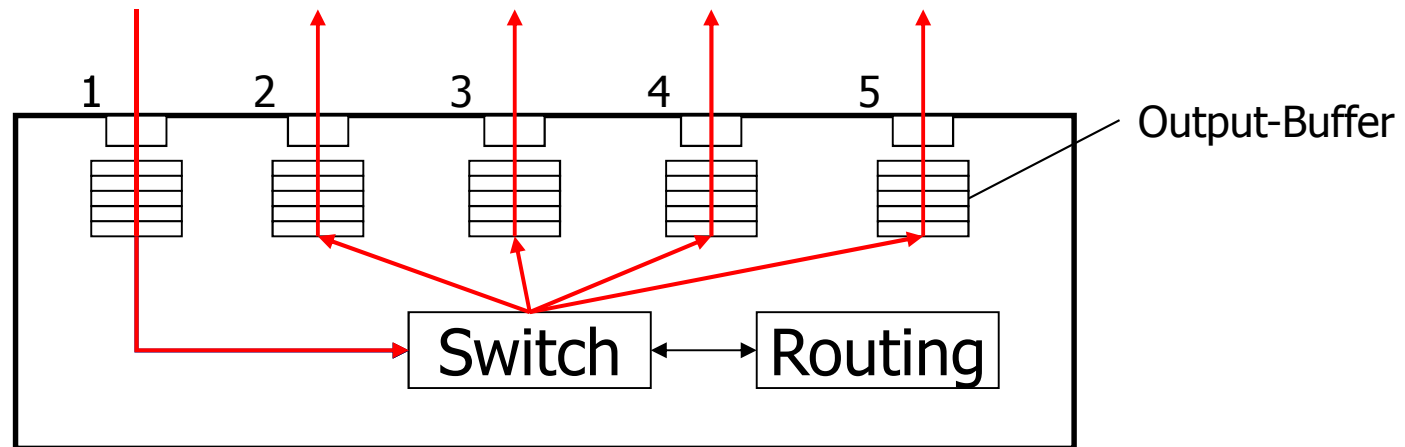
Überblick über die Vermittlungsschicht: Routing - Verfahren

- **Statische** Algorithmen:
 - Keine Messungen, vorher ermittelte Metriken
 - Statische Routing-Tabellen, die bei der Knotenkonfigurierung eingerichtet werden (vor Beginn des Betriebs)
- **Dynamische** (adaptive) Algorithmen:
 - Verkehrsmessungen
 - Routing-Tabellen werden dynamisch angepasst (Metriken)
 - Optimierungskriterien können sich dynamisch verändern und werden im Algorithmus berücksichtigt
 - Möglichkeiten:
 - **Isoliertes Routing**: Knoten trifft Entscheidungen alleine
 - **Zentrales** Routing über einen zentralen Knoten (Routing-Kontroll-Zentrum), Zentrale ermittelt und überträgt alle Routing-Tabellen
 - **Dezentrales** Routing mit Routing-Funktionalität in jedem Knoten

Überblick über die Vermittlungsschicht: Routing - Einige Algorithmen

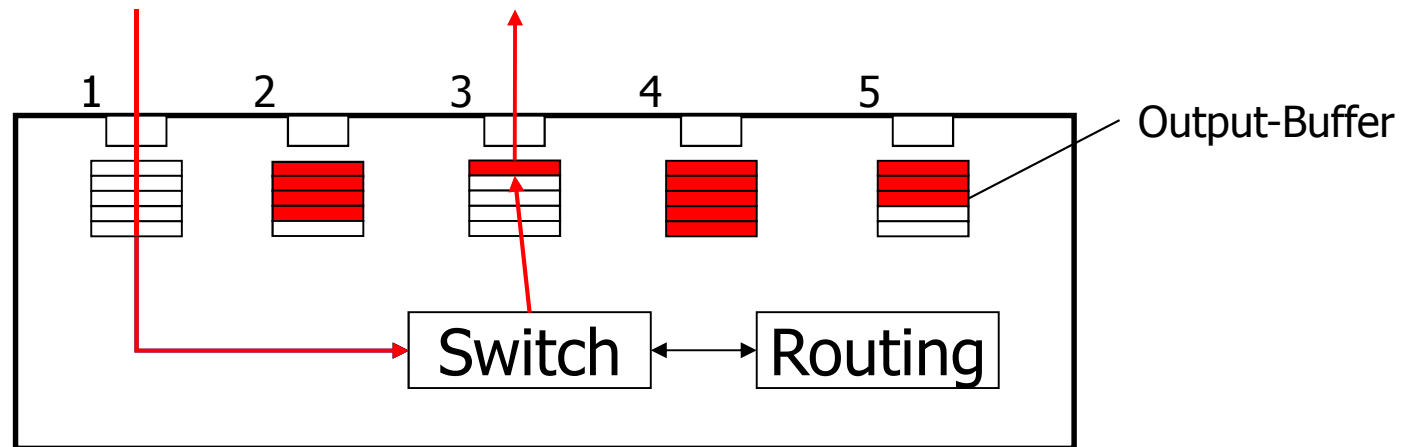
- **Statische** Algorithmen:
 - Shortest-Path-Routing
 - Flooding
- **Dynamische** (adaptive) Algorithmen (heute üblich in modernen Netzen):
 - Distance-Vector-Routing
 - ursprünglicher Algorithmus im ARPANET, RIP
 - Link-State-Routing
 - löste Distance-Vector-Routing Ende der 70er im ARPANET ab
 - Hierarchisches Routing

Überblick über die Vermittlungsschicht: Routing-Beispiel: Flooding (statisch)



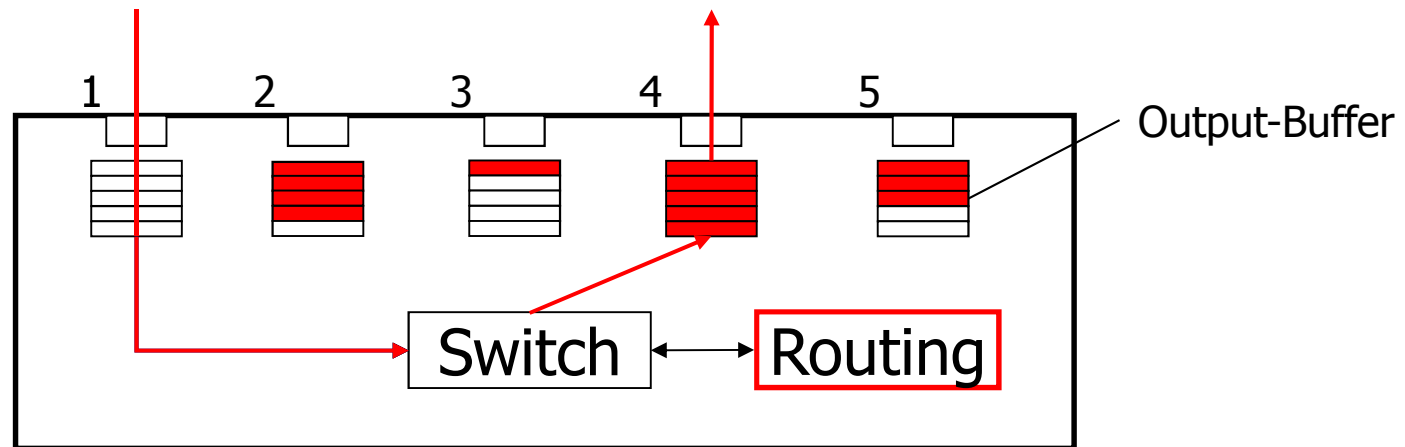
- Eingehende Pakete werden über alle Teilstrecken weiter versendet
- Pakete werden nicht über die eingehende Leitung und nur einmal weiter versendet
- Statischer und sehr einfacher Routing-Algorithmus
- Viele doppelte Pakete und somit ineffizient

Überblick über die Vermittlungsschicht: Routing-Beispiel: Hot Potato (dynamisch / lokal)



- Eingehende Pakete werden so schnell wie möglich zum nächsten Netzknoten gesendet
- Es wird der Ausgang mit dem am geringsten belegten Output-Buffer gewählt
- Dynamischer und sehr einfacher Routing-Algorithmus
- Wird in seiner reinen Form nicht verwendet

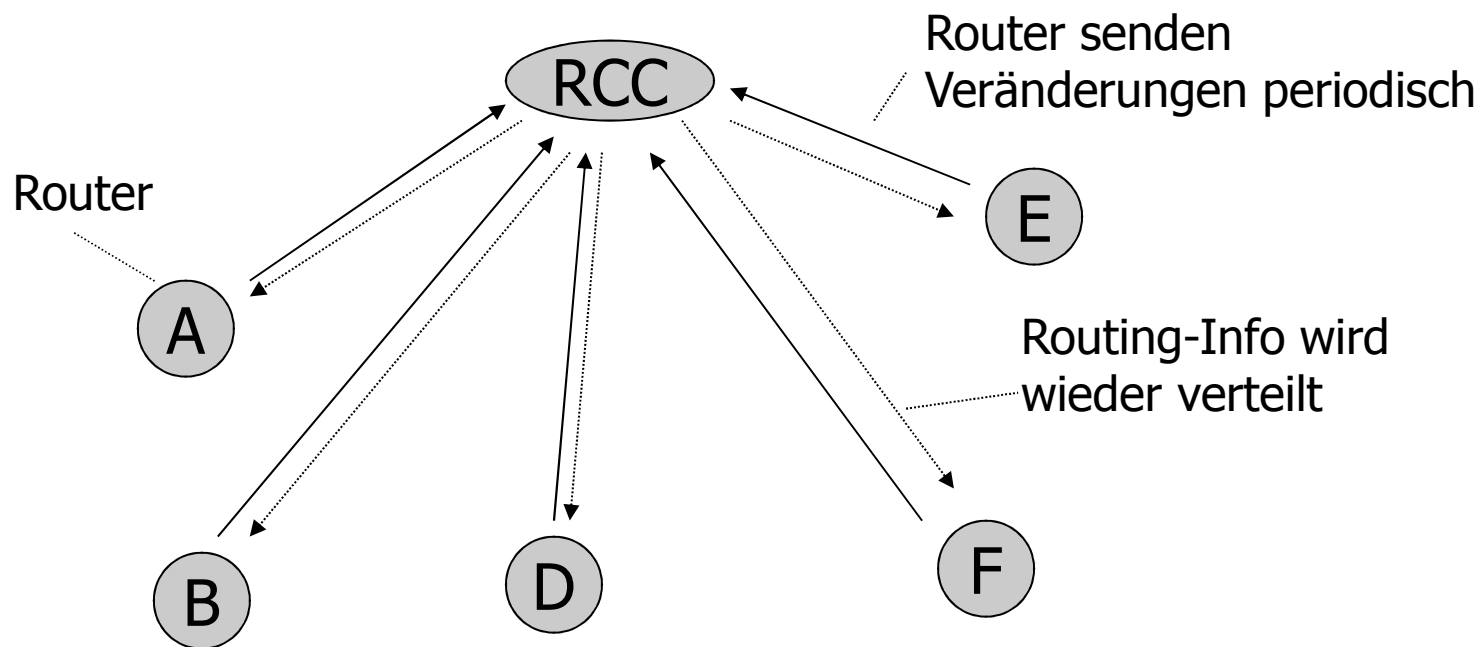
Überblick über die Vermittlungsschicht: Routing-Beispiel: Link-State (dynamisch / verteilt)



- Jeder Router verwaltet eine Kopie der Netzwerktopologie und berechnet selbst die optimale Route für ein Paket
- Verschiedene Optimierungskriterien sind möglich
- Dynamischer und verteilter Routing-Algorithmus
- Router muss komplexe Aufgaben erledigen

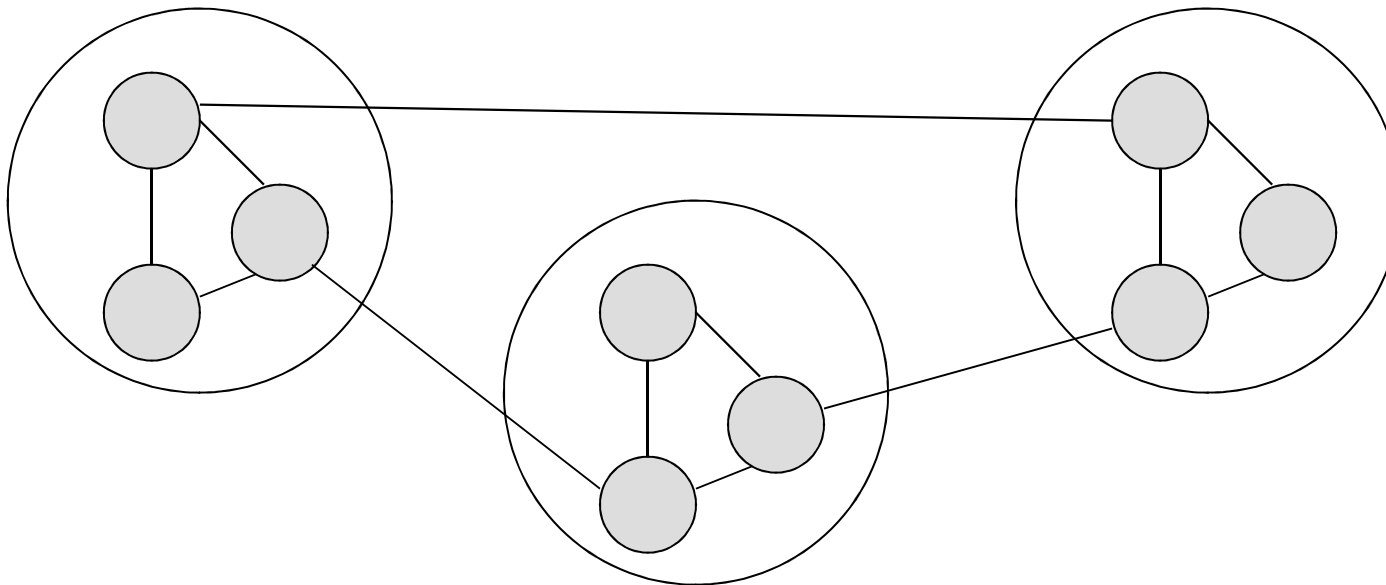
Überblick über die Vermittlungsschicht: Routing – Zentralisiertes Routing

- Es gibt ein Routing Control Center (RCC)
- Verfahren ist nicht fehlertolerant (Engpass) aber konsistent, jedoch Gefahr der veralteten Informationen
- Internet zentral oder dezentral?

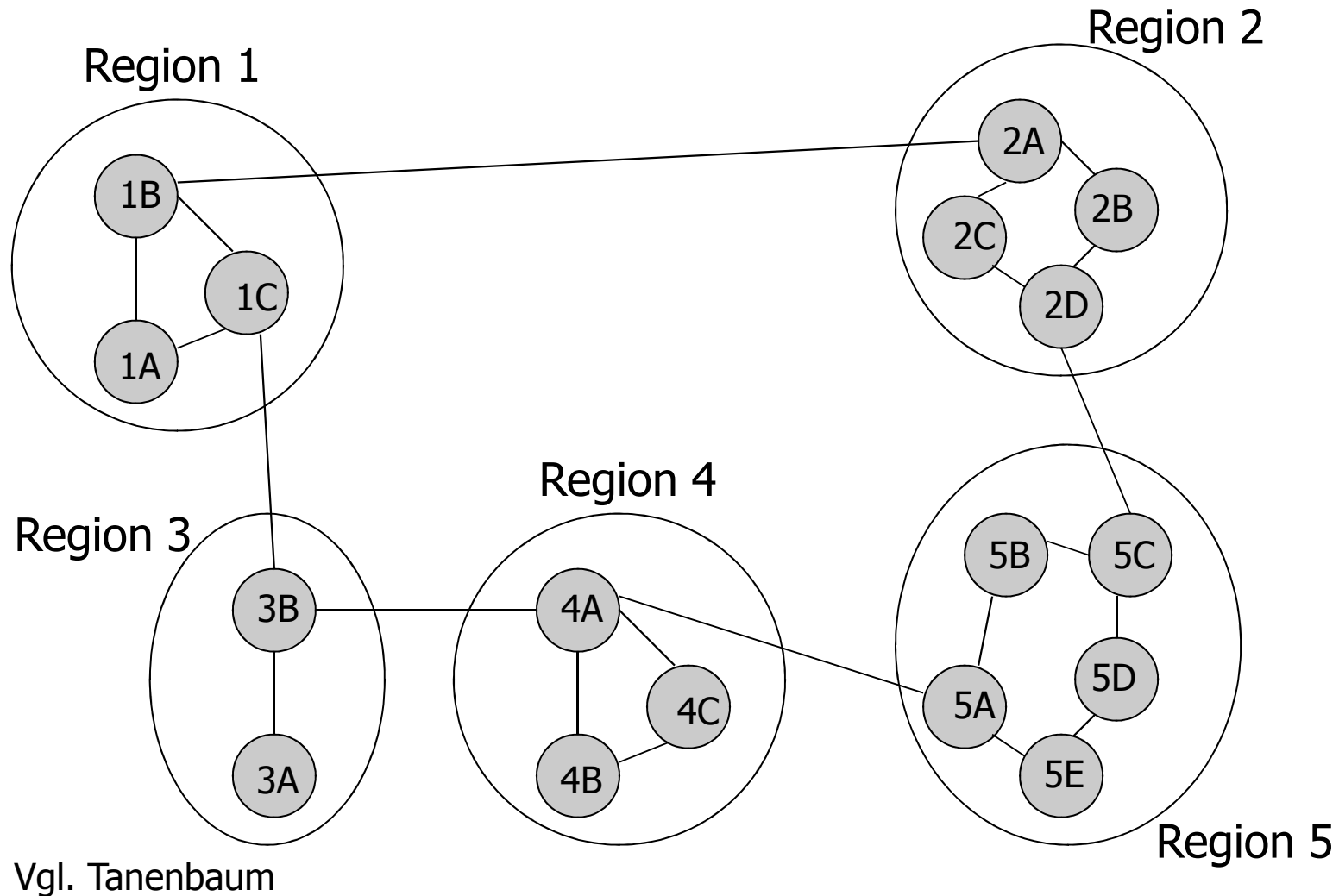


Überblick über die Vermittlungsschicht: Routing – Hierarchisches Routing

- Große Netze erfordern (zu) große Routing-Tabellen mit langen Suchzeiten
- Verringerung der Routing-Tabellen: Netze hierarchisch organisieren
 - Z.B mit folgenden Hierarchiestufen: Regionen – Cluster – ...



Überblick über die Vermittlungsschicht: Routing – Hierarchisches Routing, Beispiel



Überblick über die Vermittlungsschicht: Routing – Hierarchisches Routing, Beispiel

Routing-Tabelle für 1A (vorher)

Ziel	Leitung	Teilstr.
1A	--	--
1B	1B	1
1C	1C	1
2A	1B	2
2B	1B	3
2C	1B	3
2D	1B	4
3A	1C	3
3B	1C	2
4A	1C	3
4B	1C	4
4C	1C	4
5A	1C	4
5B	1C	5
5C	1B	5
5D	1C	6
5E	1C	5

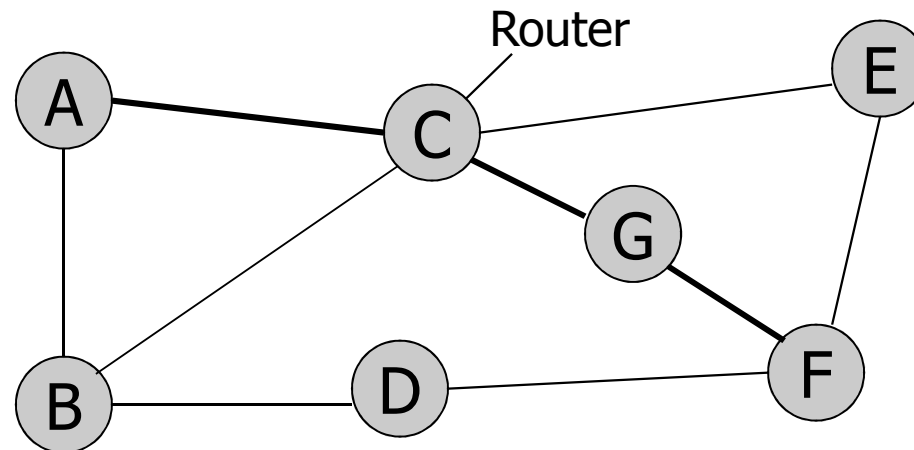
Routing-Tabelle für 1A (nachher)

Ziel	Leitung	Teilstr.
1A	--	--
1B	1B	1
1C	1C	1
2	1B	2
3	1C	2
4	1C	3
5	1C	4

- Reduktion von 17 auf 7 Einträge!
- Nachteil: Ansteigende Pfadlängen

Überblick über die Vermittlungsschicht: Routing - Optimalitätsprinzip

- Das Optimierungsprinzip (Optimalitätsprinzip nach Richard Bellmann) besagt:
 - Wenn Router C auf dem optimalen Pfad zwischen A und F liegt, dann fällt der Pfad von C nach F ebenso auf diese Route



- Die Annahme, es existiert eine bessere Route zwischen C und F, führt zu einem Widerspruch

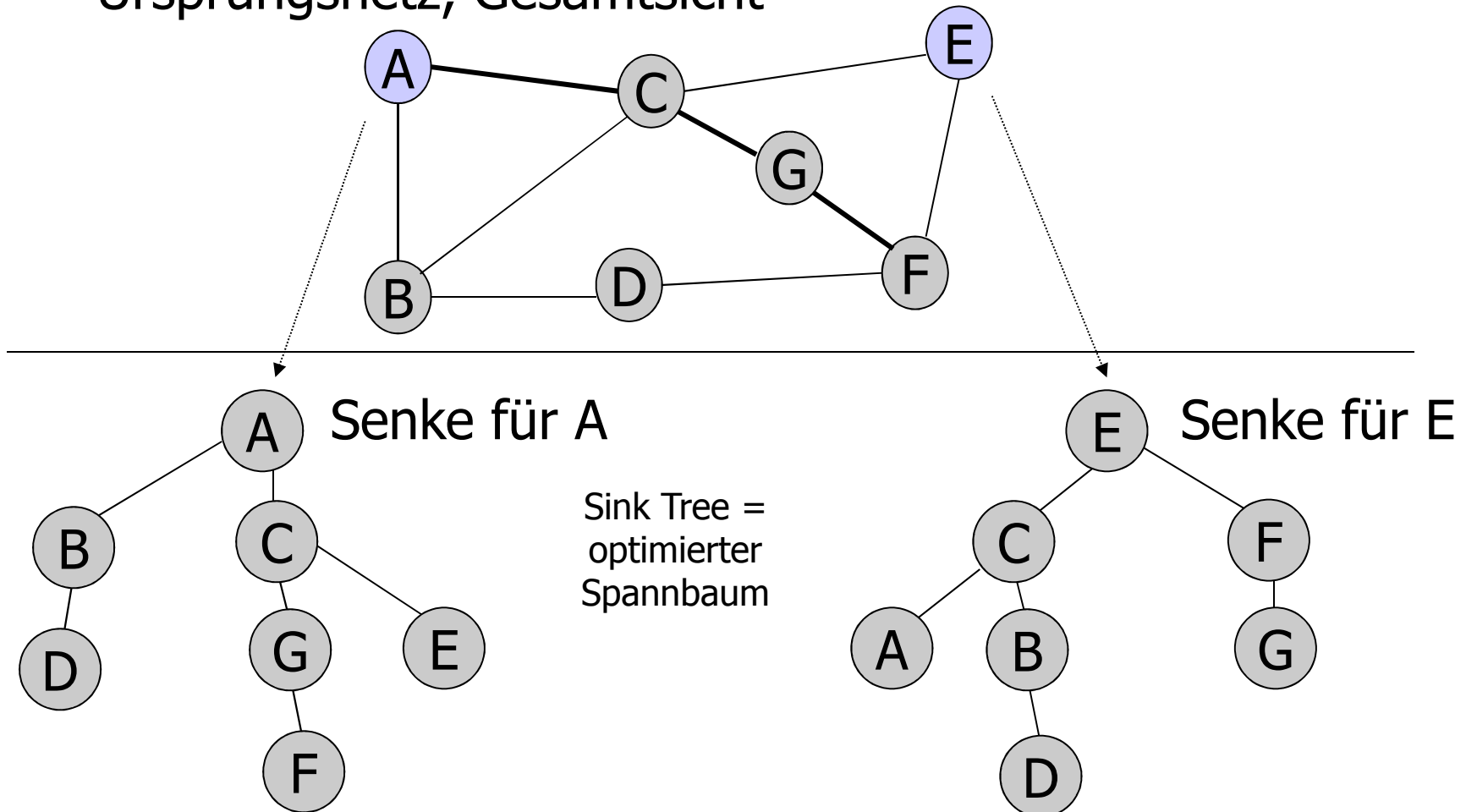
Überblick über die Vermittlungsschicht: Routing - Optimalitätsprinzip

- Optimalitätsprinzip angewendet auf das Routing:
 - Die optimalen Routen von allen Quellen zu einem bestimmten Ziel bilden einen **Baum**, dessen Wurzel das Ziel ist
 - Dieser Baum enthält keine Schleifen und heißt **Sink Tree** oder **Senke** (optimierter Spanning Tree)
- Ziel von Routing-Algorithmen
 - Senken für alle Router ermitteln
 - Senken für das Routing nutzen

Def. Spanning Tree: Teilgraph eines ungerichteten Graphen, der alle Knoten des Graphen enthält. Ein minimaler „Spannbaum“ eines kantengewichteten Graphen hat die kleinste Summe aller Kantengewichte. Es gibt also keinen Spannbaum für den Graphen, der ein kleineres Kantengewicht hat.

Überblick über die Vermittlungsschicht: Routing - Optimierungsprinzip

- Ursprungsnetz, Gesamtsicht



Überblick über die Vermittlungsschicht: Beispiel - Shortest-Path-Routing

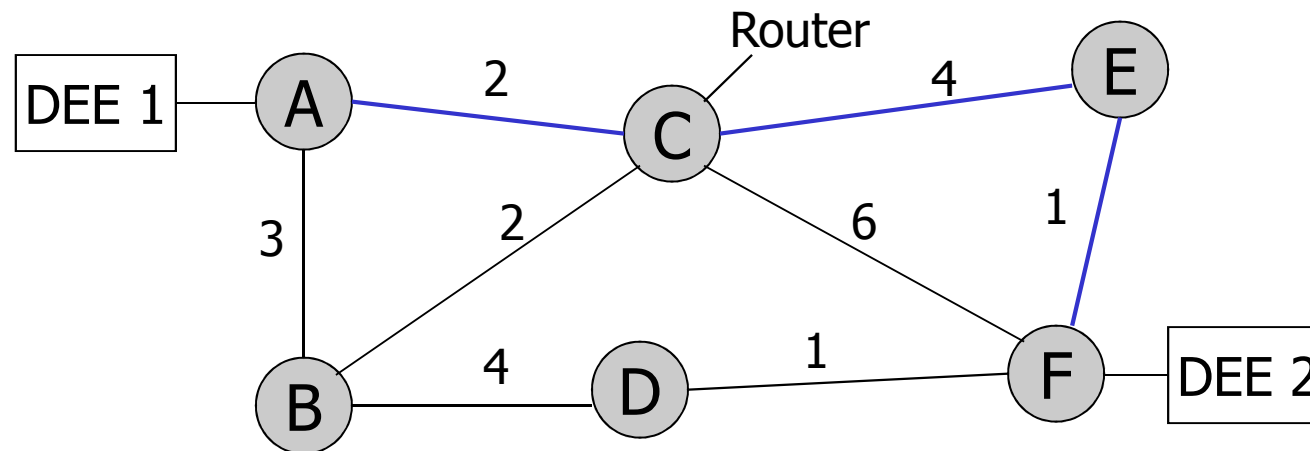
- Graph des Teilnetzes wird erstellt (statisch oder dynamisch)
 - Knoten entspricht Router
 - Kante entspricht einer Leitung zwischen zwei Routern
- Kante wird beschriftet („Pfadlänge“), die Metrik hierfür kann berechnet werden aus
 - Entfernung
 - Bandbreite
 - Durchschnittsverkehr
 - Durchschnittliche Warteschlangenlänge in den Routern
 - Verzögerung
 - ...
- Berechnung des kürzesten Pfads z.B. über Dijkstras oder Bellmanns Algorithmus (siehe Tanenbaum)

Überblick über die Vermittlungsschicht: Beispiel - Shortest-Path-Routing

- Dijkstras Algorithmus (1959)
- Problemstellung aus der Graphentheorie
 - Finde für einen **Startknoten s** und einen **Endknoten e** eines **gewichteten Graphen G** mit der **Knotenmenge V**, der **Kantenmenge E** und der **Kostenfunktion k** einen Weg zwischen s und e mit minimalen Kosten
 - Die Kostenfunktion k bezieht sich auf eine Kante zwischen zwei Knoten

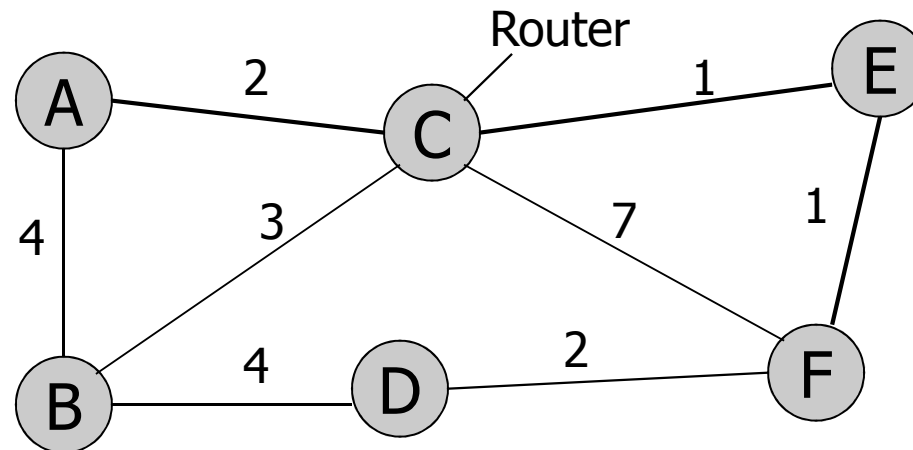
Überblick über die Vermittlungsschicht: Beispiel – Shortest-Path-Routing

- Beispiel: Der kürzeste Pfad zwischen DEE 1 und DEE 2 geht von A nach F über A C E F
- Summierte Pfadlänge = 7



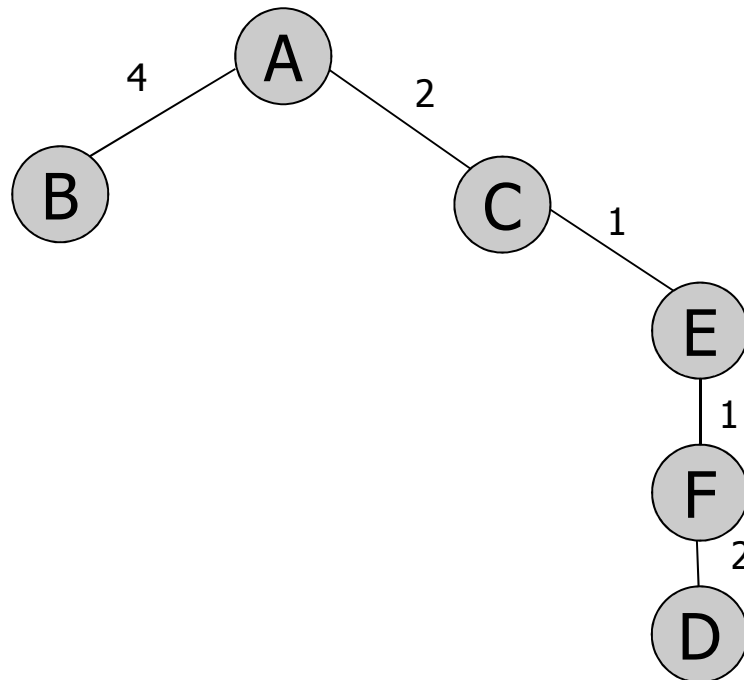
Überblick über die Vermittlungsschicht: Routing - Übung

- Ermitteln Sie die Summe der Kantengewichte zu den Sink Trees (optimale Spannbäume) des vorliegenden kantengewichteten Graphen für die Knoten A und E und zeichnen Sie die Graphen.
- Beschriften Sie die Kanten mit!



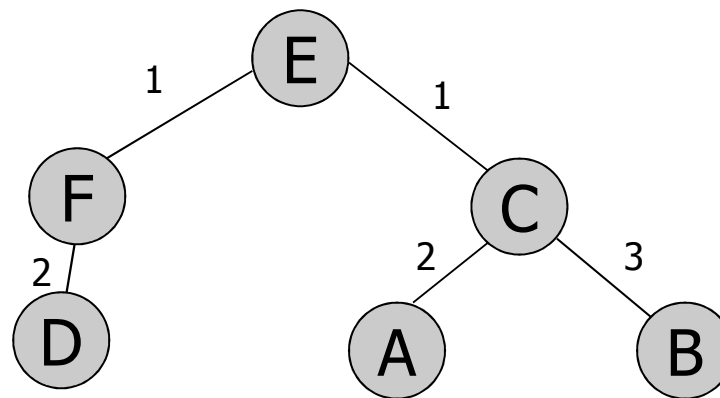
Überblick über die Vermittlungsschicht: Routing – Lösung zur Übung (1)

- Sink Tree (= optimaler Spannbaum) für A
- Summe der Kantengewichte = 10



Überblick über die Vermittlungsschicht: Routing – Lösung zur Übung (2)

- Sink Tree (= optimaler Spannbaum) für E
- Summe der Kantengewichte = 9



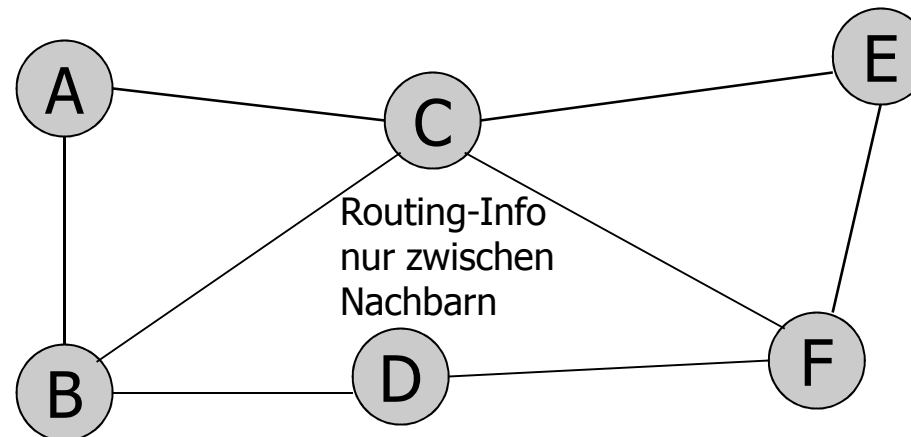
Überblick über die Vermittlungsschicht: Beispiel – Distance-Vector-Routing

- Andere Bezeichnung: Bellman-Ford-Routing (Bellman, 1957 und Ford, 1962)
- Jeder Router führt eine **dynamisch aktualisierte Routing-Tabelle** mit allen Zielen
 - Einträge enthalten bevorzugte Ausgangsleitung zu einem Ziel
- **Metrik** kann z.B. sein:
 - Verzögerung in ms
 - Anzahl der Teilstrecken (**Hops**) zum Ziel

Ziel	Distanz	Nächster Knoten	Hops

Überblick über die Vermittlungsschicht: Beispiel – Distance-Vector-Routing

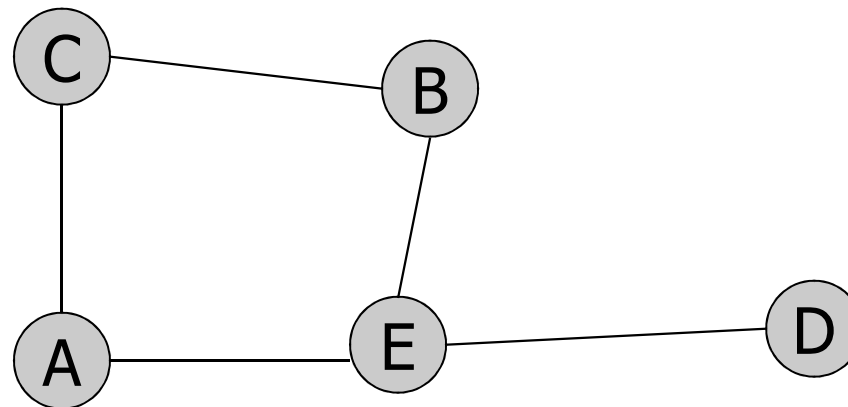
- Verteilt – iterativ – asynchron (unabhängig voneinander)
- **Benachbarte** Router tauschen Routing-Information aus



- **Schleifen** möglich „**Count-to-Infinity-Problem**“
 - Bei Ausfall eines Links evtl. keine Terminierung mehr sichergestellt
- **Gute Nachrichten** verbreiten sich schnell
- **Schlechte Konvergenz**
 - Schlechte Nachrichten verbreiten sich sehr langsam in Netz

Überblick über die Vermittlungsschicht: Distance-Vector-Routing - Kommunikation

- Routing-Informationen werden nur zwischen Nachbarn ausgetauscht
- Es wird nur die Sicht der Nachbarn und nicht die gesamte Topologie kommuniziert
- Beispiel:
 - C kommuniziert nur mit A und B
 - E kommuniziert nur mit A, B und D
 - D kommuniziert nur mit E,...
 - B teilt z. B. C mit, dass er E über einen und D über zwei Hops erreichen kann



Überblick über die Vermittlungsschicht: Beispiel – Distance-Vector-Routing

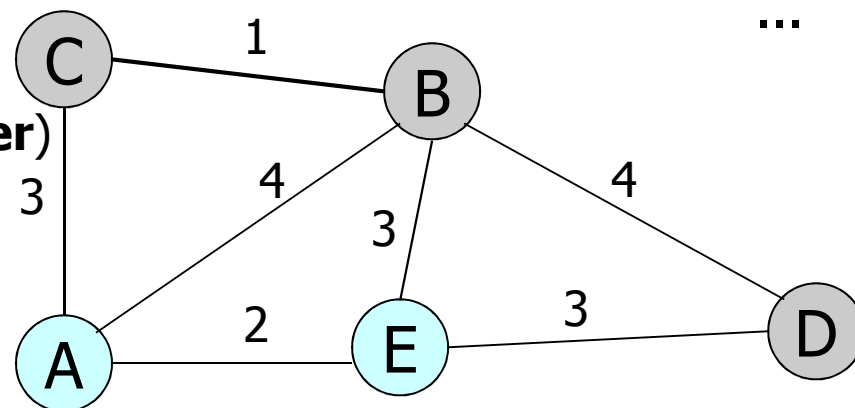
Knoten A

Ziel	Distanz	Nächster Knoten	Hops
B	4	B	1
C	3	C	1
E	2	E	1
D	5	E	2

Knoten E

Ziel	Distanz	Nächster Knoten	Hops
A	2	A	1
B	3	B	1
C	4	B	2
D	3	D	1

Nach einiger Zeit (**Konvergenzdauer**)
verfügen alle Router über optimale
Routing-Tabellen



Überblick über die Vermittlungsschicht: Link-State-Routing

- Jeder Router verwaltet eine **Kopie der Netzwerktopologie** (Link-State-Datenbank)
- **Zielsetzung:** Jeder Knoten muss alle Kosteninformationen kennen
- Jeder Router verteilt die lokale Information per Flooding an alle anderen Router im Netz
- Die Berechnung der Routen erfolgt **dezentral**
- Jeder Knoten errechnet den **absolut kürzesten Pfad**

Überblick über die Vermittlungsschicht: Link-State-Routing

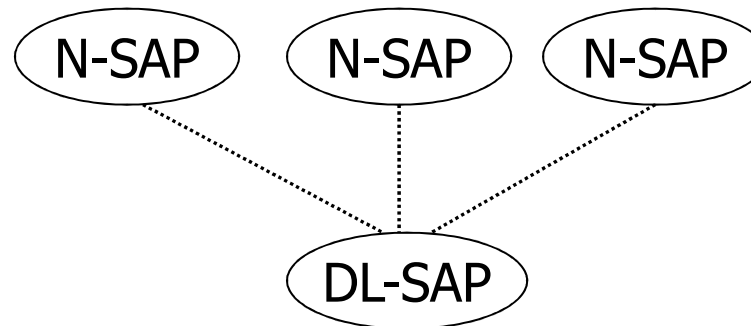
- **Berechnung der kürzesten Pfade** z.B. über Shortest-Path-Algorithmus (z.B. Dijkstras Algorithmus)
- **Keine Schleifen** möglich, da jeder Knoten die gleiche Information über die Topologie besitzt
- Schnelle Reaktion auf Topologieänderungen möglich

Überblick

1. Einordnung
2. Überblick über die Vermittlungsschicht
 - Aufgaben und Dienste
 - Vermittlungsverfahren
 - Wegewahl, Routing
 - **Diverse Protokollmechanismen**

Überblick über die Vermittlungsschicht: Multiplexen

- Gemeinsame Verwendung einer Teilstrecke, also einer Schicht-2-Verbindung, für mehrere Schicht-3-Verbindungen
- Erster Schicht-3-Verbindungsaufbau baut auch die Teilstreckenverbindung auf
- Weitere Schicht-3-Verbindungen können dann bestehende Schicht-2-Verbindung nutzen

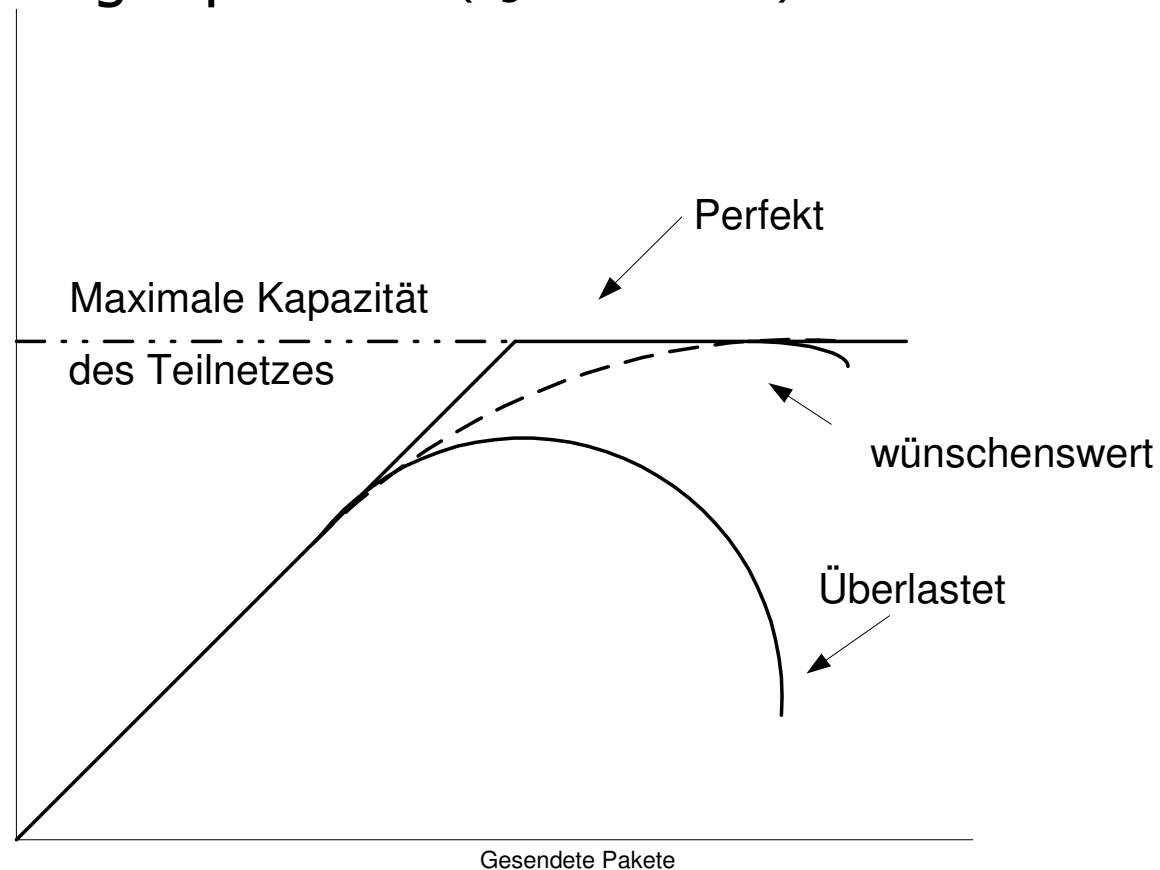


Überblick über die Vermittlungsschicht: Überlastung und Staukontrolle

- Zu viele Pakete (mehr als die Übertragungskapazität) in einem Netz führen zum **Abfall der Leistung** → Überlastung (Congestion), Verstopfung
- Ursachen:
 - Viele Pakete zu einer Zeit → Lange Warteschlangen
 - Langsame Prozessoren in den Netzknoten
 - Zu wenig Speicher in den Netzknoten
- Eine Überlastung kann zu einem **Teufelskreis** führen
 - Pakete gehen verloren
 - Pakete werden evtl. in Netzknoten verworfen
 - Sendungswiederholungen erhöhen die Last

Überblick über die Vermittlungsschicht: Überlastung und Staukontrolle

- „Bei übermäßiger Verkehrsbelastung des Netzes sinkt die Leistung rapide ab“ (Vgl. Tanenbaum)



Überblick über die Vermittlungsschicht: Überlastung und Staukontrolle

- Durch Staukontrolle sollen Verstopfungen bzw. Überlastungen im Netz vermieden werden
- Möglichkeiten der Staukontrolle: (vgl. Kerner, S.165ff)
 - Lokale Steuerung (gehört zur Schicht 2), da sie sich auf Einzelleitungen bezieht
 - Ende-zu-Ende-Steuerung zwischen Endsystemen (Schicht 4)
 - Globale Steuerung über das gesamte Netz (Schicht 3)
- Die Schichten 2-4 können Maßnahmen ergreifen
- Im Gegensatz zur Flusssteuerung ist die Staukontrolle ein Mechanismus mit **netzglobalen Auswirkungen**

Überblick über die Vermittlungsschicht: Staukontrolle, Maßnahmen

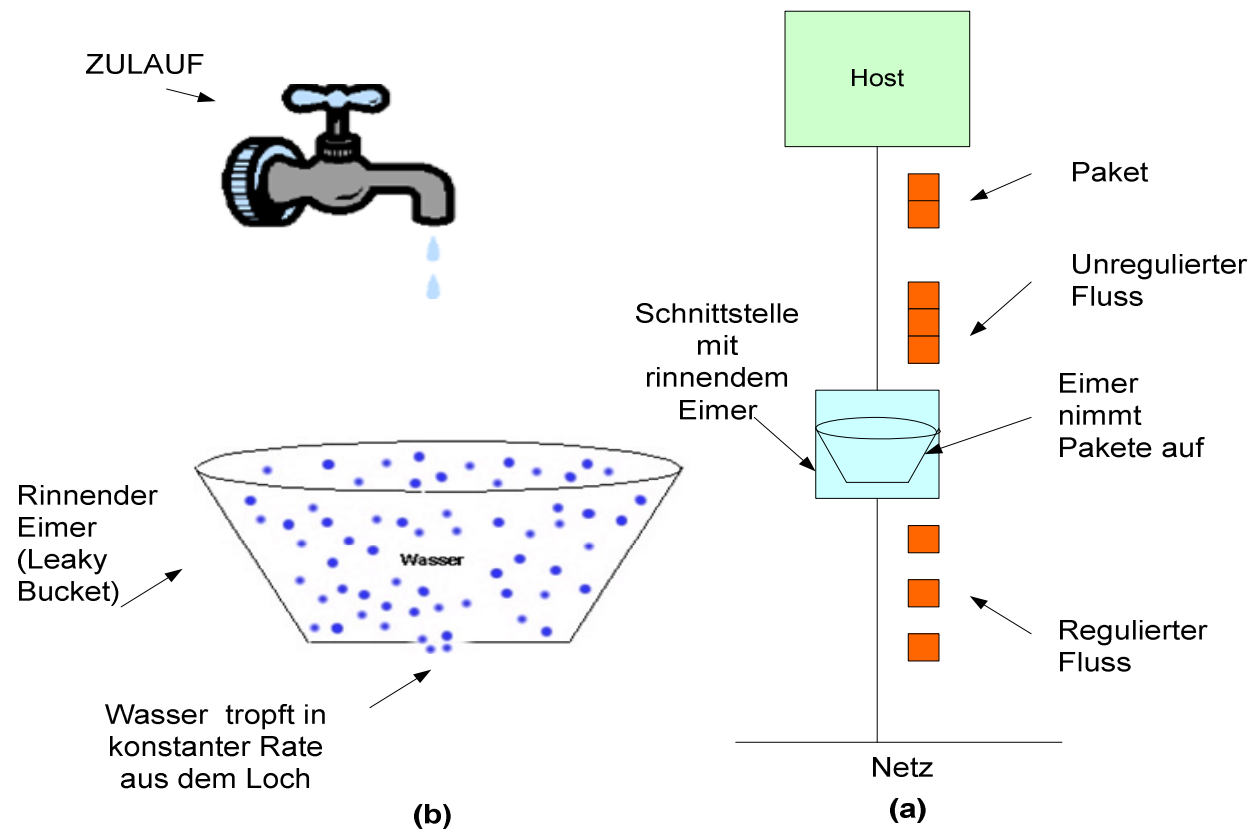
Schicht	Maßnahmen (vgl. Tanenbaum)
Transportschicht	<ul style="list-style-type: none">• ...• ...• ...
Vermittlungsschicht	<ul style="list-style-type: none">• Virtuelle Verbindungen statt Datagrammen in Teilnetzen• Warteschlangen verwalten• Routing-Algorithmus• Verwaltung der Lebensdauer von Paketen
Sicherungsschicht	<ul style="list-style-type: none">• Erneute Übertragung• Zwischenspeichern von Paketen• Bestätigungen• Flusssteuerung

Überblick über die Vermittlungsschicht: Staukontrolle, Traffic Shaping

- Eine wesentliche Ursache für Überlastungen sind „**Verkehrsspitzen**“ (vgl. Tanenbaum)
- **Traffic Shaping** ist eine Maßnahme zur Regulierung der durchschnittlichen Datenübertragungsrate von Endsystemen
- Überwachung der Endsysteme (**Traffic Policing**) durch den Netzbetreiber
- Besser realisierbar für virtuelle Verbindungen (virtual circuits) als für Datagramm-orientierte Netze
- Nutzung des **Leaky-Bucket**-Algorithmus

Überblick über die Vermittlungsschicht: Staukontrolle, Leaky-Bucket-Algorithmus

(Vgl. Tanenbaum)



Überblick über die Vermittlungsschicht: Staukontrolle, Leaky-Bucket-Algorithmus

- Endsysteme (Hosts) verfügen über Netzwerkschnittstellen (Kernel, Netzwerkkarte) mit einer **internen Warteschlange** → rinnender Eimer
- Wenn die Warteschlange voll ist, wird ein neues Paket **schon im Endsystem verworfen**
- Sender, Empfänger und Netzwerk müssen sich einig sein
 - **Flussspezifikation** für virtuelle Verbindungen bei Verbindungsaufbau
 - Man einigt sich über die max. Paketgröße, die max. Übertragungsrate,...
- Weitere Algorithmen: siehe Tanenbaum

Rückblick

1. Einordnung
2. Überblick über die Vermittlungsschicht
 - Aufgaben und Dienste
 - Vermittlungsverfahren
 - Wegewahl, Routing
 - Diverse Protokollmechanismen